

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
GIDA TARIM VE HAYVANCILIĞI GELİŞTİRME ENSTİTÜSÜ
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE GIDA SİSTEMLERİ ANABİLİM
DALI
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE GIDA SİSTEMLERİ
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

MİKROBİYAL GÜBREYLE BÜYÜTÜLEN ASPIR BİTKİSİNİN
(*Carthamus tinctorius* L.) TUZ STRESİ ALTINDA FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

Sena Yaren SARICAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA- 2024

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
GIDA TARIM VE HAYVANCILIĞI GELİŞTİRME ENSTİTÜSÜ
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE GIDA SİSTEMLERİ ANABİLİM
DALI
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE GIDA SİSTEMLERİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI

MİKROBİYAL GÜBREYLE BÜYÜTÜLEN ASPİR BİTKİSİNİN
(*Carthamus tinctorius* L.) TUZ STRESİ ALTINDA FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

Sena Yaren SARICAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Füsun EYİDOĞAN

ANKARA- 2024

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
GIDA TARIM VE HAYVANCILIĞI GELİŞTİRME ENSTİTÜSÜ

Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemleri Anabilim Dalı Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemleri Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Sena Yaren Sarıcan tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 26 / 08 / 2024

Tez Adı: Mikrobiyal Gübreyle Büyütülen Aspir Bitkisinin (*Carthamus tinctorius* L.) Tuz Stresi Altında Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerinin İncelenmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı- Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. Ahmet ÇABUK, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Prof. Dr. Füsun EYİDOĞAN, Başkent Üniversitesi

Prof. Dr. Özlem DARCANSOY İŞERİ, Başkent Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Özlem DARCANSOY İŞERİ

Gıda Tarım ve Hayvancılığı Geliştirme Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
GIDA TARIM VE HAYVANCILIĞI GELİŞTİRME ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 10 / 09 / 2024

Öğrencinin Adı, Soyadı: Sena Yaren SARICAN

Öğrencinin Numarası: 22120167

Anabilim Dalı: Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemleri

Programı: Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemleri

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Füsun EYİDOĞAN

Tez Başlığı: Mikrobiyal Gübreyle Büyütülen Aspir Bitkisinin (*Carthamus tinctorius* L.) Tuz Stresi Altında Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerinin İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 69 sayfalık kısmına ilişkin, 10 / 09 / 2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: ... / ... /

Öğrenci Danışmanı Unvan, Ad, Soyad, İmza:

Prof. Dr. Füsun EYİDOĞAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başladığım ilk günden itibaren bana sabır ve titizlikle destek veren, bilgi ve deneyimlerini cömertçe paylaşan, her daim güler yüzünü eksik etmeyen değerli hocam Prof. Dr. Füsun EYİDOĞAN'a, tezimi başarıyla hazırlamamda büyük katkı sağladığı için içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın tüm aşamasındaki deneylerimde büyük katkı sağlayan, tüm sorularımı bıkmadan cevaplayan değerli hocam Öğr. Gör. Gülşah ÇALIK KOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma Başkent Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Yüksek lisans sürecimde bana olan sonsuz destekleri için aileme gönülden teşekkür ederim.

ÖZET

Sena Yaren SARICAN

MİKROBİYAL GÜBREYLE BÜYÜTÜLEN ASPİR BİTKİSİNİN (*Carthamus tinctorius* L.) TUZ STRESİ ALTINDA FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Başkent Üniversitesi Gıda Tarım ve Hayvancılık Geliştirme Enstitüsü Sürdürülebilir Tarım ve Gıda Sistemleri Tezli Yüksek Lisans Programı

2024

Bu araştırmanın amacı, tuz stresine toleransı olan aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinin iki farklı çeşidinin (Asol, Linas) hem mikrobiyal gübre hem de tuzluluk koşullarındaki fide ve tohum gelişiminin incelenmesidir.

Çimlenme ve fide gelişimi için farklı NaCl konsantrasyonlarına maruz bırakılan (0, 100 ve 150 mM NaCl) aspir çeşitlerinin tohumlarına tuz stresine ek olarak mikrobiyal gübrenin hem kontrol grubuna hem de tuzla birlikte farklı kombinasyonlardaki gruplara gübre uygulaması yapılmıştır. Uygulamada kullanılan mikrobiyal gübre, canlı halde *Azotobacter vinelandii* ve *Bacillus megaterium* bakterilerini barındırmaktadır.

Yüksek tuz derişimleri altında tohum çimlenme oranı, sürgün uzunluğu, bağıl su içeriklerinde (RWC) ve pigment ölçüm değerleri olumsuz etkilenmiştir. Klorofil a ve klorofil b miktarlarında tuzluluğun artmasıyla azalma saptanmıştır. Benzer sonuçlar antosiyanin pigmenti için de görülmüştür. Fakat karotenoid pigmentinde ve yaş ve kuru ağırlık değerlerinde gruplar arasında herhangi bir farklılık saptanamamıştır. Tuz stresi altında gübre uygulaması yapıldığında, erken gelişim evresinde gübrenin önemli düzeyde olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. Artan tuz stresiyile birlikte malondialdehit (MDA) değerleri ciddi ölçüde artmıştır. Strese karşı oluşan savunma sistemi olarak tanımlanabilen antioksidan enzimlerinden katalaz (CAT) aktivitesi değerlerinde azalma, askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi değerlerinde ise uygulama grubuna göre etkilerin değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Sonuçlar her iki çeşidin strese karşı toleransının farklı olduğunu ve mikrobiyal gübre uygulamasının her iki çeşitte farklı etki gösterdiğini ortaya koymaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), mikrobiyal gübre, Asol, Linas, NaCl

Bu araştırma Başkent Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (B, BAP, Proje Numarası: 2023030005).



ABSTRACT

Sena Yaren SARICAN

**INVESTIGATION OF PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES OF
SAFFLOWER PLANT (*Carthamus tinctorius* L.) GROWN WITH MICROBIAL
FERTILIZER UNDER SALT STRESS**

Başkent University Food Agriculture and Livestock Development Institute

**Department of Master's of Sustainable Agriculture and Food Systems with Thesis
2024**

The aim of this study is to investigate the seedling and seed development of two different varieties (Asol, Linas) of the salt stress-resistant safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plant under both microbial fertilizer and salinity conditions.

For germination and seedling development, seeds were grown at 20-24°C and exposed to different NaCl concentrations (0, 100 and 150 mM NaCl). In addition to salt stress, microbial fertilizer was applied to both the control group and the groups with different combinations of fertilizer and salt. The microbial fertilizer used in the application contained live *Azotobacter vinelandii* and *Bacillus megaterium* bacteria.

Seedling germination rate, shoot length, relative water content and pigment measurement values were negatively affected under high salt concentrations. A decrease in chlorophyll a and chlorophyll b amounts was detected with increasing salinity. Similar results were also seen for anthocyanin pigment. However, no difference was detected between the groups in the carotenoid pigment and fresh and dry weight values of the seedlings. Malondialdehyde (MDA) values increased significantly with increasing salt stress. It was observed that there was a decrease in catalase (CAT) activity values, which can be defined as the defense system formed against stress, and that microbial fertilizer caused an increase in enzyme activity in ascorbate peroxidase (APX) activity values. The results show that both varieties have different tolerance to stress and that microbial fertilizer application has different effects on both varieties.

KEYWORDS: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), microbial fertilizer, Asol, Linas, NaCl

This research was supported by Başkent University Scientific Research Projects Coordination Unit (BÜ, BAP, Project Number: 2023030005).



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Aspir (<i>Carthamus tinctorius</i> L.).....	4
2.1.1. Botanik özellikler.....	5
2.1.2. Aspirin besin değeri ve kimyasal içeriği.....	6
2.1.3. Aspir bitkisinin sağlık üzerine etkileri ve endüstride kullanım alanları	9
2.1.4. Dünyada ve Türkiye'de Üretimi	10
2.2. Bitkilerde Gübre Uygulamaları	13
2.2.1. Mikrobiyal gübre kullanımı	14
2.3. Stres Faktörleri.....	17
2.3.1 Kuraklık stresi	19
2.3.2 Sıcaklık stresi	20
2.3.3 Radyasyon stresi.....	20
2.3.4 Tuz stresi	21
2.3.5. Tuz stresinin aspir bitkisi üzerine etkisi	22
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Bitki materyali ve mikrobiyal gübre	29
3.1.2. Tuz stresi uygulaması.....	30
3.2. Metot.....	30
3.2.1. Bitki yetiştirme ortamı ve çalışma gruplarının belirlenmesi.....	30
3.2.2. Ölçüm ve analizler	32
3.2.2.1. Morfolojik ölçümler	32
3.2.2.1.1. Çimlenme oranı	32
3.2.2.1.2. Sürgün uzunluğu	33

3.2.2.1.3. Yaş ve kuru ağırlık ölçümleri.....	33
3.2.2.2. Fizyolojik ve biyokimyasal ölçümler	33
3.2.2.2.1. Bağlı su içeriğinin (RWC) ölçülmesi	34
3.2.2.2.2. Malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi	34
3.2.2.3. Fotokimyasal ölçümler.....	35
3.2.2.3.1. Klorofil pigment miktarının belirlenmesi	35
3.2.2.3.2. Antosiyanin pigment miktarının belirlenmesi.....	35
3.2.2.4. Enzim aktivitesinin belirlenmesi.....	36
3.2.2.4.1. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesinin belirlenmesi	36
3.2.2.4.2. Katalaz (CAT) aktivitesinin belirlenmesi	36
3.2.2.5. İstatistiksel analizler	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
4.1. Morfolojik ölçümler	38
4.1.1. Çimlenme oranı	38
4.1.2. Sürgün uzunluğu	40
4.1.3. Yaş ve kuru ağırlık ölçümleri.....	43
4.2. Fizyolojik ve Biyokimyasal Ölçümler	45
4.2.1. Bağlı su içeriğinin (RWC) ölçülmesi.....	46
4.2.2. Malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi	47
4.3. Fotokimyasal Ölçümler.....	52
4.3.1. Klorofil pigment miktarının belirlenmesi	52
4.3.2. Antosiyanin pigment miktarının belirlenmesi	57
4.4. Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi.....	59
4.4.1. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesinin belirlenmesi	59
4.4.2. Katalaz (CAT) aktivitesinin belirlenmesi.....	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	70

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Deney deseninde kullanılan türlerin tarımsal özellikleri.....	6
Tablo 2.2. Öğütölmüş aspir tohumlarının kalorisi ve kimyasal bileşimi	7
Tablo 2.3. Öğütölmüş aspir tohumunun amino asit içeriğı ve ideal protein miktarına göre amino asit skoru.....	8
Tablo 2.4. Öğütölen aspir tohumlarının yağ asidi içeriğı	9
Tablo 2.5. Aspir bitkisinin Türkiye’deki gelişimi	12
Tablo 2.6. Asol, Balcı, Linas ve Olas aspir türlerinin çimlenme değeri	25
Tablo 3.1. Ekim desenindeki gruplar.....	31
Tablo 4.1. Sürgün uzunluk verileri	41
Tablo 4.2. Ağırlık değışim verileri	44
Tablo 4.3. RWC değeri	46
Tablo 4.4. MDA kök örneklerinin analiz değeri	48
Tablo 4.5. MDA yaprak örneklerinin analiz değeri	49
Tablo 4.6. Klorofil a değeri	54
Tablo 4.7. Klorofil b değeri.....	55
Tablo 4.8. Karotenoid miktarları	56
Tablo 4.9. Antosiyanin değeri	58
Tablo 4.10. Köklerdeki APX aktivitesi değeri	61
Tablo 4.11. Yapraklardaki APX aktivitesi değeri	62
Tablo 4.12. Köklerdeki CAT aktivitesi değeri	64
Tablo 4.13. Yapraklardaki CAT aktivitesi değeri	65

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. (A) Aspir çiçeği ve (B) kurutulmuş aspir çiçeği	4
Şekil 2.2. Aspir bitkisinin gelişim evreleri	5
Şekil 2.3. Dünyada 2022 yılı aspir hasadı yapılan alan miktarı (hektar)	11
Şekil 2.4. Yıllara göre aspir üretim miktarı (ton)	12
Şekil 2.5. Bitkilerde stres faktörleri.....	18
Şekil 2.6. Abiyotik stres karşısında bitkilerin tepkileri	18
Şekil 2.7. Tuz stresine maruz kalma anında ROT sinyal iletimi	22
Şekil 3.1. Mikrobiyal gübre.....	29
Şekil 3.2. Aspir tohumlarının ekim günü	31
Şekil 3.3. 14 günlük aspir fidelerinin görüntüsü	31
Şekil 3.4. 21 günlük aspir fidelerinin görüntüsü	32
Şekil 3.5. Fidelerin uzunluk ölçümleri	33
Şekil 3.6. APX enzim aktivitesinin ölçülmesi.....	36
Şekil 4.1. Asol ve Linas tohumlarının çimlenme oranı	39

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

APX	Askorbat peroksidaz
CAT	Katalaz
cm	Santimetre
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
g	Gram
HSFA	Hidroksisafloor A
KA	Kuru ağırlık
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
Kl _a	Klorofil a
Kl _b	Klorofil b
L	Litre
LA	Linoleik asit
MDA	Malondialdehit
mg	Miligram
miRNA	Mikro ribonükleik asit
mL	Mililitre
mM	Milimolar
MUFA	Tekli doymamış yağ asitleri
NaCl	Sodyum klorür
PG	Fosfojips
PPO	Polifenol oksidaz
PUFA	Çoklu doymamış yağ asitleri
ROT	Reaktif oksijen türleri
RWC	Relative water content (Bağıl su içeriği)
TA	Turgorlu ağırlık
UV	Ultraviyole
YA	Yaş ağırlık

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (Food and Agriculture Organization-FAO)'nın verilerine [1] göre dünya nüfusunda meydana gelen artışın etkisiyle 2021 yılında, 767,9 milyon insanın açlıkla mücadele ettiği ifade edilmektedir. Bu doğrultuda; gıda güvencesi, açlık, yetersiz ve dengesiz beslenme gibi konulara olan çözüm arayışlarının önümüzdeki yıllarda artış göstermesi beklenmektedir [2]. Mevcut gıda üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve/veya yeni üretim metotlarının keşfedilmesi için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmaların mevcut gıda üretiminde olumlu sonuçlar yaratabileceği düşünülmektedir. Ancak, tüm nüfusa yetecek kadar gıdanın üretilmesi ve mahsullerin iyileştirilmesi için verimli tarım alanlarının sınırlı olması önemli bir zorluktur.

Birleşmiş Milletlerin ortaya koyduğu 17 sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında, sürdürülebilir kalkınma için temel amaçlardan biri “Açlığa Son” başlığı ile dünyadaki açlığı sona erdirerek dünya nüfusunun tamamının güvenli gıdaya ulaşmasını ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının arttırılmasını sağlamaktır [3]. Bunun yanı sıra, Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine, topraktaki tuzluluğun azaltılmasına yönelik stratejilerinin de entegre edilmesi önemli bir öneri niteliği taşımaktadır.

Endüstriyel olarak yüksek öneme sahip aspir (*Carthamus tinctorius* L.), tohumlarından gövdesine, yapraklarından çiçeklerine kadar tüm bölümleri ile farklı kullanım alanlarına sahip bir bitkidir. Yakın Doğu Asya'da sıklıkla kullanılan ve yerli bir tür olan aspir, kayıtlara ilk olarak Avrupa'da MÖ 5800'de geçmiştir [4]. Özellikle yağlık tohum olması kışlık kullanım için kuzey ülkelerde büyük önem taşımaktadır [5]. Aspir bitkisinin çevresel uyumunun yüksek olması, besinsel ihtiyacının düşük olması, yüksek bitki gücü, değişken toprak koşullarına adaptasyonu ve soğuk hava şartlarına karşı yüksek toleransı nedeniyle üreticilerin ilgisini çekerken, bilimsel çalışmalar için de yüksek potansiyel taşımaktadır [6]. Abiyotik çevresel faktörlere karşı bitkiler farklı metabolik yollar ile tolerans göstermeye çalışırlar. Verilen tepkiler stres faktörünün boyutuna ve bitkinin genetik ve ontojenik özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Bu sayede de bulundukları çevreye uyum sağlamaya çalışırlar. Farklı yağlık bitkilere göre aspir bitkisinin iklim ve toprak istekleri daha az olup kuraklığa dayanıklı bir bitkidir [7]. Özelliklerine bakıldığında, diğer bitkilere göre stres

faktörlerine tolerans gösterebilecek bir bitki olduğu söylenebilir. Abiyotik stresler arasında doğada en sık görülen streslerden biri olan tuz stresi, ozmotik ve iyonik streslerin birleşimini oluşturur [8]. Ozmotik stres ile tuz stresinin bitkiler üzerinde benzer etkiler gösterdiği görülmektedir [9].

Dünyada tuzun etkilediği topraklar, 17 milyon km²'lik tarım alanına eşittir. 17 milyon km²'lik alanın ise yalnızca 2 milyon km²'si ekim için elverişlidir [10]. FAO'nun 2021 yılı verilerindeki tuzluluktan etkilenen toprakların ülke odaklı küresel haritası olan GSASmap'e [11] göre, tuzluluktan etkilenen toprakların küresel alanı 0 ila 30 cm arasını oluşturan üst toprak için yaklaşık olarak 424 milyon hektar ve 30 ila 100 cm arasındaki bölgeyi ifade eden alt toprak için yaklaşık olarak 833 milyon hektardan fazladır. Tuzlu toprağın temel bileşeni sodyum klorürdür (NaCl). NaCl'ün artışından kaynaklı oluşan tuzluluk, bitkinin topraktan alacağı suyun miktarını kısıtlayarak besin maddelerinin alımını engelleyebilir [12]. Tuz stresinin, bitkilerin üzerinde gösterdiği ilk etki, kullanabileceği su miktarının azalmasıyla ozmotik stresin ortaya çıkması olarak belirtilir [13].

Kurak iklime sahip ülkeler için özellikle topraktaki tuzluluk, tarımsal verimliliğin önündeki en temel engellerden biridir [14]. Topraktaki tuz, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısına ciddi zararlar verir. Sera gazı emisyonlarını artırır, ekosistemde karbon ve azot döngülerine kadar sorun yaratarak, ciddi ekonomik sorunlara sebebiyet verebilir [15]. Bazı tarım alanlarında, tuzluluğun artması, toprağın çölleşmesine bile neden olabilir. Tarım alanlarındaki aşırı tuz; bitkilerin su alma kapasitesini etkileyerek su stresine ve büyümede azalmaya neden olurken, mahsul verimini düşürür. Topraktaki tuz miktarı arttıkça toprak alkali hale gelir. Yüksek pH'a sahip tuzlu topraklar, içeriğindeki besin maddelerinin bitkiye ulaşmasını etkiler. Bu durumda, topraktaki bazı besinler bitki tarafından daha az kullanılabilirken bazıları ise bitki için toksik seviyelerde birikim gösterebilir [16]. Yüksek miktarlardaki tuz koşullarında yetişen bitkiler gelişimi sırasında ciddi engellerle karşılaşmaktadır [17]. Aspir bitkisinin içeriğinde bulunan, antibakteriyel, antiinflamatuvar ve antioksidan özelliklere sahip olan hidroksisafloor A (H.S.F.A.), oksidatif strese maruz kalan bitkinin hayatta kalma şansını arttırmaktadır [18]. Bu özellik sayesinde aspir bitkisi stres toleransı bakımından oldukça özeldir.

Aspir bitkisinin çevresine karşı olan yüksek uyumu ve dirençli yapısı nedeniyle tuzlu topraklarda yetiştirilebilecek potansiyele sahip bir bitki olduğu düşünülmektedir. Bu

nedenle, bu tez çalışmasında aspir bitkisi tercih edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, sera koşullarında ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık) yetiştirilen aspir bitkisinin Asol ve Linas çeşitlerinden oluşan gruplara farklı konsantrasyonlarda uygulanacak tuz (0, 100, 150 mM) ile mikrobiyal gübre konsantrasyonlarının bitki üzerindeki etkilerini fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan değerlendirmektir. Bu çalışma, Asol ve Linas aspir çeşidinin mikrobiyal gübre ve farklı konsantrasyonlardaki tuz stresi ile karşılaştırmalı ilk çalışma olması nedeniyle önem taşımaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Aspir (*Carthamus tinctorius* L.)

Asterales takımında yer alan aspir yaklaşık 22750 cinse ve 1620'nin üzerinde türe sahip bir bitkidir [19]. *Compositae* (*Asteraceae*) familyasından olan aspir (*Carthamus tinctorius* L.), $2n=24$ kromozomlu yağlık bir bitkidir. Eski yıllarda boya için kullanılan aspir bitkisinin latince ismi incelendiğinde, Arapçada çiçeklerinden elde edilen boya rengi anlamında kullanılan *quartum* kelimesinin Latince'deki eş anlamlısının *Carthamus* olduğu görülmüştür [20], [21]. Çoğunlukla turuncu renklere sahip çiçeklerden oluşur [22]. Çiçeklerinden, kartamin (turuncu-kırmızı boya) çıkartılmak için Hindistan'da sıklıkla yetiştirilir. Aspir sayesinde tıbbi ve yemeklik özelliklere sahip bitkisel preparatlar hazırlanabilir [21], [23]. Renk pigmentleri nedeniyle, tağşiş amacıyla safranın yerine de kullanılan bir maddedir [24], [25].

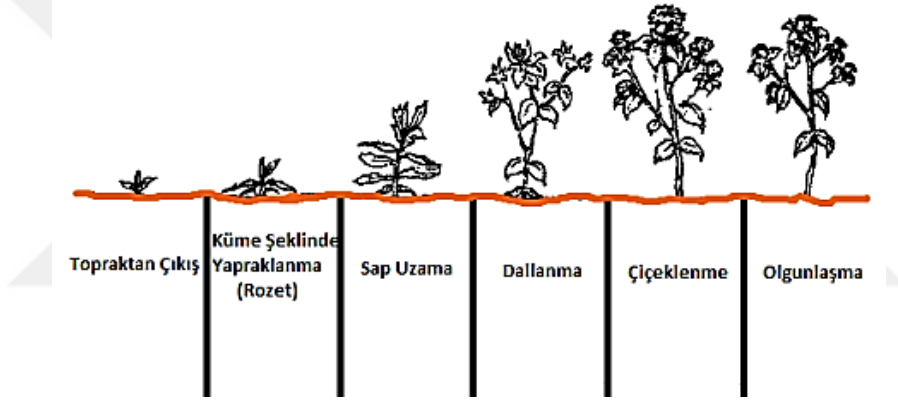


Şekil 2.1. (A) Aspir çiçeği ve (B) kurutulmuş aspir çiçeği

Eski yıllardan beri yenilebilir tohumlar arasında olan aspir, olumlu sağlık etkilerine sahip olması nedeniyle yaygın olarak araştırılmaktadır. Besin değeri açısından zeytinyağı ile benzerlik gösteren aspir tohumu, zamanla değişen toprak yapısı ve iklim koşullarıyla, yüksek katma değerli ürünlere alternatif ürün olabilmesinden dolayı, saha çalışmaları için ilgi çekici hale gelmektedir [26]. Ayrıca, aspir tohumunun yağı biyodizel üretimi için de kullanılabilir [27]. Tarlalarda da doğal yabancı ot mücadelesinin yapılabilmesi adına, herbisit yerine kullanılabileceğini belirten çalışmalar da mevcuttur [28].

2.1.1. Botanik özellikler

Dikenli ve dikensiz olmak üzere iki tipi olan aspir, tek yıllık kazık köklü bir bitkidir [29]. Geniş yapraklı bitkinin çiçekleri sarı, kırmızı, turuncu, krem ve beyaz renklerine sahiptir [30]. Gür yapıya sahip olan bitki, 100-130 cm yüksekliğine kadar ulaşabilir. Sahip olduğu tırtıklı kenarlar, mızrak görünümünde yapraklar oluşturur. Çiçekleri ise radyal ve boru şeklindedir. Çiçeğinin yaprakları içerik bakımından zengindir. Güneş ışığına maruz kalma miktarına göre hammadde kalitesi artar. Çiçekler, %1,82 protein, %4,8 lipit, %11,6 ham lif ve %10,8 kül içerir, nem yüzdesi %4,7'dir [18]. Ortalama yetiştirme süresi genellikle 110-150 gün civarındadır, bitkinin gelişim evreleri Şekil 2.2.'de gösterilmektedir [31].



Şekil 2.2. Aspir bitkisinin gelişim evreleri

Dikenli ve dikensiz olan iki tipten dikenli olanların dikensizlere göre tohumunda bulunan yağ oranı miktarı daha yüksektir [31]. Tohumların yağ oranları, %38 ile %71,7 arasında değişmektedir [32]. İdeal sıcaklık aralığı 20°C ile 30°C arasındadır. En yüksek sıcaklık 40°C civarına çıkabilirken, en düşük sıcaklık -8°C'lere kadar düşebilir [33]. Aspir çeşidinin Türkiye'de tescillenmiş 15 çeşidi bulunmaktadır. Bu çeşitlerden Asol ve Linas bitki boyutu ve yağ oranı bakımından birbirinden ayrılmaktadır. Asol çeşidinin bitki boyu 70 ile 80 cm aralığında dağılım gösterirken, Linas çeşidinin boyu 85 ile 90 cm arasındadır. Yağ oranı bakımından Asol %40-41 yağ içeriğine sahipken, Linas %37-38 yağ içermektedir (Tablo 2.1.) [34]. Çeşitler arasındaki bu morfolojik ve kimyasal farklılıklar, farklı tuz ve mikrobiyal gübre konsantrasyonlarında, çeşitler arasındaki tepkiler hakkında da bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır.

Tablo 2.1. Deney deseninde kullanılan türlerin tarımsal özellikleri [34]

Çeşitler	Diken durumu	Bitki boyu (cm)	Yağ oranı (%)	Verim (kg da ⁻¹)	Bin tane ağırlığı (g)
Asol	Dikenli	70-80	40-41	200-300	45-48
Linaz	Dikenli	85-90	37-38	200-300	37-43

2.1.2. Aspirin besin değeri ve kimyasal içeriği

Öğütülmemiş aspir tohumunun 100 gramında 510 kcal bulunur ve E vitamini (α -, β -, γ - ve δ - tokoferol) profili 57,9 ile 58,2 mg/100 g değerleri arasında değişir ve bunlarla birlikte, altı farklı karotenoid (neoxanthin, violaxanthin, lutein, zeaxanthin, β -kriptoksantin ve β -karoten) içerdiği saptanmıştır [19].

Çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin olan aspir bitkisinin ana bileşenleri, cis-9, cis-12 18:2 linoleik asit ve cis-9, trans-11 konjuge linoleik asittir [35]. %35 ile 39 yağ içeriğine sahip olan öğütülmüş tohumlar, yaklaşık %49 linoleik asit içerir.

Aspir tohumunun yağı, toplam doymamış yağ asitlerinin %90'ını içermektedir. Bu yağ asitlerinin %14'ü tekli doymamış yağ asitleri (MUFA), %76'sı çoklu doymamış yağ asitleridir (PUFA). Toplam lipit içeriğinin %74'ünü meydana getiren linoleik asit (LA), PUFA'ların ana bileşenidir [36]. Öğütülmüş aspir tohumları, organik ve inorganik besin kaynakları açısından oldukça zengin bir içeriğe sahiptir (Tablo 2.2.) [37].

