



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ ANA BİLİM DALI**

**FARKLI TOPRAK TUZLULUĞU KOŞULLARINDA PROLİN
VE HÜMİK ASİT UYGULAMALARININ BUĞDAYIN FİDE
GELİŞİMİ VE ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNE
ETKİLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Betül MİTROVİCA

Danışman
Prof. Dr. Deniz EKİNCİ

SAMSUN
2024

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ ANA BİLİM DALI



**FARKLI TOPRAK TUZLULUĞU KOŞULLARINDA PROLİN
VE HÜMİK ASİT UYGULAMALARININ BUĞDAYIN FİDE
GELİŞİMİ VE ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNE
ETKİLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Betül MİTROVİCA

Danışman

Prof. Dr. Deniz EKİNCİ

SAMSUN
2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Betül MİTROVİCA tarafından, Prof. Dr. Deniz EKİNCİ danışmanlığında hazırlanan “FARKLI TOPRAK TUZLULUĞU KOŞULLARINDA PROLİN VE HÜMİK ASİT UYGULAMALARININ BUĞDAYIN FİDE GELİŞİMİ VE ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNE ETKİLERİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 25.6.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Musa KAVAS Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Deniz EKİNCİ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Tayfun ARSLAN Giresun Üniversitesi Organik Kimya Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

30 /04 / 2024
Betül MİTROVİCA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: FARKLI TOPRAK TUZLULUĞU KOŞULLARINDA PROLİN VE HÜMİK ASİT UYGULAMALARININ BUĞDAYIN FİDE GELİŞİMİ VE ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNE ETKİLERİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 30.04.2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 22

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

30 /04 / 2024
Prof. Dr. Deniz EKİNCİ

ÖZET

FARKLI TOPRAK TUZLULUĞU KOŞULLARINDA PROLİN VE HÜMİK ASİT UYGULAMALARININ BUĞDAYIN FİDE GELİŞİMİ VE ANTİOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNE ETKİLERİ ,

Betül MİTROVİCA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarımsal Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Mayıs/2024

Danışman: Prof. Dr. Deniz EKİNCİ

Bu çalışma, sera koşullarında buğday fidelerinin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri üzerine etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Deneme, kontrol, prolin, hümitik asit ve hümitik asit x prolin kombinasyonu olmak üzere dört farklı uygulama konusu ve 0.28, 4.17, 9.33 ve 15.23 dSm⁻¹ olmak üzere dört farklı toprak tuzluluğu seviyesinde yürütülmüştür. Toprak tuzluluğunun artmasıyla birlikte bitki yaş ağırlığı ve kök yaş ağırlığı değişim göstermiştir. En yüksek bitki yaş ağırlığı değerleri (16.37 gr), (Pro+HA)xS₁ uygulamasından elde edilmiştir, bu da prolin ve hümitik asit kombinasyonunun bitki büyümesini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Kök yaş ağırlığı ise S₁ (0.28 dsm⁻¹) toprak tuzluluğu ile Prolin ve Pro+HA uygulamalarında en yüksek bulunmuştur, bu da belirli uygulamaların kök gelişimini artırıcı etkisi olduğunu göstermektedir. Yapraklardaki klorofil ve karotenoid içeriği, toprak tuzluluğu arttıkça azalmıştır, bu da bitkilerin fotosentez kapasitesinin toprak tuzluluğu ile azaldığını göstermektedir. Enzim aktiviteleri (CAT, GPX, GR, SOD, APx) de toprak tuzluluğuna bağlı olarak değişim göstermiştir. Özellikle, katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPX) ve glutatyon redüktaz (GR) ve süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktiviteleri toprak tuzluluğunun artmasıyla artarken, askorbat peroksidaz (APx) enzim aktiviteleri azalmıştır. Bu durum, toprak tuzluluğunun bitkisel antioksidan savunma mekanizmalarını etkilediğini ve bitkilerin stresle başa çıkma yeteneğini değiştirdiğini göstermektedir. Ayrıca, malondialdehit (MDA) ve prolin düzeyleri de toprak tuzluluğu artışıyla birlikte artmıştır. Uygulanan Pro+HA kombinasyonunun, kontrol uygulamasına kıyasla prolin konsantrasyonunu %35,44 oranında iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, belirli ön işlemlerin bitkisel stresle başa çıkma yeteneğini artırabileceğini ve bitkilerin tuz stresine karşı daha dirençli hale getirilebileceğini düşündürmektedir. Sonuç olarak, toprak tuzluluğunun buğday fidelerinin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerindeki etkileri belirlenmiş olup, prolin ve hümitik asit ön işleminin bu etkileri azaltabileceği önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Buğday, Tuzluluk, Hümitik Asit, Prolin

ABSTRACT

EFFECTS OF PROLINE AND HUMIC ACID APPLICATION ON SEEDLING GROWTH AND ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITIES OF WHEAT UNDER DIFFERENT SOIL SALINITY CONDITIONS

Betül MİTROVİCA

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Agricultural Biotechnology

Master, May/2024

Supervisor: Prof. Dr. Deniz EKİNCİ

This study was conducted to investigate the effects of humic acid on morphological, physiological and biochemical changes of wheat seedlings under greenhouse conditions. The experiment was conducted with four different treatments (control, proline, humic acid and humic acid x proline combination) and four different soil salinity levels (0.28, 4.17, 9.33 and 15.23 dSm⁻¹). Plant wet weight and root wet weight changed with increasing soil salinity. The highest plant wet weight values (16.37 g) were obtained from (Pro+HA)xS₁ treatment, indicating that the combination of proline and humic acid positively affected plant growth. Root wet weight was highest in S₁ (0.28 dsm⁻¹) soil salinity and Prolin and Pro+HA treatments, indicating that certain treatments have an effect on root growth. Chlorophyll and carotenoid contents in leaves decreased with increasing soil salinity, indicating that photosynthetic capacity of plants decreased with soil salinity. Enzyme activities (CAT, GPX, GR, SOD, APx) also showed changes depending on soil salinity. In particular, catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPX) and glutathione reductase (GR) and superoxide dismutase (SOD) enzyme activities increased with increasing soil salinity, while ascorbate peroxidase (APx) enzyme activities decreased. This indicates that soil salinity affects plant antioxidant defence mechanisms and alters the ability of plants to cope with stress. In addition, malondialdehyde (MDA) and proline levels increased with increasing soil salinity. It was observed that the applied Pro+HA combination improved the proline concentration by 35.44% compared to the control treatment. These results suggest that certain pretreatments can increase the ability of plants to cope with stress and make them more resistant to salt stress. In conclusion, the effects of soil salinity on morphological, physiological and biochemical parameters of wheat seedlings were determined and it was suggested that proline and humic acid pretreatment could reduce these effects.

Keywords: Wheat, Salinity, Humic Acid, Proline

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim süreci boyunca değerli akademik birikim ve deneyimlerini benimle paylaşan, ilgi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen akademik danışmanım Sayın Prof. Dr. Deniz EKİNCİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmasının tasarlanması, yürütülmesi, veri analizi ve yazımı dahil tüm aşamalarında çalışmanın en iyi şekilde yürütülebilmesi için her daim sabır ve titizlikle yol gösteren başta Sayın Prof. Dr. Hakan ARSLAN ve Sayın Arş Gör. Dr. Mehmet Sait KİREMİT olmak üzere yüksek lisans eğitimim boyunca emeği geçen bütün hocalarıma teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde her konuda yanımda olan hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, bana yol gösteren, sevgilerini ve desteklerini her zaman hissettiğim en büyük destekçilerim olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Laboratuvar ve sera çalışmalarım sırasında yardımlarını, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen Sayın hocalarım Arş. Gör. Dr. Ömer TAŞ, Arş. Gör. Dr. Ahmet Can OLCAY, Arş. Gör. Dr. Gürkan BİLİR' e sonsuz teşekkür ederim.

Betül MİTROVİCA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Toprak Tuzluluğu ile İlgili Çalışmalar	3
2.2. Prolin ile İlgili Yapılan Çalışmalar	9
2.3. Hümkik Asit ile İlgili Yapılan Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Deneme Alanı	20
3.1.2. Deneme Alanı İklim Özellikleri.....	20
3.1.3. Denemede Kullanılan Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	20
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Tuzluluk Konularının Oluşturulması	21
3.2.2. Deneme Konuları	22
3.2.3. Tohumla Ön Uygulama	23
3.2.4. Toprağa Hümkik Asit Uygulama.....	23
3.2.5. Tohumların Ekilmesi ve Gübreleme	23
3.2.6. Sulama Suyu Miktarının Belirlenmesi	24
3.2.7. Bitki Büyüme Parametrelerinin İncelenmesi.....	24
3.2.8. Fotosentetik Pigmentlerin Belirlenmesi	25
3.2.9. Membran Dayanıklılık İndeksi ve Biyokimyasal Parametrelerin İncelenmesi.....	26
3.2.10. Verilerin İstatistiksel Değerlendirilmesi.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Fide Yaş Ağırlığı	29
4.2. Fide Kuru Ağırlığı	30
4.3. Gövde Çapı	32
4.4. Fide Boy Uzunluğu.....	33
4.5. Kök Yaş Ağırlığı	34
4.6. Kök Kuru Ağırlığı	36

4.7. Yaprak Sıcaklığı	37
4.8. Kardeşlenme Sayısı	38
4.9. Membran Dayanıklılık İndeksi.....	39
4.10. Klorofil İçeriği.....	41
4.11. Stoma İletkenliği	43
4.12. Klorofil a İçeriği	44
4.13. Klorofil b İçeriği.....	46
4.14. Toplam Klorofil İçeriği.....	47
4.15. Karotenoid İçeriği.....	48
4.16. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi	50
4.17. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi.....	51
4.18. Glutasyon Redüktaz (GR) Enzim Aktivitesi	52
4.19. Glutasyon Peroksidaz (GPx) Enzim Aktivitesi	54
4.20. Askorbat Peroksidaz (APx) Enzim Aktivitesi.....	55
4.21. Prolin İçeriği.....	58
4.22. Lipit Peroksidasyonu	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	64
ÖZ GEÇMİŞ.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
°C	: Derece
•O ₂ ⁻	: Süperoksit anyon
Ca ⁺²	: Kalsiyum
CaCl ₂	: Kalsiyum Klorür
Cl ⁻	: Klorür
dS m ⁻¹	: Desisiemens/metre
EC	: Elektriksel iletkenlik
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
K ⁺	: Potasyum
K ₂ O	: Potasyum Oksit
KH ₂ PO ₄	: Potasyum Fosfat
MgO	: Magnezyum oksit
MgSO ₄	: Magnezyum sülfat
Mha	: Milyon hektar
mM	: Milimolar
Na ⁺	: Sodyum
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
NO ⁻³	: Nitrat
O ₂	: Süperoksit radikali
OH	: Hidroksil radikali
AA	: Askorbik asit
ABA	: Absisik asit
APx	: Askorbat Peroksidaz
CAT	: Katalaz
CEC	: Katyon değişim kapasitesi
EDTA	: Etilen Diamin Tetra Asetik Asit
FA	: Fulvik asit
GA ₃	: Gibberellik asit
GPx	: Glutatyon Peroksidaz
GR	: Glutatyon redüktaz

GSH	: İndirgenmiş glutatyon
GSSG	: Oksitlenmiş glutatyon
GST	: Glutatyon S- transferaz
HA	: Hümik asit
JA	: Jasmoik ast
MDA	: Malondialdehit
NAD(P) ⁺	: Nikotinamid Adenin Dinükleotid (Fosfat)
OPPP	: Oksidatif pentoz fosfat yolu
PA	: Poliaminler
POD	: Peroksidaz
Pro	: Prolin
ROS	: Reaktif oksijen türleri
SA	: Salisilik asit
SOD	: Süperoksit dismutaz
TBA	: Tiyoarbitürik asit
TCA	: Trikloroasetik asit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin fide yaş ağırlığı üzerine etkileri.....	300
Şekil 4.2. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin fide boy uzunluğu üzerine etkileri.....	344
Şekil 4.3. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin SPAD ölçümleri üzerine etkileri.....	422
Şekil 4.4. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin stoma iletkenliği üzerine etkileri.....	44
Şekil 4.5. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin CAT enzim aktivitesine etkileri	51
Şekil 4.6. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin SOD enzim aktivitesine etkileri	52
Şekil 4.7. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin GR enzim aktivitesine etkileri	54
Şekil 4.8. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin GPx enzim aktivitesine etkileri	55
Şekil 4.9. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin APx enzim aktivitesine etkileri	56

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4. 1. Fide yaş ağırlık değerlerini değerlendiren varyans analiz bulguları	29
Tablo 4. 2. Fide kuru ağırlık değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu	31
Tablo 4. 3. Fide kuru ağırlık değerlerine ilişkin istatistiksel analiz tablosu.....	31
Tablo 4. 4. Gövde çapı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları	32
Tablo 4. 5. Gövde çapı değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları	33
Tablo 4. 6. Fide boyu ölçümleri ile ilgili varyans analiz sonuçları	33
Tablo 4. 7. Kök yaş ağırlığı ile ilgili varyans analiz sonuçları.....	35
Tablo 4. 8. Kök yaş ağırlığı ile ilgili istatistiksel analiz sonuçları	35
Tablo 4. 9. Kök kuru ağırlık değerlerine yönelik varyans analiz sonuçları	36
Tablo 4. 10. Kök kuru ağırlık değerlerine yönelik istatistiksel analiz sonuçları	37
Tablo 4. 11. Yaprak sıcaklığı değerlerine yönelik varyans analiz bulguları.....	37
Tablo 4. 12. Yaprak sıcaklığı değerlerine yönelik istatistiksel analiz bulguları.....	38
Tablo 4. 13. Kardeşlenme sayısı değerlerine dair elde edilen varyans analiz sonuçları.....	39
Tablo 4. 14. Kardeşlenme sayısı değerlerine dair elde edilen istatistiksel analiz sonuçları.....	39
Tablo 4. 15. MDI değerlerini değerlendiren varyans analiz bulguları.....	40
Tablo 4. 16. MDI değerlerini değerlendiren istatistiksel analiz bulguları	40
Tablo 4. 17. SPAD ölçümlerine dair elde edilen varyans analiz sonuçları	41
Tablo 4. 18. Stoma iletkenliği üzerine yapılan ölçümlerin varyans analizi tablosu	43
Tablo 4. 19. Klorofil a içeriğine yönelik varyans analizi sonuçları.....	45
Tablo 4. 20. Klorofil a içeriğine yönelik istatistiksel analiz sonuçları	45
Tablo 4. 21. Klorofil b içeriğine dair elde edilen varyans analiz bulguları.....	46
Tablo 4. 22. Klorofil b içeriğine dair elde edilen istatistiksel analiz bulguları	46
Tablo 4. 23. Toplam klorofil içeriğine ilişkin varyans analiz tablosu	47
Tablo 4. 24. Toplam klorofil içeriğine ilişkin istatistiksel analiz tablosu.....	48
Tablo 4. 25. Toplam karotenoid içeriğine yönelik varyans analizi sonuçları	48
Tablo 4. 26. Toplam karotenoid içeriğine yönelik istatistiksel analiz sonuçları	49
Tablo 4. 27. CAT enzim aktivitesine yönelik varyans analizi sonuçları	50
Tablo 4. 28. SOD enzim aktivitesine yönelik varyans analizi sonuçları	51
Tablo 4. 29. GR enzim aktivitesine yönelik varyans analizi sonuçları.....	52
Tablo 4. 30. GPx enzim aktivitesine ilişkin varyans analiz tablosu	54
Tablo 4. 31. APx enzim aktivitesine ilişkin varyans analiz tablosu	55
Tablo 4. 32. Prolin konsantrasyon düzeylerine yönelik varyans analizi sonuçları.....	58
Tablo 4. 33. Prolin konsantrasyon düzeylerine yönelik istatistiksel analiz sonuçları.....	59
Tablo 4. 34. MDA konsantrasyonlarına dair varyans analizi bulguları.....	59
Tablo 4. 35. MDA konsantrasyonlarına dair istatistiksel analiz bulguları.....	60

1. GİRİŞ

Günümüzde, iklim değişikliğinin etkileri hem abiyotik hem de biyotik streslerdeki artış ile birlikte birçok ürünün verimini olumsuz etkilemesiyle tarım ve gıda güvenliği için sorun oluşturmaktadır (Carmody vd., 2020). Her geçen gün, tarımsal üretim için hayati önem taşıyan yeterli miktarda ve kalitede sulama suyunun temini giderek zorlaşmaktadır (Kiremit vd., 2023). Sulama için kullanılan yüzey su kaynaklarının azalması ve mevcut su kaynaklarının kirlenmesi nedeniyle, tarımsal üretimde düşük kalitede sulama sularının kullanılması kaçınılmaz hale gelmektedir. (Arslan vd., 2007). Bu durum, tarımsal alanların kirlenmesine ve tuzlanmasına yol açarak, üretim dışı kalmasına sebep olmaktadır. (Arslan vd., 2007). Abiyotik stresler arasında tuz stresi, bitki metabolizmasını, gelişimini ve verimliliğini etkileyen en önemli stres kaynaklarından biridir (Singh, 2022). Tahminlere göre, dünyadaki toplam ekilebilir arazinin %20'sinin ve sulanan tarım alanlarının %33'ünün yüksek tuzluluktan etkilendiğini ve 2050 yılına kadar ekilebilir arazilerin %50'sinden fazlasının tuzlanmasının beklendiğini göstermektedir (Jamil vd., 2011; Kumar ve Sharma, 2020). Ayrıca, hızla artan nüfusun, giderek azalan tarım arazilerinden elde edilen ürünlerle beslenme ihtiyacını karşılaması, özellikle de ekolojik koşullara uygun, yüksek verim ve kaliteye sahip olan genotiplerin belirlenmesini zorunlu kılmasıyla birlikte, tarımsal üretimde kullanılan genotiplerin, bölgesel koşullara uyum sağlaması ve istenen kalite ve verim düzeylerini karşılaması büyük önem arz etmektedir (Giraldo vd., 2019).

Son zamanlarda, iklim değişiklikleri, düzensiz yağışlar, tuzluluk ve kuralık stresi, su basması ve kötü drenaj koşulları, tohum çimlenmesi ve fide gelişimi için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Saberli ve Moradi, 2019; Zandalinas vd., 2018). Hızlı ve üniform çimlenme ile sağlam fide gelişimi, bitkisel üretimde stres koşullarının önemli etmenlerindendir (Bewley vd., 2013; Paparella vd., 2015). Bu nedenle stresin azaltılmasına ve strese dayanıklı bitki türlerinin üretilmesini sağlayacak yöntem ve tekniklerin bulunması önemli olduğundan, "Tohum hazırlama" olarak bilinen yöntem, günümüzde geniş çapta kullanılmaktadır. (Bewley vd., 2013; Paparella vd., 2015). Hazırlama, tohumun belli bir ortamda nemlendirilip daha sonra çimlenme sürecinin başlaması için kurutulduğu, ancak kökçüğün henüz gelişmediği bir prosedürdür (Giri ve Schillinger, 2003). Önerilen hazırlama yöntemleri, epigenetik değişikliklerin yanı sıra transkripsiyon faktörlerinin ve sinyal proteinlerinin aktif olmayan formlarının birikmesini içerir (Giri ve Schillinger, 2003). Bu mekanizmalar strese maruz

kaldığında modüle edilir ve geliştirilerek daha etkili bir savunma mekanizması elde edilir (Bruce vd., 2007; Tanou vd., 2012). Bu tür uygulamalar, ürünün gelişimini ve üniformitesini olumlu yönde etkileyerek tarımın daha elverişli hale gelmesini sağlamaktadır (Carrillo-Reche vd., 2018).

Bu çalışmada, farklı toprak tuzluluğu koşullarında, toprağa hümik asit uygulaması veya tohumlara prolin ile ön uygulama yapılarak, buğday fide gelişimi, fotosentetik ve antioksidan sistem bileşenleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, hümik asit, prolin ve hümik asit+prolin uygulamalarının buğday fidelerinin tuz toleransını artırma potansiyelleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek tuzluluk düzeyine sahip tarımsal üretim alanlarında buğday fide gelişimini arttırmak için hümik asit veya prolin uygulamalarının kullanılabilme potansiyelleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tuzluluk yönetimi alanına alternatif bir strateji yeni bir strateji kazanımı sağlayacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Toprak Tuzluluğu ile İlgili Çalışmalar

Abiyotik ve biyotik stresler gıda güvenliğine yönelik ciddi tehditler olarak kabul edilmektedir (Imadi vd., 2015). Abiyotik streslerden biri olan tuzluluk stresi, dünya çapında ürün verimliliğini en çok etkileyen stres faktörü olarak ilk sıralarda gelmektedir (Imadi vd., 2015). Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, dünya genelinde 800 milyon hektardan (Mha) fazla arazi tuzluluktan etkilenmektedir ve bu da toplam arazi alanının %6'sından fazlasını oluşturmakla birlikte bu oran iklim değişikliği ve su kalitesi düşük tarımsal suların kullanılması, nedeniyle her geçen gün artmaktadır (Imadi vd., 2015). Tahminlere göre, dünyadaki toplam ekilebilir arazinin %20'sinin ve sulanan tarım alanlarının %33'ünün yüksek tuzluluktan etkilendiğini ve 2050 yılına kadar ekilebilir arazilerin %50'sinden fazlasının tuzlanması beklediğini göstermektedir (Jamil vd., 2011; Kumar ve Sharma, 2020).

Tuzluluk, oluşma sebeplerine bağlı olarak primer (doğal) ve sekonder tuzluluk olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Primer tuzluluğun oluşma sebepleri arasında, ana kayaların ayrışması, okyanuslar ve iklimsel faktörler önemli rol oynamaktadır (Munns ve Tester, 2008). Sekonder tuzluluğun oluşma sebepleri arasında, tarımsal alanlarda yoğun sulama nedeniyle çeşitli tuzlar bakımından zengin yer altı suyunun toprak yüzeyine kadar yükselmesi ve bölgenin doğal vejetasyonunun bozulmasıyla toprakların kimyasal kontaminasyona uğraması bulunmaktadır (Pessarakli ve Szabolcs, 1999). Tuz stresi, bitkilerin büyümesini ve gelişmesini osmotik ve iyon stresine maruz bırakarak engeller (Parida ve Das, 2005). Kök bölgesinde tuz miktarının artmasıyla birlikte oluşan bu dışsal osmotik stres, kök bölgesinde kullanılabilir su miktarının da azalmasına sebep olur ve bu olay “fizyolojik kuraklık” olarak da adlandırılmaktadır (Verslues vd., 2006). Kullanılabilir su miktarının azalması, hücre büyümesi ve sürgün gelişiminin yavaşlamasına neden olmaktadır (Hu ve Schmidhalter, 2005). Osmotik stresin devamında meydana gelen iyon stresi evresinde, artan Na^+ ve Cl^- iyonlarının bitkilerde gerekli besin elementleri olan K^+ , Ca^{+2} ve NO^{-3} ile rekabete girmesi sonucunda bitkilerde besin eksikliği veya dengesizliği oluşabilir (Hu ve Schmidhalter, 2005). Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri, bitki türüne, uygulanan tuzun türüne ve miktarına, maruz kalma süresine ve genotipik farklılıklara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. (Dajic, 2006). Tuz stresinin bitkiler üzerindeki istenmeyen sonuçları, morfolojik (bodur büyüme, kloroz

ve bozulmuş tohum çimlenmesi), fizyolojik (fotosentezin engellenmesi ve besin dengesizliği) ve biyokimyasal (oksidatif stres, elektrolit sızıntısı ve membran düzensizliği) bozulmalar ile kendini göstermektedir (Hannachi vd., 2022). Ayrıca, tuz stresi, diğer birçok abiyotik stres gibi, hidrojen peroksit (H_2O_2), hidroksil radikali ($OH^\cdot$), süperoksit radikali ($O_2^\cdot$) ve alkoksi radikali ($RO^\cdot$) gibi aşırı miktarda reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesi nedeniyle oksidatif stresin artmasına neden olmaktadır (Latique vd., 2021). ROS'lar oldukça reaktif olmalarından dolayı nükleik asitler, lipidler ve protein dahil olmak üzere farklı hücrel makromoleküllere zarar vermektedir. Bu durum, bitkilerdeki birçok önemli hücrel aktiviteyi bozmaktadır (Latef vd., 2021). Bitkilerin tuz duyarlılığı, büyüme evresine bağlı olarak değişse de genellikle tüm bitkiler çimlenme ve ilk gelişim evrelerinde tuz karşısında daha duyarlıdır. (Yurtseven vd., 1996). Bitkilerin çimlenme veya erken vejetatif döneminde tuzlu koşullardan etkilenirse, bitkinin ileriki dönemlerinde yetersiz büyümesine ve gelişmesine neden olmaktadır (Yurtseven vd., 1996). Ekonomik veya çevresel kısıtlamalar nedeniyle, topraktan tuzu uzaklaştırmak kolay olmayabilir (Yurtseven vd., 1996). Bu gibi durumlarda topraktaki tuz düzeyine tolerans gösterebilen bitkiler seçilmelidir (Yurtseven vd., 1996).

Buğday gibi pek çok mahsul bitkisi tuzluluk stresine karşı pek toleranslı değildir (buğday verimi $6-8 \text{ dS m}^{-1}$ tuzluluk seviyelerinde azalmaya başlar) (Royo ve Abió, 2003). Buğday, çok çeşitli iklim koşullarında gelişebilen ve tüm kültür bitkileri arasında en uyumlu olanıdır (Khan vd., 2017). Dünya genelinde son derece önemli bir yere sahip olan buğday (*Triticum aestivum* L.) üretimi, besleyici olması ve uygun fiyatı nedeniyle dünya çapında mısırdan sonra en çok yetiştirilen ve en çok tercih edilen tahıl gıdaları arasında yer almaktadır (Shiferaw vd., 2013; Chaves vd., 2013). Buğday tanesi bileşimi, yaklaşık %70 karbonhidrat, %12 su, %2 yağ, %12 protein, %1,8 kül ve %2,2 selüloz içermektedir (TMMOB, 2018). USDA'nın verilerine göre, 2023/24 pazarlama yılında Türkiye'de buğday ekim alanında ve üretiminde belirgin bir artış beklenmektedir. Ekim alanının yaklaşık %6, üretimin ise yaklaşık %13 artması beklenmektedir. TÜİK verilerine göre ise bir önceki yıla nazaran, buğday üretimi %11,4 oranında artarak 22 milyon ton olduğu bildirilmiştir. Dünyada bu durum ise USDA verilerine göre 2023/24 pazarlama yılında buğday ekim alanının %0,2 üretimin ise %0,8 oranında artacağı öngörülmektedir. Buğday ihtiyacının ise 2050 yılına kadar %60 oranında artması beklenmektedir (FAO, 2019).

Doğan ve Çarpıcı (2015), laboratuvar koşullarında yürüttükleri çalışmada, 9

farklı makarnalık buğday hattının çimlenme döneminde farklı tuz stresi seviyelerine (0, 50, 100, 150 ve 200 mM NaCl) maruz kalmasının tepkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, tohumlardaki su alım oranları, çimlenme oranları, sapçık uzunluğu, kökçük uzunluğu, sapçık ve kökçük kuru ağırlıkları gibi ölçümleri değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, genotiplerin tuz stresine tepkileri kökçük kuru ağırlığı dışında diğer tüm özelliklerde farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Araştırmada incelenen hatlar arasında Japiga x Gediz75 (44) ve Shaml x Santa hatlarının çimlenme döneminde 200 mM NaCl dozunda maruz kaldığında çimlenme oranlarında sırasıyla %13 ve %15 azalma gösterdiği, bu hatların diğerlerine göre tuz stresine daha toleranslı olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, yapılan çalışmalar sonucunda tuz uygulamalarının incelenen tüm özellikleri olumsuz yönde etkilediği sonucuna varmışlardır.

