

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

TRİPTOFAN ÖN MUAMELESİNİN MISIR (*Zea mays* L.) BİTKİSİNİN TUZ
STRESİNE AKLİMASYONUNDAKİ ROLÜNÜN FİZYOLOJİK
VE BİYOKİMYASAL DÜZEYDE ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Philbert NDACAKOMEJE

EYLÜL 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

TRİPTOFAN ÖN MUAMELESİNİN MISIR (*Zea mays* L.) BİTKİSİNİN TUZ
STRESİNE AKLİMASYONUNDAKİ ROLÜNÜN FİZYOLOJİK
VE BİYOKİMYASAL DÜZEYDE ARAŞTIRILMASI

Philbert NDACAKOMEJE

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (BİYOLOJİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 / 08 / 2024
Tezin Savunma Tarihi : 24 / 09 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Mevcut tezin hazırlanmasında katkıda bulunan herkese teşekkürlerimi en samimi duygularımla sunarım. Onların değerli destekleri, uzmanlıkları ve teşvikleri bu çalışmayı oldukça kolaylaştırarak geliştirdi. Öncelikle, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ'a bu araştırma projesi boyunca gösterdiği rehberlik, sabır ve güven için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Değerli tavsiyeleri, uzmanlığı ve kesintisiz desteği bu projenin başarıya ulaşmasına büyük katkı sağladı. Tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. İbrahim TURNA ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ÇOLAK'a bu araştırma sürecini denetlemeleri ve bu tezin yazım süreci boyunca verdikleri değerli tavsiyeler için teşekkür ederim. Ayrıca KTÜ Biyoloji Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali Osman BELDÜZ'e sağladıkları laboratuvar olanakları için ve Biyoloji Bölümü'ndeki tüm hocalarıma eğitim yıllarım boyunca bana aktardıkları bilgiler için teşekkürlerimi sunarım. Biyoloji bölümündeki araştırma ekibimizin üyelerine ve özellikle laboratuvar analizleri esanındaki teknik katkılarından dolayı Leyla YILMAZ'a da çok teşekkür ederim.

Bursumu veren Kurum olan YTB'ye (Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı) de tezimi finansal endişe duymadan tamamlamamı sağladıkları için özel teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanında “Triptofan ön muamelesinin mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin tuz stresine aklımasyonundaki rolünün fizyolojik ve biyokimyasal düzeyde araştırılması” başlıklı bu tez çalışması (FDK-2022-10029) KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir, KTÜ-BAP Komisyonu üyeleri ve çalışanlarına da teşekkür ederim. Bu program boyunca bana destek olan ve her zaman bana inanan aileme, özellikle de sevgili eşim Elysée MUNEZERO ve sevgili kızım Lyria Darelle NDACAKOMEJE'ye çok teşekkür ederim. Onların desteği ve sabrı bu doktora programı boyunca benim sığınağım ve motivasyon kaynağım oldu.

Son olarak, bu tezin tamamlanmasına herhangi bir şekilde katkıda bulunan herkese teşekkür etmek isterim. Bu çalışma hem kolektif hem de kişisel bir başarının ürünüdür, bu çalışmada yardımcı olan herkese sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Philbert NDACAKOMEJE

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Tryptofan ön muamelesinin mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin tuz stresine aklımasyonundaki rolünün fizyolojik ve biyokimyasal düzeyde araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ'ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/09/2024.

Philbert NDACAKOMEJE

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	IV
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLER DİZİNİ	XI
TABOLAR DİZİNİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Genel Giriş	1
1.2. Bitkilerde Stres Kavramı	5
1.3. Abiyotik Stresler.....	6
1.3.1. Su Stresi	7
1.3.2. Yüksek Sıcaklık Stresi	8
1.3.3. Soğuk Stresi	8
1.3.4. Ağır Metaller Stresi.....	9
1.3.5. Yüksek Işık Stresi	9
1.3.6. Ultra Viyole (UV) Stresi	10
1.3.7. Don Stresi.....	11
1.3.8. Ozon Stresi	11
1.3.9. Tuz Stresi	12
1.4. Tuz Stresinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri	12
1.4.1. Tuz Stresinin Tohum Çimlenmesi Üzerine Etkisi	14
1.4.2. Tuz Stresinin Ozmotik Etkileri	14
1.4.3. Tuz Stresinin İyonik Etkileri.....	15
1.4.4. Tuz Stresinin Oksidatif Etkileri	15
1.4.5. Tuz Stresinin Fotosentez Üzerine Etkileri	16
1.4.6. Tuz Stresinin Bitki Büyümesi ve Gelişimi Üzerine Etkileri.....	17
1.4.7. Tuz Stresine Karşı Tolerans Mekanizmaları.....	18
1.5. Mısır (<i>Zea mays</i> L.) Bitkisi	20
1.5.1. Mısır (<i>Zea mays</i> L.) Bitkisinin Tarımsal Önemi.....	22

1.5.2.	Tuz Stresinin Mısır (<i>Zea mays</i> L.) Bitkisi Üzerine Olan Etkileri	22
1.6.	Triptofan Tanımlanması	23
1.6.1.	Canlılarda Triptofanın Biyosentez Yolları	24
1.6.2.	Triptofanın Bitki Büyüme ve Gelişmesindeki Rollerini	26
1.7.	Tohum Ön Muamelesi (Priming)	26
1.7.1.	Tohum Priming Tekniği	26
1.7.2.	Tohum Ön Muamelesinin Türleri	28
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	29
2.1.	Bitkilerin Yetiştirilmesi	29
2.2.	Yöntem	30
2.2.1.	Morfolojik Parametrelerin Belirlenmesi	30
2.2.2.	Bağıl Su İçeriği (RWC)'nin Belirlenmesi	30
2.2.3.	Ozmotik Potansiyelin Belirlenmesi	31
2.2.4.	Fotosentetik Pigmentlerin Belirlenmesi	31
2.2.5.	Elektrolit Sızıntısının Belirlenmesi	31
2.2.6.	Prolin İçeriğinin Belirlenmesi	32
2.2.7.	Çözünebilir Şekerler İçeriklerinin Belirlenmesi	32
2.2.8.	İstatistik Analizler	32
3.	BULGULAR	33
3.1.	Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Büyüme Parametrelerine Olan Etkisi	33
3.1.1.	Yaprak (YU) ve Kök (KU) Uzunluğu	33
3.1.2.	Taze Ağırlık (TA)	36
3.1.3.	Kuru Ağırlık (KA)	38
3.2.	Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerindeki Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi	40
3.2.1.	Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamasının Mısır Fidelerinin Yaprak Su İçeriğine Olan Etkisi	40
3.2.2.	Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Su Kaybı Üzerine Etkisi	41
3.2.3.	Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamasının Mısır Fidelerinin Ozmotik Potansiyel Üzerine Etkisi	43
3.3.	Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Mineral İçeriğine Olan Etkisi	45
3.3.1.	Kök Na^+ , K^+ ve Cl^- İçeriği	45
3.3.2.	Yaprak Na^+ , K^+ ve Cl^- İçeriği	47

3.4. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Elektrolit Sızıntısı (ES) Üzerine Olan Etkisi.....	50
3.5. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Fotosentez Üzerine Olan Etkisi	51
3.5.1. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Fotosentetik Pigmentler İçeriğine Olan Etkisi	51
3.5.2. Tuz Stresi Ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Klorofil Fluoresansına (<i>Fv/Fm</i>) Olan Etkisi	55
3.6. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Şeker İçeriğine Olan Etkisi.....	56
3.6.1. Mannitol İçeriği.....	56
3.6.2. Sukroz İçeriği.....	58
3.7. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin prolin İçeriğine Olan Etkisi.....	60
4. TARTIŞMA	63
5. SONUÇ.....	81
6. ÖNERİLER.....	84
7. KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	

Doktora tezi

ÖZET

TRİPTOFAN ÖN MUAMELESİNİN MISIR (*Zea mays* L.) BİTKİSİNİN TUZ STRESİNE AKLİMASYONUNDAKİ ROLÜNÜN FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL DÜZEYDE ARAŞTIRILMASI

Philbert NDACAKOMEJE

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ

2024, 110 sayfa

Bu çalışmanın amacı, tuz stresi (0, 25, 50, 100 ve 150 mM NaCl) koşullarında yetiştirilen iki mısır (*Zea mays* L.) çeşidine ('DKC6590' ve 'DKC6724') triptofan (Trp: 0,1 mM) ön uygulamasının etkilerini belirlemektir. Bulgularımızda NaCl ve Trp mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin radikula, kök ve yaprak uzunluklarını yanında kök ve yaprak taze ve kuru ağırlıklarını azalttı. RWC ve su kaybı tuz stresi nedeniyle azalırken, Trp RWC ve su kaybı üzerinde önemli bir etki sağlamadığı belirlendi. Ψ_s , tuz stresiyle azalırken, Trp sayesinde arttı. Tuz stresi Na^+ içeriğinde bir artışı tetiklerken, K^+ içeriğini ve K^+/Na^+ 'ı azalttı. Trp uygulaması ise Na^+ içeriğini azaltırken, K^+ ve K^+/Na^+ 'ı artırdı. Elektrolit sızıntısı NaCl ile artarken Trp sayesinde azaldı. NaCl, orta tuz stresi düzeylerinde F_v/F_m 'yi azaltırken, aşırı tuz düzeylerinde F_v/F_m 'yi artırmış, ancak Trp uygulaması kontrol bitkilerine kıyasla F_v/F_m 'yi azalttı. Klorofil *a*, klorofil *b*, toplam klorofil ve toplam karotenoid içerikleri NaCl koşullarında artarken, Trp uygulaması parametreler üzerinde bir etkiye sahip olmadığı görüldü. NaCl ve Trp uygulamaları yüksek tuz stresi koşullarında prolin içeriğini artırdı. Mannitol ve sukroz içerikleri NaCl nedeniyle artarken, Trp 100 ve 150 mM NaCl koşullarında mannitol ve sukroz içeriklerini artırdı. Genel olarak, tuz stresinin tüm parametreler üzerinde olumsuz etkileri olduğunu ve 'DKC6590' mısır çeşidinin 'DKC6724' çeşidine kıyasla tuz stresine karşı daha toleranslı olduğunu ortaya koydu. Bununla birlikte, Trp uygulaması mısır bitkilerinin büyüme ve gelişmesini iyileştirebileceği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Tuz stresi, L-Triptofan, tohum primingi, *Zea mays* L.

PhD Thesis

SUMMARY

INVESTIGATING THE ROLE OF TRYPTOPHAN PRETREATMENT IN THE ACCLIMATION OF MAIZE (*Zea mays* L.) PLANTS TO SALT STRESS AT PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL LEVELS

Philbert NDACAKOMEJE

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology
Supervisor: Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ
2024, 110 pages

The aim of this study was to determine the effects of Trp (0.1 mM) seed priming of two maize (*Zea mays* L.) cultivars ('DKC6590' and 'DKC6724') grown under salt stress (0, 25, 50, 100, and 150 mM NaCl). Results showed that NaCl and Trp decreased radicle, root and leaf lengths as well as root and leaf fresh and dry weights of maize (*Zea mays* L.) plants. RWC and water loss were reduced by salt stress, while Trp did not have any significant effect on RWC and water loss. Osmotic potential (Ψ_s) was decreased by salt stress but increased by Trp. Salt stress induced an increase in Na^+ content, but decreased K^+ content and K^+/Na^+ . In contrast, Trp treatment decreased Na^+ content, but increased K^+ and K^+/Na^+ . Electrolyte leakage was increased by NaCl but was decreased by Trp application. NaCl decreased F_v/F_m at moderate salt stress levels and increased F_v/F_m at high salt levels, but Trp application decreased F_v/F_m compared to control plants. Chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll and total carotenoid contents increased under NaCl conditions, while Trp application had no effect on these parameters. NaCl and Trp treatments increased proline content under high salt stress conditions. Mannitol and sucrose contents increased due to salt stress, while Trp application increased mannitol and sucrose contents under high level salt conditions. Overall, salt stress had negative effects on all parameters and revealed that maize 'DKC6590' variety was more tolerant to salt stress compared to 'DKC6724'. However, Trp application could improve the growth and development of maize plants.

Key Words: Salt stress, L-Tryptophan, seed priming, *Zea mays* L.

ŞEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Tuz stresinin bitki üzerindeki etkilerine genel bir bakış.	13
Şekil 2. Mısır bitkisinin tanımlanması ve bitkinin vejetatif gelişim ve üreme aşamaları	21
Şekil 3. Mikroorganizmalarda Triptofan biyosentezinin yolu.....	24
Şekil 4. Yüksek bitkilerde Triptofan biyosentezinin yolu	25
Şekil 5. Priming (ön uygulama) ve normal tohum çimlenme sürecinin arasındaki farkı özetleyen şematik diyagramı)	27
Şekil 6. 'DKC6590' mısır (<i>Zea mays</i> L.) çeşidinin NaCl ve Trp uygulama gruplarına ait morfolojik görüntüsü.....	33
Şekil 7. 'DKC6724' mısır (<i>Zea mays</i> L.) çeşidinin NaCl ve Trp uygulama gruplarına ait morfolojik görüntüsü.....	34
Şekil 8. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak su içeriğine etkisi..	40
Şekil 9. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak su kaybına etkisi.....	42
Şekil 10. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön muamelesinin elektrolit sızıntısı (ES)'na etkisi..	50
Şekil 11. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının klorofil floresansı (<i>Fv/Fm</i>)'na etkisi.	55
Şekil 12. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök mannitol içeriğine etkisi..	56
Şekil 13. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak mannitol içeriğine etkisi.....	58
Şekil 14. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök sukroz içeriğine etkisi.	59
Şekil 15. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak sukroz içeriğine etkisi.	60
Şekil 16. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök prolin içeriğine etkisi..	61
Şekil 17. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak prolin içeriğine etkisi..	62

TABOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Çalışma koşullarında kontrol, NaCl ve Trp uygulamalarına ait fidelerin elde edildiği gösteren deney grupları	30
Tablo 2. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının radikula (RAU), kök (KU) ve yaprak (YU) uzunluklarına etkisi.....	35
Tablo 3. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine triptofan (Trp) ön uygulamasının kök (KTA) ve yaprak (YTA) taze ağırlıklarına (g) etkisi.....	37
Tablo 4. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine triptofan (Trp) ön uygulamasının kök (KKA) ve yaprak (YKA) kuru ağırlıklarına (g) etkisi.	39
Tablo 5. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak ve kök ozmotik potansiyeline (Ψ_s) etkisi.....	44
Tablo 6. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisi yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök Na^+ , K^+ ve Cl^- içeriklerine etkisi.....	47
Tablo 7. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak Na^+ , K^+ ve Cl^- içeriğine ve oranlarına (K^+/Na^+ ve Na^+/K^+) etkisi..	49
Tablo 8. Tuz stresi koşullarında mısır (<i>Zea mays</i> L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak fotosentetik pigmentler içeriğine etkisi.....	54

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABA	:Absisik asit
DNA	:Deoksiriboz nükleik asit
ES	:Elektrolit sızıntısı
GSH	:Glutasyon
IAA	:Indol-3-asetik asit
KKA	:Kök kuru ağırlığı
Kl	:Klorofil
KTA	:Kök taze ağırlığı
KU	:Kök uzunluğu
mRNA	:Mesajcı RNA
MÖ	:Milattan önce
NAA	:Naftalen asetik asit
PAR	:Fotosentetik Aktif Radyasyon
PSI	:Fotosistem I
PSII	:Fotosistem II
RAU	:Radikula uzunluğu
ROT	:Reaktif oksijen türleri
RWC	:Relative water content
Tkar	:Toplam karotenoid
Tkl	:Toplam klorofil
Trp	:L-triptofan
YKA	:Yaprak kuru ağırlığı
YTA	:Yaprak taze ağırlığı
YU	:Yaprak uzunluğu
Ψ_s	:Ozmotik potansiyel

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Genel Giriş

Son yıllarda iklim değişikliği ve yaşam standartların iyileşmesi, dünya nüfusunun çoğunluğunun şehirlerde yaşamasına neden oldu (Kartal ve Demirhan, 2014). Dünya nüfusunun 2050 yılında 10 milyar olması beklenmekte ve dünyayı beslemek için 2050 yılı itibariyle gıda ve yem kaynaklarının %70 oranında artırılması gerektiği varsayılmaktadır (Sassine vd., 2020). Dünya Bankası günlük 1-2 doların altında geliri olan kişileri 'yoksul' olarak kabul etmekte ve yardıma muhtaç olduklarını belirtmektedir. Gelir düzeyi ve yaşam kalitesi toplumlara ve bölgelere göre farklılık gösterse de dünya nüfusunun yarısı günlük 2 doların altında bir gelire sahiptir ve dünya nüfusunun yaklaşık beşte biri günlük 1 doların altında bir gelire sahip olup açlık sınırında ya da altında yaşamaktadır (FAO, 2019). 2021 yılında dünyada yaklaşık 2,3 milyar insan orta veya şiddetli gıda güvensizliği yaşarken, küresel nüfusun %11,7'si şiddetli gıda güvensizliği ile karşı karşıya olduğu rapor edildi (FAO, 2022). İklim değişikliği, özellikle sıcaklık, tuz ve kuraklık stresi, başlıca tarımsal ürünlerin (mısır, buğday ve çeltik) verimliliğini azaltarak bölgesel gıda güvenliğine güçlü olumsuz etkilere ve geçim kaynaklarına yönelik tehditlere yol açar (Kogo vd., 2022).

Tuzluluk, birçok araştırmacı tarafından bitkileri etkileyen en önemli abiyotik streslerden biri olarak tanımlanmaktadır (Senguttuvel vd., 2014). Dünya tarımı için 800 milyon hektarlık alanı etkileyen önemli bir çevresel sınırlayıcı faktördür. Bu, NaCl (397 milyon hektar) ya da diğer sodyum tuzları formlarından (434 milyon hektar) etkilenen dünya toplam arazi alanının %6'sından fazlasını oluşturmaktadır (Muchate vd., 2016). Bununla birlikte, coğrafi dağılım ve biyolojik etki açısından NaCl, ürün verimi için en etkili çevresel kısıtlamalara neden olmaktadır (Köster vd., 2017). Ekilebilir arazilerin yaklaşık %20'sinin tuzluluktan etkilendiği ve bu oranların yıllık bazda %1-2 oranında arttığı tahmin edilmektedir (El Moukhtari vd., 2020). Fakat, tarım bitkileri ekilebilir arazilerde evrilmiş ve yetiştirilmiş ve çoğu tuza duyarlı hale gelmiştir (Zörb vd., 2019), bundan dolayı yüksek tuz seviyelerinin varlığında büyümektedir (Kozłowska vd., 2021). Tuz stresi, gelişimin her aşamasında bitki fizyolojisi ve büyümesi üzerinde ciddi olumsuz etkilere neden olur (Jacob vd., 2020). Tuz stresi bitki fizyolojisi üzerinde ozmotik etkiler, iyon stresi, iyon dengesizliği ve oksidatif stres gibi farklı etkilere neden olmaktadır

(Nawaz vd., 2010; Mahlooji vd., 2018). Bitki tuz stresıyla karşılaştığında bitkinin su alma yeteneğini kısıtlar (Zhao vd., 2020). Ozmotik stresten sonra tuzluluk, hücrelerde biriken reaktif oksijen türlerinin (ROT) neden olduğu oksidatif stres olarak bilinen ikincil strese neden olur. Yüksek seviyelerde ulaşan ROT proteinleri, lipitleri ve nükleik asitleri değiştirerek bitkinin normal metabolizmasını bozmaktadır (El Moukhtari vd., 2020). Bu durum, artan transpirasyon hızı, iyon toksisitesi, mineral alım dengesizlikleri ve kalsiyumun sodyum ile yer değiştirmesi sonucu membran kararsızlığı gibi çeşitli fizyolojik bozukluklara ve fotosentetik hızın azalmasına ve ardından bitki büyümesinde değişikliklere neden olabilmektedir (Nawaz vd., 2010).

Tuzluluğun zararlı etkileriyle başa çıkmak için bitkiler çeşitli enzimatik ve enzimatik olmayan savunma stratejileri geliştirmiştir (Taibi vd., 2016). Bitkiler, iyon dengesini ve bölümlenmesini, iyonların taşınmasını, ozmotik adaptasyonu ve antioksidan makinenin aktivasyonunu ve ozmolitlerin biyosentezini sürdürerek çeşitli stratejilerle yanıt verirler (de Freitas vd., 2019). Bunlardan en önemlileri, transpirasyon yoluyla su kaybını önlemede (El Moukhtari vd., 2020) stomaların hızlı bir şekilde kapanmasıdır (Zhao vd., 2020). Aynı şekilde, turgoru korumak için toprak çözeltisindeki ekstra ozmotik basıncı dengelemek üzere toprak çözünenlerinin alınması ya da metabolik solutlerin senteziyle (Jouyban, 2012) yeterli miktarda solut biriktirerek hücreler ozmotik ayarlama yapmaktadır (Munns & Gilliam, 2015). Bitkiler, ROT birikiminin neden olduğu oksidatif stresini azaltmak için, çeşitli enzimatik ve enzimatik olmayan metabolitlerden oluşan karmaşık bir antioksidan savunma sistemini kullanır (Teotia & Singh, 2014; Zhao vd., 2020).