Tablo 2.2. Öğütülmüş aspir tohumlarının kalorisi ve kimyasal bileşimi [37]

Besin maddeleri	Öğütülmüş aspir tohumunun besin içeriği (100 g kuru madde)
Protein, g	17,6±0,5
Yağ, g	38,3±0,5
Mono ve disakkaritler, g	1,3±0,1
Diyet lifi, g	35,8±1,3
Mineral madde, g	7,1±0,2
Makro elementler, mg:	
Potasyum	687,3±3,3
Kalsiyum	78,2±1,1
Magnezyum	353,3±2,4
Fosfor	644,2±2,1
Mikro elementler:	
Demir, mg	4,9±0,3
Selenyum, µg	1,1±0,1
Vitaminler, mg:	
B ₁	1,16±0,01
B ₂	0,42±0,01
B ₅	4,04±0,05
PP	2,28±0,02
E	1,23±0,01
Kalori içeriği, kcal	491,9

Proteinlerin temel yapı birimi olan ve insan sağlığı açısından önemli olan amino asitler, temel ve yapay olarak ikiye ayrılır [38]. Temel amino asitler, vücut tarafından sentezlenemediği için dışarıdan alınmalıdır. Amino asit alımının dengesizliği veya yetersizliği metabolizma ve büyüme geriliği sonuçlarını doğurabilir [39].

Hayvansal proteinlerin bitkisel proteinlere göre daha pahalı olması alım gücünün etkisiyle tüketimi zorlaştırmaktadır. Günlük diyetle yeterli amino asit alımını desteklemek için zengin içerikli bitkisel proteinlere yönelim arttırılmalıdır. Gelişmekte olan ülkelerin kolay erişebildiği tahıllar ve kurubaklagiller, bu bağlamda büyük önem taşıyabilir. Aspir tohumu da amino asit içeriği bakımından oldukça dikkat çekicidir (Tablo 2.3.) [37].

Tablo 2.3. Öğütülmüş aspir tohumunun amino asit içeriği ve ideal protein miktarına göre amino asit skoru [37]

Amino asit	1 g protein başına amino asit içeriği, mg	İdeal protein miktarına göre amino asit skoru, %
Valin		90,4
Lösin	57,3±1,3	81,9
Izolösin	29,4±0,5	73,5
Lizin	34,2±1,2	62,2
Metionin + Sistin	38,9±1,2	111,1
Treonin	35,8±0,5	89,5
Triptofan	1,1±0,2	1,1
Fenilalanin + Tirozin	63,7±1,2	106,2
Esansiyel Amino Asit Miktarı, mg	305,6±0,9	
Proteinin Biyolojik Değeri, %	74,4	

Aspir yağı, yemek pişirmeden, kozmetiğe kadar çeşitli endüstrilerde kullanım alanı bulunan çok yönlü bir bitkisel yağdır. Bu sebeple, içeriğindeki yağ profili daha da önemli olmaktadır. Aspir yağı, yüksek dumanlanma noktasına sahip olması nedeniyle tercih edilebilecek bir yemeklik yağdır; yüksek dumanlanma noktası, ısı gören yağın parçalanmadan veya zararlı bileşikleri açığa çıkarmadan yüksek sıcaklık değerlerine dayanabildiği anlamına gelir [40]. Aspir küspesi, yağ ekstraksiyonu işleminin yan ürünü olma özelliğinin yanında, hayvan yemlerinde protein içeriği açısından zengin bir takviye olması da dikkat çekicidir. Önemli bir fark bulunmasa da, küspenin balık yemlerinde %20 oranında kullanılması gibi çalışmalar yürütülmektedir [41].

Aspir yağının bilinen farklı türleri (yüksek oleik veya yüksek linoleik) bulunmaktadır (Tablo 2.4.) [37]. Yüksek oleik asitli aspir yağı, yüksek sıcaklıklarda çok daha stabil olmakta ve çoğunlukla yemek pişirmede tercih edilmektedir. Yüksek linoleik asit içerikli aspir yağının, çoklu doymamış yağları daha yüksek olması sebebiyle diyet takviyesi amacıyla kullanılabilir.

Tablo 2.4. Öğütülen aspir tohumlarının yağ asidi içeriği [37]

Yağ asidi	Yağ asidi içeriği, %
Doymuş asit:	8,9±0,1
Palmitik asit C16:0	6,4±0,2
Stearik asit C18:0	2,3±0,1
Behenik asit C22:0	0,2±0,1
Tekli doymamış:	9,8±0,2
Oleik asit C18:1 (ω-9)	9,0±0,5
Elaidik asit C18:1 (ω-9)	0,8±0,2
Çoklu doymamış:	81,3±0,5
Linoleik asit C18: 2 (ω-6)	48,4±1,2
Rumenik asit C18: 2 (9-cis-11-trans-oktadekadien asit)	29,4±0,5
Araşidonik asit C20: 4 (ω-6)	1,8±0,2
Dokosaheksaenoik asit C22: 6 (ω-3)	1,7±0,1

Soya, ayçiçeği ve kanola gibi yağlık tohumlardan daha yüksek linoleik asit içeriği, aspir tohumun önemini vurgulamaktadır. Aspir tohumundaki yüksek fenolik bileşik içeriği nedeniyle fitokimyasal antioksidanlar olarak, reaktif oksijen aracılı patolojik hastalıklara karşı koruyucu olabileceği de düşünülmektedir [42].

2.1.3. Aspir bitkisinin sağlık üzerine etkileri ve endüstride kullanım alanları

Çin tıbbında yıllardır yaygın olarak kullanılan aspir çiçeği, hem insan sağlığına olumlu etkisi hem de boya maddesi üretimi için kullanılabilir [43]. Aspir çiçeğinin insan üzerindeki olumlu etkilerinden biri serebral kan akışını iyileştirmesidir [44]. Aspir, içeriğinde pigment ve biyoaktif bileşikler olan kinokalkon flavonoidlerini barındırmaktadır [45]. Kalkon izomerasi geni, aspirin çiçeklenme sırasında flavonoid biyosentezini etkileyebilmektedir [44]. Aynı zamanda, flavonoidlerce zengin olması nedeniyle beyin kan akışını da iyileştirebilmektedir [46]. Kardiyoprotektif, antioksidan, antidiyabetik, ve antitümör özellikleri ile birlikte kolesterolü düşürerek karaciğer fonksiyonunda gösterdiği iyileştirme aspir bitkisini daha da özel kılmaktadır [47]. Farklı çalışmalar da gösteriyor ki; aspir tohumları lignin, flavonoid ve serotonin açısından zengindir. Bu sebeple, kemik hastalığı olarak bilinen osteoporoz üzerinde olumlu etki gösterebilir [48].

H.F.S.A., aspir bitkisinin doğal pigmentlerinden biridir ve yüksek farmakolojik aktivitelere sahip olduğu bilinir. Bu nedenle tıbbi bal çalışmasında aspir kullanılarak, aspir balının farklı antioksidan ve antiinflamatuvar etkilerinin bulunduğu sonucu çıkarılmıştır [49]. Bitkisel tedavilere örnek olabilecek Suudi Arabistan’da yapılan bir anket çalışmasında, 1074 katılımcının %55,6’sı anksiyete ve depresyon tedavisi için aspir bitkisini kullandığını ifade etmektedir. Aspir kullanan katılımcılardan; %37,1’i etkisinin yüksek olduğunu, %51,7’sinin bir miktar iyileşme gösterdiğini, %12,3’ünün ise anksiyete ve depresyona karşı etkisinin olmadığını belirtmektedir [50].

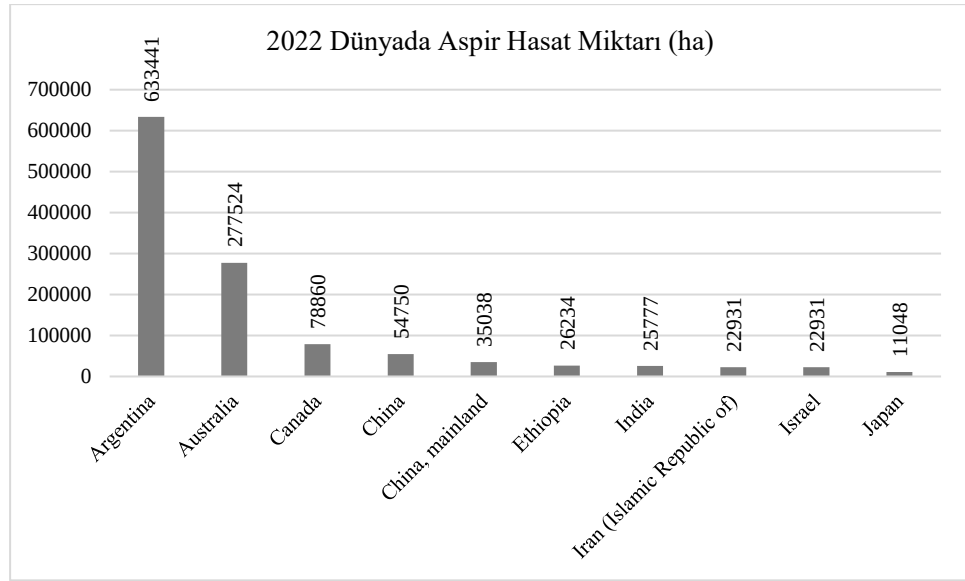
Çin’in Uygur Özerk Bölgesi’ndeki pamuk tarlalarında yapılan bir araştırmada, aspir bitkisi kullanılarak mirid böceğine (*Lygus pratensis* Linnaeus) karşı tuzak bölge oluşturulmuş ve saha deneyleri yapılmıştır. *L. pratensis*’in aspirin ürettiği uçucu maddelere oldukça ilgi duyduğu belirlenmiştir. Tarlalardaki pamukların üzerinde *L. pratensis* yoğunluğunun zamanla azaltılmasında etkili bir tuzak bitki olduğu sonucu çıkarılmıştır [51].

Bir araştırmada, ezilen aspir yapraklarının macun haline getirilmesiyle elde edilen ürünün, tedavisi zor olan yaraların iyileşme süresini kısalttığı ifade edilmiştir [52].

2.1.4. Dünyada ve Türkiye’de Üretimi

Aspir bitkisi, ilk Batı Asya ülkelerinde (İran ve Türkiye) görüldüğü ve daha sonrada Amerika, Avustralya, Çin, Etiyopya, Meksika, İspanya, Hindistan ve İtalya gibi ülkelerde de ekime başlandığı belirtilir [53]. Az miktardaki üretim alanına rağmen besin içeriği, yağlık özellikleri ve çevresel koşullara olan dayanıklılığı sayesinde tercih edilen bir bitkidir.

Aspir, zorlu koşullarda büyüeyebilen bir bitkidir. Türkiye’nin de bitkisel yağ ve yem sektörlerinde kullanılmak üzere önemli bir potansiyel hammadde kaynağı olabilir. Alternatif alanlarda yetiştirilebilir ve nadas alanlarının değerlendirilmesi hususuna katkı sağlayabilir [54]. Bu özellikleri nedeniyle hububat alanlarının daralması gibi endişelere yol açmaması için dikkatlice değerlendirilmelidir.



Şekil 2.3. Dünyada 2022 yılı aspir hasadı yapılan alan miktarı (hektar) [55]

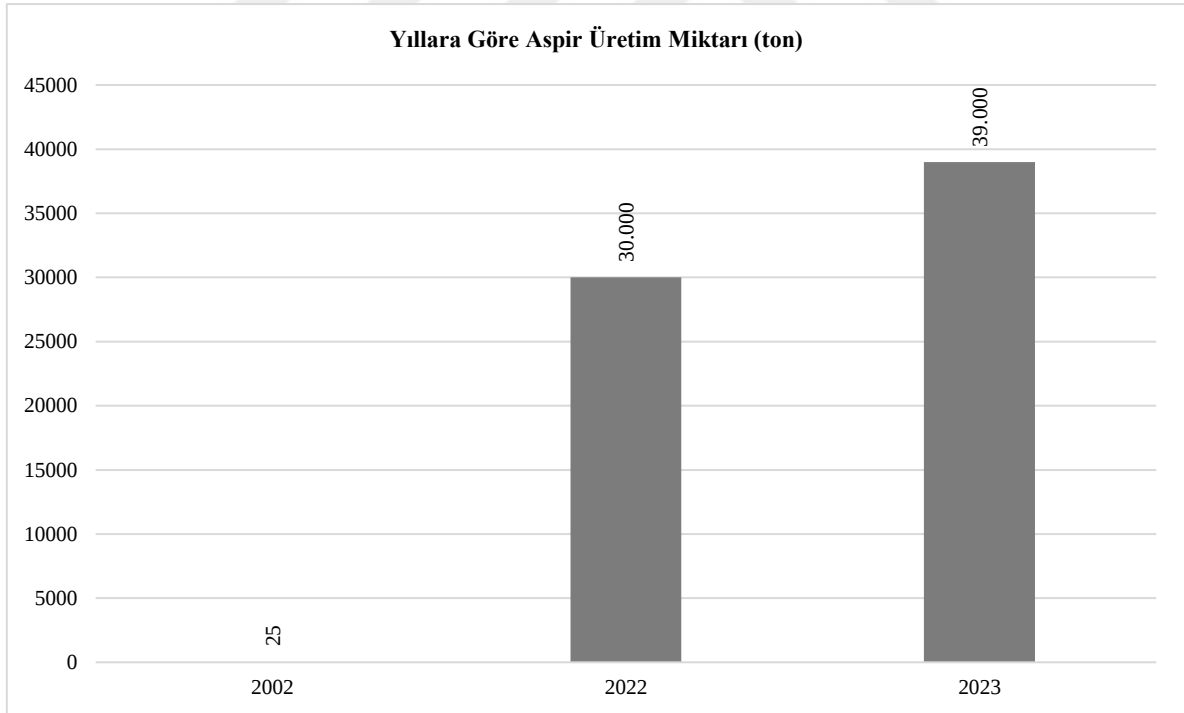
2022 yılındaki aspir hasatı yapılan tarım arazilerinin verilerine bakıldığında, aspir üretimi yapılan alan yılda 1 milyon hektarı açmaktadır ( ekil 2.3.) [55]. Yağlık tohumlu bitkilerle kıyaslandığında yağlık tohum üretiminin çok küçük bir kısmını karşılamaktadır. Çeşitli tarım politikalarıyla aspir ve aspir yağı üretimini arttırıcı yönde girişimlerde bulunulmalıdır.

Türkiye'deki ithalat bağımlılığını azaltabilecek bir nokta olan yağlık tohumların ve ürünlerinin üretiminin arttırılması ulusal yarar sağılayacaktır [56]. 1950'den 2014 yılına kadarki aspir üretim verilerine göre üretimde önemli bir artış gözlemlenmektedir (Tablo 2.5.) [57]. Bunun yanı sıra, aspir üretiminin en çok yapıldığı iller arasında  anlıurfa, Konya ve Eskişehir bulunmaktadır [54]. Türkiye'nin çeşitli illerinde yeti tirilebiliyor olması aspir bitkisini daha da önemli kılmaktadır. Yeterli tanıtım ve pazarlama ile aspir üretimi arttırılabilir.

Tablo 2.5. Aspir bitkisinin Türkiye’deki gelişimi [57]

Yıllar	Ekim alanı (Ha)	Üretim (Ton)	Verim (Kg/da)
1950	1,073	765	71,2
1960	750	540	72
1970	1,170	900	76,9
1980	500	535	107
1990	146	124	84,5
2000	30	18	60
2005	173	215	124,3
2010	13,500	26,055	193,0
2014	44,305	62,000	139,9

2002, 2022 ve 2023 yıllarında Türkiye’deki aspir üretim miktarı (ton) kıyaslandığında ciddi bir artış olduğu görülmektedir [58], [59]. 2022’yle 2023 yılları arasında %30’luk, 2002’yle 2023 yılları arasında ise %155900’lük bir artış yaşanmıştır (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Yıllara göre aspir üretim miktarı (ton) [58], [59]

2.2. Bitkilerde Gübre Uygulamaları

Gübreler, bitki büyümesini desteklemek ve bitkiye besin maddelerini sağlamak için kullanılmaktadır. Gübrelerin bitkilere sağladığı yararlar besin maddesi zenginleştirme, verim artışı, gelişme ortamının zenginleştirilmesi, fotosentezi destekleme, hasat yapıldıktan sonra iyileşmenin hızlandırılması, çevresel etkinin azaltılması, ürün kalitesinin artırılması ve ekonomik faktörler örnek olarak verilebilir. Bununla beraber, gübrelerin kullanım aşamasındaki tedbirsizlik ve yanlış uygulamalar farklı çevresel sorunlara yol açabilmektedir. Bu noktada, uygulama dozu, toprağa ve bitkiye uygun gübre seçimi oldukça önemlidir. Özellikle, çevresel ve iklimsel faktörlerin etkisiyle, yıldan yıla azalan üretim verimini arttırmak adına çeşitli gübre uygulamaları denenmektedir. Bu süreçte, kontrolsüz, bilinçsiz ve bilgisizce uygulanan gübrelerin yarardan çok zararı olmaktadır. Gübreleme yapılırken uygulanacak en önemli nokta, doz ayarlaması ile ilgili uzman görüşü alınarak, kontrollü uygulamanın yapılmasıdır [60].

Gürsoy ve arkadaşlarının (2019) bir çalışmasına göre, Ankara'da 2015-2016 yetiştirme döneminde Dinçer ve Linas aspir çeşitlerine uygulanan farklı azotlu gübre dozlarının verime etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulanan çeşitli azot dozlarında bir farklılık görülmemiştir. Bu nedenle, sonraki çalışmalarda Linas çeşidi için dekara 5 kg azot kullanılabileceği tavsiye edilmiştir [7]. Bir başka çalışmada, kanalizasyon çamurundaki anaerobik çürütücülerden elde edilen gübrenin domates bitkisinin büyümesi ve toprak özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ancak, kullanılan gübrenin geri dönüşüm potansiyeli yüksek olsa da toksik içeriği sebebiyle kullanımı sınırlı olarak tavsiye edilmektedir [61].

Groth ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada; iki farklı elma çeşidi için yaprağa uygulanan selenyum takviyeli gübre uygulaması ile biyozenginleştirme yapılmış; selenyum içeriği, antioksidan aktivitesi, fenolik bileşik içeriği, polifenol oksidaz (PPO) aktivitesi belirlenmiştir. Fenolik bileşikler ve sıvı gübre kaynaklı özellikler belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre selenyum takviyeli gübrenin kullanımı önerilmiştir [62].

Aspir bitkisiyle aynı cinse ait olan yabani bir aspir türü olan *Carthamus oxycantha* ile ilgili yapılan bir çalışmada, bitkinin içeriğinde bulunan bazı bileşiklerin dışarıdan gelebilecek *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Salmonella* ve *Staphylococcus* bakterilerinin

gelişimini baskıladığı bulunmuştur [63]. Bu çalışma, mikrobiyal gübre uygulamalarında kullanılan mikroorganizmaların seçimi için oldukça önemlidir.

2.2.1. Mikrobiyal gübre kullanımı

Son yıllarda, toprak verimliliğini arttırmak ve bitkileri büyümeye teşvik etmek için bazı bakteri ve mantarları içeren faydalı mikroorganizmaların yer aldığı mikrobiyal gübreler sıklıkla kullanılmaktadır. Mikrobiyal gübrelerin kullanılması; toprağın yapısını geliştirme, besin alımının artması, azot fiksasyonu, fosforun çözündürülmesi ve mevcut stresin baskılanması gibi birçok etkiye sahiptir. Mikrobiyal gübrenin etkinliği, içerikteki mikroorganizmalara, bitki türüne ve toprak koşullarına göre değişebilir. Toprakta bulunan mikroorganizmaların topraktaki mikrobiyotayı geliştirme ve iyileştirme gibi rolleri bulunur. Bu nedenle, mikrobiyal gübre takviyesinin olumlu etki göstermesi beklenmektedir [64].

Artan dünya nüfusuna ek olarak bitkilerin maruz kaldığı biyotik ve abiyotik stres koşulları gıda güvenliğini de tehlikeye atmaktadır. Sürdürülebilir üretim için biyoremediasyon veya mikrobiyal gübreler gibi özel yaklaşımlar kullanılmalıdır. Biyoremediasyon, çevredeki kalıcı kirleticileri yok etmek için uygulanan biyolojik iyileştirme yöntemidir [65]. Stres etmeni toprağın biyoremediasyonunda mikroorganizmaların kullanılması hem yenilikçi hem de sürdürülebilir bir yaklaşımdır [64]. Kumawat'a (2022) göre mikrobiyal bir ürün kullanımı, tuzluluktan etkilenen toprağın sağlığını ve mahsul verimini korumaktadır [64]. Bunun için, mikrobiyal gübreler, kimyasal gübre alternatifi ve/veya destekleyicisi olarak kullanılmaktadır. Çevre dostu, verimli, ekonomik ve sürdürülebilir olması gibi avantajlarından dolayı tercih sebebidir. Mikrobiyal gübre kullanımı; bitkinin kök sistemi, yapraklarının kimyasal bileşimi, hastalığa karşı direnci ve verimi üzerinde olumlu etkiler göstermektedir [66]. Mikrobiyal gübre ile geleneksel gübrenin kıyaslandığı bir çalışmada, mikrobiyal gübrenin, topraktaki toplam azotu, kullanılabilir fosfor ve potasyumu arttırdığı gösterilmiştir [67]. Ancak, fosfor içeren gübrenin aşırı uygulanması toprak kalitesini bozabilir [68]. Bu sebeple, yapılan uygulamanın dozu, uygulama yapılan toprağın özellikleri, toprağın bakteri ve mantar çeşitliliğinin bilinmesi oldukça önemlidir. Mikrobiyal gübre çalışmalarında, nitrojeni sabitleyen bakteriler ile fosfatı çözen bakterileri içeren bileşik gübre kompozisyonunun en çok tercih edildiği belirtilmektedir [69].

Havadaki azot (N) formlarına olan erişim zorluğu, mahsullerin verimini ve gıda üretimini sınırlandırır. Bu nedenle azotlu gübrelerin üretimi ve kullanımı, çeşitli mahsullerin yetiştirilmesi için avantaj sağlar. Gram-negatif ve nitrojen sabitleyici bir bakteri olan *Azotobacter vinelandii*, çeşitli metalleri bağlayarak katekol bileşiklerini dış ortama salgılar ve yüksek konsantrasyonlarda demir (Fe) alımı gerçekleştirerek bitki gelişimine yardımcı olur [70]. Bitkilerin büyümesini teşvik edip mahsul verimliliğini arttırmak amacıyla baklagil olmayan fidelerde de biyogübre olarak kullanılır [71].

Spor oluşturabilen *Bacillus megaterium* bakterisi, fosfojips (PG) ile kirlenmiş topraktan izole edilebilir. *B. megaterium*, ağır metallerin (Fe, Zn) aktivitesini harekete geçirerek, birikim konusunda yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [72]. Bu doğrultuda, *Bacillus* türünün topraktaki ağır metallerin detoksifikasyon sürecine katkı sağladığı düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada; *Bacillus megaterium*, organik gübre ve kontrol kıyaslamasında, topraktaki besin maddelerinin kontrole göre yüksek olduğu belirlenmiştir [73].

Nitrojeni sabitleyebilen bakteriler ve fosfatı çözebilen bakterilerin kompozisyonunun kullanıldığı bir mikrobiyal gübre çalışmasında, buğday için tarla denemeleri yapılmıştır [69]. Elde edilen veriler, gübrenin toprakta kullanılabilir formda olan fosfor ve potasyum içeriğini arttırarak, tane veriminde anlamlı fark yarattığını göstermiştir. Bu sonuca göre, gübrenin 750 kg ha⁻¹ dozunda kullanılması önerilmektedir.

Tütün üretimi için Çin’de uygulanan mikrobiyal gübre denemesinde; bitkilerin verimi, kurutulan tütün yapraklarının kimyasal özellikleri, kök sistemi ve hastalığa karşı direnci araştırılmıştır. [66]. Uygulama ile tütün yapraklarındaki nikotin içeriğinin arttığı gözlemlenmiştir. Nikotin içeriğinin yanı sıra; kök uzunluğunda ve dal sayısında artış görülmüş olup, kök aktivitesinde iyileşme olduğu bulunmuştur. Gelecekteki tütün çalışmalarına yön verebilecek bir deneme olduğu belirtilmiştir [66].

Fosfat takviyeli gübrelerin aşırı uygulamasında, toprak kalitesinde bozulmalar görülebilir. Fosfat içeriği yüksek gübreler yerine mikrobiyal gübre kullanılmasına dikkat çekilmelidir [68]. Fosfat takviyeli gübre ile mikrobiyal gübrenin etkisinin araştırıldığı bir çalışmadaki mısır bitkisinde, enzim aktivitesi, bakteri ve mantar topluluklarının yapısı

incelenmiştir. Mikrobiyal gübrenin, mısırların gelişimi için uygun mikrobiyal organizasyon sağlandığı ve patojenik mikroorganizmaların aktivitelerini düzenlediği kaydedilmiştir [68].

Farklı bir bileşim olan fosfat ve potasyumlu kayaçlar ve solucan gübresi içeriğine sahip mikrobiyal bir gübre marul bitkisinde denenmiştir. Geleneksel gübreye kıyasla mikrobiyal gübrenin topraktaki azotu ve kullanılabilir fosfor ve potasyumu arttırdığı belirlenmiştir. Aynı zamanda, bitki verimliliği ve toprak özelliklerine olumlu etkisi bulunmuştur [67].

Bahçecilik endüstrisinde yaygın olarak görülen küllenme hastalığı için domates bitkisinde mor kükürt içermeyen *Rhodobacter sphaeroides* bakterisi mikrobiyal gübre olarak denenmiştir. Mikrobiyal gübreyle yetişen bitkilerin hastalık semptomlarında azalma görülmüştür. Ayrıca, besin mineralizasyonunun yanı sıra bitkileri korumada katma değerli bir ürün elde edilmiş olabileceği vurgulanmıştır [74].

Dağlardaki doğal otlak alanlarında, karşılaştırmalı olarak kimyasal gübre ve mikrobiyal gübre (*Rhizobium indicum* suşu JKLM 13E) uygulaması yapılmıştır [75]. Çalışmanın sonucunda; kimyasal gübreye kıyasla mikrobiyal gübre uygulanan bölgelerde, biyokütle üretiminde artış görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, mikrobiyal gübrenin, kimyasal gübreye karşı önemli bir alternatif ve tamamlayıcı bir uygulama olduğu düşünülmektedir [75].

Asitli toprakta, düşük pH ve yüksek toksisite ile yetişen mısır ve karpuz bitkilerinin verimi, *Azotobacter* spp. ve *Lactobacillus* spp. içeren mikrobiyal gübre uygulaması yapılarak araştırılmıştır [76]. Mısır bitkilerinde, boy uzunluğu, gövde çapı ve verimde artış gözlemlenmiştir. Karpuzda da gövde ve meyve uzunluğunda, yaprakların sayısında, meyve genişliğinde, Brix derecesinde ve verimde artış gözlemlenmiştir [76].

Üç mikrobiyal gübre taşıyıcısının uygulama sonrası etkisini incelemek adına, gübreyi üretebilmeleri için iki *Bacillus* suşu ve üç tane taşıyıcı madde (aktif karbon, kullanılmış mantar substratı ve turba) kullanıldığı bir çalışmada, saksı ortamında yonca bitkisinin gelişimi araştırılmıştır [77]. Aktif karbon taşıyıcısı içeren mikrobiyal gübrenin sonuçlarında yoncanın büyümesine daha fazla katkı sağladığı görülmüştür. Ancak, *Bacillus* içeren mikrobiyal gübrenin tuzlu-alkali toprakta yetişen bitkilerin büyümesine anlamlı bir fark yaratmadığı belirlenmiştir [77].