Esfandiari vd. (2015), optimum şartlar altında, buğday fidelerinde (Hirmand ve Karkheh çeşitleri) 3 farklı tuz konsantrasyonu (0, 100 ve 200 mM NaCl) seviyesinin biyokimyasal ve fizyolojik özellikler üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, her iki çeşitte de GPX ve CAT enzim aktivitelerinin 100 mM ve 200 mM tuz konsantrasyonlarıyla karşılaştırıldığında arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, APX enzim aktivitesinde Hirmand çeşidinde artış görülürken, Karkheh çeşidinde belirgin bir farklılık tespit edilmediğini tespit etmişlerdir. Hirmand çeşidinde H₂O₂ konsantrasyonunun tuzlu koşullarda kontrolle karşılaştırıldığında önemli ölçüde değişmediği, ancak Karkheh çeşidinde önemli bir artış olduğunu ifade etmişlerdir. Tuzlu koşullarda her iki çeşitte de malondialdehit (MDA) konsantrasyonunun arttığı, ancak en yüksek artışın Karkheh çeşidinde olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bulgulara göre, antioksidan enzim aktivitelerinin artırıldığı ve Na⁺ seviyesinde sınırlı bir artışın gözlemlendiği Hirmand çeşidinin, Karkheh çeşidine göre tuz kaynaklı oksidatif hasara karşı daha etkili bir koruma mekanizmasına sahip olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Benlioğlu ve Özkan (2015) çalışmalarında, Aydan Hanım, Bülbül-89 ve Tarm-92 olmak üzere 3 farklı arpa çeşidine uygulanan 6 farklı tuz konsantrasyonunun (0, 3, 6, 9, 12 ve 15 g/l) çimlenme ve morfolojik parametreler üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, en yüksek çimlenme hızının %95.6 ile kontrol grubunda, en düşük çimlenme hızının ise %75.8 ile 15 g/l tuz konsantrasyonunda olduğunu tespit etmişlerdir. En yüksek çimlenme gücünün %97.8 ile kontrol grubunda, en düşük oranın ise %85.9 ile 15 g/l tuz konsantrasyonunda olduğunu belirtmişlerdir. Kök uzunluğu açısından en fazla uzunluğun 12.1 cm ile 3 g/l

tuz dozunda Tarm-92 çeşidinde, en azının ise 2.6 cm ile 15 g/l tuz dozunda Bülbül-89 çeşidinde gözlemlediklerini ifade etmişlerdir. Yaş ağırlık üzerinde yapılan incelemede, Bülbül-89 çeşidinin 3 g/l tuz dozunda 3.085 g ile en yüksek, 15 g/l dozundaki Aydan Hanım ve Bülbül-89 çeşitlerinin ise en düşük yaş ağırlık değerine sahip olduklarını gözlemlemişlerdir. En yüksek yaş ağırlık ortalamasını elde ettikleri 3 g/l dozu ile en düşük yaş ağırlık ortalamasını elde ettikleri 15 g/l dozu arasında yaklaşık olarak %53'lük bir azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, incelenen tüm parametrelerde elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda, Tarm-92 çeşidinin diğer çeşitlere göre tuza daha fazla tolerans gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Güngör vd. (2017) kontrollü koşullarda, 10'u tescilli, 6 yerel olmak üzere 16 yulaf genotiplerine uygulanan 3 farklı tuz konsantrasyonlarının (0, 50 ve 100 mM NaCl) yulaf genotiplerinin çimlenme özellikleri ve fide gelişimi parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre çimlenme parametreleri yönünden; en yüksek çimlenme yüzdesi kontrol grubundan (%97.71), en düşük çimlenme yüzdesi ise 100 mM tuz konsantrasyonundan (% 44.79) tespit etmişlerdir. Tuza dayanıklılık indeks değerleri bakımından TL558, Arslan bey ve Faik bey genotiplerinin tuza dayanıklı olduklarını tespit etmişlerdir. Artan tuz konsantrasyonlarına maruz kalan bitkilerin kök uzunluğu önemli ölçüde azalmıştır; kontrol grubuna kıyasla, 100 mM tuz konsantrasyonunda kök uzunluğunda %50 oranında bir azalma gözlemlemişleridir. Çalışma sonuçlarına göre, genotipler arasında en yüksek kök kuru ağırlığı Sarı (4.02 mg) genotipinden, en yüksek sürgün kuru ağırlığı ise Kahraman (7.05 mg) genotipinden elde etmişlerdir. Bu sonuçlar göre artan tuz dozlarının incelenen parametreler üzerinde olumsuz etkilerinin olduğunu ifade etmişlerdir.

Özkan ve Topçu (2017) laboratuvar şartlarında, farklı tuz konsantrasyonlarının (kontrol, 2,5, 5,0, 7,5, 10,0 g/l NaCl) arpa çeşitlerinin (Karatay-94, Larende, Samyeli ve Şahin-91) bazı çimlenme özellikleri ile erken fide evresinde bitki gelişimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda, en yüksek sürgün uzunluğu 2,5 g/l tuz dozundan sırasıyla Şahin-91 ile Samyeli çeşitlerinden, en düşük sürgün uzunluğu ise sırasıyla 0,36 cm, 0,98 cm ve 0,99 cm ile Samyeli, Karatay-94 ve Larende çeşitlerinin 10 g/l NaCl dozundan elde edildiğini saptamışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, en yüksek kök uzunluğu değerleri, kontrol uygulamasında Karatay-94 çeşidinden (10.04 cm) ve 2,5 g/l NaCl uygulamasında Samyeli çeşidinden (9,82 cm) elde etmişlerdir. 2,5 g/l tuz dozundan elde edilen 117,21 mg sürgün yaş ağırlığı

değeri, 10,0 g/lt tuz dozunda 10,21 mg değerine kadar gerilemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, tuzluluk probleminin görüldüğü alanlarda arpa yetiştiriciliği yapılması durumunda, öncelikle tuzluluğa toleransı yüksek çeşitlerin seçilmesinin verim ve kalite açısından daha yararlı olabileceğini bildirmişlerdir.

Çiçek vd. (2018), kontrollü koşullarda, 10 farklı ileri makarnalık buğday genotipi ile St. Gediz-75 adlı makarnalık buğday çeşidi üzerinde 6 farklı tuz konsantrasyonu (0, 50, 100, 150, 200 ve 250 mM NaCl) altında çimlenme ve fide parametrelerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, en yüksek çimlenme gücü değerlerini kontrol koşullarında sırasıyla %90.50, %84.00 ve %80.00 oranlarıyla Gediz-75 çeşidi ile M-10, M-9 ve M-4 makarnalık buğday genotiplerinden elde etmişlerdir. Ayrıca, 50 mM NaCl uygulanan dozlardan elde edilen çimlenme gücü değerleri M-4 ve M-10 genotiplerinden sırasıyla %88.50 ve %83 olarak belirlemişlerdir. Ancak, en düşük çimlenme gücü (%7) 7 numaralı makarnalık buğday genotipinin 250 mM NaCl dozundan elde edildiğini belirlemişlerdir. Araştırmada, en kısa sürgün uzunluğunun 0.01 cm ile 250 mM NaCl uygulamasından ve M-7'de elde edildiğini gözlemlemişlerdir. NaCl dozundaki artışa bağlı olarak kökçük uzunluklarının kısalma gösterdiği ve en kısa kökçük boyunun (0.06 cm) 250 mM NaCl uygulamasından ve M-7 genotipinden elde edildiğini tespit etmişlerdir. İnteraksiyon değerlerine göre, genotiplerin tuz tolerans indekslerinin %0.43 ile %103.29 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, tüm genotiplerde 150 mM tuz konsantrasyonundan sonra çimlenme özelliklerinin önemli ölçüde olumsuz etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Özellikle, tuz tolerans indeks değerlerinin tuzsuz ortamlarda daha yüksek olduğu ancak 150 mM NaCl konsantrasyonuna kadar olan tolerans değerlerinin daha istikrarlı olduğunu rapor etmişlerdir.

Bilgili vd. (2018) yürüttüğü çalışmada, optimum şartlar altında cam petri kaplarında yetiştirilen 3 ıslah edilmiş buğday hattı tohumlarına uygulanan 3 farklı tuz stresi düzeyi (0, 80 mM ve 160 mM NaCl) altında çimlenme parametrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde etikleri sonuçlar değerlendirildiğinde, kontrol ve 160 mM uygulamaları karşılaştırıldığında çimlenme indeks değerindeki en fazla azalmanın %35.8 ile Kara topak çeşidinde, en düşük azalmanın ise sırasıyla %23.7 ve %25.1 ile 8 ve 1 numaralı hattan elde edildiğini belirlemişlerdir. Sürgün boyu açısından en düşük azalmanın %55.2 ile kontrol uygulamasında yetiştirilen 8 numaralı hattan, en yüksek azalmanın ise %67.4 ile 160 mM tuz uygulamasında yetiştirilen Kara topak çeşidinden tespit etmişlerdir. Kontrol ve 160 mM tuz uygulamaları

değerlendirildiğinde, kökçük uzunluğu açısından en yüksek azalmanın %76.4'ünün Karatopak çeşidinde, en düşük azalmanın ise %60.3'ünün 8 numaralı hatlarda olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu bulgulara göre, artan tuz dozlarının çimlenme değerlerinin önemli düzeyde olumsuz yönde etkilediğini ve çimlenme ile ortalama çıkış zamanlarının uzattığını vurgulamışlardır.

Altuner vd. (2019) kontrollü koşullar altında üç arpa çeşidine (Kral-97: Ç1, Altıkat: Ç2 ve Larende: Ç3) uygulanan 5 farklı tuz konsantrasyonunun (0, 50, 100, 150, 200 mM) arpa tohumlarının çimlenme özellikleri ve fide gelişim parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, çeşitlerin çimlenme parametreleri üzerinde sadece ortalama çimlenme indeksi ve çimlenme süresi açısından etkili olduğunu ve bu farklılıkların önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, 200 mM tuz stresi altında kontrol grubuna kıyasla arpa fidelerinin kök yaş ağırlıklarının %73.8 oranında azaldığı tespit etmişleridir. Ayrıca, çimlenme oranının 150 mM tuz stresi altında kontrolle kıyasla %15.56 oranında düştüğünü belirlemişlerdir. Bu sonuçlar doğrultusunda, Larende çeşidinin incelenen tüm bu parametreler açısından tuz karşısında daha dayanıklı bir performans sergilediğini vurgulamışlardır.

Saddiq vd. (2021), iklim dolabında 3 farklı tuz stresi seviyesi (NaCl) (0, 100 ve 200 mol/L) altında yetiştirilen 5 adet ilkbahar ve 5 adet kışlık buğday genotipinin fideleri üzerinde tuzluluğun fizyolojik ve büyüme parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, ilkbaharlık buğdayların kışlık buğdaylara kıyasla yaprak saplarında düşük Na^+ ve yüksek K^+ biriktirdiğini gözlemlemişlerdir. 100 mol/L tuz stresi altında, yapraklardaki minimum Na^+ içeriği sırasıyla 8,51 mg ile W4909'da, ardından 8,59 mg/g ile S-24'de, 9,09 mg/g ile W4910'da ve 11,03 mg/g ile Saha 8'den elde edildiğini rapor etmişlerdir. 200 mol/L tuz stresi altında ise sırasıyla 11,40 mg/g ile W4910'da, 15,48 mg/g ile Sakha 8.2'de, 15,48 mg/g ile W4909'da ve 11,40 mg/g ile S-24 genotiplerinden elde edildiğini vurgulamışlardır. Bu doğrultuda tuz stresinin artmasıyla birlikte tüm buğday genotiplerinin yapraklarında K^+ konsantrasyonlarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda tanımlanan genotiplerin, bitkilerin tuz stresine karşı toleransının daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla genetik iyileştirme programları için değerli kaynakları temsil edebileceğini vurgulamışlardır.

Yılmaz vd. (2021) yürüttüğü çalışmada, farklı tuz konsantrasyonları (0, 50, 100, 150, 200 mM NaCl) altında yetiştirilen 10 farklı çim alan buğdaygillerin çimlenme

döneminde tuz stresine dayanıklılığının belirlenmesini amaçlamışlardır Çalışmada incelenen türler arasında Festuca arundinacea Starlett ve Festuca arundinacea Titan RX Rizomlu çeşitlerinin diğer çeşitlere göre tuzluluğa daha toleranslı olduğunu belirlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, tuzluluktan en fazla etkilenen çeşidin Samanta olduğu, kontrol uygulamasında %67.37'lik çimlenme oranı gösterirken 200 mMol'de ise %5.33 ile en düşük çimlenme oranının bu çeşitte tespit edildiğini rapor etmişlerdir. Çeşit × tuz konsantrasyonları açısından en yüksek değerin 44.50 mm ile 50 mM konsantrasyonda Starlett çeşidinden elde edildiğini belirtmişlerdir. En kısa kökçük uzunluğunun ise 2.53 mm ile 200 mM tuz konsantrasyonunda yetiştirilen Denso çeşidinden tespit edildiğini ifade etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, incelenen tüm parametrelerde kontrol grubuna göre 50 mM tuz konsantrasyonunda olumlu sonuçlar elde edildiğini ve bu durumun belirli bir miktardaki tuzun çimlenmeyi teşvik ettiği sonucuna varmışlardır.

2.2. Prolin ile İgili Yapılan Çalışmalar

Dünya tarımının sürdürülebilirliği ve verimliliği, tarım arazilerinin tuzlanması nedeniyle olumsuz etkilendiği için, bu tarım alanlarında yetiştirilen bitkilerin büyümesi ve verimliliği önemli ölçüde azalmaktadır (Rockström vd., 2017). Son zamanlarda, bitki türlerinin abiyotik stres toleransını artırmak için çeşitli stratejiler bulunmaktadır (Rockström vd., 2017). Bu stratejilerden biri olan ozmoprotektanların kullanılması, yüksek verimlilikleri, kullanım kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir (Hossain vd., 2019). Araştırmalarda, prolin (Pro), jasmonik asit (JA), poliaminler (PA), salisilik asit (SA), absisik asit (ABA), gibi bazı bitki büyüme düzenleyicilerinin bitkilerin tuzluluk stresine karşı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinin artmasını sağladıkları birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. (Yoon vd., 2009; Roychoudhury vd., 2011; Singh ve Gautam, 2013; Sripinyowanich vd., 2013). Bu bağlamda, prolin ikincil bir amino grubu olması nedeniyle serbest amino asit formlarında ve proteinlerin bir parçası olarak birincil metabolizmada önemli bir role sahiptir (Singh vd., 2015; Burritt, 2012).

Prolin, hücrel yapıları zarar vermeden sitozolde birikir ve birçok bitki türünde strese karşı fizyolojik adaptasyonun çok önemli bir parçasıdır (Hayat vd., 2012; Dar vd., 2016). Prolin metabolizması, sitosolde NAD (P)⁺ üreterek oksidatif pentoz fosfat yolunda (OPPP) önemli bir rol oynamaktadır (Signorelli, 2016). OPPP tohum çimlenmesini uyarmada rol oynadığından, prolin metabolizmasının tohum çimlenmesi üzerinde yararlı bir etkisi olduğu bilinmektedir (Kavi Kishor ve Sreenivasulu, 2014).

Kloroplastlarda şartlar olumsuz hale geldiğinde elektron taşıma zinciri doymuş hale gelir ve aşırı indirgeme potansiyeli birikmektedir (Kaur ve Asthir, 2015). Bu durum fotosentetik mekanizmanın zarar görmesine neden olur (Kaur ve Asthir, 2015). Prolin sentezi ve birikimi, kloroplastlarda meydana gelen aşırı indirgeme potansiyelini düzenleyerek redoks dengesini stabilize etmeye ve hücrel homeostazı korumaya katkıda bulunmaktadır. (Kaur ve Asthir, 2015). Dışsal prolin uygulamasının tuz stresine karşı bitki toleransı üzerindeki olumlu etkileri, birçok çalışmada besin maddelerinin asimilasyonunun artmasıyla ilişkilendirilmiştir (Abdelhamid vd., 2013). Bir osmolit görevi görmesine rağmen, prolin aynı zamanda, bir metal şelatör, bir protein stabilizatörü ve programlanmış hücre ölümünün bir inhibitörü olarak da kabul edilmektedir (Dar vd., 2016; Adejumo vd., 2021).

Prolin uygulamaları, ROS indirgemesi ve antioksidan enzimlerinin aktiviteleri yoluyla tuz stresinin olumsuz etkilerini önemli ölçüde hafifletmektedir (Yan vd., 2011). Üretilen ROS konsantrasyonu, stres düzeyi, antioksidan kapasiteye ve hücrel enerji durumuna bağlı olarak farklı hücrel ve fizyolojik sonuçlara neden olabilmektedir (Lehmann vd., 2015; Petrov vd., 2015). Düşük konsantrasyonlarda ROS, strese duyarlı genlerin ekspresyonuna sebep olan sinyal fonksiyonlarının çalışmasını sağlamaktadır ayrıca yoğun birikim üzerine ROS reaktivitesi, lipitler, nükleik asitler ve proteinler üzerinde zararlı oksidatif etkilere neden olabilir ve bu durum hücre ölümüyle sonuçlanabilir (Lehmann vd., 2015; Petrov vd., 2015). ROS seviyelerinin düzenlenmesini kontrol eden enzimatik veya enzimatik olmayan antioksidan savunma yolları aracılığıyla gerçekleştirilir (Mignolet-Spruyt vd., 2016; Noctor vd., 2017; Foyer ve Noctor, 2020). Stresin neden olduğu ROS birikimi süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon peroksidaz (GPX), glutatyon S-transferaz (GST), glutatyon redüktaz (GR) ve katalaz (CAT) gibi çeşitli enzimatik antioksidan sistemler ve AsA, GSH, α - tokoferol, karotenoidler ve flavonoidler gibi enzimatik olmayan metabolitlerce etkisiz hale getirilmektedir (Mittler vd., 2004). Buna göre enzimatik antioksidanların bitki metabolizmada aldığı roller incelendiğinde;

Süperoksit Dismutaz: Süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1), süperoksit anyonunun ($\bullet\text{O}_2^-$) H_2O_2 ve O_2 oluşturmak üzere dismutasyonunu katalize etmektedir (Pan ve Yau., 1992). Bu enzim, stresin oluşturduğu serbest radikalleri temizleyen başlıca enzimatik sistemlerden biri olarak kabul edilir (Pan ve Yau., 1992). CAT ve POX gibi diğer enzimler, Haber-Weiss reaksiyonu yoluyla hem $\bullet\text{O}_2^-$ hem de H_2O_2

tarafından daha zararlı ROS oluşumunu önlemek için SOD ile eşzamanlı olarak çalışmaktadır (Fink, 2002). SOD ile ilişkili metalik ko-faktörlere (Cu, Zn, Mn, Fe ve Ni gibi) bağlı olarak Mn-SOD, Cu/Zn-SOD, ve Fe-SOD gibi farklı izoformlara sahiptir (Fink, 2002). Cu/ZnSOD, bitki hücresinin kloroplastlarında ve sitozolünde, MnSOD peroksizomlarda ve mitokondriyal matriste bulunmaktadır (Stephenie vd., 2020).

Katalaz: Tüm canlı dokularda bulunan tetramerik enzimlerdir ve kofaktör olarak demir veya mangany kullanı kullanarak H_2O_2 'nin suya ve moleküler oksijene degradasyonunu ya da indirgenmesini katalizleyerek, SOD tarafından başlatılan detoksifikasyon sürecini sürdürmektedir (Chelikani vd., 2004). Genellikle peroksizomlarda yer alan bu enzimler, hücrelerde yüksek düzeylerde bulunmakla birlikte stres koşulları boyunca ROS detoksifikasyonunda vazgeçilmez olan enzimlerdendir (Garg ve Manchanda, 2009). Kısa süre içerisinde milyonlarca hidrojen peroksit molekülünü yıkabilmektedir. (Garg ve Manchanda, 2009).

Peroksidaz: Bitki peroksidazları (POX; EC 1.11.1.7), H_2O_2 'yi temizlemek için hücre dışı alanda çalışan enzimleridir (Hiraga vd., 2001). Peroksidaz, endoplazmik retikulum ve Golgi aygıtı yoluyla sentezlenen ve hücre dışı boşluğa veya vakuollere salgılanmasına yol açan glikoproteinlerdir (Mujer vd., 1983). Antioksidan mekanizma açısından askorbat-glutasyon, Foyer-Halliwell-Asada Yolu yoluyla redoks homeostazisini koruyan önde gelen moleküllerdir; flavonoidler, fenolik bileşikler ve POX, bitkilerin aşırı H ile başa çıkmasına yardımcı olan ikinci savunma sistemi olarak görev yapmaktadır (Halliwell, 1987; Agati vd., 2012). H_2O_2 katabolizması ve redoks homeostazisindeki rolünün yanı sıra bu enzim ailesi, hücre duvarı çapraz bağlanması, hücre duvarı gevşemesi, lignifikasyon, suberizasyon ve oksin katabolizmasında da rol oynamaktadır (Glušac, 2019).

Glutasyon peroksidazi: Glutasyon (GSH), üç amino asitten (glutamat, sistein ve glisin) oluşmaktadır (Passaia ve Margis-Pinheiro, 2015). Sentezi sırasında öncelikle glutamat ve sistein arasında gama peptid bağlantısı olarak bilinen bir bağ kurulur, ardından glutamil-sisteinin C terminaline glisin eklenir ve sonuçta tripeptit glutasyon (γ -glutamil-sisteinil-glisin) oluşmaktadır (Passaia ve Margis-Pinheiro, 2015). Glutasyon indirgenmiş (GSH) ve oksitlenmiş (GSSG) olmak üzere iki farklı durumda bulunmaktadır (Passaia ve Margis-Pinheiro, 2015). Bitkilerde bu enzim, tiyol bazlı (-SH grubunu içeren organik bir bileşik) bir enzimdir ve H_2O 'nun zararlı etkisini hafifletmek için tioredoksini elektron alıcısı olarak kullanılmaktadır (Passaia ve Margis-Pinheiro, 2015). GPx aktivitesinin, hücre içi oksidatif stresi ortaya koyan bir

biyobelirteç olduğu da ifade edilmiştir (Wang, 2020).

Glutasyon Redüktaz: Glutasyon redüktaz (GR; EC 1.8.1.7), flavo-protein oksidoredüktaz NAD(P)H'ye bağımlı bir enzimdir ve askorbat-glutasyon yolunun önemli bir bileşeni olarak bilinmesiyle birlikte GR enzimi oksitlenmiş glutasyonun (GSSG; dimerik) indirgenmiş glutatyon (GSH; monomerik) indirgenmesini katalize eder (Sabeh, 1993; Schulz vd., 1978; Mahan ve Burke, 1987; Hausladen ve Alscher, 1994; Connell ve Kefal, 1986). GR aktivitesinin çoğunluğu fotosentetik dokulardaki kloroplastlarda olduğu rapor edilmiş; ancak aynı zamanda sitozol, çekirdek, peroksizomlar ve mitokondride de bulunduğu ifade edilmiştir (Gill vd., 2013).

Glutasyon S-transferazlar: Bu enzim ailesi, çok çeşitli reaksiyonları kapsayan çok sayıda alternatif substrat ile doğası gereği oldukça çok yönlüdür (Marrs, 1996). GST substratları ortak bir kimyasal özelliğe 'Michael alıcısı' olarak adlandırılan bir elektron alıcı grubuna yakın karbon-karbon çift bağlarının olmasıdır (Marrs, 1996). İlk kez Z. mays'ta keşfedilmiştir ve burada bu enzimlerin konjugasyon reaksiyonu yoluyla herbisit detoksifikasyonunda rol oynadığı bulunmuştur (Vaish vd., 2020). Zamanla hormonların, ikincil metabolitlerin ve diğer enzimlerin taşıyıcısı olarak rolleri keşfedilmesiyle birlikte biyotik ve abiyotik stres toleransında, redoks homeostazisinin düzenlenmesinde ve apoptozda rol oynadıkları rapor edilmiştir (Hernández Estévez vd., 2020).

Askorbik asit: Bitkilerde AA, esas olarak mitokondride L galaktano- γ -lakton dehidrojenaz tarafından katalize edilen Smirnoff-Wheeler yolu ile üretilmektedir (Barata-Soares vd., 2004). Askorbat mitokondriden diğer hücre organellerine kolaylaştırılmış ve pasif difüzyonla taşınmaktadır (Horemans vd., 2000). AA, bitki büyümesi ve gelişmesi dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik metabolizma fonksiyonlarını düzenlemektedir (Gallie, 2013). En yüksek AA konsantrasyonu yapraklarda bulunmasıyla birlikte klorofil ve AA miktarları arasında doğrusal bir ilişki vardır (HongBo vd., 2005). AA farklı enzimatik ve enzimatik olmayan yollardan elektron vererek ROS'un olumsuz etkilerini hafifletmektedir (HongBo vd., 2005).

Glutasyon: Mitokondri, kloroplastlar, vakuoller, endoplazmik retikulum, peroksizomlar, sitozol ve apoplastlar dahil olmak üzere neredeyse tüm hücre altı bölmeler, hidrosoluble bir antioksidan tiyol tripeptid (γ -glutamil-sisteinil-glisin) olan yüksek miktarda glutasyon içermektedir (Ramírez vd., 2013). Farklı hücre organelleri arasında en yüksek glutasyon konsantrasyonları kloroplastlarda görülmektedir (Szarka vd., 2012). Hücre çoğalması, farklılaşması, yaşlanması ve ölümü, sülfat taşınmasının

kontrolü, metabolitlerin konjugasyonu, enzimatik aktivitenin düzenlenmesi, nükleotidlerin ile amino asitlerin sentezi ve strese duyarlı genlerin ifadesinin düzenlenmesi gibi çok çeşitli biyolojik süreçlere katılmaktadır (Mullineaux ve Rausch, 2005).

Karotenoidler: Bitkiler, algler, bazı bakteriler ve mantarlar tarafından üretilen bir bitkisel besin sınıfı olan karotenoidler, tetraterpenoidler olarak da bilinen pigmentlerdir (Stahl ve Sies, 2003). Kloroplastlarda bulunurlar ve bir lipofilik antioksidan sınıfıdır (Müller ve Bohm, 2011). Temel olarak iki gruba ayrılırlar: ksantofiller (oksijen içeren karotenoidler) ve karotenler (hidrokarbon karotenoidler) (Mortensen vd., 2001). Karotenoidler uzun bir konjuge alkil zincirine sahiptir, bu da onları yağda çözünür hale getirir ve en yaygın lipitte çözünen antioksidanlardır ayrıca lipoproteinlerin ve hücre zarlarının lipit peroksidasyonundan korunmasında kritik bir rol oynamaktadırlar (Gruszecki ve Strzałka, 2005).

Flavonoidler: Özellikle yapraklarda, çiçek organlarında ve polenlerde bol miktarda bulunmamaktadır (Polovka vd., 2003). Yapısal özelliklerine göre flavonoidler flavonlar, flavonoller, antosiyaninler ve izoflavonlar olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır (Bravo, 1998). Çiçeklerin, meyvelerin ve tohumların renklenmesinden büyük ölçüde sorumludurlar ve bitki döllenmesi, polen yayılımı ve fitopatojenlere karşı savunma için önemlidirler (Bravo, 1998). Yüksek indirgeme potansiyelleri sayesinde flavonoidler H_2O_2 için son derece etkili nötralize edici ajanlar olup lipid oksidasyonunun inhibitörleridir (Nijveldt vd., 2001).

Agami (2014) yılında yürütmüş olduğu bu çalışmada arpa tohumlarının (*Hordeum vulgare* L. Giza 124) 1mM Askorbik asit (AA) ve 1 mM prolin konsantrasyonuna sahip çözeltiler içinde priming uygulamasının 2 farklı tuz stresi (100 mM ve 200 mM NaCl) koşullarında morfolojik ve biyokimyasal aktivitelerinin ne derece değişim gösterdiğini araştırmışlardır. Tuz stresinin 200 mM olduğu ortamlarda sürgün uzunluğu, yaprak sayısı, bitki taze ve kuru ağırlığında sırasıyla %44.6, 28.5, 56.9, 90.1 ve 83.5 oranında azalmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak AA ve prolin ile muamele edilen arpa tohumlarının bu olumsuzluklardan en az etkilendiğini tespit etmişlerdir. 100 ve 200 mM tuz stresi altında arpa fidelerinde antioksidan enzim aktivitelerinde artış olduğunu ifade etmişlerdir. AA ve prolin uygulanan arpa fidelerinde SOD ve CAT enzim aktivitelerinde önemli bir artış gözlemlenirken, POD enzim aktivitesinde kontrole göre önemli bir artış olmadığını belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre en yüksek enzim aktivitesinin 200 mM

tuz stresi altında AA ve prolin ile ön muamale edilen arpa fidelerinden elde etmişlerdir.

Mahboob vd. (2016)'da 3 farklı tuzlu ortam koşullarında (0, 60 ve 120 mM NaCl) ve 3 farklı prolin (0, 50 ve 100 mM) uygulamasının iki buğday genotipinde (ESW-9525 ve kherman) fide gelişimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda elde ettikleri bulgulara göre; Kontrole kıyasla her iki genotipte de yapraktan uygulanan 100 mM prolin uygulamasının 120 mM tuz stresi altında en yüksek kök ve sürgün uzunluğu sağladığını tespit etmişlerdir. Farklı NaCl tuzluluk seviyeleri altında prolin uygulaması her iki genotipin fotosentetik pigment içeriklerini iyileştirerek tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletmede etkili olduğu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, yapraktan uygulanan prolin uygulaması (100 mM), kontrol ve yüksek tuz stresi (120 mM NaCl) altında her iki genotipte de en yüksek fide taze ve kuru ağırlığını elde etmişlerdir. Bu sonuçlar doğrultusunda, yapraktan uygulanan 50 mM ve 100 mM prolinin buğday fidelerinin fizyolojik ve biyokimyasal aktivitelerini uyardığını, fakat 100 mM prolin uygulamasının tuz stresinin oluşturduğu olumsuz etkileri hafifletmede daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Singh vd. (2018) 5 farklı tuzluluk düzeyi (0,0, 50, 100,150 ve 200 mM NaCl) koşullarında yetiştirilen 10 çeltik genotiplerine (IR11, IR12, IR28, USAR2, USAR3, Swarna sub1, IR11T172, IR11T220, IRR147 ve IRR154) uygulanan 3 farklı prolin (1 mM, 5 mM ve 10 mM) konsantrasyonu ile yapılan priming işleminin fide büyümesi ve çimlenme parametreleri üzerindeki etkilerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Tuz stresi doz seviyeleri artıkça çeltik tohumlarında çimlenme yüzdesi ve tohum canlılık indeks değerlerinin önemli ölçüde azalmaya neden olduğunu ancak çeltik tohumlarının prolin ile ön muamele edilmesi incelenen parametrelerde bu olumsuz etkileri en aza indirdiğini tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre 1 mM prolin uygulaması çeltik tohumlarında sadece hücresel aktiviteleri uyardığı fakat 10 mM prolin uygulamasının yüksek tuz stresi (150 ve 200 mM NaCl) altında çimlenmeyi ve biyokimyasal aktiviteyi iyileştirmede daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Rady vd. (2018) tasarlamış oldukları bu çalışmada, buğday bitkileri tohumlarını 12 mM prolin konsantrasyonu ve Moringa oleifera yaprak ekstraktı (MLE; %6) içerisinde priming uygulamasına tabi tutarak, 120 mM NaCl tuz stresi altında verim ve antioksidan sistem üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre prolin ve MLE ile ön muamele edilmiş buğday bitkilerinde kontrole kıyasla, sürgün yaş ağırlığında %55.9, sürgün kuru ağırlığında %58.3, başak uzunda %38.9 ve bitki tane veriminde %60 oranında arttırarak daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. 120 mM

tuz stresi altında buğday fidelerinde SOD, APX ve GPX enzim aktivitelerinde sırasıyla %54,2, %58,5 ve %37,6 oranında önemli ölçüde artırırken, prolin ve MLE ile muamele edilmiş buğday fidelerinde bu antioksidan enzim aktivitelerinin düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda elde etikleri verilere göre stres şartları altında buğday bitkilerinde oluşan olumsuz fizyolojik ve metabolik süreçleri iyileştirmede prolin ve MLE'nin kullanımının daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Altuner (2019) cam petri kaplarında yürütmüş oldukları çalışmada, farklı tuz stresi koşulları (0, 50, 100 ve 200 mM NaCl) altında dört farklı GA3 dozunun (0, 100, 200 ve 300 ppm) tritikale (x Triticosecale Wittmack) tohumlarında çimlenme ve ilk gelişme dönemleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre en yüksek çimlenme gücü ve oranı sırasıyla %90.6 % 69.2 olarak kontrol uygulamalarından elde edilirken, en düşük değerler ise sırasıyla; % 71.9-13.6 200 mM tuz konsantrasyonundan elde etmişlerdir. Tuz uygulamaları bakımından en yüksek çimlenme indeksi değeri %8,36 ile kontrolden, en düşük çimlenme indeksi değeri ise (%4.02) 200 mM konsantrasyonundan elde etmişlerdir. Araştırma sonucunda en iyi değerler; 0 mM (kontrol) tuz konsantrasyonunda 300 ppm GA3 ön uygulamalarından elde edildiğini ifade etmişlerdir. Bu sonuçlara göre tritikale tohumlarına GA3 ön uygulamalarının tuzun (NaCl) çimlenme üzerindeki etkilerini hafıflettiğini tespit etmişlerdir.