Tuzluluk sorununu çözmenin bir yolu, değişen çevresel koşullarda bitkilerde doğal olarak ortaya çıkan temel tolerans mekanizmalarını anlayarak bitkilerin tuz stresine karşı toleransını artırmaya çalışmaktır (Demmig-Adams vd., 2008) ve ardından tuzluluğa toleranslı ürünler geliştirmektir (Tuteja, 2007). Tuzluluk toleransını arttırmaya ve tuzluluk toleransını geliştirmeye yönelik çeşitli stratejiler birçok çalışma rapor edildi (Tuteja, 2007). Ayrıca, bitki ıslahı ve genetik mühendisliği programları ile tuzluluk sorununun üstesinden gelmek için farklı stratejiler çoğu literatürde rapor edildi (Zhang vd, 2019; Gu vd, 2021; Shan vd, 2022; Han vd, 2022). Uzun yıllar boyunca, tuz toleransının stresin etkilerine karşı koymak için yalnızca genetik özelliklere bağlı olduğu düşünüldü (Cayuela vd., 1996). Son zamanlarda yapılan çalışmalar, birçok bitki türünün tuz toleransının, aklimasyon olarak bilinen bir kavramla, belirli bir süre düşük abiyotik stres seviyelerine maruz bırakılarak artırılabilirliğini bildirdi (Pandolfi vd., 2016; Janda vd., 2016). Diğer çalışmalarda,

bitkilerin hafif strese önceden maruz kaldıklarında şiddetli streslere uyum sağlamak için fizyolojik yetenek geliştirebildikleri artık bilinmektedir (Pandolfi vd., 2012).

Öte yandan, son yıllarda yapılan çalışmalar, bitki tohumlarının çeşitli doğal ve sentetik kimyasallarla ön muameleden geçirilmesinin (priming) bitkilerin abiyotik streslere karşı toleransını artırdığını ortaya koydu (Savvides vd., 2016). Tohum ön muamelesi, tohumların kök oluşumundan önce suda veya kimyasal çözeltide bekletilmesini içeren bir ekim öncesi işlemdir (Mustfa vd., 2018). Bu kimyasallar; reaktif oksijen türleri (ROT), hormonlar, amino asitler, bazı sekonder metabolitler gibi doğal ve sentetik kimyasallardan oluşur ve bunlar priming etkisi yaratmak (Kao vd., 2017; Nguyen vd., 2018) ve hızlı ve homojen çimlenme sağlayarak tohum canlılığını artırmak için kullanılmaktadır (Mustfa vd., 2018). Tohumlara priming yoluyla uygulanan doğal ve sentetik kimyasallar, bitkinin stres koşullarında strese daha hızlı ve daha iyi yanıt vermesini sağlar (Kao vd., 2017; Nguyen vd., 2018). Hormon çözeltileri ile tohum ön işleme, hormonal ön muamele olarak adlandırılmaktadır (Rhaman vd., 2020). Günümüzde hormonal tohum ön uygulaması, abiyotik stres koşullarında tohum çimlenmesini, fide büyümesini ve ürün verimini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Hasanuzzaman ve Fotopoulos, 2019; Rhaman vd., 2020).

Oksin, bitkilerde indol-3-asetik asit (IAA) olarak aktif olan önemli bir bitki hormonudur (Mano & Nemoto, 2012). Bitkinin büyümesi için önemi ve birçok fizyolojik sürece katılımı nedeniyle, bitki dokularında oksin sentezindeki bir bozulma, bitki büyümesinin bozulmasına ve ardından verim kayıplarına yol açmaktadır (Mustafa vd., 2018). L-triptofanın (Trp) varlığına veya yokluğuna bağlı olarak birçok şekilde oksin sentezlenebilmektedir (Mano & Nemoto, 2012). Trp'nin yüksek bitkilerde oksin ve melatoninin fizyolojik bir öncülü olduğu bilinmektedir (Back vd., 2016; Ye vd., 2017; Alfosea-Simon vd., 2020). Trp, oksinin biyolojik olarak aktif bir öncülüdür (Abbas vd., 2013; Mustafa vd., 2016) ve bitkilere dıştan uygulaması durumunda bitki dokularındaki oksin düzeylerini artırır (Ahemad & Kibret, 2014). Bununla birlikte, yapılan araştırmalar Trp'nin bitki büyümesi ve verimi üzerinde oksinlere kıyasla daha olumlu bir etkiye sahip olduğunu gösterdiler (Mustafa vd., 2018). Daha önce yapılan birçok çalışmada, Trp'nin besin ve su mevcudiyeti yoluyla bitki büyümesini iyileştirmede (Abbas vd., 2013), bitkileri korumada (El-Bassiouny, 2005), iyon taşınmasını düzenlemede (Hussein vd., 2014) ve ağır metallerin toksik maddelerini gidermede (Rai, 2002) önemli rol oynayan bir amino asit olduğu rapor edildi (Hildebrandt vd., 2015).

Mısır (*Zea mays* L.) bitkisi, gıda, tekstil, kağıt ve yem endüstrisi için ana hammadde olarak kullanılan mükemmel nişasta bileşimi nedeniyle Türkiye ve Dünyada önemli tahıl ürünlerden biridir (Cucci et al., 2019). Mısır bitkisi, yerel halkın beslenmesinde önemli bir rol oynamakta ve dünyanın bazı bölgelerinde gelir, kültürel kimlik ve sosyal statü kaynağı olmaktadır (Hellin vd., 2013). Ayrıca, mısır en yaygın olarak yetiştirilen üründür ve Sahra Altı Afrika'daki insanların gıda güvenliği ve geçim kaynakları için büyük önem arz eder (Ten Berge vd., 2019). Ne yazık ki, mısır tuzluluğa karşı orta derecede duyarlı bir ürün bitkisi olduğu için (Cucci vd., 2019; Ali vd., 2022) diğer tahıl ürünleri gibi, artan toprak tuzluluğu seviyeleri nedeniyle büyük ölçüde tehdit altındadır (Tahjid-Ul-Arif vd., 2018) ve toprak tuzluluğu küresel mısır ürün üretimini ciddi şekilde azaltmaktadır (Baghel vd., 2019).

Trp'nin farklı çevresel stres türleri koşullarında bitkilerin fizyolojik süreçlerini iyileştirmedeki rolünü bildiren çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Husein vd., 2014; Hanci vd., 2019; Hozayn vd., 2020; Çavuşoğlu, 2020; Shabir vd., 2020). Trp bitkilere toprak uygulaması (Muneer vd., 2009; Jamil vd., 2018), yaprak püskürtmesi (Hussein vd., 2014; Alfosea-Simon vd., 2020) ve tohum ön muamelesi (Abbas vd., 2013; Hanci vd., 2019) dahil olmak üzere farklı yollarla uygulanabilmektedir. Dışarıdan uygulanan Trp aktif olarak oksine metabolize edilir (Mustafa vd., 2016), bitki yapraklarına (foliar) Trp püskürtülmesi büyüme düzenleyicilerini uyarır ve bitki büyümesini iyileştirmektedir (Bakry vd., 2016). Diğer çalışmalarda, bu amino asidin tohum ön muamelesi, çimlenme ve ürünlerin büyüme performansına olumlu tepkisini veren nohut (Abbas vd., 2013), domates (Alfosea-Simon vd., 2020), soğan, turp, havuç, pırasa (Hancı, 2019), şeker pancarı (Hozayn vd., 2020), *O. basilum* L. (Kahveci vd., 2021), arpa (Hozayn ve Ahmed, 2019), mısır (Zahir vd., 2000a), patates (Zahir vd., 2000b) bitkilerinde rapor edildi. Öte yandan, tuzluluğa alışma üzerine yapılan çalışmaların çoğu tek bir çeşide odaklanmış, türler içindeki genotipik farklılıkları potansiyel olarak göz ardı etmiş ve bu da tür düzeyinde genelleştirilmiş sonuçlar çıkarma riski oluşturmuştur. Bu nedenle, önerilen çalışma, mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) tuz stresine alışmasında Trp tohum ön muamelesinin etkisi araştırıldı.

Farklı çalışmalar, bitkilerin abiyotik streslerin etkilerine karşı koymak için sadece genetik özellikler geliştirebileceğini değil, aynı zamanda fizyolojik tolerans kazanma yeteneğine sahip olduğunu gösterdi. Kazanılan toleransın bu fizyolojik temeli bitki türleri arasında farklılık gösterir, hatta bitki türleri arasında bile bu yetenek bitki çeşitleri ya da genotipleri arasında farklılık gösterebilir. Öte yandan, Trp tohum ön muamelesi, abiyotik

stres koşullarında olsun ya da olmasın fidelerin gelişimini iyileştirebilmektedir. Bu bağlamda, mevcut doktora tez çalışması aşağıdaki sorulara cevap vermeyi amaçlanmaktadır: Trp ön uygulaması, çalışılan mısır çeşitlerinin tuz stresine alışmada bir fark yaratabilir mi? Mısır çeşitleri hangi NaCl konsantrasyonuna alışabilir ve bu alışmayı sağlamak için bitki biyokütlesi ve ozmotik denge çözünen düzeyinde nasıl düzenlenir? ve tuz stresine olası alışma iki mısır çeşidi arasında nasıl farklılık gösterir? Bu şekilde önerilen çalışmanın amacı, bir yandan Trp ile tohum muamelesinin mısır çeşitleri üzerindeki etkisini, diğer yandan da iki mısır genotipinin tuz stresi koşullarında farkını belirlemektir. Bu amaçla, bitki biyokütlesi ve morfolojisi ile ilgili bazı temel fizyolojik parametreler ölçüldü, bitki su durumunu korumak için hangi parametrenin en etkili belirteç olduğu belirlendi. Bu bağlamda tuz ve Trp uygulanmış mısır çeşitlerinin kök ve yapraklarındaki ozmotik solüt içeriği ve biyokimyasal bileşikler belirlendi ve bu solüt ve bileşik içeriğinden hangisinin bitkinin turgor durumunu korumada ve tuz stresine toleransı sağlamada önemli bir rol oynadığı belirlenmeye çalışıldı.

1.2. Bitkilerde Stres Kavramı

"Stres" terimi uzun zamandır mekanik bilimlerinde tanımlanmaktadır. Ancak biyoloji biliminde her zaman tam olarak o şekilde tanımlanmasında genellikle karmaşıktır (Gaspar vd., 2002). Biyolojik bilimlerdeki stres kavramı tıp bilimlerine Selye (1973) tarafından sunulmuştur. Selye'ye göre biyolojik stres vücudun herhangi bir talebe karşı verdiği spesifik olmayan bir tepki olarak ifade edildi. Aynı yazar, stresin duygusal heyecan ya da sinirsel gerginlikle özdeş olmadığını, çünkü stresin insanlarda ve hayvanlarda ortaya çıkabileceğini de vurguladı. Bitki fizyolojisinde stres kavramı, Levitt (1980) tarafından geliştirildi ve canlı organizmalar üzerinde olumsuz etkisi olan herhangi bir çevresel faktör olarak tanımlandı. Daha sonra, Larcher (1987) bitki stresini, bir bitkiye uygulanan artan taleplerin fizyolojik işlemlerde başlangıçta bir bozulmaya neden olduğu, ardından normalleşme ve toleransın arttığı bir durum olarak tanımladı. Lichtenthaler (1996), stres faktörleri ortadan kaldırıldıktan sonra bitkilerin rejenerasyon aşamasını ekleyerek bitkilerin stres kavramını genişletti.

Günümüzde, bitki fizyologları stres terimi üzerinde anlaşılmaktadır. Buna göre stres, bitkinin maksimum büyüme, gelişme ya da toplam biyokütle verimliliğini elde etmek için tam genetik yeteneklerini göstermesini engelleyen herhangi bir çevresel koşul olarak

tanımlamaktadırlar (Taiz vd., 2015). Başka bir deyişle stres, bitkilerin normal fizyolojisinde, gelişiminde ve işlevinde zararlı olabilecek ve bitki sistemine geri dönüşü olmayan bir şekilde zarar verebilecek sapmalar anlamına gelir (Pareek vd. 2010). Bu nedenle, bitkilerin karşılaştığı çevresel stres iki kategoriye ayrılabilir: abiyotik stres ve biyotik stres (Verma vd., 2013).

Biyotik stresler tarım tarihi boyunca her zaman meydana gelmiştir (Hussain, 2015). Aslında bitki patojenleri, bazı avcı-toplayıcıların tarıma geçtiği M.Ö. 2,000 ila 12,000 yılları arasında meydana gelen bitkileri kültürleştirmenin ilk adımlarından itibaren çiftçiler için bir zorluk oluşturmuştur (Stukenbrock ve McDonald, 2008). İlk çiftçiler doğaüstü ya da batıl inançlara dayalı uygulamalar kullanarak ürünlerine patojenlerin zarar vermesiyle zaten karşı karşıya kaldılar. Ancak modern bitki patolojisinin bilimsel bir yaklaşıma dayalı olarak bir bitki hastalığını tespit etmesinden sonra bu tür bir bitki stresi tanımlanmıştır (Martinelli vd., 2015). Bitkiler, virüsler, mantarlar, bakteriler, nematodlar, böcekler ve yabancı otlar gibi çok çeşitli canlı organizmalarla karşılaştıkları bir ortamda yetişirler (Miller vd., 2017). Bu biyotik stresler, bitki büyümesini ve gelişimini ve bazen de bitki yapısını olumsuz etkileyerek, tarlada ya da depoda ürünleri tüketerek ve/ya da bozarak ürün verimliliğini azaltmaktadır (Hussain vd., 2015).

Bununla birlikte, toprak-bitki-atmosfer sürekliliği içerisinde diğer birçok abiyotik faktörle etkileşimleri nedeniyle yönetimlerinin potansiyel fizyolojik sonuçlarını kontrol etmek zor olduğundan, biyotik stresler hala iyi tanımlanamadı ya da tanım kaldı (Balachandran vd., 1997). Modern tarımsal ekosistemlerdeki patojen popülasyonları, pestisitler, bitki ıslahı ile ortaya çıkan direnç genleri, ürün rotasyonları ve bitki enfeksiyonlarını azaltmak için kullanılan çeşitli tarım uygulamaları düzenli olarak zorlanmaktadır (Stukenbrock & McDonald, 2008).

1.3. Abiyotik Stresler

Son yıllarda iklim değişikliği nedeniyle abiyotik stresler dikkat çekmektedir (Hussain, 2015). Abiyotik 'stres' terimi, yüksek yoğunluklu ışık, UV radyasyonu, düşük ve yüksek sıcaklıklar, don, kuraklık ve tuzluluk gibi çevresel faktörlerin neden olduğu farklı stresleri belirtmek için kullanılmaktadır (Krishna vd., 2019). Bu çevresel stresler, tüm dünyada tarımsal verimliliği en çok sınırlayan faktörleri temsil etmektedir. Bu stresler yalnızca mevcut bitki türlerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda bu türlerin şu anda tarım

için kullanılmadığı alanlara ya da bölgelere ürün bitkilerinin sokulmasında da önemli engeller oluşturmaktadır (Gaspar vd., 2002). Farklı abiyotik stresler genellikle ayrı ayrı ya da sinerjik olarak hareket eder ve bitkiye daha ciddi zararlar vermektedir (Krishna vd., 2019).

1.3.1. Su Stresi

Normal büyüme ve gelişmeyi sağlamak için bitki, yapraklardan terleme yoluyla su kaybı ile kökler tarafından su emiliminin koordinasyonunu gerçekleştirmelidir. Topraktaki yeterli su, bitkinin normal büyümesi için bir ön koşuldur, ancak su toprağın su tutma kapasitesini aştığında başka bir soruna yol açar (Pan vd., 2021). Doğadaki bitkiler iki tür su stresiyle karşılaşır: (i) birisi suyun yeterli miktarda bulunmadığı, genellikle su kıtlığı ya da kuraklık stresi olarak adlandırılan durum, (ii) diğeri ise suyun toprakta mevcut olduğu ancak fazla olduğu durumlarda ortaya çıkan ve sel stresi olarak adlandırılan durumdur (Pradhan & Mohanty, 2013). Son yıllarda, iklim değişikliği nedeniyle kuraklık ve sel stresleri bitkilerin büyümesini ciddi şekilde etkilemekte ve bu stresler küresel tarım ve ormancılık verimliliğini tehdit etmektedir (Wu vd., 2022).

Su kıtlığı ya da kuraklık stresi, bitki su potansiyelinin ve hücre turgorunun normal fizyolojik fonksiyonları bozacak kadar azaldığı bir durum olarak tanımlanabilmektedir (Shao vd., 2008). Kuraklık, bitki gelişimini etkileyen başlıca abiyotik faktörlerden biridir. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak kuraklık etkilerinin gelecekte yoğunlaşacağı ve hem tüm dünyada bitkisel üretimi hem de bitki biyoçeşitliliğini de etkileyeceği tahmin edilmektedir (Fresno vd., 2023). Su eksikliği stresi, diğer tüm abiyotik stresler arasında bitkiler için en önemli stres olarak kabul edilmektedir. Çünkü kuraklık stresine genellikle tuzluluk, yüksek sıcaklık ve besin eksiklikleri gibi diğer stresler de eşlik etmektedir (Shanker & Venkateswarlu, 2011). Su açığının neden olduğu bitki büyümesinin sınırlandırılması, büyük ölçüde stomaların kapanmasına neden olan su stresine daha duyarlı olan fotosenteze bağlı olan bitki karbon dengesinin azalmasından kaynaklanmaktadır (Flexas vd., 2009). Kuraklık stresi, stoma iletkenliği, pigment kaybı, bağlı su içeriği ve yaprak su potansiyelinin azalması yoluyla bitkilerde çeşitli fizyolojik değişikliklere neden olur. Bu da hücre plazmolizini ve stomaların kapanmasını sağlayarak transpirasyonu azaltır. Bununla birlikte, fotosentezin azalması ve ardından büyümenin

azalması ya da bazı durumlarda solma ya da bitki ölümü ile sonuçlanmaktadır (Pradhan & Mohanty, 2013).

Sel stresi, topraktaki gözenek boşluklarının büyük bir kısmı su tarafından işgal edildiğinde ortaya çıkar ve bu durum toprak, bitkiler ve atmosfer arasındaki oksijen ve gaz değişiminin difüzyonunu sınırlar (Pradhan & Mohanty, 2013). Sel stresinin neden olduğu kök solunumunun engellenmesi ve toksik maddelerin birikmesi, yalnızca fizyolojik işlevler ve vejetatif büyüme üzerinde değil, aynı zamanda üreme organlarının gelişimi üzerinde de olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Sonuç olarak verim kaybına ve bitki ölümü nedeniyle hasadın tamamen başarısız olmasına neden olmaktadır (Pan vd., 2021). Sel stresi, kuraklık stresinden sonra en önemli ikinci iklim felaketidir (Wu vd., 2022). Küresel ısınma bağlamında, daha sık ve/veya şiddetli yağış ve sık sel felaketleri tahminleriyle birlikte, sel stresinin eskisinden daha önemli olacağı varsayılmaktadır (Pan vd., 2021).

1.3.2. Yüksek Sıcaklık Stresi

Sıcaklık stresleri, yüksek sıcaklık (üreme ya da vejetatif aşamada uzun süreli $>27^{\circ}\text{C}$ 'ye maruz kalma; vejetatif aşamada kısa süreli $>37^{\circ}\text{C}$ 'ye maruz kalma), soğuk ($0-15^{\circ}\text{C}$) ve don ($<0^{\circ}\text{C}$) stresleri olarak sınıflandırılmaktadır (Kai & Iba, 2014). Yüksek sıcaklık stresi, yüksek sıcaklıklarda veya genellikle $\geq 30^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta meydana gelmektedir (Szymańska vd., 2017). Çeşitli abiyotik stresler arasında en yıkıcı stres olan önemli bir çevresel streştir (Mathur vd., 2018). Isı stresi, bitki fonksiyonlarının çeşitli seviyelerinde zararlı bir etkiye neden olur (Shalma vd., 2016). Fotosentez, sıcaklık stresine karşı en hassas olan bitki fizyolojik süreçlerinden biridir. Çünkü fotosentez engellenmesi stresten birkaç dakika sonra ortaya çıkar (Szymańska vd., 2017). Bununla birlikte, yüksek sıcaklığın etkileri hem vejetatif hem de üreme aşamasını olumsuz yönde etkilese de, üreme aşaması ısı stresine vejetatif aşamadan daha duyarlıdır (Kumar vd., 2021).