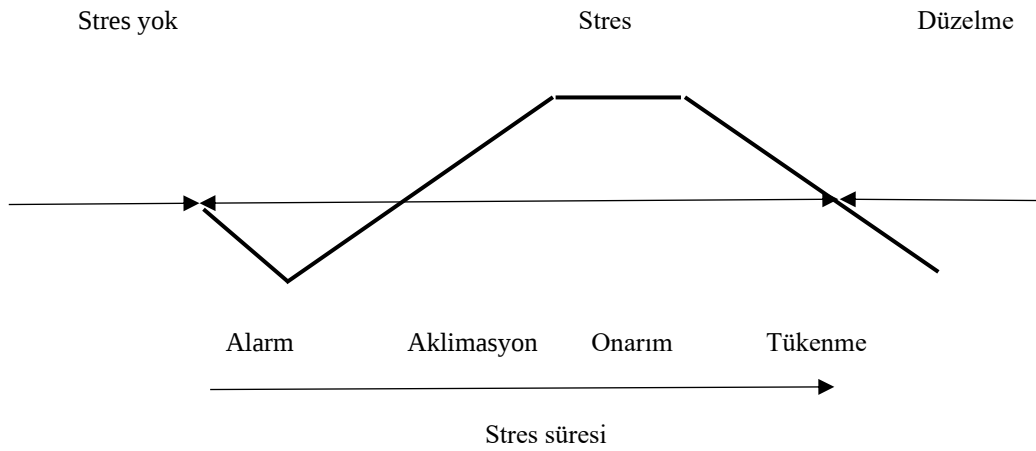
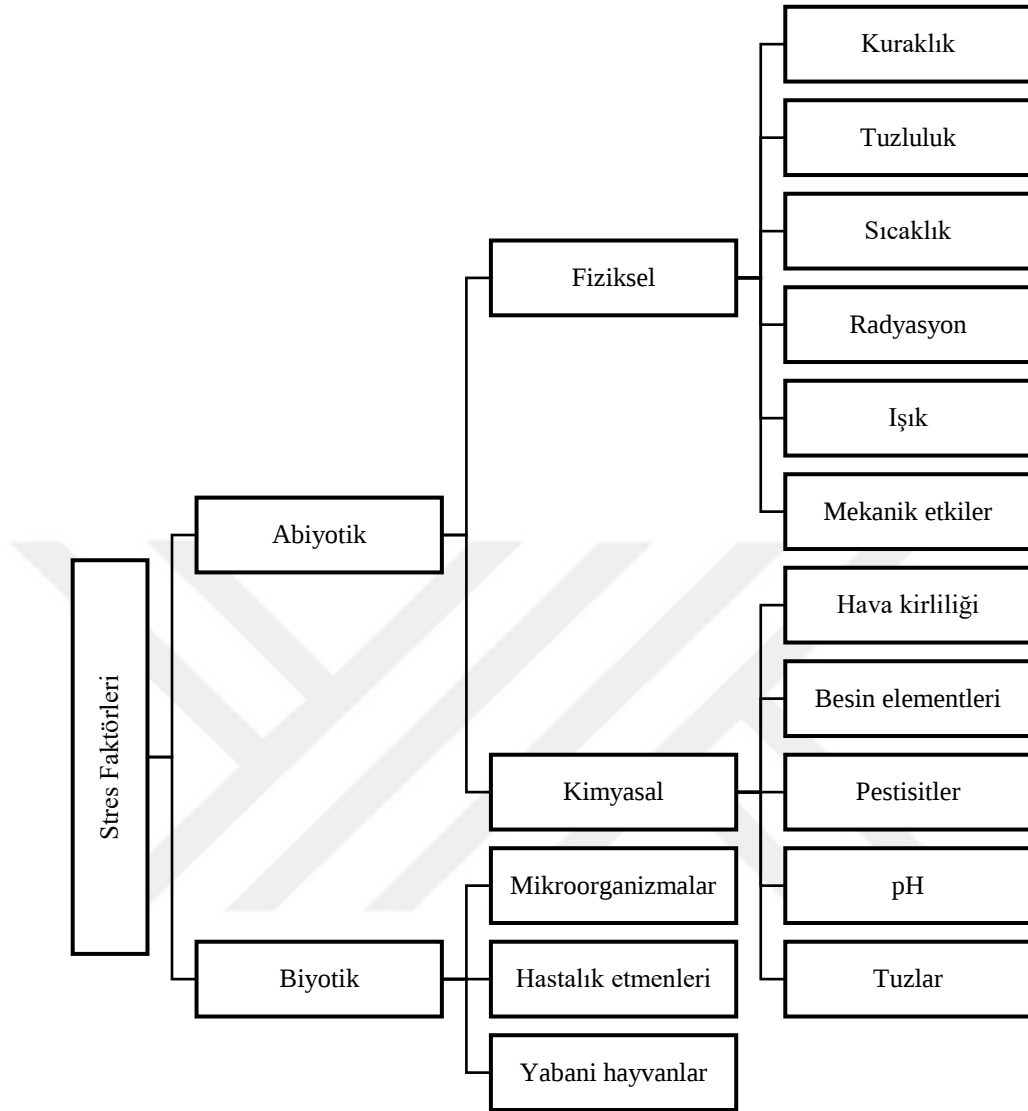
Triticum durum fidesine *Pseudomonas* spp.'nin iki farklı suşu ve *Curtobacterium* sp.'nin bir suşunun mikrobiyal gübre olarak uygulandığı çalışmada, tuz stresi altındaki fidelerin canlılık indeksine mikroorganizmaların olumlu etkisi olmadığı tespit edilmiştir [78].

2.3. Stres Faktörleri

Küresel ısınma, iklim krizi, tarım alanlarının daralması insan faaliyetleri ve benzeri birçok sebep bitkilerin yaşam düzenini etkilemekte ve strese sebep olmaktadır. Bitkileri etkileyen stres çeşitleri biyotik ve abiyotik olarak 2 grupta incelenir. Virüs, bakteri, mantar gibi biyolojik etmenler biyotik stres; kuraklık, yüksek sıcaklık, tuz, radyasyon, ağır metal (Şekil 2.5.) gibi koşullar da abiyotik strese neden olmaktadır [9]. Bitkilerin çoğu strese karşı bir takım adaptasyon mekanizmalarına sahiptir. Bitkilerin çevresel streslere karşı hücrel adaptasyonu, tarımsal verimlilik adına önemli bir süreçtir. Ancak, öngörülemez abiyotik stres faktörleri bitki büyümesi ve gelişimi için oldukça kritiktir [79].

Bitki stresi, çevresel koşullardaki ani değişimlere tepki olarak ortaya çıkabilir. Strese dayanıklı bitkiler ise zamanla belirli stres faktörlerine uyum sağlayarak gelişimlerine devam edebilir. Stres kaynaklı bu homeostaz modülasyonu süreci, bitkiler için düzenli bir olaydır ve duruma yanıt olarak yeni bir denge oluşturmak için bir sinyal görevi görür [80]. Bitkilerin stres direnci veya toleransı sergileme yeteneği, çevresel streslere karşı adaptasyonu ve yaşam döngüsü onların genetik özelliklerine bağlıdır. Bitkilerde sıklıkla yaşanan stres faktörleri Şekil 2.5.'de belirtilmektedir [81].

Şekil 2.5. Bitkilerde stres faktörleri [81]



Şekil 2.6. Abiyotik stres karşısında bitkilerin tepkileri [82]

Bitkilerin strese verdiği tepkiler genel olarak 4 basamakta incelenir (Şekil 2.6.) [82]. Bitkilerin strese maruz kaldığı ilk zamanda, sistem alarm vererek aklımasyon aşamasına geçer. Aktif bir süreç olup ekstra enerji gereken alıştıırma aşamasında, yeni bir homeostazi kurulur [83]. Bu aşamada strese karşı koruyan farklı proteinler aktive olarak yeni oluşumu destekler. Eğer stres faktörleri bitkinin adaptasyon sağlayamayacağı düzeyde veya uzun süreli maruz kalma söz konusu ise bitki homeostazisini sağlayamaz ve tükenme fazı olarak isimlendirilen ölüm süreci başlar.

2.3.1 Kuraklık stresi

Kuraklık stresi, dünyadaki tarım arazilerinin çoğunda verim önemli ölçüde etkileyen bir faktör olarak tanımlanabilir [79], [84]. Aspir bitkisi, diğer yağlık bitkilere göre kuraklığa karşı daha dirençlidir. Islah çalışması yapılan topraklar için de uygun bir tohum olmaktadır [79], [85]. Yapılan bir çalışmada, aspir bitkisinin kuraklık direnci araştırmasında verim ile kuraklık arasındaki korelasyon incelenmiştir. 2019-2020 ve 2020-2021 yetiştirme dönemlerinde üç tekrarlı parsellerde denemeler yapılmış olup 5 farklı aspir (Göktürk, Koç, Dinçer, Safir ve Balcı) çeşidi üzerinde çalışılmıştır. Denemeler sırasında bitkinin boyu, yan dal sayısı, kapitula sayısı, kapitulum başına düşen tohum sayısı, 1000 tane ağırlığı, tane verimi, taç verimi, ham yağ içeriğı ve ham petrol verimi gibi parametreler hesaplanmış olup sulanan aspir çeşitlerinin verimleri her iki yılda da sulanmayıp yağışlı koşullarda yetiştirilen aspirlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna benzer bir sonuç olarak yağ içeriğı de direnç uygulanmadan sulanarak yetiştirilen aspirlerde daha yüksek bulunmuştur [86].

Kuraklık direnci çalışan başka bir araştırmada yarı kuraklık sağlanmış ve uygun ıslah çeşitlerinin belirlenmesi için İran'daki Tohum ve Bitki Islah Enstitüsü'nde yer alan 127 aspir genotipinin verimlilikleri ve morfolojik özellikleri değerlendirilmiştir [87]. Tohumunun yağ verimi yüksek olan aspir, yetiştığı ortama da büyük ölçüde uyum sağlama eğilimi göstermektedir. Bu sebeple, dünyadaki kurak topraklar için zeytinyağına alternatif bir bitkisel yağ kaynağı olabilir. Tohum yağında bulunan yağ asidi içeriğı sebebiyle ilgi çekici bir hale gelmektedir [88].

2.3.2 Sıcaklık stresi

Küresel ısınmanın etkisiyle bitkiler, sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir. Özellikle, erken fide aşamasındaki bitkiler sıcaklığa daha fazla duyarlıdır. Az gelişmiş köklerin suyu alma potansiyelleri strese maruz kaldığında düşer. Sıcaklık stresi, bitkilerin dokularındaki reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretiminde artış sağlar [89]. ROT'lar sinyalizasyon ve savunma mekanizmalarında yer alan moleküllerdir. Fazlalığında oksidatif strese, hücresel hasara, savunma yanıtlarının aktivasyonuna ve fotosentetik bozukluklara neden olabilir. Bitkiler belirli düzeyde sıcaklık stresini, membran stabilitesini koruyarak, antioksidanları sayesinde ROT'ları temizleyerek tolere edebilir. Buna rağmen, fide ölümlerinin en yaygın sebebi sıcaklık stresidir [90]. Kontrol bitkilerinin 22°C'de, stres uygulanan bitkilerin ise 30°C'de yetiştirildiği bir çalışma yürütülmüştür. Yüksek sıcaklık uygulanan sıklamen bitkisinden elde edilen sonuçlarda, sürgünlerin ve köklerin kuru ağırlıklarının kontrole göre önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir [91]. Benzer şekilde, sıcaklık stresine maruz kalan *Brassica campestris* L. bitkisi kontrol bitkileriyle kıyaslandığında, kök biyokütlesinin, köklerdeki canlılığın ve bağıl su değerinin (RWC) azaldığı belirlenmiştir [92].

2.3.3 Radyasyon stresi

Son yıllarda, stratosferik ozonun azalmasıyla, Dünya'ya gelen UV radyasyonunda da artış görülmektedir [93]. Bitkilerin UV ışınlarına karşı nasıl tepki göstereceği ile ilgili bilgilerin sınırlı olması bu alana karşı ilgiyi ve bu alandaki çalışmaları arttırmaktadır. Büyüme ve gelişmeyi etkileyen radyasyon stresi, bitkilerde ozmotik strese neden olur.

Bitkiler, UV radyasyonunu absorbe edebilen bazı kimyasalları bünyelerinde biriktirme eğilimi gösterirler [94]. Yedi farklı pirinç grubuna uygulanan radyasyon stresinin lipit peroksidasyonuna neden olarak membran hasarını tetiklediği ve büyümeyi azalttığı belirlenmiştir [94]. Bitkilere, radyasyonun temas etmesiyle hücre zarları hasar görür ve fotosentez reaksiyonunun hızı azalır. Bir diğer olumsuz etkisi ise bitkide erken yaşlanmanın başlamasıdır [95].

2.3.4 Tuz stresi

Tarımsal gelişmeyi kısıtlayan ve gıda güvenliğini etkileyen bir diğer önemli stres faktörü tuz stresidir. Yüksek miktarlarda tuza maruz kalan bitkilerde iyonik stres ve ozmotik stresi takiben oksidatif stres meydana gelir.

Topraktaki tuz miktarının artması, içeriğinde bulunan bazı mikroorganizmaları (nitrifikasyon ve amonyağı oksitleyen) da etkiler. Nitrojen döngüsündeki nitrifikasyon, bakteriler ve amonyağı oksitleyen arkeler tarafından kontrol edilir. Tuzun artmasıyla, nitrifikasyon inhibisyonu gerçekleşir. Bunun sonucunda, amonyağı oksitleyen mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetleri etkilenir ve nitrifikasyon engellenebilir. Bunun yanı sıra, tuz miktarı yüksek olan toprakta, *Nitrosomonas* cinsine ait bakteri topluluğunun da arttığı görülmektedir [96].

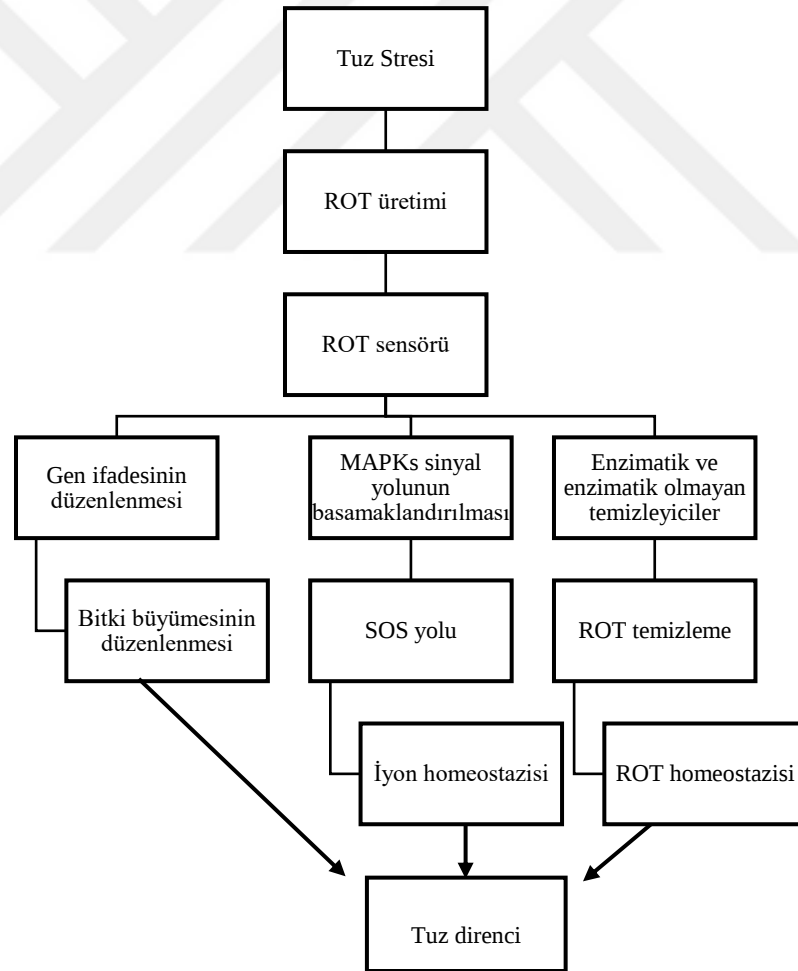
Fotosentez, doğrudan veya dolaylı olarak mahsulün verimini ve kalitesini etkileyen en temel etmenlerden biridir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerin fotosentez mekanizmalarındaki aksamalar fizyolojik süreçlere zarar verebilir [97]. Bu strese maruz kalan bir bitkinin, fotosentetik mekanizmasındaki tepkiyi belirlemek oldukça güçtür. Bitkinin genotipinden yaşam süresine kadar farklılaşan birçok faktör vardır [98]. NaCl'ye karşı tolerans gösterebilen bitkiler, tuzluluğa alışmak adına morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde bir dizi adaptasyon geliştirir [99]. Bu adaptasyonlar, klorofil içeriğinin artması, kök ve kanopi oranında meydana gelen anatomik değişimler gibi durumları içermektedir. Aynı zamanda, yaprak iyonu toksisitesi önlenerek, fotosentez sürecini korumak için su kaybı kontrol altına alınır [99]. Tüm bunlara rağmen, maruz kalınan tuz stresi, hücrenin içinde yer alan ROT'ların içeriğinde artışa neden olur. Tuzun bitki bünyesinde sürekli birikiyor olması, süperoksit ($O_2^{\cdot-}$), singlet oksijen (1O_2), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($^{\cdot}OH$) gibi ROT'ların kontrolsüz bir şekilde üretimini başlatır [100]. ROT miktarının çok yüksek olması, fotosentetik mekanizmayla ilgili proteinlerin sentezine engel olur ve tilakoid membran yapısında gösterdiği tahribat nedeniyle fotosentezi engeller [8].

Tuz stresi, yalnızca dışarıdan tuz ilavesiyle oluşmamaktadır. Bitkinin köklerini çevreleyebilecek suyun içerisinde veya dolaylı yollardan tuzlanan toprağın içerisinde de tuz molekülleri bulunabileceği için bu alandaki çalışmalar her geçen yıl artış göstermektedir.

Tuzluluğun artması; bitkiden çiçeğine, besin maddelerinden toprak pH'sına kadar etki gösterebilir.

2.3.5. Tuz stresinin aspir bitkisi üzerine etkisi

Tuzun aspir bitkisine olan etkisi de değişen toprak ve su koşullarından dolayı birçok defa araştırılmıştır. Aspir bitkilerinde tuzluluğun bazı öne çıkan etkileri şunlardır; çimlenmenin ve fidelerin oluşumunda azalma, biyokütlede azalma, su stresi, iyon toksisitesi, antioksidan enzim aktivitesinde değişiklik, hastalığa duyarlılık vb. Stres çalışmalarının sonuçları karşılaştırılırken; stresin şiddeti, süresi, yetiştirme koşulları ve uygulanan bitkinin strese karşı geliştirdiği mekanizmalar oldukça önemlidir. Tuz stresine maruz kalma anında ROT sinyal iletiminin aşamaları Şekil 2.7.'de gösterilmektedir [101].



Şekil 2.7. Tuz stresine maruz kalma anında ROT sinyal iletimi [101]

Bir çalışmada 10 farklı aspir türünde, altı hafta boyunca 150 mM NaCl uygulaması yapılmış olup stres sonrası alınan örneklerde, sürgün biyokütlesinde ve bağıl su içeriğinde belirgin bir düşüşe neden olduğu belirlenmiştir [102].

Aspir bitkileri için yapılan kombine bir uygulamada [103], tuz stresi ile çinko oksit nanopartikülleri ve mikrobiyal gübre kullanılmıştır. Tohumların gelişiminden sonra 5 gün boyunca toprağa 250 mM NaCl uygulanmıştır. Tuz stresi oluşturulduktan sonra yapraktan 17 mg/L çinko oksit nanopartikülü spreyleme yoluyla uygulanmış, 40 gün sonra örnekler toplanmıştır. Deneme düzeni üç uygulamayı da içerecek şekilde 8 farklı grupta kurulmuştur. Kontrol grubu ile tuz stresi grubu arasındaki yaş ağırlık ve kuru ağırlık değişim oranlarında ciddi bir düşüş olduğu ve yaprak alanında %44,7'lik bir azalma olduğu bildirilmiştir.

1 mM'lık salisilik asit ve farklı sodyum klorür konsantrasyonlarıyla (0, 100 ve 200 mM NaCl) aspir fidelerinin bazı biyokimyasal ve moleküler etkileri incelenmiştir [104]. Bitkilerin örnekleri, uygulamanın başlamasından 21 gün sonra toplanmıştır. Tuzluluğa maruz kalan bitkilerin, klorofil ve toplam çözünür protein içeriklerinde ciddi azalmalar kaydedilmiştir. İncelenen tuz konsantrasyonlarından 200 mM NaCl konsantrasyonu, en çok azalan etkiyi göstermiştir. Kontrol ile sadece tuz (100, 200 mM) uygulaması yapılan bitkilerde sırasıyla toplam klorofil içeriği değerleri; $0,69 \pm 0,032$, $0,56 \pm 0,011$ ve $0,23 \pm 0,015$. Kontrol ile 100 mM tuz arasındaki fark bile yüksekken, 100 mM tuz ile 200 mM tuz arasındaki fark oldukça yüksek çıkmıştır. Kontrolle tuzlu gruplar arasında toplam karotenoid miktarlarında kıyaslama yapılmış olup, istatistiksel olarak anlamlı fark çıkmıştır. 100 mM tuz ($0,25 \pm 0,014$) ve 200 mM tuz ($0,28 \pm 0,023$) miktarları arasında anlamlı fark çıkmış, tuz miktarı arttıkça toplam karotenoid miktarında azalma görülmüştür. Karotenoid miktarları ise tuz miktarı arttıkça yükselme eğiliminde olmuştur. Bu noktada, kloroplastta antioksidanların arasında bulunan karotenoidler ROT moleküllerini temizleyerek bitkinin üzerindeki stresi azaltma eğilimi gösterirler [104]. Stres anındaki artışı bitkinin gelişme mekanizmasına destek sağlayabilir.

Halobakteriler ve halotoleranslı organizmalar gibi halofitler, hücrelerinin içindeki sodyum konsantrasyonlarını düşük seviyelerde tutabilecek bir mekanizmaya sahiplerdir. Bu organizmalar dışındaki neredeyse tüm canlılar için sodyum birikimi toksik bir etki yaratır. Özellikle 400 mM üzerindeki yüksek tuz konsantrasyonları, çoğu enzimin aktivitesini

hidrofobik-elektrostatik dengenin bozulmasıyla inhibe eder [105]. Düşük tuz konsantrasyonlarında (~100 mM) bile tuz toksisitesi meydana gelebilir.

NaCl konsantrasyonu sırasıyla 0, 40, 80 ve 120 mM olarak uygulanan aspir fidelerinin artan tuzlulukla beraber klorofil içerik indeksi, RWC değeri, yaprakların alanı ve tohum verimi azalmıştır [106]. RWC değerleri 0, 40, 80 ve 120 mM olan tuz konsantrasyonlarına göre sırasıyla; 83,4, 73,3, 70,1 ve 69,4 olarak değişmiştir. Kontrol ile 120mM tuz konsantrasyonu arasındaki %14'lük azalış ciddi bir kaybı ifade etmektedir. RWC değerindeki azalma, ozmotik stres ve kationun yetersizliği ile yorumlanmıştır. Toplam klorofil içerikleri ise sırasıyla; 60,9, 57,7, 58,1 ve 44,7'dir. Klorofil içeriğinde oluşan azalma ise hücre içinde artan klorofilaz enzimi [106], [107] ve şiddetli tuz nedeniyle klorofilin stabilite indeksinin azalmasıyla [106], [108] yorumlanmıştır.

Stres toleransı incelemesinde [109], 0, 100 ve 200 mM NaCl uygulanan aspir bitkilerindeki sonuçlarda; yaş ve kuru ağırlık sonuçları çıkarılmıştır. 0, 100 ve 200 mM NaCl konsantrasyonlarındaki yaş ağırlık değerleri sırasıyla; $4,42 \pm 0,022$, $2,83 \pm 0,025$ ve $2,22 \pm 0,013$. Kuru ağırlıkları sırasıyla; $0,74 \pm 0,018$, $0,48 \pm 0,023$ ve $0,39 \pm 0,012$. Tuz miktarının artmasıyla hem yaş hem de kuru ağırlıklarda azalmalar görülmüştür. Kontrol bitkileri ile 200 mM tuz arasında neredeyse yarıya yakın bir oran vardır. 100 ile 200 mM tuz arasında ise kontrolde olduğu kadar bir değişim olmamakla beraber tuz miktarı arttıkça ağırlık değerleri azalmıştır.

Kayaçetin (2022)'in yaptığı bir çalışmada [110], farklı tuz konsantrasyonları (0, 200, 400 mM) uygulanmış olup çimlenme yüzdeleri sırayla; 91,11, 90,28 ve 87,5'dir. Tuz miktarının artmasıyla tuzlu toprakta çimlenme oranının da azalabileceği söylenebilir. Sırasıyla yaş ağırlık ölçüleri 16,47, 14,04, 14,38; kuru ağırlık ölçüleri 2,52, 2,35, 2,42. Diğer çalışmalarla tutarlı olan değerler tuz stresinden yaş ve kuru ağırlıkların etkilendiğini göstermektedir.

Aspir bitkilerine uygulanan 50, 100, 200 ve 300 mM NaCl ilavesinde bazı morfolojik sonuçlar paylaşılmıştır [111]. Sürgünlerin uzunlukları; 0, 50, 100, 200 ve 300 mM NaCl ilavesinde sırasıyla %14,4, %33,3, %47,3 ve %80,4 azalma görülmüştür. Köklerin uzunluklarında ise sırasıyla %19,5, %29,0, %45,78 ve %76,2'lik düşüş sergilenmiştir. Tohumların çimlenme oranı, konsantrasyonun yükselmesiyle beraber düzenli olarak

azalmıştır; 0, 50, 100, 200 ve 300 mM NaCl kullanım sırasıyla %91,1, %90,0, %84,4, %75,6 ve %55,6 değerinde azalmıştır.

Asol, Balcı, Linas ve Olas aspir türlerindeki tuz direnci araştırmalarının birinde [112] çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu ve taze fide ağırlığı belirlenmiştir (Tablo 2.6.). Çimlenme süresinde tuz miktarı yükselmesiyle bir artış olmaktadır. Çimlenme yüzdelерinde ise tuz miktarının artmasıyla yükselen çimlenme oranı tohumların strese girerek üremelerine teşvik edici bir durum olduğu düşünülebilir.

Tablo 2.6. Asol, Balcı, Linas ve Olas aspir türlerinin çimlenme değerleri [112]

NaCl (mM)	Tür	Çimlenme yüzdesi (%)	Ortalama çimlenme süresi (gün)	Kök uzunluğu	Sürgün uzunluğu	Taze fide ağırlığı
Kontrol	Asol	92	1,25	4,55	7,68	4,59
	Balcı	95	1,87	8,38	7,05	3,37
	Linas	94,5	1,42	6,2	4,35	2,64
	Olas	98	1,06	6,6	3,1	2,08
50	Asol	97	1,11	4,5	7	4,39
	Balcı	100	1,67	9,38	8,83	3,26
	Linas	97,5	1,09	8,78	6,8	2,51
	Olas	98,5	1,38	8,78	3,88	2,05
100	Asol	98	1,1	4,5	6,88	3,78
	Balcı	99	1,75	8,4	7,18	3,33
	Linas	98,5	1,2	6,63	5,45	2,11
	Olas	98,5	1,49	6,3	3,7	1,87
150	Asol	98,5	1,96	4,78	7	3,49
	Balcı	98,5	1,98	7,58	6,2	3,24
	Linas	97	2,13	6,93	5,55	2,15
	Olas	89,5	2,09	5,95	3,2	1,68

[113] Golkar ve ark. (2019)'nın aspir bitkisinin tuzluluk stresi altında antioksidan aktivitelerin etkilerinin araştırıldığı çalışmasında, tuz stresinin lipid peroksidasyonunda ciddi ölçüde artış görülmüştür. Kontrole kıyasla fidelerin tuzluluğu durumunda, antosiyanin verilerinde ciddi artış olmamakla birlikte malondialdehit (MDA) ve katalaz (CAT) analiz verilerinde önemli artış görülmüştür.

