

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

**Fasulyede Bazı Antioksidanların Tuz Stresini Azaltıcı
Etkilerinin İncelenmesi**

Tuğçe TEMTEK

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Temmuz, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Fasulyede Bazı Antioksidanların Tuz Stresini Azaltıcı
Etkilerinin İncelenmesi**

Tuğçe TEMTEK

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 12/07/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Hayriye Yıldız DAŞGAN (Danışman)
: Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN
: Prof. Dr. Hatıra TAŞKIN

**Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:**

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

**Bu çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2022-15472**

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

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VI
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Bitkisel Materyal	15
3.2. Antioksidan Materyalleri.....	15
3.2.1. Glisin Betain	15
3.2.2. Jasmonik Asit.....	15
3.2.3. Melatonin.....	15
3.2.4. Nitrik Oksit	16
3.2.5. Salisilik Asit.....	16
3.2.6. Potasyum Silikat	16
3.3. Yöntem	16
3.3.1. Denemede Gerçekleştirilen Uygulamalar	18
3.4. Gübreleme	19
3.5. Denemede Yapılan Ölçüm ve Analizler	23
3.5.1. Bitki Yeşil Aksam Ağırlığının Belirlenmesi (g/bitki).....	23
3.5.2. Bitki Boyu (cm) ve Yaprak Sayısının (adet/bitki) Belirlenmesi	23
3.5.3. Bitkide Gövde Çapının (mm) Belirlenmesi	23
3.5.4. % Kuru Madde Miktarı (g/bitki).....	23
3.5.5. Klorofil Miktarı Belirlenmesi	23
3.5.6. Yaprakta Membran Zararlanma İndeksi Belirlenmesi (%)	23
3.5.7. Yaprak Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi (%).....	24
3.5.8. Yaprak Su Potansiyelinin Belirlenmesi (MPa).....	25
3.5.9. Yaprak Stoma Geçirgenliğinin Belirlenmesi (mmol m ² / s).....	25
3.5.10. Toplam Fenolik Madde Tayini (mg GAE/100 g TA)	26
3.5.11. Toplam Flavanoid Tayini Toplam Flavonoid Tayini	26
3.5.12. Lipid Peroksidasyonu Belirlenmesi (µmol/g TA)	26
3.5.13. Prolin Miktarının Belirlenmesi (nmol Proline / g TA).....	26

3.5.14. Antioksidatif Enzim Analizleri	26
3.5.15. Katalaz Aktivitesi (CAT)	27
3.5.16. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi	27
3.5.17. Glutatiyon Redüktaz (GR) Aktivitesi.....	27
3.5.18. Mineral Element Analizi	27
3.5.19. Klor Analizi.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Fasulyede Bitki Büyüme Parametreleri.....	31
4.1.1. Bitki Ağırlığı (g /bitki)	31
4.1.2. Bitki Boyu (cm)	33
4.1.3. Gövde çapı (mm)	33
4.1.4. Yaprak Sayısı (adet/bitki).....	34
4.1.5. Kuru Madde Miktarı (%)	34
4.2. Klorofil (a, b ve toplam klorofil) Konsantrasyonunun Belirlenmesi (mg/TA).....	36
4.3. Fasulyede Fizyolojik Parametreler	37
4.3.1. Membran Zararlanma İndeksi (%).....	37
4.3.2. Stoma İletkenliği (mmol/m ² /s).....	40
4.3.3. Yaprak Oransal Su İçeriği (%)	41
4.3.4. Yaprak su potansiyeli (Mpa)	42
4.4. Fasulye Meyve Ölçümleri	43
4.4.1. Meyve Ağırlığı (g)	43
4.4.2. Meyve Sayısı (adet)	44
4.5. Fasulyede Kalite Parametreleri	45
4.5.1. Toplam Fenol Tayini (mg kg KA ⁻¹).....	45
4.5.2. Toplam Flavonoid Tayini (mgRU/100g).....	46
4.6. Fasulye Bitkilerinde Besin Maddesi Analizleri.....	48
4.6.1. Makro Elementler (%)	48
4.6.2. Mikro Elementler (ppm)	52
4.7. Fasulyede Enzim Aktivitesi.....	55
4.7.1. Lipid Peroksidasyonu (µmol/g TA).....	55
4.7.2. Prolin Miktarı (nmol Proline / g TA)	57
4.7.3. Askorbat Peroksidaz Aktivitesi (µmol/min/ g TA)	60
4.7.4. Glutatiyon Redüktaz Aktivitesi (µmol/min/ g TA)	63
4.7.5. Katalaz Aktivitesi (µmol/min/ g TA)	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKÇA	73
ÖZGEÇMİŞ	85

**Fasulyede Bazı Antioksidanların Tuz Stresini Azaltıcı
Etkilerinin İncelenmesi**

Tuğçe TEMTEK

Danışman: Prof. Dr. Hayriye Yıldız DAŞGAN

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

ÖZ

Bu tez çalışmasında iklim odası koşullarında fasulye (*Phaseolus vulgaris*) yetiştiriciliğinde antioksidanların tuz stresini azaltıcı etkileri incelenmiştir. Çalışmada tuz stresine dayanıklı (BN150) ve duyarlı (BN16) iki farklı genotip kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak 25 mM NaCl konsantrasyonu daha sonra final konsantrasyonu 35 mM NaCl konsantrasyonu ve 100 mM glisin betain, 100µM jasmonik asit, 100 µM nitrik oksit, 100 µM melatonin, 0,5 mM salisilik asit ve 200 ppm potasyum silikat antioksidanları kullanılmıştır. Fasulye bitkilerine uygulanan antioksidanların stoma iletkenliği, membran zararlanma indeksi, yaprak oransal su içeriği ve yaprak su potansiyeli gibi fizyolojik parametreler üzerinde tuz stresinin bitki yaprak dokularında oluşturduğu yıkıcı etkiyi azalttığı belirlenmiştir. Tuz stresi koşullarında azalan klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil konsantrasyonları antioksidan uygulamaları ile artmıştır. Tuz stresi, ROS seviyelerini artırır ve lipid peroksidasyonuna yol açar ve zincir reaksiyonu tetikleyerek lipidleri yok eder ve lipid radikallerini oluşturur sonucunda oksidatif stresin önemli bir biyomarkeri olarak kabul edilen malondialdehit (MDA) üretir. Çalışmada kullanılan antioksidanlar MDA miktarı üretiminde ciddi azalmalar sağlamıştır. Çalışmada kullanılan antioksidanlar tuz stresi koşullarında bitki dokularında artış göstererek antioksidatif savunma sistemi oluşturan, fenol, flavonoid, prolin, askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) aktivitelerini artırarak oksidatif hasarı azaltmıştır. Antioksidanlar bitki boyu, bitki ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapı gibi bitki büyüme parametreleri üzerinde tuz stresinin etkisini azaltmıştır. Tuz stresi altında yetiştirilen fasulye bitkilerinin yapraklarında N, P, K, Ca, Mg makro besin elementleri ile Zn, Cu, Fe mikro besin elementlerinin konsantrasyonları antioksidan uygulamaları ile artış göstermiştir. Tuz stresi koşullarında artış gösteren Na ve Cl konsantrasyonları antioksidan uygulamaları ile azalış göstermiştir. Tuz stresi altında yetiştirilen fasulye bitkilerinde antioksidan uygulamalarının bitki büyüme parametreleri, fizyolojik parametreler ve antioksidan aktiviteleri üzerine olumlu etki yaptığı ve stresin olumsuz etkisini azalttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fasulye, Tuz Stresi, Antioksidan.

**Fasulyede Bazı Antioksidanların Tuz Stresini Azaltıcı
Etkilerinin İncelenmesi**

Tuğçe TEMTEK

Advisor: Prof. Dr. Hayriye Yıldız DAŞGAN

Department of Horticultural Plants

ABSTRACT

In this study, the mitigating effects of antioxidants on salt stress in common beans (*Phaseolus vulgaris*) cultivation were investigated in growth chamber. Two different bean cultivars, salt-tolerant (BN150) and salt-sensitive (BN16), were used. Initially, 25 mM NaCl concentration was applied, followed by a final concentration of 35 mM NaCl to induce salt stress. Antioxidants such as 100 mM glycine betaine, 100 µM jasmonic acid, 100 µM nitric oxide, 100µM melatonin, 0.5 mM salicylic acid, and 200 ppm potassium silicate were utilized. It was determined that the antioxidants applied to the bean plants mitigated the effects of salt stress on physiological parameters such as stomatal conductance, membrane damage, relative leaf water content and leaf water potential in plant leaf tissues. The antioxidant concentration significantly increased chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll content under salt stress. Salt stress increases ROS(Reactive oxygen species) levels, leading to lipid peroxidation and initiating a chain reaction that destroys lipids and forms lipid radicals, resulting in the production of malondialdehyde (MDA), considered a significant biomarker of oxidative stress. Antioxidants significantly reduced the MDA production. The antioxidants increased the activities of phenols, flavonoids, proline, ascorbate peroxidase (APX), and glutathione reductase (GR), forming an antioxidative defense system in plant tissues under salt stress, thereby reducing oxidative damage. Antioxidants improve the plant growth traits such as plant height, plant fresh weight, number of leaves, and stem diameter. Similiarly, antioxidants considerably enhanced the concentrations of both macro-nutrients (N, P, K, Ca, Mg) and micro-nutrients (Zn, Cu, Fe) in the leaves under salt stress. Furthermore, the concentrations of Na and Cl were found higher in salt stress conditions which were decreased with antioxidant applications. It was concluded that antioxidant applications have positive effects on plant growth parameters, physiological parameters, and antioxidant activities in common beans grown under salt stress.

Keywords: Beans, Salt Stress, Antioxidant.

TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum tez çalışmamın belirlenmesinde ve hazırlanmasında, derin bilgi ve tecrübesi ile bana her zaman yardımcı olan, desteği ve emeğini benden esirgemeyen umutsuzluğa düştüğümde bana ışık olan ve başaracağıma inanan Yüksek Lisans öğrenimim boyunca ayırdığı değerli zaman ve emekleri için kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. H. Yıldız DAŞGAN ‘a teşekkür eder ve bilgi birikimini, tecrübelerini esirgemediği için saygılarımı sunarım.

Tezim değerlendirilmesi sırasında yaptıkları katkılar için sayın hocalarım Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN ve Prof. Dr. Hatıra TAŞKIN’ a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana her zaman destek olup yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Boran İKİZ’e teşekkürlerimi sunarım.

Deneme sürecimde ve laboratuvar çalışmalarında bilgi ve birikimleri ile manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşlarım Zir. Yük. Müh. Volkan KARACAOĞLU, Zir. Yük. Müh. Kahraman Samed AKSU, Zir. Yük. Müh. Abdullah ALDİYAB, Zir. Müh. Afife KESKİN, Zir. Müh. Alenur KARAPÜR, Zir. Müh. Kamran ZIKARIA ve tüm fizyoloji laboratuvarı ekibine teşekkürlerimi sunarım. Değerli dostlarım kız kardeşlerim Didem Özdemir ve Zir. Müh. Ekimsu YILMAZ’a tüm destek ve inançları için teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım esnasında finansal desteklerinden dolayı Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne içten teşekkürlerimi sunarım. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde ders aldığım ve her birinden farklı şeyler öğrendiğim tüm hocalarıma teşekkür ederim

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi yanımda olan desteğini ve inancını esirgemeyen canım anneme, babama, kız kardeşlerime en içten duygularıyla saygılarımı sunar, çok teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bitki dikiminden önce deneme alanından alınan toprak örneğinin analiz sonuçları....	17
Çizelge 3.2. Denemede kullanılan antioksidanların uygulama dozu.	18
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan gübreler.....	19
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan besin çözeltisinde mineral elementlerin konsantrasyonları.....	19
Çizelge 4.1. Farklı antioksidan uygulamalarının fasulyede bitki büyüme parametreleri üzerine etkisi.....	35
Çizelge 4.2. Farklı antioksidan uygulamalarının Klorofil (a, b ve toplam klorofil) konsantrasyonu (mg/TA) üzerine etkisi.	37
Çizelge 4.3. Farklı antioksidan uygulamalarının fasulyede fizyolojik parametreler üzerine etkisi.	43
Çizelge 4.4. Farklı antioksidan uygulamalarının 60 gün süren deneme boyunca fasulye meyve ölçümlerine etkisi.....	45
Çizelge 4.5. Farklı antioksidan uygulamalarının fasulye kalite parametreleri üzerine etkisi.	48
Çizelge 4.6. Farklı antioksidan uygulamalarının makro elementler üzerine etkisi (%).	52
Çizelge 4. 7. Farklı antioksidan uygulamalarının mikro elementler üzerine etkisi (ppm).	54
Çizelge 4.8. Genotip, uygulama, genotip x uygulama iki faktörlü varyans analizinde (Two-way ANOVA) önemlilik düzeyleri.	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Tohum ekilerek fidelerin elde edilmesi.	17
Şekil 3.2. Bitkilerin saksılara transfer edilmesi.	18
Şekil 3.3. Fasulye bitkilerinin 10. güne ait genel görünümü	20
Şekil 3.4. Fasulye bitkilerinin 15. güne ait genel görünümü.	20
Şekil 3.5. Fasulye bitkilerinin 25. güne ait genel görünümü.	21
Şekil 3.6. Fasulye bitkilerinin 35. güne ait genel görünümü.	21
Şekil 3.7. Fasulye bitkilerinin 45. güne ait genel görünümü.	22
Şekil 3.8. Fasulye meyvelerine ait genel görünüm.	22
Şekil 3.9. Yaprakta membran zararlanması ölçümünden görseller.	24
Şekil 3.10. Yaprak oransal su içeriği ölçümünden görseller.	24
Şekil 3.11. Yaprak su potansiyelinin basınç çemberi ile ölçülmesi.	25
Şekil 3.12. Yaprak stoma iletkenliğinin porometre cihazı ile ölçülmesi.	25
Şekil 3.13. Mineral element analizleri yapımından ve atomik absorpsiyon cihazından görseller. ..	28
Şekil 4.1. Bitki ağırlığı üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.	32
Şekil 4.2. Membran zararlanma indeksi üzerine genotip, uygulama ve genotip*uygulama interaksiyonunun etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.	39
Şekil 4.3. Lipid peroksidasyonu üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.	56
Şekil 4.4. Prolin miktarı üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.	59
Şekil 4.5. APX aktivitesi üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.	62
Şekil 4.6. GR aktivitesi üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.	65
Şekil 4.7. CAT aktivitesi üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p<0.05$ düzeyinde önemlidir.	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
g	: Gram
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetre kare
mm	: Milimetre
mg	: Miligram
mM	: Milimolar
μM	: Mikromolar
ppm	: Milyonda Bir Birim
ha	: Hektar
TA	: Taze Ağırlık
KA	: Kuru Ağırlık
SNP	: Sodyum Nitroprusid
GB	: Glisin Betain
JA	: Jasmonik Asit
NO	: Nitrik Oksit
MEL	: Melatonin
Si	: Silikon
SA	: Salisilik Asit
MeJa	: Metil Jasmonat
MDA	: Malondialdehit
SOD	: Süperoksit Dismutaz
CAT	: Katalaz
GR	: Glutasyon Redüktaz
APX	: Askorbat Peroksidaz
LOX	: Liposigenaz
POD	: Peroksidaz
YOSİ	: Yaprak Oransal Su İçeriği
MSI	: Membran Stabilite İndeksi
N	: Azot
P	: Fosfor
K	: Potasyum
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum

Cl : Klor
Zn : Çinko
Cu : Bakır
Fe : Demir
ROT : Reaktif Oksijen Türleri
RAT : Reaktif Azot Türleri
Chl : Toplam Klorofil
EPS : Ekzopolisakkarit
EL : Elektrolit Sızıntısı
ÇÜ : Çukurova Üniversitesi



1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu, teknolojik ve ekonomik gelişmelerden dolayı son 50 yılda tarımsal verimlilik talebe paralel olarak giderek artmıştır (Simkin et al., 2019; Zhang ve ark., 2021). Bu artış, agronomik yaklaşımlarla klasik ıslahtaki gelişmelerden kaynaklanmıştır. Fakat son yıllarda çoğu ülke de yıllara göre bitkisel üretimdeki verim duraksamaya ve azalmaya başlamıştır (Fischer and Edmeades, 2010; Ray ve ark., 2013; Long ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2021). Tarımsal üretimdeki azalmanın nedeni artan küresel ısınma ile ortaya çıkan iklim değişikliklerinin bir sonucu olarak varsayılmaktadır (Ma ve ark., 2020). Diğer taraftan çevresel streslerin (biyotik ve abiyotik) tarımsal üretimde büyük kayıplara sebep olduğunu bildirmişlerdir. Dünyada bitkisel ürün üretimi ve verimliliğini önemli ölçüde azaltan tuzluluk ve kuraklık en önemli iki abiyotik stres etmenleridir (Kaushal and Wani, 2016; Singh ve ark., 2018).

Tuz stresi, kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkilerin büyümesini, gelişmesini ve üretimini kısıtlayarak önemli ölçüde verim kayıplarına sebep olan en yıkıcı abiyotik stres faktörlerinden biridir (Hussain ve ark., 2019). Sulanan arazilerin %50'si tuzluluk stresinden önemli ölçüde etkilenmekte ve yüksek tuzluluk düzeyinin sonucu olarak yılda 1,5 ha alan toprak kaybına neden olmaktadır (Yang and Guo, 2018). Tarım alanlarının %17'sini oluşturan sulak alanların tahminen beşte biri tuzluluk sorunu ile yüz yüze kalmaktadır. Tarım arazilerinin ve bununla ilişkili olarak sürdürülebilir tarımın gelecek 25 yıllık süreçte tuzluluğun artmasıyla zarar göreceği tahmin edilmektedir (Gültekin, 2018).

Tuz stresi oluşum mekanizması iki'ye ayrılır; primer tuzluluk düşük yağış, rüzgar ve yüksek evaporasyon gibi iklimik etkenlerin etkisiyle deniz ve okyanus suyunun yapısındaki tuz bileşiklerinin toprağın yapısına katılması, ana kaya materyalinin aşınması sonucu minerallerin ve çözünür tuzların açığa çıkması ve kapilarite ile toprağa taşınması ile ortaya çıkmaktadır. Sekonder tuzluluk; hatalı yapılan sulama programı, tuz içeriği yüksek su kullanımı, bölgenin yapısına uygun olan vejetasyonun harap edilip tarım alanları olarak kullanımı, tuz birikimine neden olan unsurlarla toprağın kirlenmesi ve aşırı gübre kullanımı gibi insan etkenleri, yüzey altı sularının yükselmesi ve bitkilerin kullandığı su miktarı ile yağış miktarı arasındaki hidrolojik dengenin bozulması sonucu meydana gelmektedir (Korkmaz ve Durmaz, 2017; Gültekin, 2018; Doğru ve Canavar, 2020).

Bitkilerde morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişiklikler tuz ve kuraklık stresi sonucu ortaya çıkmaktadır (Nabi ve ark., 2019).

Stres faktörlerinin sonucunda azalan CO₂ düzeyi, stoma açıklığının ve fotosentez döngüsünün hasar görmesi Reaktif Oksijen Türlerinin (ROT) üretilmesine neden olmaktadır. Fotosentez sırasında yüksek bir elektron sızıntısına neden olan Calvin döngüsündeki elektron taşınmasındaki aksaklık sonucunda abiyotik stres kaynaklı reaktif oksijen türleri düzeylerinde artış meydana gelmektedir (Nadarajah ve ark., 2020).

Redoks sinyaline katkı sağlayan reaktif kükürt, karbon, nitrojen, selenyum, elektrofıl ve halojen (RHS) genotipleri dahil olmak üzere reaktif türler grubunun bir parçası olan ROT, redoks

(indirgeme-oksidasyon) tepkimelerine girebilen ve biyolojik makromoleküller oluşturabilir (Sies ve ark., 2022). ROT' lar, atmosferik oksijenin kısmen indirgenmiş veya uyarılmış formlarıdır. ROT' lar normal koşullarda mitokondri, kloroplast, apoplast, endoplazmik retikulum ve peroksisom gibi hücre organellerinde sinyal molekülü olarak görev yapmaktadır (Mitler, 2017). Stres koşullarında bitkilerde ROT üretimi artış göstermektedir. Artış gösteren ROT' lar fotosentetik pigmentleri, proteinleri, nükleik asitleri ve hücre membran lipidlerinde yıkıma yol açarak oksidatif stresin oluşmasına neden olur.

ROT' lar oldukça reaktiftir ve bitki hücrelerinde önemli derecede tahribata neden olarak bitkinin ölümüne yol açabilmektedir (Gill and Tuteja, 2010; Moustafa-Farag ve ark., 2020). Lipid peroksidasyonun son ürününü oluşturan malondialdehit (MDA) hücrelerde artış gösteren ROT' un membranlara verdiği hasar sonucunda oluşmaktadır (Wang ve ark., 2019; Laxa et al., 2019). MDA miktarındaki artış hücre membran hasarının bir sonucu olarak gösterilmektedir (Godoy, 2021). Bitkiler oksidatif zarara fizyolojik, moleküler ve hücresel düzeylerde cevap verebilmektedir (Godoy ve ark., 2021). Oksidatif zarara karşı bitkiler doğal bir savunma sistemi geliştirebilmektedir. Bu sistem stres sonucunda artış gösteren ROT' ların elimine edilmesine dayanmaktadır.

Bu savunma sistemi, antioksidanların bitkiler aracılığıyla üretilmesi yoluyla oluşturulabilir. Bitkilerde enzimatik katalaz (CAT), peroksidaz (APX), süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GPX), glutatyon redüktaz (GR), dehidro askorbat redüktaz (DHAR), glutatyon askorbat monodehidro askorbat redüktaz (MDHAR), -S-transferaz (GST) ve enzimatik olmayan (α - tokoferol, askorbat (AsA), fenolik bileşikler, karotenoidler, alkaloidler, glutatyon (GSH), flavonoidler ve prolin) antioksidan savunma sistemleri aracılığıyla hücresel zarar azaltılabilmektedir (Caverzan ve ark., 2016; Ali ve ark., 2021).

(Parida ve Das, 2005) tuz toleransını, yüksek tuz konsantrasyonları koşullarında büyüebilme ve yaşam dönüşümünü tamamlayabilme yeteneği olarak açıklamıştır. Toprak yapısının ozmotik potansiyelini azaltarak fizyolojik kuraklığa neden olması, mineral element beslenmesinde dengesizliğe neden olması ve tuz iyonlarını belirli toksik etkisi tuzluluğun bitkiler üzerindeki zararlı etkileri arasında sayılabilir (Marschner, 1995). Tüm bu etkiler bitki gelişimi ve büyümesi üzerinde fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde oldukça yönlü olumsuz etkilere neden olmaktadır (Tester and Davenport, 1995).

Melatonin kuvvetli bir antioksidan olarak reaktif oksijen türlerini (ROT), reaktif azot türlerini (RAT) ve birçok kimyasal kirleticileri detoksifiye etme yeteneğine sahiptir. Melatonin domateste aşırı kadmiyumun sebep olduğu oksidatif stresi antioksidan enzimatik aktiviteyi indükleyerek temizlediği bildirilmiştir (Hasan ve ark., 2015). Yapılan başka bir çalışmada MDA aktivitesini düşürerek, antioksidan aktivitelerini arttırarak ve genotipli fizyolojik olayları düzenleyerek H_2O_2 üretimini baskıladığı açıklanmıştır. Ek olarak melatoninin eksojen uygulamasının, çözünür protein düzeyini arttırdığı, ROT üretimini azalttığı ve klorofil ayrışma hızını

azalttığı ve tuz stresi etkisi altındaki genotipli bitki genotiplerinde klorofil miktarını ve fotosentez işlevini güçlendirdiğini bildirmişlerdir (Azizi and Amiri, 2022).

Bitkilerde melatoninin görevleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, melatoninin abiyotik stres durumlarında bitki büyümesi ve gelişiminde oldukça önemli bir görev oynadığı elde edilmiştir. Melatoninin tuzluluk stresi koşullarında yüksek bitki toleransı sağlaması, bitki iyonik homeostazını (özellikle tüm bitki Na^+/K^+ oranını) savunmak için iyon bağlantısı genlerinin açıklanması, fotosentez yeteneğini geliştirmesi, klorofilleri ve karotenoidleri koruması ve foto-solunumu azaltması işlevleri ile ilişkili olduğu açıklanmıştır (Li ve ark., 2019).

Nitrik oksit (NO) bir gaz sinyal molekülü olarak, büyüme, gelişme ve stres tepkileri de dahil olmak üzere genotipli hücrel fonksiyonlarda hayati bir rol oynar. SNP, farklı fizyolojik süreçleri kontrol etmede genotipli rolleri olan ve bitki biyolojisinde önemli bir figür haline gelen kimyasal formülü $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$ olan bir NO vericisidir (Fancy ve ark., 2017). Bitkilerde NO sinyal yollarını düzenlemede kritik bir rol oynar. Bitki hormonları, bitki büyüme, gelişme ve stres yanıtlarında hayati öneme sahiptir (Antoniou et al., 2013). NO, büyüme, gelişme ve stres tepkileri de dahil olmak üzere genotipli hücrel fonksiyonlar için hayati öneme sahip küçük bir molekül sinyal gazıdır (Farnese ve ark., 2016).

SNP, tarım ve biyoteknolojide, bitki gelişimine ve stres toleransının artırılmasında kullanışlı bir madde olarak önemli potansiyele sahiptir (Telem ve ark., 2016). SNP'nin önemli sinyal yollarını ve fitohormonları modüle etmesi gibi birçok etkisi, sürdürülebilir tarım ve tarımsal verim için genotipli potansiyel kullanım alanları açmaktadır (Anderson ve ark., 2019). SNP'nin, bitkilerde stres toleransını artırma kapasitesi, ana uygulamalarından biridir. SNP, kuraklık, tuzluluk ve şiddetli sıcaklıklar gibi abiyotik streslerin olumsuz etkilerini azaltarak zorlu çevresel koşullarda tarımsal performansı ve üretimi artırabilir (Marone ve ark., 2021). Kuraklık stresi sırasında hücrel hidrasyonu korumak için gereken su tüketimi verimliliği ve stomaların kapanması, SNP'nin ABA sinyalleşmesini kontrolü ile mümkün olur (Anu ve ark., 2022). Ayrıca, SNP'nin iyon taşıyıcılarını ve ROS sinyalleşmesini modüle etmesi sayesinde bitkiler iyon toksisitesine ve tuzluluk stresine direnç gösterir (Singh ve Singh, 2015). Dahası, SNP'nin termotoleransı artırma katkısı, iklim değişikliği durumunda tarım verimini koruma konusunda umut verici olanaklar sunmaktadır (Fahad ve ark., 2021).

SNP, tarımda zararlılar ve hastalıkların yönetimi için umut vadeden bir adaydır çünkü bitkilerin biyotik streslere karşı savunmasında rol oynar (Xu, 2010). SNP, savunma mekanizmalarını etkinleştirebilir ve fitohormonlar gibi SA, JA ve etilen ile etkileşerek, otçullar ve patojenlere karşı antimikrobiyal kimyasalların ve uçucu organik bileşiklerin oluşturulmasını tetikleyebilir (Bekele ve Phillips-Mora, 2019). Kimyasal böcek ilaçlarına olan azalan bağımlılığı ile SNP uygulamasının bitki bağışıklığını artırma potansiyeli, sürdürülebilir ve çevresel olarak faydalı bir zararlı kontrol yöntemi sunar (Bhat ve ark., 2022). Ayrıca, SNP'nin bitki gelişimini ve gelişimini değiştirme rolü, tarımı geliştirme stratejilerini etkiler. SNP, tohum çimlenmesi, fidan büyümesi, kök gelişimi ve çiçeklenme

süresini etkileyerek bitki mimarisini, biyomas üretimini ve üreme verimliliğini artırır (Saxena ve Varshney, 2017). SNP, meyve gelişimi ve renk, lezzet ve besin içeriği gibi kalite özellikleri üzerinde olumlu etkileri nedeniyle tarım değerini ve pazarlanabilirliği artırma potansiyeline sahiptir (Wani ve Kumar, 2020).

Betain ($\text{CH}_3\text{NO}_2\text{H}_2\text{O}$) melastan elde edilen bir amino asittir. Betain kokusuz, renksiz, alkolde ve suda çözünebilen toksik etkisi olmayan çevre dostu bir maddedir. Bu özelliği nedeniyle Betainin son yıllarda bitkilerde büyüme düzenleyici olarak kullanılması artmıştır (Gökdoğan ve Bürün, 2015). Glisin Betainin dışsal uygulaması bitkilerin streslere karşı toleransını artırır. Abiyotik streslere karşı yapılan tolerans çalışmaları, bitkilerdeki stres dayanıklılığında GB'nin birikmesi, stres dışı koşullar altında verim artışlarına neden olur (Chen T. H.H. ve Murata N, 2008).

Salisilik asit (SA), bitkilerde yaygın olarak bulunan çok işlevli fitohormonlardan biridir. Fitohormonlar arasında SA, birçok bitkide abiyotik stres toleransı sorunlarını hafifletmek için alternatif, çevre dostu ve uygun bir kimyasal düzenleyici olarak düşünülmüştür. (Jiang ve Asami, 2018) bildirdiği gibi, SA bitki büyüme ve gelişim aşamalarının stres koşullarına tepkisini düzenlemede etkilidir. (Wani ve ark. 2016) 'a göre; SA'nın abiyotik stres altında büyüyen bitkilere yanıt olarak farklı sinyal iletim yollarının düzenlenmesi için daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Dış ve iç uyaranların düzenlenmesi, SA'nın bitkilerin gelişim süreçlerinde meydana gelen önemli değişikliklere katkıda bulunur (Kazan, 2013). SA, abiyotik strese maruz kalan bitkilerde sinyal moleküllerinden biri olarak bilinmektedir (Jahan vd., 2019). Bu nedenle, SA'nın abiyotik stresin olumsuz etkilerini hafifletmek için uygun ve etkili olduğu varsayılmıştır. SA ayrıca bitkilerin kaliteli üretimi için de faydalıdır (Li vd., 2021). Abiyotik stres koşullarında SA kullanımı birçok fizyolojik, biyokimyasal ve fotosentetik pigmentler ve moleküler mekanizmaları düzenlenir.

SA, abiyotik stresten kaynaklanan olumsuzluklarla başa çıkmak için mükemmel bir yeteneğe sahip olan umut verici fitohormonlardan biridir. SA, biyoaktif bileşiklerin üretimini artırma ve bitki savunma sistemlerini stresli koşullara karşı etkinleştirme potansiyeline sahiptir (Mahpara ve ark., 2019). Bu nedenle, SA kullanımı, abiyotik stres koşullarında yetişen bitkilerinin üretimi için etkili ve destekleyicidir. SA'nın uygulanması, bitki savunma sistemlerini iyileştirdiği için abiyotik stres koşullarına maruz kalan bitkilerin sürdürülebilir üretimi için gereklidir. Bu nedenle, fitohormonların (SA) eksojen kullanımı, bitkilerde abiyotik stres toleransının hafifletilmesi için en etkili ve umut verici yöntemdir. Dolayısıyla, sürdürülebilir verimler için SA'nın eksojen kullanımının bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerini keşfetme ihtiyacı vardır.

Jasmonik asit (JA), bitkilerde stresle ilişkili bir hormon olarak tanımlanan endojen bir büyüme düzenleyici maddedir. Benzer şekilde, eksojen olarak uygulanan JA'nın da bitkiler üzerinde düzenleyici bir etkisi vardır. Abiyotik stres genellikle büyük ölçekli bitki hasarına neden olurken JA bu olumsuz etkileri azaltmada etkin olabilmektedir.

Tuz stresi, bitki metabolizmasını bozarak oksidatif stres, beslenme bozuklukları, membran sorunlarına yol açar. Hem endojen hem de eksojen JA bitki tuz stresine toleransı artırabilir.

(Abouelsaad ve ark., 2018) yaptıkları bir çalışmada, endojen JA'nın domateste tuz toleransını, reaktif oksijen türleri (ROS) arasındaki homeostazın korunması yoluyla artırdıklarını bulmuşlardır. Ancak, diğer çalışmalar, eksojen JA uygulamalarının artmış fotosentetik oranlar, prolin içeriği, ABA seviyeleri ve antioksidan enzim aktivitesi ile genotipli bitkilerde tuz tarafından indüklenen hasarı azalttığını veya sürgünlerde Na^+ birikim hızlarında azalmalar yoluyla azalttığını bildirmişlerdir. (Shahzad ve ark., 2015)'a göre; eksojen JA'nın iki mısır genotipinde kökte Na^+ alımını azaltarak Na^+ dışarı atılmasını iyileştirebileceğini gözlemlemiştir.