1.3.3. Soğuk Stresi

Soğuk stresi, hücresel fonksiyonları durdurmadan büyümeyi engelleyecek kadar düşük bir aralıktaki sıcaklık olarak tanımlanır (Muncan vd., 2022). Sırasıyla $<15^{\circ}\text{C}$ ve $<0^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında soğuk stresi ve donma stresi olarak sınıflandırılır (Eom vd., 2022). Soğuk stresi, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkiler ve farklı coğrafi

bölgelere göre bitkilerin mekansal dağılımını önemli ölçüde etkiler (Chinnusamy vd., 2007). Soğuk stresi membran akışkanlığını, proteinlerin ve nükleik asitlerin konformasyonel değişikliklerini değiştirir, besin maddelerinde ve su alımında azalmaya neden olur ve hücre kurumasına ve açlığa yol açar. Ayrıca, uzun süreli soğuk stresin etkileri metabolik süreçlerin hızında düşüşe, gen ifadesinin yeniden çerçevelenmesine ve hücresel solunumun azalmasına, ozmolitlerin ve kriyoprotektanların birikmesine ve reaktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olmaktadır (Muncan vd., 2022).

1.3.4. Ağır Metaller Stresi

Ağır metaller arasında kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), nikel (Ni), kobalt (Co), demir (Fe), çinko (Zn), krom (Cr), demir (Fe), arsenik (As), gümüş (Ag) ve platin grubu elementler bulunmaktadır (Gill, 2014). Bitki fizyolojisine dahil olsun ya da olmasın, yüksek seviyelerde tüm ağır metaller bitkiler için toksiktir (Shi & Cai, 2009). Birçok ağır metalin bitki büyümesi için gerekli olduğu düşünüldüğünden, bitki türleri farklı ağır metal toksisitesi ile karşılaşır (Gill, 2014). Ağır metal stresi, daha önemli farklı enzimleri ve proteinleri inaktive ederek veya denatüre ederek bitkinin fizyolojisini olumsuz yönde etkiler ve biyomoleküllerde yer alan temel metal iyonlarına müdahale eder. Üstelik, reaktif oksijen türlerinin üretimini uyarır (Ghori vd., 2019). Ağır metaller sadece bitki beslenmesini ve fizyolojisini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda insan diyetlerine de olumsuz yönde müdahale etmektedir (Kısa vd., 2016).

1.3.5. Yüksek Işık Stresi

Güneş ışığının fotosentezdeki önemine ve yeryüzündeki yaşam için birincil enerji kaynağı olmasına rağmen, aşırı ışık bitkiler için ciddi sorunlara yol açabilir (Bolink vd., 2001). Yüksek ışık, özellikle fotosentez sırasında bitkilerde oksidatif stresten sorumlu ana abiyotik faktördür. Işık stresi etkileri yüksek ışığın kendisinden değil, fotosentezi gerçekleştirmek için gerekenden fazla emilen ışıktan kaynaklanır (Demmig-Adams & Adams III, 1992). Bunun nedeni, fotosistem II'de foto inhibisyona yol açan (Nowicka & Kruk, 2012) ve bitki fotosentetik aparatına zarar verebilen (Oliwa & Skoczowski, 2019) singlet oksijen üretiminin artmasıdır. Bu nedenle, bitkinin yüksek ışık stresi altında aşırı

ROT üretimine karşı koymak için antioksidan tepkileri aktive etme kapasitesi, bitkinin hayatta kalıp kalmayacağını belirlemektedir (Zhang vd., 2015).

1.3.6. Ultra Viyole (UV) Stresi

Dünya, güneş enerjisini elektromanyetik radyasyonun farklı dalga boylarını içeren radyasyon şeklinde alır ve Ultraviyole Radyasyon ($UV < 400 \text{ nm}$), Fotosentetik Aktif Radyasyon (PAR: 400 ve 700 nm arasında) ve 700-780 nm arasında yer alan Uzak Kırmızı Radyasyon olarak sınıflandırılabilir (Nawkar vd., 2013). UV radyasyonu, elektromanyetik spektrumun yeryüzünde bitki ekosistemine zarar verecek kadar yüksek bir seviyeye ulaşabilen kısmıdır ve UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere üç dalga boyu kategorisinde sınıflandırılabilir. UV-C (100-280 nm) ozon tabakası ve oksijen tarafından tamamen emilir. UV-B (280-315 nm) genellikle güneş ışığının en parlak olduğu sabah 10:00 ile öğleden sonra 3:00 saatleri arasında en yoğun olanıdır. Çoğunlukla ozon tabakası tarafından emilir, ancak bir kısmı Dünya yüzeyine ulaşır. UV-A (315-400 nm) radyasyonu UV-B'ye göre daha sabittir ve gün içinde ve yıl boyunca herhangi bir değişim göstermez. UV-A ne cam tarafından filtrelenebilir ne de ozon tabakası tarafından emilir (Singh vd., 2006). UV-B radyasyonunun çoğu atmosferik ozon tabakası tarafından emilse bile, güneşten gelen UV-B radyasyonunun küçük bir kısmı (%5) dünya yüzeyine ulaşır. Aşırı UV-B radyasyonunun sadece insanlarda cilt kanserlerine neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda bitkilerde hücre ölümüne neden olduğu ve yaprakların solmasına, sararmasına veya ağarmasına (klorozis) yol açtığı bildirilmektedir (Chen vd., 2022). Bitkiler üzerindeki bu etkiler, UV-B radyasyonunun DNA, proteinler, membran lipitleri ve kloroplastlar dahil fotosentetik mekanizmaya zarar veren ve fotosentetik pigmentlerin bozulmasına neden olan ROT oluşumunu teşvik etmesinden kaynaklanmaktadır (Müller-Xing vd., 2014; Hoffmann vd., 2015). Üstelik, sera gazları emisyonu nedeniyle ozon tabakasının incelmelerinden kaynaklanan UV-B hasar potansiyeli son on yıllarda arttı (Müller-Xing vd., 2014).

1.3.7. Don Stresi

Don, genellikle 0°C'nin altındaki düşük sıcaklık, bitki türlerinin coğrafi dağılımını sınırlayan abiyotik faktörlerden biridir (Pu vd., 2019). Don stresinin bitki büyümesi ve hayatta kalması üzerindeki olumsuz etkileri fide aşamasında artmaktadır (Soureshjani vd., 2021). Genel olarak, hücrelerin donma hasarı iki tipte kategorize edilir. İlk olarak, düşük soğutma hızları hücrelerin ozmotik büzülmesine ve hücre dışı suyun dondurmasına neden olur. İkinci aşamada, daha hızlı dondurma, hücre içi suyun membrandan taşınmasına izin vermez ve hücrelerde buz kristalleri oluştuğu için membran yapısını ya da işlevini bozar (Morita vd., 2002). Metabolik reaksiyonların engellenmesine ek olarak, sıfırın altındaki sıcaklıklar reaktif oksijen türlerinin oluşması ve hücre dehidrasyonu gibi diğer olumsuz etkilere de neden olabilmektedir (Wang vd., 2022). Ayrıca, don stresi proteinlerin ya da protein komplekslerinin kararlılığına zarar verir ve tohum gelişimi sırasında ROT süpürücü enzimlerden oluşan antioksidan mekanizmaların faaliyetlerini azaltmaktadır (Wei vd., 2021).

1.3.8. Ozon Stresi

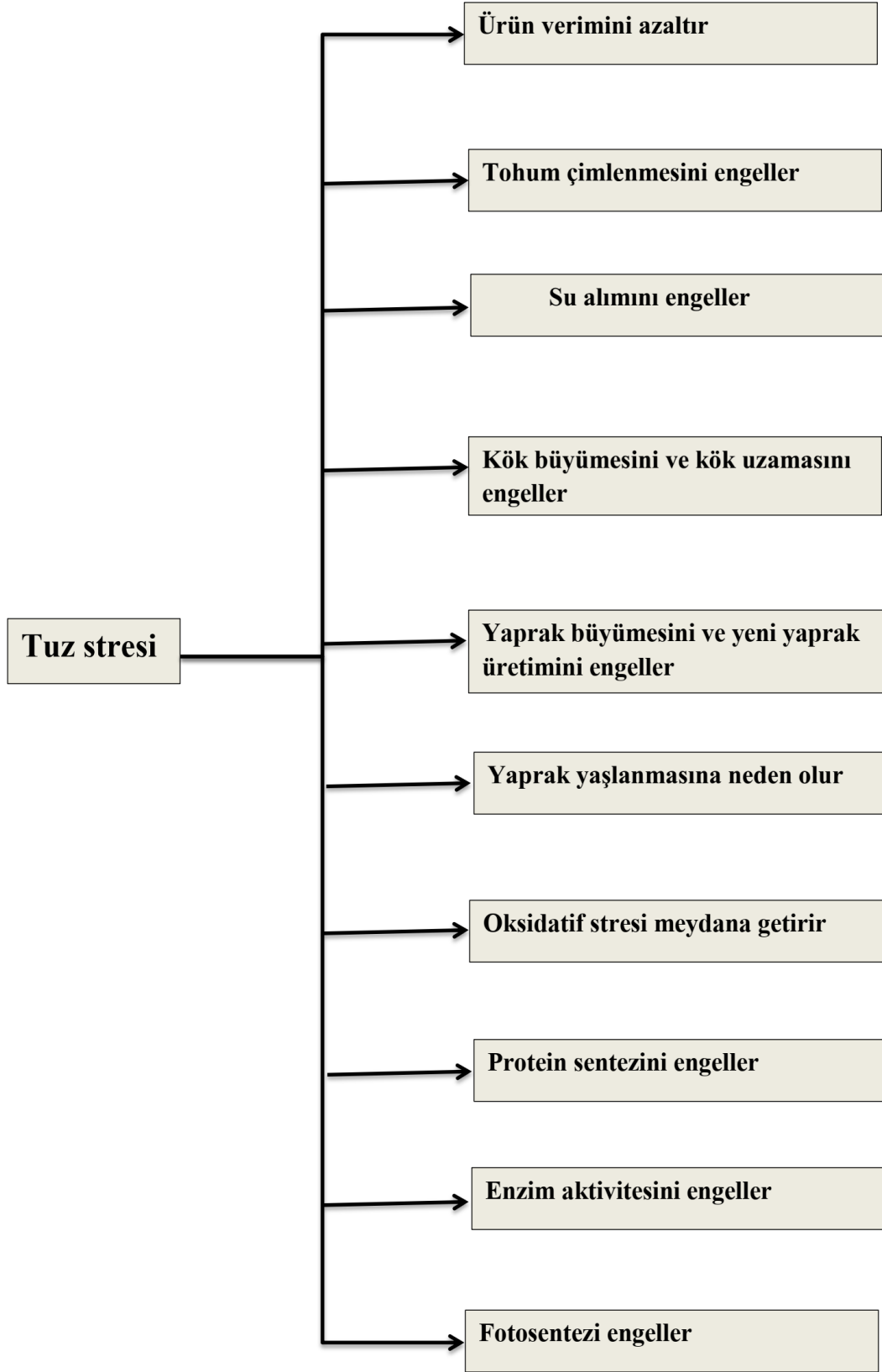
Ozon, azot oksitleri ve uçucu organik bileşikler içeren güneş ışığı kaynaklı kimyasal reaksiyonların etkisiyle troposferde oluşur (Hasan vd., 2021). Antropojenik faaliyetler nedeniyle, troposferik ozon konsantrasyonları, özellikle ozon hava kirliliğinin bitki büyümesini ve fizyolojisini olumsuz etkilediği endüstriyel ve kentsel alanlarda önemli düzeyde arttı (Hasan vd., 2021). Bununla birlikte, O₃ fitotoksitesinin altında yatan biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar ancak son yıllarda çözülmeye başlandı (Sharma & Davis, 1997). O₃ stomalar aracılığıyla hücreler arası yaprak boşluğuna (apoplast) girdiğinde ROT'a dönüştürülür. Bu zararlı serbest radikaller ve ürünleri proteinler, DNA ve membran lipidleri ile reaksiyona girerek fotosentezi azaltır, elektrolit sızıntısına neden olur ve bitkinin yaşlanmasını hızlandırmaktadır (Sharma & Davis, 1997).

1.3.9. Tuz Stresi

Tuzluluk, birçok araştırmacı tarafından bitki büyümesini ve gelişimini etkileyen en şiddetli abiyotik stres olarak ifade edilmektedir (Alzahrani vd., 2021; Kartik vd., 2021). Klorür (Cl^-), karbonat (CO_3^-) ve sodyum (Na^+), magnezyum (Mg^{2+}) ya da kalsiyum (Ca^{2+}) sülfat (SO_4^{2-}) tuzları dahil olmak üzere bitkiler için zararlı farklı tuz konsantrasyonları dünyanın farklı coğrafi bölgelerinde ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, coğrafi dağılım ve biyolojik etki açısından NaCl, diğer Na^+ tuzlarına göre ürün verimi için en önemli çevresel kısıtlamalara neden olmaktadır (Köster vd., 2019). Tuz stresinin olumsuz etkileri tüm bitki düzeyinde ve çimlenme, fide, vejetatif ve üreme aşamaları da dahil olmak üzere gelişimin tüm aşamalarında ortaya çıkar. Bununla birlikte, tuz stresine karşı tolerans mekanizmaları ve stratejileri tüm bu bitki gelişim aşamalarında ve türden türe farklılık göstermektedir (Ahmad vd., 2012).

1.4. Tuz Stresinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Tuz stresinin erken aşamasında kök bölgesinin dışındaki tuzdan kaynaklanırken, son aşamadaki tuz stresi bitkinin içindeki tuzun toksik etkisinin sonucudur. Erken tepki su alımının engellenmesi, kök büyümesi, hücre uzaması, yaprak gelişimi, yeni yaprakların azalması ve transpirasyon yapraklarındaki hücrelerin zarar görmesi vb. ile sonuçlanır. Tuz stresinin uzun süreli tepkisi, yaprakların erken yaşlanmasına, fotosentezin ve enzim faaliyetlerinin engellenmesine neden olan yaşlı yapraklarda tutulması gibi tuzun bitki içindeki toksik etkileri nedeniyle ortaya çıkar. Yaprak yaşlanması, yapraklarda biriken besinlerin gelişmekte olan diğer organlara dağıtıldığı son adımdır. Tuz stresi erken yaprak yaşlanmasına, fotosentez hızının düşmesine ve besin birikiminin azalmasına neden olarak sonuçta ürün verimliliğinin azalmasına yol açar (Muchate et al., 2016).



Şekil 1.Tuz stresinin bitki üzerindeki etkilerine genel bir bakış (Muchate et al., 2016).

1.4.1. Tuz Stresinin Tohum Çimlenmesi Üzerine Etkisi

Tohum çimlenmesi, bitki yaşam döngüsünde çok önemli bir aşama olup tuz stresine karşı çok duyarlıdır. Birçok çalışma, tuzluluğun birçok türün tohum çimlenmesi ve erken fidelenmesi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu rapor etmiştir. Tuz stresi, tohum çimlenmesini ya su Emilimini azaltarak ozmotik olarak ya da Na^+ ve Cl^- birikimi yoluyla iyon besin alımında dengesizliğe ve toksisite etkisine neden olarak iyonik olarak etkiler (Kandil vd., 2012; Moghaddam vd., 2020), bu da tohum içindeki belirli enzimatik veya hormonal aktiviteleri değiştirebilir (Chakma vd., 2019). Tuz stresi koşulları tohumlar tarafından su Emilimini azaltarak çimlenme oranının düşmesine ve canlılık yüzdesinin azalmasına neden olmaktadır (Kumar vd., 2021).

Ayrıca, çimlenme, büyüme, solunum ve diğer ilgili süreçlerdeki değişiklikler, çimlenme ve fide gelişiminde önemli bir rol oynayan karbonhidrat metabolizması başta olmak üzere diğer metabolik faaliyetleri de etkileyebilir (Gill vd., 2002). Yüksek seviyedeki tuz stresinin varlığında tohum çimlenmesi engellenirken, daha düşük seviyedeki tuzluluk dormansı durumunu tetikleyebilir (Hasanuzzaman vd., 2013). Çimlenme süreci üzerindeki bu etkiler, çimlenme ortamındaki düşük ozmotik potansiyel nedeniyle tohumun su tarafından Emiliminin değişmesinden kaynaklanmaktadır; bu da enzimlerin aktivitesini, protein ve nükleik asit metabolizmasını değiştirmekte ve tohum rezervlerinin kullanımını azaltan hormonal aktivasyonu bozmaktadır (Hasanuzzaman vd., 2013, Farooq vd., 2015).

1.4.2. Tuz Stresinin Ozmotik Etkileri

Ozmotik stres genellikle düşük su mevcudiyetinin bitki büyümesini ve gelişimini sınırladığı durumları ifade etmek için kullanılmaktadır. Genellikle kuraklık veya sudaki aşırı tuzdan kaynaklanır, ancak soğuk ve don da su Emiliminin azalması ve buz oluşumunun neden olduğu hücrel dehidrasyon nedeniyle ozmotik strese yol açabilir (Zhu vd., 1997). Tuz stresi, spesifik iyonik etkilere sahip olmasının yanı sıra, su açığını indükleyen spesifik olmayan ozmotik etkilere de neden olur (Taiz vd., 2015). Bu nedenle, tuzlu ortamlarda tuz ve su stresi bir arada bulunur ve yüksek tuz konsantrasyonları, bir tür "fizyolojik kuraklık" olan düşük toprak su potansiyelleri oluşturmaktadır (Hopkins, 2003). Osmotik stres, tuzlu ortamlardaki düşük su potansiyelinden kaynaklanır ve normal hücrel faaliyetlerin bozulmasına, hatta bitki ölümüne de neden olmaktadır (Xiong & Zhu, 2002).

Toprak çözeltisindeki tuzluluk stresinin neden olduğu ozmotik potansiyel, bitki hücrelerindeki ozmotik potansiyeli aştığında, birincil sonuçlar olarak bitkilerin su ve K^+ ve Ca^{2+} gibi fizyolojik açıdan önemli mineralleri alma kabiliyetini sınırlar. Tuzluluk stresinin bu birincil etkileri, hücre genişlemesi ve membran fonksiyonunun yanı sıra sitozolik metabolizmanın azalması (Gull vd., 2019), yaprak gelişimi, yeni yaprakların azalması ve transpirasyon yapan yapraklardaki hücrelerin zarar görmesi gibi diğer sekonder etkilere de yol açmaktadır (Muchate vd., 2016).

1.4.3. Tuz Stresinin İyonik Etkileri

Tuzluluk ve mineral beslenme arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır, ancak tuzluluk stresinin iyon besin mevcudiyetini ve bitki içindeki mikro/makro besinlerin rekabetini/taşınmasını değiştirdiği öne sürülmektedir (Islam vd., 2019). Aşırı Na^+ birikiminin neden olduğu iyonik stres, besin-iyon aktivitelerini bozar ve aşırı Na^+/Ca^{2+} ya da Na^+/K^+ oranları üretir (Carillo vd., 2014). Topraktaki yüksek Na^+ konsantrasyonu, temel bir inorganik besin maddesi olan K^+ 'ın kök tarafından alımının yerini alabilir (Ueda ve ark., 2013). Sodyum ve potasyum iyonları aynı kimyasal yapıya sahip olduğundan, bitki kökleri K^+ yerine Na^+ alabilir (Zhu vd., 2016). Köklerde ve yapraklarda Na^+ artışının bir sonucu olarak Ca^{2+} ve K^+ konsantrasyonunu değiştirir. K^+ ve Ca^{2+} birçok bitki fizyolojik sürecinde kilit rol oynarken, Na^+ bunların biyokimyasal ve fizyolojik rollerinin yerini alamaz, K^+ 'nın Na^+ ile yer değiştirmesi ve Ca^{2+} konsantrasyonundaki azalma beslenme dengesizliğine yol açar (Tuna vd., 2007). Üstelik, tuz stresi bitkide K^+ eksikliğine neden olduğunda, özsu akışı bozulur ve bu da floem özsu akış hızında belirgin bir düşüşe neden olur (Kumar vd., 2021).