MDA değerlerindeki farklılıklar; sentezlenen antioksidanların ve fenolik bileşiklerin stres ortamında, ROT detoksifikasyonu ile verimsiz etki oluşturması ve membran bütünlüğünün korunabilmesiyle bağlantılıdır. ROT'un neden olduğu hasarı önleyebilecek antioksidan enzimlerden biri olan katalaz, ROT'ların daha fazla temizlenmesiyle antioksidan aktiviteyi arttırmıştır.

Laboratuvar koşullarında yapılan ir stres çalışmasında [114], kontrol ve farklı tuz konsantrasyonları (0, 100, 200, 300, 400, 500 ve 600 mM) tuz stresi amacıyla karşılaştırılmıştır. Çoğu analizin sonucunda aspir tohumlarının 400 mM tuza kadar tolerans gösterebildiği bulunmuştur. Tuz miktarının artmasıyla, çimlenme ve fide analiz sonuçlarının doğrusal olarak azaldığı ifade edilmiştir. Tohumların çimlenme aşamasındaki toleransının yüksek olduğu, çimlenme sonrası fide gelişiminde toleransın orta derecede olduğu belirtilmiştir.

Hatamipoor ve ark. (2023)'ın yaptığı çalışmada [115]; tohumların çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine sodyum klorür tuzunun (0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 ve 350 mM) etkisine bakılmıştır. Tuzluluğun oksidatif strese neden olmasıyla birlikte, içerikteki Na⁺ iyonunu, H₂O₂ birikimini ve MDA'yı artırarak iyonik fitotoksositeye de yol açtığı bildirilmiştir. Tuz uygulamasında MDA birikimine bakılmış, yapraklarda kontrol fidelerine göre tuzlu fidelerin MDA sonuçlarının %47 oranına kadar arttığı belirtilmiştir. CAT sonuçlarına bakıldığında tuz stresine giren bitkiler düşük miktarlarda CAT aktivitesi göstermiştir. Birinci basamaktaki savunma antioksidanları olarak bilinen CAT ve askorbat peroksidaz (APX) antioksidan enzimleri, ROT'ların oluşumunu engellerler. Az miktarda bulunmaları stresin varlığını gösterir [116].

Yapılan başka bir çalışmada [7], Ankara'da Balcı, Linas ve Remzibey türleri yetiştirilmiş ve 0, 50, 100 ve 150 mM tuz stresi uygulanarak toplam klorofil ve karotenoid miktarları ölçülmüştür. Linas türünün toplam klorofil miktarları tuz konsantrasyon (0, 50, 100 ve 150 mM) sırasına göre; 3,32, 3, 3,26 ve 2,26 mg g⁻¹ FW. Karotenoid miktarları ise sırayla; 2,21, 3,59, 3,14 ve 2,56 mg g⁻¹ FW.

[117] Arslan ve ark. (2022)'ın bir çalışmasında, Dinçer ve Remzibey-05 türleri çalışılmış olup, biyokimyasal ve fizyolojik değişiklikler araştırılmıştır. Tuz uygulamasında belirgin bir farklılık oluşmamıştır. Dinçer ve Remzibey-05 çeşitlerinin kıyaslamasında

klorofil a ve b, karotenoid ve antosiyanin gibi fotokimyasal ölçüm sonuçlarında farklılık oluşmamıştır.

[118] Çulha ve ark. (2014)'nın stres çalışmasında, Dinçer, Remzibey-05 ve Yenice aspir türleri çalışılmıştır. 0, 75, 150, 225 ve 300 mM NaCl stresine tabi tutulmuştur. Dinçer türünün antioksidan enzim aktivitelerinin yüksek olmasından dolayı en etkili sonucu vermiştir ve tuza toleransı en yüksek tür olduğu belirtilmiştir. Tuz miktarının artmasıyla APX enzim aktivitesi Dinçer cinsinde artarken, Remzibey-05 ve Yenice türlerinin enzim aktivitelerinin azaldığı görülmüştür.

Tohumların çimlenme evresinde, 0, 50, 100 ve 150 mM konsantrasyonlarında NaCl eklemesinin bitkideki etkisi incelenmiştir [119]. Lipit peroksidasyonunun artması stresin arttığının bir göstergesi olabilir. NaCl konsantrasyonun da bu doğrultuda artması, MDA içeriğinde de artış göstermiştir.

0, 100, 200 ve 300 mM sodyum klorür tuzunun aspride kullanılmasıyla lipit peroksidasyon verileri incelenmiştir [120]. Farklı tuzluluk seviyelerinde MDA için önemli bir fark görülmemiştir. Kontrolün MDA değeri 0,54 iken 100 mM tuzlu örneğin 0,96, 200 mM tuzlu örneğin 1,08 ve 300 mM tuzlu örneğin 1,07 çıkmıştır. Kontrolle tuzlu bitkiler arasında yaklaşık olarak 2 kat vardır. Lipit peroksidasyonunun önemli ölçüde etkilendiği anlaşılabilmektedir. Karotenoid miktarları da sırasıyla; 0,0058, 0,0033, 0,0026 ve 0,0023.

[121] Zaoui ve ark. (2016)'ın çalışmalarında, sodyum klorür tuzunun aspr bitkisindeki toleransını araştırmışlardır. 0, 25, 50 ve 75 mM konsantrasyonları kullanılmıştır. Kontrolle karşılaştırıldığında MDA içeriği, 25 ve 50 mM NaCl dozlarında iki katından fazla artmıştır.

Zirai üretimde, toprak verimliliğini etkileyen farklı unsurlar bulunmaktadır. Tarımsal alanlarda bilinçsizce denenen farklı uygulamalar ile toprak yapısı her geçen gün bozulmaktadır. Bu durum, tarımsal üretim ve yeraltı suyu kaynaklarının kullanımı için olumsuz bir etki yaratmaktadır. İklim değişikliği ve çevre kirliliği, uygunsuz sulanan tarım alanları, ormansızlaşma ve arazi yönetiminin doğru yapılamaması gibi insan kaynaklı nedenler topraklarda tuzluluğu arttırmaktadır. Bu nedenlerin önüne geçebilmek adına birçok önlem alınabilir. Başta, sulama sularının temiz olmasına dikkat edilmelidir. Sulama sonrasında, topraktaki su buharlaşarak içeriğindeki tuzu toprağa hapseder. Başka bir önlem

ise, su döngüsünün sağlıklı bir şekilde devam etmesini sağlamaktadır. Bu sayede tuzluluğun giderilmesi sağlanabilir. Bu noktada, ağaçların ve bitki örtüsünün arttırılarak ormansızlaşmanın önüne geçilmesi ve toprak erozyonunun azaltılması için mücadele edilmelidir.



3.1.2. Tuz stresi uygulaması

Çalışma öncesinde yapılan ön deneme ile farklı tuz konsantrasyonları (50, 100, 150, 200, 250 Mm NaCl) üzerine bir çalışma yapılmış, tez çalışmasına en uygun olarak belirlenen 100 ve 150 Mm NaCl konsantrasyonlarının kullanılmasına karar verilmiştir. 100 mM NaCl çözeltisi için 5,85 g NaCl tartılmış ve saf suda çözülerek son hacim saf su ile 1L'ye tamamlanmıştır. 150 mM NaCl çözeltisi için 8,775 g NaCl tartıldı, saf suda çözülerek son hacim 1L'ye tamamlanmıştır. Tuz stresi uygulanacak gruplara sulama suyu olarak bu çözeltiler kullanılmıştır. Her saksı 2-3 günde 1 defa 50 mL tuzlu su çözeltisi ile sulanmıştır.

3.2. Metot

Filizlenme öncesi ve sonrasında uygulanacak olan tuz ile strese bağlı değişim ve gübre etkisi fiziksel ve kimyasal olarak incelenecektir.

3.2.1. Bitki yetiştirme ortamı ve çalışma gruplarının belirlenmesi

Bu tezde yürütülen deneysel çalışmalar, Başkent Üniversitesi Gıda Tarım ve Hayvancılığı Geliştirme Enstitüsü'nün Kahramankazan'daki laboratuvar ve seralarında yürütülmüştür. Çimlenmenin uygun ve hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ekim yapılacak potlar suya doyurulmuş ve her pota 3-4 tohum olacak şekilde ekim yapılmış ve tohumlar 1 cm torf-perlit karışımıyla kapatılmıştır. Çimlenmenin sağlıklı ve optimum düzeyde gerçekleşmesi için, ortam sıcaklığının 20 ile 24°C aralığında tutulmasına özen gösterilmiştir. Bitkiler çimlendikten sonra, gündüz sıcaklığı 20 ile 24°C, gece sıcaklığı ise 15 ile 20°C aralığında tutulmuştur. Işık kaynağı olarak ortamda güneş ışığı kullanılmış ve standart gün döngüsünden yararlanılmıştır.

Deneysel uygulamalar için 12 farklı grup oluşturulmuştur. Bu gruplar Tablo 3.1.'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Ekim desenindeki gruplar

1) Su Kontrol	2) Gübre Kontrol	3) Tohum Evresi Tuz (100mM)	4) Tohum Evresi Tuz (150 mM)	5) Gübresiz Toprağa İlk Gelişme Döneminde Tuz (100 mM)	6) Gübresiz Toprağa İlk Gelişme Döneminde Tuz (150 mM)
7) Gübreli Toprağa Gelişme Döneminde Tuz (100 mM)	8) Gübreli Toprağa Gelişme Döneminde Tuz (150 mM)	9) Eşzamanlı Gübre ve Tuz (Tohum Evresi) (100 mM)	10) Eşzamanlı Gübre ve Tuz (Tohum Evresi) (150 mM)	11) Tuzlu Toprağa İlk Gelişme Döneminde Gübre (100 mM)	12) Tuzlu Toprağa İlk Gelişme Döneminde Gübre (150 mM)



Şekil 3.2. Aspir tohumlarının ekim günü



Şekil 3.3. 14 günlük aspir fidelerinin görüntüsü



Şekil 3.4. 21 günlük aspir fidelerinin görüntüsü

3.2.2. Ölçüm ve analizler

Ölçümler her gün aynı saatte periyodik olarak tamamlanmıştır. Alınan örnekler -40°C’de analiz edilmek üzere bekletilmiştir.

3.2.2.1. Morfolojik ölçümler

Çimlenme öncesi ve sonrasında uygulanacak olan tuz stresinin ve gübre etkisinin çimlenme üzerindeki morfolojik etkilerini incelemek için bitkilerin % çimlenme oranı, sürgün uzunluğu ve yaş ve kuru ağırlık parametreleri ölçülmüştür. Ölçümler her gün aynı saatte periyodik olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümü yapılan örnekler analiz edilmek üzere, sıvı azot ile dondurularak -40°C’de muhafaza edilmiştir. Fiziksel ölçümler kumpas ve hassas terazi yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.1.1. Çimlenme oranı

Bitkilerin % çimlenme oranını belirlemek için, her gün saksılardan çıkan bitkiler sayılmıştır. Ekilen toplam tohum sayısı ile çıkan tohum sayısının birbirine oranlanmasıyla çimlenme oranı hesaplanmıştır (Denklem 3.1.).

$$\text{Çimlenme oranı (\%)} = (\text{Çıkan tohum sayısı} / \text{Ekilen toplam tohum sayısı}) \times 100 \quad (3.1)$$

3.2.2.1.2. Sürgün uzunluğu

Gübre uygulamasından sonra gelişen kontrol ve farklı konsantrasyonlarda tuz ilave edilen aspir bitkilerinin sürgün boyları kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Her gruptan rastgele seçilen 9 bitkinin topraktan çıktığı bölge ile yaprak ucu arasında kalan kısım (Şekil 3.5.) cm cinsinden ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.5. Fidelerin uzunluk ölçümleri

3.2.2.1.3. Yaş ve kuru ağırlık ölçümleri

Çalışma gruplarının arasındaki yaş ve kuru ağırlık farklarını belirlemek için, her bir çalışma grubundan en az 6 bitki seçilerek, yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Ardından bitkiler, 60 °C’de kurutma fırınında 24 saat bekletilmiş ve kuru ağırlıklar ölçülmüştür.

3.2.2.2. Fizyolojik ve biyokimyasal ölçümler

Farklı tuz konsantrasyonları ve gübre uygulamalarının farklarını belirlemek için gerçekleştirilen fizyolojik ve biyokimyasal ölçümlerde; bağıl su içeriği (relative water content- RWC) ve MDA miktarı belirlenmiştir. Gerçekleştirilecek analizlere uygun olacak

şekilde kök ve yapraklardan örnek alınıp, sıvı azotla muamele edilmiş olup, biyokimyasal analizler için örnekler -40°C’de saklanmıştır.

3.2.2.2.1. Bağlı su içeriğinin (RWC) ölçülmesi

Her çalışma grubunu temsil edecek şekilde her gruptan 3-4 yaprak alınarak tartılmıştır ve ilk yaş ağırlıkları (YA) kaydedilmiştir. Bitkilerin turgorlu hale gelebilmeleri için distile su içerisinde yaprak sayı ve yaprak laminası suya temas edecek şekilde, distile suya bırakılmıştır ve 4°C’de 24 saat boyunca bekletilmiştir. 24 saatin ardından bitkilerin ağırlıkları ölçülmüş ve turgorlu ağırlıkları (TA) kaydedilmiştir. Ardından bitkiler 60°C’de 24 saat etüvde kurutulup kuru ağırlık (KA) tartılmıştır. Aşağıdaki denklem (Denklem 3.2.) ile RWC (bağlı su içeriği; relative water content) değeri hesaplanmıştır [123].

$$\text{RWC (\%)}: [(Y.A.-K.A.) / (T.A.-K.A.)] \times 100 \quad (3.2)$$

(Y.A.: Yaş ağırlık, K.A.: Kuru Ağırlık, T.A.: Turgorlu Ağırlık)

3.2.2.2.2. Malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi

Malondialdehit (MDA), lipidlerin oksidatif bozulmasını analiz etmek adına kullanılan bir aldehittir ve omega 3 ile omega 6 yağ asiti gibi doymamış yağ asitlerinin oksidasyon reaksiyonu sonucu üretilir [124].

Lipid peroksidasyonu; oksidanların (serbest radikaller gibi), karbon-karbon çift bağlarını içeren lipitlere saldırdığı bir reaksiyon olarak tanımlanabilir. Bu süreçte, saldırıya maruz kalan bileşikler çoklu doymamış yağ asitleri olmaktadır. Oksidatif stresin belirlenebildiği en yaygın ve güvenilir biyobelirteçlerden biri MDA analizidir [125].

Gübre ve tuzun bitki üzerindeki etkisini kontrol grubuyla karşılaştırmalı olarak MDA analizi yapılarak, lipid peroksidasyonundaki değişim değerlendirilmiştir. MDA analizi için kontrol ve stres grubundaki bitkilerden alınan 0,05 g kök ve 0,05 g yaprak örnekleri 4 mL %0,1 trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edilmiştir. Homojenat 10000 rpm’de 15 dakika santrifüj edilerek cam tüpe alınan 0,5 mL süpernatanın üzerine 1 mL TCA TBA-HCl (%15 trikloroasetik asit, %0,375 tiobarbitürik asit, 0,25 N HCl) çözeltisi ve 0,5 mL pH’sı

7,6 olan 0,1 M tris/HCl tamponundan eklenmiştir. Reaksiyon karışımı, 97°C'lik su banyosunda 45 dakika bekletilerek tüpler buz banyosuna alınmıştır. Bu işlemten sonra reaksiyon karışımı 10000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiş, ve spektrofotometrede 532 ve 600 nanometre dalga boylarında absorbans değerleri okunmuştur. Protokolü takiben, kök ve yaprak dokularındaki MDA miktarı nmol g FW.⁻¹ olarak aşağıdaki denkleme (Denklemler 3.3.) göre belirlenmiştir [126].

$$A = ((ABS\ 532 + TBA) - (ABS\ 600 + TBA)) - ((ABS\ 532 - TBA) - (ABS\ 600 - TBA)) \quad (3.3)$$

3.2.2.3. Fotokimyasal ölçümler

3.2.2.3.1. Klorofil pigment miktarının belirlenmesi

Yapraklarda bulunan tam pigment ekstraksiyonu için toplam klorofil (a + b), klorofil a, klorofil b ve toplam karotenoid (ksantofiller ve karotenler; x + c) miktarının tayininin yapılabilmesi UV/viz spektroskopisi kullanılmıştır. Protokole göre; 1 cm uzunluğunda veya 1 cm² yüzeye sahip yaprak parçaları toplanıp ilk ağırlıkları tartılmıştır. Ardından, yapraklar %100, 1 mL aseton (MERCK) içeren ependorf tüpler içinde 4°C'de 4 gün inkübe edilmiştir. 3500 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Ardından süpernatant, 470, 644,8 ve 661,6 nanometredeki absorbans değerleri ölçülmüştür. Yaprak örneklerinde bulunan K_a, K_b ve K(x + c) (karotenoid) konsantrasyonları Lichtenthaler ve Buschmann'a [127] göre hesaplanmıştır.

3.2.2.3.2. Antosiyanin pigment miktarının belirlenmesi

Örneklerin antosiyanin içeriğini belirlemek için, taze doku örneği kullanılmıştır. 0,05 g taze doku örneğine %79 (v/v) metil alkol (Merck), %20 distile su, %1 HCl (Merck) (h/v) çözeltisinden 1 mL eklenerek homojenize edilir. Örnekler, 4°C'de 4 gün inkübe edilerek, örnek solüsyonunun absorbansı 530 ve 657 nanometrede ($\epsilon \approx 34,300\ M^{-1}.cm^{-1}$) ölçülmüştür.

Antosiyanin miktarı (mg mL⁻¹ gFW⁻¹) cinsinden Antosiyanin = $A_{530} - (A_{657}/3)$ denkleminde hesaplanmıştır [128], [129].

3.2.2.4. Enzim aktivitesinin belirlenmesi

Bitkilere uygulanan stresin antioksidan enzim sistemi üzerine olan etkisinin belirlenebilmesi için askorbat peroksidaz ve katalaz aktiviteleri incelenmiştir.

3.2.2.4.1. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesinin belirlenmesi

APX tayininde 0,05 g kök ve 0,05 g yaprak örnekleri sıvı nitrojenle homojenizasyonu yapılmıştır. Homojenatlar, %2'lik polivinilpoli piroldon, 2 mM askorbat ve 1 mM EDTA içeriğindeki çözelti ile 50 mM Tris-HCL tamponu (pH 7,2) içinde süspanse edilmiştir. Örnekler santrifüj edildikten sonra süpernatantlarda bulunan toplam protein miktarı Bradford'a [130] göre belirlenmiştir. 290 nanometrede 3 dakika boyunca 30 saniye aralıklarla askorbatın absorbansındaki azalma kaydedilmiştir ($\epsilon=2.8 \text{ mM}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) [131], [132].



Şekil 3.6. APX enzim aktivitesinin ölçülmesi

3.2.2.4.2. Katalaz (CAT) aktivitesinin belirlenmesi

Çalışma grupları arasındaki katalaz (CAT) aktivitesinin belirlenmesi için aşağıdaki protokol uygulanmıştır. Kontrol, stres ve gübre gruplarına ait bitkilerden alınan 0,05 g taze kök ve 0,05 g yaprak örneği sıvı azot ile ezilmiş, 50 mM tris-HCl (pH 7,8) içeren 1 mL'lik

Çözelti eklenmiştir 14000 g ve +4°C’de 20 dakika santrifüjlenmiştir. (Süpernatant enzim ölçümü için ayrılır.) 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7,0), 100 mM H₂O₂ çözeltisi ve 100 µg protein içeren enzim ekstraktı hazırlanır. Reaksiyon, H₂O₂’nin ortama eklenmesiyle başlatılır. Örneklerin absorbansı spektrofotometrede 240 nanometrede okunmuştur. Toplam CAT enzim aktivitesi hesaplanmıştır ($\epsilon = 39,4 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) [133], [134], [135].

3.2.2.5. İstatistiksel analizler

Bu çalışmadaki deneyler, 3 biyolojik tekrarlı, her tekrardaki her araştırma grubu kendi içinde 6 teknik tekrarlı ve rastgele deneme deseninde olacak şekilde tasarlanmıştır. Elde edilen tüm verilere ait istatistiksel analizler SPSS V. 25.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk Testi ile incelenmiştir. Tanımlayıcı analizler sunulurken ortalama, standart sapma, ortanca, minimum ve maksimum değerleri kullanılmıştır. Normal dağılım gösteren değişkenler ikiden fazla grup arasında değerlendirilirken Tek Yönlü (One-Way) ANOVA testi, normal dağılım göstermeyen değişkenlerde ise Kruskal Wallis Testi kullanılmıştır. Gruplar arasındaki farklılıklar Dunn’s Benferroni Testi ile belirlenmiştir. p- değerinin 0,05’in altında olduğu durumlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Morfolojik ölçümler

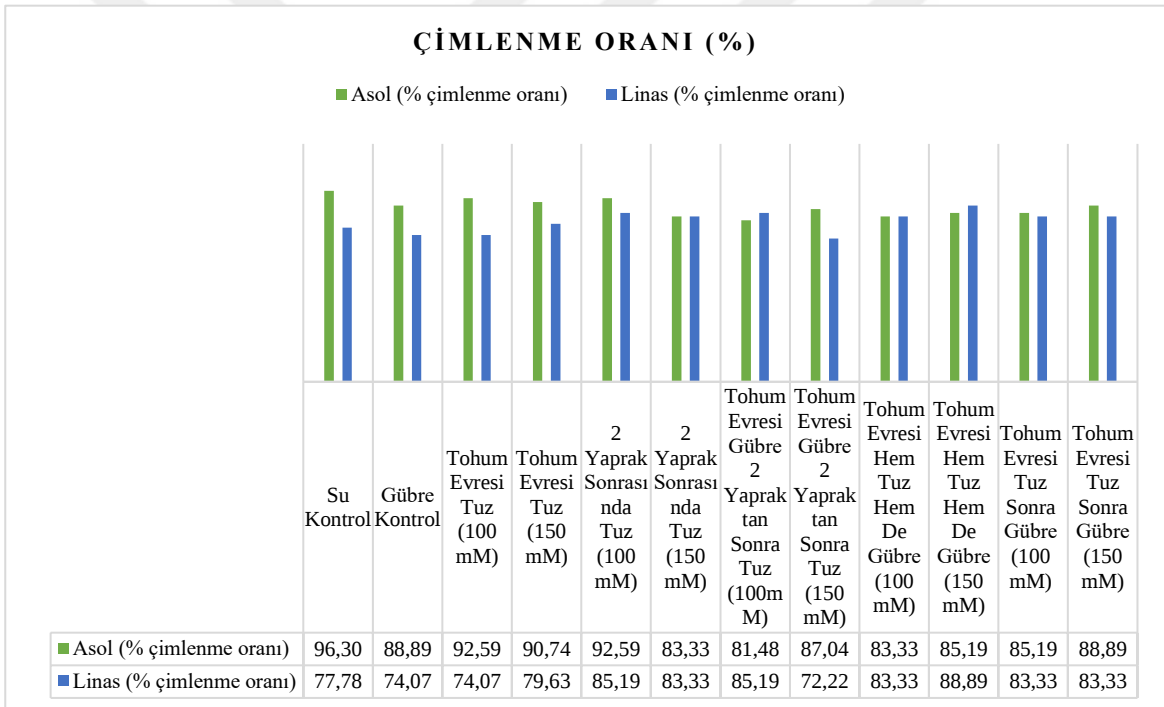
4.1.1. Çimlenme oranı

Bulguların bu aşamasında, iki farklı NaCl konsantrasyonundaki uygulamalarının (100, 150 mM NaCl) ve farklı gübre-tuz kombinasyonu uygulamalarının aspir tohumlarındaki çimlenme üzerine etkisi incelenmiştir.

Bitkilerin yaşam döngüsü çimlenme süreciyle başlar ve bu döngünün devamlılığı için tohumun optimum koşullarda, gelişimine ve yayılmasına olanak sağlayan en önemli aşamadır [136]. Çalışmalarda tohum değerlendirmeleri, hem tohumun biyolojik özellikleri (tohum büyüklüğü, tohum kabuğunun varlığı, tohumun uykuda olma hali vb.) bakımından hem de çevresel etkiler (hasat tekniği, üretim evresi vb.) göz önünde bulundurularak yapılmalıdır [137]. Tohumun fideye dönüşme aşamasını başlatan tohum çimlenmesi farklı fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerle sonuçlanır. Bitki türlerinin farklı abiyotik stres faktörlerine maruz kalma durumları, tohumların çimlenme aktivitesinde azalmaya neden olabilmektedir. Topraktaki tuz oranının artışı bitkide strese sebep olan bir faktördür. Bu nedenle, bitki halofit olsa bile bir miktar tuz konsantrasyonu çimlenme oranını düşürebilmektedir [138].

Mikrobiyal gübre uygulamasıyla birlikte artan NaCl konsantrasyonundaki uygulamaların aspir tohumlarındaki çimlenme oranı ilk uygulama gününden sonraki 10. gününde belirlenmiştir (Şekil 4.1.). Asol çeşidi incelendiğinde kontrol grubundaki %96'lık çimlenme oranına göre tüm gruplarda tuz uygulamasıyla birlikte çimlenme oranı en fazla %83'lere düşmüştür. Asol tohumuna tohum evresinde gübre uygulaması yapılan 2. kontrol grubunda çimlenme oranı, su kontrol grubuna göre önemli ölçüde etkilenmiştir. Diğer gruplarla birlikte gübre kontrol grubu kıyaslamasında, gübrenin farklı koşullarla kombine uygulamalarında da çimlenme veriminin %88-81 oranlarına kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Yalnızca Asol ve Linas çeşitlerine bakıldığında, Asol çeşidinin çimlenme oranı su kontrol grubunda %96 iken, Linas çeşidinin su kontrol grubundaki çimlenme oranı %77 olarak

hesaplanmıştır. Buna durumda, Asol çeşidinin çimlenmeye yatkınlığı ve tohum canlılığı Linas çeşidine göre daha yüksektir. Linas çeşidinin incelemesinde, çimlenme yüzdeleri tuz stresi tarafından olumsuz etkilenmiş olmasına rağmen kombine uygulamalarda (mikrobiyal gübre+NaCl) çimlenme veriminin arttığı görülmektedir. Bu verim artışı, Linas çeşidi tohumunun uykuda kalma halinin uzun sürmesi olarak yorumlanabilmektedir [138]. Linas çeşidinin strese maruz kalma durumunda uyku halinden çıkıp yaşam döngüsünü başlatma isteğinin daha yüksek olduğu stres gruplarındaki çimlenme oranının artışı açıklayabilir. Linas çeşidinde tuz uygulamasındaki çimlenme oranı (~%81), su kontrol (%77) ve gübre kontrol (%74) gruplarına göre daha yüksektir (Şekil 4.1.). Bu durumda Linas çeşidinin stresle karşılaşma durumunda çimlenmesini arttırarak yaşamsal faaliyetlerini hızlandırdığı düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Asol ve Linas tohumlarının çimlenme oranı

Literatürdeki çalışmalarda da artan NaCl konsantrasyonlarında pirinç tohumu [139], *Salicornia brachiata* (deniz börülcesi) [140], *Lavandula stoechas* [141], diğer halofitik bitkilere kıyasla tuz toleransı yüksek olan ve tuzlu su otu olarak da bilinen *Spartina alterniflora* [142] bitkisinde de çimlenme oranının azaldığı gösterilmiştir.

Topraktaki tuzluluğun artması, bitkideki besin ve hormon dengelerini bozarak gibberellin/absisik asitte bozunmaya neden olur [143]. Bu durum, tohumun çimlenmesinde gecikme yaşanmasına sebep olabilmektedir.