(Qiu ve ark., 2014) yaptıkları bir çalışmada, eksojen JA'ya üç gün maruz kalmanın buğday fidelerinde malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltarak buğday fidelerinin tuz stresine toleransını artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca, transkript seviyeleri ile SOD, peroksidaz, CAT ve APX aktiviteleri önemli ölçüde artmıştır. Bu sonuçlar, JA'nın antioksidatif bileşiklerin konsantrasyonlarını ve antioksidan enzim aktivitesini artırarak tuz stres toleransını kolaylaştırabileceğini göstermektedir.

Potasyum silikat, bitki biyostimülantı ve yüksek çözünürlüklü potasyum ve silikon kaynağıdır (Felisberto G ve ark., 2021). Tarımsal ürünlerde genellikle kaliteyi ve verimi artırmak için küçük miktarlarda potasyumun bir değiştiricisi ve tedarikçisi olarak kullanılır (Vijayan ve ark., 2021). Potasyum silikat, bitkisel büyümeyi, verim bileşenlerini ve mineral besin maddeleri olan azot, fosfor ve potasyum konsantrasyonlarını artırır. Ayrıca, şeker ve nişasta oluşumu, protein sentezi, hücre bölünmesi, büyüme ve meyve verimi gibi fizyolojik fonksiyonları etkiler (Asgari ve ark., 2021; Baddour ve ark., 2021). Bazı çalışmalara göre, K_2SiO_3 tuz stresi sırasında enzimatik antioksidanların aktivitesini artırarak membran fonksiyonunu korur (Zhang ve ark., 2021).

Silikon, özellikle tuz stresinin ve oksidatif stresin negatif etkilerini en aza indirmede en önemli elementlerden biri olarak kabul edilebilir. Si, tuz stresi altında bitki potansiyelini Na^+ emilimini azaltarak ve yapraklardaki K^+ emilimini artırarak artırır (Rodrigues ve ark., 2009). Bu nedenle, Si kök yapısını, bitki büyümesini, fotosentez ve su ilişkilerini iyileştirebilir (Liangh ve ark., 2003). Potasyum bitkinin temel elementlerinden biridir ve şeker ve nişasta oluşumu, protein sentezi, hücre bölünmesi, büyüme, tohum boyutu ve kalitesinde önemli bir rol oynar. Potasyumun kök uzunluğunu, bitkisel büyümeyi ve ozmoregülasyonu uyardığı ve klorofil pigmentleri, stomata hareketi ve su durumu gibi fizyolojik süreçleri artırdığı gösterilmiştir (Hasanuzzaman ve ark., 2018).

Potasyumun iyonik dengeleri ve antioksidan enzimatik aktivitesini artırdığı gösterilmiştir (Ahmad ve ark., 20016). Bu nedenle, bitkilerde tuz stresinin zararlı etkisini en aza indirmek için kullanılabilir. Potasyum silikat, verimle ilgili özellikleri, tohum verimi ve kalitesi ve besin (N, P ve K) alımını artırabilir (Gomaa ve ark., 2021). Bazı raporlar, potasyum silikatın bitki gelişimi, üretimi ve kalitesini etkili bir şekilde etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle, tuzluluk stresi sırasında enzimatik antioksidanların aktivitelerini artırarak plazma membran fonksiyonlarını korumak, geçirgenliği kontrol etmek, kök aktivitesini artırmak ve gerekli besin maddelerini almak için kökün

yeteneğini güçlendirmiştir. Sonuç olarak artmış kök aktivitesine katkıda bulunabilir (Hafez ve ark., 2021; Liang, ve ark., 2007).

Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) dünya genelinde en fazla tüketilen baklagil bitkisidir. Orta ve Güney Amerika ülkeleri anavatanı olarak bilinen fasulyenin tahmin edilen verilere göre 7000 yıl öncesinde Peru'da İnka'lar tarafından kültür bitkisi amacıyla yetiştirildiği bildirilmiştir (Graham ve Ranalli, 1997; Şalk ve ark., 2008; Özkaya ve Sarıcan, 2014). Türkiye'deki görülme zamanı tam olarak bilinmemesine rağmen yaklaşık 250-300 yıllık bir geçmişinin olduğu tahmin edilmektedir. (Eşiyok, 2012).

Fasulye, dünyada ekim alanı ve üretimi yönünden yemeklik tane baklagiller içerisinde ilk sırada bulunurken; yaygın şekilde kuru tane ve taze sebze olarak tüketilmektedir. Dünyada fasulye yetiştiriciliği 257185 ha alanda yapılmaktadır ve 63695 100g/ha verim alınmaktadır. Türkiye'de 4505 ha alanda fasulye yetiştiriciliği yapılmaktadır. 84713 100g/ha verim alınmaktadır (FAOSTAT, 2022)

Ülkemizde yetiştiriciliği yapılan fasulyeler *Phaseolus vulgaris* türü içinde yer almaktadır ve büyüme şekillerine göre bodur, sırlık ve yarı sırlık olarak 3 gruba ayrılmaktadır (Mızrak, 2020). Fasulye insan beslenmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Tohumlu baklaları taze olarak tüketilebildiği gibi konserveye işlenerek, dondurularak veya kurutulularak da tüketilebilir. Fasulyenin tohumları kuru bakliyat olarak değerlendirmektedir (Mızrak, 2020). Karbonhidrat taze fasulyede en fazla miktarda bulunan makro besindir. Fasulye lif bakımından zengindir ve yağ oranı düşüktür. Minerallerden demir, kalsiyum ve fosfor gibi mineralleri içermektedir. Yeşil fasulyenin, C vitamini içeriği yüksek olmasından kaynaklı bağışıklık sistemini güçlendirmektedir. Fasulye, yaşlanmanın etkilerini azaltmayı sağlayan A vitamini içeriği yönünden zengindir. Lutein içeriği yüksek bir besin olan fasulye genotipli kanser genotiplerine karşı koruyucu bir besindir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, yeşil fasulye antioksidan yönünden ve fenolik maddeler yönünden oldukça zengindir.

1.1. Amaç

Yapılan bu tez çalışmasında tuz stresine tolerant ve duyarlı fasulye genotiplerinde jasmonik asit, salisilik asit, glisin betain, nitrik oksit, silikon, melatonin dozlarının bitki büyüme parametreleri üzerine etkisini belirlenmesi ve tolerant genotiplerde dayanıklılığın daha da artırılması ve tuz stresinin yaratacağı etkinin azaltılması, duyarlı genotiplerde fasulye bitkisinde tuz stresinin yaratacağı zararlı etkilerin azaltılıp tolerant genotiplere yaklaştırılması da amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Glisin Betain

Sofy ve ark. (2020)'ı yaptıkları çalışmada; sırık fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) bitkisinde NaCl stres toleransını artırmada eksojen glisin betainin (GB) (bitki başına 50 ml'de 25 ve 50 mM GB'in) rolünü bildirmiştir. Bitkilerin 0, 50 ve 100 mM sodyum klorür (NaCl) içeren tuzlu su ile sulanması, büyüme dinamiklerini, fotosentetik pigmentleri (örneğin, Chl a, Chl b ve karotenoidler), membran stabilite indeksini (MSI), yaprak oransal su içeriğini (YOSİ) ve bakla verimini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Buna karşın, malondialdehit (MDA), endojen prolin ve glutatyon içerikleri, elektrolit sızıntısı (EL), antioksidan savunma sistemi ve Na⁺ birikimi NaCl stresine maruz kalma sonucunda belirgin şekilde artmıştır. Eksojen GB uygulaması, antioksidan savunmayı, hem enzimatik (örneğin, peroksidaz, süperoksit dismutaz ve katalaz) hem de enzimatik olmayan (örneğin, prolin ve glutatyon) ajanları artırarak sırık fasulyenin tuz toleransını önemli ölçüde iyileştirdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, MSI, YOSİ, EL ve fotosentetik pigmentler kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Ayrıca, bitkiler 50 ve 100 mM NaCl altında yetiştirildiğinde, 25 mM GB ile püskürtülmeleri durumunda bakla verimi sırasıyla %29.8 ve %59.4 artmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yapraklara GB uygulanması, Na⁺ birikimini önemli ölçüde azaltırken, aynı zamanda K⁺ alımını artırarak daha yüksek bir K⁺/Na⁺ oranını korumuştur. GB'nin tuz toleransını artırmadaki potansiyel rolü, esas olarak Na⁺ alımını sınırlayarak ve alternatif olarak K⁺ birikimini artırarak iyon alımının düzenlenmesine bağlı olduğu bildirilmiştir.

Desoky ve ark. (2019)'nın yaptığı çalışmada, glisin betain (GB) uygulamasının tuzluluk stresi (50 ve 100 mM NaCl) altındaki snapbean cv. Bronco'nun büyüme, fizyokimyasal analizleri ve verimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. NaCl uygulanan bitkilerde büyüme parametreleri, klorofil içeriği ve yeşil bakla verimi önemli ölçüde azalmıştır. Ancak; yapraklara uygulanan GB, NaCl'nin oluşturduğu stresi detoksifiye etmiş ve yukarıda belirtilen parametreleri önemli ölçüde iyileştirmiştir. Tuzluluk stresi elektrolit sızıntısını (EL) artırmış, membran stabilite indeksini (MSI) ve yaprak oransal su içeriği (YOSİ) azaltmıştır. GB'nin yapraktan uygulanması ise MSI ve YOSİ'yi artırmış ve EL'yi en aza indirmiştir. Prolin içeriği ve antioksidan enzimler, NaCl stresine ve GB uygulamasına yanıt olarak önemli ölçüde artmıştır.

Eisakhani ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada; toprak tuzluluğu, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tüm dünyada bir endişe kaynağı olduğundan, bu çalışma kırmızı fasulye bitkilerinde tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletmeyi amaçlamıştır. Bu çalışma, üç tuzluluk seviyesinde (0, 3 ve 6 dS/m NaCl) bitkiler üzerindeki çinko (Zn; 0 ve 25 ppm), manganez (Mn; 0 ve 25 ppm) ve glisin betain (GB; 0 ve 50 ppm) etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, GB uygulamasının tuzluluk stresi altında bitki büyüme indekslerini; bitki boyu, dal sayısı, bitki başına bakla sayısı ve bitki başına tohum ağırlığını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Ayrıca, GB, Zn ve Mn uygulamaları, tuz stresine kıyasla kontrol grubuna göre klorofil, protein ve prolin içeriklerini

önemli ölçüde artırırken, malondialdehit (MDA), elektrolit sızıntısı (EL), katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) seviyelerini düşürmüştür. Sonuçlara dayanarak, GB, Zn ve Mn, kırmızı fasulye bitkilerinde tuzluluk stresinin olumsuz etkilerini hafifletmiştir.

Melatonin

Azizi ve ark. (2022)'nin bildirdiğine göre; bitkiler doğal ortamlarında birçok stresle karşı karşıya kalırlar. Farklı türde fitohormonlar bitkinin stresli koşullara uyum sağlamasına yardımcı olur. Melatonin bitki aleminde yeni tanınan bir madde olup bitkiler için stresi hafifletmede etkilidir. Bu çalışmada, 100 ve 200 mM NaCl konsantrasyonlarına maruz kalan *Phaseolus vulgaris* L. cv. *Pak* üzerinde melatonin etkisi incelenmiştir. Stres altındaki bitkiler ve kontrol grubu (0 mM NaCl) 100, 200 µM melatonin konsantrasyonları ile işlenmiştir. Melatonin uygulaması, tuzluluğun sürgün, kök ve fotosentetik pigmentlerin kuru ağırlığı, net fotosentez hızı, yaprak stoma iletkenliği, transpirasyon hızı, K⁺, Na⁺ ve Ca²⁺ içeriği, ve K⁺/Na⁺ oranı üzerindeki etkilerini iyileştirmiştir. Melatonin uygulaması, tuzluluk stresi tarafından artan malondialdehit ve H₂O₂ içeriğini azaltırken prolin ve şeker içeriğini artırmıştır. Ayrıca, melatonin katalaz, peroksidaz, askorbat peroksidaz, polifenol oksidaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini artırmıştır. Genel olarak, daha düşük melatonin konsantrasyonlarının fasulye bitkisi üzerindeki tuzluluk stresine bağlı hasarı önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.

Askari ve ark. (2023)'nin bildirdiğine göre; melatonin (N-asetil-5-metoksitriyotamin), toksik olmayan biyolojik bir sinyal molekülü ve güçlü bir antioksidandır ve bitkilerin tuzlu koşullarda büyümesini iyileştirebilir. Bu çalışmada, melatoninin beyaz fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinde tuzluluk stresini hafifletme yeteneğini araştırılmıştır. Dışardan verilen melatoninin 0, 25, 50 ve 100 mM konsantrasyonları, tuzsuz (0 mM NaCl) ve tuzlu (150 mM NaCl) koşullarda yetişen beyaz fasulyelere uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 150 mM NaCl'nin yaprak alanını (%35), sürgün uzunluğunu (%29), kök uzunluğunu (%56) azalttığını, Na⁺ girişinin (%45) arttığını ve membran hasarının (MDA) (%50) arttığını göstermiştir.

Ancak, melatonin uygulamaları tuzluluk stresinin negatif etkilerini hafifletmiştir. Artan melatonin konsantrasyonları bitki stres toleranslarıyla doğrudan orantılıydı ve 100 mM melatoninin büyüme parametrelerini ve antioksidan kapasiteyi artırma konusunda önemli sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde 100 mM melatonin, kontrol bitkilerine kıyasla yaprak alanını %45, bitki uzunluğunu %55 ve bitki ağırlığını %54 artırmıştır. Melatonin uygulanan bitkilerde (özellikle 100 mM) kontrol grubuna kıyasla polifenol (%37), prolin (%27) ve askorbik asit (%38) gibi enzimatik olmayan antioksidanların birikimini artırmıştır. Ek olarak, dışardan verilen melatonin (100 mM), antioksidan enzim savunma sisteminin aktivitelerini artırarak süperoksit dismutazı %50, peroksidazı %68, katalazı %63 ve askorbat peroksidaz enzimlerini %68 oranında artırmıştır. Benzer şekilde, Na⁺ girişleri önemli ölçüde subtoksik seviyelere düşerken, yüksek dışardan verilen melatonin uygulamalarında K⁺ seviyeleri ve K⁺/Na⁺ oranı artmıştır. Sonuç olarak,

melatonin uygulaması antioksidan kapasiteyi artırarak ve iyon homeostazını koruyarak tuzluluk stresine direnci artırmıştır.

El-Ghany ve ark. (2020)'nın bildirdiğine göre; toprak tuzluluğu, bitki büyümesi ve gelişimini etkilediği için tarım için büyük bir tehdittir. Yapılan çalışmada, tuzluluk stresinin hafifletilmesi stratejisi olarak çevre dostu biyostimulanların entegrasyonuna odaklanılmaktadır. Bakla bitkilerinin büyüme ve üretiminde tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletmek için ekzopolisakkarit (EPS) üreten bakterilerin (*Azotobacter chroococcum*) ve melatoninin farklı konsantrasyonlarında (0, 25, 50 ve 100 μ M) kullanılmasını araştırmak amacıyla tuzlu ve tuzlu olmayan toprak olmak üzere iki farklı lokasyonda tarla denemeleri yapmışlardır. Tuzluluk stresi, tuzlu toprakta yetiştirilen bakla bitkilerinin, tuzsuz toprakta yetiştirilen bitkilere göre tüm ölçülen parametrelerde azalmaya neden olmuştur. Bakteri ve melatonin eklenmesi, her iki toprak altında da büyüme parametrelerini ve verim bileşenlerini, ilgili kontrol bitkilerine göre önemli ölçüde artırmıştır. Hem bakteri inokülasyonu hem de melatonin uygulaması, N, P ve K konsantrasyonlarını; prolin içeriğini; % YOSİ oranını ve K^+/Na^+ oranını artırmıştır; Na^+ ve Cl^- konsantrasyonları tuz stresine maruz kalan bakla da önemli ölçüde azalmıştır. Bakteri ve melatoninin birlikte kullanımı en yüksek uyarıcı etkileri göstermiştir. Bu çalışma, baklanın tuzluluk stresi yönetim stratejisi için EPS üreten bakterilerin ve melatoninin birlikte kullanımını önermektedir.

Salisilik Asit

Youssef ve ark. (2023)'nın bildirdiğine göre; salisilik asit (SA), tuzluluğun düzenlenmesinde kullanılacak en güçlü adaylardan biridir. Salisilik asidin yaprağa uygulanmasının (0.00, 0.75 ve 1.50 mM) etkisini üç farklı NaCl seviyesine (0, 50 ve 100 mM) maruz kalan Fransız fasulyesi (*Phaseolus vulgaris* L.) üzerindeki büyüme, verimlilik ve bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerinde değerlendirmek için hidroponik bir deneme yapılmıştır. NaCl uygulaması önemli ölçüde vegetatif büyüme parametrelerini (%16-50 arası), membran stabilitesini (%10-15), göreceli su içeriğini (%25-31), klorofil içeriğini (%21-42), makro ve mikro besin düzeylerini (%13-52 ve %4-49), büyümeyi teşvik edici maddeleri (oksijen, gibberellinler ve sitokinler; %11-28), ve yeşil bakla verimini (%22-39) azaltırken, fenolik bileşikler içeriği (%35-55), toplam antioksidan kapasite (%34-51), prolin (%60-100) ve malondialdehit (%18-51) içeriği, peroksidaz aktivitesi (%35-41), Na^+ (%122-152) ve Cl^- (%170) iyonları ve absisik asit içeriği (%20-30) tuz stresine maruz kalmayan kontrol gruplarına kıyasla önemli ölçüde artmıştır. SA'nın yaprağa 0.75 mM uygulanması, NaCl stresinin olumsuz etkilerini değişken ölçüde azaltabilmiş ve kontrol bitkilerinin veriminin neredeyse %90'ına ulaşılmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, SA'nın yaprak püskürtmesinin, bazı fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin düzenlenmesi yoluyla Fransız fasulyesi üzerindeki NaCl stresinin zararlı etkilerini azaltmaya yardımcı olduğunu göstermektedir.

Mahdavian K. (2021)'a göre; toprak tuzluluğu tarımsal ürünlerin yetiştirilme alanlarının gelişimi için kritik bir zorluk oluşturur. Bu çalışmada, eksojen salisilik asit (SA 0, 0.75 ve 1.5 mM) ve kalsiyum klorür (CaCl_2 0, 50 ve 100 mM) uygulamalarının tek başına veya birlikte fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) tuz stresine (0, 25 ve 75 mM NaCl) maruz kalmış bitkilerin büyüme, fotosentetik pigmentler (toplam klorofil (Chl), karotenoidler, antosiyanin) ve bazı metabolik parametreler üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre, eksojen SA veya kalsiyum (Ca) uygulamasının NaCl stresi altındaki bitki performansını iyileştirdiğini göstermiştir. Tuz stresi altında büyüme yavaşlamıştır. Malondialdehit (MDA), DPPH radikali (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil), antosiyanin ve prolin içeriği tuz stresi altında artmıştır. Bununla birlikte, SA ve Ca uygulaması büyüme parametrelerini artırmış, Chl, karotenoidler ve indirgeyici şeker içeriğini iyileştirmiş ve bitkilerde MDA ve DPPH radikalini önemli ölçüde azaltmıştır. Dolayısıyla, SA ve Ca uygulaması sonucunda tuz stresine tolerans, antioksidan cevapların düzenlenmesiyle ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Sonuç olarak, eksojen SA ve Ca uygulaması antioksidan sistemini düzenleyerek tuz stresine toleransı artırmıştır.

Kurt ve ark. (2023)'nın yaptığı çalışmanın amacı; tuzluluk stresi altında yetiştirilen soya fasulyesinde salisilik asitin morfolojik ve biyokimyasal değişimlerini gözlemlemektir. Çalışmada "İlksoy" soya fasulye çeşidi kullanılmıştır. Dört farklı salisilik asit dozu (0, 0.5, 1 ve 1.5 mM) ve 3 farklı NaCl tuz dozu (0, 150 ve 300 mM) uygulanmıştır. Kök-gövde uzunluğu, kök-gövde taze ağırlığı, kök-gövde kuru ağırlığı, yaprak alanı, klorofil içeriği, yaprak dokularında iyon sızıntısı (ILLT), lipid peroksidasyon seviyesi (MDA), yaprak oransal su içeriği (YOSİ) ve yaprak dokularında membran direnci (MRLT) gibi bitki ile ilgili özellikler belirlenmiştir. Tuz dozları arttıkça, soya fasulyesi bitkilerinin gövde taze ağırlığı azalmış ve en düşük değer 1.26 g ve 300 mM tuz konsantrasyonunda elde edilmiştir. En yüksek MDA içeriği (0.75 nmol g⁻¹ FW) ve en düşük klorofil içeriği (39.46 SPAD) 300 mM NaCl dozu uygulandığında elde edilmiştir. Yapılan çalışmadan, tuz stresi uygulamalarıyla birlikte gövde uzunluğu, kök, gövde taze ve kuru ağırlıkları, YOSİ, MRLT, yaprak alanı ve klorofil oranının azaldığı, ancak MDA ve ILLT değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, tuz stresi altında kök-gövde taze ağırlıkları ve klorofil içeriğinde bir azalma gözlenmiştir.

Potasyum Silikat

Oral ve ark. (2020)'nin yaptığı bu çalışmada; farklı tuz (NaCl) doz uygulamaları (kontrol, 50, 100 ve 150 mM) altında yetiştirilen fasulye bitkisinde (*Phaseolus vulgaris* L.) silikon uygulamalarının (kontrol, 50, 100 ve 200 ppm) bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığı, kök ve gövde kuru ağırlığı, yaprak alanı indeksi, SPAD indeksi, yaprak dokularında iyon sızıntısı, yaprak dokularında membran direnç indeksi ve malondialdehit (MDA) seviyesi gibi parametreler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre incelenen tüm parametreler üzerindeki tuz stresinin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir. Tuz stres koşullarının yaprak dokularında

iyon sızıntısına neden olduğu ve MDA hariç tüm parametrelerde azalmaya yol açtığı belirlenmiştir. Yaprak dokularındaki yaprak oransal su içeriği, yaprak dokularındaki iyon sızıntısı ve yaprak dokularındaki membran direnç indeksi dışındaki tüm diğer parametreler üzerindeki silikon uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Parande ve ark. (2013)'nın bildirdiğine göre; silikon kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslerin etkilerini azaltan bir bileşendir. Tuzlu stres koşullarında fasulyenin verimi ve verim bileşenleri üzerindeki silikonun etkisini araştırmak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar, 5 seviyede toprak tuzluluğu (1, 2, 3, 4, 5 ds/m) ve 4 seviyede silikon (0, 0.5, 1, 2 mM) içermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, tuzluluğun artmasının, bakla başına tohum sayısında, verimli bakla sayısında ve kuru madde miktarında önemli bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Silikon uygulaması ve tuzluluk stresi arasındaki etkileşim etkisi, 100 tohum ağırlığı ve fasulye verimi üzerinde anlamlı bulunmuştur. Silikon uygulaması, tuzlu ortamlarda 100 tohum ağırlığını ve fasulye verimini önemli ölçüde artırmıştır. En yüksek 100 tohum ağırlığı (56.1) ve tane verimi (144.2 g/m²), 1 ds/m tuzluluk seviyesinde 1 mM Si konsantrasyonunda elde edilmiştir. Sonuç olarak, tuzluluk koşullarında silikon kullanmanın, fasulye bitkisinde verim bileşenleri üzerindeki tuzluluğun zararlı etkilerini azalttığı belirlenmiştir.

Hafez ve ark. (2021)'nin bildirdiğine göre; bakla, çoğu baklagil bitkisi gibi, tuzlu toprak ve tuzlu suya orta derecede hassas bir bitki olarak kabul edilir. Bu bağlamda, 2018/2019 ve 2019/2020 ardışık kış sezonlarında, tuzdan etkilenen bir toprakta, taze su veya tuzlu su ile sulanan bakla bitkilerinin toprak kalitesini, performansını ve verimliliğini korumak için bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) ve potasyum (K) silikatın birlikte kullanımının etkilerini araştırmak için bir tarla deneyi yapılmıştır. Tuzlu su ile sulama koşulları altında PGPR ve K silikatın birlikte kullanımının, topraktaki değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) seviyelerini azaltma ve bazı toprak enzimlerinin (üreaz ve dehidrogenaz) aktivitesini teşvik etme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Tuzluluk stresi PGPR ve K silikat uygulaması, bakla bitkisinin vejetatif büyümesini teşvik etmiş, kök uzunluğu ve nodülasyon gibi özelliklerde iyileşme sağlamıştır. Bu da K⁺/Na⁺ iyon dengesinin yeniden sağlanmasına yol açmış, enzimatik antioksidanların (CAT, POD ve SOD) aktivite seviyesini tuzlu su ve kontrollerle karşılaştırıldığında azalmasına veya dengelemesine neden olmuştur. Bitki büyümesini, besinlerin (N, P ve K) alımını ve taşınmasını artırmış ve nihayetinde verim özelliklerini (bitki başına bakla sayısı, bakla başına tohum sayısı, 100 tohum ağırlığı) iyileştirmiştir. Sonuç olarak, PGPR ve K silikatın birlikte uygulanması, tuz stresinin zararlı etkilerini hafifletirken bitki büyümesini ve verimliliği artırarak kârlı bir strateji olarak kabul edilmektedir.

Jasmonik Asit

Waheed ve ark. (2023)'nin bildirdiğine göre; jasmonik asit (JA) büyümeyi ve çevresel streslere karşı savunmayı düzenleyen bir lipid türevi bileşiktir. Bu çalışmada, farklı tuz konsantrasyonlarında (0, 75 ve 150 mM NaCl) yetiştirilen fasulye bitkileri (*Phaseolus vulgaris* L.)

üzerinde dışarıdan uygulanan yaprak JA uygulaması (JA; 0,5 mM) incelenmiştir. Sonuçlara göre, tuz konsantrasyonları malondialdehit (MDA) seviyelerinde artışa neden olurken, klorofil içerik indeksini düşürmüştür. Buna karşılık, JA uygulaması MDA seviyesini azaltırken klorofil içerik indeksini artırdı. Ayrıca, artan tuzluluk seviyeleri, prolin, fenolik bileşikler, flavonoidler, serbest amino asit konsantrasyonları ve askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) aktivitelerini artırmıştır. Ek olarak, JA uygulamaları, artan tuzluluk stres seviyeleriyle birlikte bu konsantrasyonları daha da artırmıştır. JA uygulaması, tuz kaynaklı ozmoletleri ve non-enzimatik antioksidanları artırırken, enzimatik antioksidan aktivitesini de artırarak fasulye bitkilerinin tuzluluk stresine uyum sağlayabileceğini ve güçlü bir antioksidan mekanizmasına sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, dışarıdan uygulanan JA yaprak uygulamalarının, fasulye bitkilerinin antioksidan mekanizmasını ve ozmoletlerini artırarak tuz toleransını artırabileceğini göstermiştir.

El Nahhas ve ark. (2021)'nın yaptığı bir çalışmada; yapraktan uygulanan 0.5 mM jasmonik asit (JA) uygulamasının ve toprak iyileştirici olarak biyokömür kullanımının tuzluluk koşulları altında bakla (*Vicia faba L. Sakha 4*) üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Tuz stresi, yaprak sayıları, yaprak alanları, bitki büyümesi, klorofil içeriği, nispi su içeriği ve verim parametrelerinde önemli düşüşlere neden olmuştur. Buna karşılık, reaktif oksijen türleri, prolin konsantrasyonu, malondialdehit seviyeleri ve elektrolit sızıntısı, 1500 ve 3000 ppm sodyum klorür (NaCl) tuzlanma koşullarında belirgin şekilde artmıştır. Süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz ve glutatyon redüktaz gibi enzim aktiviteleri de özellikle yüksek tuzluluk stresi (3000 ppm) altında artmıştır. Biyokömür, jasmonik asit veya bunların kombinasyonunun uygulanması, tuz stresine maruz kalan bitkilerde katalaz, süperoksit dismutaz ve glutatyon redüktaz aktivitelerini önemli ölçüde azaltarak, özellikle 1500 ppm NaCl stresinde, kontrol (stresiz) bitkilerin değerlerine yaklaştırdı. Hem biyokömür hem de jasmonik asit tedavileri, tuzluluğun zarar verici etkilerini hafifleterek bitki boyunu, yaprak alanını, nispi su içeriğini ve klorofil konsantrasyonlarını iyileştirmiştir. Ayrıca bu uygulamalar, iki ardışık sezonda bitki verimliliğini, çiçek sayısını, bitki başına tohum sayısını ve 100 tohumun ağırlığını artırmıştır. Sonuç olarak, biyokömür ve jasmonik asit içeren uygulamaların, tuzluluk stresinin baklalar üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmek için umut verici olduğunu ve tuzlu ortamlarda ürün dayanıklılığını ve verimliliğini artırmak için potansiyel stratejiler sunduğu belirlenmiştir.

Mohi-Ud-Din ve ark. (2021)'nin bildirdiğine göre; kuraklık stresi, bitkilerin normal büyümesi ve gelişmesini genotipli mekanizmalar aracılığıyla etkileyerek hücrel oksidatif streslerin indüklenmesi de dahil olmak üzere bir dizi olumsuz etkiye neden olur. Bu çalışmanın amacı, metil jasmonat (MeJA) ve salisilik asit (SA) gibi dışarıdan uygulanan maddelerin kuraklık stresi altındaki fasulye bitkilerinin büyüme, fizyoloji ve antioksidan savunma sistemi üzerindeki etkisini değerlendirmektir. MeJA (20 µM) veya SA (2 mM) uygulaması tek başına kuraklığın zararlı etkilerinde azalmalara neden olmuştur. Ancak kombinasyonlu uygulama, fizyolojik aktiviteleri ve antioksidan savunma sistemi üzerinde önemli ölçüde iyileştirme yaparak kuraklık toleransını önemli

ölçüde artırmıştır. Tohumlar veya yapraklar MeJA (10 µM) ve SA (1 mM) kombinasyonu ile ön işlem yapıldığında, yapraklardaki $O_2^{\bullet-}$ ve H_2O_2 üretimi, MDA içeriği ve Liposigenaz (LOX) aktivitesi tek başına herhangi bir hormonla ön işlem yapılanlara göre önemli ölçüde daha düşüktür. MeJA ve SA'nın kuraklık stresine maruz kalan bitkilere kombinasyonlu uygulanması, aynı zamanda süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz, glutatyon peroksidaz ve glutatyon-S-transferaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini ve askorbat-glutatyon döngüsü enzimlerini de önemli ölçüde artırmıştır. Tüm bu sonuçlar bir araya getirildiğinde, MeJA ve SA'nın kombinasyonlu tohum veya yaprak uygulamasının, kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde antioksidan savunma sistemini tetikleyerek büyümeyi ve normal fizyolojik süreçleri yeniden sağladığını bildirmişlerdir.

Nitrik Oksit

Jabeen ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada; tuzluluğu, tarım bitkilerinin büyümesi ve verimliliğini olumsuz etkileyen önemli abiyotik stres faktörü olarak bildirmiştir. Sodyum nitroprusid (SNP) bir dış nitrik oksit (NO) vericisi bitkilere tuzluluk toleransı kazandırmak için etkili bulunmuştur. Soya fasulyesi (*Glycine max L.*) dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmektedir; ancak, tuzluluk stresi büyümesini ve verimliliğini engellemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, SNP'nin soya fasulyesi üzerindeki morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri tuzluluk stresi altında iyileştirmedeki rolünü değerlendirilmiştir. Biyokütle, klorofil ve malondialdehit (MDA) içeriği, genotipli antioksidan enzimlerin aktiviteleri, iyon içeriği ilgili veriler toplanmıştır. SNP uygulaması, antioksidan mekanizmayı düzenleyerek tuzluluk stresinin olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltmıştır. Kök ve sürgün uzunluğu, taze ve kuru ağırlık, klorofil içeriği, genotipli antioksidan enzimlerin aktiviteleri (katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve askorbat peroksidaz (APX)), SNP uygulaması altında tuzluluk stresine karşı kontrole göre iyileşmiştir. Benzer şekilde, SNP uygulanan bitkilerde tuzluluk stresi altında kök ve yaprak hücre organelinin daha az hasar gördüğü gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, SNP tuz etkili topraklarda soya fasulyesinin tuzluluk toleransını artırmak için bir düzenleyici olarak kullanılabilir.