1.4.4. Tuz Stresinin Oksidatif Etkileri

Tuz stresi, ilerleyen süreçte tuz seviyeleri bitkinin iyon homeostazını koruyamayacağı bir eşiğe ulaştığında ortaya çıkan iyon toksisitesine neden olur (Liang vd., 2017). Bu birincil stresin oksidatif hasar olarak sekonder etkileri vardır (Li vd., 2008). Oksidatif stres, yüksek konsantrasyonlarda bitki hücreleri için zararlı olan süperoksit ($O_2^{\cdot-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikalleri ($OH^{\cdot}$) gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) birikmesinden kaynaklanmaktadır (Neto vd., 2006). Bitkilerde ROT genel olarak kloroplast, mitokondri ve peroksizomlarda sürekli olarak üretilir. Kloroplast, oksijenin ışık

altında sabit basınçta olduğu tek organel olduğu için ana ROT metabolizma yeri olarak kabul edilmektedir. Kloroplast tilakoidlerinde, PSI ve PSII bu tür ROT'ların başlıca üretim yerleridir. Mitokondride ise solunum zincirinden üretilen O_2^- enzim tarafından H_2O_2 ve O_2 'ye indirgenir. ROT üretiminin diğer yeri, H_2O_2 üretiminin en az iki yolu olduğu peroksizomlardır. Biri üretilen O_2^- 'nin orantısızlaştırılması; diğeri ise fotorespirasyon sırasında glikolatın glikolat oksidaz tarafından katalize edildiği ve H_2O_2 üreten doğrudan bir yoldur (Pang & Wang, 2008). Oksidatif stres normalde ROT üretimi ve antioksidatif kapasite arasındaki dengenin bitkinin kaderini etkilediği düzenlenmiş bir süreçtir (Hasanuzzaman vd., 2012). Bir antioksidan sistem, kendisi yıkıcı bir radikale dönüşmeden ROT'u temizleyebilen bir bileşik olarak tanımlanır. Bu antioksidanlar genel olarak iki gruba ayrılmıştır: enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar (Teotia & Singh, 2014). Normal koşullar altında antioksidan savunma sistemi ROT'a karşı yeterli koruma sağlar. Ancak, stresli koşullarda ROT üretimi ve temizlenmesi arasındaki denge bozulabilir ve yanıt orta veya düşük seviyeye inebilir (Hasanuzzaman vd., 2012). Bu durumda, ROT'un lipid peroksidasyonu, membran bozulması, DNA ve protein hasarı üzerindeki toksik etkisi bitkiler için oldukça zararlı olduğundan, metabolizma ve büyüme ve gelişme üzerindeki sonuçlar bitki için daha kötü olabilmektedir (Teotia & Singh, 2014; Arif vd., 2020).

1.4.5. Tuz Stresinin Fotosentez Üzerine Etkileri

Tuzluluğun fotosentez üzerindeki etkileri, klorofil içeriğinin sentezinin engellenmesi veya bozunmasının hızlandırılması yoluyla azalmasına bağlı olabilir (Mathur vd., 2014). Tuzluluk stresi, topraktaki düşük su potansiyeli nedeniyle su açığının bir sonucu olarak stomaların kapanmasına ve ardından gaz değişiminin engellenmesine neden olarak yaprakların içindeki O_2/CO_2 oranının artmasına ve özellikle C_3 bitkilerinde CO_2 fiksasyonunun bozulmasına neden olur (Ahmad vd., 2014). Mezofil hücresel CO_2 konsantrasyonunun azalması, düşük CO_2 asimilasyon oranları nedeniyle PSII seviyesinde aşırı ışık enerjisi nedeniyle fotokimyasal zararlara duyarlılığı artırabilir (Silva vd., 2010). Bununla birlikte, klorofil aktif durumda kalacaktır ve elektronların aktif klorofilden moleküler oksijene aktarılma olasılığı ROT üretimini arttıracaktır (Ahmad vd., 2014). İyon alımının bozulması da kloroplastlardaki K^+ konsantrasyonunun azalmasına neden olabilir ve fotosistemin (PSII) bütünlüğünü etkiler. Buna ek olarak, fotosentez yoluyla CO_2

asimilasyonundaki azalma, kloroplastlardaki aşırı uyarma enerjisini artırır ve bu da dikkatli bir şekilde dağıtılmazsa PSII'ye zarar vermektedir (Tounekti vd., 2011).

1.4.6. Tuz Stresinin Bitki Büyümesi ve Gelişimi Üzerine Etkileri

Tuzluluk stresi etkileri, toksik iyonlar, ozmotik potansiyel, element eksikliği ve diğer fizyolojik ve kimyasal bozukluklar gibi farklı fizyolojik ve biyokimyasal etkileşimlere bağlı çeşitli özelliklerin yanı sıra bu çeşitli stresler arasındaki etkileşimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkar ve bitkinin tuzluluğa yanıt olarak sunduğu morfolojik görünümü etkiler (Deinlein vd., 2014). Tuz stresi çimlenme, büyüme, fotosentetik pigmentler ve fotosentez, su ilişkisi, iyon homeostazı, iyon toksisitesi ve verim gibi tüm önemli süreçleri etkiler (Parihar vd., 2015). Tuz stresinin bir sonucu olarak, iyon toksisitesi, esas olarak bitkilerdeki birçok fizyolojik sürece müdahale eden Na^+ birikimi nedeniyle kloroz ve nekroza yol açar (Acosta-Motos, 2017). Tuzluluk, yaprak başlangıcı ve genişlemesinin yanı sıra internod büyümesini baskılayarak ve yaprak absisyonunu hızlandırarak sürgün büyümesini azaltır. Tuz stresi, uzayan hücre sayısını ve/veya hücre uzama hızını azaltarak yaprak büyüme oranını hızla düşürmektedir (Farooq vd., 2015).

Tuzluluğun bir bitkinin büyüme ve gelişmesini etkilediği mekanizmalar, bitkinin tuza maruz kaldığı zaman ölçeğine yayılabilir. Buna göre, ilk birkaç saniye veya dakika içinde, tuzun neden olduğu ortamdaki düşük su potansiyeli nedeniyle hücreler su kaybeder. Saatler içinde, ozmotik ayarlama nedeniyle hücreler orijinal hacimlerini geri kazanır, ancak uzama oranları hala azalır ve bu da yaprak ve kök büyüme oranlarının düşmesine neden olur. Günler içinde, hücre bölünme oranları da etkilenir ve yaprak ve kök büyüme oranlarının düşmesine katkıda bulunur, bu da vejetatif gelişimde değişikliklere yol açar ve aylar içinde bitki üreme sisteminde değişikliklere neden olmaktadır (Hasanuzzaman vd., 2013).

Tuza maruz kalmanın yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak, yapraklarda toksik seviyelere kadar tuz birikmesi üzerine erken yaprak yaşlanması nedeniyle sürgün biyokütlesi daha da azalır. Tuz stresine karşı bitkinin ilk tepkileri genellikle yaprak genişlemesinde azalma ve su durumunu korumak için stomaların kısmen ya da tamamen kapanmasıdır. Üreme büyüme aşamasındaki tuz stresi, stomaların kapanması ve floem özsuyu yoluyla taşınmasının bir sonucu olarak fotosentetik karbon asimilasyonundaki bozulmalarla ilişkili olarak tane verimini azaltan tane oluşumunu ve tane dolumunu etkiler

(Ali vd., 2017). Bu nedenle, zararlı etki tüm bitki düzeyinde verimlilikte azalma veya bitkilerin ölümü şeklinde gözlenmektedir (Parihar vd., 2015)

1.4.7. Tuz Stresine Karşı Tolerans Mekanizmaları

Tuz stresi sırasında bitkilerin hayatta kalması, toprağın düşük su potansiyeli, CO₂ alımının kısıtlanması, iyon toksisitesi ve iyon beslenme dengesizliği nedeniyle su açığı ile başa çıkma yeteneklerine bağlıdır (Ahmad vd., 2013). Bu nedenle, bitkiler tuz stresiyile başa çıkmak için çok sayıda fizyolojik, biyokimyasal, moleküler ve morfolojik stratejileri geliştirmiştir (Liang vd., 2017).

Fizyolojik düzeyde, stomatal kapanma, transpirasyon yoluyla su kaybını sınırlandırarak su durumunu korumak (Bharath vd., 2021) ve böylece bitki içindeki su potansiyelini korumak için tuzluluk stresi koşullarına karşı bitkiler tarafından başlatılan ilk tepkilerden biridir (Martínez-Vilalta & Garcia-Forne, 2017). Bitkiler tarafından kullanılan bir diğer strateji ise tuz stresine karşı önemli bir bitki adaptasyonu olarak kabul edilen ve sitozol ile apoplastik çözelti arasındaki potansiyeli düzenlemek için uyumlu solütler ya da ozmolitler ya da ozmotik koruyucular (Muchate vd., 2016; Arif vd., 2020) olarak adlandırılan maddeleri biriktirerek bitkilerin turgor ve hücre hacmini korumasını sağlayan ozmotik ayarlamadır (Negrão vd., 2011). Osmolitler şekerler, poliaminler, sekonder metabolitler, amino asitler ve polioller (Ghosh vd., 2021) ve bazı inorganik iyonlar (Chen & Jiang, 2010) gibi çeşitli düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Bunlar arasında prolin, glisin-betain, kuaterner amonyum bileşikleri ve pinitol, mannitol, inositol, sorbitol, fruktoz, glukoz, sukroz ve fruktanlar gibi çeşitli şekerler bulunur (Ruiz-Lozano vd., 2012; Arif vd., 2020). Hücre su ilişkilerini düzenlemek için ozmotik ayarlamadaki rollerine ek olarak, bu organik ozmolitler iyonik homeostazın korunmasına katkıda bulunur ve proteinler, membranlar gibi bazı makromoleküllerin ve organellerin kararlılığında önemli bir rol oynar (da Silva vd., 2008). Halofitler gibi bazı bitki türlerinde Na⁺, K⁺ ve Ca²⁺ gibi inorganik iyonlar ozmotik ayarlama uyumlu solütlerden daha önemli rol oynar (Chen & Jiang, 2010).

Osmotik ayarlamaya ek olarak, bitkiler tuz stresi etkisini hafifletmek için fitohormonları harekete geçirmektedir (Fahad vd., 2015; Arif vd., 2020). Na⁺ dışlama ya da Na⁺ sekestrasyonu ya da vakuolar kompartmanlaşma veya biriktirme gibi diğer teknikler, bazı bitki türleri tarafından çok etkili mekanizmalar olarak kullanılmaktadır. Bitkiler,

topraktaki Na^+ iyonlarının emilimini önleyerek tuzu dışlama stratejisini kullanırken, Na^+ vakuolar kompartmanlaşma, toksik iyonların sitozolde birikmesini önleyerek vakuolde tutulmasını içerir. Bitkiler tarafından kullanılan bir diğer strateji ise toksik iyonları yakında ölecek olan yaşlı yapraklar gibi yaşlı kısımlara aktararak genç yaprakların tuz toksisitesinden korunmasını sağlamaktır (Hasanuzzaman vd., 2013).

Biyokimyasal düzeyde ise, bitkiler tuz stresi etkileriyle, özellikle de ROT ile başa çıkmak ve hücreleri oksidatif hasardan korumak için çeşitli enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan sistemler ya da antioksidan mekanizmalar geliştirmiştir (Taibi vd., 2016). ROT temizleyici enzimler, süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) gibi ROT'un işlenmesinde doğrudan rolü olan enzimlerden ve glutatyon redüktaz (GR) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi diğer antioksidan bileşiklerin biyosentezinde rol oynayan diğer enzimlerden oluşur (Tang vd., 2015; Zeeshan vd., 2020). SOD, süperoksit radikallerini parçalayarak ve H_2O_2 üreterek detoksifikasyon mekanizmasında önemli bir rol oynamaktadır. CAT, H_2O_2 'yi doğrudan H_2O ve O_2 'ye dönüştürme potansiyeli ile ROT detoksifikasyonu için vazgeçilmezdir (Ahanger vd., 2017). Askorbat peroksidazlar (APX) CAT ile aynı işlevi görür, ancak indirgeyici olarak askorbat kullanarak H_2O_2 'nin uzaklaştırılmasını katalizlerler. APX, stroma ve tilakoid, glioksizomlar ve peroksizomlar dahil olmak üzere mikro cisim, sitozol ve mitokondri gibi farklı hücresel kompartmanlarda bulunmaktadır (Muchate vd., 2016).

Enzimatik olmayan antioksidan mekanizması askorbik asit, fenolik bileşikler (flavonoidler, antosiyaninler, fenolik asitler), karotenoidler, osmolitler ve bazı fitohormonları içerir (Taibi vd., 2016; Zeeshan vd., 2020). Askorbik Asit, yüksek bitkilerde fotosentetik hızı ve transmembran elektron taşınımını korumak ve yoğun ışığın neden olduğu fotoinhibisyonun üstesinden gelmek için kullanılır. Glutatyon ve diğer tiyoller, foto-solunum ve solunum metabolizmasının etkin kontrolünde rol oynar. H_2O_2 'yi temizlemenin yanı sıra GSH , O_2^- , $^1\text{O}_2$ ve OH^- radikalleri dahil olmak üzere bazı ROT'lara karşı enzimatik olmayan detoksifikasyon mekanizmasında önemli bir rol oynar. Fenolikler, stomaların ana işlevlerinin sürdürülmesi için stoma bekçi hücrelerinde K^+ tutulmasında rol oynar ve absisik asit (ABA) kaynaklı stoma kapanmasını tersine çevirmek için müdahale etmektedir (Ahanger vd., 2017).

Morfolojik düzeyde, bitkiler çoğunlukla yaprak epidermisinde bulunan ve tuz bezleri ve tuz tüyleri olarak bilinen gelişmiş özel özelliklerle donatılmıştır. Sürgün yüzeyinin her yerinde bulunan ve en çok yapraklarda bulunan glandüler yapılar tuz atılımında rol oynar

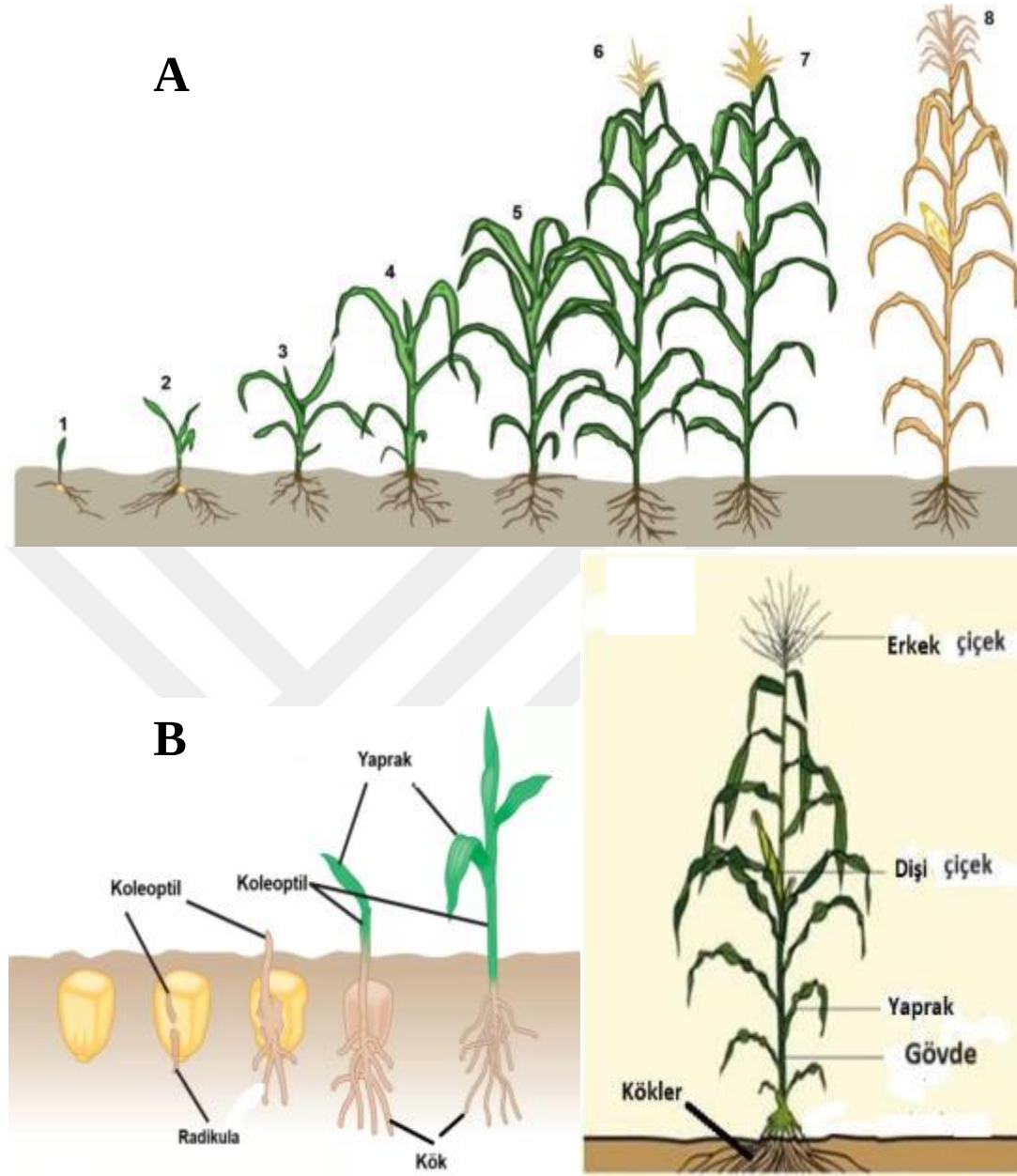
(Chandna vd., 2013; Joshi vd., 2015). Bazı halofit türleri tuz stresıyla başa çıkmak için etli dokular geliştirmiştir. Etli dokular aracılığıyla, yaprak dokularının özsuyundaki fazla NaCl'yi seyreltir ve hücre boyutunda artışa, büyüme uzantısında azalmaya, doku hacmi başına yüzey alanında azalmaya ve doku hacmi başına daha yüksek su içeriğine neden olmaktadır (Joshi vd., 2015).

1.5. Mısır (*Zea mays* L.) Bitkisi

Mısır (*Zea mays* L.), çeltik (*Oryza sativa* L.) ve buğdaydan (*Triticum aestivum* L.) sonra üçüncü en önemli tahıl bitkisi, temel gıda (Kuşaksız, 2007; Mahmood vd., 2021) ve tüm dünyada en büyük tahıl ürünü olarak kabul edilir (FAO, 2019). Mısır ürünü, insan beslenmesinin yanı sıra hayvan beslemek ve biyoenerji üretimi için de kullanılmaktadır (Costa vd., 2021). Mısır bitkisi, tüm dünyada çok çeşitli iklim koşullarında yetiştirildiği için diğer tahıllara göre bir avantaja sahiptir (Farook vd., 2015; Mekuria vd., 2022).

Mısır bitkisi (*Zea mays* L.) C4 tipi *Poaceae* familyasına aittir (Cha-Um & Kirdamnee, 2009). *Zea mays* terimi iki dilden gelmektedir: "*Zea*" eski Yunancadan gelir ve tahıl ve tahıllar için genel bir isimdir. Bununla birlikte, bazı bilim insanları "*Zea*"'nın "yaşamı sürdürmek" anlamına geldiğine ve "*mays*"'in "yaşam veren" anlamına gelen Taino dilinden geldiğine inanmaktadır (Milind & Isha, 2013). Birçok araştırmacı, mısırın evcilleştirildiği yerlerin Güney Amerika'da Paraguay'dan Kolombiya'ya ve Orta Amerika'da Guatemala ve Meksika'ya kadar uzandığını ileri sürmüştür. Bununla birlikte, *Zea mays* L. 'nin evcilleştirilmesinin kökenine ilişkin üzerinde uzlaşılan yerin Meksika olduğu artık kabul edilmektedir. Ayrıca, Meksika'da *Tripsacum* cinsinin (mısırın en yakın akrabası) birkaç türünün bulunması ve arkeolojik kanıtların mısırın Meksika'da Güney Amerika'dan daha eski olduğunu göstermesi Meksika teorisini doğrulamaktadır (Goodman & Galinat, 1988). *Zea mays* L. daha sonra insan tarımının doğrudan müdahalesi ile yabancı ot atalarından evrimleşti.

Birçok çeşit fiziksel özellikler bakımından farklılık gösterebilir, ancak genel olarak mısır, sap boyunca düğümlerden ayrı ayrı büyüyen yaklaşık 20 uzun, dar yaprak ile yaklaşık 2,5 m boyuna kadar büyüeyebilen tek saplı bir bitki ile karakterize edilir (Nannas & Nawe, 2015).