Özkorkmaz vd. (2022) bu çalışmalarında, dört farklı tuz stresi koşulları (0, 50, 100, 150 mM) altında 3 farklı arpa çeşidi (Larende, Beyşehir, Kral) üzerine uygulanan dört farklı salisilik asit konsantrasyonun (0, 0.25, 0.5, 1 mM) çimlenme ve morfolojik parametreler üzerinde ki etkilerini belirlemek amacıyla yürütmüşlerdir. Elde etikleri sonuçlarda, en yüksek toplam kuru ağırlık değeri 1mM SA dozu ile kontrol interaksyonundan, en düşük ise 150 mM tuz ve 0.25 Mm SA interaksyonundan elde etmişlerdir. 50 mM tuz uygulamasının toplam yaş ağırlık değerinde kontrole kıyasla daha yüksekken, diğer tuz doz uygulamalarında azalış neden olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışma sonucunda uygulanan 1 mM salisilik asit dozunun tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltmada diğer dozlara kıyasla daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

2.3. Hümik Asit ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Hümik asit (HA), organik humusun ana bileşenini temsil etmektedir (Olaetxea vd., 2018). Hümik asitler su, asidik veya alkali çözeltilerdeki çözünürlüklerine göre, fulvik asitler (FA) ve huminler olarak sınıflandırılmaktadır (De Melo vd., 2016). HA

uygulamasý, çeşitli bitki metabolik faaliyetlerinin hızlandırılmasındaki ve çevresel streslerin ciddi etkilerini hafifletmedeki olumlu rolü nedeniyle OFP oluşumunu doğrudan veya dolaylı olarak iyileştirdiği rapor edilmiştir (Nardi vd., 2016). Hümik asitler, yapıyı, dokuyu, su tutma kapasitesini ve mikrobiyal popölasyonu iyileştirerek toprağın fiziksel ve biyokimyasal aktivitelerini artırmak gibi birçok önemli rol oynamaktadır (Nardi vd., 2017; Fuentes vd.; Shah vd., 2018). Mikro besin maddelerini bitkilere şelatlayarak ve birlikte taşıyarak toprak besin maddelerinin, özellikle de mikro besin maddelerinin kullanılabilirliğini artırmaktadır (Yang vd., 2021). Toksik ağır metalleri çökelterek taşınmasını azaltarak toksik ağır metallerin bitkiler tarafından alımını kısıtlamaktadır (Wu vd., 2017). Hümik asitler ayrıca stres direncine, besin metabolizmasına ve fotosenteze yardımcı olan oksin ve sitokinin gibi bitki büyümesini teşvik eden hormonları artırarak bitki büyümesini hızlandırmaktadır (Billingham, 2012; Rose vd., 2014; Canellas vd., 2020; Laskosky vd., 2020). Toprağın mineral tutma yeteneği ne kadar katyon tutabildiğine bağlı olduğundan hümik asitin toprağın katyon değişim kapasitesini (CEC) arttırdığı bildirilmiştir (Billingham, 2012). Hümik asit uygulamasının mikrobiyal popölasyonu ve aktivitelerini de arttırdığı rapor edilmiştir (Maji vd., 2017; Li vd., 2019). Hümik asit uygulamalarının buğday bitkisinin verim, kalite parametreleri ve antioksidan enzimleri üzerine etkilerini inceleyen sınırlı çalıma bulunmaktadır. Bu nedenle, hümik asitin farklı bitkiler üzerinde etkileri de incelenmiştir.

Çöl (2017) arazide yürüttükleri çalışmada, 3 farklı patates çeşitlerine (Agria, VR808, Brooke) ve dört farklı hümik asit (0, 3, 6, 9 l/da) dozlarının verim parametreleri üzerine etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Araştırmada, hümik asit uygulamalarının artmasıyla birlikte bitki başına sap sayısı, ocak başına yumru sayısı, ocak başına yumru verimi ve dekara toplam verimde önemli artışlar sağlandığını tespit etmişlerdir. Çalışmada kullanılan patates çeşitlerinde uygulanan hümik asit dozlarına bağlı olarak bitki boyunun 36.3 ile 60.4 cm, bitki başına sap sayısının 3.1 ile 6.1 adet, ocak başına yumru sayısının 5.5 ile 9.4 adet, ocak başına yumru veriminin 812.0 ile 1228.7 g, dekara toplam yumru veriminin 3313.4 ile 4454.1 kg arasında değişim gösterdiğini elde etmişlerdir. Çalışmada incelenen verim parametreleri üzerine 6 l/da hümik asit dozunun daha etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Mazlu (2017) 9 farklı ekmeklik buğday çeşidine (Altay-2000, Gelibolu, Saroz-95, Kırgız-95, Sultan-95, Karasu-90, Mızrak, Müfitbey ve Yakar-99) uygulanan hümik asit, rizobakteri (PGPR) ve kimyasal (N+P) gübre uygulamalarının çimlenme,

verim ve kalite parametrelerine olan etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada elde ettikleri sonuçlara göre; kontrol uygulamasına kıyasla en yüksek bitki boyu (91.2 cm) ve en yüksek verim (1008.0 kg/da) hümik asit uygulamalarından elde edildiğini belirtmişlerdir. Metrekarede başak sayısı en düşük 327.6 adet ile Gelibolu çeşidinden PGPR uygulamasıyla elde edilirken en yüksek başak sayısı ise sırasıyla 630.3 ve 622 adet ile Kırgız-95 ve Sultan-95 çeşitlerinden hümik asit uygulamasından elde edildiğini vurgulamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre hümik asit PGPR ve kimyasal gübre uygulamaları verim ve verim ile yakın ilişkili karakterlerde önemli artış sağladığını ve bu konu üzerinde daha fazla çalışmalarının yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

İstanbul vd. (2020) sera koşullarında yürüttükleri saksı denemesinde 3 farklı çinko doz (0, 5, 10 mg Zn kg⁻¹) ve 4 farklı hümik asit uygulamalarının (0, 50, 100, 200 mg l⁻¹) biber bitkisi üzerinde yeşil aksam kuru madde ve çinko miktarı üzerine olan etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre en fazla kuru madde veriminin 10 mg kg⁻¹ Zn ile 200 mg l⁻¹ ha uygulamasından olduğunu ve kontrole kıyasla %32'lik bir artış sağladığını belirlemişlerdir. Denemede 10 mg kg⁻¹ Zn ile 200 mg l⁻¹ ha'nın birlikte uygulamasında ise bitki Zn miktarında kontrol grubuna göre %45'lik bir artış sağladığını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar doğrultusunda çinko ve hümik asit uygulamalarının birlikte uygulanmasıyla, yeşil aksam kuru madde ve Zn miktarında daha fazla artış sağladığını vurgulamışlardır.

Tunçtürk vd. (2020) yılında iklim dolabında 4 farklı tuz dozu (kontrol, 50, 100 ve 150 mM NaCl) uygulamaları altında yetiştirilen bakla bitkisine uygulanan 4 farklı hümik asit (kontrol, 50, 100 ve 200 ppm) uygulamalarının bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre en yüksek yaprak alan indeksi 19.9 cm² değerinin tuzun uygulanmadığı kontrol grubunda 100 ppm HA uygulamasından ölçmüşlerdir. En düşük değerin ise 10.2 cm² ile 150 mM x 50 ppm doz uygulamalarından elde edildiğini ifade etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre en yüksek klorofil oranı 52.8 ile 50 mM x 200 ppm, en düşük değer ise 45.4 ile 150 mM tuz dozundan ve 0 ppm HA uygulamalarından elde etmişlerdir. Ayrıca artan tuz dozlarının paralel olarak yaprak dokularında iyon sızıntısına neden olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre en yüksek değer %32.6 ile 150 mM dozundan, en düşük değer ise %25.5 oranında kontrol grubundan elde edildiğini ifade etmişlerdir. Tuz x HA interaksyonu bakımından ise

en yüksek iyon sızıntısı oranı %39.8 ile 0 ppm humik asit ve 150 mM tuz uygulamalarından tespit etmişlerdir.

Abbas vd. (2022) yürütmüş oldukları saksı denemesinde, 2 buğday çeşidinin (SARC 1, tuza toleranslı ve SARC 5, tuza duyarlı) 100 mM tuzlu şartlar altında, 3 farklı potasyum (0, 5 veya 10 mM) ve 2 farklı ha (0 veya 2 g kg⁻¹) uygulamasının büyüme ve fizyolojik parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre; 100 mM tuz stresi koşulları altında yetiştirilen iki buğday çeşidinde de sürgün ağırlıklarında sırasıyla %35 ve %49 oranında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, 10 mM K ve HA kombine uygulanmasının, tuz stresinin olumsuz etkilerini hafifletmede etkili olduğu vurgulanmış ve toplam bitki yaş ağırlıklarının tuz stresi koşullarına kıyasla %43 ve %47 oranında artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca 10 mM K ve HA konine uygulamalarının SARC 1 ve SARC 5 buğday genotiplerinde APX, CAT, POD ve SOD enzim aktivitelerini artırarak oksidatif stresi azalttığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar doğrultusunda 10 mM K ve 2g kg⁻¹ ha uygulamalarının konbine edilmesi buğday bitkisinin tuz toleransını arttırmada etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Benek (2022) yılında sera koşullarında, 5 farklı vermikompost (%0, %25, %50, %75 ve %100) ve 3 farklı hümik asit doz (0, 100 ve 200 ppm) uygulamalarının, Afat F1 biber çeşidinde morfolojik parametreler üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre yetiştirme ortamına ilave edilen %100 VC uygulaması kontrol ile karşılaştırıldığında gövde çapı değerlerinde %25.16 oranında bir azalmaya neden olurken 100 ppm Hümik asit uygulamasının gövde çapı değerlerini arttırdığını ifade etmişlerdir. 100 ppm ha uygulamasının kontrole kıyasla yaprak alanını %12,85 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Hümik asit uygulamasının bitki boyu, gövde çapı, yaprak taze ağırlığı, gövde taze ve kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kök taze ve kuru ağırlığı, toplam bitki kuru ağırlığı parametreleri üzerine etkisi incelendiğinde de en yüksek değerler 100 ppm uygulamasından; yaprak sayısı, klorofil, gövde/kök oranı (kuru) parametreleri için ise 200 ppm ha uygulamasından elde edildiğini bildirmişlerdir.

Kutlu ve Gülmüzoglu (2022) tarafından yürütülen bu çalışmada, farklı humik asit (HA) uygulama yöntemlerinin (kontrol, toprak (1 kg toprak başına 30 µl HA), yaprak (%0,2 HA çözeltisi) ve toprak+yaprak), yüksek tuz seviyelerinde (0, 50, 100 ve 150 mM) yetiştirilen fasulye bitkisindeki biyokimyasal ve fizyolojik parametreler üzerindeki etkilerini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Araştırmada elde ettikleri sonuçlar

incelendiğinde en yüksek tuz konsantrasyonunda MDA artışı, 0 mM NaCl ile karşılaştırıldığında, toprak ve yaprak HA uygulamasında %72 iken, HA yokluğunda artışın %230 olduğunu gözlemlemişlerdir. Fasulye bitkilerinin yapraklarındaki demir konsantrasyonu değerleri incelendiğinde, 36 mg kg⁻¹ (HA uygulaması olmadan sadece 150 mM NaCl) ile 57 mg kg⁻¹ (0 mM NaCl içinde sadece toprak HA) arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Köklerde ise demir konsantrasyonu değerleri, 67 mg kg⁻¹ (HA uygulaması olmadan sadece 150 mM NaCl) ile 99 mg kg⁻¹ (0 mM NaCl içinde sadece toprak ve yaprak HA) arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca toprak HA uygulamasının antioksidan aktivitelerini artırırken, yaprak ve toprak+yaprak HA uygulamasının süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon redüktaz (GR) aktivitelerini artırdığını ancak katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) aktivitelerini azalttığını tespit etmişlerdir. Bu doğrultuda, tuz stresine karşı toprak+yaprak HA uygulamalarının fasulye bitkilerinde biyokimyasal ve fizyolojik parametrelerin iyileştirmede daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

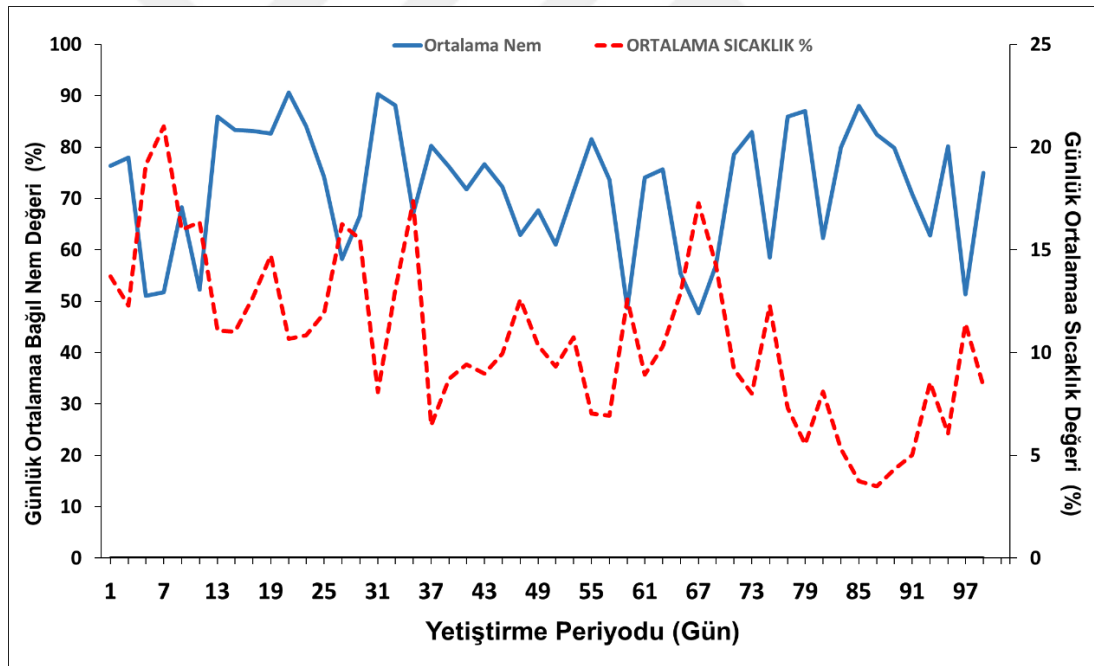
3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Alanı

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü için ayrılmış yağmurdan korunaklı 120 m²' lik bir sera alanında 03.11.22 ve 22.02.23 çalışma periyodu boyunca yürütülmüştür.

3.1.2. Deneme Alanı İklim Özellikleri

Araştırma süresince, tohum ekim işlemiyle birlikte iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin ölçülmesine başlanmış ve deneme sonlanana kadar düzenli ve sürekli olarak ölçümler yapılmıştır. Araştırmanın devam ettiği aylar boyunca, iç ortamın sıcaklık ve bağıl nem değerleri LYK-20E LOYKA Instruments Data Logger cihazıyla saatlik olarak kaydedilmiştir. Sıcaklık ve nem değerlerinin zamansal değişimleri Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3. 1. Aylara göre deneme alanı günlük ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin zamansal değişimi

3.1.3. Denemede Kullanılan Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Deneme için kullanılan topraklar, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Deneme Ünitesi'nde saksı çalışmalarında kullanılmak üzere temin edilmiştir. Toplanan toprağın fiziksel-kimyasal özellikleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 1. Deneme topraklarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Fiziksel Özellikler								
Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Tekstür	Alan Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)			
18.2	29.8	52.0	Balçık	23.2	11.4			
Kimyasal Özellikler								
Organik madde (%)	N (%)	P (ppm)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	EC (dS m ⁻¹)	pH	CaCO ₃ (%)
1.80	0.08	20.5	32.4	14.8	0.41	0.28	7.7	2.05

3.2. Yöntem

3.2.1. Tuzluluk Konularının Oluşturulması

Toplanan topraklar havada kurutulmuş ve 4 mm'lik elekten geçecek şekilde ezilmiştir. Toprak tuzluluğunun hazırlanması 3 aşamadan gerçekleşmiştir.

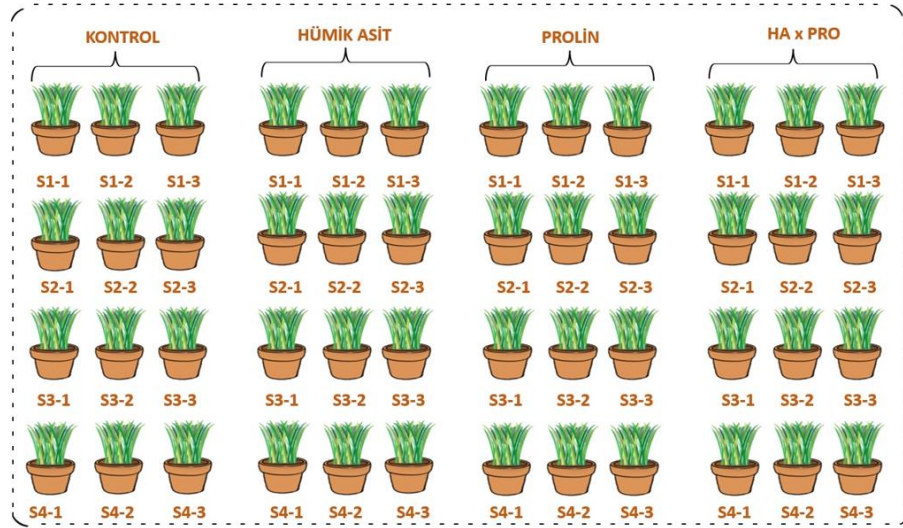
İlk aşamada topraklarda yüksek sodyum probleminden kaçınmak için üç farklı tuz (NaCl, CaCl₂ ve MgSO₄) tipi kullanılarak tuzlu sular hazırlanmıştır. İstenilen tuzluluk seviyelerini elde etmek için çeşme suyuna (0,25 dSm⁻¹) eşit miktarlarda (1:1:1) NaCl, CaCl₂ ve MgSO₄ ilave edilerek üç sulama suyu tuzluluk seviyesi (8, 12 ve 20 dSm⁻¹) hazırlanmıştır. Kurutulmuş ve elenmiş olan 50 kg toprak S2, S3 ve S4 konuları için ayrı ayrı saksılara eşit olacak şekilde doldurulmuştur.

İkinci aşamada eşit miktarda toprağa sahip saksılar bir ay boyunca tuzlu sularla sulanmıştır. Üçüncü aşamada, bir ay sonra, saksılarda meydana gelen ortalama toprak tuzluluğunu belirlemek için her bir saksının 15, 30 ve 45 cm derinliklerinden toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin elektriksel iletkenliği (EC), doymuş toprak macunu ekstraktlarına göre belirlenmiştir (Rhoades, 1993). Doymuş toprak tuzluluğu değerleri 4,17, 9,33 ve 15,23 dSm⁻¹ olarak elde edilmiştir.

Dördüncü aşamada, hazırlanan tuzlu topraklar hava ile kurutulmuş, ezilmiştir ve 4 mm'lik elekten elenerek 1,25 kg olacak şekilde saksılara doldurulmuştur. Ortalama tarla kapasitesini belirlemek için alt kısmı drenaj olacak şekilde ayarlanmış saksılara aynı deney toprağı ile doldurulmuş ve çeşme suyu ile doyurulmuştur. Suyun buharlaşmasını önlemek için saksı yüzeyleri poşet ile kapatılmıştır. Drenaj kesildikten sonra üç saksı tartılmış ve ortalama değerleri hesaplanarak tarla kapasitesi belirlenmiştir.

3.2.2. Deneme Konuları

Bu tez çalışmasında buğday fide gelişiminin morfolojik ve fizyolojik özelliklerini belirlemek amacıyla tesadüf blokları iki faktöriyel deneme desenine göre 4 uygulama konusu (kontrol, prolin, hümik asit ve hümik asit x prolin kombinasyonu), 4 farklı toprak tuzluluğu (0.28, 4.17, 9.33 ve 15.23 dSm⁻¹) ve üç tekerrürlü olacak şekilde toplam 48 saksıda yürütülmüştür. Çalışmada, 15 cm çapında ve 18 cm yüksekliğinde polietilen malzemeden yapılmış, toplam 48 saksı kullanılmıştır. Toprak doldurulmadan önce, her bir saksının alt kısmına drenaj sağlamak için saksı altı büyüklüğünde malç kesilip yerleştirilmiştir. Saksılar uygun konulara göre etiketlenmiştir. Deneme deseninin görselli şekil 3.3 de verilmiştir.



Şekil 3. 2. Deneme desenin şematik görünümü

Tablo 3. 2. Deneysel uygulamaların detaylı incelenmesi

Doymuş toprak tuzluluk seviyeleri	Uygulamalar	Açıklama
S ₁ : 0.28 dSm ⁻¹ S ₂ : 4.17 dSm ⁻¹ S ₃ : 9.33 dSm ⁻¹ S ₄ : 15.23 dSm ⁻¹	Kontrol	Buğday tohumları prolin çözeltisi ile priming yapılmadan ve toprağa humik asit ilave edilmeden ekilmiştir.
S ₁ : 0.28 dSm ⁻¹ S ₂ : 4.17 dSm ⁻¹ S ₃ : 9.33 dSm ⁻¹ S ₄ : 15.23 dSm ⁻¹	Prolin	Buğday tohumları 15 mM prolin çözeltisi ile priming yapıp toprağa ekildi.
S ₁ : 0.28 dSm ⁻¹	Humik Asit	Tohum ekiminden önce 100 ppm HA çözeltisi eklenmiştir.

S ₂ : 4.17 dSm ⁻¹ S ₃ : 9.33 dSm ⁻¹ S ₄ : 15.23 dSm ⁻¹		
S ₁ : 0.28 dSm ⁻¹ S ₂ : 4.17 dSm ⁻¹ S ₃ : 9.33 dSm ⁻¹ S ₄ : 15.23 dSm ⁻¹	Prolin + Humik Asit	Buğday tohumları 15 mM prolin çözeltisi ile priming yapılmış ve tohum ekiminden önce toprağa 100 ppm hümkik asit eklenmiştir.

3.2.3. Tohuma Ön Uygulama

Buğday tohumları arasından, sağlıklı olanlar belirlenmiş olup, %10 Cahypochlorite kullanılarak yüzey sterilizasyonu yapılmıştır. Ardından saf su ile iyice yıkanmıştır. Steril tohumlar, 15 mM konsantrasyona sahip prolin çözeltisinde, karanlık bir ortamda 24 saat bekletilerek astarlanmış olup ardından oda sıcaklığında karanlık koşullar altında havada kurutulmuştur. Ön uygulama işlemi bittikten sonra prolin ile astarlanmış 288 tohum steril şartlarda farklı tuzlu toprak oranlarına sahip toplam 24 saksıya ekimi yapılmıştır (Ambreen vd. 2021).

3.2.4. Toprağa Hümkik Asit Uygulama

Çalışmada toplam 24 saksıya 100 ppm'lik hümkik asit uygulaması yapılmıştır. Çalışmada, TKİ-HÜMAS marka sıvı hümkik asit kullanılmıştır. Kullanılan hümkik asidin içeriğinde %5 organik madde, %12 toplam (hümkik+fülvik) asit, %1.8 suda çözünür K₂O (potasyum oksit) bulunmakta olup pH değeri 10.-12.5 arasında değişmektedir. Tohum ekiminden önce hümkik asit ve hümkik asit×prolin kombinasyonuna ait toplam 24 saksının her birine 100 ppm'lik HA çözeltisi ile tarla kapasitesine kadar sulanmıştır.

3.2.5. Tohumların Ekilmesi ve Gübreleme

Tohum ekimi 11.11.2022 tarihinde gerçekleşmiştir. Çalışmada, Falado çeşidi kullanılmıştır. Prolin ve hümkik asit×prolin konularında saksılara ekilecek olan tohumlar ekim öncesi ön uygulama işlemine tabi tutulduktan sonra denemenin yürütüleceği saksıların her birine homojen olacak şekilde 2-3 cm derinliğe 12 tohum ekilerek sera koşullarında çimlendirilmiştir. Kontrol ve hümkik asit konularında ise tohum doğrudan saksıya yukarıda belirtilmiş olan derinliklerde ve sayıda homojen bir şekilde ekim işlemi yapılmıştır. Tohum ekimini takiben yaklaşık üç hafta (27 gün) süresince saksılar belirli aralıklarla sulanarak bitkilerin belirli bir büyüklüğe ulaşması beklenmiştir. Ardından seyreltme işlemi yapılmış ve her saksıda 7 bitki bırakılarak

alışmalara devam edilmiştir. Her bir saksıya taban gübresi olarak 0.623 gr triple süper fosfat gübresi uygulanmış olup, fide çıkışından hemen sonra 0.182 gr üre gübresi uygulanmıştır.

3.2.6. Sulama Suyu Miktarının Belirlenmesi

Saksıların ağırlıklarındaki değişimler günlük olarak hassas terazi ile ölçülerek kontrol edilmiştir. Sulama uygulamaları, yetiştirme döngüsü boyunca toprak suyunun %40'ı tükendiğinde gerçekleştirilmiştir. Her sulama öncesi, tüm saksılar tartılmış ve sulama suyu miktarı (IW) aşağıdaki denklemle belirlenmiştir (Kiremit ve Arslan, 2018);

$$IWA = [(WFC - W) / \rho_w]$$

Burada;

IWA sulama suyu miktarı, litre; WFC saksının tarla kapasitesindeki ağırlığı, kg; Wa saksının sulamadan hemen önceki ağırlığı, kg; ρ_w suyun hacim yoğunluğudur (1 kg litre⁻¹).

Sulama uygulamaları 3-4 gün aralıklarla dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmiş ve tüm yetiştirme dönemleri boyunca her bir saksının dibinden sızıntı olmamıştır.

3.2.7. Bitki Büyüme Parametrelerinin İncelenmesi

Çalışmada, buğdayların büyüyüp gelişmesi dikkate alınarak 22.02.2023 tarihinde bitkiler toprak yüzeyinden itibaren bıçak ile kesilerek hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerekli analizleri gerçekleştirmek üzere toprak üstü aksam ve köklerden doku örnekleri alınmıştır. Denemenin başlangıcından sonuna kadar da farklı zaman aralıklarında çimlenme günü takibi, bitki boyu ve gövde çapı ölçümleri yapılmıştır.

Kardeş Sayısı: Saksılardaki ıkış sonrası toplam sap sayısı, seyreltme sonrası saksıda bulunan toplam fide sayısına bölünerek her fideye ait fertil kardeş sayısı belirlenmiştir.

Bitki Boyu: Bitkide toprak yüzeyinden yaprağın en u noktasına kadar olan kısmı cm olarak ölçülerek belirlenmiştir.

Bitki Gövde apı: Bitkilerin gövde çapı, 0.01 hassasiyete sahip dijital kumpas ile ölçülmüş ve mm cinsinden belirlenmiştir.

Bitkinin Yaş-Kuru Ağırlıkların Belirlenmesi: Her saksıdaki tüm fideler, toprak yüzeyinden kesilerek ayrıldı ve her bir fidenin yaş ağırlığı ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra, fideler etüvde 70 C'de (Nüve, EN 400) sabit ağırlığa

ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Kuruduktan sonra, fideler tekrar tartılmış ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

Bitki Kök Yaş-Kuru Ağırlıkların Belirlenmesi: Toprak yüzeyinden biçilen fidelerin kökleri ayrı ayrı yıkanarak topraktan arındırılmıştır. Yıkanan kökler, peçete yardımıyla kurutulmuş ve yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından, kökler 70  C'de (Nüve, EN 400) sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Kuruduktan sonra kökler tartılarak kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

Yaprak Sıcaklığının Belirlenmesi: Yaprak sıcaklığı ( C) elde tutulan bir kızılötesi radyometre [Apogee Instrument MI-210 infrared radiometer] ile llmştr. Ölçümler, her saksı için hasattan önce sabah 9:00 ile 11:00 arasında üç farklı konumdan alınmış ve daha sonra bu ölçümlerin ortalaması belirlenmiştir.

Klorofil İçeriğinin Belirlenmesi: Bitkilerin, klorofil içeriği taşınabilir klorofil metre cihazı (Minolta SPAD-502, Osaka, Japan) ile 11.00 – 15.00 saatleri arasında her bir saksıdaki 3 yapraktan olacak şekilde klorofil miktarı SPAD olarak llmştr.