Egbichi ve ark. (2013)'a göre; nitrik oksit (NO) bitkilerde genotipli süreçlerin düzenlenmesinde rol oynayan bir moleküldür. 16 günlük bir süre boyunca konsantrasyonu 80 mM sodyum klorür (NaCl) olan uzun süreli tuzluluk stresi, soya fasulyesi bitkilerinin sürgün, kök ve nodüllerinin azalan biyokütle ile belirgin bir şekilde etkilendiğini göstermiştir. Buna karşılık, 10 µM NO ile takviye edilmiş bitkilerde NaCl altında soya fasulyesi bitkilerinin büyümesinin arttığı, artmış sürgün, kök ve nodül ağırlıkları ve nodül sayısı ile kanıtlanmıştır. NO uygulamaları, ya NO olarak tek başına ya da NaCl ile birlikte, H_2O_2 'yi bazal seviyelere geri döndürmüştür. Bu çalışma, DETA/NO'nun uygulanmasının askorbat peroksidaz (APX) enzimatik aktivitesinde artışa neden olduğunu göstermiştir. NO'nun, soya fasulyesinde tuzluluk stresine toleransı artırma rolünün ya doğrudan H_2O_2 'yi temizleme yoluyla antioksidan kapasitesinden ya da APX aktivitesini etkinleştirmedeki rolünden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait iklim odasında ve Bitki Fizyolojisi laboratuvarında 2023 yılı ilkbahar döneminde yapılmıştır.

3.1. Bitkisel Materyal

Bitki materyali olarak Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait tohum gen havuzunda bulunan tuz stresine tolerant (BN150) ve duyarlı (BN16) fasulye genotipleri kullanılmıştır.

3.2. Antioksidan Materyalleri

3.2.1. Glisin Betain

Bu çalışmada Cayman firmasına ait resmi adı 1-karboksi- N,N,N- trimetil- metan aminyum olan Glisin Betain kullanılmıştır. Moleküler formülü $C_5H_{11}NO_2$ şeklindedir. Kristalimsi bir katı formülasyonundadır. Betainin sulu çözeltileri, kristal katının doğrudan sulu tampon çözeltilerde çözülmesiyle hazırlanabilir. Betainin PBS'de (pH 7.2) çözünürlüğü yaklaşık olarak 10 mg/ml'dir. Betain, genotipli biyolojik aktiviteleri olan bir dördümlü amonyum bileşigidir. Betainin osmoregülasyonda rolleri vardır ve homosisteinin metiyonine dönüşümünde bir metil verici olarak hizmet eder.

3.2.2. Jasmonik Asit

Çalışmada Cayman firmasına ait resmi adı 3-okso-2R-(2Z)2-penten-1R-il -siklopentanasetik asit olan Jasmonik Asit kullanılmıştır. Moleküler formülü $C_{12}H_{18}O_3$ şeklindedir. Jasmonik asit, bir bitki büyüme düzenleyicisidir ve a-linolenik asitin bir türevidir.

3.2.3. Melatonin

Cayman firmasına ait resmi adı N- [2- (5- metoksi- 1H- indol- 3- il)etil] asetamid olan Melatonin kullanılmıştır. Moleküler formülü $C_{13}H_{16}N_2O_2$ şeklindedir. Kristalimsi bir katı formülasyonuna sahiptir. Melatonin, seviyeleri günlük döngüde değişen, böylece hayvanlarda, bitkilerde ve mikroplarda genotipli biyolojik fonksiyonların sirkadiyen ritimlerinin sürüklenmesine izin veren bir indoleamin nörohormonudur. Melatonin lipidleri, proteinleri ve DNA'yı oksidatif hasara karşı koruyan güçlü bir antioksidan görevi görür. Glutatyon peroksidaz, süperoksit dismutazlar ve katalaz, melatonin tarafından yukarı doğru düzenlenir ve melatonin, bir terminal antioksidan olarak serbest radikalleri temizler.

3.2.4. Nitrik Oksit

Sigma-Aldrich firmasına ait Sodyum nitroprussid dihidrat kullanılmıştır. Moleküler formülü $\text{Na}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_5] \text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Sodyum nitroprussid dihidrat, sodyum nitroprussidin dihidrat formu olan bir hidrattır. Nitrik oksit verici ve bir vazodilatör ajan olarak rol oynar.

3.2.5. Salisilik Asit

Merck firmasına ait Salisilik asit kullanılmıştır, $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$ formülüne sahip organik bir bileşiktir. Renksiz, acı tada sahip bir katı, aspirinin (asetilsalisilik asit) öncüsü ve metabolitidir. Bitki hormonu salisilik asit fenolik bir fitohormondur ve bitki büyümesinde ve gelişmesinde, fotosentezde, terlemede ve iyon alımında ve taşınmasında rol oynayan bitkilerde bulunur. Salisilik asit, patojenlere karşı bitki savunmasına aracılık eden endojen sinyalleşmeye dahil olur. Patogenez ile ilgili proteinlerin ve diğer savunma metabolitlerinin üretimini indükleyerek patojenlere karşı dirençte (yani sistemik kazanılmış direnç) rol oynar. SA'nın savunma sinyali verme rolü, onu ortadan kaldıran deneylerle en açık şekilde gösterilmiştir.

3.2.6. Potasyum Silikat

Denemede Pars firmasına ait Potasyum Silikat kullanılmıştır. Potasyum hidroksitin veya potasyum karbonatın silisyum dioksit ile reaksiyona sokulmasından üretilir. Koyu kıvamlı ve berrak görümlü bir sıvıdır. Potasyum silikatın en önemli özelliklerinden birisi bitkiyi biyotik ve abiyotik ortamlarda strese karşı koruma özelliğidir. Bu özelliği sağlayan mekanizma ise bitkinin hücre duvarında silisyum toplanır. Bu toplanmanın sayesinde bitki böceklerle karşı daha fazla bir koruma elde etmiş olur. Fotosentezinde önemli ölçüde artmasının sonucunda bitkinin kuru ağırlığı da artar. Silikatlar kullanıldığı alanlarda verimliliği arttıran ürünlerdir.

3.3. Yöntem

Fasulye tohumları 2:1 oranında torf:perlit bulunan viyollere, iklim odası koşullarında 17.03.2023 tarihinde tohum ekimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).

Fideler yaklaşık 1 hafta sonra, 25.03.2023 tarihinde kotileden yapraklar yatay duruma geldiği ve ilk gerçek yaprakların oluştuğu dönemde 2 litre hacminde, 1.5:1.5:1 oranında karıştırılmış torf:toprak:perlit karışımı harç içeren plastik saksılara her saksıda 2 adet bitki olacak şekilde şaşırtılmıştır (Şekil 3.2). Tansferle beraber besin çözeltisi verilmiştir.

31.03.2023 tarihinde Kontrol, Tuz, Melatonin, Salisilik Asit, Nitrik Oksit, Glisin Betain, Jasmonik Asit, Potasyum Silikat uygulamalarına başlanmıştır. Her uygulama için 3 tekerrür ve her tekerrürde 2 saksı ve her saksıda 2 bitki vardır.

Çizelge 3.1. Bitki dikiminden önce deneme alanından alınan toprak örneğinin analiz sonuçları.

Analiz Adı	Birimi	Metod	Sonuç	Yorum
Saturasyon	%	-	54	Killi tınlı
Tuzluluk	%	Saturasyon Çamuru	0.03	Tuzsuz
pH	-	Saturasyon Çamuru	7.50	Hafif Alkali
Kireç	%	Kalsimetrik	27.26	Çok Yüksek
Organik Madde	%	Walkley Black	2.56	Orta
Fosfor	ppm	Olsen/Spektrofotometre	60	Çok Yüksek
Potasyum	ppm	A.Asetat-AAS	1157.00	Çok Yüksek
Kalsiyum	ppm	A.Asetat-AAS	4902.00	Yüksek
Magnezyum	ppm	A.Asetat-AAS	310.00	Düşük
Demir	ppm	DTPA-AAS	4.44	Orta
Bakır	ppm	DTPA-AAS	1.26	Orta
Mangan	ppm	DTPA-AAS	3.04	Düşük
Çinko	ppm	DTPA-AAS	2.92	Orta



Şekil 3.1. Tohum ekilerek fidelerin elde edilmesi.



Şekil 3.2. Bitkilerin saksılara transfer edilmesi.

3.3.1. Denemede Gerçekleştirilen Uygulamalar

Fidelerin saksılara transferinden yaklaşık 1 hafta sonra 31.03.2023 tarihinde tuz ve antioksidan uygulamalarına başlanılmıştır. Tuz uygulamalarına ilk olarak 25 mM konsantrasyonunda başlanmıştır. Daha sonraki uygulamalarda final konsantrasyon olan 35 mM tuz konsantrasyonu kullanılmıştır. Antioksidan uygulamaları haftada 1 kez yapraktan olacak şekilde uygulanmıştır. Antioksidanların uygulama dozu Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan antioksidanların uygulama dozu.

Uygulama Adı	Uygulama Dozu
Kontrol	0
Tuz	35 mM
Glisin Betain	10 mM
Jasmonik Asit	100 μ M
Melatonin	100 μ M
Nitrik Oksit	100 μ M
Salisilik Asit	0.5 mM
Potasyum Silikat	200 ppm

3.4. Gübreleme

Makro, mikro besin elementleri A ve B olmak üzere iki ayrı stok tankında 100 kere konsantre edilerek çözeltiler hazırlanmıştır. Stok A ve B’de bulunan gübre isimleri ve kullanılan besin element miktarları Çizelge 3.3.’te belirtildiği gibidir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan gübreler.

STOK A	STOK B
Kalsiyum Nitrat	Potasyum sülfat
Potasyum Nitrat	Mono potasyum fosfat
Amonyum Nitrat	Magnezyum sülfat
Fe – EDDHA	Mikro elementler
	Çinko sülfat yerli
	Borik asit yerli
	Mangan sülfat yerli
	Bakır sülfat yerli
	Amonyum molibdat

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan besin çözeltilerinde mineral elementlerin konsantrasyonları.

Mineral Besin Elementi	REÇETE 1 (mg L ⁻¹)
Azot (N)	212
Fosfor (P)	20
Potasyum (K)	305
Kalsiyum (Ca)	205
Mağnezyum (Mg)	60
Demir (Fe)	3.0
Mangan (Mn)	0.78
Bor (B)	0.51
Çinko (Zn)	0.50
Bakır (Cu)	0.23
Molibden (Mo)	0.18



Şekil 3.3. Fasulye bitkilerinin 10. güne ait genel görünümü



Şekil 3.4. Fasulye bitkilerinin 15. güne ait genel görünümü.



Şekil 3.5. Fasulye bitkilerinin 25. güne ait genel görünümü.



Şekil 3.6. Fasulye bitkilerinin 35. güne ait genel görünümü.



Şekil 3.7. Fasulye bitkilerinin 45. güne ait genel görünümü.



Şekil 3.8. Fasulye meyvelerine ait genel görünüm.

3.5. Denemede Yapılan Ölçüm ve Analizler

3.5.1. Bitki Yeşil Aksam Ağırlığının Belirlenmesi (g/bitki)

Bitkiler saksılardan söküldükten sonra kök boğazı noktasından kesilerek yeşil aksamın taze ağırlığı hassas teraziyle tartılmıştır.

3.5.2. Bitki Boyu (cm) ve Yaprak Sayısının (adet/bitki) Belirlenmesi

Bitkiler saksılardan söküldükten sonra bitkinin toprakla temas eden noktadan tepe ucuna kadar olan kısım metre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen veriler cm olarak kayıt edilmiştir. Yaprak sayıları tek tek sayılarak belirlenmiştir.

3.5.3. Bitkide Gövde Çapının (mm) Belirlenmesi

Bitki gövde çapı ölçümünde, bitki gövdesi kök boğazından dijital kumpas ile ölçülmüştür. Ölçüm verileri mm olarak kayıt edilmiştir.

3.5.4. % Kuru Madde Miktarı (g/bitki)

Kaydedilen bitki taze ve kuru ağırlıklarından hesaplanmıştır.

3.5.5. Klorofil Miktarı Belirlenmesi

Fasulye bitkilerinde alttan üçüncü yapraktan alınan 0.25 g örnekler, doğrudan ışık gelmeyen loş bir yerde % 80'lik aseton içerisinde homojenize edilip filtre edildikten sonra ekstrakt, aseton ile 25 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanmış örnekler 663 nm ve 645 nm dalga boyunda okunup aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır (Lichtenthaler 1983; Zengin 2007; Amira 2011).

$$\text{Klorofil a} = (12.7 * A_{663} - 2.7 * A_{645}) (v/(1000*w))$$

$$\text{Klorofil b} = (22.9 * A_{645} - 4.68 * A_{663}) (v/(1000*w))$$

3.5.6. Yaprakta Membran Zararlanma İndeksi Belirlenmesi (%)

Bitki yapraklarında stres durumunda, hücrelerden dışarıya verilen elektrolitlerin EC metre ile ölçülmesiyle, membran zararlanma indeksi (MII) hesaplanmıştır (Dlugokecka ve Kacperska-Palacz, 1978; Fan ve Blake, 1994). Bu amaçla, 1 cm çapındaki yaprak diskleri de-iyonize su içerisinde 4 saat bekletildikten sonra EC ölçülmüş, aynı diskler 100°C'de 10 dakika bekletildikten sonra, çözeltinin EC değeri tekrar ölçülmüştür (Şekil 3.9). Aşağıdaki formül kullanılarak kontrole göre % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Membran Zararlanma İndeksi} = (L_t - L_c / 1 - L_c) \times 100$$

L_t: Kuraklık stresindeki yaprağın otoklav edilmeden önceki EC / Otoklav edildikten sonraki EC

L_c: Kontrol yaprağının otoklav edilmeden önceki EC / Otoklav edildikten sonraki EC



Şekil 3.9. Yaprakta membran zararlanması ölçümünden görseller.

3.5.7. Yaprak Oransal Su İçeriğinin Belirlenmesi (%)

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) yüzde (%) olarak (Sánchez ve ark., 2004; ve Türkan ve ark., 2005)'e göre belirlenmiştir. Fasulye bitkilerinde stres sonunda yaprak örneği alınmış ve oransal su içeriklerinin belirlenebilmesi için, öncelikle taze ağırlıkları alınmış, alınan yaprak 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3.10). Saf su içerisinde bekletilen yaprak örnekleri alınıp, kurutulduktan sonra turgor ağırlıkları saptanmıştır. Ağırlıkları alınan yaprak örnekleri 65°C etüvde 48 saat kurutulduktan sonra, kuru ağırlık g olarak alınmıştır. Elde edilen taze ve kuru ağırlıklar, aşağıdaki formül yardımıyla oranlanarak yaprak oransal su içerikleri (%) hesaplanmıştır.

$$(TA-KA)/(TuA-KA) \times 100$$

TA: Taze Ağırlık , KA: Kuru Ağırlık, TuA: Turgor Ağırlığı



Şekil 3.10. Yaprak oransal su içeriği ölçümünden görseller.

3.5.8. Yaprak Su Potansiyelinin Belirlenmesi (MPa)

Soilmoisture marka taşınabilir bir basınç çemberi cihazı ile ana sürgün ucundan itibaren 3-4. yapraklarda bar cinsinden su potansiyeli belirlenmiş ve sonra MPa birimine çevrilmiştir (Akhoundnejad ve Daşgan, 2019; Dere, 2019) (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Yaprak su potansiyelinin basınç çemberi ile ölçülmesi.

3.5.9. Yaprak Stoma Geçirgenliğinin Belirlenmesi ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Yapraklarda stomalardan gaz geçişi fasulye bitkilerinde $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ birimi olarak Delta T Devices marka AP4 model taşınabilir porometre kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Yaprak stoma iletkenliğinin porometre cihazı ile ölçülmesi.

3.5.10. Toplam Fenolik Madde Tayini (mg GAE/100 g TA)

Toplam fenolik madde tayini fasulye bitkisinden elde edilen meyve suyuyla spektrofotometrik yöntem modifiye edilerek yapılmış ve okumalar spektrofotometrede 765 nm dalga boyunda okunan absorbans değerinden ve gallik asit ile hazırlanmış kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Spanos ve Wrolstad, 1990).

3.5.11. Toplam Flavanoid Tayini Toplam Flavonoid Tayini

Quettier ve ark. (2000)'nın bularak geliştirdiği yöntem kullanılarak bakılmıştır. Bu yöntemde göre 415 nm dalga boyunda spektrometrede okunmuştur. Rutin ile hazırlanmış kalibrasyon eğrisi baz alınarak toplam flavonoid madde miktarı tespit edilmiştir.

3.5.12. Lipid Peroksidasyonu Belirlenmesi (μmol/g TA)

Lutts ve ark (1996) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Sökülen bitkilerden alınan yaprak örneklerinden 200 mg tartılacak, üzerine 5 ml % 0,1'lik trikloro asetik asit (TCA) ilave edilmiştir, bu karışım 12 500 rpm devir hızında 20 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. 5 ml'lik ekstraktan 3 ml süpernatant alınarak bunun üzerine içerisinde % 20 TCA bulunan % 0,1'lik tiobarbütirik asit (TBA)'den 3 ml ilave edilmiştir. Karışım 95°C'deki sıcak su banyosunda 30 dakika süreyle bekletilerek ardından spektrofotometrede 532 ve 600 nm'de absorbans değerleri okunmuştur. Elde edilen değerler formüle yerleştirilerek MDA (Malondialdehit) miktarı hesaplanmıştır.

$$MDA = (A_{532} - A_{600}) \times \text{Ekstrakt hacmi (ml)} / (155 \text{ mM/cm} \times \text{Örnek miktarı (mg)})$$

3.5.13. Prolin Miktarının Belirlenmesi (nmol Proline / g TA)

Fasulye bitkilerinden alınan yaprak örnekleri 300 mg tartılmıştır, 1 ml etil alkolde ezilmiştir. 10000 rpm'de 10-15 dakika süpernant elde edilene kadar santrifüj yapılmıştır. Santrifüjden çıkarıldıktan sonra berrak kısım, katı kısım hareket ettirilmeden dikkatlice alınarak yeni bir eppendorf tüpe aktarılmıştır. Ekstraktan 300 μl (mikrolitre) 15 ml 'lik falcon'a alınarak üzerine 1 ml reaksiyon çözeltisi eklenmiştir. 100°C su banyosunda ağzı kapalı olarak 20 dk bekletilmiştir. Soğutulan örneklerin üzerine 2 ml toluene eklenecek vortex yapıp ağzı kapalı şekilde 2 saat karanlıkta bekletilmiştir ve 520 nm'de okunmuştur (Dasgan ve ark., 2009).

3.5.14. Antioksidatif Enzim Analizleri

Tuzluluk stresi altındaki bitkilerde meydana gelen enzim değişimlerini saptamak için yaklaşık 1 g taze yaprak örneği sıvı azot içerisinde porselen havanlarda ezildikten sonra içinde 0.1 mM Na-EDTA bulunan 50 mM'lık 10 ml fosfat tampon çözeltisi (pH: 7.6) ile homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnekler 15 dakika süresince 15000 rpm devir hızında santrifüj edildikten sonra

elde edilen santrifügantlar enzim analizlerinde kullanılmıştır. Enzim analizlerinin yapılacağı örnekler buz içeren küvetlere yerleştirilerek analiz yapılınca kadar +4°C sıcaklıkta tutulmuştur.

3.5.15. Katalaz Aktivitesi (CAT)

H₂O₂'nin 240 nm'de (E=39.4 mM cm⁻¹) parçalanma oranı esas alınarak ölçülmüştür. Bu enzim analizinde son hacim 1 ml olacak şekilde reaksiyon ortamına 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfat tamponu (pH: 7.6), 0.1 ml 100 mM H₂O₂ ve enzim ekstraktı ilave edilmiştir (Çakmak ve Marschner, 1992; Çakmak 1994).

3.5.16. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi

Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak (1994)'a göre, 290 nm'de (E=2.8 mM cm⁻¹) askorbatın oksidasyonu ölçülerek yapılmıştır. Buna göre, son hacmi 1 ml olacak şekilde ayarlanan reaksiyon ortamına, 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfor tamponu (pH:7.6), 0.1 ml 10 mM EDTA içeren 12 mM H₂O₂, 0.1 ml 0.25 mM L(-) askorbik asit ve enzim ekstraktı ilave edilmiş ve askorbat oksidasyonu 290 nm'de okunmuştur.

3.5.17. Glutatiyon Redüktaz (GR) Aktivitesi

Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak (1994)'a göre 340 nm'de (E=6.2 mM cm⁻¹) NADPH'nin oksidasyonu esas alınarak ölçülmüştür. Buna göre, son hacmi 1 ml olacak şekilde ayarlanan reaksiyon ortamına 0.1 mM EDTA içeren 50 mM'lık fosfor tamponu (pH= 7.6), 0.1 ml 0.5 mM okside glutatiyon (GSSG), 0.1 ml 0.12mM NADPH ve enzim ekstraktı ilave edilerek NADPH oksidasyonu 340 nm'de okunmuştur.

3.5.18. Mineral Element Analizi

Farklı uygulamaların bitkilerde beslenme üzerine etkilerini ortaya koymak için hasat zamanında makro ve mikro element analizleri yapılmıştır. Azot (N), fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), sodyum (Na), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu) ve çinko (Zn) için analizler yapılmıştır. Fasulye yaprakları kontaminasyona karşı %0.1'lik deterjan ile yıkanmış ve durulandıktan sonra sonra 3 kez saf su ile yıkanmış etüvde 48 saat 65°C'de kurutulmuştur. Kurutulan örnekler yaprak öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülmüş örnekler 550°C'de 8 saat süreyle yakılmış ve oluşan kül % 3.3'lük (hacim/hacim) HCl asitte çözülerek atomik absorpsiyon spektrometrede K, Ca, Mg ve Na okumaları emisyon modunda, Fe, Mn, Zn ve Cu okumaları ise absorpsiyon modunda okunmuştur (Şekil 3.13). Fosfor analizleri yukarıda hazırlanan ekstrakt kullanılarak Barton yöntemine göre spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Yapraklardaki azot konsantrasyonları ise Kjeldal yöntemine göre yaş yakma ile belirlenmiştir.



Şekil 3.13. Mineral element analizleri yapımından ve atomik absorpsiyon cihazından görseller.

3.5.19. Klor Analizi

Öğütölmüş bitki numunesinden 0.100 g tartölmüştür. Üzerine 25 ml saf su eklenmiştir ve çalkalama makinasında 180 devirde 45 dk çalkalanmıştır. Daha sonra berrak kısmından 20 ml alınarak üzerine 1 ml Potasyum Kromat (KCrO) indikatörü ilave edilmiştir. Hazırlanmış olan örnek Gümüş Nitrat (AgNO) ile titre edilmiştir.

Verilerin Değerlendirilmesi

Değişkenlerin analizinde genotip ve antioksidanlar olmak üzere iki faktörlü varyans analizi (Two-way ANOVA) uygulanmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD çoklu karşılaştırma testi ile saptanmış ve sonuçlar harflerle gösterilmiştir. Tüm hesaplamalar ve yorumlamalar %5 anlamlılık düzeyi temel alınarak gerçekleştirilmiştir.





4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fasulyede Bitki Büyüme Parametreleri

4.1.1. Bitki Ağırlığı (g /bitki)

Bitki ağırlığı açısından genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Tuz stresine dayanıklı genotip BN150'de ortalama 61.43 g bitki ağırlığı ile duyarlı genotip BN16'nın ortalama 45.39 g bitki ağırlığından daha yüksek bir değer elde edilmiştir (Şekil 4.1).

Uygulamaların etkisi incelendiğinde beklenildiği üzere en ağır bitkiler 81.59 g ile stres olmayan kontrol bitkilerinde kaydedilmiştir, en hafif bitkiler 43.47 g ile tuz stresi altındaki bitkilerden elde edilmiştir. Antioksidanlar içerisinde 64.28 ve 51.08 g ile glisin betain ve nitrik oksit en ağır bitki oluşturmuştur (Şekil 4.1).

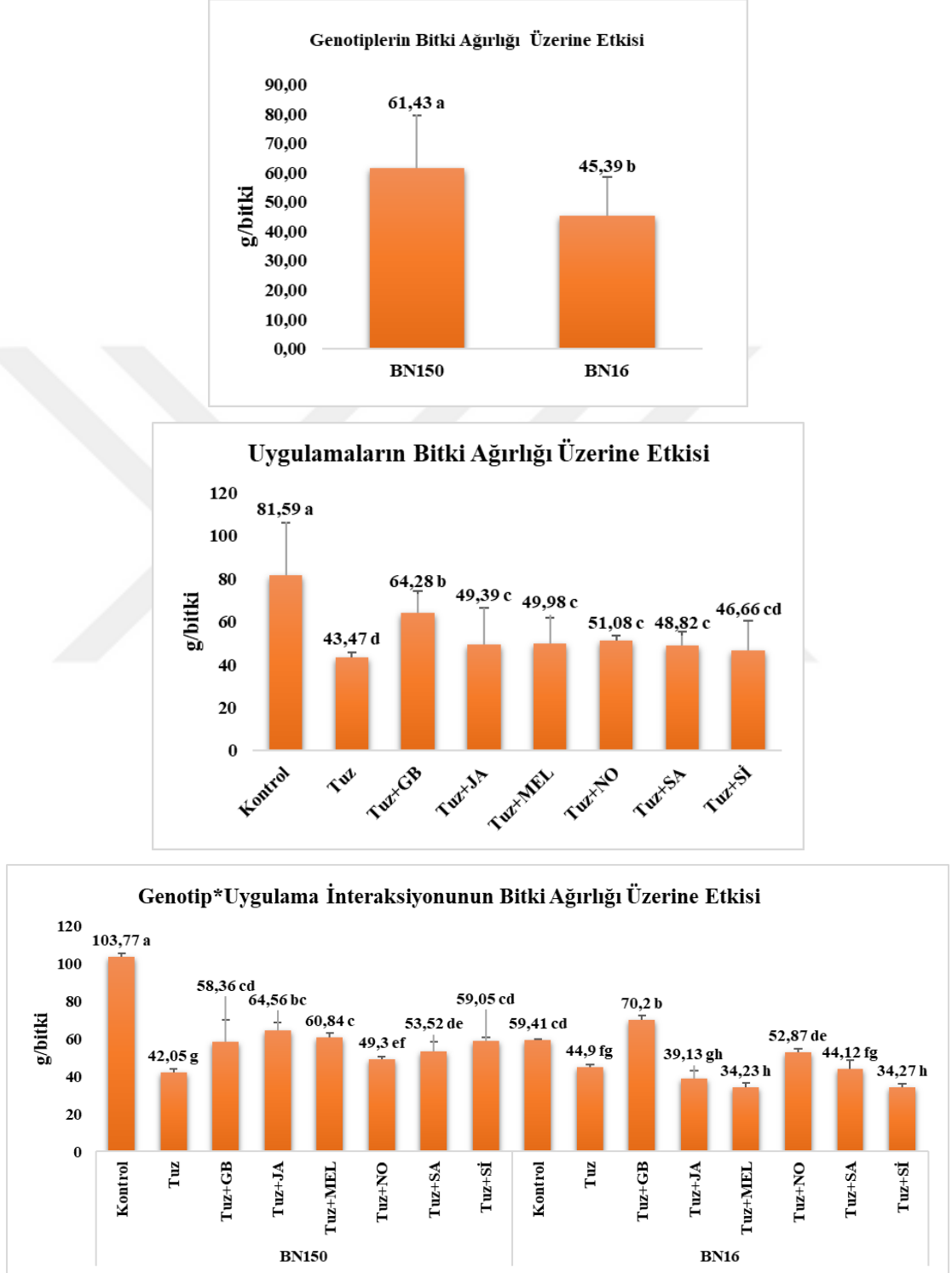
Genotip x uygulama etkileşimleri incelendiğinde en ağır bitki 103.77 g ile BN150 genotipinde stres olmayan kontrol bitkilerinin etkileşiminde, en hafif bitkiler 42.05 g ile BN150 genotipinin tuz stresi altındaki bitkilerle etkileşiminde kaydedilmiştir. Duyarlı genotip olan BN16 genotipinin sırasıyla 70.20 g ve 52.78 g ile glisin betain ve nitrik oksit uygulaması, 52.78 g bitki ağırlığı oluşturan tuz stresi altındaki bitkilerden daha ağır bitkiler oluşturmuştur. Glisin betain ve nitrik oksit antioksidanlarının duyarlı genotip olan BN16 ile etkileşimlerinin bitki ağırlığına etkisi stres olmayan kontrol bitkileri ile kıyaslandığında önemli düzeyde etki sağlamıştır (Şekil 4.1).

Ibrahim ve ark. (2023), kuraklık stresi koşullarında kitosan ile glisin betain yaprak uygulamasının marul yeşitiriciliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Kuraklık stresi, her iki sezonda da sulanan bitkilerle karşılaştırıldığında bitki yaş ağırlığını önemli ölçüde azaltmıştır. En yüksek bitki yaş ağırlığı her iki sezonda da kontrol grubuna göre sırasıyla kitosan uygulaması ile elde edilmiştir bunu glisin betain uygulamaları izlemiştir ve en düşük değerler kontrol grubunda gözlenmiştir.

El-Beltagi ve ark. (2023), melatonin (MT) ve pütresin (Put) etkileşiminin fasulye (*Phaseolus vulgaris*) fidelerinde tuzluluk stresini azaltmadaki sinerjistik etkisini incelemişlerdir. Çalışmada bu iki bileşiğin birlikte uygulanmasının, oksidatif hasarı azaltarak ve poliamin katabolizmasını inhibe ederek bitki dayanıklılığını nasıl artırdığını ortaya koymuşlardır. Tüm bitki büyüme parametrelerinin tuzluluk stresi nedeniyle azaldığını belirlenmiştir. Tuzsuz koşullar altında, tüm uygulamalar kontrol grubuna kıyasla sürgün yaş ağırlığını artırmıştır. En iyi sonuç, Melatonin ve Pütresin etkileşiminden elde edilmiştir. Ayrıca, tuz stresi altında, Melatonin uygulaması tek başına veya Pütresin ile birlikte sürgün yaş ağırlığını kontrol grubuna göre artırmıştır.

Jabeen ve ark. (2021), bu çalışmada, sodyum nitroprussid (SNP) uygulamasının tuzluluk stresi altındaki soya fasulyesi (*Glycine max L.*) bitkilerinin morfolojik ve fizyolojik özelliklerini nasıl iyileştirdiğini incelenmiştir. SNP'nin tuzluluk stresinin olumsuz etkilerini hafifleterek bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki olumlu etkileri değerlendirilmiştir. Tuzluluk stresinde; bitki yaş ağırlığı %38 oranında azalmıştır. 10 µM SNP uygulaması ile bitkinin yaş ağırlığı % 29 oranında artmıştır. Sodyum

nitroprussid (SNP) uygulaması, tuzluluk stresi altında soya fasulyesi bitkilerinde morfolojik ve fizyolojik özellikleri iyileştirerek bitki büyümesini ve gelişimini desteklemektedir. SNP, tuzluluk stresinin neden olduğu biyokütle ve ağırlık kayıplarını hafifletmiştir.



Şekil 4.1. Bitki ağırlığı üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksiyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.1.2. Bitki Boyu (cm)

Bitki boyu üzerine genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Duyarlı genotip olan BN16 ortalama 179.33 cm bitki boyu ile en uzun bitki boyu oluşturmuştur (Çizelge 4.1).

Uygulamaların etkisi ele alındığında en uzun bitki boyu 158.75 cm ile stres olmayan kontrol bitkilerinde, en kısa bitki boyu 129.70 cm ile tuz stresi altındaki bitkilerde belirlenmiştir. Antioksidanların içerisinde 143.33 cm ile glisin betain en uzun bitki boyu oluşturmuştur (Çizelge 4.1.).

Genotip x uygulama etkileşiminde beklenildiği üzere sırk genotip olan BN16 bitki boyu üzerine yarı-bodur genotip olan BN150' ye göre daha uzun bitki boyu oluşturmuştur. BN16 genotipinin jasmonik asit ile olan etkileşiminde 135.50 cm ile en kısa bitki boyu, en uzun bitki boyu 192.66 cm ve 189.50 cm ile glisin betain ve nitrik oksit ile olan etkileşiminden elde edilmiştir. Genotiplerin sırk ve yarı-bodur bir yapıya sahip olmasından dolayı bitki boyu üzerinde genotip x uygulama etkileşiminin etkisi belirleyici rol oynamamaktadır (Çizelge 4.1).