Şekil 2. Mısır bitkisinin tanımlanması (B & C) ve bitkinin vejetatif gelişim ve üreme aşamaları (A). 1. aşama çıkış, kuleoptil toprak yüzeyine ulaşır ve güneş ışığına maruz kalması nedeniyle uzar. 2. aşama, en alttaki yaprak görülebilir bir yaprak yakasına sahiptir. 3. aşamada bitki üç yaprak yakasına sahiptir, 4. aşamada bitki yedi yaprak yakasına sahiptir ve hızlı bir büyüme yaşar; 5. aşamada 10 yaprak yakasına sahip bitki hızla büyüyen bir sapa sahiptir ve 6. aşamada bitkinin son dalı olan püskül görülebilir. 7'ncisi kabuğun dışında herhangi bir ipek görülebilir. 8'incisinde başaktaki tüm taneler fizyolojik olgunlukla birlikte maksimum kuru ağırlığa ulaşmıştır. (Zhao et al, 2011)

1.5.1. Mısır (*Zea mays* L.) Bitkisinin Tarımsal Önemi

Dünyanın her yerinde yıllık milyarlarca dolar gelir elde edilen mısır bitkisi (*Zea mays* L.), dünyanın en önemli ürün bitkilerinden biridir (Cha-Um vd., 2009). Sıcak mevsimlerde yetiştirilen mısır, dünyanın farklı köşelerinde tohum üretimi için geniş alanlarda yetiştirilebilmektedir. Mısır (*Zea mays* L.), dünya tahıl üretiminde buğday (*Triticum aestivum* L.) ve çeltikten (*Oryza sativa* L.) sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Orta ve Güney Amerika, Sahra Altı Afrika ve Asya'nın bazı bölgelerindeki insanlar için en önemli gıda olarak bilinmektedir (Kuşaksız, 2007). Mısır bitkisi, evsel yemek pişirme, mısırla ilgili ürünlerin endüstriyel üretimi, gıda katkı maddeleri ve farmasötik kullanımları da dahil olmak üzere kullanılabilen yağ sağlar. İnsan beslenmesinin yanı sıra mısır bitkisi, daha fazla kalori sağlayan çiftlik hayvanlarının beslenmesinde de yoğun olarak kullanılmaktadır (Zhang & Zhao, 2011). Endüstrinin farklı alanlarında kullanılabildiğinden, insana daha fazla ilerleme için hammadde sağlayabilir. Mısırın endüstriyel kullanım alanları arasında etanol üretimi, mısır özleri içeren son ürünlerin üretimi, biyoyakıt/biyodizel üretimi vb. yer almaktadır (Adiaha, 2017).

1.5.2. Tuz Stresinin Mısır (*Zea mays* L.) Bitkisi Üzerine Olan Etkileri

Mısır (*Zea mays* L.) bitkisi, doğada çoklu polinasyon yoluyla ya da evcilleştirildikten sonra yetiştirilmesiyle yüksek polimorfik özellik kazanan bir C4 türüdür (Khodarahmpour, 2011). Geniş genetik çeşitliliği, tuz stresi toleransının bazı özellikleri de dahil olmak üzere (Hoque vd., 2015) farklı çevre koşullarında dünyanın farklı bölgelerinde yetiştirilmesine imkan sağlamaktadır (Dikobe vd., 2021). Aslında mısır bitkisi, tuz stresini tolere etmek için tuzlulukla ilgili adaptif yeteneği sayesinde hem tuzlu hem de tuzlu olmayan koşullarda yetişebilir (El Sabagh vd., 2020). Bununla birlikte, mısır bitkileri tuz stresine toleransı için geniş bir tür içi genetik adaptasyon geliştirilmiş olsa da, orta düzeyde tuza duyarlı bir tür olarak kabul edilmektedir (Shtereva vd., 2015; Iqbal vd., 2021). Tuzluluk, yaşam döngüsü boyunca mısırın büyümesini ve gelişmesini bozar. Öte yandan, tuz stresinin şiddeti süreye, tuz seviyesine ve uygulandığı bitki gelişim aşamasına bağlıdır (El Sabagh vd., 2021). Bununla birlikte, mısır bitkileri üzerinde kısa süreli tuz stresine maruz kalmak bile, toksik noktaya ulaşmasa da ozmotik etki nedeniyle bitki büyümesi üzerinde olumsuz bir etkisi yaratabilir (Farooq vd., 2015). Tuzluluk, karbon fiksasyon enzimlerinin (Rubisco, PEP karboksilaz, malik enzim) işlevlerini bozarak ve fotosentetik sistemin bozulmasına yol

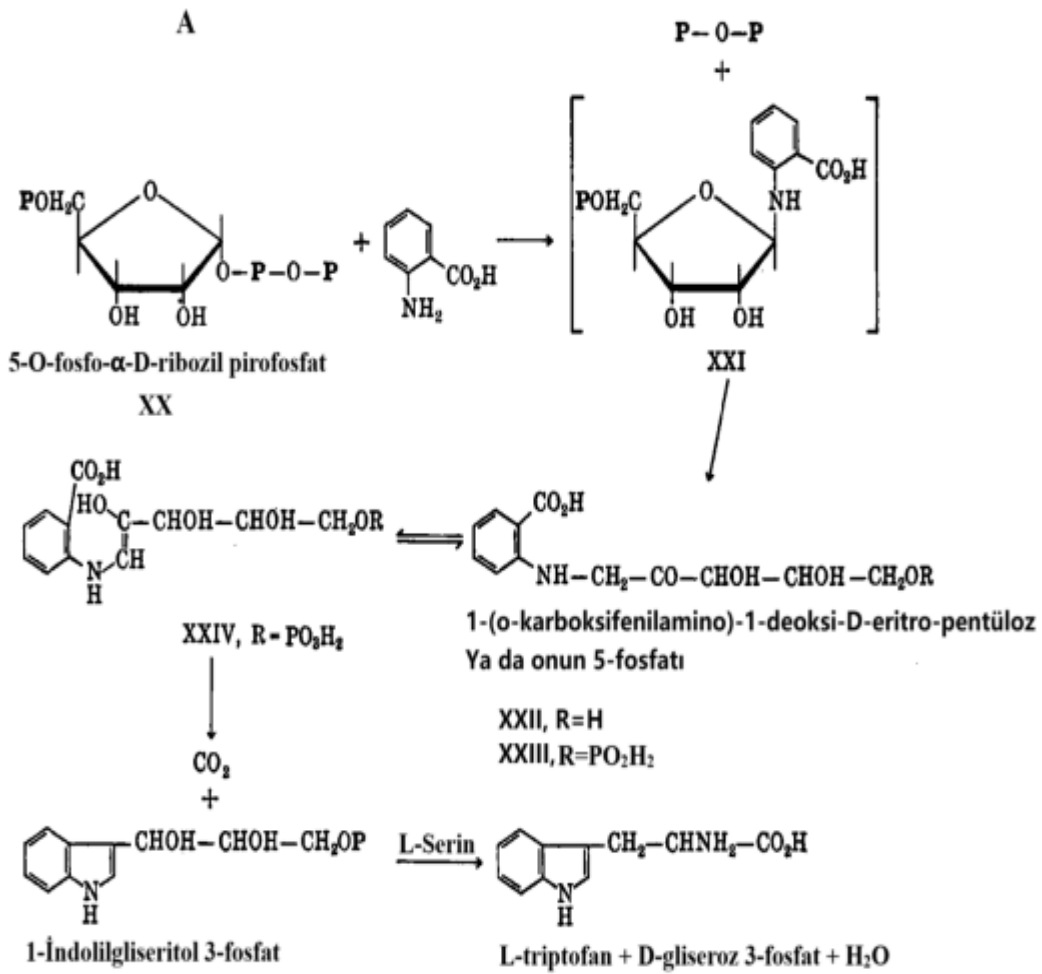
açarak mısır bitkisini etkiler (Iqbal vd., 2021). Tuzluluk koşullarında, piruvat ortofosfat dikinaz, fosfoenolpiruvat karboksilaz, NADP-bağımlı malat dehidrogenaz ve NAD-bağımlı malat dehidrogenaz gibi C4 fotosentetik enzimlerinin aktivitelerinde, bu hücrelerin bütünlüğü bozulmasına rağmen mezofil hücrelerinde artış gözlenir. Ancak demet kını hücrelerinde NADP-malik enzim ve Rubisco aktiviteleri, kloroplastlarda herhangi bir görsel hasar görülmesinden önce önemli bir şekilde azalır (Farooq vd., 2015). Dolayısıyla, tuz stresi nedeniyle fotosentez oranının azalması ve fotosentetik olmayan organlara fotoasimilat transferinin azalması, mısır biyokütlesinin, tohum sayısının ve boyutunun azalmasına neden olur (El sabagh vd., 2021). Bu sebeple tuz stresi, fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik mekanizmalar yoluyla mısır bitkileri üzerinde zararlı etkilere neden olurken zayıf mahsul oluşumuna ve verimin azalmasına neden olur (Baghel vd., 2019; Alamer vd., 2022).

1.6. Triptofan Tanımlanması

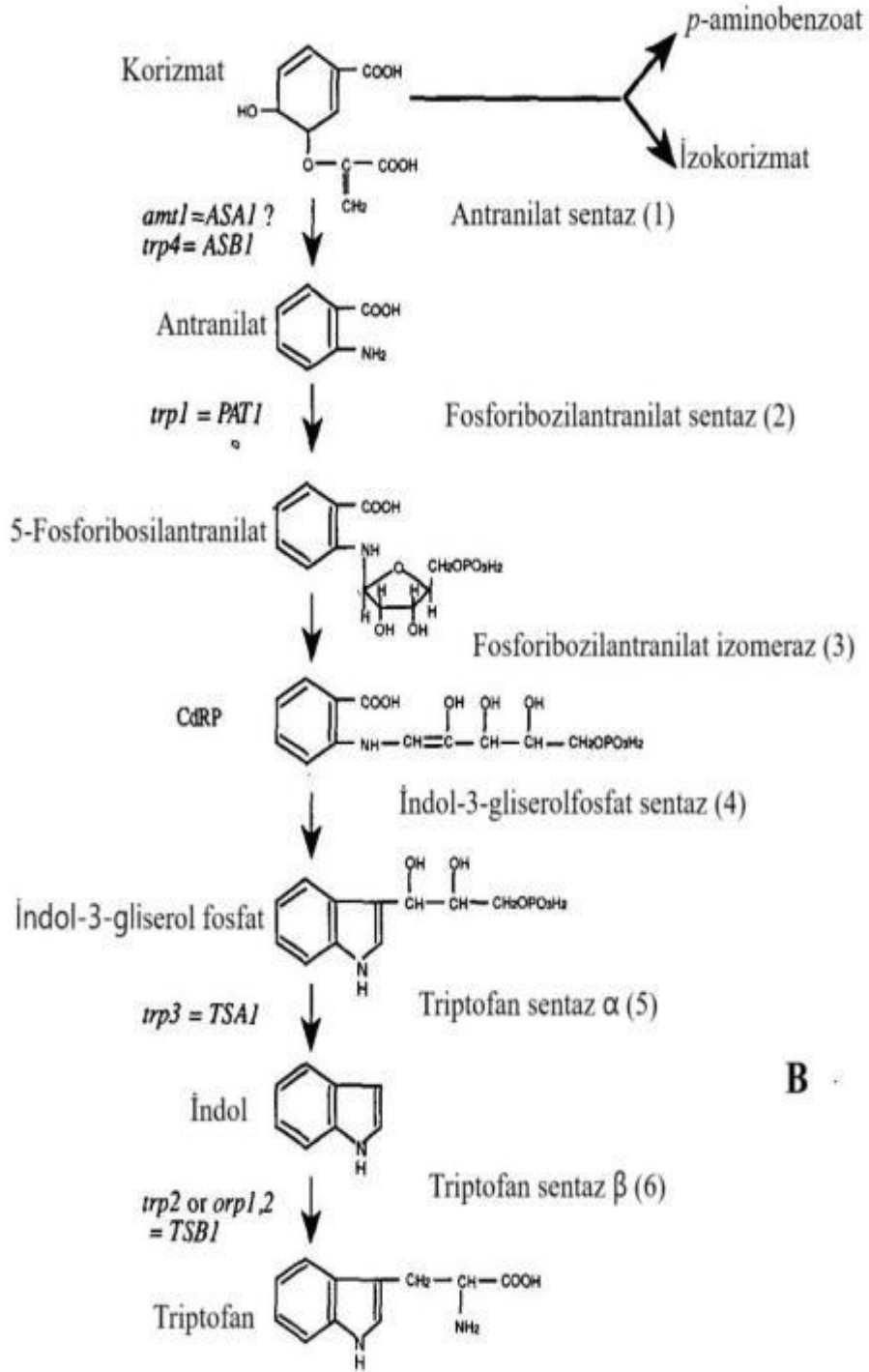
1901 yılında İngiliz kimyager F. Hopkins tarafından keşfedilen L-Triptofan, tüm canlı organizmalarda bulunan büyük bir nötr amino asittir. mRNA translasyon süreci sırasında ribozomlar tarafından protein biyosentezinde yapı taşı olarak kullanılan 20 L-amino asit arasında yer almaktadır (Palego vd., 2015). L-Triptofan sadece bitkiler için değil aynı zamanda hayvanlar, insanlar ve bazı bakteriler için de esansiyel bir amino olarak kabul edilmektedir (Hanci & Tuncer, 2020). Triptofan, indol asetik asidin fizyolojik bir öncüsü olarak bilinir ve uygun konsantrasyonlarda uygulanması bitki büyümesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Elkhatib vd., 2020). Ayrıca yüksek bitkilerde oksin ve melatoninin fizyolojik bir öncülü olduğu ve bir ozmolit olduğu bilinmektedir (Alfosea-Simon vd., 2020). Trp'nin büyüme ve verim üzerindeki etkileri, doğrudan bitki kökleri tarafından alınmasına ve daha sonra bitki dokusu ile oksinlere katabolizmasına bağlanabilir (Elkhatib vd., 2020).

1.6.1. Canlılarda Triptofanın Biyosentez Yolları

Triptofan biyosentetik yolu mikroorganizmalarda ilk olarak Sprinson (1960) tarafından tanımlandı. Ardından Edwards vd. (1964) farklı amino asitleri oluşturan aromatik bileşiklerin biyosentezi için metabolik yolları aydınlatmaya çalıştı. Daha sonra, triptofan için bu biyosentetik yolun yüksek bitkilerde faaliyet gösterdiği (Widholm, 1971) ve tüm bitki krallıkları boyunca biyokimyasında çarpıcı bir koruma sergilediği gösterildi (Radwanski & Last, 1995).



Şekil 3. Mikroorganizmalarda Triptofan biyosentezinin yolu (Sprinson, 1960)



Şekil 4. Yüksek bitkilerde Triptofan biyosentezinin yolu (Radwanski & Last, 1995)

1.6.2. Triptofanın Bitki Büyüme ve Gelişmesindeki Roller

Birçok çalışma, amino asitlerin ve vitaminlerin bitkilerde abiyotik ve biyotik streslerin olumsuz etkilerini hafifletmedeki önemli rolünü ortaya koymaktadır (Hosseini vd., 2014). Triptofan (Trp), antioksidan olarak görev yapan veya fitohormonları aktive eden, ozmolit, iyon taşıma düzenleyicisi, stoma açıklığını ayarlayan ve ağır metallerin zararlı etkilerini temizleyen bir amino asit olduğu bilinmektedir (Gull vd., 2022). Trp, yüksek bitkilerde ve toprak mikroorganizmalarında IAA'nın iyi bilinen bir öncüsüdür (Zhao, 2012; Mustafa vd., 2016). Oksin (IAA), hücre uzamasını, kambiyum hücre bölünmesinin indüksiyonunu, adventif kök oluşumunu, aksiller sürgün oluşumunu, tropizmaları, kallus başlangıcını, büyümeyi ve embriyogenezin indüksiyonunu uyardığı bilinen bir bitki büyüme düzenleyicisidir (Muneer vd., 2009). Hatta Trp'nin saf oksin uygulamalarına kıyasla bitki büyümesi ve verimi üzerinde daha iyi bir etkiye sahip olduğu öne sürülmektedir (Muneer vd., 2009; Zhao, 2012; Mustafa vd., 2016). Ayrıca, bu esansiyel amino asit hayvanlarda protein sentezi için gereklidir. Aynı şekilde, nikotinik asit vitamini (Radwanski & Last, 1995) dahil olmak üzere indol halkasını kullanırken diğer biyomolekül bileşiklerinin üretiminde, yani serotonin ve melatonin biyosentezinde yer almaktadır (Ye vd., 2019; Fiore & Murray, 2021).

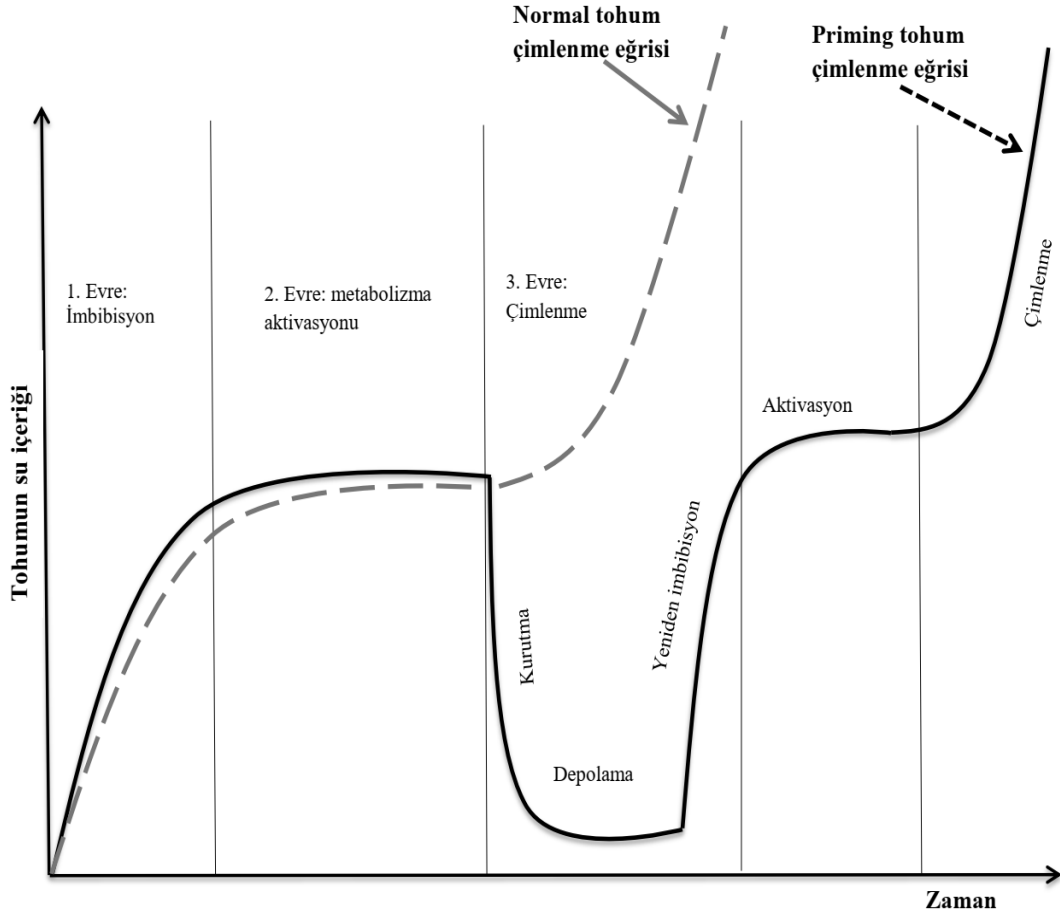
1.7. Tohum Ön Muamelesi (Priming)

1.7.1. Tohum Priming Tekniği

Tohum hazırlama, çimlenme öncesi metabolik olaylardan önce tohumların kısmen hidratlandığı tohum performanslarını artırmak için kullanılan bir ekim öncesi işlemdir (Sen & Puthur, 2020). Hazırlama, çimlenme sırasında tohumların imbibisyon aşamalarının fizyolojik sürecinin kontrol edilmesine dayanır (Rajjou vd., 2012). Bu imbibisyon fazları, tohumdaki düşük su potansiyeli nedeniyle hızlı bir su alımını (Evre I) içerir ve bu fazda mevcut mRNA'lardan proteinler sentezlenir ve DNA ve mitokondri onarılır. Evre II, metabolik süreçlerin aktivasyonu ve yeni mRNA'ların çevirisi ile enzimlerin sentezi ile ilişkilidir (Dutta, 2018). Evre III'te, radikula çıkıntısına yol açan hücre uzaması ile bağlantılı büyümenin başlatılmasından oluşur. (Sen & Puthur, 2020). Tohum priming tekniğinin katma değeri, hızlı çimlenme ve homojen çıkış, su kullanım verimliliği,

ürünlerin eşzamanlı olgunlaşması ve bitkinin biyotik ve abiyotik streslere toleransını artırarak ürün performansını teşvik etmek için kullanılmaktadır (Rakshit & Singh, 2018).