Stoma İletkenliği lmleri: Stoma iletkenliği lmleri, Delta T4 model porometre cihazı ile 11.00 – 15.00 saatleri arasında yapılmıştır. Stoma iletkenliği ölçümleri her bir saksıdaki 3 yapraktan yapılmıştır. Porometrenin okuma sensörü, yaprağın alt kısmına yerleştirilmiş ve uygun bir şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen değerler mmolm-2 s -1 cinsinden kaydedilmiştir.

3.2.8. Fotosentetik Pigmentlerin Belirlenmesi

Pigment içeriklerinin belirlenmesi amacıyla 0.2 g taze yaprak rneği, 0.1 g MgO ve 0.25 g ince kum porselen havan alınarak, %80'lk (v/v) aseton içinde soğuk koşullar altında homojenize edilmiştir. Homojenize edilen karışım filtre edilmiş ve aseton ile 25 ml hacme tamamlanmıştır. Elde edilen örneklerin absorbans değerleri 645 nm, 663 nm ve 480 nm dalga boylarında Shimadzu UV-1800 spektrofotometre cihazında llmştr. Taze yapraklardaki klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır (Arnon, 1949; Witham vd., 1971) ve mg g-1 yaş ağırlık (YA) olarak ifade edilmiştir:

$$\text{Klorofil-a} = [(12.70 \cdot A_{663}) - (2.69 \cdot A_{645})] \cdot V / (1000 \cdot w)$$

$$\text{Klorofil-b} = [(22.90 \cdot A_{645}) - (4.68 \cdot A_{663})] \cdot V / (1000 \cdot w)$$

$$\text{Toplam klorofil} = [(20.2 \cdot A_{645}) + (8.02 \cdot A_{663})] \cdot V / (1000 \cdot w)$$

$$\text{Toplam karotenoid} = (A_{480} \cdot V) / (250 \cdot w)$$

Yukarıda verilen formüllerde A_{663} = 663 nm'deki absorbans değeri, A_{645} = 645 nm'deki absorbans değeri, A_{480} = 480 nm'deki absorbans değeri, V= Son hacim (ml), w= örnek miktarı (g YA) olarak kullanılmıştır.

3.2.9. Membran Dayanıklılık İndeksi ve Biyokimyasal Parametrelerin İncelenmesi

3.2.9.1. Membran Dayanıklılık İndeksi Ölçümleri

Membran stabilite indeksi, LRWC'yi ölçmek için toplanan aynı yaprak örneklerinden (Hayat vd., 2008) yöntemine göre hesaplanmıştır. Toplanan yaprak örnekleri 1 cm'lik yaprak diskleri halinde kesilmiş ve üç kez saf su ile iyice yıkanmıştır. Yaprak diskleri iki set olarak ayrılmıştır. Yıkanmış yaprak disk örneklerinden bir takım 10 ml saf su içeren şişelere yerleştirilip ağzıları kapatılmıştır ve 40 derecede su banyosunda 30 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon solüsyonlarının elektriksel iletkenliği, numuneler 25 dereceye getirildikten sonra EC_1 olarak ölçülmüştür. İkinci set yaprak disk numuneleri 100 derecede 10 dakika tekrar inkübe edilip, 25 dereceye kadar soğutulmuştur ve tüm numunelerin elektrik iletkenliği EC_2 olarak ölçülmüştür. Membran stabilite indeksi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$MDI (\%) = (1 - EC_1/EC_2) * 100$$

3.2.9.2. Yapraklarda Biyokimyasal Parametrelerin Analiz Yöntemleri

Ölçüm ve analizler için örnek alma işlemi üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve her bir konuya ait en yaşlı üç yaprak alınmıştır. Bu yapraklar, sıvı azotta dondurulmuş ve analizler yapılncaya kadar -80°C'lik derin dondurucuda bekletilmiştir. Yaklaşık 1 gram taze yaprak örneği, sıvı azot içerisinde porselen havanlarda ezildikten sonra, içinde 0.5 mM EDTA bulunan fosfat tamponu ile homojenize edilmiştir (100 mM potasyum fosfat tamponu, pH=7.5). Homojenize edilen örnekler, 20 dakika boyunca 15000 g'de santrifüj edilmiş ve elde edilen süpernatantlar enzim analizinde kullanılmıştır. Enzim aktivitelerinin belirleneceği örnekler, ölçüm yapılncaya kadar +4°C sıcaklıkta tutulmuş ve ölçümler Shimadzu-UV1800 model spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir.

Antioksidan enzim aktivitelerinin ve protein konsantrasyonlarının belirlenmesi için 1 g taze doku örneği sıvı azot yardımıyla porselen havanda öğütüldükten sonra, 5 ml %1 (w/v) PVP içeren 100 mM KH_2PO_4 / 0.5 mM EDTA (pH 7.7) tamponunda homojenize edilmiştir. Vorteks işleminin ardından 15000 × g'de 20 dak. boyunca 4 °C'ta santrifüj edilmiştir. Süpernatant alınarak, kullanılıncaya kadar -20°C'ta

saklanmıştır. Tüm enzim aktiviteleri spektrofotometre cihazında (Shimadzu UV-1800), absorbans değerlerinin kinetik değişimi 2 dak. Boyunca izlenerek belirlenmiştir. Protein konsantrasyonları bovin serum albümin standart olarak kullanılarak belirlenmiştir (Bradford, 1976).

Katalaz enziminin aktivite ölçümü: Katalaz (CAT) aktivitesinin ölçümü için 835 µl 50 mM KH₂PO₄ tamponu (pH 7.0), 150 µl 120 mM H₂O₂ çözeltisi ve 15 µl enzim ekstraktından oluşan 1 ml'lik reaksiyon karışımı kullanılmıştır. H₂O₂ bozulma oranına bağlı olarak, 240 nm'de ölçülen absorbans değerinde gerçekleşen azalma kaydedilmiştir (Aebi, 1984).

Süperoksit Dismutaz enziminin aktivite ölçümü: Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin ölçümü için 50 mM KH₂PO₄ / 0.1 mM EDTA tamponu (pH 7.8), 100 µl 120 mM L-Metiyonin, 100 µl 120 mM Na₂CO₃, 100 µl 750 µM NBT, 200 µl 100 µM riboflavin ve 100 µl enzim ekstraktından oluşan 1 ml'lik reaksiyon karışımı kullanılmıştır. Reaksiyon karışımlarını içeren tüpler 30 dak. Boyunca floresan lamba ile aydınlatılmıştır. Enzim aktivitesi; NBT'nin fitokimyasal redüksiyonunun inhibisyonu, 560 nm'de ölçülen absorbans değerleri izlenerek belirlenmiştir (Giannopolitis ve Ries, 1977).

Glutasyon Redüktaz enziminin aktivite ölçümü: Glutasyon redüktaz (GR) aktivitesinin ölçümü için 500 µl 200 mM KH₂PO₄ tamponu (pH 7.0), 100 µl 2 mM glutasyon disülfür (okside glutasyon, GSSG), 100 µl 2 mM NADPH (nikotinamid adenin dinükleotit fosfat), 250 µl su ve 50 µl enzim ekstraktından oluşan 1 ml'lik reaksiyon karışımı kullanılmıştır. NADPH'nin oksidasyon oranı bağlı olarak, 340 nm'de ölçülen absorbans değerlerinde azalma kaydedilmiştir (Cakmak vd., 1993).

Guaia kol Peroksidaz enziminin aktivite ölçümü: Guaia kol peroksidaz (POD) aktivitesinin ölçümü için 580 µl 200 mM KH₂PO₄ tamponu (pH 7.0), 200 µl 100 mM gualikol çözeltisi, 200 µl 50 mM H₂O₂ çözeltisi ve 25 µl enzim ekstraktından oluşan 1 ml'lik reaksiyon karışımı kullanılmıştır. Tetraguaia kol oluşumuna bağlı olarak, 470 nm'de ölçülen absorbans değerinde gerçekleşen artış kaydedilmiştir (Lin ve Kao, 1999).

Askorbat Peroksidaz enziminin aktivite ölçümü: Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesinin ölçümü için 725 µl 0,04 M KH₂PO₄ tamponu (pH 6.0), 100 µl 1 mM EDTA çözeltisi, 100 µl 2.5 mM AsA (askorbik asit) çözeltisi, 50 µl H₂O₂ çözeltisi ve 25 µl enzim ekstraktından oluşan 1 ml'lik reaksiyon karışımı kullanılmıştır. Askorbik

asitin oksidasyonuna bağlı olarak, 290 nm’de ölçülen absorbans değerindeki azalma kaydedilmiştir (Cakmak ve Marschner, 1992).

Lipit peroksidasyonunun belirlenmesi: Dokularda lipit peroksidasyonu düzeyi malondialdehit (MDA) içeriği olarak ölçölmüştür. 0.2 g taze doku örneği, 2 ml % 0.1’lik trikloroasetik asit (TCA) içerisinde homojenize edilmiştir. Homojenat 10000 × g’de 15 dak. santrifüj edilmiştir. 0.4 ml süpernatant bölüntüsüne, %0.5 tiyobarbitürik asit (TBA) içeren % 20’lik TCA’dan 1.6 ml eklenmiştir. Karışım 95 °C’ta 30 dak. bekletildikten sonra hızlıca buz üzerinde soğutulmuştur. 10000 × g’de 15 dak. santifüj işlemi uygulandıktan sonra, süpernatantın 532 nm’deki absorbansı ve 600 nm’deki non-spesifik absorbans değeri spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Heath ve Packer, 1968).

Prolin içeriğinin belirlenmesi: 0.3 g taze doku örneği, 1 ml %3’lük sülfosalisilik asit içerisinde homojenize edilmiştir. Homojenat 10000 × g’de 5 dak. santrifüj edilmiştir. 0.1 ml süpernatant bölüntüsü, 0.2 ml asidik ninhidrin (30 ml glasiyel asetik asit ve 20 ml 6 M fosforik asit içerisinde 1.25 g ninhidrin) ve 0.3 ml glasiyel asetik asitten oluşan reaksiyon karışımı, 96 °C’de 1 saat bekletildikten sonra buz üzerine alınarak reaksiyon sonlandırılmıştır. Reaksiyon karışımının üzerine 1 ml toluen eklenerek 30 saniye boyunca vorteks işlemi uygulanmıştır. 10000 × g’de 5 dak. santrifüj edildikten sonra renkli organik katmanın absorbansı 520 nm’de spektrofotometre cihazında ölçölmüştür (Bates vd., 1973).

3.2.10. Verilerin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Bu çalışma, tesadüf bloklarında iki faktörlü faktöriyel deneme desenine göre yürütölmüştür. İstatistiksel analizler JMP 13.2 istatistik programı (SAS Institute, Inc., Cary, NC, ABD) kullanılarak gerçekteştirilmiştir. İncelenen parametreler iki yönlü varyans analizi (ANOVA) ile analiz edilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar %5 önemlilik düzeyinde LSD testi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı toprak tuzluluğu ve uygulamaların bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, SPAD, stoma iletkenliği ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkilerine istatistiksel sonuçlar ile Microsoft Office 365 yazılımı kullanılarak grafiklendirilmiştir. Bar grafiklerinin üzerindeki hata çubukları her bir konuya ait üç tekerrürün standart hatasını ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fide Yaş Ağırlığı

Toprak tuzluluğu koşullarında hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi yaş ağırlığı üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analiz sonuçları Tablo 4.1’ de verilmiştir. Varyans analiz sonuçları göz önünde bulundurulduğunda; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksiyonunun fide yaş ağırlığı üzerinde $p < 0.01$, tekerrürler arası ise istatistiksel olarak $p < 0.05$ önemlilik düzeyinde etki ettiği tespit edilmiştir (Tablo 4.1).

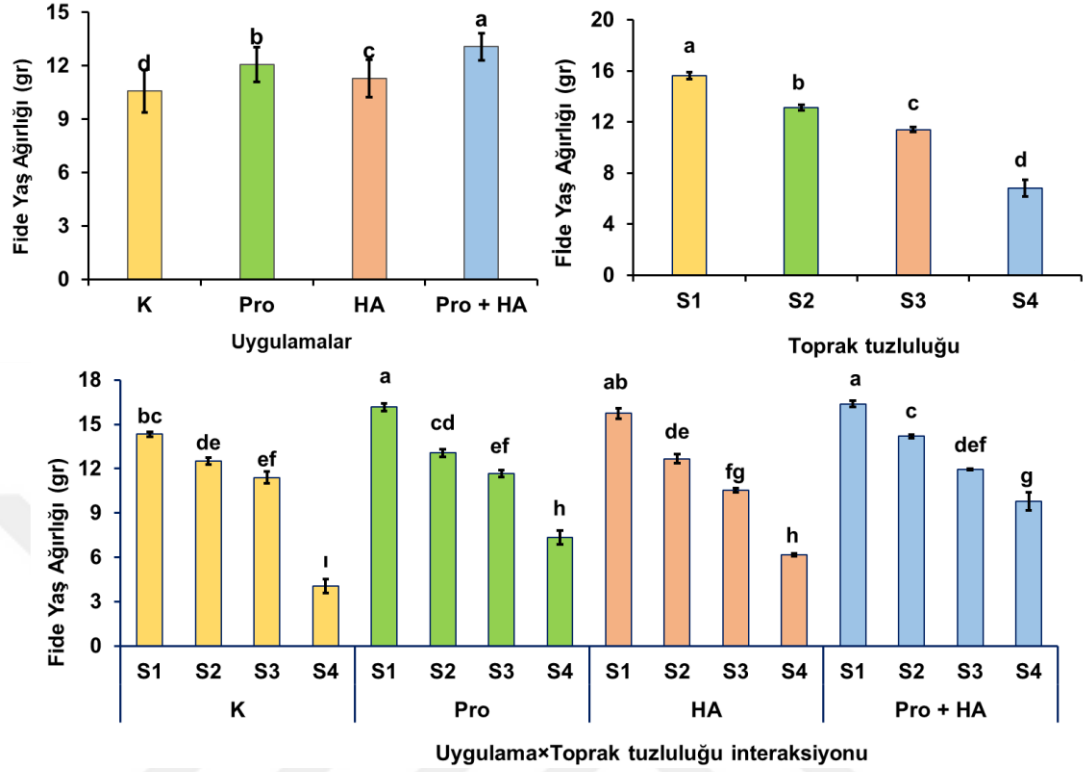
Tablo 4. 1 Fide yaş ağırlık değerlerini değerlendiren varyans analiz bulguları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	1.88	3.84	*
Toprak Tuz.	3	495.11	673.28	**
Uygulamalar	3	41.39	56.29	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	26.03	26.03	**
Hata	30	7.35		
Genel	47	571.77		

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Tuz stresi tarımsal ürün üretiminde su eksikliğine, iyon toksisitesine ve besin eksikliğine neden olarak büyüme ve verim düşüklüğüne ve hatta bitki ölümüne yol açar (Boamah vd., 2022; Ndiaye vd., 2022). Gelişimin önlenmesi, tuzluluk ve kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki en yaygın ve önemli etkilerinden biridir ve temel olarak biyokütle azalmasıyla kendini göstermektedir (Parida ve Das, 2005). Şekil 4.1’ de verilen fide yaş ağırlık değerlerini değerlendiren istatistiksel analiz bulgularına göre toprak tuzluluğu bakımından en fazla bitki yaş ağırlığı değeri S_1 konusunda (15.65 gr), en düşük değer ise S_4 konusundan (6.84 gr) elde edildiği belirtilmiştir. Uygulanan uygulamalar yönünden ise bitki yaş ağırlığı değerleri incelendiğinde sırasıyla Pro+HA (13.08 gr), Pro (12.07 gr), HA (11.29gr) ve K (10.58 gr) koşullarından elde edilmiştir. Toprak tuzluluğunun 0.28 dsm^{-1} ’ den 15.23 dSm^{-1} ’e artması sonucunda bitki yaş ağırlığı %56,27 oranında azalma olduğu, kontrol konusuna göre ise Pro+HA interaksiyonunun bitki yaş ağırlığında %19,13 oranı düzeyinde artış sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Toprak tuzluğu × uygulama interaksiyonuna göre bitki yaş ağırlığı değerleri incelendiğinde; en fazla bitki yaş ağırlığı değerleri sırasıyla (Pro+HA)× S_1 (16.37 gr), Pro× S_1 (16.16 gr) ve HA× S_1 (15,75 gr) konularında olduğu

görülmüş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. En az bitki yaş ağırlığı değeri ise 4.06 gr ile K×S₄ konusundan elde edilmiştir. (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin fide yaş ağırlığı üzerine etkileri

Yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde, Bilgili vd. (2018) yılında buğday fidelerinin yaş ağırlıklarını değerlendirdiği parametreler incelendiğinde; en yüksek fide yaş ağırlığı değeri 500.3 m ile Sagittario çeşidinin kontrol uygulamasından, en düşük fide yaş ağırlığı değeri ise 390.8 mg ile 8 nolu hattın kontrol uygulamasından elde edildiğini tespit etmişlerdir. Kontrol ve 160 mM'lık uygulamaları karşılaştırıldığında çeşitler/genotipler ortalaması olarak fide yaş ağırlığının azalma oranı %35.1 olduğu görülmüştür. Artan tuz dozları genotiplere göre değişmekle beraber fide yaş ağırlığı değerlerinde önemli azalmalara neden olduğunu rapor etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettiğimiz sonuçlar buğdayda tuz konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak fide yaş ağırlıklarının önemli düzeyde azaldığını bildiren Sayar vd. (2010) ve Atak (2014)'ün bulgularıyla uyum göstermektedir.

4.2. Fide Kuru Ağırlığı

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi bitki kuru ağırlığı üzerindeki etkilerini değerlendiren

varyans analizi sonuçları Tablo 4.2'de ve istatistiksel gruplandırmalar Tablo 4.3'de sunulmuştur. Yapılan varyans analizi değerlendirmesine göre, toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksyonu bitki kuru ağırlığı üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkilediği tespit edilmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4. 2Fide kuru ağırlık değerlerine ilişkin varyans analiz tablosu

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.01	0.49	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	52.83	2253.12	**
Uygulamalar	3	4.33	184.82	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	1.33	1.33	**
Hata	30	0.23		
Genel	47	58.74		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Tablo 4.3' de elde edilen istatistiksel gruplandırmalar incelendiğinde, toprak tuzluluğu bakımından en fazla bitki kuru ağırlığı değeri S_1 konusunda (4,42 gr), en düşük değer ise S_4 konusundan (1,47 gr) belirlenmiştir. Konular arasında oransal azalma miktarı incelendiğinde; toprak tuzluluğu S_1 ' den S_4 ' e kadar artması sonucunda bitki kuru ağırlığı %66.67 oranında azalma gerçekleşmiştir (Tablo 4.3). Yapılan uygulamalar bakımından bitki kuru ağırlığı değerleri incelendiğinde, elde edilen değerler istatistiksel olarak 3 farklı grupta yer almıştır. Buna göre en yüksek bitki kuru ağırlığı değerleri sırasıyla 3.19 gr ve 3.18 gr ile Pro ve Pro+HA konularından elde edilirken aralarında istatistiksel farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Toprak tuzluğu × uygulama interaksyonuna göre bitki kuru ağırlığı değerleri incelendiğinde; en fazla bitki kuru ağırlığı değerleri sırasıyla (Pro+HA)× S_1 (4.69 gr), Pro× S_1 (4.68 gr) ve HA× S_1 (4.61 gr) olduğu ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük bitki kuru ağırlığı ise K× S_4 (0.82 gr) konusundan elde edilmiştir. Toprak tuzluluğunun S_1 ' den S_4 ' e kadar artmasıyla bitki kuru ağırlığı değerleri; Kontrol konusunda 3.69 – 0.82 gr, Pro konusunda 4.68 – 2.03 gr, HA konusunda 4.61 – 1.39 gr ve Pro+HA konusunda ise 4.69- 1.66 gr arasında değişim göstermiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4. 3 Fide kuru ağırlık değerlerine ilişkin istatistiksel analiz tablosu

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hüyük Asit (HA)	Pro + HA	Ort.
S_1	3.69 b	4.68 a	4.61 a	4.69 a	4.42 a
S_2	2.83 d	3.13 c	3.04 cd	3.55 b	3.14 b

S₃	2.47 e	2.93 cd	2.85 d	2.83 d	2.77 c
S₄	0.82 ı	2.03 f	1.39 h	1.66 g	1.47 d
Ort.	2.45 c	3.19 a	2.97 b	3.18 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

Çeşitli araştırmacılar ekzojen prolin uygulamasının Huang vd. (2009), Agami (2004), Teh vd. (2016), Wu vd. (2017), de Freitas vd. (2018) tuzluluğun birçok bitki türünün büyümesi ve verimi üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmede etkili olduğunu bildirmiştir. Guo vd. (2022) ve Dehnavi vd. (2022) tarafından yapılan önceki çalışmalar, toprak tuzluluğunun sorgumun taze ve kuru ağırlığını olumsuz etkilediğini göstermiştir.

4.3. Gövde Çapı

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi gövde çapı üzerine etkilerinin varyans analiz ve istatistiksel gruplandırmalar sırasıyla Tablo 4.4’de ve Tablo 4.5’te verilmiştir. Varyans tablosu incelendiğinde; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve ikili interaksiyonunun gövde çapı üzerine $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkilediği belirlenmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4. 4. Gövde çapı değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.05	2.8	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	24.95	874.79	**
Uygulamalar	3	5.85	205.28	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	5.18	5.18	**
Hata	30	0.29		
Genel	47	36.32		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Tablo 4.5 incelediğinde; toprak tuzluluğu koşullarında en kalın gövde çapı değeri 3.55 mm ile S₁ konusunda, en düşük değer ise 1.73 mm ile S₄ konusundan elde edilmiştir. Uygulamalara göre gövde çapı değeri incelendiğinde, en kalın gövde çapı 2.82 mm ile HA uygulamasında, en düşük değer ise 1.90 mm ile Pro+HA uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.5). İnteraksiyona göre ise, en kalın gövde çapı 4.66 mm ile HA uygulamasında elde edilirken, en düşük değerler ise sırasıyla 1.59 mm, 1.58 mm ve 1.51 mm değerleri ile Pro×S₄, K×S₄ ve (Pro+HA)×S₄ uygulamalarından elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu değerler doğrultusunda gövde çapı değerleri S₁ konusundan S₄ konusuna doğru %51,27 oranında azalış göstermiştir.

Yapılan hümik asit uygulaması ise kontrol uygulamasına kıyasla gövde çapı değerlerini %25,18 oranında artırmıştır (Tablo 4.5).

Tablo 4. 5. Gövde çapı değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümik Asit (HA)	Pro + HA	
S ₁	3.00 c	4.12 b	4.66 a	2.43 d	3.55 a
S ₂	2.09 fg	2.27 de	2.16 ef	1.93 gh	2.11 b
S ₃	1.76 ij	1.91 hı	2.19 ef	1.75 jk	1.9 c
S ₄	1.58 l	1.59 kl	2.25 e	1.51 l	1.73 d
Ort.	2.11 c	2.47 b	2.82 a	1.9 d	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

4.4. Fide Boy Uzunluğu

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi boy uzunluğu üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analizi sonuçları Tablo 4.6'da yer almaktadır. Varyans analizi tablosu incelendiğinde; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve ikili interaksyonun fide boy uzunluğu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve bu etkilerin $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.6).

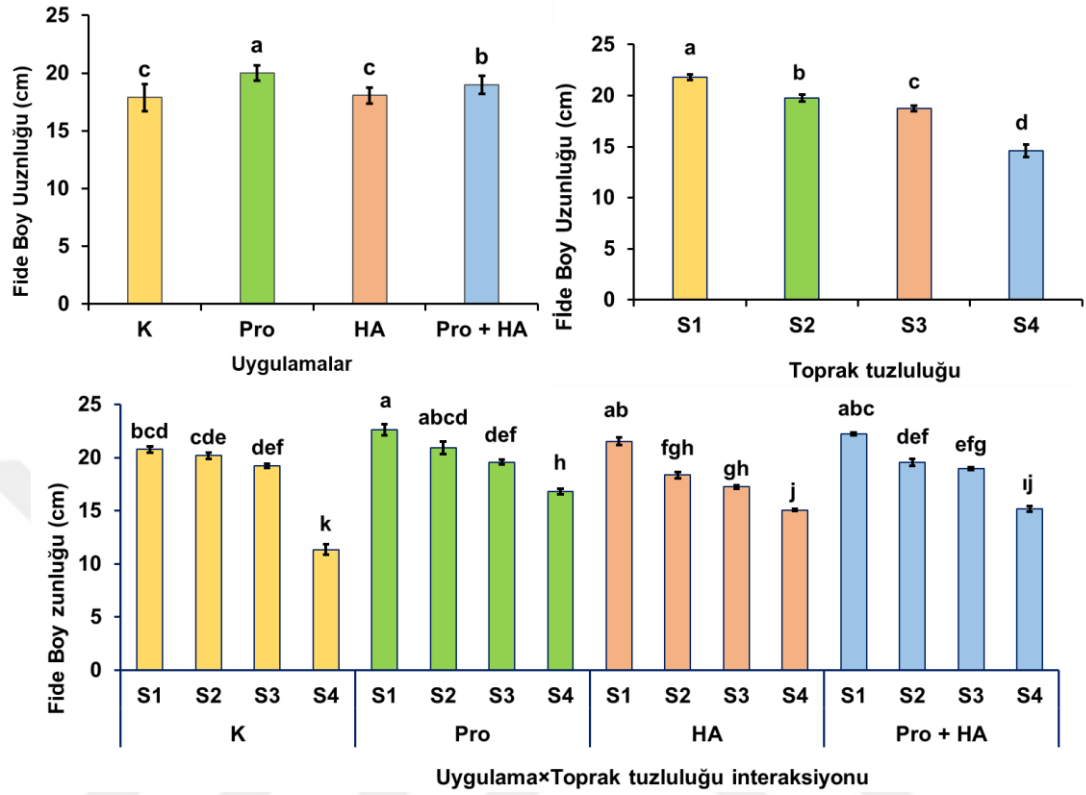
Tablo 4. 6. Fide boyu ölçümleri ile ilgili varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.52	0.81	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	329.6	339.25	**
Uygulamalar	3	33.76	34.75	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	40.71	40.71	**
Hata	30	9.72		
Genel	47	414.31		

**: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Diğer birçok abiyotik stres gibi, tuz stresi de bitki büyümesini baskılar ve büyümedeki azalmanın hızı, bitki türü, gelişim aşaması ve tuz konsantrasyonu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Yadav vd., 2019). Artan toprak tuzluluğu koşullarının buğday fidelerinin boy uzunluklarını olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.2). En yüksek boy uzunluğu 21.79 cm ile S₁ konusunda elde edilirken, en kısa boy uzunluğu 14.6 cm ile S₄ konusundan elde edilmiştir. Uygulamalara göre ise buğday fide boy uzunlukları incelendiğinde, en yüksek boy uzunluğu 19.99 cm ile Pro uygulamasından elde edilirken, en düşük boy uzunlukları sırasıyla 18.05 cm ve 17.89

cm ile HA ve K uygulamalarından elde edilirken istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksiyonlarının buğday fidesinin fide boy uzunluğu üzerine etkileri

Başka araştırmacıların buğday fidesinin fide boyunu belirlemek için yaptıkları çalışmalar incelendiğinde; Bilgili vd. (2018)' da laboratuvar koşullarında yaptıkları çalışmada en yüksek fide boyunu 22.4 cm, 22 cm, 21,8 cm olarak sırasıyla Sagoittoria, 1 nolu hat ve 20 nolu genotiplerden, en kısa ise 17.9 cm ile Karatopak çeşidinden tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, bu azalış oranını genotipler ortalaması olarak kontrol ve 160 mM'lik uygulamalarla karşılaştırdıklarında %26 olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonuçlarımız; Gupta ve Srivastava, (1989), Pessarakli vd. (1991), Van Hoorn (1991), Şenay vd. (1987) ve Atak (2014)'ün buğdayda tuz dozlarının artmasına bağlı olarak fide boylarının azaldığını belirleyen çalışma sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur.

4.5. Kök Yaş Ağırlığı

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında uygulanan hümitik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi kök yaş ağırlığı üzerindeki etkilerinin varyans analizi sonuçları ve istatistiksel gruplandırmaları sırasıyla Tablo 4.7'de ve Tablo 4.8'de sunulmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve

toprak tuzluğu × uygulama interaksyonu, kök yaş ağırlığı üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4. 7. Kök yaş ağırlığı ile ilgili varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	1.12	1.98	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	1225.29	1446.33	**
Uygulamalar	3	78.93	93.16	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	92.32	92.32	**
Hata	30	8.47		
Genel	47	1406.12		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Tablo 4.8’ da incelendiğinde toprak tuzluluğu arttıkça kök yaş ağırlığı negatif yönde etkilenmiş olup en fazla kök yaş ağırlığı S_1 konusunda (15.72 gr), en düşük değer ise S_4 konusundan (3.02gr) belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde 0.28 dSm^{-1} üzerindeki toprak tuzluluğu kök yaş ağırlık değerlerini önemli düzeyde düşürdüğü belirlenmiştir. Uygulama konuları bakımından kök yaş ağırlığı değerleri incelendiğinde, elde edilen değerler istatistiksel olarak 3 farklı grupta yer almıştır. Buna göre en yüksek kök yaş ağırlığı Pro+HA (9.94 gr) ile Pro (9.91 gr) uygulamalarından, en düşük kök yaş ağırlığı ise K (6,86 gr) uygulamasından elde edilmiştir. İkili interaksyona göre kök yaş ağırlığı değerlerinde en yüksek değer (Pro+HA)× S_1 (19.92 gr) interaksyonunda; en düşük değerler ise sırasıyla (Pro+HA)× S_4 (2.57 gr), HA× S_4 (2.07 gr) ve K× S_4 (1.74 gr) konularından elde edilmiştir (Tablo 4.8).