Civelek ve Yıldırım (2019), domates bitkilerine, iki ay boyunca 75 mM'lık orta dereceli tuzluluğa maruz bırakılmıştır ve bazı morfolojik ve fizyolojik tepkiler değerlendirilmiştir. GB uygulamaları, bitki büyümesinde iyi sonuçlar sağlamışlardır. Bitki boyu, kontrol grubuna kıyasla 5, 10 ve 20 mM GB uygulamalarında sırasıyla %2.2, %13.1 ve %18.9 oranında önemli ölçüde artırmıştır.

4.1.3. Gövde çapı (mm)

Gövde çapı genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin gövde çapı üzerine etkileri incelendiğinde en kalın çaplı bitkiler 4.17 mm ile BN150 çeşidinde elde edilmiştir (Çizelge 4.1).

Uygulamaların etkileri incelendiğinde stres olmayan kontrol bitkileri 3,94 mm gövde çapı oluşturmuştur. En kalın çaplı bitki 4.33 ve 4.05 mm ile glisin betain ve jasmonik asit antioksidanlarında belirlenmiştir. Bu iki antioksidan stres altında olmayan kontrol bitkilerine göre daha kalın gövde çapı oluşumu sağlamıştır (Çizelge 4.1)

Genotip x uygulama etkileşiminde BN150 genotipinin stres altında olmayan kontrol bitkileri ile etkileşiminde 4.34 mm gövde çapı belirlenmiştir. Dayanıklı genotip BN150'nin glisin betain ile olan etkileşiminde 4.58 mm ile stres olmayan kontrol bitkilerine göre en kalın çaplı bitki oluşmuştur. Dayanıklı genotip BN150'nin salisilik asit ile olan etkileşiminde 4.29 mm ile gövde çapı üzerinde fark yaratan antioksidanlardandır. Duyarlı genotip BN16'nın glisin betain ile olan etkileşiminde 4.07 mm ile en kalın gövde çapı oluşumu sağlanmıştır. Genel olarak genotip x uygulama etkileşimlerinde dayanıklı genotip BN150 ile antioksidanların etkileşiminden en kalın çaplı bitki kaydedilmiştir (Çizelge 4.1).

Yildirim ve ark. (2015), marul yetiştiriciliğinde (*Lactuca sativa L.*) tuz stresinin bitki büyümesi üzerindeki olumsuz etkilerini ve bu etkilerin hafifletilmesinde glisin betain'in rolü araştırmışlardır. NaCl gövde çapını önemli düzeyde azalttığını ve dışarıdan uygulanan GB (glisin betain) uygulamalarının hem stres altındaki hem de stres altında olmayan bitkilerde gövde çapını arttırdığını bildirmişlerdir. GB'nin en etkili dozu, marulun büyümesinde tuzluluğun etkisini azaltmak için 25 mmol l⁻¹ olarak bulunmuştur.

4.1.4. Yaprak Sayısı (adet/bitki)

Fasulye bitkisinde yaprak sayısı genotipler arasında istatistiksel olarak önemli bulunamamıştır. Uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak önem elde edilmiştir (Çizelge 4.8.).

Uygulamalar arasında beklenildiği üzere stres olmayan kontrol bitkilerinden 23.33 adet ile en çok yaprak sayısı elde edilmiştir. Tuz stresinin etkisini azaltmak için kullandığımız glisin betain antioksidanı 20.75 adet ile antioksidanlar arasında en çok yaprak sayısı oluşturmuştur. Jasmonik asit 190.0 adet yaprak sayısı ile diğer antioksidanlara göre belirgin fark yaratmıştır (Çizelge 4.1).

Genotip x uygulama etkileşimleri incelendiğinde tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin stres olmayan kontrol bitkileri ile etkileşiminden en çok yaprak sayısı alınmıştır. Antioksidan uygulamalarının yaprak sayısına etkisi her iki genotipte de fark yaratmıştır. Dayanıklı genotip BN150'nin glisin betain ve jasmonik asit ile olan etkileşiminden sırasıyla 22.50 ve 21.00 adet ile en çok yaprak sayısı elde edilmiştir. Tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın glisin betain ile olan etkileşiminde 19.00 adet yaprak sayısı kaydedilmiştir. Bu bağlamda tuz stresine dayanıklı genotip BN150'nin glisin betain ile olan etkileşimine yakın bir yaprak sayısı elde edilmiştir (Çizelge 4.1).

El Nahhas ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada fasulye bitkilerinin 1500 ve 3000 ppm NaCl tuzluluğuna maruz bırakılması yaprak sayısı belirgin bir azalmaya yol açmıştır. Yüksek tuzluluk seviyesi (3000 ppm), düşük seviyeye (1500 ppm) göre daha olumsuz etki yapmıştır. 3000 ppm tuz stresinde biyokömür + JA uygulaması, kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında yaprak sayısını önemli ölçüde artırmıştır.

4.1.5. Kuru Madde Miktarı (%)

Elde edilen verilere göre % kuru madde bakımından uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). % Kuru Madde genotipler arasında istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır (Çizelge 4.8).

Uygulamaların etkisi incelendiğinde % 14.19 ile stres olmayan kontrol bitkileri en yüksek % kuru madde oluşumu sağlamıştır. Antioksidanların etkisi incelendiğinde %12.55 ile nitrik oksit en yüksek % kuru madde oluşturma oranına sahiptir (Çizelge 4.1).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde, duyarlı genotip BN16 genotipinin stres olmayan kontrol bitkileri ile etkileşiminden %15.52 ile en yüksek % kuru madde elde edilmiştir. En düşük %

kuru madde %7.94 ile duyarlı genotip BN16'nın salisilik asit ile etkileşiminde kaydedilmiştir. Antioksidanlar içerisinde en yüksek % Kuru madde oluşumu %13.86 ile duyarlı genotip BN16'nın nitrik oksit ile olan etkileşiminden elde edilmiştir (Çizelge 4.1).

Kayın (2021), tuz uygulanmış ortamda yetiştirilen her iki biber çeşidinde de kuru madde miktarının önemli ölçüde düştüğü bildirilmiştir. Charleston ve dolmalık biber bitkilerinde en yüksek kuru madde miktarının 50 μ M NO ve 0 mM NaCl uygulamalarından elde edildiğin ve en düşük kuru madde miktarının 0 μ M NO ve 50 mM NaCl uygulamalarında yetiştirilen bitkilerden elde edildiğini belirtmiştir.

Zhu ve Boyer (1992), bitkilerde tuz stresi nedeniyle meydana gelen büyüme ve gelişmedeki yavaşlamayı, tuzun bitkilerde turgor basıncına olan negatif etkisi olarak değil, hücre çeperi polimerlerinin sentezinin azalması ve enerji metabolizmasındaki inhibisyon olarak açıklamışlardır.

Çizelge 4.1. Farklı antioksidan uygulamalarının fasulyede bitki büyüme parametreleri üzerine etkisi.

Faktör		Bitki Boyu (cm)	Gövde Çapı (mm)	Yaprak sayısı (adet/bitki)	Kuru Madde (%)
Genotip					
BN16		179.33 a	3.84 b	16.79 b	10.52
BN150		87.53 b	4.17 a	18.27 a	10.93
Uygulama					
Kontrol		158.75 a	3.94 bc	23.33 a	14.19 a
Tuz		129.70 d	3.72 c	15 cd	8.71 d
Tuz+GB		143.33 b	4.33 a	20.75 b	10.52 c
Tuz+JA		109.50 e	4.05 b	19.00 b	10.17 c
Tuz+MEL		129.25 d	4.08 ab	16.00 cd	10.73 c
Tuz+NO		132.00 cd	3.90 bc	14.16 d	12.55 b
Tuz+SA		138.75 bc	4.01 b	16.50 c	8.88 d
Tuz+Sİ		130.16 d	4.04 b	15.50 cd	10.03 c
Genotip*Uygulama					
BN150	Kontrol	106.50 g	4.34 ab	24.33 a	12.87 bc
	Tuz	77.75 j	3.80 efg	14.00 ghı	9.27 ghı
	Tuz+GB	94.00 hı	4.58 a	22.50 ab	11.05 def
	Tuz+JA	83.50 ij	4.20 bcd	21.00 bc	11.55 cd
	Tuz+MEL	85.00 ij	4.20 bcd	15.33 fgh	11.19 def
	Tuz+NO	74.50 j	3.78 efg	15.33 fgh	11.24 de
	Tuz+SA	97.00 gh	4.29 abc	15.33 fgh	9.82 fgh
	Tuz+Sİ	90.00 hı	4.18 bcd	18.33 c-f	10.43 d-g
BN16	Kontrol	211.00 a	3.54 g	22.33 ab	15.52 a
	Tuz	181.66 bcd	3.64 fg	16.00 efg	8.15 ı
	Tuz+GB	192.66 b	4.07 b-e	19.00 cd	9.99 e-h
	Tuz+JA	173.50 de	3.97 c-f	16.66 def	10.26 d-g
	Tuz+MEL	135.50 f	3.91 def	17.00 def	8.78 hı
	Tuz+NO	189.50 bc	4.02 b-e	13.00 hı	13.86 b
	Tuz+SA	180.50 cde	3.72 efg	17.66 def	7.94 ı
	Tuz+Sİ	170.33 e	3.90 def	12.66 ı	9.64 gh

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.2. Klorofil (a, b ve toplam klorofil) Konsantrasyonunun Belirlenmesi (mg/TA)

Fasulye yapraklarında yapılan analizler sonucunda klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Genotiplerin klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil üzerine etkileri incelendiğinde tuz stresine dayanıklı genotip BN150 sırasıyla 1.01, 0.43 ve 1.44 mg/TA klorofil konsantrasyonuyla tuz stresine duyarlı genotip BN16'dan daha yüksek bir değere sahiptir (Çizelge 4.2).

En yüksek Klorofil a konsantrasyonu stres olmayan kontrol bitkilerinde 1.05 mg/TA düzeyinde daha sonra 1.01 mg/TA ile nitrik oksit uygulamasında belirlenmiştir. Klorofil b konsantrasyonu en yüksek nitrik oksit ve potasyum silikat uygulamalarında 0.46 mg/TA düzeyinde belirlenmiştir. Toplam klorofil konsantrasyonu nitrik oksit ve stres olmayan kontrol bitkilerinde sırasıyla 1.47 ve 1.45 mg/TA düzeyinde belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Genotip x uygulama etkileşimleri ele alındığında, antioksidanlar içerisinde klorofil a ve toplam klorofil dayanıklı genotip BN150'nin salisilik asit ve nitrik oksit ile olan etkileşiminde artmıştır. Duyarlı genotip BN16 nitrik oksit ile olan etkileşimi hem klorofil a hem de toplam klorofili artırmıştır. Klorofil b konsantrasyonu antioksidanlar içerisinde BN150 genotipinin melatonin ve BN16 genotipinin salisilik asit ile olan etkileşiminden elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Taïbi ve ark. (2016), Tuz stresinin altında yetiştirilen *Phaseolus vulgaris* L.'de büyüme, klorofil içeriği, lipid peroksidasyonu ve antioksidan savunma sistemlerindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Tuzluluk ve fotosentetik pigment içeriği arasında ters bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Büyüme ortamında NaCl konsantrasyonu arttığında, yüksek verimli Tema genotipinde klorofil a (Chl a) içeriği kontrol bitkilerine göre %52, düşük verimli Djadida genotipinde ise %57 azalmıştır. Ayrıca, yüksek verimli Tema genotipinde klorofil b (Chl b) içeriği %33, düşük verimli Djadida genotipinde ise %43 azalmıştır.

Nada, M. (2020), Potasyum silikat ve glisin betain ile yapraktan uygulamanın çilek bitkilerinin büyüme ve erken verim kalitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Potasyum silikat ile işlenen çilek bitkilerinin, potasyum silikat konsantrasyonunun artmasıyla klorofil a, klorofil b, karotenoidler özellikle 0.6 g/l olarak uygulanan en yüksek potasyum silikat konsantrasyonunda diğer seviyelere kıyasla belirgin bir şekilde arttığını belirtmişlerdir.

Ali Hussein (2024), nitrik oksit'e toleranslı ve hassas bakla (*Vicia Faba*) genotiplerinin tepki mekanizmaları incelenmişlerdir. Fotosentetik pigmentler, bitkiler için öncelikle ışık Emilimi ve indirgeyici ajanların üretimi için gereklidir. Giza 843 çeşidinin bitki örtüsünde klorofil (a ve b) içeriğinin Sakhal'e göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. 100 µM SNP uygulaması, Giza 843 çeşidinde klorofil (a, b) ve karotenoid içeriğinde kontrol bitkilerine kıyasla belirgin bir inhibisyon yol açmıştır.

Anaya ve ark. (2017), salisilik asitin tuz stresi altında *Vicia Faba* l.'nin antioksidan enzimleri ve fizyolojik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Klorofil içeriği, tuzluluk stresi, SA ve bu iki

faktörün kombinasyonu tarafından önemli ölçüde etkilenmiştir. Sonuçlar, tuz stresi ile klorofil içeriği arasında ters bir ilişki olduğunu göstermektedir. Konsantrasyon arttıkça klorofil a içeriği azalmıştır. Ancak, 0.5 mM SA uygulaması, NaCl'nin 0 ve 150 mM olduğu durumlarda kontrol bitkilerine göre sırasıyla klorofil a içeriğini %30 ve %15 artırmıştır. Klorofil b içeriği, NaCl olmadığında kontrol grubuna göre %45 artış göstermiştir.

Çizelge 4.2. Farklı antioksidan uygulamalarının Klorofil (a, b ve toplam klorofil) konsantrasyonu (mg/TA) üzerine etkisi.

Faktör		Klorofil a	Klorofil b	Toplam Klorofil
Genotip				
BN16		0.71 b	0.36 b	1.07 b
BN150		1.01 a	0.43 a	1.44 a
Uygulama				
Kontrol		1.05 a	0.39 b	1.45 a
Tuz		0.89 abc	0.29 c	1.18 bc
Tuz+GB		0.75 cd	0.39 b	1.15 c
Tuz+JA		0.77 bcd	0.28 c	1.06 c
Tuz+MEL		0.68 d	0.44 ab	1.13 c
Tuz+NO		1.01 a	0.46 a	1.47 a
Tuz+SA		0.94 ab	0.41 ab	1.36 ab
Tuz+Sİ		0.76 cd	0.46 a	1.22 bc
Genotip*Uygulama				
BN150	Kontrol	1.09 abc	0.39 def	1.49 ab
	Tuz	1.23 a	0.45 b-e	1.68 a
	Tuz+GB	0.85 cde	0.41 de	1.27 bc
	Tuz+JA	0.99 abcd	0.42 cde	1.41 b
	Tuz+MEL	0.78 def	0.57 a	1.35 b
	Tuz+NO	1.06 abc	0.42 cde	1.48 ab
	Tuz+SA	1.10 ab	0.32 f	1.43 ab
	Tuz+Sİ	0.96 bcd	0.45 b-e	1.41 b
BN16	Kontrol	1.02 abcd	0.40 def	1.42 b
	Tuz	0.54 f	0.13 g	0.68 e
	Tuz+GB	0.65 ef	0.38 ef	1.03 cd
	Tuz+JA	0.55 f	0.14 g	0.70 e
	Tuz+MEL	0.58 f	0.32 f	0.90 de
	Tuz+NO	0.96 bcd	0.50 abc	1.47 ab
	Tuz+SA	0.78 def	0.51 ab	1.29 b
	Tuz+Sİ	0.56 f	0.47 bcd	1.03 cd

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.3. Fasulyede Fizyolojik Parametreler

4.3.1. Membran Zararlanma İndeksi (%)

Membran zararlanma indeksi (MZI), hücre zarının hasar derecesini ölçmek için kullanılan bir göstergedir. Bu indeks, genellikle bitki veya hücrelerin stres koşulları (örneğin, tuz stresi, kuraklık, soğuk stres) altında hücre zarı bütünlüğünün ne ölçüde etkilendiğini belirlemek amacıyla kullanılır. MZI, hücre zarından sızan iyonlar veya diğer bileşiklerin miktarına dayalı olarak hesaplanır ve yüksek MZI değerleri, hücre zarında daha fazla hasar olduğunu gösterir.

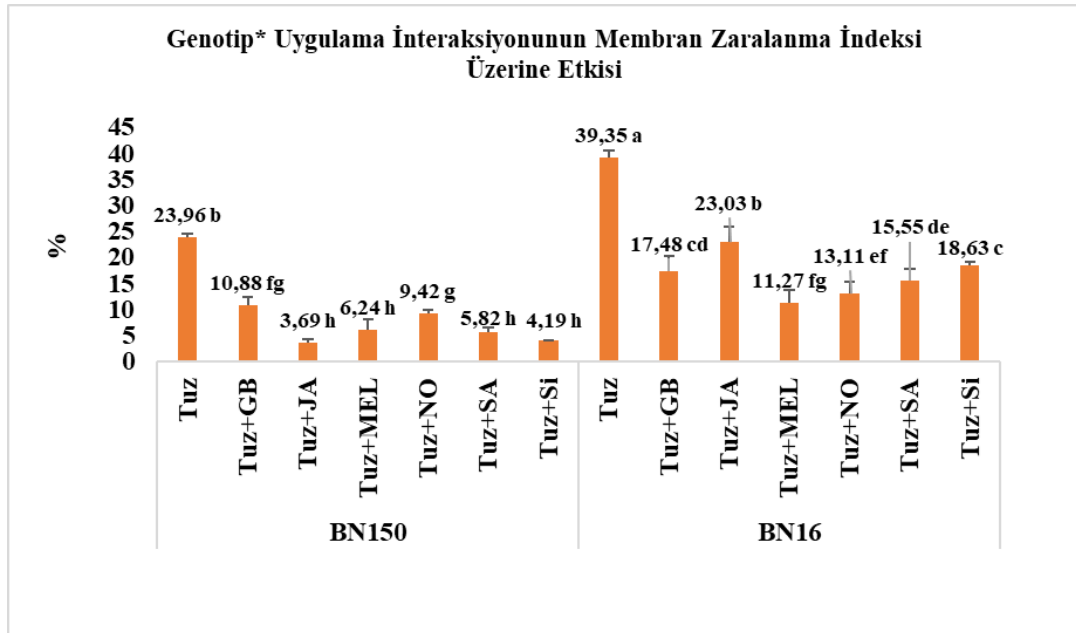
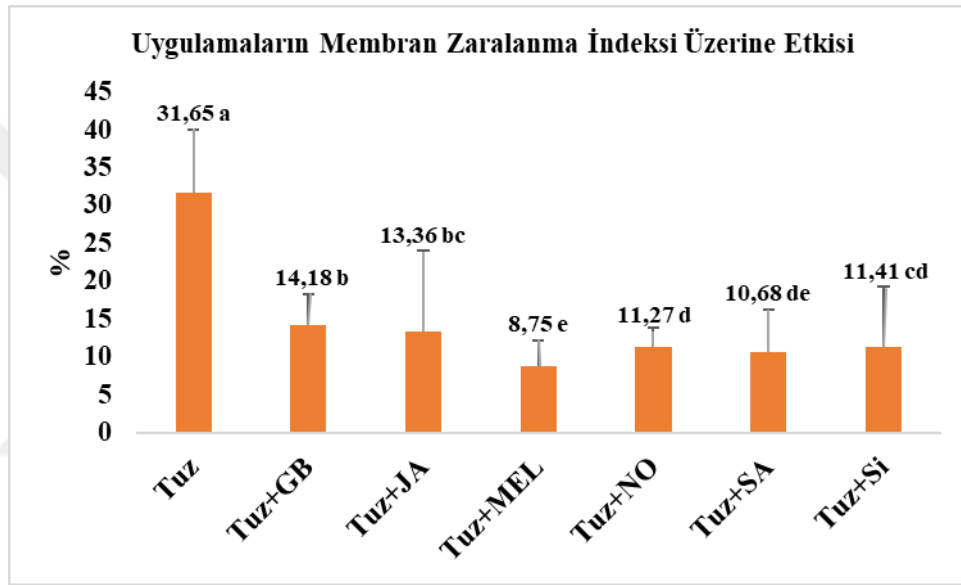
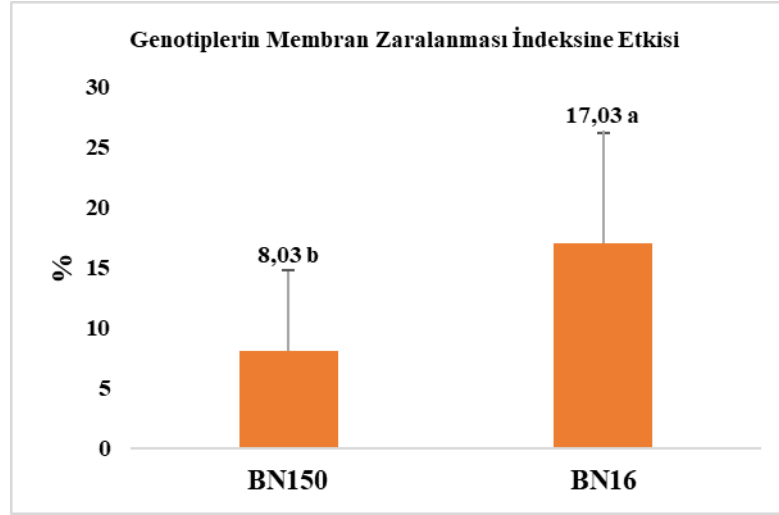
Membran zararlanma indeksi, genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Tuz stresine duyarlı genotip BN16 ortalama %17.03 membran zararlanma indeksi ile dayanıklı genotip BN150'nin ortalama %8.03 membran zararlanma indeksinden daha yüksek bir değere sahiptir. Duyarlı genotip BN16'da hücre zarı zararı daha fazla meydana gelmiştir (Şekil 4.2)

Uygulamaların etkisi incelendiğinde sırasıyla %8.75 ve % 10.68 melatonin ve salisilik asit uygulaması membranlarda meydana gelen zararlanmanın en az olduğu antioksidanlardır. Tuz stresi altındaki bitkiler %31.65 ile en yüksek membran zararlanma indeksi göstermiştir (Şekil 4.2).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde, tuz stresine dayanıklı BN150 'nin jasmonik asit ve potasyum silikat ile olan etkileşiminde sırasıyla %3.69 ve % 4.19 ile en az membran zararlanma indeksi kaydedilmiştir. Duyarlı genotip olan BN16'nın melatonin ve nitrik oksit ile olan etkileşiminde sırasıyla %11.27 ve % 13.11 ile en düşük membran zararlanma indeksi belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin tuz stresi altındaki bitkiler etkileşimi sırasıyla %23.96 ve % 39.95 ile en yüksek membran zararlanma indeksi belirlenmiştir (Şekil 4.2).

Ali ve ark. (2021), melatonin uygulaması yapılan veya yapılmayan tuz stresine maruz kalan domates genotiplerinin fotosentetik pigmentler, göreceli su içeriği ve membran zararlanma indeksi verileri incelenmiştir. Kontrole göre; membran zararlanma indeksi %32.5 azalmış, FM 9 bitkilerinde ise tuzlu ortamda (160 mM NaCl) % 42.6 azaldığını ancak, melatonin uygulaması tuz stresi altında (NaCl + ML), melatonin uygulanmayan tuzlu ortamda yetiştirilen bitkilere göre; Roma ve FM 9 fidelelerinde membran zararlanma indeksini ise sırasıyla % 40.7 ve % 21.3 artırdığını bildirmişlerdir.

Aldesuquy ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada, buğday genotiplerinin tahıl olgunlaşma döneminde su stresi koşullarında salisilik asit (SA) ve trehaloz (Tre) uygulamalarının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada su stresinin buğday genotiplerinde zar stabilitesini olumsuz etkilediğini ve zar sızıntısını artırdığı bildirilmiştir. Ancak, SA ve Tre uygulamalarının zar stabilitesini artırma ve zar sızıntısını azaltma konusunda etkili olduğu bulunmuştur. Sahel-1 buğday çeşidi, Gemmieza-7'ye göre su stresine karşı daha iyi bir tolerans sergilemiştir.



Şekil 4.2. Membran zararlanma indeksi üzerine genotip, uygulama ve genotip*uygulama interaksiyonunun etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.3.2. Stoma İletkenliği (mmol/m²/s)

Stoma iletkenliği, bitki yapraklarındaki stomaların (gözeneklerin) açılıp kapanma kapasitesini ifade eder. Stomalar, bitkinin su ve gaz alışverişini düzenleyen mikroskobik yapılarıdır. Stomalar açık olduğunda bitki su ve karbondioksit alır, oksijen ve su buharını serbest bırakır. Stomalar kapalı olduğunda ise bu alışverişler durur. Stoma iletkenliği, bitkinin su stresine yanıt olarak ayarlanabilir ve bitkinin fotosentez ve su kullanım verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Stoma iletkenliği açısından genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8). Tuz stresine dayanıklı genotip BN150, ortalama 252.6 mmol/m²/s stoma iletkenliği ile duyarlı genotip BN-16'nın ortalama 101.29 mmol/m²/s stoma iletkenliğinden daha yüksek bir değere sahiptir (Çizelge 4.3).

Beklendiği üzere, uygulamalar arasında stres olmayan kontrol bitkileri en yüksek stoma iletkenliği değerlerini gösterirken, tuz stresi altındaki bitkiler en düşük stoma iletkenliğini sergilemiştir. Çalışmada kullanılan antioksidanların tamamının, fasulye genotiplerinin tuz stresini azaltmaya ve stoma iletkenliğini artırmaya yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, potasyum silikat ve jasmonik asidin sırasıyla 232.00 ve 151.75 mmol/m²/s ile en başarılı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde, tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin potasyum silikat ile olan etkileşiminde sırasıyla 273.00 ve 192.00 mmol/m²/s ile en yüksek değerler kaydedilmiştir. BN16 duyarlı fasulye genotipinde potasyum silikat, diğer antioksidanlara göre belirgin bir fark yaratmıştır. BN16 ile yüksek etkileşim gösteren diğer antioksidan ise 83.50 mmol/m²/s ile jasmonik asit olmuştur (Çizelge 4.3).

Faghih ve ark. (2017), Çilek bitkisi 'Camarosa' çeşidinde tuz stresi koşullarında salisilik asit (SA) ve metil jasmonat (MJ) uygulamasının etkilerini incelemişlerdir. Stoma iletkenliği, tuz stresi koşullarında önemli düzeyde azalmıştır. SA ve MJ uygulaması, kontrol bitkilerine kıyasla stoma iletkenliğini önemli ölçüde artırmıştır. Uygulanan tedaviler arasında, 0.5 mM SA ve 0.25 mM MJ, tuzluluk stresinin olumsuz etkilerini azaltmak için optimum konsantrasyonlar olarak belirlenmiştir.

Aras ve Eşitken (2018), yaptıkları çalışmada tuzluluğun bitki büyümesini engellemesinin nedenlerinden birinin stomaların kapanması olduğunu bildirdiler. Tuz uygulaması stoma iletkenliğini azaltmıştır yani stomaların (yaprakların yüzeyindeki küçük gözenekler) daha fazla kapanmasına yol açarak bitkinin atmosferle gaz alışverişini azaltmıştır. Öte yandan, silikon (Si) uygulamaları kontrol grubuna göre stoma iletkenliğini artırmıştır. Bu bağlamda silikon uygulamalarının stomaların daha açık kalmasına yardımcı olduğunu ve bitkinin gaz değişimini sürdürme yeteneğine katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır.

4.3.3. Yaprak Oransal Su İçeriği (%)

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ), bir bitki yaprağının mevcut su içeriğinin, maksimum su içeriğine oranıdır. Bitkinin su stresi durumunu belirlemede ve suyun bitki tarafından ne kadar etkin bir şekilde kullanıldığını anlamada önemli bir göstergedir.

Fasulye bitkilerinin yaprak oransal su içeriği (YOSİ) genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin YOSİ değerleri incelendiğinde tolerant genotip olan BN150' de ortalama %86.18 YOSİ içeriği ile duyarlı genotip BN16'nın ortalama %83.79 YOSİ içeriğinden daha yüksek bir değer elde edilmiştir (Çizelge 4.3).

Uygulamalar arasında sırasıyla %92.46 ve %89.51 ile Tuz + SA ve Tuz + Si uygulamaları kontrol uygulamasına göre daha yüksek oranda yaprak oransal su içeriği içermektedir. Tuz stresi altındaki bitkiler % 79.60 ile en düşük YOSİ içermektedir (Çizelge 4.3).

Genotip x uygulama etkileşimi incelendiğinde tuz stresine duyarlı genotip olan BN16 'nın salisilik asit ve jasmonik asit ile etkileşiminde sırasıyla % 95.39 ve % 95.92 ile en yüksek YOSİ içeriği kaydedilmiştir. Tuz stresine dayanıklı genotip olan BN150' nin potasyum silikat ve glisin betain ile etkileşiminde sırasıyla %90.88 ve % 91.19 ile en yüksek YOSİ içeriği belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Sofy ve ark. (2020), glisin betainin fasulye (*Phaseolus vulgaris L.*) bitkilerinde Na⁺ alımını sınırlayarak yüksek K⁺/Na⁺ oranını koruma ve antioksidan savunma mekanizmaları aracılığıyla tuz stresine karşı koyma mekanizmasını inceledikleri çalışmada, fasulye bitkilerinin NaCl stresine maruz bırakılmasının yaprak oransal su içeriğinde önemli bir azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Konsantrasyon fark etmeksizin, glisin betainin, NaCl yokluğunda veya varlığında fasulye yapraklarında yaprak oransal su içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, düşük GB konsantrasyonunun yüksek GB konsantrasyonundan daha fazla YOSİ artışı sağladığı elde edilmiştir.

Ogunsiji ve ark. (2023), salisilik asit uygulamalarının, stresi koşullarında yetiştirilen iki farklı maş fasulyesi çeşidinde büyümenin, fotosentetik performansın ve antioksidan savunma aktivitesinin etkilerini belirlemiştir. Kontrol bitkilerinde YOSİ içeriğinde artışı gözlenirken, en yüksek artış SA uygulanan bitkilerde gözlenmiştir. Bununla birlikte, YOSİ değerleri yüksek tuz konsantrasyonlarında aşamalı olarak azaldı ve en büyük azalma 200 mM NaCl uygulamalarında belirlenmiştir.

Hafez ve ark. (2021), baklada YOSİ'nin, tuzlu sulama suyu ile sulanan bitkilerde önemli ölçüde azaldığını ve 2018/2019 ve 2019/2020 sezonlarında tuzlu etkili topraklarda yetiştirilen bakla bitkilerine PGPR veya/ve K-silikat tek başına veya kombinasyon halinde uygulandığında, YOSİ'de önemli artışlar gözlemlendiğini, bu uygulamaların tuzlu sulama suyunun bakla bitkileri üzerindeki olumsuz etkisini dengelediğini ve kontrol bitkilerinden daha yüksek YOSİ'ye sahip olan tuzlu su ile sulanan ve PGPR ile K-silikat uygulanan bakla bitkilerinde elde edildiğini bildirmişlerdir.

4.3.4. Yaprak su potansiyeli (Mpa)

Yaprak su potansiyeli, bitkinin yapraklarında bulunan suyun potansiyel enerjisini ifade eder. Bu değer, bitkinin su alımı ve kaybı arasındaki dengeyi gösterir ve genellikle negatif bir değer olarak ifade edilir. Yaprak su potansiyeli, bitkinin su durumu ve çevresel koşullar hakkında önemli bilgiler sağlar.

Fasulye yaprak su potansiyeli genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin yaprak su potansiyeli içeriği incelendiğinde beklenildiği üzere tuz stresine dayanıklı genotip BN150 -0.42 Mpa ile tuz stresine duyarlı genotip olan BN16'dan -0.46 MPa ile daha yüksek artış göstermektedir (Çizelge 4.3).

Uygulamaların etkisi incelendiğinde en yüksek yaprak su potansiyeli değerleri melatonin uygulamasında -0.27 Mpa düzeyinde belirlenmiştir. Stres olmayan kontrol bitkilerinde -0.28 Mpa yaprak su potansiyeli belirlenmiştir. Melatonin uygulaması hem stresin olumsuz etkisini azaltmıştır hem de kontrol uygulamasına göre daha yüksek düzeyde yaprak su potansiyeli içermektedir. -0.39 MPa yaprak su potansiyeli içeriğiyle potasyum silikat da fark yaratmıştır (Çizelge 4.3).