4.1.2. Sürgün uzunluğu

Bitki yetiştirme ortamındaki tuz konsantrasyonu sadece çimlenmeye değil, çimlenme sonrasında bitkinin sürgün uzunluğuna da etki etmektedir [144]. Topraktaki tuz miktarının artışıyla ozmotik potansiyelde azalma meydana gelerek stresin etkisi ortaya çıkmaktadır. Tuzluluk stresine maruz kalma durumunda, çevredeki mevcut suyun azalmasıyla turgor kaybı yaşanmaktadır bu da hücre duvarındaki genişlemeyi sınırlar ve bitkilerdeki büyümeyi azaltır [145].

Asol ve Linas gruplarında sürgün uzunluk ölçümü açısından anlamlı farklılıklar vardır (sırasıyla $p < 0,001$, $p < 0,001$) (Tablo 4.1.). Asol grubunda; gübre kontrol uzunluk ölçümü tohum evresi tuz (150 mM), 2 yaprak sonrasında tuz (150 mM), tohum evresi hem tuz hem de gübre (150 mM) ve tohum evresi tuz sonra gübre (150 mM) gruplarına göre daha yüksektir. Tüm 150 mM NaCl uygulamaları, kontrol grubunun sürgün uzunluk değerinin altında kalmıştır. Kontrol grubuna göre tuz uygulaması yapılan grupların stres kaynaklı uzunluk yönünden gelişimlerinin baskılandığı düşünülebilmektedir. Asol çeşidinin sürgün uzunluğu verilerindeki diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Birçok çalışmada da belirtildiği gibi tuz konsantrasyonunun artmasıyla sürgün uzunluğu olumsuz etkilenmiştir. Linas çeşidindeki normal koşullarda, gübre uygulaması diğer uygulamalara göre sürgün uzunluğuna olumlu etkisini göstermiştir. Bu etki tohum evresi tuz (150 mM) ve tohum evresi hem tuz hem de gübre (150 mM) uygulamasında anlamlı düzeyde değişiklik göstermiştir. Analiz, Tek Yönlü ANOVA ve Dunn's Benferroni Testi ile yapılmıştır.

Asol çeşidinin verileri incelendiğinde; gübre uygulaması olumlu etki gösterirken, su kontrol ve gübre kontrolün aralarında anlamlı farklılık bulunmasa da gübrenin etki ettiği söylenebilir. Tuz uygulamalarının kendi içindeki kıyaslamasında, değişen uygulamalarda 100 mM'dan 150 mM'a her geçişte sürgün uzunluğunda azalma meydana gelmiştir. Tohum evresi tuz ve 2 yaprak sonrasında tuz uygulamaları arasında sürgün uzunluğu anlamında

istatistiksel anlamda bir farklılık oluşmamıştır. Tuz ile birlikte gübre uygulaması yapıldığında 100 mM için; gübre kontrol uygulaması yapılan (33,07 cm) grupla tohum evresi hem tuz hem de gübre (100 mM) (29,12 cm) ve tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) (30,02 cm) grubunun verilerine bakıldığında, gübrenin kombine uygulamalarında kontrole yaklaşan değerler gösterdiği, tuz stresi altındaki bitkilere uygulandığında olumlu sonuç verdiği görülmüştür. Tohum evresi gübre sonra tuz (100 mM) (30,02 cm) ve tohum evresi tuz 2 yapraktan sonra gübre (100 mM) (25,79 cm) gruplarına bakıldığında, gübrenin bitki strese girmeden önce uygulanması durumunda daha fazla olumlu etki ettiği görülmektedir.

Linas çeşidinin verileri incelendiğinde Asol çeşidine göre önemli düzeyde bir farklılık bulunmamıştır. Sürgün uzunluğu kıyaslamasında Asol ve Linas çeşitleri birbirine uyumlu sonuçlar vermiştir (Tablo 4.1.).

Tablo 4.1. Sürgün uzunluk verileri

Çeşit	Uygulama	Sürgün Uzunluğu (cm)	p	Multiple Comparisons
		Ort. $\pm$ ss		
Asol	Su Kontrol (a)	29,56 $\pm$ 4,62	<0,001	b>d,f,i,k
	Gübre Kontrol (b)	33,07 $\pm$ 5,03		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	27,72 $\pm$ 5,17		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	23,3 $\pm$ 4,99		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	28,38 $\pm$ 4,83		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	23,82 $\pm$ 2,98		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	30,02 $\pm$ 3,94		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	27,49 $\pm$ 3,98		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	29,12 $\pm$ 7,46		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	24,36 $\pm$ 5,75		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	25,79 $\pm$ 5,53		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	23,63 $\pm$ 3,73		
Linas	Su Kontrol (a)	31,7 $\pm$ 6,28	<0,001	b>d,i
	Gübre Kontrol (b)	33,72 $\pm$ 7,69		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	29,81 $\pm$ 4,60		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	24,16 $\pm$ 5,40		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	29,6 $\pm$ 4,63		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	26,68 $\pm$ 4,56		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	32,32 $\pm$ 6,02		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	29,74 $\pm$ 5,42		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	31,51 $\pm$ 6,37		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	24,78 $\pm$ 4,28		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	30,22 $\pm$ 5,45		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	25,33 $\pm$ 2,45		

Aspir fidelerine tuz stresi uygulaması yapılan bir çalışmada, 60 mM'lık tuz konsantrasyonunda düşük düzeyde de olsa kontrol grubuna göre uzunluğa olumsuz etki göstermiş olup 120 mM konsantrasyonda ciddi farklılık görülmüştür [146].

Kuzey Avustralya'da son yıllarda muson yağmurlarının zamanlamasındaki farklılıklar nedeniyle sulak alan türlerinin (*Avustralya nymphaea*, *Vallisneria americana*) tuz stresi koşullarında büyümeleri araştırılmış ve 100 mM'dan daha yüksek tuz konsantrasyonlarında fide uzunluğunda olumsuz etki gözlemlenmiştir [147].

Sorgum bitkisinin yetiştirilmesinde 100 ve 200 mM NaCl seviyelerindeki çözeltilerle sulama yapıldığında sürgün uzunluklarında kademeli olarak azalma tespit edilmiş olup Debuday cinsi sorgum bitkisinde 100 mM tuzlulukta sürgün uzunluğunda %31'luk bir azalma olurken 200 mM'lık tuzlulukta %58'lik azalma meydana gelmiştir [148].

Biyoaktif bileşik yönünden güçlü olan adzuki fasülyesinde yapılan çalışmada tuz konsantrasyonu ile birlikte sürgün uzunluğunda azalmalar gözlemlenmiştir [149].

Baklagillerden biri olan sakız fasulyesi (*Cyamopsis tetragonoloba* L.), tuzlu koşullarda sürgün uzunluğu incelemesinde kontrol grubunun uzunluğu 17,33 cm olup dört farklı tuz konsantrasyonunda (40, 80, 120 ve 160 mM) sırasıyla 16,39 cm, 15,85 cm, 15,19 cm ve 14,65 cm sürgün uzunluğu tespit edilmiştir [150].

Pamuk bitkisinde tohum aşamasındaki ön gübrelemenin, 100 mM tuz stresi uygulanan bitkilerde büyümede iyileşmeye neden olduğu saptanmıştır [151].

Tuza en dayanıklı tohumlardan biri olan arpanın iki farklı türü için tuz stresi uygulaması yapılmış ve tuzun sürgün uzamasına baskılayıcı etki gösterdiği görülmüştür [152]. Bununla beraber, 1-20 mM aralığındaki NaCl uygulamasında büyümeyi destekleyici ve fenolik bileşik sentezine etki ederek enzim aktivitesine olumlu katkı sağladığı da belirtilmiştir [153], [152].

Domates bitkisinin mikrobiyal gübre ile büyütülmesinde farklı gübre varyasyonları kullanılmıştır (Kontrol, *Bacillus subtilis*, *Bacillus polymyxa* ve kombine *Bacillus* gübresi).

Uzunluk kıyaslaması yapıldığında en fazla *Bacillus subtilis* 'de artış görülürken, arkasından sırasıyla *Bacillus polymyxa*, kombine *Bacillus* gübresi ve kontrol uygulama grupları gelmektedir [154].

Kauçuk bitkisi (*Hevea brasiliensis*) 500 mM NaCl stresi altındayken *Enterobacter* ve *Bacillus* cinsi mikroorganizmaların biyogübre uygulamasında kontrol grubuna kıyasla sürgün uzunluğu, gövde çapı, kök uzunluğu değerlerinin ciddi ölçüde arttığı tespit edilmiştir [155].

4.1.3. Yaş ve kuru ağırlık ölçümleri

Etüvde fırınlanmadan önce ve sonra arasındaki ağırlık değişimi açısından gruplar arasındaki anlamlı farklılıklar Kruskal Wallis Testi ve Dunn's Benferroni Testi ile araştırılmıştır. Araştırma sonucunda Asol grubunda deney grupları arasında istatistiksel anlamda anlamlı farklılık varken ($p < 0,003$), Linas grubunda ağırlık değişimi açısından istatistiksel anlamda anlamlı farklılık bulunmadığı ($p < 0,638$) görülmüştür (Tablo 4.2.). Asol grubunda su kontrol ve gübre kontrol grubundaki ağırlık değişimi sadece tuz (150 mM) grubuna göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Su kontrol ile gübre kontrol grupları arasında anlamlı farklılık bulunmamış, yalnızca 150 mM NaCl grubu ile anlamlı farklılık bulunmuştur. Tohum evresi tuz ve 2 yaprak sonrasında tuz uygulamaları arasında ağırlık değişim verilerinde anlamlı fark oluşmamış, veriler arasında sayısal olarak da belirgin farklılık bulunmamaktadır. Asol çeşidinin ağırlık değişim verilerindeki diğer gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Birçok çalışmada da belirtildiği gibi tuz konsantrasyonunun artmasıyla yaş ağırlıktan kuru ağırlığa geçişte ağırlık değişimi olumsuz etkilenmiştir fakat önemli bir farklılık yoktur.

Tablo 4.2. Ağırlık değişim verileri

Çeşit	Uygulama	Ağırlık Değişimi (%)	p	Multiple Comparisons
		Ort. $\pm$ ss		
Asol	Su Kontrol (a)	96,09 $\pm$,55	<0,003	a,b>d
	Gübre Kontrol (b)	96,02 $\pm$,81		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	94,98 $\pm$,65		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	94,26 $\pm$ 1,16		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	95,16 $\pm$ 1,01		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	95,1 $\pm$,37		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	95,44 $\pm$,50		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	94,87 $\pm$ 1,05		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	95,32 $\pm$,56		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	95,19 $\pm$,73		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	94,79 $\pm$,34		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	94,72 $\pm$,41		
Linaz	Su Kontrol (a)	93,66 $\pm$ 3,12	<0,638	-
	Gübre Kontrol (b)	96,23 $\pm$ 1,88		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	94,73 $\pm$,91		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	94,38 $\pm$ 1,04		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	94,88 $\pm$ 1,14		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	94,48 $\pm$,59		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	95,25 $\pm$,64		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	95,19 $\pm$,41		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	94,7 $\pm$,19		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	95,28 $\pm$,58		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	94,92 $\pm$,30		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	94,14 $\pm$ 1,10		

Aspir bitkindeki farklı tuz konsantrasyonlarındaki stresin yaş ve kuru ağırlık ölçümleri yapıldığında, 0, 50, 100 ve 150mM konsantrasyonlarında yaş ve kuru ağırlık değerleri sırasıyla 53,5, 43,6, 36,3 ve 22,6 g yaş ağırlık 4,2, 3,3, 3,7 ve 2,6 g kuru ağırlık ölçülmüştür [156].

NaCl uygulaması yapılan aspir fidelerinde, kontrol grubuna kıyasla yaş ağırlıklarında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma görülmüş. Ancak, NaCl uygulamaları kendi içinde kıyaslandığında, yaş ağırlıklarında önemli bir fark olmadığı ve istatistiksel olarak da anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür [157].

Asol ve Linas aspir çeşitlerine farklı NaCl uygulamaları yapılan bir çalışmada (0, 100, 200 ve 300 mM) yaş ve kuru ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Asol çeşidi için yaş ağırlık verileri sırasıyla 0,353, 0,163, 0,162 ve 0,093; kuru ağırlık verileri sırasıyla 0,014, 0,016, 0,017 ve 0,019 bulunmuştur. Linas çeşidi için yaş ağırlık verileri sırasıyla 0,476, 0,328, 0,243 ve 0,119; kuru ağırlık verileri sırasıyla 0,019, 0,024, 0,021 ve 0,024 bulunmuştur [158]. Asol ve Linas arasındaki farklılığın kuru madde birikiminden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Debuday cinsi sorguma uygulanan tuz stresinde, 100 mM'lık tuz uygulamasında yaş ve kuru ağırlıkta sırasıyla %32, %21 azalma tespit edilmiş olup 200mM'lık tuz uygulamasında yaş ve kuru ağırlıkta sırasıyla %48, %46 azalma görülmüştür [148].

Fidelerin tuz konsantrasyonunun artması, su içeriğini düşürerek turgor potansiyelini etkilemektedir. Bununla birlikte, bitkinin gelişimini baskılayarak büyümesine sınırlayıcı etki oluşturmaktadır. Normal dışı büyüme davranışlarının temel sebebi su içeriğinin düşmesi olarak açıklanabilir.

Literatürde [159] *Achromobacter piechaudii* bakterisinin mikrobiyal gübre olarak uygulanması durumunda, 172 mM'a kadar NaCl varlığında gelişen domates fidelerinin tuzdan kaynaklı düşen taze ve kuru ağırlıklarını ciddi ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Tuz konsantrasyonunun artmasıyla kullanılan mikrobiyal gübre, fidelerdeki etilen üretimini azaltmış bununla beraber fosfor ve potasyum alımını da arttırarak tuzdan kaynaklanan etkinin azalmasına neden olmuştur. *Achromobacter piechaudii* bakterisinin kullanımıyla tuz artışının yaşandığı fidelerde su kullanım verimliliğinin arttığı belirtilmektedir.

500 mM NaCl stres altındaki Kauçuk bitkisi (*Hevea brasiliensis*), *Enterobacter* ve *Bacillus* cinsi mikroorganizmaların biyogübre uygulamasında kontrol grubuna kıyasla taze ve kuru ağırlık değerlerinde belirgin derecede artışı bulunmuştur [155].

4.2. Fizyolojik ve Biyokimyasal Ölçümler

4.2.1. Bağlı su içeriğinin (RWC) ölçülmesi

Aspir bitkisinde tuzluluk stresi araştırmalarının birinde, farklı konsantrasyonlar ve genotipler arasındaki kıyaslamada tuzluluk şiddetinin artması halinde RWC miktarı azalmıştır. Ozmotik strese girmesi nedeniyle tuzluluk, su potansiyelini düşürerek su miktarında kayba neden olur bu sebeple RWC miktarında stres şiddeti ve kullanılan genotipe bağlı olarak azalma meydana gelir [160].

Asol ve Linas çeşitleri için gruplar arasında RWC değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p < 0,219$, $p < 0,099$) (Tablo 4.3.). Linas çeşidinde gübre uygulaması RWC değerlerinde artış görünmektedir. Tohum evresi gübre ve tuzun aynı anda uygulaması ile RWC korunduğu ancak gübrenin stres sonrası uygulanması durumunda ise RWC değerinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.3. RWC değerleri

Çeşit	Uygulama	% RWC	p	Multiple Comparisons
		Ort. $\pm$ ss		
Asol	Su Kontrol (a)	83,84 $\pm$ 23,33	<0,219	-
	Gübre Kontrol (b)	81,5 $\pm$ 2,79		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	76,58 $\pm$ 7,25		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	73,68 $\pm$ 6,67		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	74,57 $\pm$ 10,07		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	72,77 $\pm$ 3,51		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	75,81 $\pm$ 9,73		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	73,98 $\pm$ 2,95		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (ı)	69,65 $\pm$ 9,37		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	67,18 $\pm$ 3,09		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	68,24 $\pm$ 7,27		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	66,09 $\pm$ 1,19		
Linas	Su Kontrol (a)	81,9 $\pm$ 9,38	<0,099	-
	Gübre Kontrol (b)	85,16 $\pm$ 7,17		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	73,93 $\pm$ 6,63		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	69,99 $\pm$ 5,95		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	73,59 $\pm$ 4,93		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	59,33 $\pm$ 26,26		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	73,35 $\pm$ 5,78		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	73,63 $\pm$ 6,08		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (ı)	86,01 $\pm$ 18,19		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	84,03 $\pm$ 9,50		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	73,07 $\pm$ 9,74		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	69,61 $\pm$ 11,26		

Aspir çeşidi olan yenice çeşidinin RWC içeriği kontrol grubuna göre 75, 150, 225 ve 300 mM tuz koşullarında sırasıyla %10, %12, %19 ve %40 oranında istatistiksel yönden anlamlı azalma olduğu bulunmuştur [12].

RWC değeri ölçülmek istenen aspir fidelerine farklı konsantrasyonlarda (0, 50, 100 ve 150mM) tuz uygulanmış ve 86,1, 83,5, 80,4 ve 76,4 değerleri ölçülmüştür [156]. Konsantrasyon artışına bağlı olarak bağıl su içeriğinde azalma görülmüştür.

İki farklı buğday genotipi kullanılarak yapılan çalışmada, kontrole kıyasla yaklaşık olarak 70 mM'lık tuz uygulamasında bir genotip için % RWC değeri 90'dan 68 değerine düşmüştür [161]. Tuzluluğun ortaya çıkmasıyla bağıl su içeriğinin düştüğü belirtilmiştir.

Tuz stresiyle birlikte bitkiler istemsiz olarak tuzluluğun artmasıyla su stresine de girebilmektedir. Mikrobiyal gübrenin, su stresi altındaki bitkinin fotosentezdeki olumsuz etkisini azalttığını doğrulamaktadır. *Bacillus* mikroorganizmalarının, toprak yapısındaki fizikokimyasal ve biyolojik içeriği iyileştirme kapasitesinin yüksek olduğu sonucu çıkarılabilmektedir [162]. Bazı mikrobiyal gübrelerin su tutma kapasitesini artırabileceği de belirtilmektedir.

4.2.2. Malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi

MDA analiz sonucu, hücre zarının hasar derecesinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Hücredeki tuz miktarının artmasıyla, koruyucu görevi olan Ca^{2+} 'nin yerini Na^+ birikimi alır. Böylece hücre zarı, geri döndürülemez hasar alır ve kendini koruma potansiyeli düşer. Tuz stresinden etkilenen pirinç fidelerine, alg oligosakkaritlerinin eklenmesiyle hücre zarının içinde gerçekleşen Ca^{2+} - Na^+ ikamesinin engellenerek artan tuz konsantrasyonlarında bile hücrelerin korunabileceği savunulmuştur [139].

MDA miktarlarının istatistiksel analizi Tek Yönlü ANOVA ve Dunn's Benferroni Testi ile gerçekleştirilmiştir. Asol ve Linas çeşidi için hem kök hem de yaprak örneklerinin analiz grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ($p < 0,001$) (Tablo 4.4., Tablo 4.5.).

Tablo 4.4. MDA kök örneklerinin analiz değerleri

Çeşit	Uygulama	MDA (nmol g FW ⁻¹) Kök	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	1,13±,58	<0,001	f,g,h>a f,h>b
	Gübre Kontrol (b)	1,46±,80		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	2,55±,97		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	3±1,79		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	3,48±1,26		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	3,96±1,36		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	3,66±,75		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	4,1±,72		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	3,22±,19		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	3,53±,72		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	3,18±,51		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	3,5±1,91		
Linas	Su Kontrol (a)	1,55±,83	<0,001	a,b,c<f,g,h,i,j,k g,h,i<d e<g,h f<h j,k<h
	Gübre Kontrol (b)	1,74±1,26		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	2,47±,39		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	3,67±,73		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	3,77±,98		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	5,82±2,75		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	7,67±1,45		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	9,66±2,69		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	6,7±2,09		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	7,14±,91		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	5,92±,56		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	6,08±,97		

Tablo 4.5. MDA yaprak örneklerinin analiz değerleri

Çeşit	Uygulama	MDA (nmol g FW ⁻¹) Yaprak	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	1,8±,51	<0,001	a,b,e<f,h,i,ı c,d<f,h,i g,j,k<f g<h,i ı,j,k<h j,k<i
	Gübre Kontrol (b)	1,92±1,04		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	3,21±2,11		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	3,22±,82		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	2,02±,62		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	6,39±2,06		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	3,34±,90		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	7,58±1,36		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (ı)	6,28±1,81		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	4,81±,55		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	3,29±,37		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	3,3±,80		
Linaz	Su Kontrol (a)	1,63±,70	<0,001	a,b<f,g,h,i,ı,j,k c,d,e,f<g,h,i,ı,j,k g,h,i,ı<j,k
	Gübre Kontrol (b)	1,99±,89		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	3,91±1,86		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	4,45±1,74		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	5,26±1,64		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	6,58±,94		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	12,18±1,40		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	13,19±1,43		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (ı)	13,3±2,49		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	13,47±,99		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	18,38±3,99		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	19,69±3,98		

Asol çeşidinin köklerinden alınan örneklerin analiz verileri incelendiğinde; su kontrol ve gübre kontrolün anlamlı bir farklılık yaratmadığı görülmüştür. Su kontrol grubunun, 2 yapraktan sonra tuz (150 mM), tohum evresi gübre sonra tuz (100 mM) ve tohum evresi gübre sonra tuz (150 mM) gruplarıyla arasında anlamlı fark bulunduğu görülmüştür. Gübre kontrol grubunun ise 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) ve tohum evresi gübre sonra tuz (150 mM) gruplarıyla arasında anlamlı fark bulunduğu görülmüştür. Fakat tuz stresine giren fidelere tohum evresinde gübre uygulaması yapılmasının anlamlı bir farklılık yaratmadığı bulunmuştur. Bununla beraber, diğer gruplar arasında da ciddi bir farklılık olmadığı tespit

edilmiştir. Asol çeşidinin yapraklarından alınan örneklerin analiz verileri incelendiğinde; su kontrol ve gübre kontrolün anlamlı bir farklılık göstermediği görülmüştür. Bununla birlikte, su kontrol, gübre kontrol ve 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) gruplarının her biriyle; 2 yaprak sonrasında tuz (150 mM), tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (150mM), tohum evresi hem tuz hem de gübre (100mM) ve tohum evresi hem tuz hem de gübre (150mM) grupları arasında anlamlı fark bulunmuştur. 2 yaprak sonrasında uygulanan tuz konsantrasyonunun 100 mM'dan 150 mM'a çıkmasıyla MDA analiz sonucu %316 artmıştır. Tohum evresinde tuz uygulaması (100 mM) ile tohum evresinden hem tuz hem gübre uygulaması (100 mM) arasında anlamlı fark bulunmuştur. Tohum evresinde hem tuz hem gübre (100 mM) uygulamasının MDA sonucu yalnızca tuz grubuna göre neredeyse iki kat artmıştır. Bu da sürgün uzunluğuyla benzer bir sonuç doğurarak tuz ve gübrenin birlikte uygulandığı durumlarda bitkinin ikisini de stres olarak algılayarak hücre zarındaki hasarı arttırdığı söylenebilir. Tohum evresi tuz ve 2 yaprak sonrasında tuz uygulamaları arasında MDA analiz sonuçları arasında anlamlı fark bulunmuştur. Yaprak verilerinde tohum evresi tuz (150 mM) ve 2 yaprak sonrasında tuz (150 mM) arasında 2 kat artış görülmüştür. Tohum evresinde tuz uygulamasının yapılması 2 yaprak çıktıktan sonra yapılmasına göre daha olumlu sonuç göstermiştir. 2 yapraktan sonra uygulamanın yapılması hücre zarındaki hasarı 2 kat arttırmıştır. Yapraklarda görülen bu farklılık köklerde görülmemiştir. Tohum evresi tuz sonra gübre gruplarıyla tohum evresi hem tuz hem de gübre (100 mM) uygulaması arasında anlamlı fark bulunmuştur. Tohum evresi hem tuz hem de gübre (100 mM) grubunda MDA analiz sonucu neredeyse iki kat artmıştır, bunun sonucunda fidenin gelişimi sırasında gübre uygulamasının yapılması hücre zarındaki hasarın yarıya kadar indirilebileceğini göstermektedir.

Linas çeşidinin köklerinden alınan örneklerin analiz verileri incelendiğinde; su kontrol, gübre kontrol ve sadece tuz (100 mM) grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir. Diğer grupların MDA analiz sonuçları da Asol çeşidinin sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Gübrenin olumlu etki göstermesi beklenirken; 2 yaprak sonrasında tuz (150 mM) grubunun MDA sonucu $5,82 \pm 2,75$ iken tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) grubunun MDA sonucu $9,66 \pm 2,69$ bulunmuştur, fidenin strese girmeden önce gübreyle desteklenmiş olması hücre zarında meydana gelecek olan hasara engel olamamış aksine hasarı sonrasında daha çok arttırmıştır. MDA sonucu $9,66 \pm 2,69$ olan tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) grubunun tersi uygulamasıyla (tohum evresi tuz sonra gübre (150 mM) MDA sonuçları kıyaslandığında,

tohum evresi tuz sonra gübre (150 mM) grubunun MDA sonucu $6,08 \pm 0,97$ bulunmuştur. Fidenin strese girdikten sonra gübre uygulamasının yapılması tersi uygulamaya göre daha iyi bir sonuç vermiştir. Kök verilerinin tohum evresi tuz ve 2 yaprak sonrası tuz grupları arasında belirgin bir fark olmamakla beraber tohum evresi tuz (100 mM) ve 2 yaprak sonrasında tuz (150 mM) arasında anlamlı fark bulunmaktadır. Kök verilerinde tohum evresi tuz ve 2 yaprak sonrası tuz grupları arasında benzerlik olduğu fark bulunmadığı tespit edilmiştir. Linas çeşidinin yapraklarından alınan örneklerin analiz verileri incelendiğinde; su kontrol ve gübre kontrol grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bunula beraber neredeyse tüm gruplarla aralarında anlamlı fark olduğu bulunmuştur. Linas çeşidinin yaprak örneklerinde gübre kontrol grubunun dışındaki tüm gübreli gruplarda MDA analiz sonucu oldukça yüksek çıkmıştır. Asol çeşidi ile karşılaştırıldığında Linas çeşidinin gübre uygulamasının stresin yarattığı koşulları azaltmaya katkı sağlamadığı değerlendirilmiştir. Stres koşulu altında gübre uygulamasının erken evrede MDA değerlerinde artışa neden olduğunu ortaya koymuştur. Linas çeşidinin MDA verilerine bakıldığında, su kontrol, gübre kontrol ve yalnızca tuz uygulaması yapılan gruplar dışında kalan gruplar arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Aspir çeşitlerinden Dinçer, Yenice ve Remzibey-05 çeşitlerinin tuz stresinin araştırıldığı bir çalışmada, MDA içeriğinin tuz artışıyla birlikte arttığı saptanmıştır. Dinçer çeşidinde 75 mM NaCl uygulamasında kontrol grubuna göre %50'nin üzerinde artış olurken daha yüksek tuz miktarlarında 75 mM'a göre anlamlı farklılık olmamıştır. Araştırılan üç çeşitte kontrol grubuna göre en az farklılık Remzibey-05 çeşidinde olmuştur. 300 mM tuz konsantrasyonu uygulamasında kendi kontrol grubuna kıyasla en fazla artış gösteren Yenice (%76) çeşidi iken en az artışı Remzibey-05 (%40) çeşidi olmuştur [12].