Bu nedenle, tohum priming tekniği, çimlenmenin hala tersine çevrilebilir bir süreç olduğu ve radikül çıkıntısının hemen altında olduğu evre II'nin sonuna kadar tüm evre I boyunca bir tohumun su emmesine izin vermekten oluşmaktadır (Dutta, 2018).



Şekil 5. Priming (ön uygulama) ve normal tohum çimlenme sürecinin arasındaki farkı özetleyen şematik diyagramı (Rajjou vd., 2012; Dutta, 2018)

1.7.2. Tohum Ön Muamelesinin Türleri

Bose vd. (2018) ve Dutta'ya (2018) göre, priming malzemesine bağlı olarak farklı tohum ön muamelesi türleri vardır:

- Hidro-priming: Hydro-priming, tohumların belirli bir süre suda bekletildiği ve ekimden önce belirli bir nem seviyesine kadar kurutulduğu basit ve ekonomik bir tekniktir
- Osmo-priming: Tohuma gecikmeli su girişi yoluyla osmotik hazırlama ROT birikimini azaltır ve böylece hücreyi oksidatif hasardan korur. Su alımını azaltmak için çözeltiye PEG şekeri, mannitol ve sorbitol gibi ozmotik maddeler eklenir. Ayrıca NaNO_3 , MgCl_2 , NaCl ve KNO_3 gibi farklı tuzlar da osmo-priming için kullanılır.
- Halopriming: tohumların ekim öncesi tuz çözeltisinde bekletilmesi,
- Hormonal priming: sınırlı miktarda bitki büyüme düzenleyicisi ya da hormon içeren priming çözeltileri kullanılmaktadır.
- Nutri-priming: tohumlar sadece suda bekletilmek yerine bitki büyümesini sınırlayan besin maddelerini içeren çözeltilerde bekletilir. Tohumların ekimden önce belirli bir süre boyunca belirli bir besin maddesi konsantrasyonu ile doyurulması besin maddesi hazırlama olarak bilinir. Mahsul tohumlarının mikro veya makro besin maddeleri ile hazırlanması, besin maddelerini geliştirir ve çimlenmeyi, filiz (fide) gelişimini ve su alım verimliliğini artırır.
- Biyolojik priming: tohumların biyokontrol ajanları ile kaplanmasıdır. Faydalı mikroorganizmaların aşılama ile birlikte bir tohum ön ıslatma tekniğidir. Hem biyolojik ajan (mikroorganizmalar) hem de fizyolojik ıslatma (tohum hidrasyonu) aşamasını birleştirir
- Redoks priming: Hücrenin redoks durumunu temsil eder ve herhangi bir dış uyarana yanıt olarak büyüme ve gelişmenin yanı sıra stres toleransındaki temel süreçleri düzenler;
- Ekim öncesi ıslatma: tohumların ekimden önce suda veya düşük su potansiyeline sahip herhangi bir çözeltide ıslatılmasıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı, iki mısır (*Zea mays* L.) çeşidinin tuz stresine tepkisinde Trp ön uygulamasının rolünü belirlemektir. Bu amaçla, yapraklar ve köklerdeki bazı temel morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler dikkate alındı. Bu nedenle, bitki biyokütlesi (taze ve kuru ağırlık) ve morfolojisi (kök ve yaprak uzunluğu) ile ilgili parametreler ölçüldü. Benzer şekilde, bitkinin su durumunu (ozmotik potansiyel, su içeriği ve su kaybı) ve iyon dengesini (K^+ , Na^+ , Cl^-) ve bunların yanında biyokimyasal bileşikleri (çözünür şekerler: sukroz ve Mannitol, prolin, fotosentetik pigmentler: klorofil *a*, *b* ve karotenoidler) belirlendi. Bunların ek olarak, hücre zarlarının kararlılığı (Elektrolit sızıntısı) ve fotosentetik sistemlerin (PSI & PSII) hasar derecesi (klorofil floresansı: F_v/F_m) de tespit edildi.

2.1. Bitkilerin Yetiştirilmesi

Çalışmada kullanılan mısır çeşitlerinden birisi tuz stresine duyarlı olan *Zea mays* L. 'DKC6724' ve diğeryse tuz stresine toleranslı olan *Zea mays* L. 'DKC6590' olarak belirlenmiştir. Dekalb, Türkiye (Doğu Bölge Müdürlüğü, Adana-Türkiye)'den temin edildi. Tez çalışması süresince kullanılan tüm bitkiler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümünde bitki büyütme kabininde yetiştirildi. Çimlendirme çalışmalarına başlanmadan önce 0 ve 0,1 mM L-triptofan (Trp) ile 12 saat boyunca muameleye (priming) bırakıldı. Prime edilen tohumlar 4 gün boyunca kurutulmaya bırakıldı. (Çalışmada belirlenen trp konsantrasyonu öncesinde yapılan ön denemelerden yola çıkarak seçildi.) Kontrolleriyle birlikte prime edilen tohumlar önce 9 cm'lik plastik petri de saf su ile ıslatılmış filtre kağıtları arasında 25°C'ye ayarlı etüvde çimlendirilmeye bırakıldı. İki günün sonunda çimlenen mısır tohumları içinde Hoagland bulunan (50 ml) büyütme ortamına aktarıldı. Fideler sekizinci günde üçüncü yaprakları tamamen çıkana kadar büyütüldü. Hoagland ortamı üç gün arayla değiştirildi. Tuz stresi koşulları için 0, 25, 50, 100 ve 150 mM NaCl olmak üzere dört tuz derişimi belirlendi.

Fideler kontrolleriyle beraber üç gün süreyle tuz stresine maruz bırakıldı. Fidelerin büyütme uygulama deseni tablo 1’de verildi.

Tablo 1. Çalışma koşullarında kontrol, NaCl ve Trp uygulamalarına ait fidelerin elde edildiği gösteren deney grupları

Uygulamalar	<i>Zea mays</i> 'DKC6590'	<i>Zea mays</i> 'DKC6724'
Kontrol	+	+
25 mM NaCl	+	+
50 mM NaCl	+	+
100 mM NaCl	+	+
150 mM NaCl	+	+
Trp (0,1 mM)	+	+
Trp + 25 mM NaCl	+	+
Trp + 50 mM NaCl	+	+
Trp + 100 mM NaCl	+	+
Trp + 150 mM NaCl	+	+

2.2. Yöntem

2.2.1. Morfolojik Parametrelerin Belirlenmesi

Morfolojik parametreler olarak radikula, kök ve yaprak uzunluğu ile birlikte kök ve yaprak yaş ve kuru ağırlığı dikkate alındı. Köklerin ve yaprakların uzunlukları ölçüldükten sonra yaş ağırlıkları hemen kaydedildi. Her deney grubunun bitki materyalleri alüminyum folyolara sarılmış ve 60°C'de 7 gün süre fırına bırakılarak kuru ağırlığı elde etmiştir.

2.2.2. Bağlı Su İçeriği (RWC)'nin Belirlenmesi

Tuz uygulaması süresinin ardından, her gruptaki bitkilerden yaklaşık eşit büyüklükte yaprak (lamina) örnekleri alınıp taze ağırlıkları ölçüldü. Daha sonra yapraklar distile su dolu petri kaplarında karanlıkta 24 saat bekletilerek yaprakların turgorlaşması sağlandı. Bu sürenin sonunda yapraklar tartılıp turgor ağırlıkları tespit edildi. Tartılan yaprak örnekleri 70°C'de 72 saat boyunca etüvde kurutulup kuru ağırlıkları kaydedildi. Son olarak, her

grubun yaprak örneklerinin bağıl su içeriği (RWC) aşağıdaki formüle göre 10 bitki üzerinden % olarak hesaplandı.

$$RWC (\%) = \left(\frac{\text{Taze ağırlık} - \text{kuru ağırlık}}{\text{Turgor ağırlığı} - \text{Kuru ağırlık}} \right) \times 100$$

2.2.3. Ozmotik Potansiyelin Belirlenmesi

Bitki materyalleri homojenizatörde 500 µl sıvı özüt toplanana kadar homojenize edildikten sonra santrifüjlenmiştir. Kök ve yapraklardan elde edilen süpernatant osmotik potansiyel ölçüm cihazı (Knauer K7400) kullanılarak ölçüldü ve sonuçlar MPa olarak ifade edildi.

2.2.4. Fotosentetik Pigmentlerin Belirlenmesi

Toplam Klorofil miktarı Arnon (1949) ve toplam karotenoid miktarı ise Jaspars (1965)'in değişmiş yöntemlere göre belirlendi. 0,05 g bitki örneği 10 ml %80'lik aseton içinde 4°C'de 4 gün bekletildikten sonra elde edilen süpernatant 663, 645 ve 450 nm'lerde spektrofotometrede (Thermo e-201) ölçülmüştür. Aşağıda verilen formüller yardımıyla toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarı belirlendi:

$Kl a = (\Delta A_{663} \times 12,7) - (\Delta A_{645} \times 2,69)$, $Kl b = (\Delta A_{645} \times 22,9) - (\Delta A_{663} \times 4,68)$,
toplam klorofil = $(20,2 \times A_{645}) + (8,02 \times A_{663})$ ve toplam karotenoid= $(\Delta A_{450} \times 4,07) - [(0,0435 \times Kl a) + (0,3367 \times Kl b)]$.

Elde edilen değerler mg/1000 ml cinsinden hesaplanarak, sonuçlar mg/g taze ağırlık olarak ifade edildi.

2.2.5. Elektrolit Sızıntısının Belirlenmesi

Elektrolit sızıntısı Lutts vd. (1996) 'nın açıkladığı yöntemle göre belirlendi. Buna göre, her gruptan aynı büyüklükte yapraklar alınıp yaprak yüzeyinde bulunabilecek elektrolitleri uzaklaştırmak için üç kez diyonize su ile yıkandı. Yapraklar 10 mL diyonize su içeren cam tüplerde 25°C'de 24 saat inkübe edildi. Sıvının elektrik iletkenliği (Lt) hemen ölçüldü. Tüpler daha sonra 120°C'de 20 dakika boyunca otoklavlandı, 25°C'ye soğutulup son elektrik iletkenliği (L0) tespit edildi. Son olarak, Elektrolit sızıntısı (%) = $(Lt / L0) \times 100$ formülüne göre hesaplandı.

2.2.6. Prolin İçeriğinin Belirlenmesi

Prolin içeriği Bates vd. (1973)'in tanımladığı metoda göre yapıldı. 0,1 g kuru yaprak örnekleri 10 ml sülfosalisilik asit içerisinde (%3) homojenize edildikten sonra 5.000 rpm'de 10 dk santrifüjlendi. Elde edilen süpernatanttan 1 ml alındıktan sonra üzerine 1 ml glasiyal asetik asit ve 1 ml ninhidrin eklenmiştir. Elde edilen karışım 1 saat 100°C etüvde bekletildikten sonra 10 dk buza alınarak reaksiyon durduruldu. 3 ml tolüen eklendikten sonra reaksiyon karışımı 520 nm'de prolin standartına karşı okutuladı ve sonuçlar µg/g kuru ağırlık olarak verildi.

2.2.7. Çözünebilir Şekerler İçeriklerinin Belirlenmesi

Çözünebilir şekerler, Li ve arkadaşları (2022) tarafından tanımlanan Xu ve arkadaşlarının (2015) modifiye edilmiş yöntemi kullanılarak belirlendi. 5,5 g taze ağırlık kök ve yaprak hasat edildi ve 25 ml etanol (%80) eklenerek şeker içeriği ekstrakte edildi. Ekstrakt daha sonra kaynamaya kadar ısıtıldı. Elde edilen karışım soğutulduktan sonra ve santrifüje edilerek süpernatant kuruluğa kadar uçuruldu. Elde edilen süpernatantın etanol içeriği evaporatör (Heidolph, Almanya) aracılığıyla çıkarıldı. Kuru numuneler 5 ml deiyonize suda çözüldü ve katı faz ekstraksiyonu yöntemiyle fraksiyonlara ayrıldı (Rodriguez-Saona ve Wrolstad, 2001). Katı faz ekstraksiyonundan elde edilen sulu fraksiyon şeker analizi için kullanılarak Agilent 1100 HPLC (Palo, Alto, CA, ABD) aracılığıyla gerçekleştirildi.

2.2.8. İstatistik Analizler

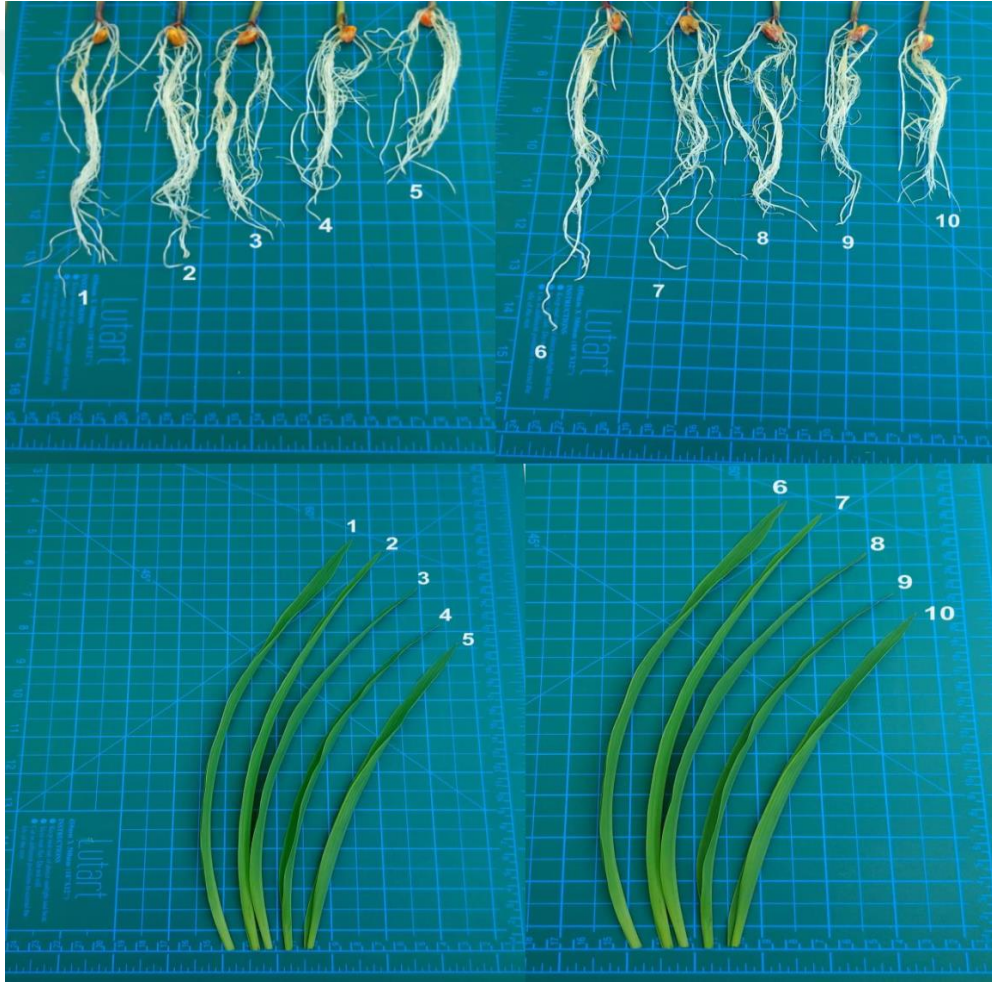
Üç tekrarlı ($n = 3$) tamamen randomize deneyde analiz edilen farklı parametrelerde elde edilen veriler, IBM Statistic'in SPSS 25 yazılımı kullanılarak Tek Yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) ile gerçekleştirildi. Kontrol gruplarına kıyasla NaCl ve Trp uygulamalarının ortalamaları arasındaki farkı ortaya çıkarmak için $p < 0,05$ istatistiksel önem düzeyinde Duncan çoklu aralık testi uygulandı. Ayrıca, değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini tespit etmek için ölçülen farklı parametreler arasında Pearson katsayısına dayalı bir korelasyon analizi gerçekleştirildi.

3. BULGULAR

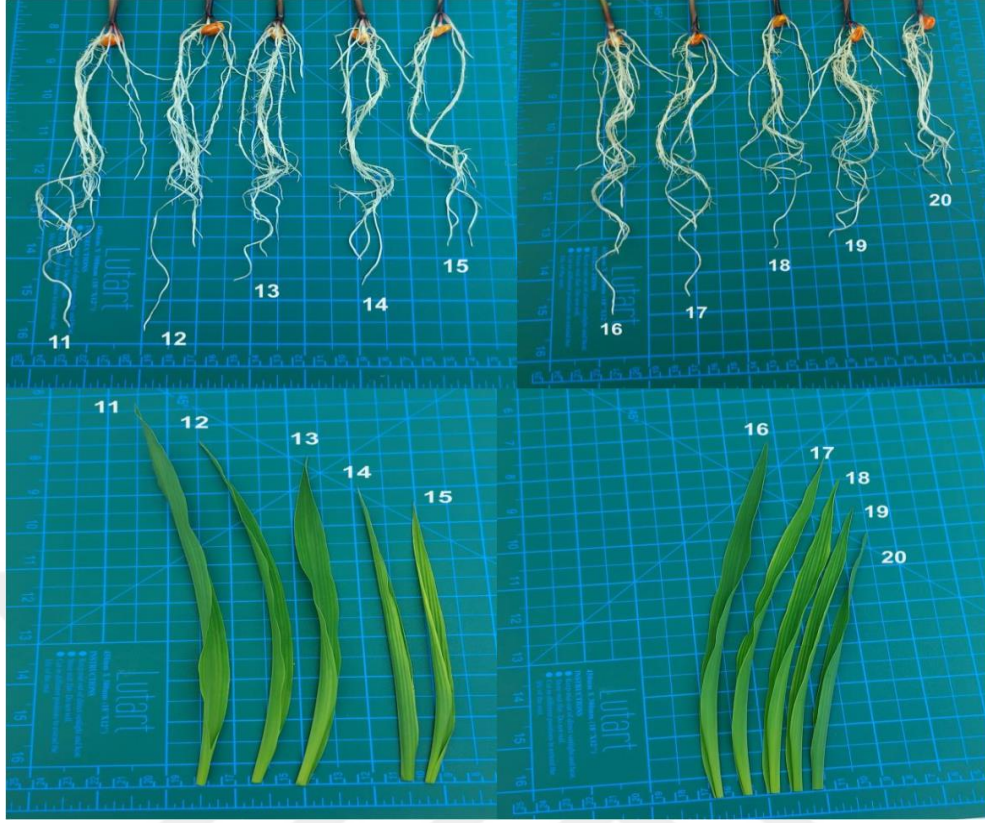
3.1. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Büyüme Parametrelerine Olan Etkisi

3.1.1. Yaprak (YU) ve Kök (KU) Uzunluğu

Artan tuz stresi ve Trp uygulama dozlarının mısır fidelerinin radikula (RAU), kök (KU) ve yaprak (YU) uzunlukları üzerine olan etkisi tablo 2 ve Şekil 6 & 7'de verildi.



Şekil 6. 'DKC6590' mısır (*Zea mays* L.) çeşidinin NaCl ve Trp uygulama gruplarına ait morfolojik görüntüsü. 1) Kontrol, 2) 25 mM NaCl, 3) 50 mM NaCl, 4) 100 mM NaCl, 5) 150 mM NaCl, 6) Trp, 7) Trp + 25 mM NaCl, 8) Trp + 50 mM NaCl, 9) Trp + 100 mM NaCl, 10) Trp + 150 mM NaCl.



Şekil 7. 'DKC6724' mısır (*Zea mays* L.) çeşidinin NaCl ve Trp uygulama gruplarına ait morfolojik görüntüsü. 11) Kontrol, 12) 25 mM NaCl, 13) 50 mM NaCl, 14) 100 mM NaCl, 15) 150 mM NaCl, 16) Trp, 17) Trp + 25 mM NaCl, 18) Trp + 50 mM NaCl, 19) Trp + 100 mM NaCl, 20) Trp + 150 mM NaCl.