Genotip x uygulama etkileşiminde en yüksek düzeyde yaprak su potansiyeli tuz stresine dayanıklı genotip BN150 'nin melatonin ve salisilik asit ile olan etkileşiminde sırasıyla -0.17 ve -0.21 Mpa olarak belirlenmiştir. Beklenildiği üzere tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin stres olmayan kontrol bitkilerinde sırasıyla -0.27 ve -0.30 Mpa düzeyinde yüksek oranda yaprak su potansiyeli belirlenmiştir. Duyarlı genotip olan BN16'nın potasyum silikat ve melatonin ile olan etkileşiminde sırasıyla -0.34 ve -0.37 Mpa düzeyinde yüksek oranda yaprak su potansiyeli kaydedilmiştir. Duyarlı bir genotip olan BN16'nın silikon ve melatonin ile olan etkileşimi tuz stresinin yaprak su potansiyeli üzerinde yarattığı olumsuz etkiyi azaltması yönünden fark yaratmıştır (Çizelge 4.3).

Mimouni ve ark. (2016), salisilik asit (SA) uygulamalarının domates bitkilerinde büyüme, su dinamikleri, fotosentez ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkilerini ve tuz stresine karşı toleransını artırıp artırmadığını inceledikleri çalışmada, tuzsuz büyüme koşullarında yaprak su potansiyelinin, SA (salisilik asit) uygulananlara göre daha fazla negatif olduğunu ancak tuz uygulaması yapılan bitkilerin yaprak su potansiyelini kontrol bitkilerine göre azaldığını bildirmişlerdir. NaCl ile birlikte SA eklenmesi, yaprak su potansiyelini tuzsuz kontrol değerlerine benzer bir seviyeye yükselttiğini ve NaCl'in ozmotik etkisini ortadan kaldırdığını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.3. Farklı antioksidan uygulamalarının fasulyede fizyolojik parametreler üzerine etkisi.

Faktör		Stoma İletkenliği (mmol/m ² /s)	Yaprak Oransal Su İçeriği (%)	Yaprak Su Potansiyeli (Mpa)
Genotip				
BN16		101.29 b	83.79 b	-0.46 b
BN150		253.6 a	86.18 a	-0.42 a
Uygulama				
Kontrol		373.00 a	84.20 c	-0.28 a
Tuz		109.50 e	79.60 d	-0.64 f
Tuz+GB		130.00 d	87.29 b	-0.42 bc
Tuz+JA		151.75 c	83.20 c	-0.48 d
Tuz+MEL		142.50 cd	80.35d	-0.27 a
Tuz+NO		137.75 cd	83.30 c	-0.58 e
Tuz+SA		142.83 cd	92.46 a	-0.43 c
Tuz+Si		232.00 b	89.51 b	-0.39 b
Genotip*Uygulama				
BN150	Kontrol	485.00 a	84.96 cde	-0.30 bc
	Tuz	167.00 f	79.22 fg	-0.68 g
	Tuz+GB	209.00 de	91.19 b	-0.35 cd
	Tuz+JA	220.00 cd	70.47 i	-0.35 cd
	Tuz+MEL	237.00 c	73.49 h ₁	-0.17 a
	Tuz+NO	216.00 d	90.60 b	-0.74 h
	Tuz+SA	222.33 cd	89.54 b	-0.21 a
	Tuz+Sİ	273.00 b	90.88 b	-0.44 e
	Kontrol	261.00 b	83.44 de	-0.27 b
	Tuz	52.00 h	81.47 ef	-0.61 f
	Tuz+GB	51.00 h	83.38 de	-0.46 e
	Tuz+JA	83.50 g	95.92 a	-0.61 f
	Tuz+MEL	48.00 h	85.71 cd	-0.37 d
	Tuz+NO	59.50 h	76.00 gh	-0.43 e
BN16	Tuz+SA	63.33 gh	95.39 a	-0.66 fg
	TUZ+Sİ	192.00 e	88.13 bc	-0.34 cd

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre p<0.05 düzeyinde önemlidir.

4.4. Fasulye Meyve Ölçümleri

4.4.1. Meyve Ağırlığı (g)

11.05.2023 tarihinde hasadı yapılan fasulyelerin meyve ağırlığı genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin meyve ağırlığına etkisi incelendiğinde tuz stresine duyarlı genotip BN16 ortalama 32.35 g meyve ağırlığı ile dayanıklı genotip BN150'nin ortalama 25.24 g meyve ağırlığından daha fazla meyve ağırlığı oluşturmuştur (Çizelge 4.4).

Uygulamaların meyve ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde beklenildiği üzere stres olmayan kontrol bitkilerinde 47.75 g meyve ağırlığı belirlenmiştir. Antioksidan uygulamalarından melatonin ve salisilik asit antioksidanları sırasıyla 31.51 ve 27.71 g ile meyve ağırlığı üzerinde en iyi etkiyi göstermektedir. En hafif meyve ağırlığı 18.65 g ile tuz stresi altındaki bitkilerden alınmıştır (Çizelge 4.4).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde, tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminde 62.08 g ile en çok meyve ağırlığı kaydedilmiştir. BN16'nın

melatonin ile olan etkileşimi 36.54 g ile diğer antioksidanlar ile olan etkileşiminden daha iyi sonuç göstermiştir. BN150 genotipinin stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminden 32.83 g meyve ağırlığı kaydedilmiştir. Tuza duyarlı genotip BN16'nın salisilik asit ve potasyum silikat ile olan etkileşimleri sırasıyla 29.37 ve 29.06 g ile meyve ağırlığı üzerinde fark yaratan antioksidanlardandır (Çizelge 4.4).

4.4.2. Meyve Sayısı (adet)

Hasadı yapılan fasulyelerin meyve sayısı genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin meyve sayısı incelendiğinde sırtık genotip BN16' da (9.89 adet) daha fazla meyve sayısı elde edilmiştir.

Uygulamaların meyve sayısına etkisi incelendiğinde en iyi sonuç stres olmayan kontrol bitkilerinden (11.00 adet) alınmıştır. Antioksidan uygulamaların etkisine bakıldığında melatonin uygulaması 7.75 adet meyve sayısı ile en iyi etkiyi göstermektedir. En düşük meyve sayısı tuz stresi altındaki bitkilerden (5.16 adet) alınmıştır (Çizelge 4.4).

Genotip x uygulama interaksiyonunda duyarlı genotip BN16'nın stres olmayan kontrol bitkileriyle etkileşiminden 16.00 adet meyve sayısı ile en iyi sonuç alınmıştır. Antioksidan uygulamalar içerisinde en çok meyve sayısı sırasıyla 10.50 ve 10.00 adet ile tuz stresine duyarlı genotip olan BN16'nın melatonin ve potasyum silikat ile olan etkileşiminden alınmıştır. Meyve sayısı bakımından en düşük sonuç BN150 genotipinin tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminden elde edilmiştir. BN150 genotipinin tuz stresine karşı uygulanan antioksidanlarla olan etkileşimi tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşimine göre meyve sayısında artış sağlamaktadır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Farklı antioksidan uygulamalarının 60 gün süren deneme boyunca fasulye meyve ölçümlerine etkisi.

Faktör		Meyve Ağırlığı (g)	Meyve Sayısı (adet)
Genotip			
BN16		32.35 a	9.89 a
BN150		25.24 b	4.79 b
Uygulama			
Kontrol		47.45 a	11.00 a
Tuz		18.65 e	5.6 c
Tuz+GB		23.02 d	6.33 bc
Tuz+JA		26.30 cd	6.66 bc
Tuz+MEL		31.51 b	7.75 b
Tuz+NO		28.69 bc	6.66 bc
Tuz+SA		27.71 c	7.66 b
Tuz+Sİ		27.02 c	7.50 b
Genotip*Uygulama			
BN150	Kontrol	32.83 bc	6.00 de
	Tuz	19.65 hı	3.66 e
	Tuz+GB	20.99 ghı	4.00 e
	Tuz+JA	23.67 fgh	4.66 de
	Tuz+MEL	26.48 def	5.00 de
	Tuz+NO	27.28 def	4.66 de
	Tuz+SA	26.05 def	5.33 de
	Tuz+Sİ	24.98 efg	5.00 de
	BN16		
	Kontrol	62.08 a	11.00 a
	Tuz	17.65 ı	6.66 cd
	Tuz+GB	25.05 efg	8.66 bc
	Tuz+JA	36.54 b	10.50 b
	Tuz+MEL	28.93 cde	8.66 bc
	Tuz+NO	30.09 cd	8.66 bc
	Tuz+SA	29.37 cde	10.00 b
	Tuz+Sİ	29.06 cde	10.00 b

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.5. Fasulyede Kalite Parametreleri

4.5.1. Toplam Fenol Tayini (mg kg KA^{-1})

Fenoller bitki sekonder metabolitlerinin ana gruplarından biridir ve 9,000'den fazla genotipli bileşiği içerir. Bu bileşikler bitkilerde UV ışınlarına karşı koruma, patojenlere karşı savunma, tozlaşıcıları çekmek için pigmentasyon sağlama ve tuz stresi gibi genotipli çevresel streslerin neden olduğu reaktif oksijen türlerine karşı koruma gibi geniş bir biyolojik fonksiyona sahiptir.

Toprak tuzluluğu bitki büyümesi ve verimliliği üzerinde önemli bir çevresel kısıtlama olup, özellikle sulama sistemlerine ağır bağımlı tarım sistemlerinde ciddi bir sorundur. Tuz stresi, fotosentetik elektron zincirinin aşırı indirgenmesine neden olur ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini teşvik eder, dolayısıyla oksidatif stres oluşturur. Yüksek bitkiler, tuz stresinden kaynaklanan oksidatif hasarı azaltmak için genotipli adaptif mekanizmalar geliştirmişlerdir, bunlar arasında fenolik bileşikler(fenolik asitler, flavonoidler ve proantosiyanidinler gibi) serbest radikalleri temizleme konusunda önemli rol oynar (Waśkiewicz ve ark.2012).

Fasulye meyvelerinde yapılan analizler sonucunda toplam fenol içeriği genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin toplam fenol içerikleri en yüksek tuz stresine duyarlı genotip BN16'da 100.22 mg kg KA⁻¹ değerinde kaydedilmiştir. Tuz stresine dayanıklı genotip BN150'de 86.85 mg kg KA⁻¹ toplam fenol belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Uygulamaların toplam fenol tayinine etkisi incelendiğinde stres olmayan kontrol bitkilerinde 110.10 mg kg KA⁻¹ ile en yüksek değer kaydedilmiştir. Antioksidanlar içerisinde 102.67 ve 96.05 mg kg KA⁻¹ ile sırasıyla potasyum silikat ve glisin betain uygulamaları toplam fenol içeriğini artırmıştır. En düşük toplam fenol içeriği tuz stresi altındaki bitkilerde 70.28 mg kg KA⁻¹ değerinde belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde en yüksek toplam fenol içeriği duyarlı genotip BN16 'nın potasyum silikat ve stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminde sırasıyla 122.34 ve 117.43 mg kg KA⁻¹ oranında belirlenmiştir. BN16 genotipinin glisin betain ile olan etkileşimi 102.70 mg kg KA⁻¹ ile toplam fenol içeriğini artıran antioksidanlardandır. Tuz stresine dayanıklı genotip BN150'nin stres olmayan kontrol bitkileri ve salisilik asitle olan etkileşiminde sırasıyla 102.76 ve 98.23 mg kg KA⁻¹ oranında en yüksek toplam fenol içeriği belirlenmiştir. En düşük toplam fenol içeriği tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki genotipin tuz stresi altındaki bitkilerinde sırasıyla 68.79 ve 71.77 mg kg KA⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Shams ve ark. (2016), dışardan uygulanan glisin betain uygulamalarının, tuz stresi altındaki marulda bazı kimyasal özelliklere ve antioksidatif savunma sistemlere etkilerini incelemişlerdir. 100 mM NaCl ile tedavi edilen bitkilerde fenolik içeriğin azaldığını belirtmişlerdir. Tuzlu koşullara maruz kalan bitkilerde, en yüksek GB (25 mM) konsantrasyonunun, düşük GB konsantrasyonlarına kıyasla toplam fenolik içeriğini artırdığını ve 25 mM GB uygulamasının, 0 mM GB kontrolüne kıyasla toplam fenolik içeriği yaklaşık %40 artırdığını bildirmişlerdir.

Oraee ve ark. (2023), potasyum silikat uygulamalarının, topraksız saksı kültürü altında yetiştirilen iki çilek çeşidinde tuzluluğun zararlı etkilerini inceledikleri çalışmada tuz stresi altında K₂SiO₃ uygulamasının fenol içeriğini kontrol bitkilerine göre artırdığını, 30 mM tuz stresinde, 2 mM ve 4 mM K₂SiO₃ uygulamaları bu indeksi sırasıyla %75 ve %115 artırdığını, yüksek tuz stresinde (%60 mM) ise artış sırasıyla %82 ve %150 olarak gözlendiğini bildirmişlerdir.

4.5.2. Toplam Flavonoid Tayini (mgRU/100g)

Bitkilerde yaygın bir şekilde bulunan fenolik bileşikler, sekonder metabolizma ürünleri olup ekolojik ve fizyolojik olaylarda rol oynamaktadırlar (Okunlola ve ark., 2017). Fenolik bileşiklerin bitkilerdeki en önemli özelliklerinden biri, antioksidan aktivite göstermeleridir.. Flavonoidlerin sahip oldukları yapısal ve elektrokimyasal özelliklerin, lipid peroksidasyonunu baskıladığı ve lipid oksidasyonunu azaltarak membran yapısını koruyan antioksidan etkinliklerinde rol oynadığı ileri sürülmektedir (Eren ve ark., 2018). Lipid peroksidasyonunun azalması, flavonoidlerin reaktif oksijen

türlerini temizlemesinden ve lipid peroksidasyonu süresince üretilen lipid radikallerinin azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Antioksidan aktivite, fenolik bileşiklerde bulunan hidroksil gruplarının sayısı, konumu ve molekülün yapısına bağlı olarak gerçekleşmektedir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Fasulye meyvelerinde yapılan toplam flavanoid tayini analizleri sonucunda genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin toplam flavanoid içeriği en yüksek 408.37 mgRU/100g ile tuz stresine duyarlı genotip olan BN16'da düzeyinde belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Uygulamalar arasındaki etki incelendiğinde, en yüksek toplam flavanoid içeriği potasyum silikatta 515.91 mgRU/100g olarak kaydedilmiştir. Stres olmayan kontrol bitkilerinde 503.35 mgRU/100g düzeyinde toplam flavanoid belirlenmiştir. Melatonin uygulamaları 403.84 mgRU/100g toplam flavanoid içeriği oluşturmuştur. En düşük flavanoid içeriği tuz stresi altındaki altındaki bitkilerde 208.84 mgRU/100g düzeyinde kaydedilmiştir (Çizelge 4.5).

Genotip x uygulama etkileşimleri tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminde 738.61 mgRU/100g ile en yüksek toplam flavanoid içeriği bulunmuştur. 678.35 mgRU/100g ile BN16 genotipinin potasyum silikat ile olan etkileşimi antioksidanlar içerisinde toplam flavanoid içeriğini artırmıştır. En düşük flavanoid içeriği tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki genotipin tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminde belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Yan ve ark. (2021), melatoninin pirinç fidelerinde tuz stresine yanıt olarak antioksidan stratejisinin düzenlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, tuz stresi altında toplam flavonoid ve toplam fenol içeriği sürekli olarak arttığını ve melatonin (MT) ön işleminin bunu teşvik ettiğini belirtmişlerdir. MT'nin tuz stresi altında pirinç bitkilerinin antioksidan içeriğini artırdığını göstermektedir.

Pinedo-Guerrero ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada K_2SiO_3 ve SiO_2 NPs uygulamasının domateslerde büyüme, antioksidan içeriği ve tuz stresi toleransı üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Flavonoid içeriğinin, tuz stresi olmadığında 500 mg L^{-1} SiO_2 NPs uygulanmasıyla %17.9 arttığını ancak tuz stresi altında, 250 mg L^{-1} K_2SiO_3 uygulanması bu bileşiklerin en yüksek içeriğini gösterdiğini ve kontrol grubuna göre %8.99 daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.5. Farklı antioksidan uygulamalarının fasulye kalite parametreleri üzerine etkisi.

Faktör		Toplam Fenol (mg kg KA ⁻¹)	Toplam Flavanoid (mgRU/100g)
Genotip			
BN16		100.22 a	408.37 a
BN150		86.85 b	299.26 b
Uygulama			
Kontrol		110.10 a	503.35 a
Tuz		70.28 e	208.84 e
Tuz+GB		96.05 c	319.01 c
Tuz+JA		92.13 c	315.69 c
Tuz+MEL		95.39 c	403.84 b
Tuz+NO		87.39 d	309.08 c
Tuz+SA		94.27 c	254.78 d
Tuz+Sİ		102.67 b	515.91 a
Genotip*Uygulama			
BN150	Kontrol	102.76 bc	268.09 g
	Tuz	68.79 h	202.53 h
	Tuz+GB	83.18 g	293.30 fg
	Tuz+JA	96.24 de	327.68 def
	Tuz+MEL	88.08 fg	400.87 c
	Tuz+NO	74.05 h	327.88 def
	Tuz+SA	98.23 cd	220.26 h
	Tuz+Sİ	83.00 g	353.47 d
	BN16	Kontrol	117.43 a
		Tuz	71.77 h
		Tuz+GB	108.92 b
		Tuz+JA	88.01 fg
		Tuz+MEL	102.70 c
		Tuz+NO	100.28 cd
		Tuz+SA	90.30 ef
		Tuz+Sİ	122.34 a
			678.35 b

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.6. Fasulye Bitkilerinde Besin Maddesi Analizleri

4.6.1. Makro Elementler (%)

Çalışmada tuz stresine karşı antioksidan uygulamaları yapılan fasulye bitkileri yapraklarında makro besin maddeleri analizleri yapılmış genotip, uygulama ve genotip x uygulama interaksyonu arasında bitki besin konsantrasyonları karşılaştırılmıştır.

Fasulye azot içeriği %3-6 arasında değişmektedir. Fasulye bitkilerinin yaprak örneklerinde yapılan bitki besin elementi analizleri sonucunda azot içeriği genotipler arasında istatistiksel olarak fark yaratmamıştır. Uygulama ve genotip x uygulama interaksyonu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Uygulamaların azot içeriğine etkileri incelendiğinde beklenildiği üzere en yüksek azot içeriği stres olmayan kontrol bitkilerinde % 3.66 olarak kaydedilmiştir. Melatonin ve salisilik asit sırasıyla % 3.47 ve % 3.46 azot içeriği ile antioksidanlar içerisinde azot içeriğini artmıştır. En düşük azot içeriği % 2.92 ile tuz stresi altındaki bitkilerden alınmıştır (Çizelge 4.6).

Genotip x uygulama etkileşiminde en yüksek azot içeriği tuz stresine dayanıklı genotip BN150'nin stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminden % 3.82 olarak belirlenmiştir. Genotip x uygulama etkileşimleri içerisinde antioksidanlar arasında tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın salisilik asit ve melatonin antioksidanları ile olan etkileşimleri sırasıyla % 3.78 ve %3.62 ile azot içeriğini artırmıştır. En düşük azot içeriği BN16 genotipinin tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminde % 2.60 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Fasulye fosfor içeriği genotip uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak önemli düzeyde belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Fasulye fosfor içeriği %0.25-0.50 arasında değişmektedir. Genotiplerin fosfor içerikleri incelendiğinde dayanıklı genotip BN150 %0.82 fosfor içeriği ile duyarlı genotip BN16'dan daha yüksek bir değere sahiptir (Çizelge 4.6).

Uygulamaların fosfor içerikleri beklenildiği üzere en düşük tuz stresi altındaki bitkilerde %0.60 olarak belirlenmiştir. Salisilik asit ve glisin betain %0.81 ve % 0.80 ile en yüksek fosfor içeren antioksidanlardır. %0.79 ve %0.77 ile potasyum silikat ve jasmonik asit fosfor içeriği üzerinde fark yaratan antioksidanlardandır. Stres etkisi olmayan kontrol bitkilerinde fosfor içeriği %0.75 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde en yüksek fosfor içeriği dayanıklı genotip BN150'nin glisin betain ve salisilik asit ile olan etkileşiminden sırasıyla %1.02 ve %0.90 olarak kaydedilmiştir. BN150'nin diğer antioksidanlarla olan etkileşimi, tuz stresi altındaki bitkilerle ve stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminden daha yüksek fosfor içeriği oluşturmuştur. Duyarlı genotip BN16'nın potasyum silikat ile olan etkileşiminden %0.83 fosfor içeriği ile en yüksek değer kaydedilmiştir. Stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminden %0.74 ve tuz stresi altındaki bitkilerden de %0.48 oranında fosfor içeriği belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Fasulye yeşil aksam potasyum (K) içeriği %2.00-3.00 arasındadır. Genotipler arasında istatistiksel olarak önemli bulunamamıştır (Çizelge 4.8). Uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak olarak K içeriği üzerinde anlamlı bulunmuştur.

Uygulamalar arasındaki K içeriği incelendiğinde, en yüksek K içeriği melatonin ve glisin betain antioksidanlarında sırasıyla % 4.86 ve %4.80 olarak belirlenmiştir. Stres olmayan kontrol bitkilerinde K içeriği %3.46 olarak kaydedilmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde %3.87 oranında K belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Genotip x uygulama etkileşiminde dayanıklı genotip BN150'nin melatonin ve jasmonik asit ile olan etkileşiminde sırasıyla %5.44 ve %5.38 ile en yüksek K içeriği elde edilmiştir. Duyarlı genotip BN16'nın nitrik oksit ve glisin betain ile olan etkileşiminden sırasıyla %4.97 ve %4.82 oranında K kaydedilmiştir. En düşük K içeriği stres olayan kontrol bitkilerinde %3.36 oranındadır (Çizelge 4.6).

Magnezyum (Mg) konsantrasyonları % 0.25-0.70 düzeyindedir, genotipler arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır. Uygulamalar ve genotip x uygulama etkileşimleri Mg konsantrasyonu üzerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Uygulamalar arasında Mg konsantrasyonları en yüksek, tuz stresi altındaki bitkilerde, glisin betain ve jasmonik asitte % 0.88 olarak belirlenmiştir. En düşük Mg içeriği stres olmayan kontrol bitkilerinde elde edilmiştir (Çizelge 4.6).

Fasulye Mg konsantrasyonu genotip x uygulama etkileşimlerinde en yüksek duyarlı genotip BN16'nın jasmonik asit ile olan etkileşiminde belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı BN150'nin nitrik oksit olan etkileşiminden de % 0.97 ile yüksek oranda Mg konsantrasyonu belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki genotipte de kontrole oranla daha yüksek Mg konsantrasyonu kaydedilmiştir (Çizelge 4.6).

Fasulye bitkilerinde kalsiyum (Ca) içeriği genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotipler arasında dayanıklı genotip olan BN150 % 6.34 ile duyarlı genotip BN16'dan daha yüksek Ca içermektedir (Çizelge 4.6).

Uygulamaların Ca içerikleri incelendiğinde en yüksek değer nitrik oksit ve melatonin uygulamasında sırasıyla % 7.26 ve % 6.68 olarak belirlenmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde %5,65 oranında Ca içeriği belirlenmiştir. En düşük Ca içeriği %4 .13 ile stres olmayan kontrol bitkilerinde kaydedilmiştir (Çizelge 4.6).

Fasulye Na konsantrasyonu genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotipler arasında tuz stresine duyarlı genotip BN16 ortalama %0.47 Na konsantrasyonu ile dayanıklı genotip BN150'nin % 0.39 Na konsantrasyonundan daha yüksek bir değere sahiptir (Çizelge 4.6).

Uygulamaların Na konsantrasyonuna etkisi incelendiğinde, en düşük Na konsantrasyonu stres olmayan kontrol bitkilerinde % 0.09 olarak kaydedilmiştir. En yüksek Na konsantrasyonu %0.62 ile tuz stresi altındaki bitkilerde belirlenmiştir. Antioksidanlar içerisinde glisin betain ve nitrik oksit ile olan etkileşiminde sırasıyla % 0.29 ve % 0.42 ile en düşük Na konsantrasyonu içermektedir (Çizelge 4.6).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde tuz stresine dayanıklı genotip BN150'nin stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminde %0.10 ile en düşük, tuz stres altındaki bitkilerle olan etkileşiminde de %0.62 ile en yüksek Na içeriği belirlenmiştir. Antioksidanlar ile olan etkileşiminde de glisin betain ve nitrik oksitte sırasıyla %0.31 ve 0.34 Na içeriği belirlenmiştir. BN150'nin antioksidanların tamamıyla olan etkileşiminde stres altındaki bitkilere göre daha düşük Na içeriği kaydedilmiştir. Tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminde %0.07 ile en düşük, tuz stres altındaki bitkilerle olan etkileşiminde de %0.63 ile en yüksek Na içeriği belirlenmiştir. Antioksidanlar içerisinde glisin betain ile olan etkileşiminde %0.26 Na içeriği bulunmuştur. BN16'nın antioksidanların tamamıyla olan etkileşiminde stres altındaki bitkilere göre daha düşük Na içeriği kaydedilmiştir (Çizelge 4.6).

Azizi ve ark. (2022), tuzluluk seviyesinin artması kök ve sürgünlerde potasyum ve kalsiyum düzeylerini azaltırken, bu organlarda sodyum düzeylerini artırmıştır. Melatonin, köklerde ve

sürgünlerde Na düzeylerindeki tuzluluk etkisini azaltmıştır ve K içeriğini arttırmıştır. Köklerde 100 mM NaCl ve sürgünlerde 200 mM NaCl uygulamasında, melatonin Ca düzeylerini sırasıyla %16 ve %69 arttırmıştır.

Ghassemi-Golezan ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada tuzluluk arttıkça azot içeriğinin azaldığını ancak kontrol ve düşük tuzluluk arasında önemli bir fark olmadığını ve SA (Salisilik Asit) uygulaması yapılan bitkilerin yapraklarında en yüksek azot içeriği gözlemlenmiştir.

M. Al-harth ve ark. (2021), tuz stresi altında yetiştirilen yaz kabaklarında tuz stresinin, bitki sürgünü ve kökünde Mg konsantrasyonunu belirgin şekilde azalttığını ve tuzlu koşullar altında, JA ile tohum öncesi işlemler ve GA + JA karışımının, yaz kabaklarının sürgün ve köklerinde Mg konsantrasyonunu stres altındaki kontrollere göre daha önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. JA ve GA + JA karışımı, tuzlu koşullar altında sürgünlerde Mg konsantrasyonunu stres altındaki kontrollere kıyasla sırasıyla yaklaşık %14.41 ve %12.40 artırmıştır.

Shang ve ark. (2022), tuz stresi bitkilerin besin alımını etkilerken, dış NO uygulaması bitkilerin faydalı besinleri alımını teşvik etmiştir. Örneğin, NO uygulaması pirinç yapraklarında azot (N) içeriğini artırırken, *Capsicum annum*'da (biber bitkisi) NO işlemi ile mineral element (örneğin, Zn, Fe, B, K, Ca ve Mg) alımının tuzlu koşullarda arttığı belirtilmiştir. Bu veriler, NO'nun mineral besin alımını düzenleyerek tuzluluk stresinde bitkilerin büyümesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir.

Desoky ve ark. (2019), bu çalışmada, NaCl'nin neden olduğu tuzluluk stresinin fasulye bitkileri üzerindeki olumsuz etkilerini ve bu olumsuz etkilerin azaltılmasında ekzojen glisin betain (GB) uygulamasının etkinliğini değerlendirmişlerdir. NaCl seviyeleri ve GB ile yaprak uygulamaları birbirleriyle etkileşime girerek N, P, K ve Na konsantrasyonunda önemli değişiklikler meydana getirdi. NaCl stresi varlığında fasulye yapraklarında Na konsantrasyonu önemli ölçüde arttı. Bununla birlikte, tuzluluk stresi koşulları altında, GB ile muamele edilen bitkiler, muamele edilmeyen bitkilerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha düşük Na (%) değerine sahip olduğunu bildirdiler.

Dong ve ark. (2014), tuzluluk stresi altında SNP uygulanan bitkilerde K, Mg ve Ca iyonlarının emilimini artırabileceğini ve Na iyonlarının gücünü azaltabileceğini bildirdi; bu durumda, SNP'nin bitki dokularına Na iyonlarının alımını sınırladığı gerçeğine atfedilebilir.

Elde edilen verilere göre, tuz stresi fasulye bitkilerinin fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak antioksidan uygulamaları, membran stabilitesini, besin alımını, büyümeyi ve fotosentetik verimliliği iyileştirerek bu olumsuz etkileri azaltır. Bu bulgular, bitkinin tuzluluk ve diğer etkenlere karşı direncini arttırmak için koruyucu maddeler olarak antioksidanların potansiyel kullanımını önermektedir.

Çizelge 4.6. Farklı antioksidan uygulamalarının makro elementler üzerine etkisi (%).

Faktör		N	P	K	Mg	Ca	Na
Genotip							
BN16		3.27	0.67 b	4.16	0.83	4.76 b	0.47 a
BN150		3.33	0.82 a	4.26	0.82	6.34 a	0.39 b
Uygulama							
Kontrol		3.66 a	0.75 c	3.46 d	0.74 c	4.13 f	0.09 f
Tuz		2.92 d	0.60 e	3.87 c	0.88 a	5.65 c	0.62 a
Tuz+GB		3.15 c	0.80 ab	4.80 a	0.88 a	6.52 b	0.29 e
Tuz+JA		3.14 c	0.77 bc	4.49 b	0.88 a	4.29 ef	0.50 c
Tuz+MEL		3.47 b	0.74 c	4.86 a	0.84 a	6.68 b	0.50 c
Tuz+NO		3.38 b	0.70 d	4.54 b	0.84 a	7.26 a	0.42 d
Tuz+SA		3.46 b	0.81 a	3.65 d	0.82 ab	4.71 de	0.52 b
Tuz+Sİ		3.22 c	0.79 ab	4.02 c	0.75 bc	5.15 d	0.50 c
Genotip*Uygulama							
BN150	Kontrol	3.82 a	0.76 ef	3.36 f	0.62 g	4.01 fg	0.10 j
	Tuz	3.24 fgh	0.73 efg	4.19 e	0.91 bc	6.56 cd	0.60 b
	Tuz+GB	3.20 ghı	1.02 a	4.82 bc	0.91 bc	6.50 cd	0.31 h
	Tuz+JA	3.31 fg	0.81 cd	3.60 f	0.71 fg	4.71 e	0.37 g
	Tuz+MEL	3.32 efg	0.77 de	4.28 de	0.86 cd	7.28 b	0.47 ef
	Tuz+NO	3.18 ghı	0.85 c	4.97 b	0.97 ab	8.24 a	0.34 gh
	Tuz+SA	3.15 g-j	0.90 b	4.33 de	0.85 cd	6.63 bcd	0.48 e
	Tuz+Sİ	3.41 def	0.76 ef	4.53 cd	0.78 def	6.77 bc	0.45 f
	Kontrol	3.50 cde	0.74 efg	3.56 f	0.87 cd	4.24 ef	0.07 j
	Tuz	2.60 k	0.48 ı	3.55 f	0.85 cd	4.74 e	0.63 a
	Tuz+GB	3.10 hij	0.57 h	4.77 bc	0.86 cd	6.54 cd	0.26 ı
	Tuz+JA	2.98 j	0.73 efg	5.38 a	1.05 a	3.87 fg	0.63 ab
	Tuz+MEL	3.62 bc	0.71 g	5.44 a	0.82 cde	6.07 d	0.53 d
	Tuz+NO	3.58 cd	0.56 h	4.11 e	0.72 fg	6.29 cd	0.49 e
BN16	Tuz+SA	3.78 ab	0.72 fg	2.97 g	0.80 def	2.79 h	0.57 c
	Tuz+Sİ	3.03 ij	0.83 c	3.52 f	0.73 ef	3.53 g	0.55 cd

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.6.2. Mikro Elementler (ppm)

Çalışmada tuz stresine karşı antioksidan uygulamaları yapılan fasulye bitkileri yapraklarında mikro besin maddeleri analizleri yapılmış genotip, uygulama ve genotip x uygulama interaksyonu arasında bitki besin konsantrasyonları karşılaştırılmıştır.