Tuz uygulanan bitkilerin stres düzeyinin azaltılması ve enzim değerlerini minimum düzeyde etkilenmesi adına doğal biyopolimer bir materyal olan aminopolisakkarit kitosan ilavesi çalışılmıştır [163]. Serada 150 mM tuz konsantrasyonu ile yetiştirilen 3 farklı aspir türünün (Balcı, Linas ve Remzibey) yapraklarına kitosan uygulanmıştır. Kitosan, beklenildiği üzere tuz stresinden kaynaklanan morfolojik değişiklikler üzerindeki olumsuz etkiyi azaltmada rol oynamıştır. Farklı enzim aktiviteleri üzerinde yapılan denemelerde, kitosanın MDA içeriğinde herhangi bir azalış eğilimi göstermediği belirlenmemiştir [163].

Pamuk bitkisindeki tuz stresine karşı MDA içeriğinin analiz edilmesiyle, pamuk tohumlarının strese maruz kalması durumunda su kontrol grubuna göre daha yüksek malondialdehit değerleri gösterdiği gözlenmiştir [151].

Tuz stresi altında MDA içeriği artan biber tohumlarında ön gübreleme olarak uygulanan glisin-betain, çimlenmeyle artan MDA birikiminde azalmaya neden olmuştur. [164]. Stres çalışmalarında uygulanan giberellinler, stres kaynaklı olumsuz etkilerin önüne geçerek tohum çimlenmesini artırır [164].

Tuzlu ortamlara karşı hassas olan karnabahar bitkisine uygulanan 100 mM NaCl sonrası reaktif oksijen türlerinin üretiminin artmasından kaynaklı oksidatif hasar meydana gelmiştir. Bu durumu takiben, MDA analiz sonuçlarında kontrol grubuna göre ciddi bir artış meydana gelmiştir [165].

4.3. Fotokimyasal Ölçümler

4.3.1. Klorofil pigment miktarının belirlenmesi

Tuz stresi, su stresine neden olmasından kaynaklı fotosentezi ve ATP üretimini ciddi ölçüde azaltarak klorofil sentezini azaltır [160]. Klorofil sentezinin azalmasıyla toksik iyon (Na^+ ve Cl^-) birikimi kloroplastlara zarar vererek klorofilin içeriğini düşürmektedir [166].

Kloroplastların yapısındaki antioksidanlar arasında bulunan karotenoidler, fotosentez sürecinde zararlı verici çevresel etkilere karşı koruyucu görevi bulunmaktadır [167]. Stres koşulları altında olan bitkilerde bulunan reaktif oksijen türlerini temizleyen karotenoidler bitkideki stresin zarar verici etkisini azaltırlar [168].

Stresin bitkinin fotosentezine etkisini belirlemek amacıyla klorofil pigment analizi yapılmıştır. Fidelerden elde edilen örneklerin analizi ile klorofil a, b ve toplam karotenoid miktarları ölçülmüştür. Tuz stresinin yapraklardaki klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarlarını önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.

Klorofil a verilerinin istatistiksel analizi, Kruskal Wallis Testi ve Dunn's Benferroni Testi ile yapılmıştır. Klorofil a analizinde Asol ve Linas çeşidi için anlamlı fark bulunmuştur ($p<0,001$, $p<0,005$). Asol çeşidinin klorofil a değerleri kıyaslandığında, birçok analiz sonucunda olduğu gibi su kontrol ($23,13\pm4,22$) ve gübre kontrol ($24,05\pm3,51$) arasında anlamlı fark bulunmamaktadır. Tohum evresi tuz (100 mM), 2 yaprak sonrasında tuz (100 mM), tohum evresi tuz sonra gübre (100 mM) gruplarının klorofil a değerleri sırasıyla $20,03\pm4,9$, $9,39\pm2,74$ ve $8,82\pm4,77$ 'dir. Bu sonuçlara tohum evresinde stresle karşılaşan fidenin duruma adapte olup stresi atlatarak kontrol gruplarıyla arasında ciddi bir farklılık olmaması dikkat çekmektedir. 150 mM tuz konsantrasyonunda farklı uygulamalara maruz kalan fidelerde de herhangi bir farklılık görülmemiştir, klorofil a değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur. Tohum evresi tuz (100 mM) ve 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) uygulamaları arasında ciddi bir düşüş olmuştur. Birçok analiz sonucunda aynı etki görülmüş olup tuz stresinin tohum evresinde başlaması fide gelişimine daha az olumsuz etki bıraktığı belirlenmiştir. Linas çeşidi için klorofil a değerlerine bakıldığında, yalnızca tohum evresi tuz (150 mM) grubu ile tüm gruplar arasında anlamlı fark bulunmuştur. Diğer tüm grupların klorofil a değerleri arasında anlamlı fark bulunmamaktadır (Tablo 4.6.). Sayısal verilere bakıldığında tohum evresi tuz uygulamalarında 100 mM ve 150 mM uygulamalar arasında belirgin bir fark görülmüştür. Tuzluluğun artmasıyla klorofil a değeri düşmüştür.

Asol çeşidinde klorofil a ve b miktarı tüm uygulamalar sonrası kontrollere göre düşüş göstermiştir. Linas çeşidinde ise gübre ile yapılan uygulamalarda klorofil a ve b değerlerinde anlamlı derecede artış görülmüştür.

Tablo 4.6. Klorofil a değerleri

Çeşit	Uygulama	Klorofil Kl a (mg/ ml.g. FW)	P	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	23,13±4,22	<0,001	a,b>d,e,f,h,i,j,k c>e,f,h,i,j,k g>h,k
	Gübre Kontrol (b)	24,05±3,51		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	20,03±4,90		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	12,03±1,90		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	9,39±2,74		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	8,64±1,36		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	17,08±4,61		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	7,53±4,32		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	13,53±7,66		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	9,45±4,15		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	8,82±4,77		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	8,34±1,86		
Linas	Su Kontrol (a)	24,1±2,93	<0,005	a,b,c,e,f,g,h,i,j, k>d
	Gübre Kontrol (b)	24,59±3,37		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	21,5±4,86		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	9,28±3,06		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	22,79±6,60		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	25,93±5,56		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	21,65±6,39		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	23,7±5,07		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	22,29±4,55		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	27,04±10		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	25,41±4,21		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	22,94±3,35		

Klorofil b verilerinin istatistiksel analizi, Kruskal Wallis Testi ve Dunn's Benferroni Testi ile yapılmıştır. Klorofil b analizinde Asol çeşidi için gruplar arasında istatistiksel anlamda anlamlı fark bulunmuştur ($p<0,001$). Linas çeşidi için anlamlı fark bulunmamıştır ($p<0,528$). Asol çeşidinin klorofil b verilerinde su kontrol ve gübre kontrol grupları ayrı ayrı neredeyse tüm gruplarla anlamlı farklılık göstermiştir. Su kontrol ve gübre kontrol grupları arasında bir farklılık bulunmamaktadır, bu da Asol çeşidinde yapılan gübre uygulamasının klorofil b miktarlarında değişime yol açacak yolları etkilemediğini göstermektedir. Kontrol grupları dışındaki gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Tablo 4.7.).

Sayısal veriler karşılaştırıldığında, tohum evresi tuz (100 mM) ve 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) arasında belirgin farklılık vardır, analiz değerleri %50 oranında azalma kaydedilmiştir.

Linas çeşidin de ise hem klorofil a hem de klorofil b miktarlarında stres ile birlikte gübre uygulaması yapıldığında klorofil a ve b pigmentlerinde artışa yol açtığı ve kontrol değerlerine ulaştığı görülmektedir. Linas çeşidinde gübre uygulaması fotosentetik pigmentlerde olumlu etkiye yol açmıştır.

Tablo 4.7. Klorofil b değerleri

Çeşit	Uygulama	Klorofil Kl b (mg/ ml.g. FW)	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	9,75±2,99	<0,001	a> d,e,f,i,j,k b>d,e,f,h,i,j,k
	Gübre Kontrol (b)	9,83±2,17		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	6,69±2,81		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	3,74±,86		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	3,03±,83		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	2,73±,30		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	5,91±2,52		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	4,85±4,39		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (ı)	4,39±2,64		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	2,97±1,46		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	4,57±3,32		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	3,05±1,26		
Linas	Su Kontrol (a)	10,18±2,74	<0,528	-
	Gübre Kontrol (b)	12,01±6,45		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	8,73±2,10		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	4,09±2,70		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	9,35±3,62		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	10,2±,34		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	11,87±3,26		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	11,93±5,49		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (ı)	10,22±4,57		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	12,92±2,90		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	11,39±4,34		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	8,93±2,42		

Karotenoid için yapılan analizde Asol ve Linas çeşidinin grupları arası istatistiksel anlamda anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p < 0,624$, $p < 0,840$) (Tablo 4.8.).

Tablo 4.8. Karotenoid miktarları

Çeşit	Uygulama	Karotenoid (mg g ⁻¹ FW)	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	4,45±,40	<0,624	-
	Gübre Kontrol (b)	4,61±,35		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	4,85±,66		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	5,3±,84		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	4,72±,87		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	4,67±,75		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	4,91±,97		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	3,75±1,94		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	3,74±1,93		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	4,59±1,31		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	4,03±1,01		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	4,42±1,07		
Linas	Su Kontrol (a)	4,39±,42	<0,840	-
	Gübre Kontrol (b)	4,04±1,53		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	4,64±,86		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	5±,50		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	4,82±,69		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	4,8±,04		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	3,95±,57		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	4,45±1,81		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	4,32±,88		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	3,98±,85		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	4,28±1,06		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	4,84±,46		

Aspir bitkisinin tuz stresinden etkilenmesine çözüm olarak salisilik asit denemesi yapılan çalışmada, 0, 100 ve 200 mM NaCl sonrası klorofil a, klorofil b, karotenoid miktarları sırasıyla 0,41, 0,34 ve 0,14 mg/g FW klorofil a; 0,28, 0,22 ve 0,09 mg/g FW klorofil b; 0,18, 0,25 ve 0,28 mg/g FW karotenoid bulunmuştur [104].

250 mM tuz stresi altındaki bitkilere çinko oksit nanopartikülleri ve mikrobiyal gübre kombine işlemiyle, stressiz kontrol bitkilerine kıyasla yaprak alanının %44,4 oranında arttığı belirlenmiştir. K_{la}, K_{lb} ve karotenoid pigmentlerinin sonuçlarında, kontrol bitkilerine göre tuz stresli bitkilerde sırasıyla %68, %40 ve %23'lük azalma görülmüştür [103].

Fidelere uygulanan tuz stresi, klorofil ve karotenoid miktarlarında azalmaya neden olmuştur. Azalmanın nedeninin ise gelişim sürecinde bitkideki ağırlık kaybı olduğu belirtilmiştir [161].

Panicum antidotale Retz bitkisindeki farklı tuz konsantrasyonu (0, 70, 140, 210, 280 mM) uygulamalarında stresten 28 gün sonra ölçülen klorofil a, klorofil b, karotenoid içerikleri sırasıyla 10, 11,6, 7,98, 3,97, 3,72; 9,32, 6,41, 5,93, 4,88, 3,23; 1,26, 1, 0,987, 0,974, 0,318 bulunmuştur [169]. Kontrole kıyasla tuz miktarının artmasıyla klorofil a, klorofil b, karotenoid içeriklerinde azalma görülmüştür.

Domateste uygulanan mikrobiyal gübre çalışmasında, *Bacillus* suşları içeren mikrobiyal gübre, gübresiz kontrol bitkilere kıyasla klorofil değerlerinde önemli artış olduğunu belirtmektedir [154].

Oksidatif stres nedeniyle ROT'larda meydana gelen birikim klorofil moleküllerine ciddi zararlar verebilir [160]. Bu alandaki çalışmalar, yüksek tuzluluk stresinde buğday [161] ve pirinç [170] klorofil konsantrasyonunda düşüş olduğunu göstermektedir.

4.3.2. Antosiyanin pigment miktarının belirlenmesi

Antosiyanin de stres gibi çevresel faktörlerden etkilenebilen pigmentlerdendir. Transkripsiyon faktörlerinin yardımıyla antosiyaninin miktarı etkilenmektedir [104]. Bu sebeple, çalışmalarda tuz stresi fidelerdeki antosiyanin miktarını önemli ölçüde artırır [104], [171]. Antosiyaninler, antioksidan işlevi görerek fotosentetik mekanizmaları oksidatif hasarlara karşı koruyabilir [172].

Antosiyanin pigmentinin Asol çeşidinin istatistiksel analizinde anlamlı fark bulunmamıştır ($p < 0,017$). Linas çeşidinde ise istatistiksel analizinde anlamlı fark

bulunmuştur ($p<0,001$). Linas çeşidinde 2 yaprak sonrasında tuz (100 mM) grubu ile tohum evresi tuz sonra gübre (100 mM) grubu arasında anlamlı fark bulunmuştur. 2 yaprak sonrasında tuz (100 mM) grubu antosiyanin değeri 12.54 ± 2.57 , tohum evresi tuz sonra gübre (100 mM) grubunun antosiyanin değeri 6.03 ± 1.39 bulunmuş olup; tohum evresinde strese maruz bırakılan fideye sonradan gübre uygulamak, fidenin strese karşı toleransını iyileştirmesini zorlaştırdığı düşünülmektedir (Tablo 4.9.). Antosiyanin değerlerinde tuzluluğun tohum evresi veya sonrasında başlamasının belirgin bir farkı olmadığı görülmüştür.

Tablo 4.9. Antosiyanin değerleri

Çeşit	Uygulama	Ant (nanomol/gFW)	p	Multiple Comparisons
		Ort. $\pm$ ss		
Asol	Su Kontrol (a)	13,84 $\pm$ 3,97	<0,017	a>k
	Gübre Kontrol (b)	11,59 $\pm$ 3,92		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	8,7 $\pm$ 3,68		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	7,17 $\pm$ 3,35		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	8,15 $\pm$ 3,07		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	10,64 $\pm$ 6,41		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	9,42 $\pm$ 2,90		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	11,14 $\pm$ 4,18		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	8,87 $\pm$ 4,49		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	8,22 $\pm$ 2,25		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	7,82 $\pm$ 5,52		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	6,95 $\pm$ 3,55		
Linas	Su Kontrol (a)	11,59 $\pm$,07	<0,001	b,d,i,j,k<c
	Gübre Kontrol (b)	5,93 $\pm$,99		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	9,52 $\pm$ 2,55		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	5,88 $\pm$,80		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	12,54 $\pm$ 2,57		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	11,86 $\pm$ 4,60		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	11,02 $\pm$ 1,09		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	8,52 $\pm$,19		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	8,05 $\pm$ 1,07		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	6,19 $\pm$ 1,87		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	6,03 $\pm$ 1,39		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	5,98 $\pm$,77		

Dinçer ve Remzibey-05 çeşitlerinin tuz ve bor toksisitesinin araştırıldığı bir çalışmada Dinçer çeşidinde kontrol grubunun ve 75 mM tuzlulukta antosiyanin içeriği sırasıyla 49×10^{-6} ve 52×10^{-6} mg.g⁻¹.FW'dir. Remzibey-05 çeşidinde kontrol grubunun ve 75 mM tuzlulukta antosiyanin içeriği sırasıyla 124×10^{-6} ve 124×10^{-6} mg.g⁻¹.FW'dir [117]. Bu sonuçlardan aynı koşullarda yetişen bitkinin farklı çeşitlerinde farklı etkilerin görülebileceği saptanmıştır. Çeşit farklılığında strese etkilenme oranlarının da değişebileceği ve tuzluluğun artmasıyla pigment miktarlarında olumlu veya olumsuz etki görülme ihtimalinin de olduğu çıkarılmıştır.

Farklı bitkiler üzerindeki farklı streslere antosiyanin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada aspir bitkisine tuz stresi altında antosiyanin birikimi, ROT birikiminin temizleme ve tuz stresine olan toleransı iyileştirdiğini ifade etmiştir [173].

4.4. Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

4.4.1. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesinin belirlenmesi

Antioksidan enzimlerinin temel amacı, serbest radikalleri ortadan kaldırmaktır. Serbest radikallerin ortamda bulunması fotosentezdeki verimin ve biyokütlenin düşüşüne neden olur. APX enzimi, oksidatif stresle birlikte artan ROT'ların ortadan kaldırılmasıyla yakından ilişkilidir. Tuz stresinde, H₂O₂ seviyelerindeki yükseklik lipid peroksidasyonunu tetikleyerek hücre zarında zarara neden olabilir. APX enzimi, askorbat-glutatyon döngüsündeki H₂O₂'yi de ortadan kaldırır [174].

APX verilerinin istatistiksel analizi için Kruskal Wallis Testi ve Dunn's Benferroni Testi kullanılmıştır. APX enzim aktivitesi için Asol ve Linas çeşitlerinin köklerinden alınan örneklerin istatistiksel analiz sonuçlarında gruplar arası anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,002$, $p < 0,002$) (Tablo 4.10.). Asol çeşidinin sonuçlarında, su kontrol grubu ve tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) grupları ile tohum evresi tuz sonra gübre (150 mM) grubu arasında anlamlı fark bulunmuştur. Bu gruplar dışındaki gruplar arasında anlamlı fark bulunamamıştır. Linas çeşidi incelendiğinde ise Asol çeşidiyle çok farklı sonuçlar elde edilmiştir. Linas çeşidinde en düşük askorbat peroksidaz aktivitesini ($96,42 \pm 7,05$) su kontrol grubu vermektedir. Linasın kök verilerinde su kontrol grubuyla tohum evresi tuz (150 mM)

ve tohum evresi tuz sonra gübre (100 mM) grupları arasında anlamlı fark bulunmuştur. Diğer gruplar arasında belirgin farklılık bulunmamaktadır. Tohum evresi tuz grupları arasında tuzluluğun artmasıyla APX aktivitesi 2 kat artmıştır. Tohum evresinde tuz (100 mM) grubu ile 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) grubu arasında da benzer sonuç görülür.

APX enzim aktivitesi için Asol ve Linas çeşitlerinin yapraklarından alınan örneklerin istatistiksel analiz sonuçlarında gruplar arası anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,005$, $p < 0,002$) (Tablo 4.11.). Yaprak örneklerindeki en yüksek askorbat peroksidaz aktivitesini su kontrol grubu ($194,85 \pm 27,36$) ve gübre kontrol grubu ($195,37 \pm 33,31$) göstermiş olup, diğer gruplar benzer miktarlarda APX aktivitesi görülmüştür. Linas çeşidindeki en yüksek APX aktivitesini tohum evresi tuz sonra gübre (150 mM) göstermiştir. Asol çeşidinde su kontrol, gübre kontrol ve tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) grupları istatistiksel olarak benzer sonuçlar vermiş fakat tohum evresi hem tuz hem de gübre (100 mM), tohum evresi hem tuz hem de gübre (150 mM), tohum evresi tuz sonra gübre (100 mM) ve tohum evresi tuz sonra gübre (150 mM) grupları ile anlamlı farklılıkları olduğu da görülmüştür. Stres koşullarının artması Asol çeşidinin APX aktivitesini düşürmüştür. Linas çeşidi incelendiğinde farklı analizlerde de olduğu gibi Asol çeşidinden farklı sonuçlar göstermiştir. Tohum evresi tuz (100 mM) ve 2 yaprak sonrasında tuz (100 mM) grupları arasında anlamlı farklılık bulunmuş, 2 yaprak sonrasında tuz grubunun APX aktivitesi 3 kat artmıştır. Gübre kontrol grubuyla tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) grupları kıyaslandığında yaprak çıkışından sonra gübre uygulanmaya başlanan grubun APX aktivitesinde 4 kat artış görülerek anlamlı fark bulunmuştur. Ayrıca, tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (100 mM) ve tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) verilerinde tuz miktarının artması APX aktivitesinde düşüşe neden olmuştur.

Tablo 4.10. Köklerdeki APX aktivitesi değerleri

Çeşit	Uygulama	APX (nmol askorbat dak ⁻¹ mg protein ⁻¹) Kök	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	268,62±61,46	<0,002	k<a,h
	Gübre Kontrol (b)	136,11±19,94		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	145,59±24,01		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	136,91±25,05		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	211,91±61,40		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	166,31±2,75		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	180,34±25,95		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	203,08±7,66		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	138,88±9,79		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	137,5±9,99		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	129,07±6,35		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	104,2±3,02		
Linax	Su Kontrol (a)	96,42±7,05	<0,002	a<j,d
	Gübre Kontrol (b)	108,18±9,71		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	116,82±13,61		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	296,48±54,00		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	225,77±42,55		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	244,26±177,78		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	186,33±11,88		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	183,27±4,88		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	152,47±4,40		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	132,24±1,94		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	268,22±12,97		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	221,45±7,92		

Tablo 4.11. Yapraklardaki APX aktivitesi değerleri

Çeşit	Uygulama	APX (nmol askorbat dak ⁻¹ mg protein ⁻¹) Yaprak	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	194,85±27,36	<0,005	k,j,i,<a,b,g
	Gübre Kontrol (b)	195,37±33,31		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	111,37±11,54		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	122,3±28,95		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	132,22±30,52		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	119,52±5,69		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	179,11±3,84		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	116,93±8,41		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	95,39±17,27		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	104,06±16,77		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	96,11±1,68		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	92,52±12,73		
Linas	Su Kontrol (a)	37,58±10,05	<0,002	c<e,g h<g,k a<d,i,e,g,j,k b<e,g,j,k c<j,k i<k
	Gübre Kontrol (b)	53,23±14,35		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	53,61±13,21		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	186,03±121,01		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	156,53±41,67		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	116,68±15,18		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	219,08±6,77		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	66,54±40,72		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	135,49±11,15		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	107,1±6,29		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	153,69±14,58		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	307,96±38,31		

Tuza maruz kalan bitkilerin APX aktivitesinde ciddi düzeyde artış meydana gelmiştir. Tuz konsantrasyonu sırasına göre 50 ve 100 mM NaCl uygulamasında, %187,2 ve %217,1 artış kaydedilmiştir [174].

Aspire yapılan NaCl uygulamasında, 25 mM NaCl uygulaması sonucunda kontrole kıyasla APX aktivitesi 4,7 kat arttığı bulunmuştur [115].

Dinçer, Remzibey-05 ve Yenice çeşitlerinin yetiştirilmesi sırasında kullanılan 75, 150, 225 ve 300mM tuz konsantrasyonlarındaki APX aktiviteleri kıyaslandığında Dinçer çeşidinde 75 mM'lık konsantrasyonunda önemli düzeyde bir farklılık olmayıp, 150 mM ve üzerindeki tuz uygulamalarında anlamlı düzeyde artış görülmüştür. Yenice çeşidinde artan her tuz uygulamasında, Remzibey-05 çeşidinde ise 150 mM'ın üzerindeki tuzlu koşullarda azalma bulunmuştur. Özellikle Remzibey-05 çeşidinde toplam APX aktivitesi, 225 ve 300 mM üzerindeki tuz konsantrasyonlarında kontrol grubuna kıyasla %50'nin altına düşmüştür [12].

Tuzluluğa karşı dirençli *Zygophyllum albüm* bitkisine 0, 100, 200 mM NaCl uygulaması yapılmış, 100 mM tuzlulukta önemi derecede bir farklılık gözlemlenmemiş fakat 200 mM tuzlulukta APX aktivitesinde düşüş gözlemlenmiştir [138].

Literatürdeki çalışmalarda da olduğu gibi Linas çeşidinde stres koşullarında ve gübre uygulamalarındaki artış bu çeşidin strese maruz kaldığında APX enziminin sentezinin artırılarak stresin etkilerinin enzimatik yolların etkili olabileceğini göstermektedir. Bu da artan oksijen radikalleri ve membrandaki zarar ile APX enzimindeki artış ile tolerans gösterdiği şeklinde açıklanabilir. Ayrıca Linas çeşidinin APX aktivitesi tüm koşullarda Asol çeşidinden yüksek bulunmuştur.

4.4.2. Katalaz (CAT) aktivitesinin belirlenmesi

Tuz stresi gibi abiyotik stres durumlarında, hücrel zararlar yol açabilen yüksek düzeyde reaktif oksijen türleri oluşur. Ancak stres altındaki bitkiler bu serbest radikalleri yok edebilmek için CAT antioksidan enzim üretimini artırır [175].

CAT verilerinin istatistiksel analizi için Kruskal Wallis Testi ve Dunn's Benferroni Testi kullanılmıştır. Yaprak verilerinde Asol ve Linas çeşitlerinden Asol çeşidinde anlamlı fark bulunmuştur ancak Linas çeşidinde istatistiksel analizinde anlamlı fark bulunmamıştır ($p<0,003$, $p<0,015$) (Tablo 4.12., Tablo 4.13.).

Tablo 4.12. Köklerdeki CAT aktivitesi değerleri

Çeşit	Uygulama	CAT (nmole H ₂ O ₂ /min/mg protein) Kök	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	246,13±77,12	<0,003	İ,k,j<a,b,c,h,f i<c,f
	Gübre Kontrol (b)	222,11±53,54		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	258,81±19,76		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	180,07±26,14		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	168,79±4,83		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	286,87±60,58		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	172,22±10,26		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	291,6±205,51		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	145,11±6,92		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	124,05±12,52		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	134,19±,00		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	135,71±8,09		
Linaz	Su Kontrol (a)	106,87±6,46	<0,012	k,i<b,c
	Gübre Kontrol (b)	160,35±17,00		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	162,41±15,14		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	128,51±3,67		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	145,86±3,64		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	120,83±31,28		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	143,33±20,49		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	148,43±36,36		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	103,42±11,39		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	118,42±12,17		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	106,98±7,76		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	100,15±14,11		

Tablo 4.13. Yapraklardaki CAT aktivitesi değerleri

Çeşit	Uygulama	CAT (nmole H ₂ O ₂ /min/mg protein) Yaprak	p	Multiple Comparisons
		Ort. ± ss		
Asol	Su Kontrol (a)	180,92±53,81	<0,003	c,f>g,i,l,j,k h>d,e,g,i,l,j,k
	Gübre Kontrol (b)	184,31±15,10		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	297,91±135,85		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	136,82±8,70		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	156,42±52,28		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	296,33±85,96		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	124,56±16,08		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	342,46±8,00		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	113,38±3,01		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	116,61±14,89		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	109,22±8,41		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	111,58±4,90		
Linas	Su Kontrol (a)	126,78±26,61	<0,015	b>f,i,j
	Gübre Kontrol (b)	155,07±19,79		
	Tohum Evresi Tuz (100 mM) (c)	109,89±7,23		
	Tohum Evresi Tuz (150 mM) (d)	105,69±16,00		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (100 mM) (e)	105,05±4,02		
	2 Yaprak Sonrasında Tuz (150 mM) (f)	83±15,25		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (100 mM) (g)	116,33±14,01		
	Tohum Evresi Gübre 2 Yapraktan Sonra Tuz (150 mM) (h)	128,3±31,45		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (100 mM) (i)	99,31±11,68		
	Tohum Evresi Hem Tuz Hem De Gübre (150 mM) (i)	125,36±7,29		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (100 mM) (j)	85,29±9,52		
	Tohum Evresi Tuz Sonra Gübre (150 mM) (k)	106,27±3,55		

CAT kök verilerinde Asol ve Linas çeşitlerinden Asol çeşidinde anlamlı fark bulunmuş olup Linas'ın köklerine bakıldığında yaprakta da olduğu gibi Asol çeşidinde anlamlı fark vardır fakat Linas çeşidinde anlamlı fark bulunmamıştır ($p<0,003$, $p<0,012$).