Tablo 4. 8. Kök yaş ağırlığı ile ilgili istatistiksel analiz sonuçları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hüyük Asit (HA)	Pro + HA	
S_1	12.14 d	14.40 c	16.43 b	19.92 a	15.72 a
S_2	9.80 e	12.27 d	10.11 e	12.87 cd	11.26 b
S_3	3.76 hı	7.27 f	4.43 gh	4.40 gh	4.96 c
S_4	1.74 j	5.71 fg	2.07 j	2.57 ij	3.02 d
Ort.	6.86 c	9.91 a	8.26 b	9.94 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

Tunçtürk vd. (2020) tarafından optimum şartlar altında yaptıkları çalışmada bakla bitkisinin en yüksek kök yaş ağırlık değerini 5.43 g ile 50 mM tuz x 200 ppm

HA uygulamasından, en düşük değeri ise 2.48 g ile 150 mM x 100 ppm dozlarından elde etmişlerdir. Benzer bir araştırmada 100 mM NaCl uygulamasının arpada (*Hordeum vulgare* L.) kök yaş ağırlığını azalttığı ancak hümitik asit ile muamelenin bunu tersine çevirdiğini ifade etmişlerdir (Jarosova vd., 2016).

4.6. Kök Kuru Ağırlığı

Farklı toprak tuzluluğu koşulları altında yetiştirilen buğday fidelerine uygulanan hümitik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi kök kuru ağırlığı üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analizi sonuçları Tablo 4.9'da ve istatistiksel gruplandırmalar Tablo 4.10'da sunulmuştur. Yapılan varyans analizi değerlendirmesine göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksyonu, kök kuru ağırlığı üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4. 9. Kök kuru ağırlık değerlerine yönelik varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.04	1.86	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	32.22	984.13	**
Uygulamalar	3	0.6	18.32	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	0.93	0.93	**
Hata	30	0.33		
Genel	47	34.12		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Artan toprak tuzluluğu koşullarının buğday fidelerinin kök kuru ağırlıklarını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir (Tablo 4.10). Kök kuru ağırlık değerlerine yönelik istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde toprak tuzluluğuna göre en yüksek kök kuru ağırlığı 2.60 gr değeri ile S_1 konusundan elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlık değerleri sırasıyla 1.87 gr, 0.97 gr ve 0.47 gr olmak üzere S_2 , S_3 ve S_4 konularından elde edilmiştir. Buna göre toprak tuzluluğu 0.28 dSm^{-1} den 15.23 dSm^{-1} e artıkça kök kuru ağırlığı %81,92 oranından olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Uygulanan uygulamalar yönünden incelendiğinde ise konular arasında istatistiksel olarak, 2 farklı grup ortaya çıkmıştır. İstatistiksel olarak; sırasıyla 1.62 gr ve 1.55 gr ile Pro ve Pro×HA uygulamaları ilk grupta yer alırken, sırasıyla 1.37 gr ve 1.36 gr ile K ve HA uygulamaları son grupta yer almıştır. Toprak tuzluğu × uygulama interaksyonuna göre kök kuru ağırlığı değerlerinde en yüksek kök kuru ağırlıkları sırasıyla 2.95 gr ve 2.77 gr olmak üzere (Pro+HA)× S_1 ve Pro× S_1 konularında

gözlemlenmiş, aralarında istatistiksel farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4. 10. Kök kuru ağırlık değerlerine yönelik istatistiksel analiz sonuçları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümkik Asit (HA)	Pro + HA	
S ₁	2.28 b	2.77 a	2.40 b	2.95 a	2.6 a
S ₂	1.84 c	1.82 c	1.86 c	1.96 c	1.87 b
S ₃	1.06 de	1.14 d	0.77 e	0.91 de	0.97 c
S ₄	0.31 f	0.77 e	0.42 f	0.37 f	0.47 d
Ort.	1.37 b	1.62 a	1.36 b	1.55 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

Altuner vd. (2021) laboratuvarında yaptıkları deneylerde, arpa kök kuru ağırlıklarının 0.072-0.201 mg arasında değişim gösterdiğini, en yüksek ve en düşük kök kuru ağırlığı sırasıyla Ç1-100 mM NaCl ve Ç1-200 ile Ç2-200 mM NaCl interaksiyonlarından elde etmişlerdir. Artan NaCl konsantrasyonlarının kök kuru ve gövde kuru ağırlıklarını olumsuz yönde etkilediği Benlioğlu ve Özkan (2015), Singh ve Jakar (2018), Fardus vd. (2018), Ali vd. (2012), Öner vd. (2018), Zadeh vd. (2015) ve Tunçtürk vd. (2019) tarafından da tespit edilmiştir.

4.7. Yaprak Sıcaklığı

Toprak tuzluluğu değişkenlerine bağlı olarak gerçekleştirilen hümkik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi yaprak sıcaklığı üzerindeki etkilerine dair varyans analizi sonuçları Tablo 4.11'de, ayrıca istatistiksel gruplandırmalar ise Tablo 4.12'da sunulmuştur. Yapılan varyans analizi değerlendirmesine göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluluğu × uygulama interaksiyonunun, yaprak sıcaklığı üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır (Tablo 4.11).

Tablo 4. 11. Yaprak sıcaklığı değerlerine yönelik varyans analiz bulguları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.91	2.49	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	46.89	85.85	**
Uygulamalar	3	62.99	115.34	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	7.79	7.79	**
Hata	30	5.46		
Genel	47	124.04		

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Bitkiler hücrelerindeki tuz konsantrasyonunu ve su kaybını kontrol etmek için stomalar aracılığıyla su buharı kaybederler (Flowers ve Colmer, 2008). Ancak yüksek tuzluluk stresi altında, stomaların kapanması veya sınırlı açılması, bitkinin su kaybını azaltırken, aynı zamanda gaz alışverişini engelleyerek, fotosentez ve diğer temel metabolik süreçler için gereken gaz alışverişini sınırlamaktadır (Chaves vd., 2009). Stoma kapanması veya sınırlı açılması transpirasyonun azalmasına ve dolayısıyla yaprak sıcaklığının artmasına neden olarak bitki dokularında hasara neden olmaktadır (Flexas vd., 2004). Tablo 4.12 incelendiğinde, toprak tuzluluğu ile yaprak sıcaklığı değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, toprak tuzluluğu arttıkça buğday fidelerinin yaprak sıcaklık değerleri artmıştır. Analiz sonucuna göre; en yüksek yaprak sıcaklığı 23.83 °C ile S₄ konusundan, en düşük yaprak sıcaklığı ise 21.16 °C ile S₁ konusundan elde edilmiştir. Bu değerler doğrultusunda yaprak sıcaklığı S₁ konusundan S₄ konusuna doğru %12,63 oranında artış göstermiştir. Toprak tuzluluğunun S₁' den S₄' e kadar artmasıyla yaprak sıcaklığı değerleri; Kontrol koşullarında 22.93 – 25.5 °C, Pro koşullarında 20.42 – 21.58 °C, HA koşullarında 21.24 – 24.6 °C ve Pro+HA interaksiyonunda ise 20.04 – 23.65 °C aralığında değişim göstermiştir.

Bu değerler doğrultusunda yapılan uygulamaların Kontrol grubuna kıyasla yaprak sıcaklığını sırasıyla %5, %9,88 ve %12,63 oranlarında azaltarak olumlu etki göstermiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4. 12. Yaprak sıcaklığı değerlerine yönelik istatistiksel analiz bulguları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümkik Asit (HA)	Pro + HA	
S ₁	22.93 cd	20.42 gh	21.24 fgh	20.04 h	21.16 d
S ₂	23.66 bc	20.82 gh	22.14 def	20.59 gh	21.8 c
S ₃	23.88 bc	21.02 fgh	22.63 cde	22.18 def	22.43 b
S ₄	25.50 a	21.58 efg	24.60 ab	23.65 bc	23.83 a
Ort.	23.99 a	20.96 d	22.66 b	21.62 c	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

4.8. Kardeşlenme Sayısı

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında hümkik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidelerinin kardeş sayısı değerleri üzerine etkilerinin varyans analizi ve

istatistiksel gruplandırmaları sırasıyla Tablo 4.13 ve Tablo 4.14’de verilmiştir. Tablo 4.13’ de varyans analiz sonuçları incelendiğinde; toprak tuzluluğu ve uygulamalar kardeş sayısına istatistiksel olarak $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etki ettiği tespit edilmiştir.

Tablo 4. 13. Kardeşlenme sayısı değerlerine dair elde edilen varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.67	3.09	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	40.06	122.45	**
Uygulamalar	3	6.05	18.51	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	2.63	2.63	*
Hata	30	3.27		
Genel	47	52.69		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Tablo 4.14’de istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde ise toprak tuzluluğu 0.28 dSm^{-1} ‘den 15.23 dSm^{-1} ‘e doğru arttıkça kardeş sayısında azalma olduğu tespit edilmiştir. En fazla kardeş sayısı 6.03 adet ile S_1 konusundan, en düşük kardeş sayısı ise 3.53 adet ile S_4 konusundan elde edilmiştir. Ancak Pro, HA ve Pro+HA uygulamalarına ait kardeş sayısı değerleri arasında istatistiksel farklılık bulunmamıştır. Toprak tuzluluğu × uygulama interaksyonu bakımından kardeş sayısı değerleri incelendiğinde; en yüksek kardeş sayısı sırasıyla $HA \times S_1$ (6.5 adet), $(Pro+HA) \times S_1$ (6.22 adet), $Pro \times S_1$ (6.19 adet) ve $Pro \times S_2$ (6.05 adet) konularından elde edilmiş aralarında istatistiksel farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. En düşük kardeş sayısı ise 3.22 adet ile $K \times S_4$ konusundan elde edilmiştir (Tablo 4.14).

Tablo 4. 14. Kardeşlenme sayısı değerlerine dair elde edilen istatistiksel analiz sonuçları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümkik Asit (HA)	Pro + HA	
S_1	5.21 bcd	6.19 ab	6.50 a	6.22 a	6.03 a
S_2	4.52 defg	4.95 de	6.05 abc	5.14 cd	5.17 b
S_3	4.00 efgh ₁	4.45 defgh	4.71 def	4.95 de	4.53 c
S_4	3.22 ₁	3.86 fgh ₁	3.57 gh ₁	3.47 h ₁	3.53 d
Ort.	4.24 b	4.86 a	5.21 a	4.95 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

4.9. Membran Dayanıklılık İndeksi

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında yetiştirilen buğday fidelerine uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının MDİ değerleri üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analiz sonuçları Tablo 4.15'te, ilgili istatistiksel gruplandırmalar ise Tablo 4.16'da sunulmuştur. Yapılan varyans analizi değerlendirmesine göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksyonu, MDİ üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.15).

Tablo 4. 15. MDI değerlerini değerlendiren varyans analiz bulguları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	1.87	1.44	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	298.18	153.09	**
Uygulamalar	3	157.52	80.88	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	95.6	95.6	**
Hata	30	19.48		
Genel	47	572.66		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Tuz gibi abiyotik streslerinin neden olduğu gelişim gerilemeleri; besin elementi dengesizliği, fotosentezle ilişkili pigmentler, proteinlerin baskılanması veya bozulması, enzimlerin inaktivasyonu veya aktivitelerindeki değişimler, sekonder metabolizmadaki düzensizlikler gibi stres kaynaklı olumsuz etkilerle ilişkili olabilmektedir (Abdul Qados, 2011). Tablo 4.16 incelendiğinde, toprak tuzluluğundaki artış MDİ değerlerinin azalmasını etkilediği tespit edilmiştir. Buna göre S₁ konusundan S₄ konusuna doğru MDİ değerleri %7,24 oranında azalma göstermiştir. Toprak tuzluluğu 0.28 dSm⁻¹ olan S₁ konusunda %93,99 oranında MDİ değeri ile en yüksek değer elde edilirken, S₂, S₃ ve S₄ konularında sırasıyla %92,1, %90,7 ve %87,18 oranları elde edilmiştir. S₁ konusuna kıyasla S₂ konusu %2,01, S₃ konusu %3,46 ve S₄ konusu %7,24 oranında azalış göstermiştir. Yapılan uygulamaların MDİ oranlarına etkisi irdelendiğinde ise istatistiksel gruplandırmaya göre 2 farklı grup oluşmuş ve buna göre en fazla MDİ değeri Pro (%92.98) ve Pro+HA (%92.58) interaksyonundan elde edilmiştir. HA ve K uygulamalarında ise istatistiksel anlamda farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Toprak tuzluğu × uygulama interaksyonuna göre; en yüksek değerler sırasıyla %95.61, %94.03, %93.45 ve %93.3 ile Pro×S₁, (Pro+HA)×S₁, K×S₁ ve Pro×S₂ konularından elde edilmiştir. En düşük değer ise K×S₄ konusundan (%81.43) elde edilmiştir (Tablo 4.16).

Tablo 4. 16. MDI değerlerini değerlendiren istatistiksel analiz bulguları

Uygulamalar

Toprak tuzluluğu	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümik Asit (HA)	Pro + HA	Ort.
S₁	93.45 abc	95.61 a	92.87 bcde	94.03 ab	93.99 a
S₂	90.89 def	93.30 abcd	91.44 cdef	92.77 bcde	92.1 b
S₃	89.38 f	92.23 bcde	89.19 f	92.15 bcde	90.74 c
S₄	81.43 h	90.77 ef	85.12 g	91.39 cdef	87.18 d
Ort.	88.79 b	92.98 a	89.66 b	92.58 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

Tunçtürk vd. (2020) iklim dolabında yetiştirdikleri bakla bitkisine tuz stresi altında hümik asit uygulamalarının yaprak dokularındaki membran dayanıklılık indeksi üzerine elde ettikleri sonuçlar incelendiğinde; En yüksek değeri %75.6 ile 100 ppm ve 0 mM tuz uygulamalarından tespit etmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada tuz ve kuraklık gibi stres altında humik asit ve silikon uygulamalarının bitki hücrelerini koruyarak membran dayanıklılık indeksini artırdığını bildirmişlerdir (Desoky vd., 2018; Korkmaz, 2018).

4.10. Klorofil İçeriği

Toprak tuzluluğu değişkenlerine bağlı olarak gerçekleştirilen hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidelerinde yapılan SPAD ölçümleri sonucunda elde edilen değerlere olan etkilerine dair varyans analizi sonuçları Tablo 4.17'de, sunulmuştur. Yapılan varyans analizi değerlendirmesine göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluluğu × uygulama etkileşimi, yaprak sıcaklığı üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır (Tablo 4.17).

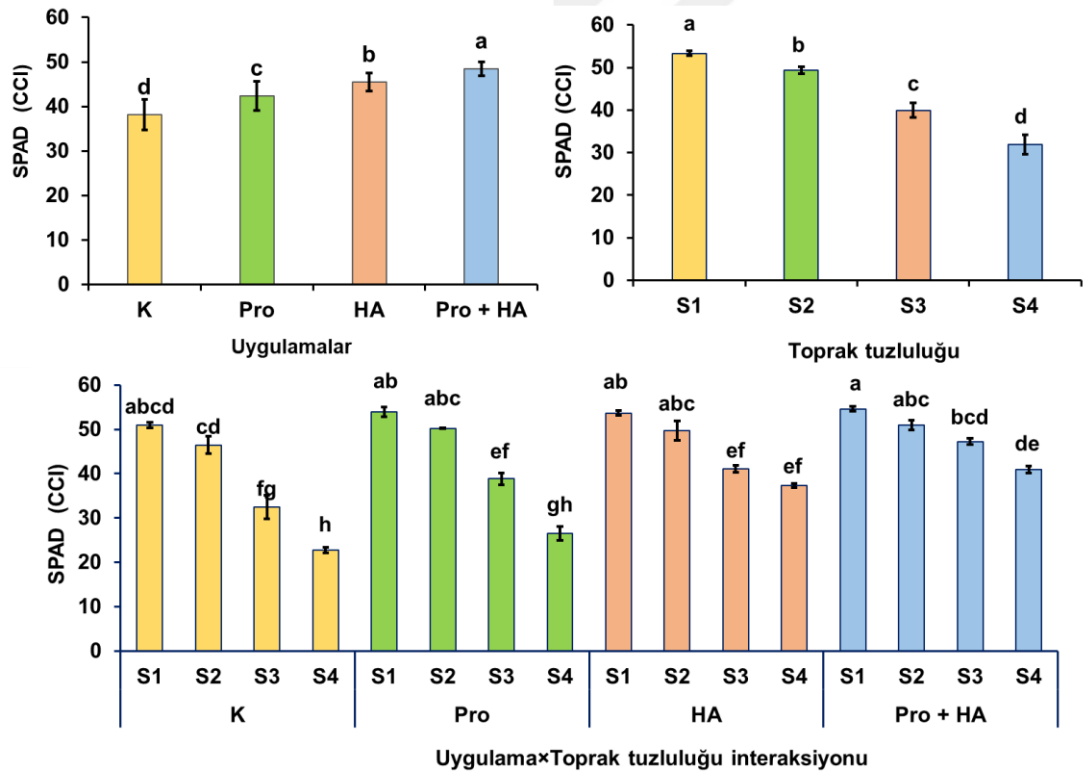
Tablo 4. 17. SPAD ölçümlerine dair elde edilen varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	1.21	0.12	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	3340.64	215.23	**
Uygulamalar	3	697.67	44.95	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	372.3	372.3	**
Hata	30	155.21		
Genel	47	4567.03		

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Şekil 4.3' de verilen SPAD ölçümlerine dair elde edilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre toprak tuzluluğu bakımından SPAD ölçüm değerleri en yüksek S₁ konusundan (53.31 CCI), en düşük değer ise S₄ konusundan (31,87 CCI) elde edilmiştir. Uygulanan uygulamalar yönünden ise SPAD ölçüm değerleri

incelendiğinde en yüksek değerler sırasıyla Pro+HA (48,17 CCI), HA (45,45 CCI), Pro (42,38 CCI) ve K (38,16 CCI) konularından tespit edilmiştir. Toprak tuzluluğunun 0.28 dSm^{-1} ’ den 15.23 dSm^{-1} ’e artması sonucunda SPAD ölçüm değerleri %40,52 oranında azalma olduğu, kontrol konusuna göre ise Pro+HA etkileşimi SPAD ölçümlerinde %27 oranında artış sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.3). Toprak tuzluğu $\times$ uygulamalar arasındaki etkileşimlere yönelik SPAD ölçüm değerleri incelendiğinde, 4.17 dSm^{-1} toprak tuzluluğuna sahip ortamlarda yapılan uygulamaların buğday fidelerinin SPAD değerlerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu bağlamda, sırasıyla (Pro+HA) $\times$ S₁, Pro $\times$ S₁, HA $\times$ S₁, K $\times$ S₁, (Pro+HA) $\times$ S₂, Pro $\times$ S₂ ve HA $\times$ S₂ uygulamaları aynı istatistiksel grupta yer alarak en yüksek SPAD ölçüm değerlerine sahip olmuştur. Öte yandan, en düşük SPAD ölçüm değerleri 22,7 CCI ile K $\times$ S₄ konusundan elde edilmiş olup, onu Pro $\times$ S₄ konusu 26.51 CCI değeri ile takip etmiş ve bu değerler aynı istatistiksel grupta yer almıştır (Tablo 20).



Şekil 4. 3. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin SPAD ölçümleri üzerine etkileri

Başka araştırmacıların yaptıkları SPAD ölçümleri sonucunda elde ettikleri değerler incelendiğinde; Tunçtürk (2020) yılında laboratuvar şartlarında tuz stresi altında hümitik asit uygulamalarının SPAD değerlerine etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda en yüksek klorofil oranını $52.8 \text{ ile } 50 \text{ mM} \times 200 \text{ ppm}$, en düşük

değeri ise 45.4 ile 150 mM ve 0 ppm HA uygulamalarından elde etmişlerdir. Meganid vd. (2015) tarafından yürütülen çalışmada tuz stresi altında yetiştirmiş olduğu fasulye bitkisine humik asit uygulamasının klorofil içeriğini artırdığını tespit etmişlerdir.

4.11. Stoma İletkenliği

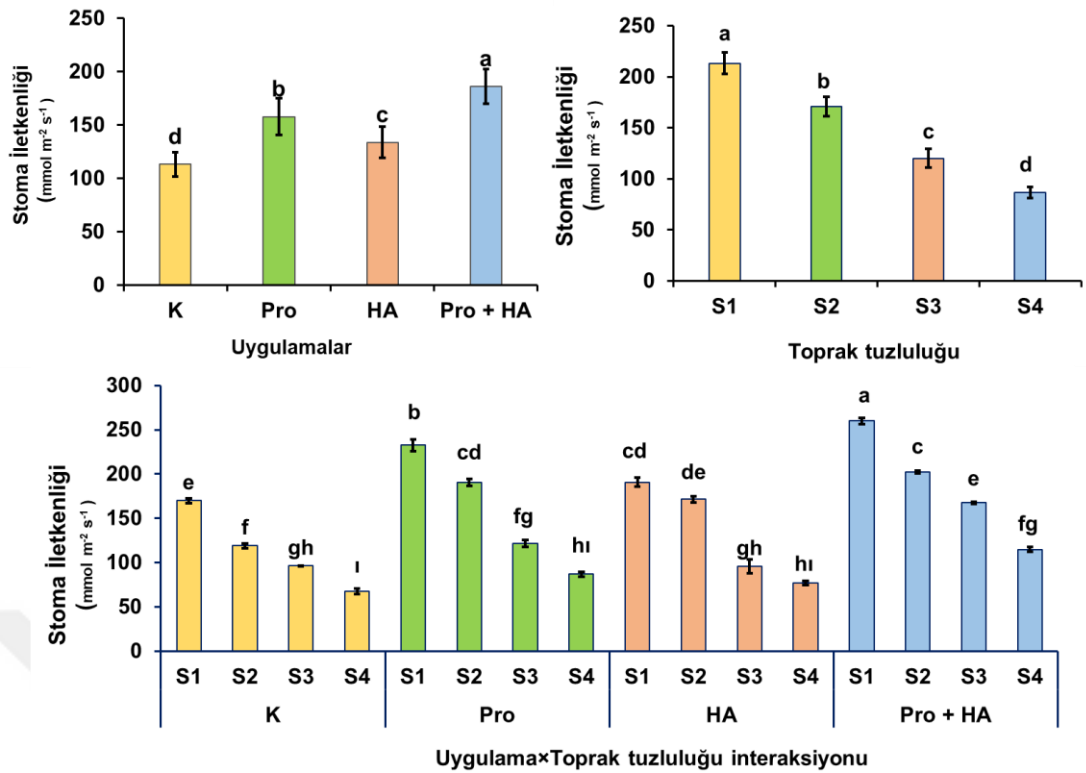
Farklı toprak tuzluluğu koşullarında hümitik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi stoma iletkenliği üzerine etkilerini değerlendiren varyans analizi ve istatistiksel analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.18’ de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluluğu $\times$ uygulama etkileşimi stoma iletkenliği üzerine $p < 0.01$ düzeyinde etkili olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.18).

Tablo 4. 18. Stoma iletkenliği üzerine yapılan ölçümlerin varyans analizi tablosu

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	28.16	0.31	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	112188.87	825.42	**
Uygulamalar	3	35638.15	262.2	**
Toprak Tuz. $\times$ Uyg. İnt.	9	5406.52	5406.52	**
Hata	30	1359.18		
Genel	47	154620.88		

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Stoma iletkenliği üzerine yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin istatistiksel analiz tablosu incelendiğinde toprak tuzluluğu düzeylerine göre en yüksek stoma iletkenliği değeri $213.39 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ile S1 konusunda, en düşük değer ise $86.51 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ile S4 konusundan tespit edilmiştir. Buna göre toprak tuzluluğu 0.28 dsm^{-1} ‘den 15.23 dsm^{-1} ’e doğru yükseldikçe stoma iletkenliği değeri %59.44 oranında azalmıştır. Uygulamalara göre stoma iletkenliği değerleri incelendiğinde sırasıyla Pro+HA, Pro, HA ve K konularında stoma iletkenliği değerleri sırasıyla 186.22, 157.88, 133.76 ve $113.23 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ elde edilmiştir (Şekil 4.4). Toprak tuzluluğu $\times$ uygulama interaksiyonuna göre stoma iletkenliği değerleri incelendiğinde; en yüksek stoma iletkenliği değeri $260.16 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ değeri ile (Pro+HA) $\times$ S₁ konusundan, en düşük değer ise $67.64 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ile K $\times$ S₄ konusundan elde edilmiştir.



Şekil 4. 4. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin stoma iletkenliği üzerine etkileri

Stoma iletkenliği ve klorofil içeriği bitki enerji asimilasyonunda önemli rol oynar ve stres koşulları bu seviyeleri güçlü bir şekilde etkiler (Xu vd., 2015). Guimarães vd. (2020), tuza duyarlı sorgum bitkilerinin terlemesinin, kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında tuz stresi altında %70'e kadar azaldığını bildirmiştir. İbrahim vd. (2020), sorgumun stoma iletkenliğinin toprak tuzluluğunun artmasıyla önemli ölçüde azaldığını bulmuştur. Önceki çalışmalar, tuz stresinin hücreler arası CO₂ konsantrasyonunu inhibe ettiğini ve dolayısıyla stomaları kapatarak fotosentez oranını azalttığını göstermiştir (Nigam vd., 2022; Rajabi Dehnavi vd., 2019; Sezer vd., 2021). Bitki büyüme düzenleyicileri, tuz stresinin stoma iletkenliği, klorofil konsantrasyonu ve fotosentetik pigmentler üzerindeki zararlı etkilerini azaltarak bitkileri korur ve böylece fotosentetik potansiyellerini artırır (Johnson ve Puthur, 2021).

4.12. Klorofil a İçeriği

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidelerinin klorofil a içeriği üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analizi sonuçları Tablo 4.19'da, istatistiksel gruplandırmalar ise Tablo 4.20'de yer almaktadır. Varyans analizi tablosu incelendiğinde; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksyonu klorofil a içeriği

üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve bu etkilerin $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.19).

Tablo 4. 19. Klorofil a içeriğine yönelik varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.01	2.44	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	10.06	1249.87	**
Uygulamalar	3	1.13	140.09	**
Toprak Tuz. $\times$ Uyg. İnt.	9	0.37	0.37	**
Hata	30	0.08		
Genel	47	11.65		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Abiyotik stres etmenleri, birçok bitkide organellerin mikroskobik yapısı ve pigment konsantrasyonunda değişikliklere yol açarak, fotosentez sürecini önemli derecede etkilemektedir (Ashraf ve Harris, 2013). Bu nedenle fotosentezle ilişkili pigmentlerin birikimi ve foto sistemlerin verimliliği, bitkilerde stres toleransının göstergelerinden biri olarak kullanılabilir (Ashraf vd., 2007). Toprak tuzluluğundaki artış klorofil a içeriğini belli bir düzeye kadar düşürmüştür. En yüksek klorofil a değeri 2.79 mg g^{-1} ile S_1 konusunda, en düşük klorofil a 1.64 mg g^{-1} değeri ile S_4 konusundan elde edilmiştir. En yüksek klorofil a içeriğine sahip olan S_1 konusu ile kıyaslandığında, toprak tuzluluğu S_2 , S_3 ve S_4 konularında klorofil a içeriği sırasıyla %6.06, %26.52 ve %41.15 oranında azalmıştır (Tablo 4.20). Uygulamaların klorofil a içeriğine etkisi incelendiğinde ise istatistiksel olarak 3 farklı grup oluşurken, en yüksek klorofil a içeriği Pro+HA (2.46 mg g^{-1}) konusundan elde edilmiştir. Toprak tuzluluğu $\times$ uygulama interaksyonuna göre klorofil a içeriğine ait değerler incelendiğinde; en yüksek klorofil a değeri 3.00 mg g^{-1} değeri ile (Pro+HA) $\times S_1$ konusundan, en düşük değer ise 1.33 mg g^{-1} ile K $\times S_4$ konusundan elde edilmiştir (Tablo 4.20).

Tablo 4. 20. Klorofil a içeriğine yönelik istatistiksel analiz sonuçları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümkik Asit (HA)	Pro + HA	
S_1	2.73 b	2.76 b	2.68 bc	3.00 a	2.79 a
S_2	2.54 cd	2.66 bc	2.49 de	2.80 b	2.62 b
S_3	1.84 g	2.36 e	1.82 g	2.20 f	2.05 c
S_4	1.33 ı	1.81 g	1.58 h	1.84 g	1.64 d
Ort.	2.11 c	2.4 b	2.14 c	2.46 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

4.13. Klorofil b İçeriği

Farklı toprak tuzluluğu düzeylerinde hümitik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidelerinin klorofil b içeriği üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 4.21'de, istatistiksel gruplandırmalar ise Tablo 4.22'de yer almaktadır. Varyans analizi tablosuna göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluluğu $\times$ uygulama interaksyonu klorofil b içeriği üzerinde belirgin bir etkisi olduğu ve bu etkilerin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.21).

Tablo 4. 21. Klorofil b içeriğine dair elde edilen varyans analiz bulguları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.01	0.7	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	8.89	558.3	**
Uygulamalar	3	0.95	59.66	**
Toprak Tuz. $\times$ Uyg. İnt.	9	0.21	0.21	**
Hata	30	0.16		
Genel	47	10.22		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Artan toprak tuzluluğu düzeyleri klorofil b içeriğine olan etkilerini belirten istatistiksel analiz tablosu incelendiğinde en yüksek değerin 2.80 mg g^{-1} ile S_1 konusundan, en düşük değerin ise 1.73 mg g^{-1} ile S_4 konusundan elde edilmiştir. Toprak tuzluluğu düzeyleri artıkça klorofil b içeriği %38.21 oranında azalmıştır. Uygulamaların klorofil b içeriğine etkisi incelendiğinde ise istatistiksel olarak 3 farklı grup oluşurken, en yüksek klorofil b içeriği Pro+HA (2.47 mg g^{-1}) konusundan elde edilmiştir (Tablo 4.22). Toprak tuzluluğu $\times$ uygulama interaksyonuna göre klorofil b içeriğine ait değerler incelendiğinde; en yüksek klorofil b değerleri (Pro+HA) $\times S_1$ (3.00 mg g^{-1}) ve (Pro+HA) $\times S_2$ (2.8 mg g^{-1}) konularından elde edilirken aralarında istatistiksel farklılığında olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.22).