Fasulye yeşil aksam çinko içeriği (Zn), genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotipler arasında tuz stresine dayanıklı genotip BN150 ortalama 20.31 ppm Zn içeriği ile tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın ortalama 16.91 ppm Zn içeriğinden daha yüksek bir değere sahiptir (Çizelge 4.7).

Uygulamaların Zn içeriğine etkisi incelendiğinde, en yüksek Zn 27.00 ppm ve 19.00 ppm ile sırasıyla nitrik oksit ve melatonin uygulamalarında kaydedilmiştir. Stres olmayan kontrol bitkileri 18.33 ppm oranında Zn içermektedir. Tuz stresi altındaki bitkilerde 15.66 ppm ile en düşük Zn içeriği kaydedilmiştir (Çizelge 4.7).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki genotipin nitrik oksit ile olan etkileşiminde sırasıyla 27.00 ppm oranında en yüksek Zn içeriği belirlenmiştir. Tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın melatonin ve salisilik asit ile olan etkileşimi 21.00 ppm ile antioksidanlar içerisinde Zn içeriğini artıran etkileşimlerdenidir. En düşük Zn içeriği duyarlı genotip

BN16'nın tuz stresi olmayan kontrol bitkileri ve ve tuz stresi altındaki bitkilerle etkileşiminde 13.66 ppm oranında belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Fasulye bitkilerinde mangan (Mn) içerikleri genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotipler arasında 25.85 ppm ile tuz stresine dayanıklı BN150 genotipinde mangan içeriği yüksek bulunmuştur. Tuz stresine duyarlı genotip BN16 23.68 ppm Mn içermektedir (Çizelge 4.7).

Uygulamaların Mn içeriğine etkisi incelendiğinde en yüksek Mn içeriği 27.25 ve 26.33 ppm ile sırasıyla potasyum silikat ve salisilik asit uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Stres olmayan kontrol bitkilerinde 26.25 ppm Mn içeriği kaydedilmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde 26.00 ppm Zn elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde duyarlı genotip BN16'nın potasyum silikat ile olan etkileşiminde 31.50 ppm ile en yüksek Mn değeri kaydedilmiştir. Dayanıklı genotip BN150'nin tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminde %31.00 oranında Mn değeri belirlenmiştir. En düşük Mn değeri BN16 genotipinin %19.33 glisin betain ile olan etkileşiminde belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Fasulye bitkilerinde yapılan besin elementi sonuçlarına göre demir (Fe) içeriği genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotiplerin Fe içeriğine etkileri incelendiğinde en yüksek değer 68.77 ppm ile tuz stresine dayanıklı genotip BN150' de belirlenmiştir. Tuz stresine duyarlı genotip BN16 44.10 ppm oranında Fe içermektedir (Çizelge 4.7).

Uygulamaların Fe içeriğine etkileri incelendiğinde nitrik oksit uygulamaları 98.58 ppm ile en yüksek oranda Fe içermektedir. Stres olmayan kontrol bitkilerinde 66.25 ppm ve stres altındaki tuz bitkilerinde 48.00 ppm Fe konsantrasyonu belirlenmiştir. En düşük Fe konsantrasyonu 43.83 ppm oranında glisin betain uygulamalarında kaydedilmiştir (Çizelge 4.7).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde Fe konsantrasyonu en yüksek tuz stresine dayanıklı BN150 genotipinin nitrik oksit ve stres olmayan kontrol bitkileriyle olan etkileşiminde sırasıyla 120.66 ve 86.50 ppm değerinde belirlenmiştir. BN16 genotipinin nitrik oksit ile etkileşiminde 76.50 ppm ile Fe içeriğini artırmıştır. En düşük Fe konsantrasyonu 33.66 ppm ile BN16 genotipinin melatonin ile olan etkileşiminde kaydedilmiştir (Çizelge 4.7).

Fasulye bitkilerinde yapılan klor (Cl) analizi sonucunda genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotipler arasında duyarlı genotip BN16 % 7.37 oranında Cl içeriği ile dayanıklı genotip BN150'den daha yüksek oranda Cl içermektedir (Çizelge 4.7).

Uygulamaların Cl içeriğine etkisi Çizelge 4.7. gösterilmektedir. En yüksek Cl içeriği %10.97 ve %7.40 ile sırasıyla potasyum silikat ve tuz stresi altındaki bitkilerden elde edilmiştir. Antioksidanlar içerisinde en düşük Cl içeriği %4.00 ile jasmonik asitte belirlenmiştir. Beklenildiği üzere en düşük Cl içeriği stres olmayan kontrol bitkilerinde % 2.21 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Genotip x uygulama etkileşimleri incelendiğinde en yüksek Cl içeriği duyarlı genotip olan BN16'nın potasyum silikat ve tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminde sırasıyla %15.79 ve % 8.23 olarak belirlenmiştir. Antioksidanlar içerisinde en düşük Cl içeriği tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın jasmonik asit ile olan etkileşiminde kaydedilmiştir. Beklenildiği üzere en düşük Cl içeriği her iki genotipin stres olmayan kontrol bitkilerinden elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Shams ve ark. (2019), bu çalışmada biber fidelerinde tuz stresinin etkilerinin azaltılmasında nitrik oksidin (150 μ M SNP) rolü araştırmışlardır. Tuz stresinin besin alımını azalttığını, enzim aktivitesini değiştirdiğini ve bitkilerde osmolit birikimini etkilediğini bildirmişlerdir. Tuzluluk işlemleri biberin gelişiminde Zn ve Fe miktarı azalttığını belirtmişlerdir. Ancak NO (150 μ M SNP) uygulaması Zn ve Fe içeriğini arttırmıştır.

Noor ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada, jasmonik asit (JA) yaprakuygulamalarının, iki soya fasulyesi çeşidinde (*Glycine max* L.) tuz stresi toleransının altında yatan morfo-fizyolojik mekanizmalar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Tuz stresinin bitkilerde iyon birikimini, enzim aktivitelerini ve osmolit düzeylerini önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir. NaCl stresinin her iki soya fasulyesi türünde Na^+ ve Cl^- iyonlarının miktarı arttığını, tuz stresi ile birlikte yapılan eksojen JA uygulaması ile (T6, T8; 80 mM ve 120 mM NaCl + JA) Na^+ ve Cl^- birikimlerinin önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4. 7. Farklı antioksidan uygulamalarının mikro elementler üzerine etkisi (ppm).

Faktör		Zn	Mn	Fe	Cl
Genotip					
BN16		16.91 b	23.68 b	44.10 b	7.37 a
BN150		20.31 a	25.85 a	68.77 a	5.58 b
Uygulama					
Kontrol		18.33 b	26.25 a	66.25 b	2.21 f
Tuz		15.66 c	26.00 ab	48.00 d	7.40 b
Tuz+GB		17.33 bc	21.66 c	43.83 d	6.26 d
Tuz+JA		16.91 bc	21.50 c	55.00 c	4.00 e
Tuz+MEL		19.00 b	25.16 ab	47.33 d	6.98 c
Tuz+NO		27.00 a	24.00 b	98.58 a	6.90 c
Tuz+SA		17.83 bc	26.33 a	44.16 d	7.08 c
Tuz+Sİ		16.83 bc	27.25 a	48.33 d	10.97 a
Genotip*Uygulama					
BN150	Kontrol	23.00 b	28.50 ab	86.50 b	1.56 ı
	Tuz	17.66 cde	31.00 a	58.50 de	6.58 de
	Tuz+GB	20.00 bcd	24.00 def	52.00 ef	5.89 f
	Tuz+JA	16.50 ef	23.00 efg	54.50 de	5.12 g
	Tuz+MEL	21.00 bc	25.00 cde	61.00 d	5.86 f
	Tuz+NO	27.00 a	27.00 bcd	12.,66 a	7.18 c
	Tuz+SA	21.00 bc	25.33 cde	58.66 de	6.29 def
	Tuz+Sİ	16.33 ef	23.00 efg	58.33 de	6.16 ef
BN16	Kontrol	13.66 f	24.00 def	46.00 fg	2.87 h
	Tuz	13.66 f	21.00 fgh	37.50 hı	8.23 b
	Tuz+GB	14.66 ef	19.33 h	35.66 hı	6.63 d
	Tuz+JA	16.50 ef	20.00 gh	55.50 de	2.87 h
	Tuz+MEL	17.00 def	25.00 cde	33.66 hı	8.09 b
	Tuz+NO	27.00 a	21.01 fgh	76.50 c	6.63 d
	Tuz+SA	14.66 ef	27.33 bc	29.66 ı	7.87 b
	Tuz+Sİ	17.33 de	31.50 a	38.33 gh	15.79 a

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.7. Fasulyede Enzim Aktivitesi

4.7.1. Lipid Peroksidasyonu ($\mu\text{mol/g TA}$)

Lipitler, hücre plazma zarının ana bileşenini oluşturur ve hücreyi çevresel streslere karşı korur. Tuz stresi, ROS seviyelerini artırır ve lipid peroksidasyonuna yol açar. Tuzluluk nedeniyle oluşan lipid peroksidasyonu oldukça zararlıdır; zincir reaksiyonu tetikleyerek lipidleri yok eder ve lipid radikallerini oluşturur, bu radikaller ise diğer biyomoleküllere zarar verir. Tuz stresi zar lipidlerinin peroksidasyonuna yol açarak zarın akışkanlığını, elastikiyetini kaybettirir, hücrenin normal işleyişini engeller ve hücrenin yırtılmasına neden olur. Lipid peroksidasyonu, oldukça reaktif bir karbon bileşiği olan ve oksidatif stresin önemli bir biyomarkeri olarak kabul edilen malondialdehit (MDA) üretir.

Fasulye bitkilerinin lipid peroksidasyonu seviyesi (MDA) incelenmiştir. Buna göre fasulye bitkilerindeki MDA seviyesi uygulama ve genotip x uygulama etkileşimlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Genotipler arasında istatistiksel olarak önemli bir etki bulunamamıştır (Çizelge 4.8).

Genotipler arasında duyarlı genotip BN16'da $3,08 \mu\text{mol/g TA}$ ile en yüksek MDA miktarı belirlenmiştir. Tolerant genotip BN150'de $3,03 \mu\text{mol/g TA}$ düzeyinde MDA miktarı belirlenmiştir.

Uygulamaların MDA seviyeleri incelendiğinde en yüksek MDA miktarı beklenildiği üzere tuz stresi altındaki bitkilerde $4.46 \mu\text{mol/g TA}$ düzeyinde belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan antioksidan uygulamalarının tamamının fasulye genotiplerinin tuz stresini ve lipid peroksidasyonu sonucu üretilen MDA miktarını azalttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre glisin betain'in $2.26 \mu\text{mol/g TA}$ ve salisilik asit'in $2.55 \mu\text{mol/g TA}$ ile MDA miktarını azaltmada en etkili antioksidanlar olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3).

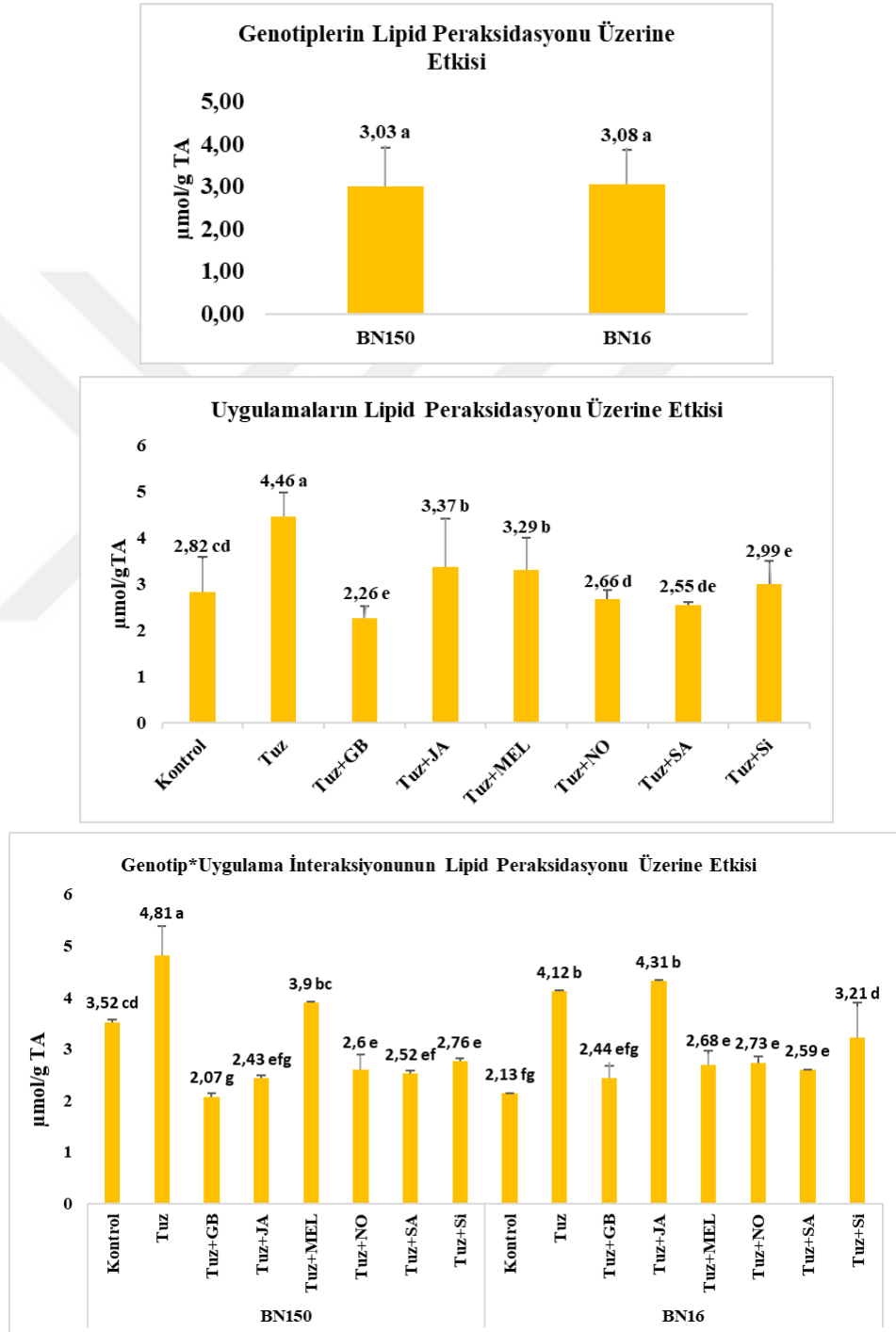
Genotip x uygulama etkileşimlerinde, tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin glisin betain ile olan etkileşiminde sırasıyla $2.07 \mu\text{mol/g TA}$ ve $2.44 \mu\text{mol/g TA}$ ile en düşük MDA seviyesi kaydedilmiştir. Dayanıklı genotip olan BN150'nin jasmonik asit ile olan etkileşiminde de $2.43 \mu\text{mol/g TA}$ ile düşük MDA seviyesi belirlenmiştir. Her iki fasulye genotipinin diğer antioksidan uygulamalarıyla olan etkileşiminde de düşük seviyede MDA miktarı belirlenmiştir. En yüksek MDA seviyesi her iki genotipin tuz stresi altında olan bitkileriyle etkileşiminde kaydedilmiştir (Şekil 4.3).

Sofy ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada yüksek NaCl seviyelerinde yetiştirilen fasulye bitkilerinde 25 mM oranında GB uygulanmasının, lipid peroksidasyonu sonucu üretilen MDA miktarını azaltarak NaCl stresini hafifletmedeki önemini bildirmişlerdir.

Youssef ve ark. (2023), yaptıkları çalışmada tuz stresi altında yetiştirilen fasulyede NaCl konsantrasyonlarının artırılmasının, tuz stresine maruz kalmayan kontrol grubuna kıyasla MDA seviyelerinde önemli artışlara neden olduğunu ve tuz stresine bağlı olarak daha yüksek bir lipid peroksidasyon derecesi gösterdiğini belirtmişlerdir. 50 mM NaCl altında, MDA birikiminin 0.75 mM

SA uygulanmasıyla önemli ölçüde azaldığını ve kontrol bitkilerinde gözlemlenen değerlere benzer seviyelere ulaştığını bildirmişlerdir.

El Nahhas ve ark. (2021), tuz stresi altında yetiştirilen baklada tuzluluk koşullarına maruz kalan bitkilerde MDA'nın önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. Biyokömür + JA uygulanan bitkiler,tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerle karşılaştırıldığında MDA'da önemli bir azalma gösterdiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.3. Lipid peroksidasyonu üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksiyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.7.2. Prolin Miktarı (nmol Proline / g TA)

Prolin, döngüsel yapısı ve α -amino grubundan farklı olan sekonder amino grubu nedeniyle en etkili osmo koruyuculardan ve sinyal moleküllerinden biri olarak bilinir. Prolin, hücresel yapıya zarar vermeden sitozolde birikir ve birçok bitki türünde stres karşısında fizyolojik adaptasyonun önemli bir parçasıdır (Hayat ve ark., 2012; Dar ve ark., 2016). Prolin, hidrojen bağlarına bağlanarak protein stabilitesini artırabilir ve zar bütünlüğünü korur (Hossain ve ark., 2019). Ayrıca, prolin su alım potansiyelini artırarak ve enzimlerin aktivasyonunu kolaylaştırarak hücreleri koruyabilir. (Burritt ve ark., 2012). Prolin bir osmolite olarak hareket etmenin yanı sıra, güçlü bir antioksidatif savunma molekülü, metal şelatlayıcı, protein stabilizatörü, ROS temizleyici ve programlanmış hücre ölümünün inhibitörü olarak da kabul edilir . Prolin, bitkilerin genotipli gelişim aşamalarında ve stres toleransında önemli roller oynamaktadır (Dar ve ark., 2016; Adejumo ve ark., 2021). Kavi Khishor ve Sreenivasulu, 2014; Bhaskara et al., 2015; Trovato et al., 2019). Gerçekten de, çoğu bitki türünün abiyotik ve biyotik streslere yanıt olarak prolin biriktirdiği gösterilmiştir.

Fasulye bitkilerinin prolin seviyesinde ortaya çıkan değişimler incelenmiş ve Şekil 4.4' de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre fasulye bitkilerindeki prolin seviyesi genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşimleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Tuz stresine duyarlı genotip BN16'dan ortalama 567.11 nmol Proline / g TA prolin seviyesi ile dayanıklı genotip BN150'nin ortalama 443.98 nmol Proline / g TA prolin seviyesinden daha yüksek bir değer alınmıştır. Duyarlı genotip prolin seviyesinin artırarak stresin etkisini azaltmada başarılı olmuştur (Şekil 4.4).

Uygulamaların prolin seviyesine etkisi incelendiğinde herhangi bir stres faktörü olmayan kontrol bitkisinde 220.31 nmol Proline / g TA ile en düşük prolin seviyesi belirlenmiştir. Stres durumlarında artan prolin seviyesi antioksidatif savunma mekanizması sağlayarak bitkiyi strese karşı korumaktadır. Bu bağlamda tuz stresi altındaki bitkilerden, antioksidan uygulanan bitkilere oranla daha düşük seviye prolin alınmalıdır (Şekil 4.4).

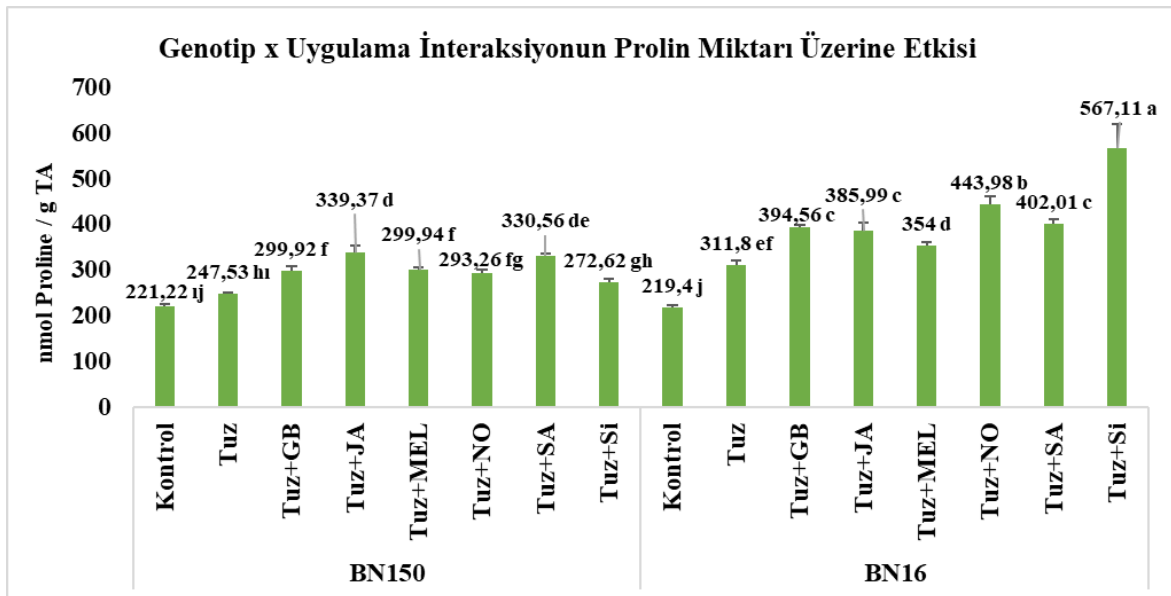
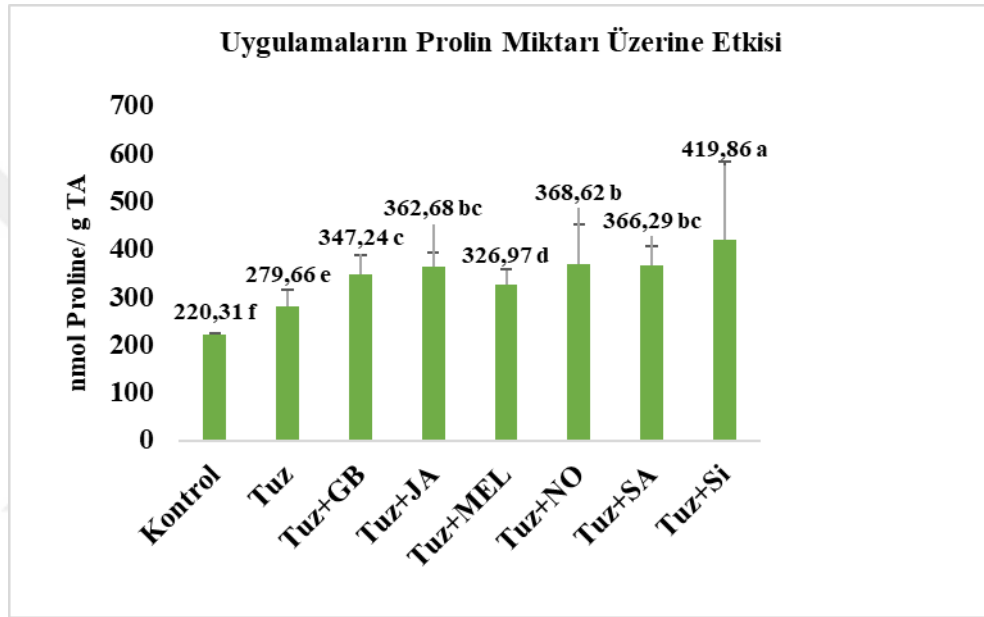
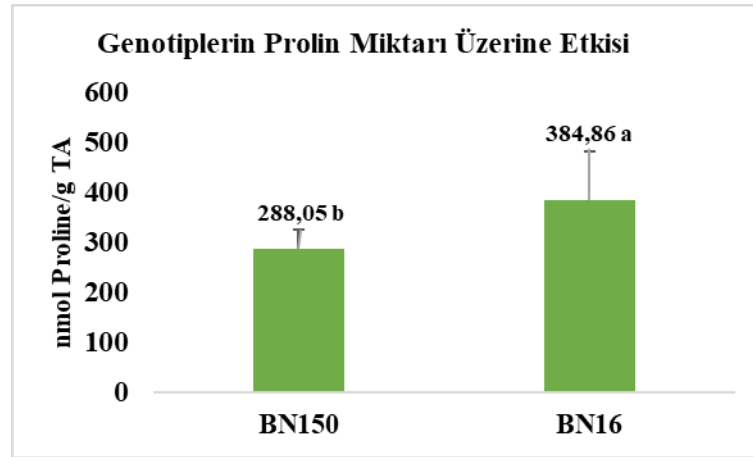
Elde edilen sonuçlara göre sırasıyla potasyum silikat ve nitrik oksitin 419.86 ve 368.62 nmol Proline / g TA ile en yüksek prolin seviyesi içerdiği belirlenmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerden 279.66 nmol Proline / g TA ile antioksidanlara göre daha düşük seviyede prolin kaydedilmiştir. Çalışmada kullanılan antioksidanların tamamının prolin seviyesini artırarak daha iyi hücresel ozmotik ayarlama sağladığını belirlenmiştir (Şekil 4.4).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde, tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın potasyum silikat ve nitrik oksit uygulamaları ile etkileşiminden sırasıyla 567.11 ve 443.98 nmol Proline / g TA ile en yüksek prolin seviyesi alınmıştır. Tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin kontrol ve tuz stresi altındaki bitkileriyle etkileşiminden en düşük prolin seviyesi kaydedilmiştir. BN150 dayanıklı genotipinin jasmonik asit ve salisilik asit uygulamalarıyla etkileşiminden sırasıyla 339.37 ve 330.56 nmol Proline / g TA ile yüksek prolin seviyesi elde edilmiştir. BN16 duyarlı fasulye genotipinde potasyum silikat, diğer antioksidanlara göre belirgin bir fark yaratmıştır (Şekil 4.4).

Waheed ve ark. (2023), Fasulye’de tuz stresine karşı jasmonik asit uygulamalarını kullandıkları çalışmalarında; NaCl stresi altında prolin içeriğinin arttığını ve kontrol grubuna kıyasla tuz konsantrasyonu arttıkça prolin konsantrasyonunun da arttığını bununla birlikte, jasmonik asit (JA) ile muamele edilen fasulye bitkilerinin prolin seviyelerinin tuzlu koşullara maruz kalan bitkilere göre arttığını bildirmişlerdir.

Ayrıca, SA'nın prolin biyosentez enzimlerini yukarı regüle ettiği ve katabolizmada yer alan enzimleri aşağı regüle ettiğine dair kapsamlı kanıtlar bulunmaktadır (Khan ve ark. 2015). Artan prolin metabolizmasının, nitrojen asimilasyonunu ve hücre enerji durumunu iyileştirdiği ve NADPH/NADP⁺ dengesini koruyarak hücrel redoks dengesizliklerini hafiflettiği, bu nedenle stres koşullarına dayanıklılık sağlamak için önemli olabileceği bildirilmiştir (Zheng ve ark. 2021).

Dong ve ark. (2014), Ekzojen nitrik oksidin NaCl stresi altında pamuk fidelerinin büyümesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada ekzojen nitrik oksitin, NaCl stresi altında büyük miktarda prolin birikeceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, 0.1 mM SNP ve NaCl stresi altında olan bitkilerde daha fazla prolin biriktiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.4. Prolin miktarı üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksiyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.7.3. Askorbat Peroksidaz Aktivitesi ($\mu\text{mol/min/ g TA}$)

Çevresel streslerin bitkilerdeki en önemli belirtilerinden biri, Reaktif Oksijen Türleri (ROS) üretiminin artmasıdır. Bu ROS'ların kontrolsüz bir şekilde birikmesi, hücrel toksisiteye yol açabilir. Bitkilerde, ROS seviyelerini kontrol altında tutmak ve stres altında hücrel homeostazı sürdürmek için bir dizi antioksidan molekül bulunur. Askorbat peroksidaz (APX), bu temizleme sistemlerinin anahtar antioksidan enzimlerinden biridir. Askorbik asidi bir elektron verici olarak kullanarak H_2O_2 'nin H_2O 'ya dönüşümünü katalizler (Pandey ve ark. 2017).

Fasulye bitkilerinin APX aktiviteleri belirlenmiş ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre genotip, uygulama, genotip x uygulama etkileşimleri APX aktivitesi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.8). Tuz stresine duyarlı genotip olan BN16 ortalama $7.64 \mu\text{mol/min/ g TA}$ APX aktivitesi ile dayanıklı genotip BN150'nin ortalama $5.88 \mu\text{mol/min/ g TA}$ APX aktivitesinden daha yüksek aktivite göstermiştir (Şekil 4.5).

Uygulamalar arasında stres olmayan kontrol bitkilerinden $3.62 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile en düşük APX aktivitesi kaydedilmiştir. Çalışmada kullanılan antioksidanlar içerisinde jasmonik asit, nitrik oksit ve potasyum silikatta sırasıyla 9.60 , 8.90 ve $7.93 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile en yüksek APX aktivitesi kaydedilmiştir. Tuz stresi altındaki bitkilerde $6.99 \mu\text{mol/min/ g TA}$ APX aktivitesi belirlenmiştir. Stres anında bitki savunma mekanizması için artış gösteren APX aktivitesi çalışmada kullanılan antioksidanlardan jasmonik asit, nitrik oksit ve potasyum silikatta yüksek miktarda belirlenmiştir. Bu bağlamda diğer antioksidanlara göre bu antioksidanlar APX aktivitesinde belirgin fark yaratmıştır (Şekil 4.5).

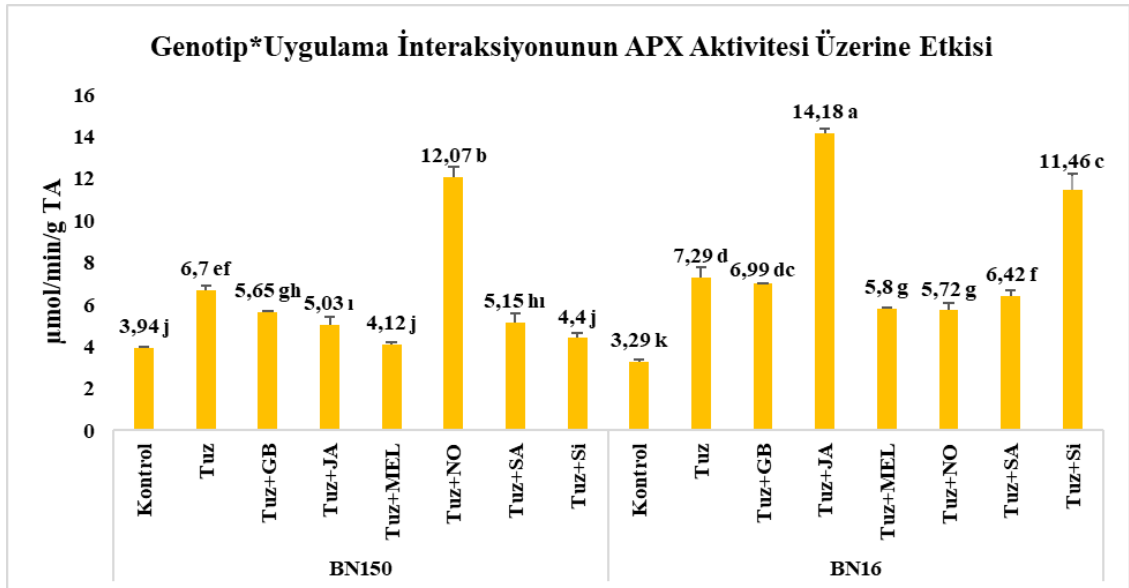
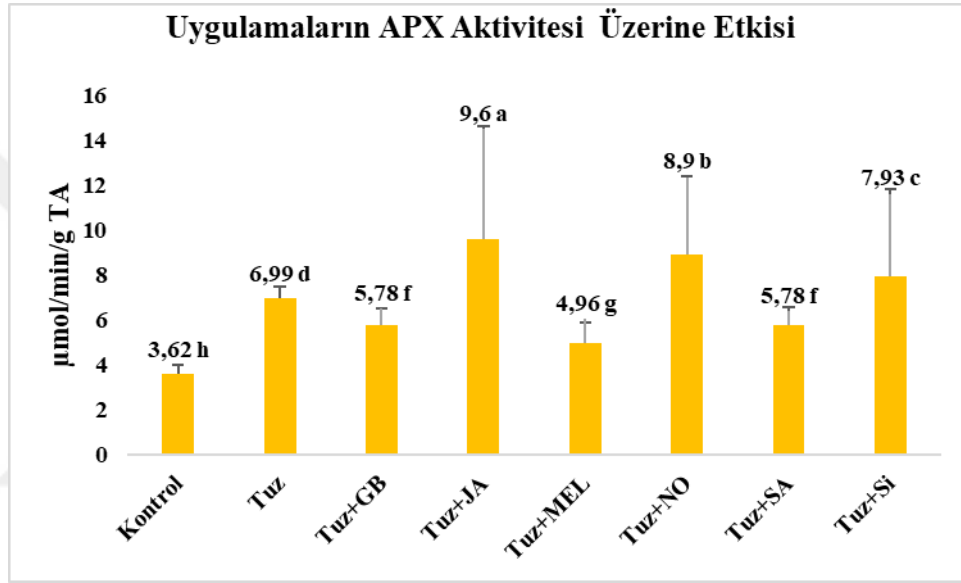
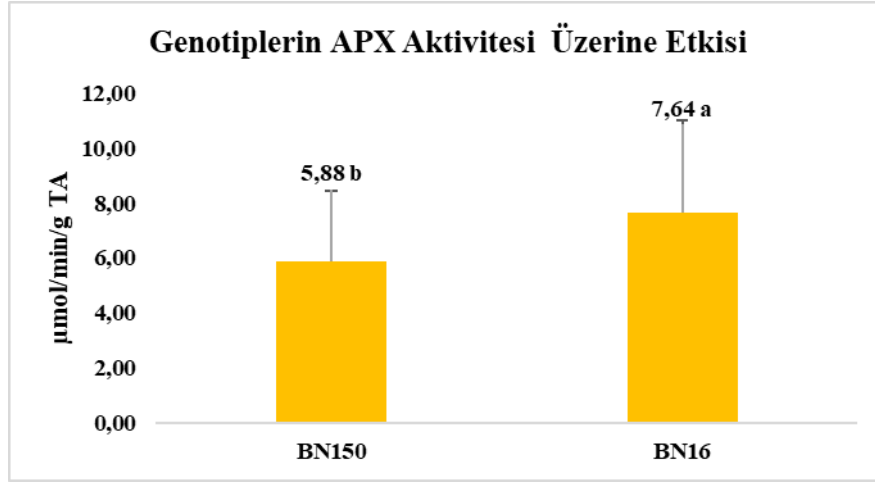
Genotip x uygulama etkileşimlerinde, tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin stres olmayan kontrol bitkilerinde en düşük APX aktivitesi belirlenmiştir. Tuz stresi duyarlı genotip BN16 'nın jasmonik asit ve nitrik oksit ile olan etkileşiminde sırasıyla 14.18 ve $11.46 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile en yüksek APX aktivitesi belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı olan BN150' nin nitrik oksit ile olan etkileşiminde $12.07 \mu\text{mol/min/ g TA}$ APX aktivitesi belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki fasulye genotipinin tuz stresi altında olan bitkilerinde sırasıyla 6.70 ve $7.29 \mu\text{mol/min/ g TA}$ APX aktivitesi elde edilmiştir. Her iki genotipinin antioksidanlarla olan etkileşimlerinden daha yüksek APX aktivitesi alınmıştır. Bu bağlamda antioksidanlar stres anında bitkileri olumsuz etkilere karşı koruma mekanizması sağlayan APX aktivitesini yükselterek tuz stresinin etkisini azaltmıştır (Şekil 4.5).