CAT analiz sonuçlarının istatistiksel analizinde kök verileri kıyaslandığında, su kontrol, gübre kontrol, sadece tuz (100 mM), 2 yaprak sonrasında tuz (150 mM) ve tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) grupları arasında anlamlı fark

bulunmamaktadır. Bununla birlikte, tohum evresi uygulanan tuzdan sonra gübrenin de eklenmesinin herhangi bir fark yaratmadığı görülmüştür. CAT analiz sonuçlarının istatistiksel veri analizinde yaprak örneklerinin sonuçları kıyaslandığında, su kontrol ve gübre kontrol arasında fark bulunmamış, en yüksek katalaz aktivitesi gösteren grubun ise $342,46 \pm 8$ ile tohum evresi gübre 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) grubu olduğu dikkat çekmiştir. Bu durumun, tohuma yapılan takviyenin üzerinde stresin eklenmiş olması ters etki yaratabileceğini göstermiştir. Tohum evresi tuz (150 mM) ve 2 yapraktan sonra tuz (150 mM) uygulamasının yaprak verilerinde katalaz aktivitesinde artış görülmüştür. Diğer analizlerle benzer bir sonuç olduğu belirtilebilir. Yüksek tuzlulukta stresin etkisi fide gelişim dönemindeyken daha fazla görülmektedir. Kontrol ve stres /gübre uygulamaları altında Asol çeşidinde CAT aktivitesi Linas çeşidine göre yüksek bulunmuştur. Katalaz enzimi strese karşı toleransta daha etkili bir enzim olarak ortaya çıkmaktadır.

CAT aktivitesi araştırılan aspir fidelerinde, 50 mM tuz uygulamasında ciddi bir artış göstermiş olup 100 ve 150 mM tuz uygulaması yapılan aspir yapraklarında CAT aktivitesi üzerinde 50 mM kadar olmasa da önemli bir etki göstermiştir [156].

Aspirde denenen NaCl uygulamasında, 25 mM NaCl uygulaması sonucunda kontrole kıyasla CAT aktivitesi % 57 arttığı görülmüştür [115].

Balcı, Linas ve Remzibey aspir çeşitlerine 150 mM NaCl uygulaması yapılmış, stres düzeyine olan etkisinin araştırılması adına kitosan + NaCl kombine uygulaması yapılmıştır. Tuz dozu arttırılan gruplarda düşen CAT aktivitesine kitosan uygulamasının olumlu etki ettiği belirtilmiştir [163].

CAT aktivitesi tuzluluk stresiyle ilişkilendirildiğinde, pamuk tohumunda [151], pirinç [170] stressiz yetiştirme koşullarında daha düşük aktivite göstermiştir.

120 ve 200 mM NaCl uygulaması yapılan buğday tohumlarında *Pseudomonas chlororaphis* mikroorganizmanın katalaz enzim aktivitesi araştırılmış, tohum evresinde katkısının katalaz aktivitesini yükselttiği belirtilmiştir. Gözlemlenen fidelerin yapraklarında stres kaynaklı ROT birikimindeki azalmayla da sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir [176].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde tuz stresine maruz bırakılan iki aspir çeşidinin tohum ve fidelerinde mikrobiyal gübre uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Bitkilerin verdiği tepki fizyolojik ve biyokimyasal olarak incelenmiştir. Bu çalışma literatürde mikrobiyal gübre ve stres kombinasyonu ile ilgili yapılan öncül çalışmalardandır. Elde edilen verilerin sonraki çalışmalara yol göstermesi beklenmektedir. Farklı alanlarda olumlu etkilerinden dolayı aspir araştırmaları artmakta olup, üretim aşamaları için farklı metotlar denenerek geliştirilmektedir.

Son yıllarda yürütülen ıslah çalışmaları, biyobazlı uygulamalar için de aspirin uygun bir bitki olduğunu belirtmektedir [5]. Avrupa biyoekonomisine uygun yaklaşımlar ele alınarak; sorgum, hint yağı, kavak ve aspir gibi bazı endüstriyel bitkiler seçilerek değişken tarım arazilerinde düşük girdi ile yapılacak büyütme çalışmalarıyla endüstriyel mahsullerin düşük girdili üretimlere uygunluğu test edilmektedir [177].

Her bitki ve besin maddesinin optimal büyüme koşulu kendine özgüdür ve bitkilerin istediği büyüme koşulundaki pH değeri de her bitki için farklıdır. Bu noktada, araştırma sonuçlarında tuz uygulamasından sonra nadir de olsa görülen bazı olumlu etkiler, aspir bitkisinin tuz koşullarına belirli ölçüde toleransının olabileceğini göstermektedir.

Gelişmekte olan ülkelerin tarım alanında yaşadığı önemli bir sorun, büyük nüfus ve daha az topraktır. Yem için kullanılan bitkilerin gelişimi ve ekim yapılabilen arazi kaynaklarının hızla azalmasıyla sorun daha büyük bir hale gelmektedir. Tuzlu toprakların kullanılarak, enerji kaynağı bitkileri ve tuz toleransı olan bitkilerin geniş alanlara ekilebiliyor olması enerji ve gıda güvenliği ile ilgili birçok soruna çözüm olabilecektir. Tuz stresine maruziyetin azaltılabilmesi için riskli sulama sularının filtrelenmesi, tuzlu tarım arazilerinde tuz toleransı yüksek bitkilerin ekimine ve uygun toprak yönetimine dikkat edilmelidir.

Tez çalışmasındaki analiz sonuçlarında, tuz stresi altındaki tohumların ve fidelerin lipid peroksidasyonuna, stres uygulaması yapılmamış yetiştirme koşullarına göre yüksek oranlarda yol açtığını göstermektedir. Stres koşullarında yetiştirilen bitkilerde, hücre zarındaki hasarı ölçmek için lipid peroksidasyonunun son ürünü MDA'nın analizi yapılmış

olup, çalışmadaki MDA analiz sonuçları tuz stresinin artmasıyla hücre hasarının da arttığını göstermektedir. Mikrobiyal gübre uygulamasının ise hücre hasarı tespitinde suyla yetiştirilen fidelere göre önemli bir farklılık göstermediği saptanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, antioksidan enzim aktivitesi ve tuza karşı tolerans arasında önemli ilişki olduğunu ortaya konmuştur. Tuzluluğun artışında, fotosentez ve iyon dengesi bozulur ve fidelerdeki klorofil içeriğinde azalma görülür. Tuzluluğun etkisinin minimum düzeyde görülebilmesi için bitkinin tohum evresinde tuza maruz kalmasının büyük etkisi vardır. Tohum evresi tamamlandıktan sonra fide gelişim döneminde tuza maruz kalan bitkilerde tuzluluğun olumsuz etkisi artmaktadır.

Mikrobiyal gübrelerin, son yıllarda sık uygulanan ve toprak ekosistemini bozarak bitkilere ve insanlara ciddi zararlar veren kimyasal gübrelere alternatif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Yarar sağlayabilecek mikroorganizmaların mikrobiyal gübre ve biyokontrol ajanı amacıyla kullanılması sürdürülebilir tarım adına ilerlemeye katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada mikrobiyal gübre erken evrede uygulanmıştır ve olası etkileri bitkinin erken gelişme evrelerindeki tuz stresi altında incelenmiştir. Tuz stresi altında her iki çeşidin incelenen fizyolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerinde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Bununla birlikte tuz stresi altındaki bitkilere gübre uygulanması klorofil a ve b miktarlarında artışa yol açmıştır. Mikrobiyal gübre uygulamasının özellikle fotosentezde bu yönüyle olumlu etkisi saptanmıştır. Her iki çeşitte, tohum evresindeki kombine uygulamaların katalaz (CAT) aktivitesinde kontrole göre düşüş görülmüştür. Kombine uygulamalarda, Linas çeşidinin askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi Asol çeşidine göre kontrol uygulamalarıyla karşılaştırıldığında artış göstermektedir. Bu sonuçlara göre mikrobiyal gübre uygulamasının tuz stresi altındaki Linas çeşidinde APX enzimi üzerine daha etkili olduğu değerlendirilmiştir. Mikrobiyal gübre uygulamasının tuz stresi altındaki aspir bitkisinde erken evrede özellikle fotosentetik parametreler (klorofil a ve b) ve enzim aktivitelerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Mikrobiyal gübrenin özellikle verim üzerine etkisinin görülebilmesi için çiçeklenme ve tohum evrelerine kadar uygulamanın değerlendirilmesi gerekmektedir.

İleride yapılacak çalışmalarda, tuz stresi gibi abiyotik stres koşulları altında bitki mikrobiyal gübrenin strese toleransına ve verimine etkilerinin değerlendirilmesi ve farklı fotosentetik aktivitelerin de incelenmesi katkı sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] “State of Food Security Nutrition,” FAO. Erişim Tarihi: 03 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-security-nutrition/en/>
- [2] H. Vatanseven, “Yağ ikame maddesi olarak kullanılan olestranın fizikokimyasal özellikleri ile insan sağlığı ve çevre üzerine olan etkilerinin değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, 2015.
- [3] “2 AÇLIĞA SON,” UNDP Türkiye. Erişim Tarihi: 15 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.kureselamaclar.org/amaclar/acliga-son/>
- [4] E. Marinova ve S. Riehl, “*Carthamus* species in the ancient Near East and south-eastern Europe: archaeobotanical evidence for their distribution and use as a source of oil,” *Veget Hist Archaeobot*, vol. 18, no. 4, pp. 341-349, Tem. 2009, doi: 10.1007/s00334-009-0212-z.
- [5] S. Nogales-Delgado, J. M. Encinar, ve Á. González Cortés, “High oleic safflower oil as a feedstock for stable biodiesel and biolubricant production,” *Industrial Crops and Products*, vol. 170, pp. 113701, Eki. 2021, doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113701.
- [6] F. Zanetti vd., “Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) a winter multipurpose oilseed crop for the Mediterranean region: Lesson learnt from on-farm trials,” *Industrial Crops and Products*, vol. 184, pp. 115042, Eyl. 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115042.
- [7] M. Gürsoy, D. Başalma, ve F. Nofouzi, “Ankara koşullarında aspire uygulanan farklı azotlu gübre dozlarının verim ve verim öğelerine etkileri,” *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, vol. 23, no. 2, pp. 167-177, Haz. 2019, doi: 10.29050/harranziraat.404194.
- [8] W. Yang, F. Wang, L.-N. Liu, ve N. Sui, “Responses of Membranes and the Photosynthetic Apparatus to Salt Stress in Cyanobacteria,” *Front. Plant Sci.*, vol. 11, pp. 713, Haz. 2020, doi: 10.3389/fpls.2020.00713.

- [9] T. A. Fernandes, V. Iyer, ve S. K. Apte, "Differential Responses of Nitrogen-Fixing Cyanobacteria to Salinity and Osmotic Stresses," *Appl Environ Microbiol*, vol. 59, no. 3, pp. 899-904, Mar. 1993, doi: 10.1128/aem.59.3.899-904.1993.
- [10] K. Negacz, Ž. Malek, A. De Vos, ve P. Vellinga, "Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture," *Journal of Arid Environments*, vol. 203, pp. 104775, Ağu. 2022, doi: 10.1016/j.jaridenv.2022.104775.
- [11] "Global Map of Salt-Affected Soils. GSASmap," FAO. Erişim Tarihi: 28 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/>
- [12] Ş. Çulha, "Tuz Stresinin Aspir (*Carthamus Tinctorius* L.) Çeşitlerindeki Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkisinin İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, 2011.
- [13] N. Terry ve L. J. Waldron, "Salinity, Photosynthesis, and Leaf Growth.," *California Agriculture*, vol. 38, no. 10, pp. 38-39, 1984.
- [14] Sh. Kholdorov vd., "Analysis of Irrigated Salt-Affected Soils in the Central Fergana Valley, Uzbekistan, Using Landsat 8 and Sentinel-2 Satellite Images, Laboratory Studies, and Spectral Index-Based Approaches," *Eurasian Soil Sc.*, vol. 56, no. 8, pp. 1178-1189, Ağu. 2023, doi: 10.1134/S1064229323600185.
- [15] Z. Haj-Amor vd., "Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions, crop yield, biodiversity and desertification: A review," *Science of The Total Environment*, vol. 843, pp. 156946, Eki. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156946.
- [16] C. Yang, X. Wang, F. Miao, Z. Li, W. Tang, ve J. Sun, "Assessing the effect of soil salinization on soil microbial respiration and diversities under incubation conditions," *Applied Soil Ecology*, vol. 155, pp. 103671, Kas. 2020, doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103671.
- [17] A. Ueda, "Osmotic stress in barley regulates expression of a different set of genes than salt stress does," *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, no. 406, pp. 2213-2218, Eyl. 2004, doi: 10.1093/jxb/erh242.

- [18] I. Adamska ve P. Biernacka, "Bioactive Substances in Safflower Flowers and Their Applicability in Medicine and Health-Promoting Foods," *International Journal of Food Science*, vol. 2021, pp. 1-23, May. 2021, doi: 10.1155/2021/6657639.
- [19] S. Kakkar, R. Tandon, ve N. Tandon, "The rising status of edible seeds in lifestyle related diseases: A review," *Food Chemistry*, vol. 402, pp. 134220, Şub. 2023, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134220.
- [20] V. Singh ve N. Nimbkar, "Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genetic resources, chromosome engineering and crop improvement," içinde *Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement*, vol. 4, 2006, pp. 168.
- [21] S. S. Gomashe, K. P. Ingle, Y. A. Sarap, D. Chand, ve S. Rajkumar, "Safflower (*Carthamus tinctorius* L.): An underutilized crop with potential medicinal values," *AP*, vol. 10, no. 1, Haz. 2021, doi: 10.21276/ap.2021.10.1.26.
- [22] X. Wu, X. Cai, J. Ai, C. Zhang, N. Liu, ve W. Gao, "Extraction, Structures, Bioactivities and Structure-Function Analysis of the Polysaccharides From Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)," *Front. Pharmacol.*, vol. 12, Eki. 2021, doi: 10.3389/fphar.2021.767947.
- [23] L. Dajue ve H.-H. Mündel, "*Safflower: Carthamus tinctorius* L. içinde Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops," no. 7, Rome: IPGRI, 1996.
- [24] C. Villa, J. Costa, M. B. P. P. Oliveira, ve I. Mafra, "Novel quantitative real-time PCR approach to determine safflower (*Carthamus tinctorius*) adulteration in saffron (*Crocus sativus*)," *Food Chemistry*, vol. 229, pp. 680-687, Ağu. 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.02.136.
- [25] K. Ozkan, H. Bekiroglu, Y. Bayram, O. Sagdic, ve S. Erbas, "In vitro bioaccessibility, antioxidant and antibacterial activities of three different safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes," *Food Sci. Technol*, vol. 42, 2022, doi: 10.1590/fst.08921.
- [26] Z. Ekin, "Resurgence of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Utilization: A Global View," *J. of Agronomy*, vol. 4, no. 2, pp. 83-87, Mar. 2005, doi: 10.3923/ja.2005.83.87.

- [27] C. V. K. De Oliveira vd., “Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes,” *Industrial Crops and Products*, vol. 123, pp. 192-196, Kas. 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.06.035.
- [28] M. Motamedi, H. Karimmojeni, ve F. G. Sini, “Allelopathic effect of *Carthamus tinctorius* on weeds and crops,” *Planta daninha*, vol. 38, 2020, doi: 10.1590/s0100-83582020380100066.
- [29] A. Akpınar, “Aspir (*Carthamus tinctorius* L) Tohumu Yağının Çözücü Ekstraksiyonu ve Karakterizasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [30] A. Köse ve Ö. Bilir, “Aspir Bitkisinde (*Carthamus tinctorius* L.) Farklı Sıra Arası Mesafelerin ve Ekim Normunun Taç Yaprak Verimi ve Bazı Bitkisel Özellikler Üzerine Etkisi,” *TURKJANS*, vol. 4, no. 1, pp. 40-47, 2017.
- [31] G. Şahin ve N. Taşlıgil, “STRATEJİK ÖNEMİ ARTAN BİR ENDÜSTRİ BİTKİSİ: ASPİR (*Carthamus tinctorius* L.),” *TCD*, vol. 0, no. 66, Nis. 2016, doi: 10.17211/tcd.48394.
- [32] R. Rojas, J. Ruso, J. Osorio, ve J. Fernandez-Martinez, “Variability in Protein and Hull Content of the Seed of a World Collection of Safflower,” *IMPRIME TIPOGRAFIA CATOLICA*, Cordoba, Spain, pp. 1-135, 1987.
- [33] M. Babaoğlu, “Aspir Tarımı (*Carthamus tinctorius* L.),” *Trakya Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü, Edirne*, no. 7, 2005.
- [34] M. Atan, C. B. Şahin, ve N. İşler, “Hatay Koşullarında Farklı Aspir Çeşitlerinde Verim, Verim Unsurları ve Yağ İçeriğinin Belirlenmesi,” *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, vol. 22, no. 5, pp. 678-684, Eki. 2019, doi: 10.18016/ksutarimdog.vi.537252.
- [35] E. Kaynakci ve B. Kiliç, “Effect of replacing beef fat with safflower oil on physicochemical, nutritional and oxidative stability characteristics of wieners,” *Food Sci. Technol*, vol. 41, no. suppl 1, pp. 52-59, Haz. 2021, doi: 10.1590/fst.07720.
- [36] E. M. Da Silva Pérez, N. M. N. De Alencar, I. S. T. De Figueiredo, K. S. Aragão, ve S. V. F. Gaban, “Effect of safflower oil (*Carthamus tinctorius* L.) supplementation in the

- abdominal adipose tissues and body weight of male Wistar rats undergoing exercise training,” *Food Chemistry: Molecular Sciences*, vol. 4, Tem. 2022, doi: 10.1016/j.fochms.2022.100083.
- [37] V. S. Kutsenkova, N. V. Nepovinnikh, ve Q. Guo, “Using of safflower seeds as a protein fortifier for shortbread,” *Food Hydrocolloids*, vol. 105, Ağu. 2020, doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105808.
- [38] Z. U. C. Fidanbaş, Ş. Bilgin, ve Ö. O. Ertan, “Bazı Deniz Balıklarının Aminoasit - Yağ Asiti İçerikleri ve Beslenme Açısından Önemi,” *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 45-59, 2015.
- [39] B. Ünver, “Diyetin Amino Asit Dengesizliği ve Beslenme Yönünden Önemi,” *J. Nutr. and Diet.*, vol. 17, pp. 131-139, 1988.
- [40] H. R. Katragadda, A. Fullana, S. Sidhu, ve Á. A. Carbonell-Barrachina, “Emissions of volatile aldehydes from heated cooking oils,” *Food Chemistry*, vol. 120, no. 1, pp. 59-65, May. 2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.09.070.
- [41] S. Ustaoglu Tiril ve M. Kerim, “Evaluation of safflower meal as a protein source in diets of rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792)]*,” *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 31, no. 5, pp. 895-899, Eki. 2015, doi: 10.1111/jai.12807.
- [42] E.-O. Kim, J.-H. Oh, S.-K. Lee, J.-Y. Lee, ve S.-W. Choi, “Antioxidant properties and quantification of phenolic compounds from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seeds,” *Korean Society of Food Science and Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 71-77, Şub. 2007.
- [43] C. Ren vd., “Integrated metabolomics and transcriptome analysis on flavonoid biosynthesis in flowers of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) during colour-transition,” *PeerJ*, vol. 10, Haz. 2022, doi: 10.7717/peerj.13591.
- [44] C. Ren vd., “Cloning and expression analysis of a new chalcone isomerase gene during flowering in safflower,” *Turk J Bot*, vol. 43, no. 2, pp. 143-150, Mar. 2019, doi: 10.3906/bot-1809-25.

- [45] J. Chen vd., "Integrated metabolomics and transcriptome analysis on flavonoid biosynthesis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under MeJA treatment," *BMC Plant Biol*, vol. 20, no. 1, pp. 353, Ara. 2020, doi: 10.1186/s12870-020-02554-6.
- [46] B. Xian vd., "Cloning and expression analysis of HY5 transcription factor gene of safflower in response to light signal," *Biotech and App Biochem*, Haz. 2022, doi: 10.1002/bab.2373.
- [47] V. Mani, S.-K. Lee, Y. Yeo, ve B.-S. Hahn, "A Metabolic Perspective and Opportunities in Pharmacologically Important Safflower," *Metabolites*, vol. 10, no. 6, Haz. 2020, doi: 10.3390/metabo10060253.
- [48] K.-W. Kim vd., "Effect of safflower seeds supplementation on stimulation of the proliferation, differentiation and mineralization of osteoblastic MC3T3-E1 cells," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 115, no. 1, pp. 42-49, Oca. 2008, doi: 10.1016/j.jep.2007.09.003.
- [49] L. Zhao, C. Ren, X. Xue, H. Lu, K. Wang, ve L. Wu, "Safflomin A: A novel chemical marker for *Carthamus tinctorius* L. (Safflower) monofloral honey," *Food Chemistry*, vol. 366, Oca. 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130584.
- [50] A. S. Albaiz, "The Use of Safflower (*Carthamus tinctorius*) in Treating Depression and Anxiety," *Cureus*, Şub. 2022, doi: 10.7759/cureus.22278.
- [51] W. Wang, R. Zhang, H. Liu, J. Tian, A. M. Shelton, ve J. Yao, "Use of safflower as a trap crop for managing the mirid bug, *LYGUS PRATENSIS* Linnaeus (Hemiptera: Miridae), in cotton fields," *Pest Management Science*, vol. 77, no. 4, pp. 1829-1838, Nis. 2021, doi: 10.1002/ps.6208.
- [52] R. Dehariya ve A. K. Dixit, "A Review on Potential Pharmacological Uses of *Carthamus tinctorius* L.," *WJPS*, vol. 3, no. 8, pp. 1741-1746, Ağu. 2015.
- [53] F. Zhao, P. Wang, Y. Jiao, X. Zhang, D. Chen, ve H. Xu, "Hydroxysafflor Yellow A: A Systematical Review on Botanical Resources, Physicochemical Properties, Drug Delivery System, Pharmacokinetics, and Pharmacological Effects," *Front. Pharmacol.*, vol. 11, Ara. 2020, doi: 10.3389/fphar.2020.579332.

- [54] U. İlkdoğan, “TÜRKİYE’DE ASPIR ÜRETİMİ İÇİN GEREKLİ KOŞULLAR VE OLUŞTURULACAK POLİTİKALAR,” Doktora Tezi, ANKARA ÜNİVERSİTESİ, TARIM EKONOMİSİ ANABİLİM DALI, 2012.
- [55] “Food and Agriculture Organization of the United Nations,” FAO. Erişim Tarihi: 01 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- [56] H. Yılmaz, M. B. Comak, ve F. Turgut, “Analysis of Factors Related to Farmers’ Benefiting From Safflower (*Carthamus Tinctorius* L.) Production Support: The Case of Central Anatolia In Turkey,” *The Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 26, no. 5, pp. 1411-1417, 2016.
- [57] “Statistical Database,” FAO. Erişim Tarihi: 01 Kasım 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.fao.org
- [58] “Tarla ve Bahçe Bitkisel Üretimi, Ürünler ve Üretim,” Bitkisel Üretim. Erişim Tarihi: 11 Ağustos 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Urunler-Ve-Uretim>
- [59] “Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Üretim Miktarları,” TÜİK. Erişim Tarihi: 11 Ağustos 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2023-49535>
- [60] F. Qiao ve J. Huang, “Farmers’ risk preference and fertilizer use,” *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 20, no. 7, pp. 1987-1995, Tem. 2021, doi: 10.1016/S2095-3119(20)63450-5.
- [61] G. Cristina vd., “Recovery of humic acids from anaerobic sewage sludge: Extraction, characterization and encapsulation in alginate beads,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 164, pp. 277-285, Ara. 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.097.
- [62] S. Groth vd., “Influence of a Selenium Biofortification on Antioxidant Properties and Phenolic Compounds of Apples (*Malus domestica*),” *Antioxidants*, vol. 9, no. 2, Şub. 2020, doi: 10.3390/antiox9020187.

- [63] M. Ikram *vd.*, “Chemotherapeutic Potential of *Carthamus Oxycantha* Root Extract as Antidiarrheal and In Vitro Antibacterial Activities,” *Antibiotics*, vol. 9, no. 5, May. 2020, doi: 10.3390/antibiotics9050226.
- [64] C. Kumawat *vd.*, “Microbial Diversity and Adaptation under Salt-Affected Soils: A Review,” *Sustainability*, vol. 14, no. 15, Tem. 2022, doi: 10.3390/su14159280.
- [65] S. Jaiswal ve P. Shukla, “Alternative Strategies for Microbial Remediation of Pollutants via Synthetic Biology,” *Front. Microbiol.*, vol. 11, May. 2020, doi: 10.3389/fmicb.2020.00808.
- [66] Y.-N. Ruan, Z.-X. Tang, T.-Y. Xia, ve Z.-B. Chen, “Application Progress of Microbial Fertilizers in Flue-Cured Tobacco Production in China,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 615, Ara. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/615/1/012084.
- [67] W. D. S. Oliveira, N. P. Stamford, E. V. N. D. Silva, T. S. Arnaud, C. G. Izquierdo, ve T. Hernández, “Microbial fertilizer from PK rocks on lettuce nutrients and soil attributes in consecutive crops,” *Pesq. agropec. bras.*, vol. 56, 2021, doi: 10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.01371.
- [68] H. Liu *vd.*, “Response of Soil Microbial Community Structure to Phosphate Fertilizer Reduction and Combinations of Microbial Fertilizer,” *Front. Environ. Sci.*, vol. 10, Haz. 2022, doi: 10.3389/fenvs.2022.899727.
- [69] W. Yang *vd.*, “Effects of Compound Microbial Fertilizer on Soil Characteristics and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.),” *J Soil Sci Plant Nutr*, vol. 20, no. 4, pp. 2740-2748, Ara. 2020, doi: 10.1007/s42729-020-00340-9.
- [70] A. M. L. Kraepiel, J. P. Bellenger, T. Wichard, ve F. M. M. Morel, “Multiple roles of siderophores in free-living nitrogen-fixing bacteria,” *Biometals*, vol. 22, no. 4, pp. 573-581, Ağu. 2009, doi: 10.1007/s10534-009-9222-7.
- [71] S.-L. Chen, M.-K. Tsai, Y.-M. Huang, ve C.-H. Huang, “Diversity and characterization of *Azotobacter* isolates obtained from rice rhizosphere soils in Taiwan,” *Ann Microbiol*, vol. 68, no. 1, pp. 17-26, Oca. 2018, doi: 10.1007/s13213-017-1312-0.
- [72] I. A. Stefanescu, L. Gavrilă, R. D. Mocanu, R. I. Olariu, ve C. Arsene, “Bioremediation Perspective of *Bacillus Megaterium* Towards Heavy Metals in

- Environments Enriched with Phosphogypsum,” *REV. CHIM*, vol. 62, no. 2, pp. 245-249, Nis. 2011.
- [73] Y. Yang vd., “Effects of phosphorus and potassium bacterial Fertilizer on Rhizosphere soil nutrients and Fruit quality of Huangguo Citrus,” *E3S Web Conf.*, vol. 206, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202020602008.
- [74] E. Wambacq vd., “Aerobes and phototrophs as microbial organic fertilizers: Exploring mineralization, fertilization and plant protection features,” *PLoS ONE*, vol. 17, no. 2, Şub. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0262497.
- [75] S. Gu vd., “Microbial and chemical fertilizers for restoring degraded alpine grassland,” *Biol Fertil Soils*, vol. 59, no. 8, pp. 911-926, Kas. 2023, doi: 10.1007/s00374-023-01759-9.
- [76] L. V. Thuc ve V. Q. Minh, “Improvement of Glutinous Corn and Watermelon Yield by Lime and Microbial Organic Fertilizers,” *Applied and Environmental Soil Science*, vol. 2022, pp. 1-7, Kas. 2022, doi: 10.1155/2022/2611529.
- [77] Y. Bai, P. Feng, W. Chen, S. Xu, J. Liang, ve J. Jia, “Effect of Three Microbial Fertilizer Carriers on Water Infiltration and Evaporation, Microbial Community and Alfalfa Growth in Saline-alkaline Soil,” *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 52, no. 20, pp. 2462-2470, Kas. 2021, doi: 10.1080/00103624.2021.1928176.
- [78] M. Schillaci vd., “Pseudomonas and Curtobacterium Strains from Olive Rhizosphere Characterized and Evaluated for Plant Growth Promoting Traits,” *Plants*, vol. 11, no. 17, Ağu. 2022, doi: 10.3390/plants11172245.
- [79] S. B. Mousavi, S. Sayfzadeh, H. Jabbari, S. A. Valadabadi, ve E. H. Masouleh, “Effect of auxin foliar application on seed yield and fatty acids composition of two safflower genotypes under late-season drought,” *Plant Soil Environ.*, vol. 68, no. 2, pp. 82-88, Şub. 2022, doi: 10.17221/329/2021-PSE.
- [80] A. Kumar, R. S. Sengar, ve S. V. Sahi, “Acclimation and adaptation of plants to different environmental abiotic stresses,” içinde *CLIMATE CHANGE EFFECT ON*

CROP PRODUCTIVITY, BOCA RATON, FL 33487-2742 USA: CRC PRESS-TAYLOR & FRANCIS GROUP, 2015.