Tablo 4. 22. Klorofil b içeriğine dair elde edilen istatistiksel analiz bulguları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümitik Asit (HA)	Pro + HA	Ort.
S_1	2.73 b	2.78 ab	2.68 bc	3.00 a	2.8 a
S_2	2.44 de	2.64 bcd	2.50 cd	2.80 ab	2.6 b
S_3	1.81 g	2.23 ef	1.84 g	2.16 f	2.01 c

S₄	1.46 h	1.80 g	1.74 g	1.92 g	1.73 d
Ort.	2.11 c	2.36 b	2.19 c	2.47 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

4.14. Toplam Klorofil İçeriği

Farklı toprak tuzluluğu seviyelerinde uygulanan hümkik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidelerinin toplam klorofil içeriği üzerindeki etkilerini inceleyen varyans analizi sonuçları Tablo 4.23'de yer almaktadır. İstatistiksel gruplandırmalar ise Tablo 4.24'te sunulmuştur. Elde edilen varyans analizi sonuçlarına göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluluğu × uygulama interaksyonu toplam klorofil içeriği üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu ve bu etkilerin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.23).

Tablo 4. 23. Toplam klorofil içeriğine ilişkin varyans analiz tablosu

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.01	0.31	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	37.78	1349	**
Uygulamalar	3	4.11	146.79	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	1.09	1.09	**
Hata	30	0.28		
Genel	47	43.26		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Tablo 4.24 incelendiğinde, toprak tuzluluğundaki artış toplam klorofil içeriğine negatif yönde etki yapmıştır. Buna göre toprak tuzluluğu 0.28 dSm^{-1} 'den 15.23 dSm^{-1} 'e doğru yükseldikçe toplam klorofil içeriği %39.78 oranında azalma görülmüştür. Uygulamaların toplam klorofil içeriğine olan etkisi incelendiğinde ise en yüksek değer Pro+HA (4.93 mg g^{-1}), en düşük değerin ise K (4.22 mg g^{-1}) uygulamasına ait olduğu belirtilmiştir. Yapılan Pro+HA uygulaması, kontrol grubu değeri ile kıyaslandığında toplam klorofil içeriğini % 17.41 oranında olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Toprak tuzluluğu × uygulama interaksyonuna göre toplam klorofil içeriğine ait değerler incelendiğinde; en yüksek toplam klorofil değerleri (Pro+HA)×S₁ (5.99 mg g^{-1}) ve en düşük toplam klorofil değeri K×S₄ (2.79 mg g^{-1}) konusundan elde edilmiştir. Toprak tuzluluğunun S₁ 'den S₄ 'e kadar artmasıyla toplam klorofil değerleri; K konusunda $5.46 - 2.79 \text{ mg g}^{-1}$, Pro konusunda $5.55 - 3.61 \text{ mg g}^{-1}$, HA konusunda $5.35 - 3.32 \text{ mg g}^{-1}$ ve Pro+HA konusunda ise $5.99 - 3.76 \text{ mg g}^{-1}$ arasında değişim gösterdiği görülmüştür (Tablo 4.24).

Tablo 4. 24. Toplam klorofil içeriğine ilişkin istatistiksel analiz tablosu

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümik Asit (HA)	Pro + HA	
S ₁	5.46 b	5.55 b	5.35 b	5.99 a	5.59 a
S ₂	4.99 c	5.31 b	4.99 c	5.60 b	5.22 b
S ₃	3.66 e	4.59 d	3.66 e	4.36 d	4.07 c
S ₄	2.79 g	3.61 ef	3.32 f	3.76 e	3.37 d
Ort.	4.22 d	4.76 b	4.33 c	4.93 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

4.15. Karotenoid İçeriği

Toprak tuzluluğu koşullarında hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi karotenoid içeriği üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analiz sonuçları Tablo 4.25’ de ve istatistiksel gruplandırmalar Tablo 4.26’ da verilmiştir. Varyans analiz sonuçları göz önünde bulundurulduğunda; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksyonu karotenoid içeriği üzerinde $p < 0.01$ etki etmiştir (Tablo 4.25).

Tablo 4. 25. Toplam karotenoid içeriğine yönelik varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.10	4.19	*
Toprak Tuz.	3	0.22	143.64	**
Uygulamalar	3	0.05	32.92	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	0.02	0.02	**
Hata	30	0.02		
Genel	47	0.32		

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Bozulmuş klorofil biyosentezi (Qin vd., 2020), değişen enzimatik aktivite (Hinai vd., 2022), stoma kapanması, dahil olmak üzere çeşitli faktörler, tuzun indüklediği fotosentetik azalma ile ilişkilidir. Klorofil azalması, ROS birikimiyle tetiklenen klorofil oksidasyonunun ve bozulmasının tuz stresi altında artmasıyla doğru orantılıdır. (Taibi vd.,2016; Wang vd., 2013). Karotenoidler bitki antioksidan savunma sisteminde temel roller üstlenmekle birlikte oksidatif hasarlara oldukça duyarlıdır (Mittal vd., 2012).

Tablo 4.26 incelendiğinde, toprak tuzluluğundaki artış karotenoid içeriğinin azalmasına etki ettiği görülmüştür. Buna göre S₁ konusundan S₄ konusuna doğru karotenoid içeriği % 29.23 oranında azalma göstermiştir. Toprak tuzluluğu 0.28 dSm⁻¹

¹ olan S₁ konusunda 0.65 mg g⁻¹ karotenoid içeriği ile en yüksek değer elde edilirken, S₂, S₃ ve S₄ konularında sırasıyla 0.59 mg g⁻¹, 0.53 mg g⁻¹ ve 0.46 mg g⁻¹ elde edilmiştir. S₁ konusuna kıyasla S₂ konusu %9,23, S₃ konusu %18,46 ve S₄ konusu %29,23 oranında azalış göstermiştir. Yapılan uygulamaların karotenoid içeriğine etkisi irdelendiğinde ise istatistiksel gruptandırmaya göre 2 farklı grup oluşmuş ve buna göre en fazla karotenoid içerikleri Pro+HA (0.6 mg g⁻¹) interaksyonunda ve HA (0.58 mg g⁻¹) uygulamalarından elde edilmiştir. Toprak tuzluluğunu S₁'den S₄'e kadar artmasıyla karotenoid değerleri; Kontrol konusunda 0.61 – 0.41 mg g⁻¹, Pro konusunda 0.62 – 0.47 mg g⁻¹, HA konusunda 0.7 – 0.46 mg g⁻¹ ve Pro+HA interaksyonunda ise 0.68 – 0.52 mg g⁻¹ aralığında değişim göstermiştir (Tablo 4.26).

Tablo 4. 26. Toplam karotenoid içeriğine yönelik istatistiksel analiz sonuçları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümkik Asit (HA)	Pro + HA	
S ₁	0.61 bcd	0.62 bcd	0.70 a	0.68 ab	0.65 a
S ₂	0.58 cdef	0.53 efgh	0.63 abc	0.60 cde	0.59 b
S ₃	0.48 hı	0.50 ghı	0.55 defg	0.59 cde	0.53 c
S ₄	0.41 j	0.47 hıj	0.46 ij	0.52 fghı	0.46 d
Ort.	0.52 b	0.53 b	0.58 a	0.6 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

Benzer şekilde Ahmed vd. (2016) yılında sera koşulları altında yürütmüş oldukları denemede tuz stresi altında nitrik oksit uygulamalarının nohut bitkisinin fotosentetik pigmentler üzerinde ki etkilerini değerlendirmişlerdir. Karotenoid seviyeleri artan NaCl stres yoğunluğu ile keskin bir şekilde artmış ve maksimum artış (%71,79) T4 uygulamasında elde etmişlerdir. Fakat klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içerikleri tuz stresi ile önemli ölçüde azalmış ve bu parametrelerdeki azalma yüzdesi T4 (100 mM NaCl + 0 µM SNAP) uygulamasında T0 (0 mM NaCl + 0 µM SNAP) kontrolüne kıyasla neredeyse eşit (≈ %42) olduğunu bildirmişlerdir. NO+NaCl ile muamele edilen bitkilerde T5'te (100 mM NaCl + 50 µM SNAP) klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriğini sırasıyla %19,32, %20 ve %19,47 oranında, karotenoid içeriğini ise sadece NaCl ile muamele edilen bitkilere (T4) göre %11,94 oranında artırdığını vurgulamışlardır. NO uygulamasına bağlı olarak fotosentetik pigmentlerdeki artış, buğday (Ruan vd., 2004), domates (Wu vd., 2010) ve pirinç (Habib vd., 2013) dahil olmak üzere tuz stresi altındaki farklı bitki türlerinde de

bildirilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada 120 mM tuz stresi altında yetiştirilen buğday bitkilerine uygulanan Prolin (12 mM) ve Moringa oleifera yaprak ekstraktının (MLE; %6) fotosentetik pigment ve verimliliği üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir (Rady vd., 2019). Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda Prolin ve MLE uygulamalarının fotosentetik özellikler üzerindeki stres etkilerini iyileştirdiği ve tuz stresi uygulamalarının kontrole kıyasla önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Mahboob (2016) yılında yapmış oldukları diğer bir çalışmada prolin uygulamalarının, tuz stresi altında yetiştirilen her iki buğday genotipinin klorofil a ve b içerikleri üzerinde olumlu etki gösterdiklerini bildirmişlerdir. Yapraktan uygulanan prolin (50 mM) klorofil a'yı iyileştirirken; Prolin uygulaması (100 mM) Khirman'da klorofil a ve b içerikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır.

4.16. Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının katalaz enzim aktivitesi üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analizi sonuçları Tablo 4.27'de sunulmuştur. Yapılan varyans analizi değerlendirmesine göre, toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksyonu katalaz enzim aktivitesi üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkilediği tespit edilmiştir (Tablo 4.27).

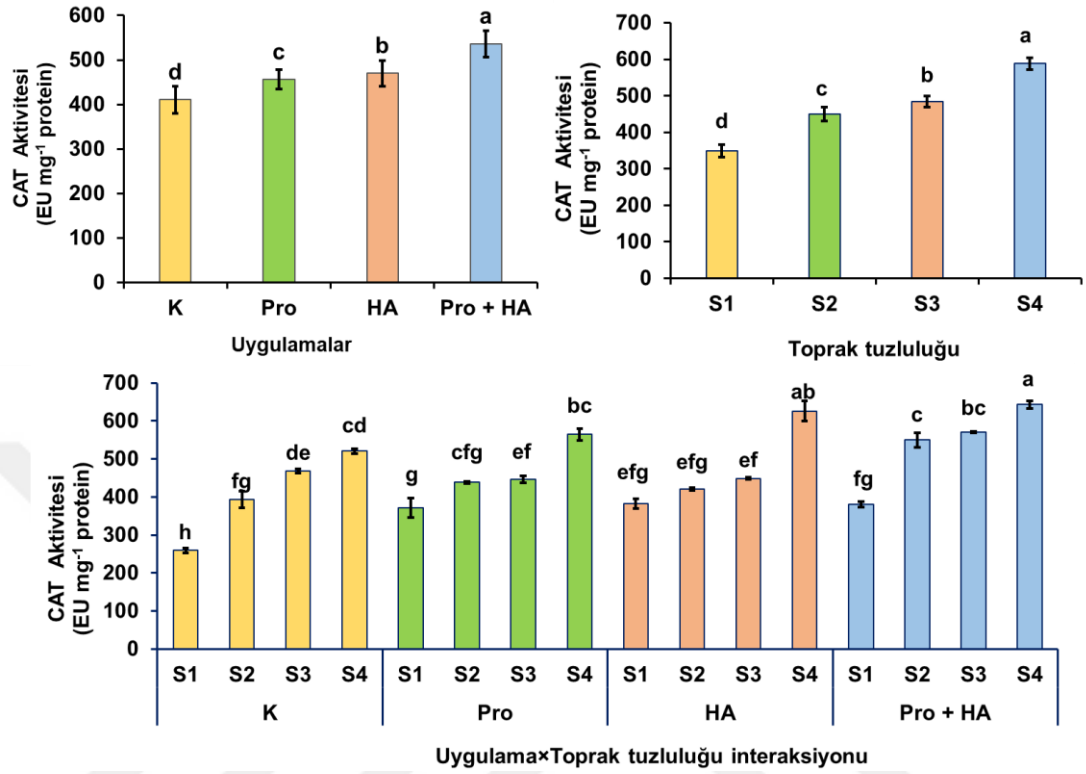
Tablo 4. 27. CAT enzim aktivitesine yönelik varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	2035,03	1,94	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	351634,96	223,39	**
Uygulamalar	3	97271,41	61,8	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	37303,97	37303,97	**
Hata	30	15740,66		
Genel	47	503986,02		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Toprak tuzluluğundaki artış, buğday fide bitki yapraklarındaki CAT aktivitesi en yüksek S₄ konusunda 588,64 EU mg⁻¹ protein, en düşük S₁ konusunda 348,85 EU mg⁻¹ protein olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde S₁ konusu S₄ konusuna kıyasla CAT aktivitesinin %68,72 oranında bir azalmaya neden olmuştur. Uygulanan uygulamalar yönünden Pro+HA interaksyonundan 536,09 EU mg⁻¹ protein ile en yüksek, kontrol uygulamasından 410,42 EU mg protein ile en düşük CAT aktivite değerlerine ulaşılmıştır. Prolin ve Hümik asit uygulamaları arasında ise istatistiksel farklılığın olmadığı anlaşılmıştır. Toprak tuzluluğu × uygulama

interaksiyonuna göre sırasıyla (Pro+HA)×S₄ ile HA×S₄ konularında 643,37 ve 626,18 EU mg⁻¹ protein olarak hesaplanmıştır. En düşük CAT aktivitesi ise 259,19 EU mg⁻¹ protein ile K×S₁ konusundan elde edilmiştir.



Şekil 4. 5. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksiyonlarının buğday fidesinin CAT enzim aktivitesine etkileri

4.17. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi

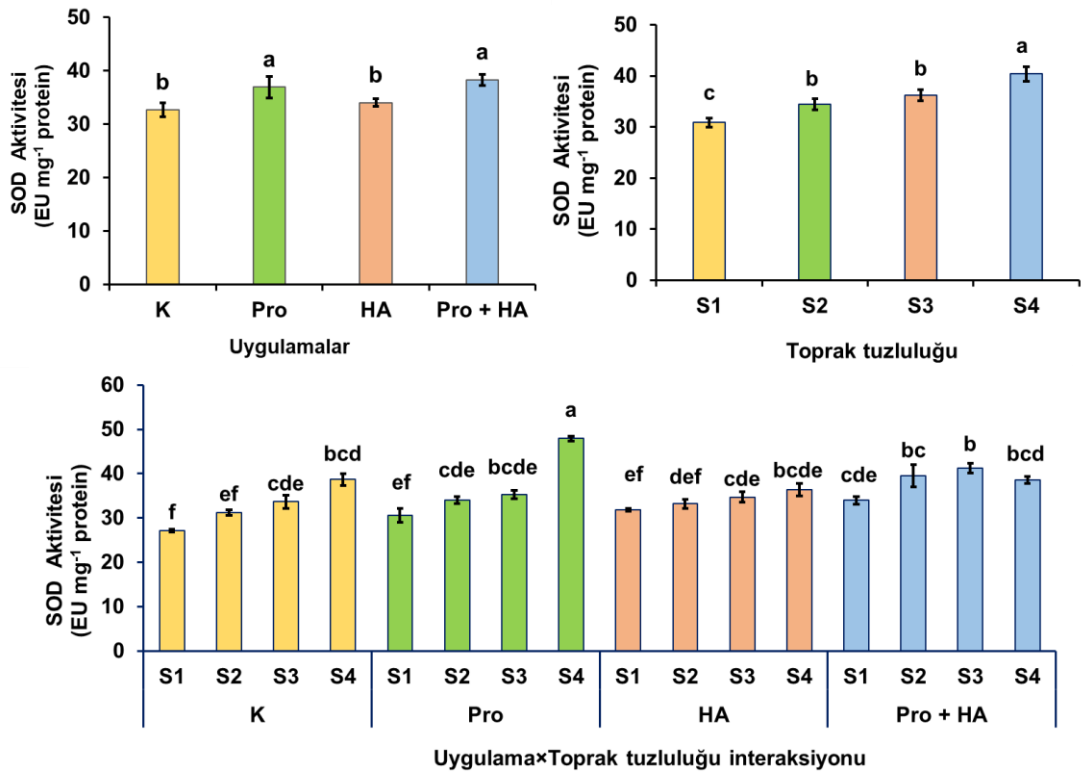
Farklı toprak tuzluluğu seviyelerinde uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının süperoksit dismutaz enzim aktivitesi üzerindeki etkilerini inceleyen varyans analizi sonuçları Tablo 4.28'da yer almaktadır. Elde edilen varyans analizi sonuçlarına göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve ikili interaksiyonun süperoksit dismutaz enzim aktivitesi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu ve bu etkilerin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.28).

Tablo 4. 28. SOD enzim aktivitesine yönelik varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	15,64	1,98	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	562,94	47,44	**
Uygulamalar	3	241,88	20,38	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	281,65	281,65	**
Hata	30	118,66		
Genel	47	1220,77		

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Toprak tuzluluğundaki artış, buğday fide yapraklarındaki SOD aktivitesi en düşük S₄ konusunda 30,89 EU mg⁻¹ protein, en yüksek S₁ konusunda 40,41 EU mg⁻¹ protein olarak hesaplanmıştır. Toprak tuzluluğu konularında S₁ ve S₂ ile S₃ ve S₄ konuları aynı istatistiksel grupta yer alarak aralarında istatistiksel farklılık bulunmamıştır (Şekil 4.6). Uygulanan uygulamalar yönünden Pro+HA ve Pro uygulamalarında en yüksek SOD aktivite değerlerine ulaşılmıştır. Toprak tuzluğu × uygulama interaksiyonuna göre en yüksek SOD aktivite değerleri sırasıyla 27.18 EU mg⁻¹ protein, 31,29 EU mg⁻¹ protein, 31,83 EU mg⁻¹ protein EU mg⁻¹ protein ve 33.18 EU mg⁻¹ protein ile K×S₄, K×S₃, HA×S₄, HA×S₃ konularından elde edilmiştir.



Şekil 4. 6. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksiyonlarının buğday fidesinin SOD enzim aktivitesine etkileri

4.18. Glutatyon Redüktaz (GR) Enzim Aktivitesi

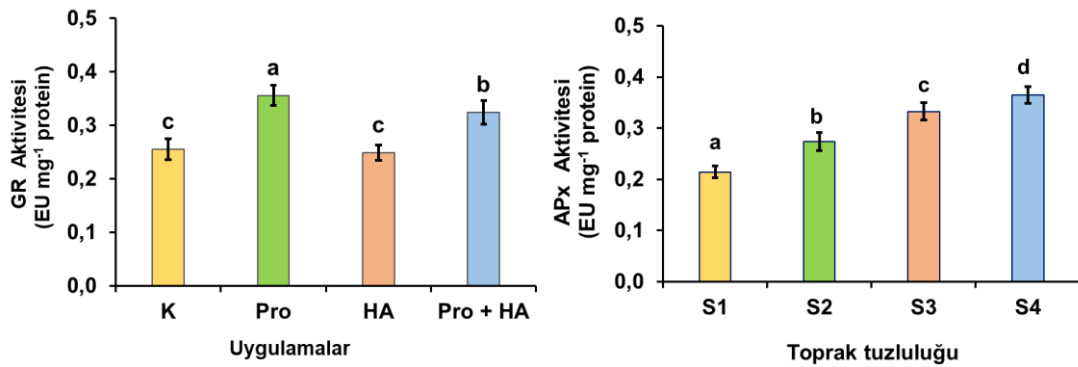
Toprak tuzluluğu koşullarında hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidesi glutatyon redüktaz enzim aktivitesi üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analiz sonuçları Tablo 4.29' de verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre toprak tuzluluğu ve uygulamalar arasında $p < 0.01$, ikili interaksiyona göre süperoksit dismutaz enzim aktivitesi üzerinde ise $p < 0.05$ düzeyinde etki etmiştir (Tablo 4.29).

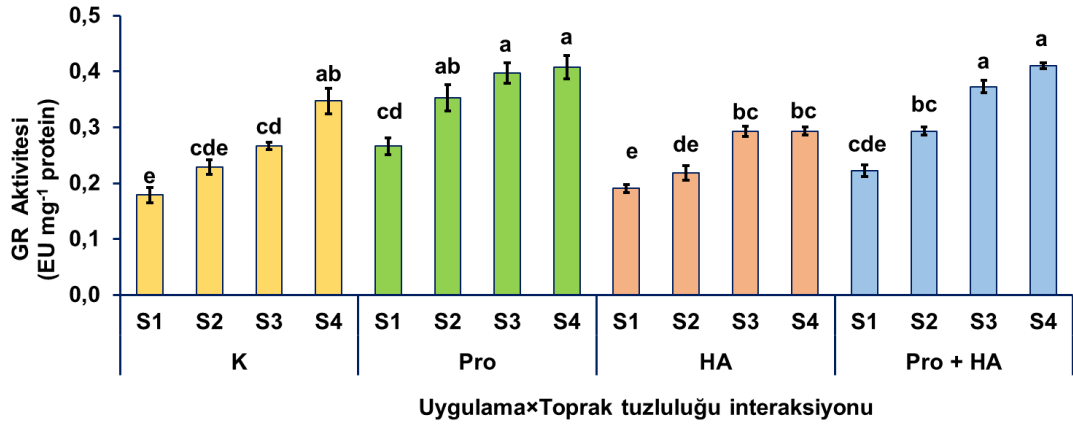
Tablo 4. 29. GR enzim aktivitesine yönelik varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0	0,89	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	0,16	89,09	**
Uygulamalar	3	0,1	55,81	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	0,01	0,01	*
Hata	30	0,02		
Genel	47	0,29		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Toprak tuzluluğu ile birlikte artan GR enzim aktivitesi en yüksek $0,36 \text{ EU mg}^{-1}$ protein ile S_4 konusundan, en düşük ise sırasıyla $0,33$, $0,27$ ve $0,21 \text{ EU mg}^{-1}$ protein ile S_3 , S_2 ve S_1 konularından hesaplanmıştır. GR enzim aktivitesi S_1 konusuna kıyasla S_4 konusunda $\%41,67$ 'lara ulaşan bir artış sergilemiştir. Uygulamalar değerlendirildiğinde en yüksek GR aktivitesinin Pro ($0,36 \text{ EU mg}^{-1}$ protein) uygulamasından elde edilirken, en düşük GR aktivitesi sırasıyla $0,26$ ve $0,25 \text{ EU mg}^{-1}$ protein ile kontrol ve hümik asit uygulamalarından hesaplanmış olup aralarında istatistiksel farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Toprak × uygulama interaksiyonundan elde edilen GR enzim aktivite değerlerine göre; Pro×Ha interaksiyon uygulamasının S_3 ve S_4 toprak tuzluluğunda GR enzimi olumlu etkilenecek bitkiyi stres faktörüne toleranslı hale getirmeye başarmıştır. Prolin uygulamasından elde edilen GR aktivite değerleri aynı istatistiksel grupta yer aldığı görülmüştür. Ancak stres şartlarının artarak devam etmesi durumunda ise bitkinin strese karşı vereceği tepki azalacak ve enzim aktivite değerleri düşüş gösterebileceği öngörülmektedir.





Şekil 4. 7. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksiyonlarının buğday fidesinin GR enzim aktivitesine etkileri

4.19. Glutasyon Peroksidaz (GPx) Enzim Aktivitesi

Farklı toprak tuzluluğu seviyelerinde uygulanan hümkik asit ve prolin uygulamalarının glutayon peroksidaz enzim içeriği üzerindeki etkilerini inceleyen varyans analizi sonuçları Tablo 4.30'da yer almaktadır. Elde edilen varyans analizi sonuçlarına göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluluğu × uygulama interaksiyonu glutayon peroksidaz enzim aktivitesi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu ve bu etkilerin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.30).

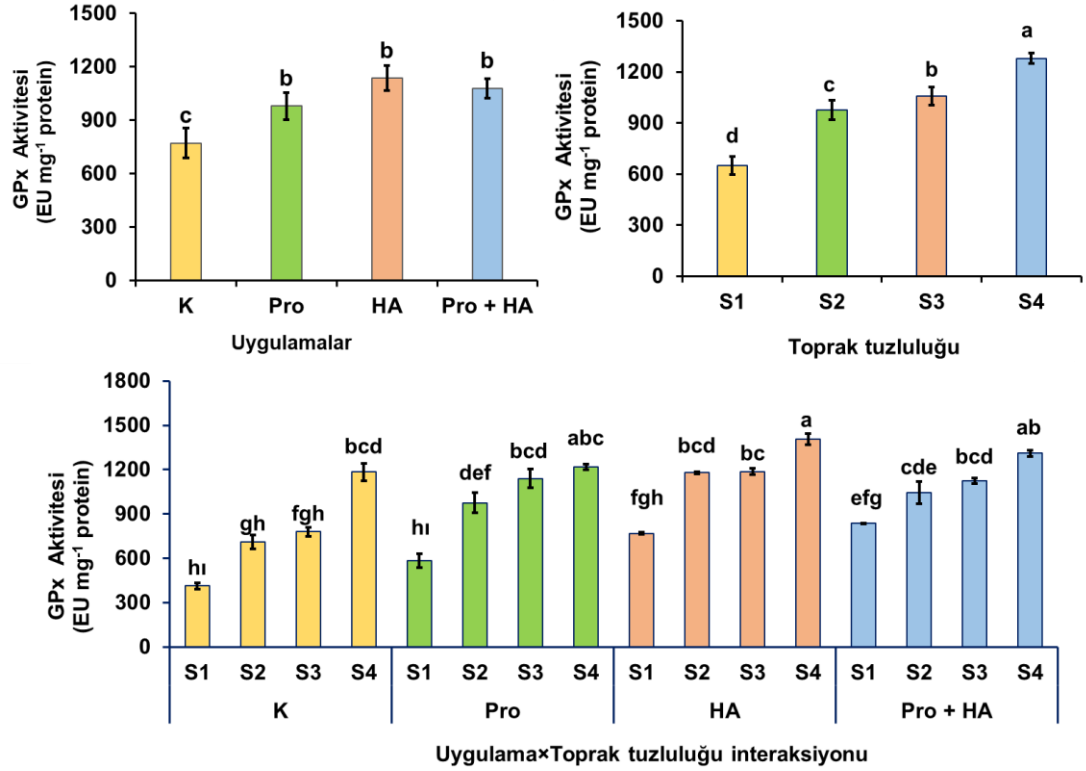
Tablo 4. 30. GPx enzim aktivitesine ilişkin varyans analiz tablosu

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	18433,9	1,95	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	2449765,6	173,13	**
Uygulamalar	3	920932,1	65,08	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	161065,1	161065,1	**
Hata	30	141499,2		
Genel	47	3691695,8		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Toprak tuzluluğu ile birlikte artan GPx enzim aktivitesi S₁ (650,52 EU mg⁻¹ protein) konusuna kıyasla S₂ konusu %50,29 S₃ konusu %62,58 ve S₄ konusu %96,67' lara ulaşan bir artış sergilemiştir. Çalışmada tuzluluk seviyesi en yüksek olan S₄ konsunda (1280,08 EU mg⁻¹ protein) ile GPx aktivitesi en yüksek artış göstermiştir. GPx antioksidan enzimi, dışsal uygulamalar ile olumlu etkilenerek buğday fidelerini tuz stresine karşı toleransının artmasını sağlamıştır. Kontrol koşullarında, buğday fidelerine ait GPx aktivite değeri 771,91 EU mg⁻¹ protein olarak belirlenmiştir. Hümkik asit uygulaması ise GPx enzim aktivitesini %47,06 oranında arttırmıştır. Prolin ve hümkik asit prolin interaksiyonu uygulamaları ise istatistiksel olarak aynı grupta yer

almıştır. Toprak tuzluğu × uygulama interaksyonundan elde edilen GPx aktivite değerlerine göre; HA×S4 (1406,80 EU mg⁻¹ protein) konusundan en yüksek aktivite değeri elde edilirken, (Pro+HA)×S4 ve Pro×S4 konuları ile aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Uygulanan uygulamalar S₃ toprak tuzluluğunda da GPx enzim aktivitesini artırarak tuz stresinin bitki fizyolojisi üzerindeki olumsuz etkileri hafifletmede etkili olduğu görülmüştür. En düşük GPX aktivitesi ise K×S₁ (412.63 EU mg⁻¹ protein) konusundan elde edilmiştir.



Şekil 4. 8. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksyonlarının buğday fidesinin GPx enzim aktivitesine etkileri

4.20. Askorbat Peroksidaz (APx) Enzim Aktivitesi

Değişen toprak tuzluluğu düzeylerinde uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının askorbat peroksidaz enzim aktivitesi üzerindeki etkilerinin varyans analizi sonuçları Tablo 4.31'de sunulmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve ikili interaksyonun, kök yaş ağırlığı üzerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.31).