Artan tuz stresi (25-150 mM NaCl) ve triptofan (0,1 mM) derişimleri her iki mısır çeşidinin, RAU, KU ve YU'ların kontrollerine kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$; $r = -0,980$ ve $-0,982$) doz bağımlı olarak indirgediği belirlendi (Tablo 2 ve Şekil 6 & 7). Kontrol bitkileriyle kıyaslandığında artan tuz stresi RAU'nu tuza toleranslı çeşitte ('DKC6590') yaklaşık %6 ve 43,6 arasında ve tuza duyarlı çeşitte ('DKC6724') ise yaklaşık %7 ve 40 arasında azalttığı belirlendi. Tuz stresine benzer şekilde Trp uygulaması da her iki mısır çeşidinde RAU'nu önemli düzeyde ($p < 0,05$) indirgediği belirlendi (Tablo 2). Kontrol bitkileriyle kıyaslandığında, Trp uygulaması RAU'nda bir azalmaya neden oldu, ancak bu azalma önemli kabul edilebilecek düzeyde ($p < 0,05$) olmadığı belirlendi. Genel olarak değerlendirilinde tuza toleranslı mısır çeşidinin ('DKC6590') RAU hem tuz uygulamasında ve hem de tuz stresi Trp uygulama kombine edildiği büyüme koşullarında tuza duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidine kıyasla önemli düzeyde indirgendliği görüldü (Tablo 2).

Tablo 2. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının radikula (RAU), kök (KU) ve yaprak (YU) uzunluklarına etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, n = 3). Her bir sütundaki farklı küçük harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir. Her satırdaki farklı büyük harfler, her mısır çeşidinde farklı parametreler arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

Uygulamalar	<i>Zea mays</i> L. 'DKC6590'			<i>Zea mays</i> L. 'DKC6724'		
	RAU	KU	YU	RAU	KU	YU
Kontrol	15,79±0,30 aD	15,79±0,25 aD	29,16±0,93 aA	19,28±0,72 aC	19,60±0,53 aC	22,35±0,98 aB
25 mM NaCl	14,82±28 bD	15,32±0,38 aD	28,55±0,79 aA	17,94±0,50 abC	17,98±0,75 abC	21,15±1,18 abB
50 mM NaCl	12,74±0,65 cE	13,15±0,28 bE	26,07±0,47 bA	15,92±08 bcD	16,44±0,27 bD	19,85±1,32 bB
100 mM NaCl	11,40±0,27 cdE	11,23±0,29 cE	23,74±0,07 cA	14,56±0,40 cD	14,58±0,36 cD	18,77±0,89 bcB
150 mM NaCl	8,89±0,28 dG	9,67±0,36 cdF	19,98±0,47 eA	11,45±0,47 dE	12,36±0,30 dD	17,72±0,40 cB
Trp (0,1 mM)	15,36±0,30 aE	15,76±0,26 aE	29,06±0,41 aA	18,35±0,20 abD	19,66±0,60 aC	22,67±0,90 aB
Trp+25 mM NaCl	14,19±0,31 bE	13,98±0,51 abE	27,08±0,70 abA	17,19±0,60 bCD	17,98±0,55 abC	21,41±1,33 abB
Trp + 50 mM NaCl	11,21±0,17 cdF	12,60±0,19 bE	24,17±0,28 cA	15,78±0,54 bcD	15,38±0,08 cD	19,74±0,77 bB
Trp + 100 mM NaCl	9,29±0,09 dF	10,12±0,15 cdE	21,81±0,16 dA	12,54±0,30 cdF	13,29±0,04 cdE	17,92±1,15 bcB
Trp + 150 mM NaCl	8,06±0,20 deH	8,95±0,26 dG	20,36±0,14 eA	10,25±0,21deF	10,95±0,20 eE	17,13±0,26 cC

Benzer şekilde kök uzunluğu (KU) da her iki mısır çeşidinde artan tuz stresi ve tuz stresinin Trp uygulamasıyla kombine edildiği durumda doz bağımlı olarak önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalma gösterdiği tespit edildi ('DKC6724', $r = 0,874$; 'DKC6590', $r = 0,982$). Ancak KU'ndaki bu azalma kontrol bitkileriyle yalnızca Trp uygulama grubuyla kıyaslandığında önemli düzeyde farklılık göstermediği belirlendi. Tablo 2'de tuz stresine duyarlı 'DKC6724' çeşidi tuza toleranslı çeşit olan 'DKC6590' ile kıyaslandığında KU duyarlı çeşitte önemli düzeyde indirgendiği ortaya konuldu.

Yaprak uzunluğu (YU) tuz stresine toleranslı ($r = 0,981$; $p < 0,05$) ve duyarlı ($r = 0,874$; $p < 0,05$) mısır çeşitlerinde doz bağımlı olarak önemli düzeyde ($p < 0,05$) azaldığı tespit edildi (Tablo 2). Artan tuz stresi kontrol ile karşılaştırıldığında tuza toleranslı çeşitte YU'nda yaklaşık % 2, 10,6, 18,6 ve 31,5 ve duyarlı çeşitte ise yaklaşık %5-21 arasında azalmaya neden olduğu görüldü.

Trp ön muamelesinin her iki mısır çeşidinde YU üzerinde önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir etkisi göstermediği görüldü. RAU ve KU'nun tam tersine, Trp ön muamelesi ile birlikte tuz stresi koşullarında, tuza toleranslı mısır çeşidi 'DKC6590', tuza duyarlı 'DKC6724' ile karşılaştırıldığında önemli düzeyde ($p < 0,05$) yüksek YU değeri sergilediği belirlendi.

3.1.2. Taze Ağırlık (TA)

Artan tuz stresi ve Trp uygulama dozları uygulamalarının mısır fidelerinin kök ve yaprak taze ağırlıkları üzerine olan etkisi Tablo 3'te gösterildi.

Kök taze ağırlığı (KTA) tuz stresi ve Trp uygulamalarına bağlı olarak önemli düzeyde ($p < 0,05$) indirgendi. Tuz stresine duyarlı ('DKC6724', $r = - 0,907$; $p < 0,05$) ve tuz stresine toleranslı ('DKC6590', $r = - 0,963$) mısır çeşitlerinde doz bağımlı bir şekilde azalma gösterdi. Artan NaCl stresi toleranslı mısır çeşidinde, KTA, kontrol bitkilerine kıyasla, 50-300 mg azalma gösterdi. Duyarlı çeşitte ise, kontrol grubuna kıyasla, KTA 90-290 mg azaldığı kaydedildi. Trp ön muamelesinde, tuz stresine toleranslı çeşitte KTA tüm tuz stresinin uygulama gruplarında azalmagöstermesine rağmen, bu azalma önemli düzeyde ($p < 0,05$) farklı bulunmadı. Duyarlı mısır çeşidinde ise Trp uygulaması 100 mM tuz stresi grubunda KTA değerinde önemli düzeyde ($p < 0,05$) artışı sağladı.

Diğer taraftan, KTA açısından, 'DKC6590' ve 'DKC6724' mısır çeşitleri karşılaştırıldığında, hem tuz stresi hem de Trp ön muamelesi, 'DKC6590' çeşidinde KTA'nı önemli düzeyde ($p < 0,05$) artırdığı belirlendi.

KTA'nda olduğu gibi, artan tuz stresi, yaprak taze ağırlığı (YTA)'nı her iki mısır çeşidinde ('DKC6724', $r = -0,937$ ve 'DKC6590', $r = -0,957$; $p < 0.05$) de önemli düzeyde ($p < 0.05$) ve doz bağımlı olarak azalttığı belirlendi. Duyarlı mısır çeşidinde, artan tuz stresi kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında, YTA'nı, 40-140 mg azalttığı tespit edildi. Tuz stresine toleranslı mısır çeşidinde ise, artan tuz stresi kontrol grubuna kıyasla, YTA'nı 30-200 mg azalttığı belirlendi. Trp uygulaması, kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında, her iki mısır çeşidinde YTA'nda azalmayı belirgin bir teşvik ettiği görüldü. İki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, hem tuz stresi hem de Trp tuz stresine kombine edildiği koşullarda tuzluluk stresine toleranslı mısır çeşidi, duyarlı olandan önemli düzeyde ($p < 0.05$) daha yüksek YTA sergiledi.

Tablo 3. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine triptofan (Trp) ön uygulamasının kök (KTA) ve yaprak (YTA) taze ağırlıklarına (g) etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Her bir sütundaki farklı küçük harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir. Her satırdaki farklı büyük harfler, her mısır çeşidinde farklı parametreler arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) göstermektedir.

Uygulamalar	<i>Zea mays</i> L. 'DKC6590'		<i>Zea mays</i> L. 'DKC6724'	
	KTA	YTA	KTA	YTA
Kontrol	0,82±0,02a-A	0,61±0,04a-B	0,72±0,02a-B	0,34±0,02ab-C
25 mM NaCl	0,77±0,01ab-A	0,58±0,02ab-B	0,63±0,01ab-B	0,30±0,01c-D
50 mM NaCl	0,69±0,05c-A	0,48±0,01cd-C	0,58±0,02cd-B	0,26±0,01d-D
100 mM NaCl	0,60±0,02d-A	0,45±0,01de-C	0,56±0,02d-B	0,23±0,01ef-E
150 mM NaCl	0,52±0,03e-A	0,41±0,01fg-B	0,43±0,01e-B	0,20±0,00g-D
Trp (0,1 mM)	0,77±0,04ab-A	0,59±0,02ab-C	0,67±0,02a-B	0,35±0,01a-D
Trp+25 mM NaCl	0,71±0,03bc-A	0,56±0,00b-C	0,63±0,04ab-B	0,32±0,02bc-DE
Trp + 50 mM NaCl	0,70±0,03c-A	0,51±0,01c-C	0,57±0,01d-B	0,26±0,01de-E
Trp + 100 mM NaCl	0,63±0,01d-A	0,42±0,01ef-B	0,45±0,02e-B	0,23±0,00fg-D
Trp + 150 mM NaCl	0,54±0,01e-A	0,38±0,03g-B	0,38±0,03f-B	0,20±0,00g-C

3.1.3. Kuru Ağırlık (KA)

Artan tuz stresi (25-150 mM NaCl) kök kuru ağırlığı (KKA)'nı (Tablo 4), her iki mısır çeşidinde önemli düzeyde ($p < 0,05$) doz bağımlı bir şekilde ('DKC6724', $r = - 0,905$; 'DKC6590', $r = - 0,803$; $p < 0,05$) azalttığı belirlendi. Tuz stresine toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinde artan tuzluluk stresi, kontrol bitkileriyle kıyaslandığında KKA'nı yaklaşık %16,7 ile %41 oranında azalttığı kaydedildi. 'DKC6724' mısır çeşidinde ise, tuz stresi, kontrol grubuna kıyasla YKA'sını yaklaşık %5 ile %29,1 azalttığı tespit edildi. Benzer şekilde Trp ön muamelesi, tuz stresi hem tuza toleranslı ve hem de duyarlı mısır çeşidinde KKA değerlerini yaklaşık %6,4 azalttığı kaydedildi. Öte yandan, her iki çeşit karşılaştırıldığında, hem tuz stresi hem de Trp priming koşullarında tuzluluğa toleranslı çeşit, duyarlı olana kıyasla KKA'nda önemli düzeyde ($p < 0,05$) artış kaydedildi.

Artan tuz stresi, KKA'ya benzer şekilde, yaprak kuru ağırlığını (YKA) (Tablo 4), her iki mısır çeşidinde, önemli düzeyde ($p < 0,05$) ve doz bağımlı bir şekilde ('DKC6724', $r = - 0,853$; 'DKC6590', $r = - 0,747$; $p < 0,05$) azalttığı belirlendi. Tuz stresine toleranslı mısır çeşidinde, artan tuzluluk stresi, kontrol grubuna kıyasla yaklaşık KKA'nı %9,4 ile %30 oranında azalttığı kaydedildi. Tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde ise, kontrol grubuna kıyasla YKA'sını 25 ve 50 mM NaCl koşullarında, %7,1 ve %4 oranında arttırken, 100 ve 150 mM NaCl koşullarında yaklaşık %2,1 ve %4,2 oranında azalttığı kaydedildi. Trp ön uygulaması, kontrol bitkileriyle kıyaslandığında, her iki mısır çeşidinde YKA değerlerinde azalmaya neden oldu.

Diğer taraftan, hem tuz stresi hem de Trp priming koşullarında tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidi, duyarlı olana kıyasla, önemli düzeyde ($p < 0,05$) daha yüksek YKA'ya sahip olduğunu ortaya koydu. Bundan dolayı, kontrol bitkilerinde tuz stresine toleranslı çeşit tuza duyarlı olana karşılaştırıldığında artan tuz stresiyle yaklaşık 60 - 80 mg daha fazla YKA'ya sahipken, Trp ön muamelesinde 'DKC6590' çeşidi 'DKC6724' çeşidinden 80 - 90 mg daha fazla YKA değerine sahip olduğu ortaya konuldu.

Tablo 4. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine triptofan (Trp) ön uygulamasının kök (KKA) ve yaprak (YKA) kuru ağırlıklarına (g) etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Her bir sütundaki farklı küçük harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir. Her satırdaki farklı büyük harfler, her mısır çeşidinde farklı parametreler arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) göstermektedir.

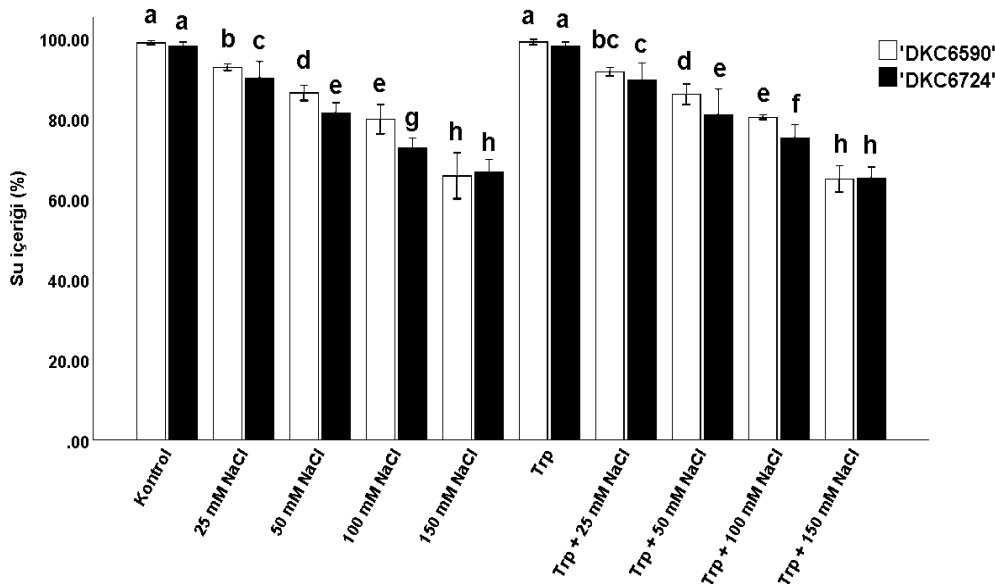
Uygulamalar	Zea mays L. 'DKC6590'		Zea mays L. 'DKC6724'	
	KKA	YKA	KKA	YKA
Kontrol	0,041±0,003a-A	0,040±0,003a-A	0,033±0,003a-B	0,032±0,003a-B
25 mM NaCl	0,038±0,003ab-A	0,038±0,002ab-A	0,032±0,001ab-B	0,029±0,001ab-B
50 mM NaCl	0,031±0,007bc-A	0,033±0,003bc-A	0,029±0,002bc-A	0,028±0,002bc-B
100 mM NaCl	0,030±0,006c-A	0,031±0,003de-A	0,026±0,001cd-AB	0,025±0,001cd-AB
150 mM NaCl	0,026±0,005d-AB	0,027±0,005e-A	0,021±0,002e-B	0,021±0,002ef-B
Trp (0,1 mM)	0,040±0,002a-A	0,038±0,003ab-A	0,032±0,003ab-B	0,030±0,003ab-B
Trp+25 mM NaCl	0,035±0,002b-A	0,034±0,006bc-A	0,028±0,002cd-B	0,027±0,002bcd-B
Trp + 50 mM NaCl	0,029±0,005cd-AB	0,031±0,005cd-A	0,027±0,001cd-AB	0,024±0,001de-B
Trp + 100 mM NaCl	0,027±0,006d-A	0,029±0,004ef-A	0,025±0,003d-AB	0,020±0,001ef-B
Trp + 150 mM NaCl	0,024±0,002de-AB	0,026±0,003f-A	0,020±0,001e-BC	0,017±0,003f-C

3.2. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerindeki Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi

3.2.1. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamasının Mısır Fidelerinin Yaprak Su İçeriğine Olan Etkisi

Yaprak su içeriği (Şekil 8), iki mısır (*Zea mays* L.) çeşidinde artan tuz stresi koşullarında doz bağımlı olarak önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalma gösterdi. Ayrıca, bu azalma tuz stresine duyarlı 'DKC6724' ($r = -0,990$; $p < 0,05$) ve toleranslı 'DKC6590' ($r = -0,973$; $p < 0,05$) mısır çeşitlerinde artan tuzluluk stresiyle birlikte önemli düzeyde ($p < 0,05$) azaldığı tespit edildi. Tuz stresi uygulaması, kontrol bitkileriyle kıyaslandığında, artan tuz stresi 'DKC6590' çeşidinde yaklaşık %6,5-50,3 arasında ve 'DKC6724' çeşidinde ise yaklaşık %8,6- 46,7 arasında indirgediği belirlendi. Tuz stresinde olduğu gibi Trp uygulamasında da her iki mısır çeşidinde su içeriğini önemli düzeyde ($p < 0,05$) indirgediği belirlendi. Bununla birlikte, Trp ön uygulaması kontrol bitkilerine kıyasla su içeriğinde artırsa da, bu artış önemli düzeyde ($p < 0,05$) olmadığı tespit edildi.

Öte yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, kontrol grubu ya da Trp uygulama grupları karşılaştırıldığında iki mısır çeşidi arasında önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir farklılık belirlenmedi.

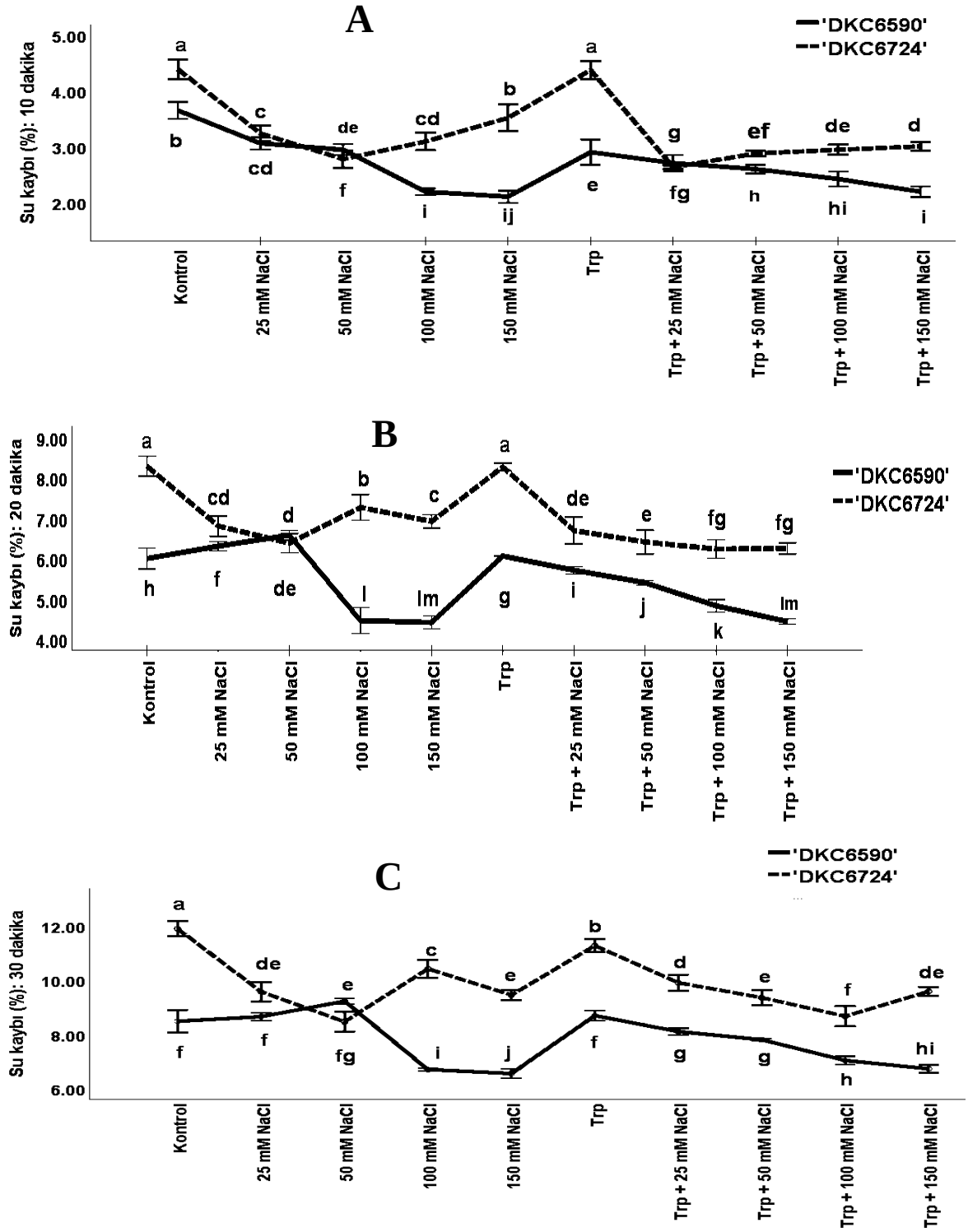


Şekil 8. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak su içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

3.2.2. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Su Kaybı Üzerine Etkisi

Deney koşullarında her iki mısır çeşidine ait yaprakların su kaybı 10 (Şekil 9.A), 20 (Şekil 9.B) ve 30 (Şekil 9.C) dakika arayla ölçüldü. Yaprak su miktarı iki mısır çeşidinde artan tuz stresine bağlı olarak farklı şekilde azalma gösterdi. Sadece tuz stresine toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidi olan 10, 20 ve 30 dakika sonra yaprak su kaybında önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir azalma gözlemlendi. Ancak bu azalma, hem tuz stresi hem de tuz stresi Trp ile birlikte uygulandığı koşullarda her iki mısır çeşidinde de önemli düzeyde ($p < 0,05$) gözlemlendi. Tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinde yaprak su kaybını artan tuz stresi 10, 20 ve 30 dakika aralıklarında, önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalttığı belirlendi. Tuza duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde ise bu azalma sadece 20 ve 30 dakika sürelerinde önemli düzeyde ($p < 0,05$) olduğu tespit edildi. Ayrıca, tuz stresi koşullarındaki bitkiler kontrol grubu bitkileriyle karşılaştırıldığında, su kaybı her iki mısır çeşidinde de önemli ölçüde azaldığı tespit edildi. Trp ön muamelesi ile birlikte tuz stresi büyüme koşullarında, su kaybı değerlerinde kontrol grubu bitkilerine kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) azaldığı kaydedildi.