- [81] O. Acar vd., *Bitkilerde Abiyotik ve Biyotik Stres Yönetimi*, vol. 1, no. 1, Ankara, Türkiye: İKSAD, 2022.
- [82] H. Korkmaz ve A. Durmaz, “Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar,” *GÜFBED/GUSTIJ*, vol. 7, no. 2, pp. 192-207, Haz. 2017.
- [83] K. Kosová, P. Vítámvás, I. T. Prášil, ve J. Renaut, “Plant proteome changes under abiotic stress — Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response,” *Journal of Proteomics*, vol. 74, no. 8, pp. 1301-1322, Ağu. 2011, doi: 10.1016/j.jprot.2011.02.006.
- [84] A. Fathi ve D. B. Tari, “Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants,” *Int J Life Sci*, vol. 10, no. 1, pp. 1-6, Şub. 2016, doi: 10.3126/ijls.v10i1.14509.
- [85] M. Hamza, “IMPROVING PETAL, SEED AND OIL YIELDS OF SAFFLOWER USING MELAGROW, GIBBERELIC ACID AND CYTOKININ,” *Journal of Plant Production*, vol. 6, no. 6, pp. 1012-1023, Haz. 2015, doi: 10.21608/jpp.2015.49823.
- [86] V. Beyyavas ve L. Dogan, “YIELD, YIELD COMPONENTS AND OIL RATIOS OF IRRIGATED AND RAINFED SAFFLOWER CULTIVARS (CARTHAMUS TINCTORIUS L.) UNDER SEMI-ARID CLIMATE CONDITIONS,” *Appl. Ecol. Env. Res.*, vol. 20, no. 2, pp. 1807-1820, 2022, doi: 10.15666/aeer/2002_18071820.
- [87] S. M. Mousavi Ojaq, H. Mozafari, H. Jabbari, ve B. Sani, “Evaluation of yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under semi-arid conditions,” *Plant Genet. Resour.*, vol. 18, no. 4, pp. 270-277, Ağu. 2020, doi: 10.1017/S1479262120000301.
- [88] S. La Bella, T. Tuttolomondo, L. Lazzeri, R. Matteo, C. Leto, ve M. Licata, “An Agronomic Evaluation of New Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Germplasm for Seed and Oil Yields under Mediterranean Climate Conditions,” *Agronomy*, vol. 9, no. 8, Ağu. 2019, doi: 10.3390/agronomy9080468.

- [89] S. V. K. Jagadish, D. A. Way, ve T. D. Sharkey, "Plant heat stress: Concepts directing future research," *Plant Cell & Environment*, vol. 44, no. 7, pp. 1992-2005, Tem. 2021, doi: 10.1111/pce.14050.
- [90] S. Ali vd., "Approaches in Enhancing Thermotolerance in Plants: An Updated Review," *J Plant Growth Regul*, vol. 39, no. 1, pp. 456-480, Mar. 2020, doi: 10.1007/s00344-019-09994-x.
- [91] F. Abbas, "Analysis of a Historical (1981–2010) Temperature Record of the Punjab Province of Pakistan," *Earth Interactions*, vol. 17, no. 15, pp. 1-23, Eyl. 2013, doi: 10.1175/2013EI000528.1.
- [92] L. Yuan vd., "Comparative response of two wucaï (*Brassica campestris* L.) genotypes to heat stress on antioxidative system and cell ultrastructure in root," *Acta Physiol Plant*, vol. 38, no. 9, Eyl. 2016, doi: 10.1007/s11738-016-2246-z.
- [93] M. Blumthaler ve W. Ambach, "Indication of Increasing Solar Ultraviolet-B Radiation Flux in Alpine Regions," *Science*, vol. 248, no. 4952, pp. 206-208, Nis. 1990, doi: 10.1126/science.2326634.
- [94] R. Jan vd., "Drought and UV Radiation Stress Tolerance in Rice Is Improved by Overaccumulation of Non-Enzymatic Antioxidant Flavonoids," *Antioxidants*, vol. 11, no. 5, May. 2022, doi: 10.3390/antiox11050917.
- [95] Y. Tan vd., "The Role of Reactive Oxygen Species in Plant Response to Radiation," *IJMS*, vol. 24, no. 4, Şub. 2023, doi: 10.3390/ijms24043346.
- [96] H. Zhu vd., "Effects of Soil Salinity on Nitrification and Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Coastal Reclaimed Farmland Soil," *J Soil Sci Plant Nutr*, vol. 22, no. 2, pp. 2743-2754, Haz. 2022, doi: 10.1007/s42729-022-00841-9.
- [97] P. Sudhir ve S. D. S. Murthy, "Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis," *Photosynt.*, vol. 42, no. 4, pp. 481-486, Ara. 2004, doi: 10.1007/S11099-005-0001-6.
- [98] L. Huang, Z. Li, Q. Liu, G. Pu, Y. Zhang, ve J. Li, "Research on the adaptive mechanism of photosynthetic apparatus under salt stress: New directions to increase crop

- yield in saline soils,” *Annals of Applied Biology*, vol. 175, no. 1, pp. 1-17, Tem. 2019, doi: 10.1111/aab.12510.
- [99] J. Acosta-Motos, M. Ortuño, A. Bernal-Vicente, P. Diaz-Vivancos, M. Sanchez-Blanco, ve J. Hernandez, “Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms,” *Agronomy*, vol. 7, no. 1, Şub. 2017, doi: 10.3390/agronomy7010018.
- [100] P. Ahmad, K. Venema, ve F. J. Corpas, “Unravelling salt tolerance mechanisms in plants: From lab to field,” *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 176, pp. 31-33, Nis. 2022, doi: 10.1016/j.plaphy.2022.02.006.
- [101] H. Fu ve Y. Yang, “How Plants Tolerate Salt Stress,” *CIMB*, vol. 45, no. 7, pp. 5914-5934, Tem. 2023, doi: 10.3390/cimb45070374.
- [102] E. H. Siddiqi ve M. Eşref, “Can leaf water relation parameters be used as selection criteria for salt tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.),” *Pak. J. Bot.*, vol. 40, no. 1, pp. 221-228, Şub. 2008.
- [103] H. Yasmin vd., “Combined application of zinc oxide nanoparticles and biofertilizer to induce salt resistance in safflower by regulating ion homeostasis and antioxidant defence responses,” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 218, Tem. 2021, doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112262.
- [104] F. Shaki, H. E. Maboud, ve V. Niknam, “Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), by salicylic acid,” *Current Plant Biology*, vol. 13, pp. 16-22, Nis. 2018, doi: 10.1016/j.cpb.2018.04.001.
- [105] M. I. Hussain, D.-A. Lyra, M. Farooq, N. Nikoloudakis, ve N. Khalid, “Salt and drought stresses in safflower: a review,” *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 36, no. 1, Mar. 2016, doi: 10.1007/s13593-015-0344-8.
- [106] K. Ghassemi-Golezani, A. Hosseinzadeh-Mahootchi, ve S. Farhangi-Abriz, “Chlorophyll a fluorescence of safflower affected by salt stress and hormonal treatments,” *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 7, Tem. 2020, doi: 10.1007/s42452-020-3133-1.
- [107] Z. Noreen ve M. Ashraf, “Changes in antioxidant enzymes and some key metabolites in some genetically diverse cultivars of radish (*Raphanus sativus* L.),” *Environmental*

- and *Experimental Botany*, vol. 67, no. 2, pp. 395-402, Ara. 2009, doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.05.011.
- [108] S. Farhangi-Abriz ve K. Ghassemi-Golezani, "How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants?," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 147, pp. 1010-1016, Oca. 2018, doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.09.070.
- [109] F. Shaki, H. E. Maboud, ve V. Niknam, "Improving Salt Tolerance in Safflower Plants through Exogenous Application of Penconazole," *Agronomy Journal*, vol. 111, no. 1, pp. 397-407, Oca. 2019, doi: 10.2134/agronj2018.05.0311.
- [110] F. Kayaçetin, "Assessment of safflower genotypes for individual and combined effects of drought and salinity stress at early seedling growth stages," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 46, no. 5, pp. 601-612, Oca. 2022, doi: 10.55730/1300-011X.3029.
- [111] N. S. Kim vd., "Impact of Betaine Under Salinity on Accumulation of Phenolic Compounds in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Sprouts," *Natural Product Communications*, vol. 16, no. 5, May. 2021, doi: 10.1177/1934578X211015090.
- [112] M. D. Kaya, G. Akdoğan, E. G. Kulan, H. Dağhan, ve A. Sari, "SALINITY TOLERANCE CLASSIFICATION OF SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) AND SAFFLOWER (*Carthamus tinctorius* L.) BY CLUSTER AND PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS," *Appl. Ecol. Env. Res.*, vol. 17, no. 2, pp. 3849-3857, 2019, doi: 10.15666/aeer/1702_38493857.
- [113] P. Golkar, M. Taghizadeh, ve A. Noormohammadi, "Effects of sodium alginate elicitation on secondary metabolites and antioxidant activity of safflower genotypes under in vitro salinity stress," *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant*, vol. 55, no. 5, pp. 527-538, Eki. 2019, doi: 10.1007/s11627-019-10008-4.
- [114] S. Hadjadj vd., "Comparative effects of NaCl and Na₂SO₄ on germination and early seedling stages of the halophyte *Carthamus tinctorius* L.," *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 35, May. 2023, doi: 10.1016/j.jarmap.2023.100463.

- [115] S. Hatamipoor, L. Shabani, ve S. Farhadian, “Supportive effect of naringenin on NaCl-induced toxicity in *Carthamus tinctorius* seedlings,” *International Journal of Phytoremediation*, vol. 25, no. 7, pp. 889-899, Haz. 2023, doi: 10.1080/15226514.2022.2117790.
- [116] D. K. Gupta, J. M. Palma, ve F. J. Corpas, Ed., *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-75088-0.
- [117] Ö. Arslan, Ş. Çulha Erdal, ve Y. Ekmekçi, “Salt Pretreatment-Mediated Alleviation of Boron Toxicity in Safflower Cultivars: Growth, Boron Accumulation, Photochemical Activities, Antioxidant Defense Response,” *Plants*, vol. 11, no. 17, Eyl. 2022, doi: 10.3390/plants11172316.
- [118] Ş. Çulha Erdal ve H. Çakırlar, “Impact of salt stress on photosystem II efficiency and antioxidant enzyme activities of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars,” *Turk J Biol*, vol. 38, pp. 549-560, 2014, doi: 10.3906/biy-1401-33.
- [119] F. Alasvandyari, B. Mahdavi, ve H. Madah, “Glycine betaine affects the antioxidant system and ion accumulation and reduces salinity-induced damage in safflower seedlings,” *Arch biol sci (Beogr)*, vol. 69, no. 1, pp. 139-147, 2017, doi: 10.2298/ABS160216089A.
- [120] P. Golkar ve M. Taghizadeh, “In vitro evaluation of phenolic and osmolite compounds, ionic content, and antioxidant activity in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress,” *Plant Cell Tiss Organ Cult*, vol. 134, no. 3, pp. 357-368, Eyl. 2018, doi: 10.1007/s11240-018-1427-4.
- [121] S. Zaoui vd., “Antioxidant pool optimization in *Carthamus tinctorius* L. leaves under different NaCl levels and treatment durations,” *Acta Physiol Plant*, vol. 38, no. 8, Ağu. 2016, doi: 10.1007/s11738-016-2204-9.
- [122] “Asol Oleik Aspir Çeşidi,” Tarım ve Orman Bakanlığı. Erişim Tarihi: 04 Ocak 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Haber/68/Turkiye-Nin-Ilk-Oleik-Aspir-Cesidi-Olan-Asola-Ait-Ust-Kademe-Tohumluk-Talepleri-Alinmaya-Baslanmistir>

- [123] R. E. Smart ve G. E. Bingham, "Rapid Estimates of Relative Water Content," *Plant Physiol.*, vol. 53, no. 2, pp. 258-260, Şub. 1974, doi: 10.1104/pp.53.2.258.
- [124] A. Vandemoortele, P. M. Heynderickx, L. Leloup, ve B. De Meulenaer, "Kinetic modeling of malondialdehyde reactivity in oil to simulate actual malondialdehyde formation upon lipid oxidation," *Food Research International*, vol. 140, Şub. 2021, doi: 10.1016/j.foodres.2020.110063.
- [125] A. Ayala, M. F. Muñoz, ve S. Argüelles, "Lipid Peroxidation: Production, Metabolism, and Signaling Mechanisms of Malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal," *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, vol. 2014, pp. 1-31, 2014, doi: 10.1155/2014/360438.
- [126] H. Ohkawa, N. Ohishi, ve K. Yagi, "Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction," *Analytical Biochemistry*, vol. 95, no. 2, pp. 351-358, Haz. 1979, doi: 10.1016/0003-2697(79)90738-3.
- [127] H. K. Lichtenthaler ve C. Buschmann, "Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy," *Current protocols in food analytical chemistry*, vol. 1, no. 1, Ağu. 2001.
- [128] A. L. Mancinelli, "Interaction between Light Quality and Light Quantity in the Photoregulation of Anthocyanin Production," *Plant Physiol.*, vol. 92, no. 4, pp. 1191-1195, Nis. 1990, doi: 10.1104/pp.92.4.1191.
- [129] M. M. Giusti ve R. E. Wrolstad, "Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy," *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, vol. 0, no. 1, Nis. 2001, doi: 10.1002/0471142913.faf0102s00.
- [130] M. M. Bradford, "A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding," *Analytical Biochemistry*, vol. 72, no. 1-2, pp. 248-254, May. 1976, doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
- [131] Y. Nakano ve K. Asada, "Purification of Ascorbate Peroxidase in Spinach Chloroplasts; Its Inactivation in Ascorbate-Depleted Medium and Reactivation by

- Monodehydroascorbate Radical,” *Plant and Cell Physiology*, Oca. 1987, doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a077268.
- [132] Ö. D. İşeri, D. A. Körpe, F. I. Sahin, ve M. Haberal, “Hydrogen peroxide pretreatment of roots enhanced oxidative stress response of tomato under cold stress,” *Acta Physiol Plant*, vol. 35, no. 6, pp. 1905-1913, Haz. 2013, doi: 10.1007/s11738-013-1228-7.
- [133] H. Lück, “Catalase,” içinde *Methods of Enzymatic Analysis*, Elsevier, 1965, pp. 885-894. doi: 10.1016/B978-0-12-395630-9.50158-4.
- [134] R. A. Azevedo, R. M. Alas, R. J. Smith, ve P. J. Lea, “Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley,” *Physiologia Plantarum*, vol. 104, no. 2, pp. 280-292, Eki. 1998, doi: 10.1034/j.1399-3054.1998.1040217.x.
- [135] C. E. Azpilicueta, M. P. Benavides, M. L. Tomaro, ve S. M. Gallego, “Mechanism of CATA3 induction by cadmium in sunflower leaves,” *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 45, no. 8, pp. 589-595, Ağu. 2007, doi: 10.1016/j.plaphy.2007.04.005.
- [136] S. Wunnoo, T. Maneerat, L. Lerslerwong, S. P. Voravuthikunchai, ve P. Kunwanlee, “Effective techniques to break seed dormancy in *Rhodomyrtus tomentosa* (Aiton) Hassk. for seed germination enhancement,” *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 42, Eyl. 2024, doi: 10.1016/j.jarmap.2024.100558.
- [137] K. Begum, N. Hasan, ve M. Shammi, “Selective biotic stressors’ action on seed germination: A review,” *Plant Science*, vol. 346, Eyl. 2024, doi: 10.1016/j.plantsci.2024.112156.
- [138] E. Mohamed, A. M. M. A. Kasem, A.-M. F. M. Ghanem, N. Ansari, D. S. Yadav, ve S. B. Agrawal, “Effects of salinity and UV-B on seed germination behaviour of the halophyte *Zygophyllum album* L.: Enforced dormancy and trade-off strategy,” *Flora*, vol. 309, Ara. 2023, doi: 10.1016/j.flora.2023.152408.

- [139] H. Wang vd., “The culture of Chlorella with livestock wastewater and the application of its oligosaccharides in promoting rice seed germination under high salinity conditions,” *Biochemical Engineering Journal*, vol. 209, Eyl. 2024, doi: 10.1016/j.bej.2024.109399.
- [140] P. T. Jacob, J. A. Sutariya, S. A. Siddiqui, D. K. Pandya, ve M. S. Rathore, “Non-targeted metabolomic evaluations during seed germination and seedling growth in *Salicornia brachiata* (Roxb.) under saline conditions,” *Aquatic Botany*, vol. 190, Oca. 2024, doi: 10.1016/j.aquabot.2023.103712.
- [141] A. Benadjaoud, M. Dadach, A. El-Keblawy, ve Z. Mehdadi, “Impacts of osmopriming on mitigation of the negative effects of salinity and water stress in seed germination of the aromatic plant *Lavandula stoechas* L.,” *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 31, Ara. 2022, doi: 10.1016/j.jarmap.2022.100407.
- [142] R. Matsuda, K. Yamada, D. Hayasaka, ve Y. Henmi, “Effects of salinity, temperature, and immersion conditions on seed germination of invasive *Spartina alterniflora* Loisel (smooth cordgrass) in Japan,” *Regional Studies in Marine Science*, vol. 57, Oca. 2023, doi: 10.1016/j.rsma.2022.102738.
- [143] Sulaiman vd., “Germination response of Oat (*Avena sativa* L.) to temperature and salinity using halothermal time model,” *Plant Stress*, vol. 10, Ara. 2023, doi: 10.1016/j.stress.2023.100263.
- [144] H. Li vd., “Seed biostimulant *Bacillus* sp. MGW9 improves the salt tolerance of maize during seed germination,” *AMB Expr*, vol. 11, no. 1, Ara. 2021, doi: 10.1186/s13568-021-01237-1.
- [145] P. T. Jacob, S. A. Siddiqui, ve M. S. Rathore, “Seed germination, seedling growth and seedling development associated physiochemical changes in *Salicornia brachiata* (Roxb.) under salinity and osmotic stress,” *Aquatic Botany*, vol. 166, Ağu. 2020, doi: 10.1016/j.aquabot.2020.103272.
- [146] K. Ghassemi-Golezani ve S. Farhangi-Abri, “Biochar-based metal oxide nanocomposites of magnesium and manganese improved root development and

- productivity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salt stress,” *Rhizosphere*, vol. 19, Eyl. 2021, doi: 10.1016/j.rhisph.2021.100416.
- [147] E. L. Dalziell, W. Lewandowski, ve D. J. Merritt, “Increased salinity reduces seed germination and impacts upon seedling development in *Nymphaea* L. (Nymphaeaceae) from northern Australia’s freshwater wetlands,” *Aquatic Botany*, vol. 165, Haz. 2020, doi: 10.1016/j.aquabot.2020.103235.
- [148] A. M. Ahmed vd., “Seed Germination and Early Seedling Growth of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.Moench) Genotypes Under Salinity Stress,” *Pol. J. Environ. Stud.*, vol. 33, no. 3, pp. 3019-3032, Nis. 2024, doi: 10.15244/pjoes/177180.
- [149] S. Han, K. Lu, T. Guo, Y. Zhang, B. Wang, ve B. Wu, “Effect of Saline Treatment on Seed Germination of Adzuki Beans,” *Seed Science and Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 31-42, Nis. 2023, doi: 10.15258/sst.2023.51.1.04.
- [150] M. Prakash, S. Pallavamallan, G. Sathiyarayanan, ve S. Rameshkumar, “Effect of seed pelleting with botanicals on germination and seedling growth of clusterbean under induced saline condition,” *LR, sy of*, Nis. 2019, doi: 10.18805/LR-4060.
- [151] M. M. D. S. Guaraldo, T. M. Pereira, H. O. Dos Santos, T. L. De Oliveira, W. V. S. Pereira, ve E. V. D. R. Von Pinho, “Priming with sodium nitroprusside and hydrogen peroxide increases cotton seed tolerance to salinity and water deficit during seed germination and seedling development,” *Environmental and Experimental Botany*, vol. 209, May. 2023, doi: 10.1016/j.envexpbot.2023.105294.
- [152] M. Xiong vd., “Salinity inhibits seed germination and embryo growth by reducing starch mobilization efficiency in barley,” *Plant Direct*, vol. 8, no. 2, Şub. 2024, doi: 10.1002/pld3.564.
- [153] M. Wang vd., “NaCl treatment on physio-biochemical metabolism and phenolics accumulation in barley seedlings,” *Food Chemistry*, vol. 331, Kas. 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127282.
- [154] J. Liu vd., “Effects of microbial fertilizer and irrigation amount on growth, physiology and water use efficiency of tomato in greenhouse,” *Scientia Horticulturae*, vol. 323, Oca. 2024, doi: 10.1016/j.scienta.2023.112553.

- [155] K. Khotchanalekha vd., "Isolation and Selection of Plant Growth Promoting Endophytic Bacteria Associated with Healthy *Hevea brasiliensis* for Use as Plant Growth Promoters in Rubber Seedlings under Salinity Stress," *Chiang Mai J. Sci*, vol. 47, no. 1, pp. 39-48, 2020.
- [156] Z. Gengmao, H. Yu, S. Xing, L. Shihui, S. Quanmei, ve W. Changhai, "Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower," *Industrial Crops and Products*, vol. 64, pp. 175-181, Şub. 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.058.
- [157] B. Keleş, "İn Vitro Kültür Koşulları ve Tuzluluk (NaCl) Stresi Altında Çimlendirilen Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Bitkisinde Meydana Gelen Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimler," Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [158] M. Kurtuluş, "Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Çeşitlerinin Çimlenme ve Çıkışı Üzerine Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [159] S. Mayak, T. Tirosh, ve B. R. Glick, "Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 42, no. 6, pp. 565-572, Haz. 2004, doi: 10.1016/j.plaphy.2004.05.009.
- [160] M. Vaghar, H. R. Eshghizadeh, ve P. Ehsanzadeh, "Elevated atmospheric CO₂ concentration mitigates salt damages to safflower: Evidence from physiological and biochemical examinations," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 206, Oca. 2024, doi: 10.1016/j.plaphy.2023.108242.
- [161] R. K. Sairam ve G. C. Srivastava, "Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress," *Plant Science*, vol. 162, no. 6, pp. 897-904, Haz. 2002, doi: 10.1016/S0168-9452(02)00037-7.
- [162] E. Nemeskéri, K. Horváth, P. Pék, ve L. Helyes, "Effect of mycorrhizal and bacterial products on the traits related to photosynthesis and fruit quality of tomato under water deficiency conditions," *Acta Hort.*, no. 1233, pp. 61-66, Şub. 2019, doi: 10.17660/ActaHortic.2019.1233.10.

- [163] M. Gursay, "Effect of foliar aminopolysaccharide chitosan applications under saline conditions on seedling growth characteristics antioxidant enzyme activity, chlorophyll and carotenoid contents of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars," *PAK. J. BOT.*, vol. 54, no. 5, Eki. 2022, doi: 10.30848/PJB2022-5(15).
- [164] E. A. Ibrahim, "Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds," *Journal of Plant Physiology*, vol. 192, pp. 38-46, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.jplph.2015.12.011.
- [165] T. Gour vd., "Amelioration of the physio-biochemical responses to salinity stress and computing the primary germination index components in cauliflower on seed priming," *Heliyon*, vol. 9, no. 3, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14403.
- [166] R. Munns ve M. Tester, "Mechanisms of Salinity Tolerance," *Annu. Rev. Plant Biol.*, vol. 59, no. 1, pp. 651-681, Haz. 2008, doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- [167] F. Ramel, S. Birtic, C. Ginies, L. Soubigou-Taconnat, C. Triantaphylidès, ve M. Havaux, "Carotenoid oxidation products are stress signals that mediate gene responses to singlet oxygen in plants," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 109, no. 14, pp. 5535-5540, Nis. 2012, doi: 10.1073/pnas.1115982109.
- [168] K. Strzałka, A. Kostecka-Gugała, ve D. Latowski, "Carotenoids and Environmental Stress in Plants: Significance of Carotenoid-Mediated Modulation of Membrane Physical Properties," *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 50, no. 2, pp. 168-173, 2003, doi: 10.1023/A:1022960828050.
- [169] H. R. Eshghizadeh, M. Kafi, ve A. Nezami, "The Mechanisms of Salinity Tolerance in the Xero-halophyte Blue Panicgrass (*Panicum antidotale* Retz)," *Not Sci Biol*, vol. 4, no. 2, pp. 59-64, May. 2012, doi: 10.15835/nsb427363.
- [170] N. Lakra, K. K. Nutan, P. Das, K. Anwar, S. L. Singla-Pareek, ve A. Pareek, "A nuclear-localized histone-gene binding protein from rice (OsHBP1b) functions in salinity and drought stress tolerance by maintaining chlorophyll content and improving the antioxidant machinery," *Journal of Plant Physiology*, vol. 176, pp. 36-46, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jplph.2014.11.005.

- [171] M. Chavoushi, F. Najafi, A. Salimi, ve S. A. Angaji, "Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress," *Scientia Horticulturae*, vol. 259, Oca. 2020, doi: 10.1016/j.scienta.2019.108823.
- [172] Z. Xu ve S. J. Rothstein, "ROS-Induced anthocyanin production provides feedback protection by scavenging ROS and maintaining photosynthetic capacity in Arabidopsis," *Plant Signaling & Behavior*, vol. 13, no. 3, Mar. 2018, doi: 10.1080/15592324.2018.1451708.
- [173] Z. Li ve G. J. Ahammed, "Hormonal regulation of anthocyanin biosynthesis for improved stress tolerance in plants," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 201, Ağu. 2023, doi: 10.1016/j.plaphy.2023.107835.
- [174] E. F. D. Silva vd., "Salt-excluder rootstock improves physio-biochemical responses of grafted grapevine plants subjected to salinity stress," *Current Plant Biology*, vol. 37, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.cpb.2023.100316.
- [175] N. Liu, Z. Lin, L. Guan, G. Gaughan, ve G. Lin, "Antioxidant Enzymes Regulate Reactive Oxygen Species during Pod Elongation in *Pisum sativum* and *Brassica chinensis*," *PLoS ONE*, vol. 9, no. 2, Şub. 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0087588.
- [176] P. Yuan, H. Pan, E. N. Boak, L. S. Pierson, ve E. A. Pierson, "Phenazine-Producing Rhizobacteria Promote Plant Growth and Reduce Redox and Osmotic Stress in Wheat Seedlings Under Saline Conditions," *Front. Plant Sci.*, vol. 11, Eyl. 2020, doi: 10.3389/fpls.2020.575314.
- [177] M. Von Cossel vd., "Marginal Agricultural Land Low-Input Systems for Biomass Production," *Energies*, vol. 12, no. 16, Ağu. 2019, doi: 10.3390/en12163123.