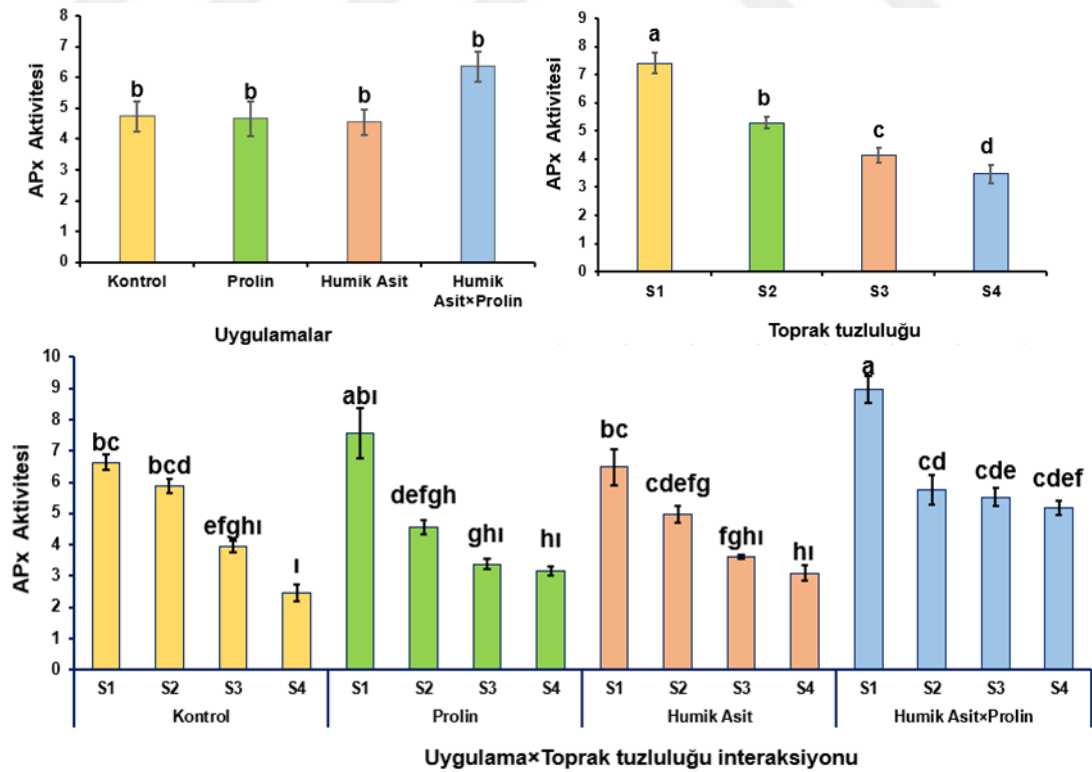
Tablo 4. 31. APx enzim aktivitesine ilişkin varyans analiz tablosu

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	1,17	1,69	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	107,7	103,62	**
Uygulamalar	3	26,58	25,57	**

Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	9,84	9,84	**
Hata	30	10,39		
Genel	47	155,68		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

Çalışmaya göre toprak tuzluluğu açısından değerlendirilen APX aktivitesi, 0,28 dSm⁻¹ toprak tuzluluğunda (7,41 EU mg⁻¹ protein) S₂ toprak tuzluluğunda (5,29 EU mg⁻¹ protein), S₃ toprak tuzluluğunda (4,12 EU mg⁻¹ protein) ve S₄ toprak tuzluluğunda (3,48 EU mg⁻¹ protein), olarak ölçülmüştür. Tuzluluğun etkisi ile bitkide meydana gelen fizyolojik değişim sonucunda APx aktivitesi S₄ konusundan S₁ konusuna göre %53,82 oranında azaldığı görülmüştür. Uygulamalar değerlendirildiğinde istatistiksel olarak 2 grubun olduğu, en yüksek APx aktivitesinin Pro×HA (6,36 EU mg⁻¹ protein) uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. APx aktivitesine ait toprak tuzluğu × uygulama interaksiyon sonuçları değerlendirildiğinde; Kontrol uygulamalarında 6,64-2,46 EU mg⁻¹ protein arasında, Prolin uygulamalarında 7,56-3,16 EU mg⁻¹ protein arasında ve Pro×HA interaksiyonunda 8,97-5,19 EU mg⁻¹ protein arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak tuzluğu × uygulama interaksiyonuna ait en yüksek değer (Pro+HA)×S₁ (8,97 EU mg⁻¹ protein) konusundan en düşük değer ise K×S₄ (2,46 EU mg⁻¹ protein) konusunda görülmüştür.



Şekil 4. 9. Toprak tuzluluğu, uygulama ve interaksiyonlarının buğday fidesinin APx enzim aktivitesine etkileri

Tuzluluğun olumsuz etkileri, bitki büyümesini ve üretimini iyileştirmek için kısa vadeli önlemler alınarak hafifletilebilir (Noreen ve diğerleri, 2018). Farklı ozmoprotektanların uygulanması enzimatik aktiviteleri artırır ve stres altında antioksidan tepkiyi geliştirir, bu da bitkilerin membran bütünlüğünü ve ozmotik ayarlamayı korumasına yardımcı olur (Skłodowska ve ark., 2009). Çeşitli raporlar CAT'in yapraklarda ROS'un ana temizleyicisi olduğunu, H_2O_2 'yi ortadan kaldırarak, H_2O ve O_2 üreterek oksidatif korumada önemli bir rol oynadığını göstermiştir (Abogadallah 2010). SOD, antioksidan savunma sisteminin önemli bir enzimidir. Süperoksiti (O_2^-) H_2O_2 ve suya dönüştürerek ROS'a karşı ilk savunma hattı olarak kabul edilir (Abogadallah 2010). Yan ve arkadaşları (2011) besin çözeltisine 0,2 mM prolin eklenmesinin SOD aktivitesini artırdığını ve kavun çeşitlerinde 100 mM NaCl tuzluluğunun olumsuz etkilerini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Ben Ahmed ve arkadaşları (2010) yılında genç zeytin bitkilerinde 200 mM NaCl stresi altında SOD aktivitesinin prolin uygulaması ile iyileştirildiğini rapor etmişlerdir. CAT gibi APX de H_2O_2 'i temizler ve tuzluluğa bağlı olarak aktivitesindeki artışlar çeşitli bitki türlerinde de gözlenmiştir (Chen ve Jiang 2010; Rady ve ark. 2013; Desoky ve ark. 2018). Rady vd. (2019) yılında yürütmüş oldukları çalışmada 120 mM tuz stresinin buğday bitkilerinde SOD, APX ve GPX aktivitelerini %37,6 ile %54,2 aralığında artırdığını gözlemlemişlerdir. Tunçtürk (2020)'da yürütmüş olduğu çalışmada elde ettikleri sonuçlar incelendiğinde tuz zararı ile artan MDA miktarı hümitik asit uygulamaları ile azalamaya başladığını tespit etmişlerdir. Bulgularımıza benzer bir araştırmada biber bitkisinde humik asit benzeri maddelerin tuzun zararlı etkisini azalttığını bildirmişlerdir (Tuna ve Eroğlu, 2016). Esfandiari vd. (2015) optimum şartlar altında, 3 farklı tuz konsantrasyonu (0, 100 ve 200 mM NaCl) seviyelerinin buğday (Hirmand ve Karkheh) fidelerinde biyokimyasal ve fizyolojik özellikler üzerindeki etkilerini incelemeyi hedeflemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre 100 mM ve 200 mM konuları kontrol ile karşılaştırıldığında, her iki çeşitte de GPX ve CAT enzim aktivitelerinin arttığını ifade etmişlerdir. Aynı zamanda, APX enzimi Hirmand çeşidinde artış gösterirken, kontrol ile kıyaslandığında Karkheh çeşidinde önemli bir farklılığın oluşmadığını bildirmişlerdir. Rao vd. (2013) yaptıkları saksı çalışmasında 5 farklı toprak tuzluluğunda (kontrol), 2, 4, 8, 16 dS m^{-1}) 10 farklı buğday çeşidinin potansiyel antioksidan aktivitelerinin tuz toleransı artırıcı etkisini araştırmışlardır. Yüksek tuzluluk şartlarında, tuza toleranslı çeşitlerin APx ve GPX antioksidan enzimlerinin arttığını ifade etmişlerdir. Ancak, tuzlu şartlarda, tuza duyarlı çeşitlerdeki SOD, CAT

ve GPx antioksidan enzimlerin aktivite düzeyleri kontrol konusuna göre daha düşük olduklarını tespit etmişlerdir. Temizgul vd. (2016) iklimlendirme odasında, 5 farklı tuz konsantrasyonunun (0, 50, 100, 150, 200 mM) sorgum bitkisinin antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Tuz konsantrasyonu arttıkça kökte CAT enzimi 100 mM'a kadar artarken, SOD, APX ve GST aktiviteleri ise 150 mM'a kadar artmış ve daha sonra tüm enzimlerin aktivite değerleri azalmıştır. Ayrıca tuz konsantrasyonu arttıkça sorgum köklerinde MDA birikimi artmaktadır. Yaprakta SOD ve APX aktiviteleri ile prolin içeriği 150 mM'a kadar artarken, CAT, GR ve GST enzimleri ise 100 mM'a kadar artmış ve daha sonra tüm enzimlerin aktivite değerleri azaldığını belirlemişlerdir.

4.21. Prolin İçeriği

Farklı toprak tuzluluğu koşullarında yetiştirilen buğday fidelerine uygulanan hümitik asit ve prolin uygulamalarının buğday fidelerinin prolin konsantrasyon düzeylerine yönelik etkilerini değerlendiren varyans analizi sonuçları ve istatistiksel gruplandırmaları sırasıyla Tablo 4.32 ve Tablo 4.33'te sunulmuştur. Yapılan varyans analizi değerlendirmesine göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu × uygulama interaksiyonun, prolin konsantrasyon düzeylerinde $p < 0.01$ önemlilik düzeyinde etkili olduğu anlaşılmıştır (Tablo 4.32).

Tablo 4. 32. Prolin konsantrasyon düzeylerine yönelik varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0	0.03	Ö.D.
Toprak Tuz.	3	11.64	834.68	**
Uygulamalar	3	0.48	34.22	**
Toprak Tuz. × Uyg. İnt.	9	1.79	1.79	**
Hata	30	0.14		
Genel	47	14.04		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0$; ÖD: Önemli Değil

Tablo 4.33' de Prolin konsantrasyon düzeylerine yönelik istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde toprak tuzluluğu bakımından 3 farklı grup oluştuğu görülmüştür. Toprak tuzluluğu sonucu prolin içeriğinde istatistiksel anlamda önemli bulunan artış $1.46 \mu\text{M g}^{-1}$ ile S₄ konusunda gerçekleşirken, sırasıyla $0,27 \mu\text{M g}^{-1}$ ve $0,25 \mu\text{M g}^{-1}$ değerleri ile S₁ ve S₂ konuları arasındaki azalış fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Yapılan uygulamaların prolin konsantrasyon düzeylerine yönelik istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde de 3 farklı grubun oluştuğu anlaşılmıştır. Uygulamalar sonucu prolin içeriğinde istatistiksel anlamda önemli

bulunan artış $0,79 \mu\text{M g}^{-1}$ ile Pro+HA konusunda gerçekleşirken, azalış ise $0,51 \mu\text{M g}^{-1}$ ile Kontrol konusunda gerçekleşmiştir. Hümik asit ($0,67 \mu\text{M g}^{-1}$) ve Prolin ($0,66 \mu\text{M g}^{-1}$) konularında ise istatistiksel anlamda farklılık bulunmadığı vurgulanmıştır. Buna göre uygulanan Pro+HA uygulaması, Kontrol uygulamasına kıyasla prolin konsantrasyon değerlerini %35,44 oranında iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Toprak tuzluluğunu S_1 'den S_4 'e kadar artmasıyla prolin konsantrasyon değerler ise; Kontrol uygulamasında $0,27 - 1,27 \mu\text{M g}^{-1}$, Pro uygulamasında $0,3 - 1,71 \mu\text{M g}^{-1}$, HA uygulamasında $0,21 - 1,19 \mu\text{M g}^{-1}$ ve Pro+HA interaksiyonunda ise $0,28 - 1,69 \mu\text{M g}^{-1}$ aralığında değerler elde edilmiştir (Tablo 4.33).

Tablo 4. 33. Prolin konsantrasyon düzeylerine yönelik istatistiksel analiz sonuçları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				Ort.
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümik Asit (HA)	Pro + HA	
S_1	0.27 d	0.30 d	0.21 d	0.28 d	0.27 c
S_2	0.25 d	0.28 d	0.22 d	0.25 d	0.25 c
S_3	0.24 d	0.33 d	1.08 bc	0.93 c	0.64 b
S_4	1.27 b	1.71 a	1.19 b	1.69 a	1.46 a
Ort.	0.51 c	0.66 b	0.67 b	0.79 a	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

4.22. Lipit Peroksidasyonu

Değişen toprak tuzluluğu düzeylerinde uygulanan hümik asit ve prolin uygulamalarının buğday fideleri üzerindeki MDA konsantrasyonlarına etkisini değerlendiren varyans analizi sonuçları Tablo 4.34'de, istatistiksel gruplandırmalar ise Tablo 4.35'de sunulmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre; toprak tuzluluğu, uygulamalar ve toprak tuzluğu $\times$ uygulama etkileşimi MDA konsantrasyonları üzerinde $p < 0.01$ düzeyinde etkili olduğunu, tekerrürler arasında ise istatistiksel olarak $p < 0.05$ önemlilik düzeyinde bir etki olduğunu göstermiştir (Tablo 4.34).

Tablo 4. 34. MDA konsantrasyonlarına dair varyans analizi bulguları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F	P
Tekerrür	2	0.24	3.46	*
Toprak Tuz.	3	43.16	419.69	**
Uygulamalar	3	4.74	46.09	**
Toprak Tuz. $\times$ Uyg. İnt.	9	3.43	3.43	**
Hata	30	1.03		

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; ÖD: Önemli Değil

MDA konsantrasyonlarına dair istatistiksel analiz gruplandırmaları Tablo 4.35’ de sunulmuştur. İstatistiksel analiz tablosu incelendiğinde toprak tuzluluğu arttıkça MDA içeriğini de artırdığı görülmüştür. En yüksek MDA içeriği $4.33 \mu\text{M g}^{-1}$ ile S_4 , en düşük MDA içeriği ise $1.91 \mu\text{M g}^{-1}$ ile S_1 konularından elde edilmiştir. Buna göre S_4 konusu S_1 konusuna göre %126.70 oranında artmıştır. Yapılan uygulamaların MDA konsantrasyonlarına etkileri değerlendirildiğinde en yüksek değerler sırasıyla $3.48 \mu\text{M g}^{-1}$, $3.31 \mu\text{M g}^{-1}$, $3.18 \mu\text{M g}^{-1}$ ve $2.64 \mu\text{M g}^{-1}$ değerleri ile K, HA, Pro ve Pro+ HA uygulamalarından elde edilmiştir (Tablo 4.35). Yapılan Pro+HA uygulaması K uygulamasına kıyasla MDA içeriğini %24,11 oranında iyileştirirken, HA ve Pro uygulamalarının ise Kontrollü uygulamasına kıyasla MDA içeriğini sırasıyla %4,38 ve %8,62 oranlarında iyileştirdiği anlaşılmıştır. Toprak tuzluluğu $\times$ uygulama interaksyonuna göre ise en yüksek MDA içeriği sırasıyla $K \times S_4$ ($4.96 \mu\text{M g}^{-1}$) ile $HA \times S_4$ ($4.5 \mu\text{M g}^{-1}$) konularından elde edilmiş, aralarında istatistiksel farklılığın olmadığı anlaşılmıştır. En düşük MDA içeriği ise sırasıyla $(Pro+HA) \times S_1$ ($1.7 \mu\text{M g}^{-1}$), $Pro \times S_1$ ($1.96 \mu\text{M g}^{-1}$) $HA \times S_1$ ($1.98 \mu\text{M g}^{-1}$) ve $K \times S_1$ ($1.99 \mu\text{M g}^{-1}$) konularından elde edilmiş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır (Tablo 4.35).

Tablo 4. 35. MDA konsantrasyonlarına dair istatistiksel analiz bulguları

Toprak tuzluluğu	Uygulamalar				
	Kontrol (K)	Prolin (Pro)	Hümik Asit (HA)	Pro + HA	Ort.
S_1	1.99 fgh	1.96 gh	1.98 fgh	1.70 h	1.91 d
S_2	2.65 e	2.79 e	2.53 ef	2.49 efg	2.62 c
S_3	4.32 bc	3.84 cd	4.25 bcd	2.66 e	3.77 b
S_4	4.96 a	4.13 bcd	4.50 ab	3.72 d	4.33 a
Ort.	3.48 a	3.18 b	3.31 ab	2.64 c	

Not: Koyu olan / olmayan satır ve sütunda aynı harfle gösterilen konulara ait ortalama değerler arasında istatistiksel farklılık bulunmamaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 4 uygulama konusu ve 4 farklı toprak tuzluluğu koşullarında yetiştirilen buğday fidelerinin büyüme parametreleri, fotosentezle ilişkili pigment içerikleri, oksidatif stres indikatörleri ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bitkinin yaşamsal aktivitelerinin bir yansıması olan biyokütle birikimi, stres etmenlerinin bitkilere olan etkisinin değerlendirilmesi için en uygun göstergeler arasındadır. Artan toprak tuzluluğu karşısında buğday fidelerinin toprak üstü aksam ve köklerinde yaş ve kuru ağırlıklarının önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. 15 dSm-1 toprak tuzluluğuna sahip S4 konuları S1 grubuna kıyasla bitki yaş ağırlığı %56.25 oranında, kök yaş ağırlığı ise %80.83 oranında yaş ağırlık kaybı olmuştur. Fakat yapılan prolin ve prolinxhümik asit interaksiyonunun bitki ve kök yaş ağırlığı üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu, toprak üstü ve altı olmak üzere biyokütleyi kontrole kıyasla sırasıyla olumlu etkilediği görülmüştür. Hümik asit uygulamasının tek başına sadece kök bölgesini geliştirdiği, ancak prolin ile birlikte uygulandığında toprak üstü kısımların gelişmesine yardımcı olduğu ve bitkinin tuz stresine karşı daha toleranslı olmasına katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca toprak tuzluluğu incelenen tüm bitki organlarında kuru ağırlık değerinin çok önemli ($p<0.01$) düzeyde azalmasına yol açmıştır. En yüksek bitki kuru ağırlık değeri 4.42 gr ile S1 konusundan elde edilirken, en düşük bitki kuru ağırlık değeri ise 1.47 gr ile S4 konusundan elde edilmiştir. Yapılan uygulamalar bakımından prolin ve prolinxhumik asit interaksiyonun istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı, kontrole kıyasla bitki kuru ağırlığını yaklaşık %23 oranında arttırdığı görülmüştür. Kök kuru ağırlık değerlerinde de benzer durumun olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, toprak tuzluluğu koşullarında yetiştirilen buğday fidelerinin boy uzunluğu, gövde çapı ve kardeşlenme sayısı gibi parametrelerin tuzluluktan olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek boy uzunluğu 21.79 cm ile S1 konusunda elde edilirken, en kısa boy uzunluğu 14.6 cm ile S4 konusundan elde edilmiştir. Uygulamalara göre ise en yüksek boy uzunluğu 19.99 cm ile Prolin uygulamasından tespit edilmiştir. Prolin, hücrelerde osmotik dengelemeyi sağlayan (Szabados ve Savouré, 2010) ve oksidatif stresini azaltarak bitkinin stresle başa çıkmasına yardımcı olan bir amino asit olduğundan (Ashraf ve Foolad, 2007), tuz stresine maruz kalan bitkilerin büyümesini olumlu

etkileyerek, kontrol gruplarına göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Toprak tuzluluğunun artmasıyla gövde çap kalınlıkları S1 konusundan S4 konusuna doğru %51.73 oranında azaldığı elde edilmiştir. Uygulamalara göre gövde çapı değeri incelendiğinde, en kalın gövde çapı 2.82 mm ile HA uygulamasında, en düşük değer ise 1.90 Pro+HA uygulamasından elde edilmiştir. Hümik asitler, toprak verimliliğini artırarak, bitki besin maddelerinin alımını ve kullanımını iyileştirir ve bitki stres toleransını artırır (Canellas vd., 2020). Bu nedenle, hümik asit uygulamasının bitki gövde çapı kalınlıklarını artırarak, toprak tuzluluğunun olumsuz etkilerini hafifletebileceği tespit edilmiştir. Toprak tuzluluğu 0.28 dSm-1 'den 15.23 dSm-1 'e doğru arttıkça kardeş sayısında %41.55 oranında bir azalma görülmüştür. Ayrıca yapılan uygulamaların kardeşlenme sayısı yönünden aralarında bir farklılığın olmadığı ve istatistiksel olarak aynı grupta yer aldıkları görülmüştür.

Mevcut tez çalışmasında tuz stresine maruz kalan buğday fidelerinin, fotosentezle ilişkili pigment içeriklerinde çok önemli ($p < 0.01$) düzeyde etkilemiş, söz konusu değerler S3 konularından itibaren daha belirgin şekilde azalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek klorofil a değeri S1 konusundan (2.79 mg g-1), en düşük ise S4 konusundan (1.64 mg g-1) elde edilmiştir. Klorofil b içeriğine ait sonuçlarda en yüksek değer 2.80 mg g-1 ile S1 konusundan, en düşük değeri ise 1.73 mg g-1 ile S4 konusundan elde edilmiştir. Toprak tuzluluğunun 0.28 dSm-1 'den 15.23 dSm-1 'e doğru yükseldikçe toplam klorofil içeriğinin %39.78, karotenoid içeriğinin %29.23 oranında olumsuz etkilendiği görülmüştür. Yapılan uygulamalar, diğer uygulamalara kıyasla prolin ve hümik asitin interaksiyonunun, fotosentetik pigmentlerin artışında belirgin bir rol oynadığını göstermektedir. Bu interaksiyonun uygulanmasıyla birlikte bitkilerin tuz stresine karşı daha toleranslı hale gelmeleri ve dolayısıyla büyüme ve verimlerinde artış sağlanabilir. Bu durum, prolin ve hümik asit interaksiyonunun fotosentetik pigment içeriğindeki artışı sağlayarak bu olumlu etkileri desteklediğini göstermektedir.

Bu tez çalışmasında toprak tuzluluğu ve yaprak sıcaklığı değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Yaprak sıcaklığı S1 konusundan S4 konusunda doğru %12,63 oranında bir artış göstermiştir. Uygulamalar bakımından en düşük yaprak sıcaklığı 20.96 derece ile prolin uygulamasından elde edilmiştir. Stoma iletkenliği üzerine yapılan ölçümler sonucunda, toprak tuzluluğu düzeylerine göre en yüksek stoma iletkenliği değeri 213.39 mmol m-2 s -1 olarak S1 koşulunda

belirlenirken, en düşük değer ise 86.51 mmol m⁻² s⁻¹ olarak S4 koşulunda saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, toprak tuzluluğu 0.28 dSm⁻¹ 'den 15.23 dSm⁻¹ 'e doğru arttıķa stoma iletkenliği değeri %59.44 oranında azalmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda stoma iletkenliği ve yaprak sıcaklığı değerleri üzerinde prolin uygulamasının yaprak sıcaklığının artmasını engelleyerek, bitkilerin fotosentez ve diğer metabolik süreçler için uygun koşulların korunmasında katkı sağladığı ancak ikili interaksiyonun stoma iletkenliği üzerine daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

Yüksek tuzluluk seviyeleri, hücre zarlarının lipid bileşimini etkileyebilir ve zarın yapısal bütünlüğünü bozabilir. MDI analizi sonucunda, toprak tuzluluğu koşullarında yetiştirilen buğday fidelerinde en yüksek bozulma S4 koşulunda, en düşük ise S1 koşulunda belirlenmiştir. Yapılan uygulamalar sonucunda prolin ve ikili interaksiyonun aynı istatistiksel grupta yer aldığı ve tuz stresinden kaynaklanan membran bozulmalarının en az olduğu konular olarak belirlenmiştir.

Araştırmada, buğday fidelerinin yapraklarında farklı toprak tuzluluğu koşullarında prolin ve hümik asit uygulamalarının etkisi incelendiğinde, bu uygulamaların SOD, CAT, GR, GPx ve APx enzimlerinin aktivitesinde farklı pik seviyelerine neden olduğu görülmüştür. Bu pik seviyeleri, uygulamalara ve toprak tuzluluğu koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Buğday fide yapraklarındaki SOD, CAT, GR ve GPx enzim aktiviteleri S1 konusundan S4 konusuna doğru bir artış gösterirken, bu durum APx enzim aktivitelerinde tam tersi olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan uygulamalar açısından, prolin ve hümik asit kombinasyonunun, CAT, APx ve SOD enzim aktivitelerinin artmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Ancak, GR enziminin aktivitesini artırmak için sadece prolin uygulamasının daha etkili olduğu benzer şekilde, GPx enziminin aktivitesini artırmak için ise sadece hümik asit uygulamasının daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, prolin ve hümik asit uygulamalarının antioksidan enzim aktivitelerini farklı şekillerde etkileyebileceğini göstermektedir.

Bu sonuçlar ışığında, buğday tohumlarının ekilmeden önce 15 mM prolin ile ön işlem görmesi ve toprağa 100 ppm humik asit uygulanması, tuzdan etkilenen topraklarda buğday bitkisinin tuz toleransını artırmak ve fidelerin büyüme performansını iyileştirmek için önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbas, G., Rehman, S., Siddiqui, M. H., Ali, H. M., Farooq, M. A., & Chen, Y. (2022). Potassium and humic acid synergistically increase salt tolerance and nutrient uptake in contrasting wheat genotypes through ionic homeostasis and activation of antioxidant enzymes. *Plants*, 11(3), 263.
- Abbaspour, H., Afshari, H., & Abdel-Wahhab, M. A. (2012). Influence of salt stress on growth, pigments, soluble sugars and ion accumulation in three pistachio cultivars. *J. Med. Plants Res*, 6(12), 2468-2473.
- Abdel Latef, A. A. H., Tahjib-Ul-Arif, M., & Rhaman, M. S. (2021). Exogenous auxin-mediated salt stress alleviation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Agronomy*, 11(3), 547.
- Abdelhamid, M. T., Rady, M. M., Osman, A. S., & Abdalla, M. A. (2013). Exogenous application of proline alleviates salt-induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), 439-446.
- Abogadallah, G. M. (2010). Insights into the significance of antioxidative defense under salt stress. *Plant signaling & behavior*, 5(4), 369-374.
- 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.
- Aebi, H. (1984). [13] Catalase in vitro. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121-126). Academic press.
- Agami, R. (2014). Applications of ascorbic acid or proline increase resistance to salt stress in barley seedlings. *Biologia plantarum*, 58, 341-347.
- Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., & Tattini, M. (2012). Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant science*, 196, 67-76.
- Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Gucel, S., & Tran, L. S. P. (2016). Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in plant science*, 7, 183720.
- Ahmad, P., Azooz, M. M., & Prasad, M. N. V. (Eds.). (2012). *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. Springer Science & Business Media.
- Al Hinai, M. S., Ullah, A., Al-Rajhi, R. S., & Farooq, M. (2022). Proline accumulation, ion homeostasis and antioxidant defence system alleviate salt stress and protect carbon assimilation in bread wheat genotypes of Omani origin. *Environmental and Experimental Botany*, 193, 104687.
- Ali, H. M., Siddiqui, M. H., Basalah, M. O., Al-Whaibi, M. H., Sakran, A. M., & Al-Amri, A. (2012). Effects of gibberellic acid on growth and photosynthetic pigments of *Hibiscus sabdariffa* L. under salt stress. *African Journal of Biotechnology*, 11(4), 800-804.
- Altuner, F., Erol, O. R. A. L., & Baran, I. (2022). Bazı Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Çeşitlerinde tuz (NaCl) stresinin çimlenme özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 39-50.
- Ambreen, S., Athar, H. U. R., Khan, A., Zafar, Z. U., Ayyaz, A., & Kalaji, H. M. (2021). Seed priming with proline improved photosystem II efficiency and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Plant Biology*, 21, 1-12.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), 1.

- Arslan, H., Güler, M., Cemek, B., & Demir, Y. (2007). Assessment of ground water quality in Bafra Plain for irrigation.
- Aryadeep Roychoudhury, A. R., Supratim Basu, S. B., & Sengupta, D. N. (2011). Amelioration of salinity stress by exogenously applied spermidine or spermine in three varieties of indica rice differing in their level of salt tolerance.
- Ashraf, M. F. M. R., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216.
- Ashraf, M. F. M. R., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216.
- Ashraf, M. H. P. J. C., & Harris, P. J. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51, 163-190.
- Ashraf, M., Nawazish, S., & Athar, H. U. R. (2007). Are chlorophyll fluorescence and photosynthetic capacity potential physiological determinants of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 39(4), 1123-1131.
- Atak, M. (2014). Ekmeklik buğday genotiplerinin çimlenme aşamasında oluşturulan tuz stresine tepkilerinin belirlenmesi. *MKÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 1-10.
- Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., ... & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, 13(1), 2895.
- Barata-Soares, A. D., Gomez, M. L., Mesquita, C. H. D., & Lajolo, F. M. (2004). Ascorbic acid biosynthesis: a precursor study on plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16, 147-154.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhriss, M., & Ben Abdullah, F. (2010). Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4216-4222.
- Benek, S. N. (2022). Vermikompost Ve Hüyük Asit Uygulamalarının Biber Fidesinin Kalitesine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, 67, Şanlıurfa.
- Benlioğlu, B., & Özkan, U. (2015). Bazı arpa çeşitlerinin (*Hordeum vulgare* L.) çimlenme dönemlerinde farklı dozlardaki tuz stresine tepkilerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 109-114.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., Nonogaki, H., Bewley, J. D., Bradford, K. J., ... & Nonogaki, H. (2013). Development and maturation. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*, 3rd Edition, 27-83.
- Bilgili, D., Mehmet, A. T. A. K., & Kazım, M. A. V. İ. (2018). Bazı ekmeklik buğday genotiplerinde NaCl stresinin çimlenme ve fide gelişimine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1), 85-96.
- Billingham, K. (2015). Humic products: potential or presumption for agriculture. *NSW Agriculture*.
- Boamah, S., Zhang, S., Xu, B., Li, T., Calderón-Urrea, A., & Tiika, R. J. (2022). *Trichoderma longibrachiatum* TG1 increases endogenous salicylic acid content and antioxidants activity in wheat seedlings under salinity stress. *PeerJ*, 10, e12923.

- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews*, 56(11), 317-333.
- Bruce, T. J., Matthes, M. C., Napier, J. A., & Pickett, J. A. (2007). Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant science*, 173(6), 603-608.
- Burritt, D. J. (2012). Proline and the cryopreservation of plant tissues: functions and practical applications. *Current frontiers in cryopreservation*, 10, 36249.
- 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., Strbac, D., & Marschner, H. (1993). Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. *Journal of experimental botany*, 44(1), 127-132.
- Canellas, L. P., Canellas, N. O., da S. Irineu, L. E. S., Olivares, F. L., & Piccolo, A. (2020). Plant chemical priming by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7, 1-17.
- Canellas, L. P., Dantas, D. J., Aguiar, N. O., Peres, L. E. P., Zsögön, A., Olivares, F. L., ... & Piccolo, A. (2011). Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. *Annals of Applied Biology*, 159(2), 202-211.
- Carmody, N., Goñi, O., & O’Connell, S. (2020). *Ascophyllum nodosum* extract biostimulant processing and its impact on enhancing heat stress tolerance during tomato fruit set. *Frontiers in plant science*, 11, 539106.
- Carrillo-Reche, J., Vallejo-Marín, M., & Quilliam, R. S. (2018). Quantifying the potential of ‘on-farm’ seed priming to increase crop performance in developing countries. A meta-analysis. *Agronomy for sustainable development*, 38(6), 64.
- Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of botany*, 103(4), 551-560.
- Chaves, M. S., Martinelli, J. A., Wesp-Guterres, C., Graichen, F. A. S., Brammer, S. P., Scagliusi, S. M., ... & Chaves, A. L. S. (2013). The importance for food security of maintaining rust resistance in wheat. *Food security*, 5, 157-176.
- Chelikani, P., Fita, I., & Loewen, P. C. (2004). Diversity of structures and properties among catalases. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 61, 192-208.
- Chen, H., & Jiang, J. G. (2010). Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environmental Reviews*, 18(NA), 309-319.
- Connell, J. P., & Mullet, J. E. (1986). Pea chloroplast glutathione reductase: purification and characterization. *Plant Physiology*, 82(2), 351-356.
- Çiçek, S., Kilercioğlu, B., Doğan, R., & Çarpıcı, E. B. (2018). Bazı ileri makarnalık buğday (*Triticum turgidum* var. durum L.) genotiplerinin çimlenme döneminde tuz stresine tepkileri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 19-29.
- Çöl, N., & Akınerdem, F. (2017). Patates bitkisinde (*Solanum tuberosum* L.) farklı miktarlardaki hümkik asit uygulamalarının verim ve verim unsurlarına etkisi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 31(3), 24-32.
- Dajic, Z. (2006). Salt stress. In *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants* (pp. 41-99). Dordrecht: Springer Netherlands.

- 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.
- de Melo, B. A. G., Motta, F. L., & Santana, M. H. A. (2016). Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. Materials Science and Engineering: C, 62, 967-974.
- Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G., & Schroeder, J. I. (2014). Plant salt-tolerance mechanisms. Trends in plant science, 19(6), 371-379.
- Desoky, E. S. M., Merwad, A. R. M., & Rady, M. M. (2018). Natural biostimulants improve saline soil characteristics and salt stressed-sorghum performance. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49(8), 967-983.
- Doğan, R., & Çarpıcı, E. B. (2015). Bazı makarnalık buğday (*Triticum turgidum* L.) genotiplerinin çimlenme döneminde tuz stresine tepkileri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(1), 47-56.
- Erdem, M. (2019). Hüyük asit, rizobakteri (pgpr) ve kimyasal gübre uygulamalarının bazı ekmeklik buğday (*triticum aestivum* ssp. *vulgare*) çeşitlerinde verim ve verim öğelerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, 72, Van.
- Erol, O. R. A. L., Altuner, F., Tunçtürk, R., & Baran, İ. (2019). Gibberellik asit ön uygulamasına tabi tutulmuş Triticale (x *Triticosecale* Wittmack)'de tuz (NaCl) stresinin çimlenme üzerine etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22, 235-242.
- Esfandiari, E. Shekari, F. Shekari, F. Esfandiari, M. (2007). The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 35(1). 48.
- Esfandiari, E., Enayati, V., & Pourmohammad, A. (2015). Some physiological and biochemical traits of two wheat cultivars subjected to salinity stress. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 25(3), 221-230.
- FAO (2019). Dünya Gıda ve Tarım Trendleri Raporu. Erişim tarihi: 06.03.2024. <https://www.fao.org/turkiye/tr/>
- Fardus, J., Matin, M. A., Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., & Hasanuzzaman, M. (2018). Salicylic acid-induced improvement in germination and growth parameters of wheat under salinity stress.
- Fink, R. C., & Scandalios, J. G. (2002). Molecular evolution and structure–function relationships of the superoxide dismutase gene families in angiosperms and their relationship to other eukaryotic and prokaryotic superoxide dismutases. Archives of Biochemistry and Biophysics, 399(1), 19-36.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant biology*, 6(03), 269-279.
- Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New phytologist*, 945-963.
- Flowers, T. J., Troke, P. F., & Yeo, A. R. (1977). The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual review of plant physiology*, 28(1), 89-121.
- Foyer, C. H., & Noctor, G. (2020). Redox homeostasis and signaling in a higher-CO2 world. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 157-182.

- Fuentes, M., Baigorri, R., González-Gaitano, G., & García-Mina, J. M. (2018). New methodology to assess the quantity and quality of humic substances in organic materials and commercial products for agriculture. *Journal of soils and sediments*, 18, 1389-1399.
- Gallie, D. R. (2013). L-ascorbic acid: a multifunctional molecule supporting plant growth and development. *Scientifica*, 2013.
- Garg, N., & Manchanda, G. J. P. B. (2009). ROS generation in plants: boon or bane?. *Plant Biosystems*, 143(1), 81-96.
- Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant physiology*, 59(2), 309-314.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., & Gimenez, E. (2019). Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. *Agronomy*, 9(7), 352.
- Giri, G. S., & Schillinger, W. F. (2003). Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. *Crop science*, 43(6), 2135-2141.
- Glušac, J., Isaschar-Ovdat, S., Fishman, A., & Kukavica, B. (2019). Partial characterization of bean and maize root peroxidases and their ability to crosslink potato protein. *Archives of Biological Sciences*, 71(2), 293-303.
- Gruszecki, Wiesław I., and Kazimierz Strzałka. "Carotenoids as modulators of lipid membrane physical properties." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease* 1740.2 (2005): 108-115.
- Guimarães, M. J. M., Simões, W. L., Barros, J. R. A., Willadino, L. G., & Erickson, R. (2020). Salinity decreases transpiration of sorghum plants. *Experimental Results*, 1, e14.
- Guo, X., Zhi, W., Feng, Y., Zhou, G., & Zhu, G. (2022). Seed priming improved salt-stressed sorghum growth by enhancing antioxidative defense. *Plos one*, 17(2), e0263036.
- Gupta, B., & Shrestha, J. (2023). Abiotic stress adaptation and tolerance mechanisms in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1278895.
- Güngör, H., Çıkkılı, Y., & Dumlupınar, Z. (2017). Bazı ticari ve yerel yulaf genotiplerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 263-267.
- Halliwell, B. (1987). Oxidative damage, lipid peroxidation and antioxidant protection in chloroplasts. *Chemistry and Physics of lipids*, 44(2-4), 327-340.
- Hannachi, S., Steppe, K., Eloudi, M., Mechi, L., Bahrini, I., & Van Labeke, M. C. (2022). Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant ('Bonica') and one sensitive ('Black beauty') eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants*, 11(5), 590.
- Hausladen, A., & Alscher, R. G. (1994). Purification and characterization of glutathione reductase isozymes specific for the state of cold hardiness of red spruce. *Plant physiology*, 105(1), 205-213.
- Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q., & Ahmad, A. (2008). Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of plant interactions*, 3(4), 297-304.
- Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*, 125(1), 189-198.

- Hernández Estévez, I., & Rodríguez Hernández, M. (2020). Plant glutathione S-transferases: An overview. *Plant Gene*, 23(3).
- Hiraga, S., Sasaki, K., Ito, H., Ohashi, Y., & Matsui, H. (2001). A large family of class III plant peroxidases. *Plant and Cell Physiology*, 42(5), 462-468.
- HongBo, S., ZongSuo, L., MingAn, S., ShiMeng, S., & ZanMin, H. (2005). Investigation on dynamic changes of photosynthetic characteristics of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes during two vegetative-growth stages at water deficits. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 43(3-4), 221-227.
- Horemans, N., Foyer, C. H., & Asard, H. (2000). Transport and action of ascorbate at the plant plasma membrane. *Trends in plant science*, 5(6), 263-267.
- 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.
- Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of plant nutrition and soil science*, 168(4), 541-549.
- Ibrahim, E. A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of plant physiology*, 192, 38-46.
- Imadi, S. R., & Kazi, A. G. (2015). Extraction of lignin from biomass for biofuel production. *Agricultural biomass based potential materials*, 391-402.
- İstanbulu, M., Aydemir, Ö. E., Akgün, M., & Özkutlu, F. (2020). Biberde (*Capsicum annum* L.) Humik Asit ve Çinko Uygulamasının Yeşil Aksamda Kuru Madde ve Çinko Miktarına Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(3), 612-617.
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2011). Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(5), 435-458.
- Jarošová, M., Klejdus, B., Kováčik, J., Babula, P., & Hedbavny, J. (2016). Humic acid protects barley against salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-9.
- Johnson, R., & Puthur, J. T. (2021). Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant physiology and biochemistry*, 162, 247-257.
- Kaur, G., & Asthir, B. J. B. P. (2015). Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia plantarum*, 59, 609-619.
- Kavı 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.
- Khan, M. S., Rizvi, A., Saif, S., & Zaidi, A. (2017). Phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable production of wheat: current perspective. *Probiotics in agroecosystem*, 51-81.
- Kiremit, M. S., & Arslan, H. (2018). Response of Leek (*Allium porrum* L.) to different irrigation water levels under rain shelter. *Communications in soil science and plant analysis*, 49(1), 99-108.
- Kiremit, M., Osman, H. M., & Arslan, H. (2023). Growth performance of sweet corn (*Zea mays convar. Saccharata* var. *Rugose*) plants under different groundwater depth and salinity conditions.
- Kumar, P., & Sharma, P. K. (2020). Soil salinity and food security in India. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 533781.

- Kutlu, I., & Gulmezoglu, N. (2023). Suitable humic acid application methods to maintain physiological and enzymatic properties of bean plants under salt stress. *Gesunde Pflanzen*, 75(4), 1075-1086.
- Laskosky, J. D., Mante, A. A., Zvomuya, F., Amarakoon, I., & Leskiw, L. (2020). A bioassay of long-term stockpiled salvaged soil amended with biochar, peat, and humalite. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1), e20068.
- Latique, S., Mrid, R. B., Kabach, I., Kchikich, A., Sammama, H., Yasri, A., ... & Selmaoui, K. (2021). Foliar application of *Ulva rigida* water extracts improves salinity tolerance in wheat (*Triticum durum* L.). *Agronomy*, 11(2), 265.
- Lehmann, S., Serrano, M., L'Haridon, F., Tjamos, S. E., & Metraux, J. P. (2015). Reactive oxygen species and plant resistance to fungal pathogens. *Phytochemistry*, 112, 54-62.
- Li, Y., Fang, F., Wei, J., Wu, X., Cui, R., Li, G., ... & Tan, D. (2019). Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: a three-year experiment. *Scientific reports*, 9(1), 12014.
- Lin, C. C., & Kao, C. H. (1999). NaCl induced changes in ionically bound peroxidase activity in roots of rice seedlings. *Plant and Soil*, 216, 147-153.
- Mahan, J. R., & Burke, J. J. (1987). Purification and characterization of glutathione reductase from corn mesophyll chloroplasts. *Physiologia Plantarum*, 71(3), 352-358.
- Mahboob, W., Khan, M. A., & Shirazi, M. U. (2016). Induction of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through exogenous application of proline. *Pak. J. Bot*, 48(3), 861-867.
- Maji, D., Misra, P., Singh, S., & Kalra, A. (2017). Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Applied soil ecology*, 110, 97-108.
- Marrs, K. A. (1996). The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants. *Annual review of plant biology*, 47(1), 127-158.
- Meganid, A. S., Al-Zahrani, H. S., & El-Metwally, M. S. (2015). Effect of humic acid application on growth and chlorophyll contents of common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress conditions. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 2651-2660.
- Merwad, A. R. M., Desoky, E. S. M., & Rady, M. M. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228, 132-144.
- Mignolet-Spruyt, L., Xu, E., Idänheimo, N., Hoeberichts, F. A., Mühlenbock, P., Brosché, M., ... & Kangasjärvi, J. (2016). Spreading the news: subcellular and organellar reactive oxygen species production and signalling. *Journal of experimental botany*, 67(13), 3831-3844.
- Mittal, S., Kumari, N., & Sharma, V. (2012). Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. *Plant physiology and biochemistry*, 54, 17-26.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Questions and future challenges. *Trends in Plant Science*, 10(9), 490-498.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in plant science*, 9(10), 490-498.
- Mortensen, A., Skibsted, L. H., & Truscott, T. G. (2001). The interaction of dietary carotenoids with radical species. *Archives of biochemistry and Biophysics*, 385(1), 13-19.

- Mujer, C. V., Mendoza, E. M. T., & Ramirez, D. A. (1983). Coconut peroxidase isoenzymes: isolation, partial purification and physicochemical properties. *Phytochemistry*, 22(6), 1335-1340.
- Muller, L., & Bohm, V. (2011). Antioxidant activity of β -carotene compounds in different in vitro assays. *Molecules*, 16(2), 1055-1069.
- Mullineaux, P. M., & Rausch, T. (2005). Glutathione, photosynthesis and the redox regulation of stress-responsive gene expression. *Photosynthesis research*, 86, 459-474.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Nardi, S., Ertani, A., & Francioso, O. (2017). Soil-root cross-talking: The role of humic substances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(1), 5-13.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73, 18-23.
- Ndiate, N. I., Zaman, Q. U., Francis, I. N., Dada, O. A., Rehman, A., Asif, M., ... & Haider, F. U. (2022). Soil amendment with arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves salinity tolerance, growth, and lipid metabolism of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Sustainability*, 14(6), 3210.
- Nigam, B., Dubey, R. S., & Rathore, D. (2022). Protective role of exogenously supplied salicylic acid and PGPB (*Stenotrophomonas* sp.) on spinach and soybean cultivars grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 293, 110654.
- Nijveldt, R. J., Van Nood, E. L. S., Van Hoorn, D. E., Boelens, P. G., Van Norren, K., & Van Leeuwen, P. A. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, 74(4), 418-425.
- Noctor, G., Reichheld, J. P., & Foyer, C. H. (2018, August). ROS-related redox regulation and signaling in plants. In *Seminars in cell & developmental biology* (Vol. 80, pp. 3-12). Academic Press.
- Noman Habib, M. A., & Shahbaz, M. (2013). Effect of exogenously applied nitric oxide on some key physiological attributes of rice (*Oryza sativa* L.) plants under salt stress. *Pak. J. Bot*, 45(5), 1563-1569.
- Noreen, S., Fatima, Z., Ahmad, S., Athar, H. U. R., & Ashraf, M. (2018). Foliar application of micronutrients in mitigating abiotic stress in crop plants. *Plant nutrients and abiotic stress tolerance*, 95-117.
- Olaetxea, M., De Hita, D., Garcia, C. A., Fuentes, M., Baigorri, R., Mora, V., ... & Garcia-Mina, J. M. (2018). Hypothetical framework integrating the main mechanisms involved in the promoting action of rhizospheric humic substances on plant root-and shoot-growth. *Applied Soil Ecology*, 123, 521-537.
- Öner, F., Özkorkmaz, F., & Yılmaz, N. (2018). Tuz stresi altında gibberellik asit uygulamalarının yulafta bazı çimlenme parametreleri üzerine etkisi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(1), 33-35.
- Özkorkmaz, F., & Fatih, Ö. N. E. R. (2022). Salisilik Asit Uygulamalarının Tuz Stresi Altındaki Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Çeşitlerinde Çimlenme ve Tohum Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(2), 119-134.

- Pan, S. M., & Yau, Y. Y. (1992). Characterization of superoxide dismutase in Arabidopsis. *Taiwania*, 37(1), 58-66.
- Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M. A. L. A. K. A., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant cell reports*, 34, 1281-1293.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
- Passaia, G., & Margis-Pinheiro, M. (2015). Glutathione peroxidases as redox sensor proteins in plant cells. *Plant Science*, 234, 22-26.
- Pessarakli, M., & Szabolcs, I. (2019). Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors. In *Handbook of Plant and Crop Stress*, Fourth Edition (pp. 3-21). CRC press.
- Pessarakli, M., Tucker, T. C., & Nakabayashi, K. (1991). Growth response of barley and wheat to salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 14(4), 331-340.
- Petrov, V., Hille, J., Mueller-Roeber, B., & Gechev, T. S. (2015). ROS-mediated abiotic stress-induced programmed cell death in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 125003.
- Polovka, M., Brezová, V., & Staško, A. (2003). Antioxidant properties of tea investigated by EPR spectroscopy. *Biophysical Chemistry*, 106(1), 39-56.
- 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.
- Qin, C., Ahanger, M. A., Zhou, J., Ahmed, N., Wei, C., Yuan, S., ... & Zhang, L. (2020). Beneficial role of acetylcholine in chlorophyll metabolism and photosynthetic gas exchange in *Nicotiana benthamiana* seedlings under salinity stress. *Plant Biology*, 22(3), 357-365.
- Rady, M. M., Kuşvuran, A., Alharby, H. F., Alzahrani, Y., & Kuşvuran, S. (2019). Pretreatment with proline or an organic bio-stimulant induces salt tolerance in wheat plants by improving antioxidant redox state and enzymatic activities and reducing the oxidative stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 449-462.
- Rady, M. M., Varma, B., & Howladar, S. M. (2013). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in *Moringa oleifera* leaf extract. *Scientia Horticulturae*, 162, 63-70.
- Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Razmjoo, J., & Eshghizadeh, H. (2019). Effect of exogenous application of salicylic acid on salt-stressed sorghum growth and nutrient contents. *Journal of plant nutrition*, 42(11-12), 1333-1349.
- Ramírez, L., Bartoli, C. G., & Lamattina, L. (2013). Glutathione and ascorbic acid protect Arabidopsis plants against detrimental effects of iron deficiency. *Journal of experimental botany*, 64(11), 3169-3178.
- Rao, A. Ahmad, S. D. Sabir, S. M. Awan, S. I. Shah, A. H. Abbas, S. R. Shafique, F. K. Chaudhary, A. (2013). Potential antioxidant activities improve salt tolerance in ten varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.). *American Journal of Plant Sciences*. 4(6A). 69-76.
- Rhoades, J. D., Kandish, A., & Mashali, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production.
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., & Schellnhuber, H. J. (2017). A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355(6331), 1269-1271.

- Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., & Cavagnaro, T. R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Advances in agronomy*, 124, 37-89.
- Roychoudhury, A., Basu, S., & Sengupta, D. N. (2011). Amelioration of salinity stress by exogenously applied spermidine or spermine in three varieties of indica rice differing in their level of salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 168(4), 317-328.
- Royo, A., & Abi6, D. (2003). Salt tolerance in durum wheat cultivars. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(3), 27-36.
- Ruan, H. H., Shen, W. B., & Xu, L. L. (2004). Nitric oxide modulates the activities of plasma membrane H⁺-ATPase and PPase in wheat seedling roots and promotes the salt tolerance against salt stress. *ACTA BOTANICA SINICA-ENGLISH EDITION*, 46(4), 415-422.
- Sabeh, F., Wright, T., & Norton, S. J. (1993). Purification and characterization of a glutathione peroxidase from the Aloe vera plant. *Enzyme and protein*, 47(2), 92-98.
- Saberali, S. F., & Moradi, M. (2019). Effect of salinity on germination and seedling growth of *Trigonella foenum-graecum*, *Dracocephalum moldavica*, *Satureja hortensis* and *Anethum graveolens*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 316-323.
- Saddiq, M. S., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Ibrahim, A. M., Raza, A., Fatima, E. M., ... & Ciarmiello, L. F. (2021). Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*, 11(6), 1193.
- Sayar, R., Bchini, H., Mosbahi, M., & Khemira, H. (2010). Response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) growth to salt and drought stresses. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46(2), 54-63.
- Schulz, G. E., Schirmer, R. H., Sachsenheimer, W., & Pai, E. F. (1978). The structure of the flavoenzyme glutathione reductase. *Nature*, 273(5658), 120-124.
- Seleiman, M. F., Almutairi, K. F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B. A., & Battaglia, M. L. (2020). Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: Why can modern agriculture benefit from its use?. *Plants*, 10(1), 2.
- Sezer, I., Kiremit, M. S., 6zt6rk, E., Subrata, B. A. G., Osman, H. M., Akay, H., & Arslan, H. (2021). Role of melatonin in improving leaf mineral content and growth of sweet corn seedlings under different soil salinity levels. *Scientia Horticulturae*, 288, 110376.
- Shah, Z. H., Rehman, H. M., Akhtar, T., Yang, S. H., & Chung, G. (2018). Humic substances: Determining potential molecular regulatory processes in plants. *Frontiers in plant science*, 9, 326723.
- Shahid, S., Shahbaz, M., Maqsood, M. F., Farhat, F., Zulfiqar, U., Javed, T., ... & Alamri, A. S. (2022). Proline-induced modifications in morpho-physiological, biochemical and yield attributes of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars under salt stress. *Sustainability*, 14(20), 13579.
- Shamsul Hayat, S. H., Qaiser Hayat, Q. H., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Aqil Ahmad, A. A. (2012). Role of proline under changing environments: a review.
- Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H. J., Duveiller, E., Reynolds, M., & Muricho, G. (2013). Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5, 291-317.
- Signorelli, S. (2016). The fermentation analogy: a point of view for understanding the intriguing role of proline accumulation in stressed plants. *Frontiers in Plant Science*, 7, 213126.

- Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38(1), 39-67.
- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in environmental science and bio/technology*, 14, 407-426.
- Singh, M., Singh, A. K., Nehal, N., & Sharma, N. (2018). Effect of proline on germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2449-2452.
- Singh, P. K., & Gautam, S. (2013). Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. *Acta physiologiae plantarum*, 35, 2345-2353.
- Singh, S., & Jakhar, S. (2018). 24-Epibrassinolide Mediated Changes on Germination and Early Seedling Parameters of *Vigna Mungo* (L). Hepper Var. Shekhar-2 under Salinity Stress. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 41(1).
- Skłódowska, M., Gapińska, M., Gajewska, E., & Gabara, B. (2009). Tocopherol content and enzymatic antioxidant activities in chloroplasts from NaCl-stressed tomato plants. *Acta physiologiae plantarum*, 31, 393-400.
- Sripinyowanich, S., Klomsakul, P., Boonburapong, B., Bangyeekhun, T., Asami, T., Gu, H., ... & Chadchawan, S. (2013). Exogenous ABA induces salt tolerance in indica rice (*Oryza sativa* L.): the role of OsP5CS1 and OsP5CR gene expression during salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 86, 94-105.
- Stahl, W., & Sies, H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular aspects of medicine*, 24(6), 345-351.
- Stephenie, S., Chang, Y. P., Gnanasekaran, A., Esa, N. M., & Gnanaraj, C. (2020). An insight on superoxide dismutase (SOD) from plants for mammalian health enhancement. *Journal of Functional Foods*, 68, 103917.
- Szabados, L., & Saviouré, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*, 15(2), 89-97.
- Szabados, L., & Saviouré, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*, 15(2), 89-97.
- Szarka, A., Tomasskovics, B., & Bánhegyi, G. (2012). The ascorbate-glutathione- α -tocopherol triad in abiotic stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(4), 4458-4483.
- 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.
- Tanou, G., Fotopoulos, V., & Molassiotis, A. (2012). Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 3, 31211.
- Temizgul, R., Kaplan, M., Kara, R., Yilmaz, S. (2016). Effects of salt concentrations on antioxidant enzyme activity of grain sorghum. *Current Trends in Natural Sciences*. 5(9). 171-178.
- TMMOB (2018). Bitki Sağlığı Hizmetleri. Erişim tarihi: 06.03.2024
<https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitki-Sagligi-Hizmetleri/Zirai-Mucadele>

- Topçu, G. D., & Özkan, Ş. S. (2017). Farklı tuz (NaCl) konsantrasyonlarının bazı arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerinin çimlenme özelliklerine etkisinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 37-43.
- Tuna, A. L., & Eroğlu, B. (2017). Tuz stresi altındaki biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinde bazı organik ve inorganik bileşiklerin antioksidatif sisteme etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1), 121-131.
- Tuncur, R., Kipcak, S., Ghiyasi, M., & Tuncur, M. (2019). The determination of gibberellic acid effects on seed germination of *Echinacea purpurea* (L.) Moench under salt stress. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 3(2), 101-105.
- Tunçtürk, M., Tunçtürk, R., Erol, O. R. A. L., & Baran, İ. (2020). Humik asitin baklada (*Vicia faba* L.) tuz (NaCl) stresinin azaltılması üzerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 2168-2179.
- TÜİK (2023). Bitkisel üretim istatistikleri. Erişim tarihi: 06.03.2024. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2023-4953>
- USDA (2019). Dünya Buğday Üretim ve Ekim Alanı Raporu, 2023/24. Erişim tarihi: 06.03.24. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr>
- Vaish, S., Gupta, D., Mehrotra, R., Mehrotra, S., & Basantani, M. K. (2020). Glutathione S-transferase: a versatile protein family. *3 Biotech*, 10, 1-19.
- Van Hoorn, J. W. (1991). Development of soil salinity during germination and early seedling growth and its effect on several crops. *Agricultural Water Management*, 20(1), 17-28.
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., & Zhu, J. K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45(4), 523-539.
- Wajid Mahboob, W. M., Khan, M. A., & Shirazi, M. U. (2016). Induction of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through exogenous application of proline.
- Wang, X., Wang, J., Liu, H., Zou, D., & Zhao, H. (2013). Influence of natural saline-alkali stress on chlorophyll content and chloroplast ultrastructure of two contrasting rice (*Oryza sativa* L. japonica) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 7(2), 289-292.
- Wang, Z., Tang, S. F., & Hou, X. (2020). Glutathione peroxidase 6 from *Arabidopsis thaliana* as potential biomarker for plants exposure assessment to di-(2-ethylhexyl) phthalate. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 229, 117955.
- Witham, F. H., Blaydes, D. F., & Devlin, R. M. (1971). *Experiments in plant physiology*.
- Wu, S., Li, R., Peng, S., Liu, Q., & Zhu, X. (2017, June). Effect of humic acid on transformation of soil heavy metals. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 207, No. 1, p. 012089). IOP Publishing.
- Wu, X. X., Ding, H. D., Chen, J. L., Zhang, H. J., & Zhu, W. M. (2010). Attenuation of salt-induced changes in photosynthesis by exogenous nitric oxide in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. L.) seedlings. *African Journal of Biotechnology*, 9(46), 7837-7846.
- Xu, Z., Jiang, Y., & Zhou, G. (2015). Response and adaptation of photosynthesis, respiration, and antioxidant systems to elevated CO₂ with environmental stress in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 159764.
- Yadav, S. P., Bharadwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K., & Prasad, S. K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. *Int. J. Chem. Stud*, 7(2), 1793-1798.

- Yan ZhiMing, Y. Z., Guo ShiRong, G. S., Shu Sheng, S. S., Sun Jin, S. J., & Tezuka, T. (2011). Effects of proline on photosynthesis, root reactive oxygen species (ROS) metabolism in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.) under NaCl stress.
- Yan, Z., Guo, S., Shu, S., Sun, J., & Tezuka, T. (2011). Effects of proline on photosynthesis, root reactive oxygen species (ROS) metabolism in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.) under NaCl stress. *African Journal of Biotechnology*, 10(80), 18381-18390.
- Yang, F., Tang, C., & Antonietti, M. (2021). Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*, 50(10), 6221-6239.
- Yılmaz, M., Doğru, A., & Kıldış, M. H. (2021). Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Bazı Serin İklim Çim Alan Buğdaygillerinin Çimlenmesi ve Sürgün Gelişimi Üzerine Etkileri. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(2), 66-77.
- Yoon, J. Y., Hamayun, M., Lee, S. K., & Lee, I. J. (2009). Methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 12, 63-68.
- Yurtseven, E., Öztürk, A., Kadayıfçı, A., & Bülent, A. Y. A. N. (1996). Sulama Suyu Tuzluluğunun Biberde *Capsicum* atmam Farklı Gelişme Dönemlerinde Bazı Verim Parametrelerine Etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 2(02), 5-10.
- Zadeh, S. Y., Ramin, A. A., & Baninasab, B. (2015). Effect of gibberellic acid, stratification and salinity on seed germination of cv. Magnus. *Herba Polonica*, 61(3), 13-22.
- Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia plantarum*, 162(1), 2-12.

ÖZ GEÇMİŞ

Betül MİTROVİCA, Gjon Bozuku Fen Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji bölümünden 27.06.2022 tarihinde mezun oldu. 2022 yılında OMÜ LEE Tarımsal Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi.

İletişim Bilgileri

ORCID ID: 0000-0002-6229-6172

Yayınlar:

1. Dudak, S. B., Kübra, I. Ş. I. K., Mitrovica, B., Soydan, E., ve Ekinci, D. (2023). Purification of Glutathione Reductase Enzyme from Whiting Fish Gill Tissue and Investigation of Metal Inhibition. Black Sea Journal of Agriculture, 6(6), 610-614.
2. Ömer, T. A. Ş., Mitrovica, B., ve Ekinci, D. (2022). Characterization of Catalase Enzyme from Leaf Tissue of Aronia (Aronia melanocarpa) Plant. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 38(1), 199-208.
3. Mitrovica, B., Ekinci, D., ve Kiremit, M. S. (2023, September). Effects Of Proline And Humic Acid Applications On Stress Tolerance Indices Of Wheat Seeds Under Different Soil Salinity Levels. In Agrabalkan 2023 V. Balkan Agricultural Congress (P. 247).