Zhu ve ark. (2022), buğdayda antioksidan enzimler ile tuz toleransı arasındaki ilişkiyi daha fazla doğrulamak için, tuz stresi koşulları altında JA uygulanan ve uygulanmayan buğday bitkilerinde enzim aktiviteleri ölçmüşlerdir. Kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında, NaCl uygulanan buğday bitkilerinde SOD, APX, CAT ve POD aktivitelerinin sırasıyla %35.3, %17, %41.7 ve %37.4 azaldığını bildirmişlerdir. Ancak, tuz stresi altındaki JA uygulanan bitkilerde, NaCl ile muamele edilen buğdaya kıyasla SOD, APX, CAT ve POD aktiviteleri sırasıyla %58.6, %8.5, %68.4 ve %59 oranında önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir.

Sardar ve ark. (2023), marulda tuz stresine dayanıklılığın artırılması amacıyla nitrik oksit uygulamaları sonucunda, bitki savunmasıyla ilgili enzim aktivitelerinden APX miktarının, kontrolle karşılaştırıldığında artan tuzluluk seviyelerinde marulda önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. APX aktivitesinin, stres altındaki marul bitkilerine SNP'nin yapraktan uygulanmasıyla %11.8–25.0 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Calzada ve ark. (2023), tuz stresinde soya fasulyesi bitkilerinde büyüme, potasyum alımı, prolin birikimi ve antioksidan kapasite üzerine silikonun düzenleyici rolünü araştırdıkları çalışmada, Si ve NaCl arasındaki etkileşim etkileri sonucunda APX aktivitesinin NaCl içeriğinden bağımsız olarak Si uygulaması altında arttığını bildirmişlerdir.





Şekil 4.5. APX aktivitesi üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksiyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.7.4. Glutasyon Redüktaz Aktivitesi ($\mu\text{mol/min/ g TA}$)

Abiyotik stresler, bitkilerin büyüme, gelişme ve nihayetinde verimini ciddi şekilde etkileyerek ağır ekonomik kayıplara ve gıda krizine yol açar. Neredeyse tüm abiyotik streslerle ilişkili olan oksidatif stres, süperoksit iyonu, hidrojen peroksit ve hidroksil radikalleri gibi toksik reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretiminden kaynaklanır. Bitkiler, oksidatif stresle enzimatik ve enzimatik olmayan mekanizmalar aracılığıyla mücadele eder. Glutasyon redüktaz (GR), Askorbat-Glutasyon yoluyla GSH'nin indirgenmiş durumunu sürdüren ve sülfidril ($-\text{SH}$) grubunun korunmasında hayati bir rol oynayan, glutasyon-S-transferazlar için bir substrat olarak işlev gören enzimatik antioksidan sistemin potansiyel enzimlerinden biridir. Glutasyon redüktaz (GR) ile ilgili çalışmalar, genotipli bitki türlerinde farklı abiyotik stres türleri altında GR aktivitesinin arttığını göstermiştir. Transgenik bitkiler kullanılarak yapılan çalışmalar, GR'nin kuraklık, ozon, ağır metaller, yüksek ışık, tuzluluk, soğuk stres gibi oksidatif strese karşı direnç sağlamada önemli bir rol oynadığını kanıtlamıştır (Yousuf ve ark. 2012).

Glutasyon redüktaz (GR) aktivitesi, genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8). Tuz stresine duyarlı olan BN16 $1.01 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile dayanıklı genotip olan BN150'den daha yüksek GR aktivitesi göstermiştir (Şekil 4.6).

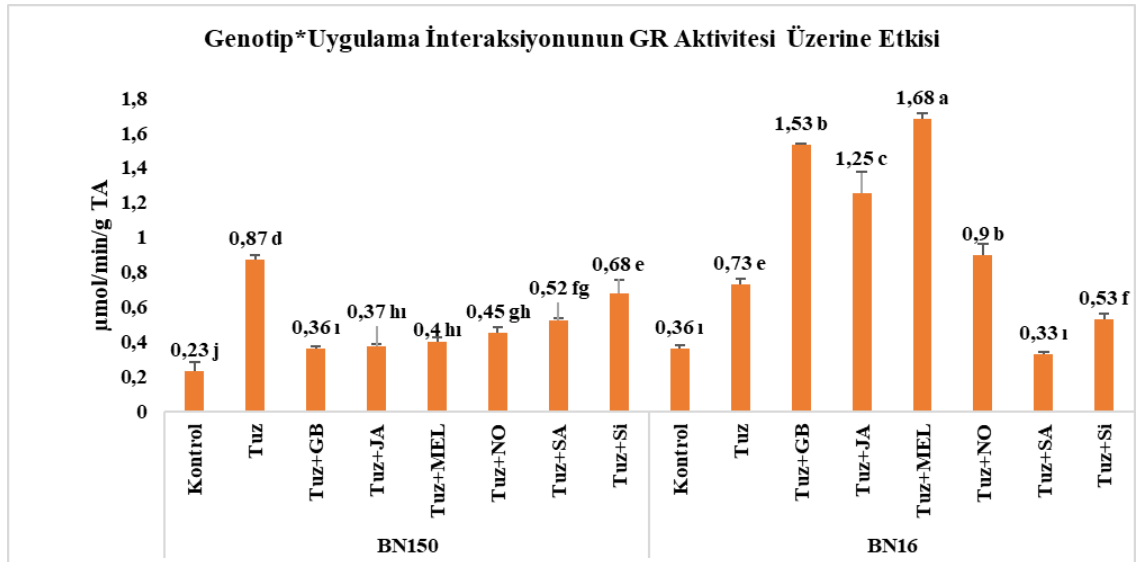
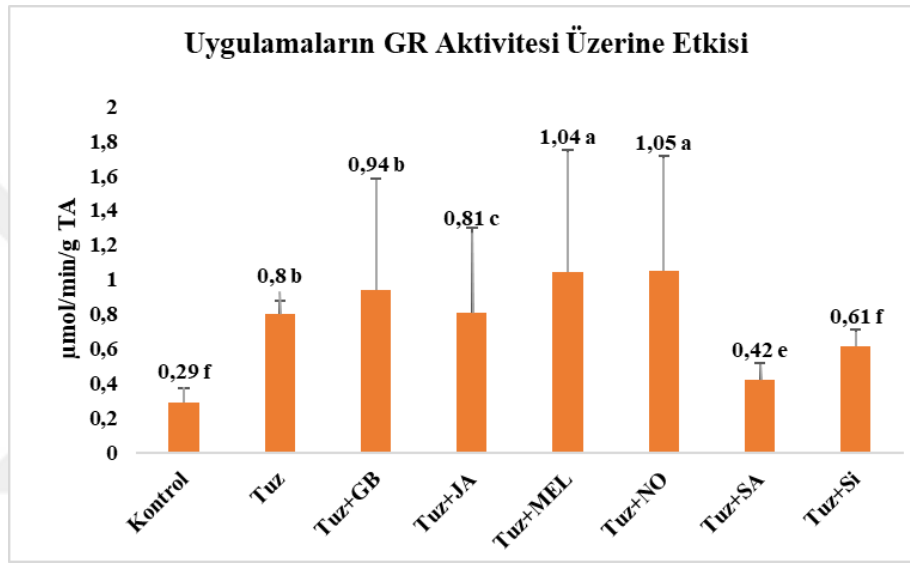
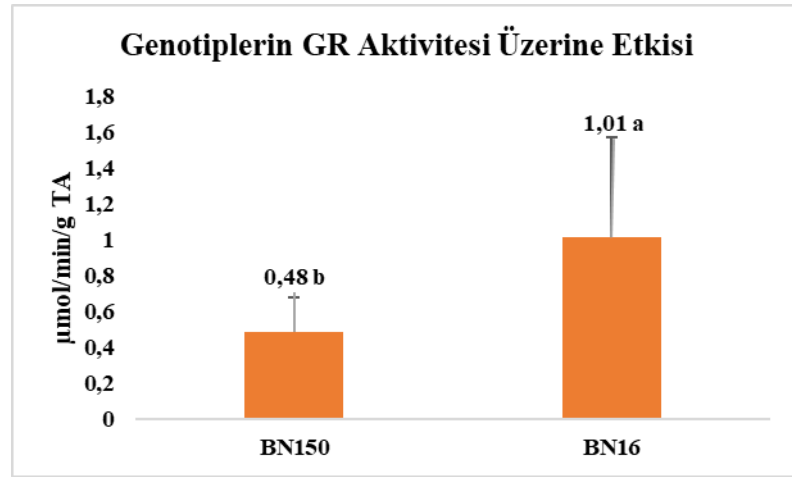
Uygulamalar arasında sırasıyla 1.05 , 1.04 ve $0.94 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile melatonin, nitrik oksit ve glisin betainde en yüksek GR aktivitesi belirlenmiştir. Stres olmayan kontrol bitkilerinde $0.29 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile en düşük GR aktivitesi ve tuz stresi altında olan bitkilerde $0.80 \mu\text{mol/min/ g TA}$ GR aktivitesi belirlenmiştir. Bu durumda çalışmada kullanılan antioksidanlar stres anında GR aktivitesini artırarak oksidatif strese karşı direnç sağlamıştır (Şekil 4.6).

Genotip x uygulama etkileşimleri arasındaki ilişki incelendiğinde, duyarlı genotip BN16'nın melatonin ($1.68 \mu\text{mol/min/ g TA}$) ile olan etkileşiminden en yüksek GR aktivitesi kaydedilmiştir. BN16 ile yüksek etkileşim gösteren diğer antioksidanlar sırasıyla 1.53 ve $0.90 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile glisin betain ve nitrik oksit olmuştur. Dayanıklı genotip olan BN150'de en yüksek GR aktivitesi $0.87 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile tuz stresi altında olan bitkilerden alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre duyarlı genotip olan BN16 ile antioksidanlar arasındaki etkileşim GR aktivitesinin artırarak tuz stresinin etkisini azaltmıştır (Şekil 4.6).

EL-Bauome ve ark. (2024), melatoninin marul bitkisi büyümesi, antioksidan enzimler ve fotosentetik pigmentler üzerindeki tuz stresi koşullarında etkileri inceledikleri çalışmada, tuz stresi ve MT uygulamaları altında antioksidan enzim aktivitesi önemli ölçüde etkilendiğini ve her iki mevsimde de GR aktivitelerini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir. Yüksek NaCl seviyeleri, birinci mevsimde, tuzsuz marul bitkilerine kıyasla %83.8 daha yüksek GR aktivitesine, ikinci mevsimde ise, yüksek NaCl seviyeleri, tuzsuz koşullara göre, % 82.6 daha yüksek GR seviyelerine neden olduğunu bildirmişlerdir. MT ile muamele edilen bitkiler, tuz stresi altında bitkilerden daha yüksek GR aktivitesi göstermiştir.

Rezayian ve ark. (2020), kuraklık stresi altında yetiştirilen soya fasulyesi'nde Nitrik Oksit uygulamalarının antioksidan sisteminde ve ozmotik ayarlamadaki etkilerini inceledikleri çalışmada, antioksidan enzim aktivitesinin kuraklık stresine yanıt olarak önemli ölçüde arttığını ve CAT, APX ve PPO'nun maksimum aktivitesinin düşük kuraklık düzeyinde (%5) tespit edilirken, SOD ve POX'un yüksek aktivitesinin ise yüksek kuraklık düzeyinde (%15) gözlemlendiğini bildirmişlerdir. NO uygulamasının, antioksidan enzim aktivitesi üzerinde stres altındaki ve stres altında olmayan bitkilerde ek bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.





Şekil 4.6. GR aktivitesi üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksiyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

4.7.5. Katalaz Aktivitesi ($\mu\text{mol/min/ g TA}$)

Katalaz (CAT), hidrojen peroksiti (H_2O_2) su ve oksijene parçalayarak biyomolekülleri oksidatif hasardan koruyan önemli bir enzimdir (Hadwan ve ark. 2024). Katalazlar hemen hemen tüm aerobik organizmalarda bulunan oksidoredüktaz enzimleridir. Çoğu katalaz, 200 ila 340 kDa arasında değişen moleküler ağırlığa sahip dört protez grubu içeren homotetramerlerdir. Bu bileşikler, aerobik metabolizma tarafından endojen olarak oluşturulan hidrojen peroksitin (H_2O_2) neden olduğu oksidatif stresin önlenmesinde önemli bir rol oynarlar (Glorieux ve Calderon, 2017).

Fasulye bitkilerinde belirlenen katalaz (CAT) aktivitesi, genotip, uygulama ve genotip x uygulama etkileşiminde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.8). Genotipler arasında tuz stresine duyarlı genotip BN16 ortalama $7.29 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile dayanıklı genotip BN150'nin ortalama $7.02 \mu\text{mol/min/ g TA}$ CAT aktivitesinden daha yüksek bir değere sahiptir (Şekil 4.7).

CAT aktivitesi üzerinde uygulamaların etkileri incelendiğinde, en yüksek CAT aktivitesi tuz stresi altındaki bitkilerde ve melatoninde sırasıyla 18.23 ve $10.49 \mu\text{mol/min/ g TA}$ olarak belirlenmiştir. Nitrik oksit ve salisilik asit uygulamaları CAT aktivitesi üzerinde önemli etkisi olan antioksidanlardandır. En düşük CAT aktivitesi $3.13 \mu\text{mol/min/ g TA}$ ile jasmonik asitte kaydedilmiştir. Stres olmayan kontrol bitkilerinde CAT aktivitesi $4.51 \mu\text{mol/min/ g TA}$ düzeyinde bulunmuştur (Şekil 4.7).

Genotip x uygulama etkileşimlerinde, tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki genotipin tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminde sırasıyla 17.81 ve $18.65 \mu\text{mol/min/ g TA}$ CAT aktivitesi belirlenmiştir. Antioksidanlar içerisinde en yüksek CAT aktivitesi tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki genotipin melatonin ile olan etkileşiminde sırasıyla 10.16 ve $10.81 \mu\text{mol/min/ g TA}$ düzeyinde kaydedilmiştir. En düşük CAT aktivitesi strese duyarlı olan BN16'nın jasmonik asit ve potasyum silikat ile olan etkileşiminde sırasıyla 2.21 ve $1.97 \mu\text{mol/min/ g TA}$ düzeyinde belirlenmiştir (Şekil 4.7).

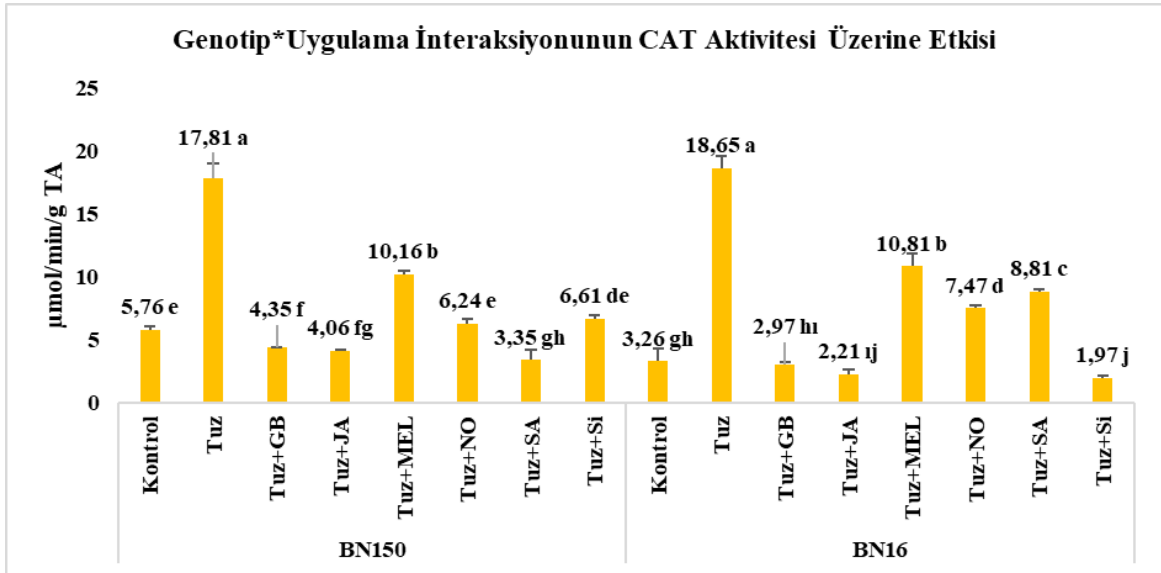
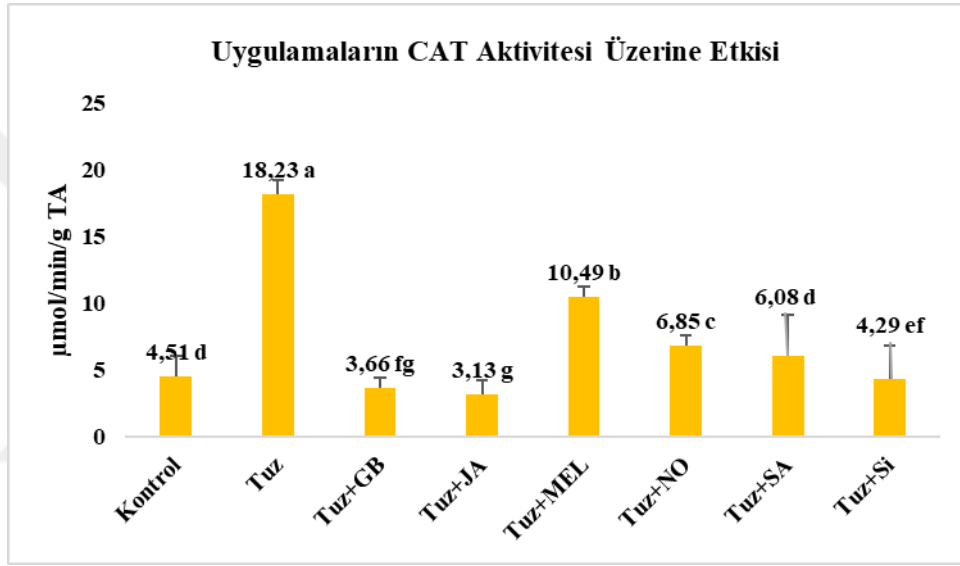
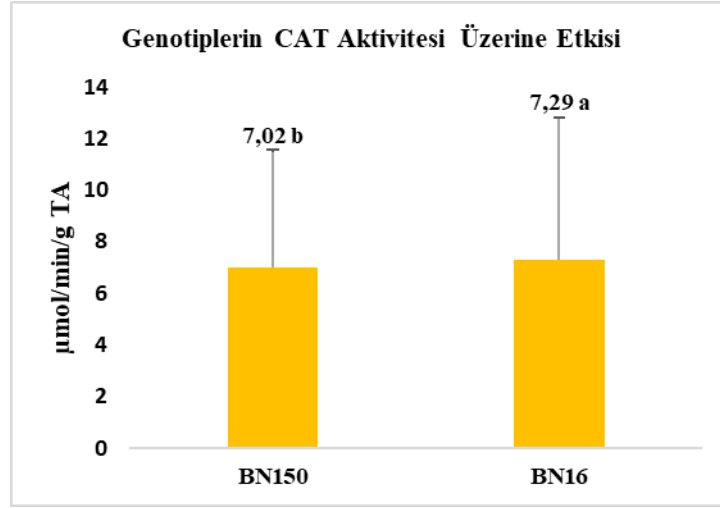
ElSayed ve ark. (2021), melatoninin dışsal uygulamasının, *Phaseolus Vulgaris L.*'nin tuz stresi toleransını artırmak için reaktif oksijen türleri metabolizmasını, antioksidan savunma ile ilgili gen ekspresyonunu ve fotosentetik kapasitesini geliştirdiğini inceledikleri çalışmada, H_2O_2 seviyesini azaltmada rol oynayan enzimlerden biri olan CAT aktivitesinin, NaCl ile tedavi edilen yeşil fasulye bitkilerinde tedavi edilmemiş kontrole göre %29.9 oranında önemli ölçüde arttığını ve MT ve NaCl ile tedavi edilen yeşil fasulye bitkilerinin, tedavi edilmemiş kontrole göre CAT aktivitesinde ek olarak %7.9'luk bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Ali Hussein (2024), tolerant ve hassas bakla fasulye (*Vicia Faba*) genotiplerinin nitrik oksit'e yanıt mekanizmalarını incelediği çalışmada, toleranslı ve hassas olarak tanımlanan Sakha-1 ve Giza-843 bakla fasulyesi genotiplerini, kontrollü koşullar altında büyütülmüş ve farklı NO konsantrasyonlarına maruz bırakmıştır. Antioksidan enzim aktiviteleri ölçülerek genotipler arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Sakha 1'de, SNP katalaz enzim aktivitesini kontrol değerine kıyasla önemli ölçüde arttığını ve Giza 843'te ise, 50 mM SNP herhangi bir değişiklik göstermezken,

100 μ M SNP, kontrol değerine kıyasla %55.76 ile en yüksek CAT aktivitesine neden olduğunu bildirmişlerdir.

Nasiri ve ark. (2024), fasulyede tuz stres toleransını artırmak için kurak ve yarı-kurak bölgelerde biyokömür ve salisilik asidin sinerjistik etkilerini inceledikleri çalışmada, stresin şiddetinden bağımsız olarak, katalaz aktivitesinin tuzlu olmayan topraklardaki bitkilere göre arttığını belirtmişlerdir. Orta ve şiddetli stres koşullarında katalaz aktivitesinin, stres olmayan kontrol bitkilerine göre sırasıyla %37.5 ve %32.5 oranında arttığını ve salisilik asit uygulamasının, hem tuzlu hem de tuzlu olmayan topraklardaki kontrol bitkilerine göre daha yüksek katalaz aktivitesine yol açtığını bildirmişlerdir.





Şekil 4.7. CAT aktivitesi üzerine genotip, uygulama, genotip x uygulama interaksiyonu etkileri. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar, LSD Testi'ne göre $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.8. Genotip, uygulama, genotip x uygulama iki faktörlü varyans analizinde (Two-way ANOVA) önemlilik düzeyleri.

	Genotip	Uygulama	Genotip * Uygulama
Bitki Boyu	****	****	****
Bitki Ağırlığı	****	****	****
Yaprak Sayısı	***	****	****
Gövde Çapı	****	***	***
Stoma İletkenliği	****	****	****
YOSİ	***	****	****
Yaprak Su potansiyeli	****	****	****
Membran Zararlanması	****	****	****
% Kuru Madde	*	****	****
Klorofil a	****	***	***
Klorofil b	****	****	****
Toplam Klorofil	****	****	****
Meyve Sayısı	****	****	***
Meyve Ağırlığı	****	****	****
Fenol	****	****	****
Flavonoid	****	****	****
Azot	öd	****	****
Fosfor	****	****	****
Potasyum	*	****	****
Kalsiyum	****	****	****
Magnezyum	öd	****	****
Sodyum	****	****	****
Çinko	****	****	****
Mangan	***	****	****
Demir	****	****	****
Klor	****	****	****
Lipid Peroksidasyonu	öd	****	****
Prolin	****	****	****
Askorbat Peroksidaz	****	****	****
Glutasyon Redüktaz	****	****	****
Katalaz	öd	****	****

*, p > 0.05, **, p ≤ 0.05, ***, p ≤ 0.01, ****: p ≤ 0.001, öd:önemli değil



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fasulye yetiştiriciliğinde antioksidanların tuz stresini azaltıcı etkilerinin incelendiği bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bitki ağırlığına etkileri incelendiğinde, en ağır bitkiler tuz stresine dayanıklı genotip BN150'de 61.43 g olarak belirlenmiştir. Uygulamalar içerisinde 64.28 g ve 51.08 g ile sırasıyla glisin betain ve nitrik oksit en ağır bitki oluşturan antioksidanlardır. Genotip x uygulama interaksyonunda da BN16'nın glisin betain ve nitrik oksit ile olan etkileşiminde en ağır bitki oluşmuştur. Fasulye bitkilerinde yapılan fizyolojik ölçümler sonucunda, membran zararlanma indeksi duyarlı genotip BN16'da %17.03 ile tuz stresine dayanıklı genotip BN150'ye göre daha yüksek kaydedilmiştir. Uygulamalar içerisinde en düşük membran zararlanma indeksi %8.75 ve %10.68 ile sırasıyla melatonin ve salisilik asit antioksidanlarında belirlenmiştir. BN150'nin jasmonik asit ve potasyum silikat ile olan etkileşiminden sırasıyla %3.69 ve %4.19 ile en düşük membran zararlanma indeksi kaydedilmiştir. BN16'nın melatonin ve nitrik oksit ile olan etkileşiminden sırasıyla %11.27 ve %13.11 düşük seviyede membran zararlanma indeksi belirlenmiştir. Stoma açıklığını belirleyen stoma iletkenliği en yüksek dayanıklı genotip BN150'de 252.6 mmol/m²/s olarak kaydedilmiştir. Antioksidan uygulamalarını tamamı tuz stresi altındaki bitkilere göre stoma iletkenliğini artırmıştır. BN150 ve BN16 genotiplerinin potasyum silikat ile olan etkileşiminde sırasıyla 273.00 ve 192.00 mmol/m²/s ile en yüksek stoma iletkenliği belirlenmiştir. Yaprak oransal su içeriği (YOSİ), % 86.18 ile tuz stresine dayanıklı genotip BN150'de belirlenmiştir. Antioksidanlar içerisinde %92.46 ve %89.51 ile sırasıyla salisilik asit ve potasyum silikat da en yüksek YOSİ içeriği belirlenmiştir. BN16'nın salisilik ve jasmonik asit ile olan etkileşiminden ve BN150'nin potasyum silikat ve glisin betain ile olan etkileşiminden yüksek YOSİ içeriği kaydedilmiştir. Yaprak su potansiyeli en yüksek -0.42 Mpa ile tuz stresine dayanıklı BN150 genotipinde belirlenmiştir. Antioksidanlar içerisinde melatonin de -0.27 Mpa ile en yüksek yaprak su potansiyeli belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı BN150'nin melatonin ve salisilik asit ile olan etkileşiminde sırasıyla -0.17 ve -0.21 Mpa ile yüksek yaprak su potansiyeli belirlenmiştir. Duyarlı genotip BN16'nın -0.34 ve -0.37 Mpa ile sırasıyla potasyum silikat ve melatonin ile olan etkileşiminde yaprak su potansiyeli artmıştır. Toplam fenol içeriği 100.22 mg kg KA⁻¹ ile en yüksek tuz stresine duyarlı genotip BN16'da belirlenmiştir. Uygulamaların etkisi incelendiğinde 102.67 ve 96.05 mg kg KA⁻¹ ile potasyum silikat ve glisin betainde en yüksek toplam fenol içeriği belirlenmiştir. Tuz stresine duyarlı genotip BN16'nın potasyum silikat ile olan etkileşiminden 122.34 mg kg KA⁻¹ ve tuz stresine dayanıklı genotip BN150'nin salisilik asit ile olan etkileşiminden 98.23 mg kg KA⁻¹ ile yüksek toplam fenol içeriği belirlenmiştir.

Toplam flavanoid içeriği tuz stresine duyarlı genotip BN16'da 408.37 mgRU/100g ile yüksek düzeyde bulunmuştur. Potasyum silikat ve melatonin antioksidanları sırasıyla 515.91 ve 403.84 mgRU/100g ile toplam flavanoid içeriğini artırmıştır. BN16 genotipinin 678.35 mgRU/100g

ile potasyum silikat ile olan etkileşiminde toplam flavanoid içeriği artmıştır. Lipid peroksidasyonu genotipler arasında fark yaratmamıştır. Tuz stresi altındaki bitkilerde 4.46 $\mu\text{mol/g}$ TA ile en yüksek MDA miktarı bulunmuştur. Tüm antioksidanlar MDA miktarını azaltmıştır. Glisin betain ve salisilik asit uygulamalarında sırasıyla 2.26 ve 2.55 $\mu\text{mol/g}$ TA ile en düşük MDA miktarı belirlenmiştir. Tuz stresine dayanıklı ve duyarlı her iki genotipin glisin betain ile olan etkileşiminde sırasıyla 2.07 ve 2.44 $\mu\text{mol/g}$ TA ile en düşük MDA miktarı bulunmuştur. En yüksek MDA miktarı her iki genotipin tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminden kaydedilmiştir. Stres anında artarak antioksidatif koruma sağlayan prolin miktarı tuz stresine duyarlı genotip BN16'da 567.11 nmol Proline / g TA ile artış göstermiştir. Potasyum silikat ve nitrik oksit antioksidanlarında sırasıyla 419.86 ve 368.62 nmol Proline / g TA ile yüksek düzeyde prolin belirlenmiştir. BN16'nın potasyum silikat ve nitrik oksit ile olan etkileşiminde ve BN150'nin jasmonik asit ve salisilik asit ile olan etkileşiminde yüksek düzeyde prolin belirlenmiştir. Antioksidan enzimlerden Askorbat peroksidaz aktivitesi BN16 genotipinde 7.64 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile artış göstermiştir. Jasmonik asit, nitrik oksit ve potasyum silikatta sırasıyla 9.60, 8.90 ve 7.93 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile APX aktivitesi artış göstermiştir. BN16 genotipinin jasmonik asit ve nitrik oksit ile olan etkileşiminden sırasıyla 14.18 ve 11.46 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile APX aktivitesi yüksek düzeyde belirlenmiştir. BN150 genotipinin nitrik oksit ile olan etkileşiminde 12.07 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile yüksek seviyede APX aktivitesi belirlenmiştir. Katalaz aktivitesi tuz stresine duyarlı genotip BN16'da 7.29 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile artış göstermiştir. Uygulamalar içerisinde tuz stresi altındaki bitkilerde ve melatoninde sırasıyla 18.23 ve 10.49 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile artış göstermiştir. Her iki genotipin tuz stresi altındaki bitkilerle olan etkileşiminde ve her iki genotipin melatonin ile olan etkileşiminde CAT aktivitesi artış göstermiştir. Glutasyon redüktaz 1.06 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile BN16 genotipinde artış göstermiştir. 1.05, 1.04 ve 0.94 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile melatonin, nitrik oksit ve glisin betain antioksidanlarında GR aktivitesi artış göstermiştir. BN16'nın melatonin, glisin betain ve nitrik oksit ile olan etkileşiminde sırasıyla 1.68, 1.53 ve 0.90 $\mu\text{mol/min/ g}$ TA ile GR aktivitesi artış göstermiştir. Sonuç olarak fasulye yetiştiriciliğinde antioksidan uygulamalarının tamamı bitki büyüme parametreleri, fizyolojik parametreler ve stres faktörlerine karşı etkili parametre olan antioksidan enzim aktiviteleri tuz stresinin etkilerini azaltarak olumlu etkiler sağlamıştır. Yapılacak denemelerde çalışmada kullanılan antioksidan dozları fasulye yetiştiriciliği için kullanılabilir.

Fasulye yetiştiriciliğinde antioksidan uygulamalarının tuz stresini azaltıcı etkilerinin incelenmesi konusunda bundan sonra yapılacak çalışmalarda, denemede kullanılan antioksidan dozları daha yüksek NaCl konsantrasyonlarında denenebilir. Bitkilerin stres koşullarında olumsuz etkilendiği bir diğer faktör olan fotosentez içeriğine antioksidanların tuzlu koşullarda etkisi incelenebilir. Sera koşullarında verim denemesi yapılarak antioksidanların tuzlu koşullarda verim üzerine etkisi belirlenebilir. Meyve ağırlığı, meyve sayısı, meyve boyu, meyve çapı, meyve eni ve meyve hacmi vb. meyve fiziksel ölçümleri alınabilir. Denemede kullanılan fasulye bitkilerinin tuz stresine tolerans ve duyarlılık seviyeleri değiştirilerek antioksidanların etkileri incelenebilir.

KAYNAKÇA

- Abd El-Ghany, M. F., & Attia, M. (2020). Effect of exopolysaccharide-producing bacteria and melatonin on faba bean production in saline and non-saline soil. *Agronomy*, 10(3), 316.
- Abouelsaad, I., & Renault, S. (2018). Enhanced oxidative stress in the jasmonic acid-deficient tomato mutant *def-1* exposed to NaCl stress. *Journal of plant physiology*, 226, 136-144.
- Adejumo, S. A., Oniosun, B., Akpoilih, O. A., Adeseko, A., & Arowo, D. O. (2021). Anatomical changes, osmolytes accumulation and distribution in the native plants growing on Pb-contaminated sites. *Environmental Geochemistry and Health*, 43, 1537-1549.
- Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Abd_Allah, E. F., Hashem, A., Sarwat, M., Anjum, N. A., & Gucel, S. (2016). Calcium and potassium supplementation enhanced growth, osmolyte secondary metabolite production, and enzymatic antioxidant machinery in cadmium-exposed chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 7, 187060.
- Akhoundnejad, Y., & Daşgan, H. Y. (2019). Effect of different irrigation levels on physiological performance of some drought tolerant melon (*Cucumis melo* L.) genotypes. *Applied Ecology and Environmental Research*.
- Aldequay, H., & Ghanem, H. (2015). Exogenous salicylic acid and trehalose ameliorate short term drought stress in wheat cultivars by up-regulating membrane characteristics and antioxidant defense system. *J. Hortic*, 2(139), 2376-0354.
- Al-Harhi, M. M., Bafeel, S. O., & El-Zohri, M. (2021). Gibberellic acid and jasmonic acid improve salt tolerance in summer squash by modulating some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition. *Plants*, 10(12), 2768.
- Ali, M., Kamran, M., Abbasi, G. H., Saleem, M. H., Ahmad, S., Parveen, A., ... & Fahad, S. (2021). Melatonin-induced salinity tolerance by ameliorating osmotic and oxidative stress in the seedlings of two tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 2236-2248.
- Amira MS, Qados A (2011). Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of The Saudi Society of Agricultural Sciences*. 10:7-15.
- Anaya, F., Fghire, R., Wahbi, S., & Loutfi, K. (2017). Antioxidant enzymes and physiological traits of *Vicia faba* L. as affected by salicylic acid under salt stress. *J Mater Environ Sci*, 8(7), 2549-2563.
- Anderson, E. J., Ali, M. L., Beavis, W. D., Chen, P., Clemente, T. E., Diers, B. W., ... & Tilmon, K. J. (2019). Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] breeding: History, improvement, production and future opportunities. *Advances in plant breeding strategies: legumes: Volume 7*, 431-516.
- Antoniou, C., Filippou, P., Mylona, P., Fasoula, D., Ioannides, I., Polidoros, A., & Fotopoulos, V. (2013). Developmental stage-and concentration-specific sodium nitroprusside application

- results in nitrate reductase regulation and the modification of nitrate metabolism in leaves of *Medicago truncatula* plants. *Plant signaling & behavior*, 8(9), e25479.
- Aras, S., & Eşitken, A. (2018). Effects of silicon to salt stress on strawberry plant. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(4), 478-483.
- Asgari, F., & Diyanat, M. (2021). Effects of silicon on some morphological and physiological traits of rose (*Rosa chinensis* var. *minima*) plants grown under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 44(4), 536-549.
- Askari, M., Hamid, N., Abideen, Z., Zulfiqar, F., Moosa, A., Nafees, M., & El-Keblawy, A. (2023). Exogenous melatonin application stimulates growth, photosynthetic pigments and antioxidant potential of white beans under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 160, 219-228.
- Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., ... & Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: Improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1241736.
- Azizi, F., Amiri, H., & Ismaili, A. (2022). Melatonin improves salinity stress tolerance of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pak by changing antioxidant enzymes and photosynthetic parameters. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(4), 40.
- Baddour, A. G. (2021). Treating Rice plants with zeolite soil addition and foliar application of potassium silicate to mitigate the expected water scarcity in North Nile Delta, Egypt. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 12(2), 33-38.
- Bandurska, H., Stroiński, A., & Kubiś, J. (2003). The effect of jasmonic acid on the accumulation of ABA, proline and spermidine and its influence on membrane injury under water deficit in two barley genotypes. *Acta physiologiae plantarum*, 25(3), 279-285.
- Bekele, F., & Phillips-Mora, W. (2019). Cacao (*Theobroma cacao* L.) breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops: Volume 6*, 409-487.
- Bhaskara, G. B., Yang, T. H., & Verslues, P. E. (2015). Dynamic proline metabolism: importance and regulation in water limited environments. *Frontiers in Plant Science*, 6, 147002.
- Bhat, J. A., Ahmad, P., & Corpas, F. J. (2021). Main nitric oxide (NO) hallmarks to relieve arsenic stress in higher plants. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124289.
- Burritt, D. J. (2012). Proline and the cryopreservation of plant tissues: functions and practical applications. *Current frontiers in cryopreservation*, 10, 36249.
- Cakmak, I. (1994). Activity of ascorbate-dependent H₂O₂-scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium-and potassium-deficient leaves, but not in phosphorus-deficient leaves. *Journal of Experimental Botany*, 45(9), 1259-1266.
- Cakmak, I., & Marschner, H. (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant physiology*, 98(4), 1222-1227.

- Cakmak, I., Atli, M., Kaya, R., Evliya, H., & Marschner, H. (1995). Association of high light and zinc deficiency in cold-induced leaf chlorosis in grapefruit and mandarin trees. *Journal of Plant Physiology*, 146(3), 355-360.
- Caverzan, A., Casassola, A., & Brammer, S. P. (2016). Antioxidant responses of wheat plants under stress. *Genetics and molecular biology*, 39, 1-6.
- Chen, S., Zhao, C. B., Ren, R. M., & Jiang, J. H. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1141918.
- Chen, T. H., & Murata, N. (2008). Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in plant science*, 13(9), 499-505.
- Civelek, C., & Yıldırım, E. (2019). Effects of exogenous glycine betaine treatments on growth and some physiological characteristics of tomato under salt stress condition. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(2), 153-158.
- Dar, M. I., Naikoo, M. I., Rehman, F., Naushin, F., & Khan, F. A. (2016). Proline accumulation in plants: roles in stress tolerance and plant development. *Osmolytes and plants acclimation to changing environment: emerging omics technologies*, 155-166.
- Dasgan, H. Y., Kusvuran, S., Abak, K., Leport, L., Larher, F., & Bouchereau, A. (2009). The relationship between citrulline accumulation and salt tolerance during the vegetative growth of melon (*Cucumis melo* L.). *Plant Soil Environ*, 55(2), 51-57.
- De Domenico, S., Taurino, M., Gallo, A., Poltronieri, P., Pastor, V., Flors, V., & Santino, A. (2019). Oxylin dynamics in *Medicago truncatula* in response to salt and wounding stresses. *Physiologia plantarum*, 165(2), 198-208.
- Dere, S. (2019). Domateste besin özellikleri ve kalitenin kuraklığa dayanıklılıkla artırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 344s.
- Desoky, E. S., Ibrahim, S. A., & Merwad, A. R. (2019). Mitigation of salinity stress effects on growth, physio-chemical parameters and yield of snapbean (*Phaseolus vulgaris* L.) by exogenous application of glycine betaine. *International Letters of Natural Sciences*, 76.
- DŁugokęcka, E., & Kacperska-Palacz, A. (1978). Re-examination of electrical conductivity method for estimation of drought injuries. *Biologia plantarum*, 20(4), 262-267.
- Doğru, A., & Canavar, S. (2020). Bitkilerde tuz toleransının fizyolojik ve biyokimyasal bileşenleri. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(1), 155-174.
- Egbichi, I., Keyster, M., & Ludidi, N. (2014). Effect of exogenous application of nitric oxide on salt stress responses of soybean. *South African Journal of Botany*, 90, 131-136.
- Eisakhani, M. R., Ghooshchi, F., Moghaddam, H. T., Kasraie, P., & Oveysi, M. (2023). Mitigation the adverse effects of salinity on red bean plants via exogenous application of glycine betaine, zinc, and manganese: Physiological and morphological approach. *Russian Journal of Plant Physiology*, 70(3), 51.

- El Nahhas, N., AlKahtani, M. D., Abdelaal, K. A., Al Husnain, L., AlGwaiz, H. I., Hafez, Y. M., ... & Elkelish, A. (2021). Biochar and jasmonic acid application attenuates antioxidative systems and improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 807-817.
- EL-Bauome, H. A., Doklega, S. M., Saleh, S. A., Mohamed, A. S., Suliman, A. A., & Abd El-Hady, M. A. (2024). Effects of melatonin on lettuce plant growth, antioxidant enzymes and photosynthetic pigments under salinity stress conditions. *Folia Horticulturae*.
- El-Beltagi, H. S., El-Yazied, A. A., El-Gawad, H. G. A., Kandeel, M., Shalaby, T. A., Mansour, A. T., ... & Ibrahim, M. F. (2023). Synergistic impact of melatonin and putrescine interaction in mitigating salinity stress in snap bean seedlings: reduction of oxidative damage and inhibition of polyamine catabolism. *Horticulturae*, 9(2), 285.
- ElSayed, A. I., Rafudeen, M. S., Gomaa, A. M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Exogenous melatonin enhances the reactive oxygen species metabolism, antioxidant defense-related gene expression, and photosynthetic capacity of *Phaseolus vulgaris* L. to confer salt stress tolerance. *Physiologia plantarum*, 173(4), 1369-1381.
- Eren-Guzelgun, B., Ince, E., & Gurer-Orhan, H. (2018). In vitro antioxidant/prooxidant effects of combined use of flavonoids. *Natural product research*, 32(12), 1446-1450.
- Erol, O. R. A. L., TUNÇTÜRK, R., TUNÇTÜRK, M., & KULAZ, H. (2020). Silisyumun Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) Tuz (NaCl) Stresini Azaltmadaki Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1616-1625.
- Eşiyok, D. (2012). Kışlık ve Yazlık Sebze Yetiştiriciliği: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri. Bornova, İzmir, (s 408).
- Faghih, S., Ghobadi, C., & Zarei, A. (2017). Response of strawberry plant cv. 'Camarosa' to salicylic acid and methyl jasmonate application under salt stress condition. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, 651-659.
- Fahad, S., Sonmez, O., Saud, S., Wang, D., Wu, C., Adnan, M., & Turan, V. (Eds.). (2021). Developing climate-resilient crops: improving global food security and safety. CRC Press.
- Fan, S., & Blake, T. J. (1994). Absciscic acid induced electrolyte leakage in woody species with contrasting ecological requirements. *Physiologia Plantarum*, 90(2), 414-419.
- Fancy, N. N., Bahlmann, A. K., & Loake, G. J. (2017). Nitric oxide function in plant abiotic stress. *Plant, cell & environment*, 40(4), 462-472.
- Farnese, F. S., Menezes-Silva, P. E., Gusman, G. S., & Oliveira, J. A. (2016). When bad guys become good ones: the key role of reactive oxygen species and nitric oxide in the plant responses to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 181733.
- Felisberto, G., de Mello Prado, R., de Oliveira, R. L. L., & de Carvalho Felisberto, P. A. (2021). Are nanosilica, potassium silicate and new soluble sources of silicon effective for silicon foliar application to soybean and rice plants?. *Silicon*, 13, 3217-3228.

- Fischer, R. A., & Edmeades, G. O. (2010). Breeding and cereal yield progress. *Crop science*, 50, S-85.
- Ghassemi-Golezani, K., & Samea-Andabjadid, S. (2022). Exogenous cytokinin and salicylic acid improve amino acid content and composition of faba bean seeds under salt stress. *Gesunde Pflanzen*, 74(4), 935-945.
- 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.
- Glorieux, C., & Calderon, P. B. (2017). Catalase, a remarkable enzyme: targeting the oldest antioxidant enzyme to find a new cancer treatment approach. *Biological chemistry*, 398(10), 1095-1108.
- Godoy, F., Olivos-Hernández, K., Stange, C., & Handford, M. (2021). Abiotic stress in crop species: Improving tolerance by applying plant metabolites. *Plants*. 2021; 10: 186.
- Gomaa, M. A., Kandil, E. E., El-Dein, A. A. Z., Abou-Donia, M. E., Ali, H. M., & Abdelsalam, N. R. (2021). Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. *Scientific Reports*, 11(1), 224.
- Gökdoğan, E. Y., & Bürün, B. (2015). Ekolojik bir problem olarak toprak tuzluluğu ve bitkilerdeki etkileri. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(2), 70-76.
- Graham, P. H., & Ranalli, P. (1997). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research*, 53(1-3), 131-146.
- GÜLTEKİN, M. (2018). Potasyum nitratın tuz stresinde yetişen domates bitkisinin fizyolojik gelişimine ve verime etkisi/The effects of potassium nitrate on the physiological development and yield of tomato plants grow under salinity stress (Doctoral dissertation).
- Hadwan, M. H., Hussein, M. J., Mohammed, R. M., Hadwan, A. M., Saad Al-Kawaz, H., Al-Obaidy, S. S., & Al Talebi, Z. A. (2024). An improved method for measuring catalase activity in biological samples. *Biology Methods and Protocols*, 9(1), bpae015.
- Hafez, E. M., Osman, H. S., El-Razek, U. A. A., Elbagory, M., Omara, A. E. D., Eid, M. A., & Gowayed, S. M. (2021). Foliar-applied potassium silicate coupled with plant growth-promoting rhizobacteria improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water in salt-affected soil. *Plants*, 10(5), 894.
- Hafez, E. M., Osman, H. S., Gowayed, S. M., Okasha, S. A., Omara, A. E. D., Sami, R., ... & Abd El-Razek, U. A. (2021). Minimizing the adversely impacts of water deficit and soil salinity on maize growth and productivity in response to the application of plant growth-promoting rhizobacteria and silica nanoparticles. *Agronomy*, 11(4), 676.
- Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Yin, L., Shi, K., Xia, X., Zhou, Y., ... & Zhou, J. (2015). Melatonin mitigates cadmium phytotoxicity through modulation of phytochelatins biosynthesis, vacuolar sequestration, and antioxidant potential in *Solanum lycopersicum* L. *Frontiers in Plant Science*, 6, 601.

- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., ... & Fujita, M. (2018). Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: a review. *Plant signaling & behavior*, 7(11), 1456-1466.
- Hossain, M. A., Kumar, V., Burritt, D. J., Fujita, M., & Mäkelä, P. (2019). Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants. *Proline Metabolism and Its Functions in Development and Stress Tolerance*; Springer Nature: Cham, Switzerland, 41-72.
- Hussain, S., Zhu, C., Bai, Z., Huang, J., Zhu, L., Cao, X., ... & Zhang, J. (2019). iTRAQ-based protein profiling and biochemical analysis of two contrasting rice genotypes revealed their differential responses to salt stress. *International journal of molecular sciences*, 20(3), 547.
- Hussein, H. A. A. (2024). Response Mechanisms of Tolerant and Sensitive Faba Bean (*Vicia faba*) Cultivars to Nitric Oxide. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 749-760.
- Ibrahim, E. A., Ebrahim, N. E., & Mohamed, G. Z. (2023). Effect of water stress and foliar application of chitosan and glycine betaine on lettuce. *Scientific Reports*, 13(1), 17274.
- Jabeen, Z., Fayyaz, H. A., Irshad, F., Hussain, N., Hassan, M. N., Li, J., ... & Alsubeie, M. S. (2021). Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. *Plos one*, 16(4), e0248207.
- Jahan, M. S., Wang, Y., Shu, S., Zhong, M., Chen, Z., Wu, J., ... & Guo, S. (2019). Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. *Scientia Horticulturae*, 247, 421-429.
- Jiang, K., & Asami, T. (2018). Chemical regulators of plant hormones and their applications in basic research and agriculture. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 82(8), 1265-1300.
- Kadri, K., Abdellaoui, R., Mhamed, H. C., Teixeira da Silva, J. A., & Naceur, M. B. (2014). Analysis of salt-induced mRNA transcripts in tunisian local barley (*Hordeum vulgare*) leaves identified by differential display RT-PCR. *Biochemical genetics*, 52, 106-115.
- Kalefetoğlu, T., & Ekmekci, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi University Journal of Science*, 18(4), 723-740.
- Kaushal, M., & Wani, S. P. (2016). Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, 66, 35-42.
- KAVI KISHOR, P. B., & Sreenivasulu, N. E. S. E. (2014). Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue?. *Plant, cell & environment*, 37(2), 300-311.
- Kayın, G. B. (2020). Nitrik Oksit Uygulamasının Biber Bitkisinde (*Capsicum Annuum* L.) Kimi Stres Faktörleri Uzerine Etkisi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).

- Kazan, K. (2013). Auxin and the integration of environmental signals into plant root development. *Annals of botany*, 112(9), 1655-1665.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 135066.
- Khan, M. I. R., Syeed, S., Nazar, R., & Anjum, N. A. (2012). An insight into the role of salicylic acid and jasmonic acid in salt stress tolerance. *Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants*, 277-300.
- Kołodziejczyk, I., & Kaźmierczak, A. (2024). Melatonin—This is important to know. *Science of The Total Environment*, 170871.
- Korkmaz, H., & Durmaz, A. (2017). Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine karşı geliştirilen cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 192-207.
- Kurt, C. H., Tunçtürk, M., & Tunçtürk, R. (2023). The effects of salicylic acid on some physiological and biochemical changes in soybean (*Glycine max* L.) plant under salinity stress conditions.
- Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., & Dietz, K. J. (2019). The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*, 8(4), 94.
- Li, J., Liu, J., Zhu, T., Zhao, C., Li, L., & Chen, M. (2019). The role of melatonin in salt stress responses. *International journal of molecular sciences*, 20(7), 1735.
- Li, Z. G., Xiang, R. H., & Wang, J. Q. (2021). Hydrogen sulfide–phytohormone interaction in plants under physiological and stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(6), 2476-2484.
- Liang, Y., Chen, Q. I. N., Liu, Q., Zhang, W., & Ding, R. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare*L.). *Journal of plant physiology*, 160(10), 1157-1164.
- Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental pollution*, 147(2), 422-428.
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents.
- Long, S. P., Marshall-Colon, A., & Zhu, X. G. (2015). Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. *Cell*, 161(1), 56-66.
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa*L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of botany*, 78(3), 389-398.
- Ma, Y., Dias, M. C., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 591911.
- Mahdavian, K. (2021). The effect of salicylic acid and calcium chloride on lipid peroxidation and the scavenging ability on radical of chickpeas (*Cicer arietinum*) under salt stress. *Botanica Serbica*, 45(2), 185-194.

- Mahpara, S., Shahnawaz, M., Rehman, K., Ahmad, R., & Khan, F. U. (2019). 4. Nitrogen fertilization induced drought tolerance in sunflower: a review. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 8(2), 1675-1683.
- Marone, D., Russo, M. A., Mores, A., Ficco, D. B., Laidò, G., Mastrangelo, A. M., & Borrelli, G. M. (2021). Importance of landraces in cereal breeding for stress tolerance. *Plants*, 10(7), 1267.
- Mızrak, G. (2020). FASULYE YETİŞTİRİCİLİĞİ. Gürbüz Mızrak.
- Mittler, R. (2017). ROS are good. *Trends in plant science*, 22(1), 11-19.
- Mohi-Ud-Din, M., Talukder, D., Rohman, M., Ahmed, J. U., Jagadish, S. K., Islam, T., & Hasanuzzaman, M. (2021). Exogenous application of methyl jasmonate and salicylic acid mitigates drought-induced oxidative damages in french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plants*, 10(10), 2066.
- Nabi, R. B. S., Tayade, R., Hussain, A., Kulkarni, K. P., Imran, Q. M., Mun, B. G., & Yun, B. W. (2019). Nitric oxide regulates plant responses to drought, salinity, and heavy metal stress. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 120-133.
- Nada, M. M. (2020). Effect of foliar application with potassium silicate and glycine betaine on growth and early yield quality of strawberry plants. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1295-1302.
- Nada, M. M. (2020). Effect of foliar application with potassium silicate and glycine betaine on growth and early yield quality of strawberry plants. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1295-1302.
- Nadarajah, K. K. (2020). ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 21(15), 5208.
- Nasiri, M., Andalibi, B., Khomari, S., Goli, E., Nasiri, S., El-Keblawy, A., & Mastinu, A. (2024). Enhancing Salt Stress Tolerance in Kidney Beans: The Synergistic Effects of Biochar and Salicylic Acid in Arid and Semi-Arid Regions. *Plant Stress*, 100423.
- Noor, J., Ullah, A., Saleem, M. H., Tariq, A., Ullah, S., Waheed, A., ... & Ahmad, I. (2022). Effect of jasmonic acid foliar spray on the morpho-physiological mechanism of salt stress tolerance in two soybean varieties (*Glycine max* L.). *Plants*, 11(5), 651.
- Ogunsiji, E., Umebese, C., Stabentheiner, E., Iwuala, E., Odjegba, V., & Oluwajobi, A. (2023). Salicylic acid enhances growth, photosynthetic performance and antioxidant defense activity under salt stress in two Mungbean [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] variety. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), 2217605.
- Okunlola, G. O., Olatunji, O. A., Akinwale, R. O., Tariq, A., & Adelusi, A. A. (2017). Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae*, 224, 198-205.

- Orace, A., & Tehranifar, A. (2023). Relationship between silicon through potassium silicate and salinity tolerance in bellis perennis L. *Silicon*, 15(1), 93-107.
- Özkaya, F. D., & SARICAN, B. (2014). Latin Amerika Mutfağının Kültürel Etkileşim Yolu. *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 2(1), 36-45.
- Parande, S., Zamani, G. R., Zahan, M. H. S., & Ghaderi, M. G. (2013). Effects of silicon application on the yield and component of yield in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) under salinity stress.
- Peña Calzada, K., Calero Hurtado, A., Olivera Vicedo, D., Habermann, E., de Mello Prado, R., De Oliveira, R., ... & Gratão, P. L. (2023). Regulatory role of silicon on growth, potassium uptake, ionic homeostasis, proline accumulation, and antioxidant capacity of soybean plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(7), 4528-4540.
- Pinedo-Guerrero, Z. H., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. (2020). Form of silica improves yield, fruit quality and antioxidant defense system of tomato plants under salt stress. *Agriculture*, 10(9), 367.
- Qados, A. M. A. (2011). Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1), 7-15.
- Qiu, Z., Guo, J., Zhu, A., Zhang, L., & Zhang, M. (2014). Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 104, 202-208.
- Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., ... & Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of ethnopharmacology*, 72(1-2), 35-42.
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PloS one*, 8(6), e66428.
- Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H., & Niknam, V. (2020). Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1122-1132.
- Rodrigues, F. A., Duarte, H. S. S., Domiciano, G. P., Souza, C. A., Korndörfer, G. H., & Zambolim, L. (2009). Foliar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. *Australasian Plant Pathology*, 38(4), 366-372.
- Sanchez, F. J., De Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (2004). Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Field Crops Research*, 86(1), 81-90.
- Sardar, H., Khalid, Z., Ahsan, M., Naz, S., Nawaz, A., Ahmad, R., ... & Abou Fayssal, S. (2023). Enhancement of salinity stress tolerance in lettuce (*Lactuca sativa* L.) via foliar application of nitric oxide. *Plants*, 12(5), 1115.

- Saxena, R. K., & Varshney, R. K. (2017). Whole-genome sequencing of pigeonpea: Requirement, background history, current status and future prospects for crop improvement. *The Pigeonpea Genome*, 81-91.
- Shahzad, A. N., Pitann, B., Ali, H., Qayyum, M. F., Fatima, A., & Bakhat, H. F. (2015). Maize genotypes differing in salt resistance vary in jasmonic acid accumulation during the first phase of salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(6), 443-451.
- Shams, M., Ekinici, M., Ors, S., Turan, M., Agar, G., Kul, R., & Yildirim, E. (2019). Nitric oxide mitigates salt stress effects of pepper seedlings by altering nutrient uptake, enzyme activity and osmolyte accumulation. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25, 1149-1161.
- Shams, M., Yildirim, E., Ekinici, M., Turan, M., Dursun, A., Parlakova, F., & Kul, R. (2016). Exogenously applied glycine betaine regulates some chemical characteristics and antioxidative defence systems in lettuce under salt stress. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57, 225-231.
- Shang, J. X., Li, X., Li, C., & Zhao, L. (2022). The role of nitric oxide in plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11), 6167.
- Sies, H., Belousov, V. V., Chandel, N. S., Davies, M. J., Jones, D. P., Mann, G. E., ... & Winterbourn, C. (2022). Defining roles of specific reactive oxygen species (ROS) in cell biology and physiology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 23(7), 499-515.
- Simkin, A. J., López-Calcano, P. E., & Raines, C. A. (2019). Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*, 70(4), 1119-1140.
- Singh, B. D., & Singh, A. K. (2015). Marker-assisted plant breeding: principles and practices.
- Singh, V. K., Singh, A. K., Singh, P. P., & Kumar, A. (2018). Interaction of plant growth promoting bacteria with tomato under abiotic stress: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267, 129-140.
- Sofy, M. R., Elhawat, N., & Alshaal, T. (2020). Glycine betaine counters salinity stress by maintaining high K⁺/Na⁺ ratio and antioxidant defense via limiting Na⁺ uptake in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 200, 110732.
- Spanos, G. A., & Wrolstad, R. E. (1990). Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 38(7), 1565-1571.
- Syed, S., Anjum, N. A., Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., & Khan, N. A. (2011). Salicylic acid-mediated changes in photosynthesis, nutrients content and antioxidant metabolism in two mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Acta physiologiae plantarum*, 33, 877-886.
- Şalk, A., Arın, L., Deveci, M., & Polat, S. (2008). Özel sebzeçilik. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi, 448.

- 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.
- Tang, W., Liang, L., Xie, Y., Li, X., Lin, L., Huang, Z., ... & Tang, Y. (2023). Foliar application of salicylic acid inhibits the cadmium uptake and accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 14, 1200106.
- Telem, R. S., Wani, S. H., Singh, N. B., Sadhukhan, R., & Mandal, N. (2016). Single nucleotide polymorphism (SNP) marker for abiotic stress tolerance in crop plants. *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits*, 327-343.
- Trovato, M., Forlani, G., Signorelli, S., & Funck, D. (2019). Proline metabolism and its functions in development and stress tolerance. *Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants: recent advances and future perspectives*, 41-72.
- Türkan, I., Bor, M., Özdemir, F., & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant science*, 168(1), 223-231.
- Vijayan, A., Sriramachandrasekharan, M. V., Manivannan, R., & Shakila, A. (2021). Effect of silicon through potassium silicate on yield, nutrient uptake and quality of Grand Naine Banana. *Asian J Agric Food Sci*, 9(3).
- Waheed, A., Haxim, Y., Kahar, G., Islam, W., Ahmad, M., Khan, K. A., ... & Daoyuan, Z. (2023). Jasmonic acid boosts the salt tolerance of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by upregulating its osmolytes and antioxidant mechanism. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(39), 91237-91246.
- Walia, H., Wilson, C., Condamine, P., Liu, X., Ismail, A. M., & Close, T. J. (2007). Large-scale expression profiling and physiological characterization of jasmonic acid-mediated adaptation of barley to salinity stress. *Plant, Cell & Environment*, 30(4), 410-421.
- Wang, H. W., Zhang, Y., Tan, P. P., Jia, L. S., Chen, Y., & Zhou, B. H. (2019). Mitochondrial respiratory chain dysfunction mediated by ROS is a primary point of fluoride-induced damage in Hepa1-6 cells. *Environmental pollution*, 255, 113359.
- Wang, Y., Mostafa, S., Zeng, W., & Jin, B. (2021). Function and mechanism of jasmonic acid in plant responses to abiotic and biotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8568.
- Wani, S. H., & Kumar, V. (Eds.). (2020). *Heat stress tolerance in plants: physiological, molecular and genetic perspectives*. John Wiley & Sons.
- Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The crop journal*, 4(3), 162-176.

- Waśkiewicz, A., Muzolf-Panek, M., & Goliński, P. (2013). Phenolic content changes in plants under salt stress. *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*, 283-314.
- Xu, Y. (2010). *Molecular plant breeding*. Cabi.
- Yan, F., Wei, H., Ding, Y., Li, W., Liu, Z., Chen, L., ... & Li, G. (2021). Melatonin regulates antioxidant strategy in response to continuous salt stress in rice seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 165, 239-250.
- Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Unraveling salt stress signaling in plants. *Journal of integrative plant biology*, 60(9), 796-804.
- Yildirim, 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.
- Youssef, S. M., López-Orenes, A., Ferrer, M. A., & Calderón, A. A. (2023). Foliar Application of Salicylic Acid Enhances the Endogenous Antioxidant and Hormone Systems and Attenuates the Adverse Effects of Salt Stress on Growth and Yield of French Bean Plants. *Horticulturae*, 9(1), 75.
- Zengin, F. K., & Kirbag, S. (2007). Effects of copper on chlorophyll, proline, protein and abscisic acid level of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings. *Journal of Environmental Biology*, 28(3), 561.
- Zhang, L. J., Cisse, E. H. M., Pu, Y. J., Miao, L. F., Xiang, L. S., Xu, W., & Yang, F. (2021). Potassium silicate combined with glycine betaine improved salt tolerance in *Dalbergia odorifera*. *Biol. Plant*, 65, 323-332.
- Zheng, Y., Cabassa-Hourton, C., Planchais, S., Lebreton, S., & Savoré, A. (2021). The proline cycle as an eukaryotic redox valve. *Journal of Experimental Botany*, 72(20), 6856-6866.
- 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.
- Zhu, M., Liu, Y., Cai, P., Duan, X., Sang, S., & Qiu, Z. (2022). Jasmonic acid pretreatment improves salt tolerance of wheat by regulating hormones biosynthesis and antioxidant capacity. *Frontiers in Plant Science*, 13, 968477.

ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe TEMTEK. İlkokulu ve ortaokulu Adnan Menderes İlköğretim okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Şehit Temel Cingöz Anadolu Lisesi'nde okudu. 2017 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde Lisans öğrenimini tamamlayarak 2021 yılında Ziraat Mühendisi unvanını aldı. 2021 yılından beri Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