Öte yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde hem tuz hem de Trp uygulama gruplarında tuza toleranslı mısır çeşidine kıyasla su kaybının önemli düzeyde ($p < 0,05$) daha fazla arttığı belirlendi (şekil 9.A, 9.B, 9C).



Şekil 9. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak su kaybına etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir. A, B ve C sırasıyla 10, 20 ve 30. dakikadaki su kaybını temsil eder.

3.2.3. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamasının Mısır Fidelerinin Ozmotik Potansiyel Üzerine Etkisi

İki mısır çeşidinin yaprak ozmotik potansiyeli (Ψ_s) (Tablo 5), artan tuz stresi koşullarında ve doz bağımlı bir şekilde önemli düzeyde ('DKC6724', $r = -0,945$; 'DKC6590' $r = -0,927$; $p < 0,05$) azalma gösterdi. Artan tuz stresi, kontrol grubuna kıyasla tuz stresine toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinde yaklaşık -0,55 ve -0,232 MPa arasında ve tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde ise yaklaşık -0,102 ve -0,357 MPa arasında indirgenmeye neden oldu. Buna ek olarak, tuz stresine toleranslı mısır çeşidinde, Trp ön uygulaması da kontrol gruplarına kıyasla tuz stresi uygulanmış bitkilerde yaprak Ψ_s 'ni -0,011 Mpa ile -0,1 MPa arasında önemli düzeyde ($p < 0,05$) arttığı belirlendi. 'DKC6724' çeşidinde ise, Trp ön uygulaması kontrol bitkilerine kıyasla artan tuz stresinde yaprak Ψ_s 'ni -0,04 ve -0,10 MPa arasında azalttığı görüldü.

Diğer yandan, iki mısır çeşitleri karşılaştırıldığında, hem tuz stresi hem de Trp ön uygulaması koşullarında tuza toleranslı mısır çeşidi, yaprak Ψ_s 'ni duyarlı olana kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) indirgediği görüldü. Kontrol grubu bitkilerinde, artan tuz stresi yaprak Ψ_s 'ni 'DKC6590' çeşidi 'DKC6724' çeşidine kıyasla -0,05 ve -0,12 MPa arasında azalttı. Trp ön uygulama gruplarında ise, artan tuz stresi yaprak Ψ_s 'ni, 'DKC6724' çeşidinde 'DKC6590' çeşidine kıyasla -0,03 ve -0,13 MPa arasında azalttığı belirlendi.

Yaprak ozmotik potansiyeline benzer şekilde, iki mısır çeşidinin kök Ψ_s 'i (Tablo 5), artan tuz stresi koşullarında ve doz bağımlı bir şekilde ('DKC6724', $r = -0,948$; 'DKC6590', $r = -0,957$; $p < 0,05$) önemli düzeyde indirgeniği belirlendi. Artan tuz stresi, kontrol bitkilerine kıyasla kök Ψ_s 'ni tuz stresine toleranslı mısır çeşidinde yaklaşık -0,07, -0,28 MPa arasında indirgediği tespit edildi. Duyarlı çeşitte ise, artan tuz stresi, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, kök Ψ_s 'ni yaklaşık -0,07 ve -0,37 MPa indirgediği belirlendi.

Bununla birlikte, yaprak Ψ_s 'nin aksine, Trp ön uygulaması kök Ψ_s 'nin, kontrol bitkilerine kıyasla her iki mısır çeşidinde önemli düzeyde ($p < 0,05$) artırmasına neden oldu. Buna göre, 'DKC6590' mısır çeşidinde Trp ön uygulamasıyla tuz stresi kombine edilen koşullardaki bitkiler kontrol grubuna kıyasla, kök Ψ_s 'ni yaklaşık 0,07, ve 0,06 MPa arasında arttığı belirlendi. 'DKC6724' mısır çeşidinde ise, Trp uygulamasıyla tuz stresi kombine edilen koşullardaki bitkiler kontrol bitkilerine kıyasla, kök Ψ_s 'ni yaklaşık 0,03 ve 0,05 MPa arasında arttırdığı belirlendi.

Diğer taraftan, her iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, hem tuz stresi hem de Trp ön uygulaması yapılan koşullarında tuz stresine toleranslı mısır çeşidinde, duyarlı olana kıyasla kök Ψ_s 'ni önemli düzeyde ($p < 0,05$) arttığı görüldü.

Tablo 5. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak ve kök ozmotik potansiyeline (Ψ_s) etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Her bir sütundaki farklı küçük harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir. Her satırdaki farklı büyük harfler, her mısır çeşidinde farklı parametreler arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

Uygulamalar	Ozmotik potansiyel (Ψ_s , MPa)			
	Yaprak (Ψ_s)		Kök (Ψ_s)	
	Zea mays L. 'DKC6590'	Zea mays L. 'DKC6724'	Zea mays L. 'DKC6590'	Zea mays L. 'DKC6724'
Kontrol	-0,779 fA	-0,777 hA	-0,466 hB	-0,580 fB
25 mM NaCl	-0,834 eB	-0,879 fA	-0,540 fD	-0,645 dC
50 mM NaCl	-0,878 dB	-0,915 eA	-0,635 dB	-0,757 cdB
100 mM NaCl	-0,886 dB	-0,972 dA	-0,683 cD	-0,808 bC
150 mM NaCl	-1,011 cB	-1,134a bA	-0,850 aD	-0,949 aC
Trp (0,1 mM)	-0,790 fA	-0,818 gA	-0,392 gC	-0,549 eB
Trp+25 mM NaCl	-0,819 eB	-0,921eA	-0,457 hD	-0,602 dC
Trp + 50 mM NaCl	-0,866 dB	-1,000 cA	-0,568 eD	-0,693 cC
Trp + 100 mM NaCl	-1,033 bA	-1,070 bA	-0,636 dC	-0,753 cB
Trp + 150 mM NaCl	-1,106 aA	-1,234 aA	-0,789 abC	-0,902 aB

3.3. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Mineral İçeriğine Olan Etkisi

3.3.1. Kök Na^+ , K^+ ve Cl^- İçeriği

Artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl) her iki mısır çeşidinde de Na^+ içeriğini (Tablo 6) kontrol bitkilerine kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) doz bağımlı bir şekilde ('DKC6590', $r = 0,893$; 'DKC6724', $r = 0,943$; $p < 0,05$) artırdığı belirlendi. Benzer şekilde, tuz stresi ile kombine edilen Trp (0,1 mM) uygulaması kontrol bitkilerine kıyasla kök Na^+ içeriğini (Tablo 6) önemli düzeyde ('DKC6590', $r = 0,918$; 'DKC6724', $r = 0,860$; $p < 0,05$) artırdı. Kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl) Na^+ içeriğini, tuza toleranslı çeşitte ('DKC6590') yaklaşık 14 ve 29 kat arasında ve tuza duyarlı çeşitte ise ('DKC6724') yaklaşık 13 ve 27 kat arasında arttırdığı kaydedildi. Trp ön uygulaması tuz stresi ile kombine edildiğinde ise, kontrol bitkilerine kıyasla, Na^+ içeriği tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') yaklaşık 14 ve 31,3 kat ve tuz stresine duyarlı çeşitte yaklaşık 16 ve 25,5 kat arttırdığı belirlendi.

Diğer yandan, tuz stresi uygulaması koşullarında, tuza toleranslı mısır çeşidi 'DKC6590' (16 ila 29 kat arasında), tuza duyarlı mısır çeşidi 'DKC6724' (13 ila 27 kat arasında) ile karşılaştırıldığında Na^+ içeriğinde önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir artış sergilendiği belirlendi. Benzer şekilde, tuz stresinin Trp uygulaması ile birleştirildiği büyüme koşullarında, 'DKC6590' çeşidindeki Na^+ içeriğinin (14 ila 31,3 kat arasında) 'DKC6724' çeşidine (16 ila 25,5 kat arasında) kıyasla önemli düzeyde arttığı kaydedildi. Benzer şekilde, tuz stresinin Trp uygulaması ile birleştirildiği büyüme koşullarında, 'DKC6590' çeşidinin Na^+ içeriği (14 ila 31,3 kat arasında) 'DKC6724' çeşidinkine (16 ila 25,5 kat arasında) kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) arttığı kaydedildi.

Na^+ içeriğinden farklı olarak, K^+ içeriği, hem tuz stresi uygulamalarında ('DKC6724', $r = -0,839$; 'DKC6590', $r = -0,974$; $p < 0,05$), hem de Trp ile tuz stresinin kombine edildiği uygulamalarda birlikte ('DKC6724', $r = -0,979$; 'DKC6590', $r = 0,899$; $p < 0,05$), her iki mısır çeşidinde de artan tuz stresıyla (25 - 150 mM NaCl) önemli düzeyde ($p < 0,05$) azaldı. Artan tuz stresi, tuza toleranslı mısır çeşidinde K^+ içeriğinin %11,6 ile %42,5 arasında azalmasına neden olurken, tuza duyarlı mısır çeşidinde %15,7 ile %33,6 arasında bir azalma kaydedildiği tespit edildi. Trp uygulaması, 'DKC6590' çeşidinde K^+ içeriğini uygulama yapılmayan grubuna kıyasla %10 artırırken, 'DKC6724' mısır çeşidinde ise herhangi bir etki sağlamadığı kaydedildi.

Diğer yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, 'DKC6590' mısır çeşidi 'DKC6724' mısır çeşidinden önemli düzeyde daha yüksek K^+ içeriğine sahip olduğu belirlendi. Na^+ ve K^+ içeriğinin aksine, artan tuz stresi koşulları (25-150 mM NaCl) ya da Trp ve tuz stresinin birlikte uygulandığı koşullarda (Trp + NaCl) her iki çeşitte de Cl içeriği üzerinde önemli düzeyde tespit edilebilir bir etki göstermediği belirlendi.

Artan tuz stresi, K^+/Na^+ oranını tuz stresine toleranslı mısır çeşidinde kontrol bitkilerine kıyasla %92 ila %97 oranında azaltırken, tuz stresine duyarlı mısır çeşidinde %89 ila %94 oranında azalttığı tespit edildi. Ancak, Trp ön uygulaması 'DKC6590' ve 'DKC6724' mısır çeşitlerinde sırasıyla %22 ve %2 oranında K^+/Na^+ oranını arttırdığı belirlendi

Artan tuz stresi, Na^+/K^+ oranını tuz stresine toleranslı çeşitte kontrol bitkilerine kıyasla 11 ila 34,5 kat azaltırken, tuz stresine duyarlı çeşitte 10,7 ila 28,3 kat artırdı. Bununla birlikte, tuz stresinin Trp uygulaması ile birleştirildiği büyüme koşullarında, 'DKC6724' mısır çeşidine göre (13 ila 30 kat) 'DKC6590' mısır çeşidinde (10 ila 32,4 kat) Na^+/K^+ oranının önemli düzeyde arttığı kaydedildi.

Tablo 6. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisi yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök Na^+ , K^+ ve Cl^- içeriklerine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Her bir sütundaki farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

	Uygulamalar	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Na ⁺ /K ⁺	K ⁺ /Na ⁺
Zea mays L. 'DKC6590'	Kontrol	1,49±0,00 i	39,13±0,01b	3,64±0,04 bc	26,15±0,05 b	0,03±0,00 i
	25 mM NaCl	15,68±0,01 g	34,57±0,01 f	3,70±0,06 b	2,20±0,00 c	0,45±0,00 g
	50 mM NaCl	22,61±0,00 f	35,47±0,01 e	3,80±0,10 a	1,56±0,00 d	0,63±0,00 e
	100 mM NaCl	24,90±0,00 d	26,00±0,00 h	3,55±0,11cd	1,04±0,00 ef	0,95±0,00 c
	150 mM NaCl	30,41±0,01 b	22,52±0,01 j	3,80±0,04 a	0,740±0,00 g	1,35±0,00 a
	Trp (0,1 mM)	1,34±0,02 ij	43,11±0,00 a	3,73±0,03 ab	32,02±0,00 a	0,03±0,00 j
	Trp + 25 mM NaCl	15,48±0,00 h	37,33±0,02 c	3,53±0,13 d	2,41±0,01 c	0,41±0,00 h
	Trp + 50 mM NaCl	22,87±0,01 e	36,28±0,00 d	3,61±0,15 c	1,58±0,00 d	0,63±0,00 f
	Trp + 100 mM NaCl	28,57±0,01 c	32,54±0,00 g	3,50±0,07 e	1,13±0,00 e	0,87±0,00 d
	Trp + 150 mM NaCl	32,84±0,02 a	25,81±0,00 a	3,35±0,16 f	0,78±0,00 g	1,27±0,00 b
Zea mays L. 'DKC6724'	Kontrol	1,46±0,03 h	37,26±0,01 b	3,59±0,02 b	25,47±0,05 b	0,03±0,00 i
	25 mM NaCl	14,41±0,04 g	31,42±0,00 d	3,59±0,01 b	2,18±0,00 c	0,45±0,00 h
	50 mM NaCl	14,41±0,04 g	26,57±0,00 f	3,70±0,03 a	1,84±0,00 c	0,54±0,00 f
	100 mM NaCl	20,61±0,00 d	27,92±0,01 e	3,69±0,01 ab	1,35±0,00 d	0,73±0,00 e
	150 mM NaCl	28,32±0,00 a	24,73±0,00 i	3,72±0,2 a	0,87±0,00 f	1,14±0,00 b
	Trp (0,1 mM)	1,44±0,01 h	37,45±0,01 a	3,50±0,01 c	25,89±0,00 a	0,03±0,00 i
	Trp + 25 mM NaCl	17,39±0,04 f	32,29±0,01 c	3,70±0,02 a	1,85±0,00 c	0,53±0,00 g
	Trp + 50 mM NaCl	20,17±0,01 e	25,75±0,00 h	3,71±0,01 a	1,27±0,01 de	0,78±0,00 d
	Trp + 100 mM NaCl	25,26±0,01 c	26,07±0,01 g	3,46±0,03 d	1,03±0,00 e	0,96±0,00 c
	Trp + 150 mM NaCl	26,96±0,01 b	22,30±0,02 j	3,46±0,01 d	0,82±0,00 g	1,20±0,00 a

3.3.2. Yaprak Na^+ , K^+ ve Cl^- İçeriği

Artan tuz stresi (25mM - 150 mM NaCl) her iki mısır çeşidinde de Na^+ içeriğini (Tablo 7) kontrol bitkilerine kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) doz bağımlı olarak ('DKC6590', $r = 0,990$; 'DKC6724', $r = 0,907$; $p < 0,05$) olarak artırdığı kaydedildi. Benzer şekilde, tuz stresi ile kombine edilen Trp uygulaması (0,1 mM) kontrol bitkilerine kıyasla yaprak Na^+ içeriğini (Tablo 7) önemli düzeyde ('DKC6590', $r = 0,922$; 'DKC6724', $r = 0,856$; $p < 0,05$) artırdı. Kontrol bitkileriyle kıyaslandığında artan tuz stresi (25mM - 150

mM NaCl) Na^+ içeriğini, tuza toleranslı çeşitte ('DKC6590') yaklaşık 3 ve 16 kat ve tuza duyarlı çeşitte ise ('DKC6724') yaklaşık 4,2 ve 10,8 kat arasında artırdığı belirlendi. Trp ön uygulaması tuz stresi ile kombine edildiğinde ise, kontrol bitkilerine kıyasla, Na^+ içeriği tuza toleranslı çeşitte ('DKC6590') 3,3 ve 11,6 kat ve tuz stresine duyarlı çeşitte ise 3,6 ve 11,8 kat arasında artırdığı görüldü. Bununla birlikte, kontrol gruplarında Na^+ içeriği 150 mM NaCl uygulama gruplarına kadar önemli düzeyde artarken, Trp uygulanan bitkilerinde, her iki mısır çeşidinde de 100 mM NaCl uygulama gruplarına kıyasla 150 mM NaCl uygulama gruplarında Na^+ içeriğinin azaldığı tespit edildi.

Öte yandan, tuz stresi uygulamaları koşullarında, Na^+ içeriği tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinde (3 ila 16 kat) tuza duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidine (4,2 ila 10,4 kat) kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) arttığı belirlendi. Ancak, tuz stresinin Trp uygulaması ile birleştirildiği büyüme koşullarında, 'DKC6590' mısır çeşidinin Na^+ içeriğinin (3,3 ila 11,8 kat arasında) 'DKC6724' çeşidine ((3,6 ila 11,8 kat arasında) kıyasla önemli düzeyde artırmadığı kaydedildi.

Na^+ içeriğinden farklı olarak, K^+ içeriği (Tablo 7), hem tuz stresi uygulamalarında ('DKC6724', $r = -0,384$; 'DKC6590', $r = -0,985$; $p < 0,05$), hem de Trp ile tuz stresinin kombine edildiği uygulamalarda ('DKC6724', $r = -0,679$; 'DKC6590', $r = -0,838$; $p < 0,05$), her iki çeşitte de artan tuz stresiyle birlikte (25 mM - 150 mM NaCl) önemli düzeyde ($p < 0,05$) azaldığı kaydedildi. Bununla birlikte, artan tuz stresi koşullarında sadece tuza toleranslı mısır çeşidinde K^+ miktarında doz bağımlı bir şekilde önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir azalma görüldü. Dolayısıyla, artan tuz stresi, tuza toleranslı çeşitte K^+ içeriğinin %6,4 ile %48 arasında değişen bir miktarda azalmasını sağlarken, tuza duyarlı mısır çeşidinde ise %9,4, 16,6, 23 ve %21,6 oranlarında azalmasına neden oldu. Trp uygulaması, 'DKC6590' mısır çeşidinde K^+ içeriğini kontrol bitkilerine kıyasla %4,7 artırırken, 'DKC6724' mısır çeşidinde ise herhangi bir etki sağlamadığı kaydedildi. Diğer yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, 'DKC6724' mısır çeşidi 'DKC6590' mısır çeşidinden önemli düzeyde daha yüksek K^+ miktarına sahip olduğu belirlendi.

Köke benzer şekilde, artan tuz stresi koşulları (25-150 mM NaCl) ya da Trp ve tuz stresinin birlikte uygulandığı koşullarda (Trp + NaCl) her iki mısır çeşidinde de yaprak Cl^- içeriği (Tablo 7) üzerinde önemli düzeyde tespit edilebilir bir etki göstermediği belirlendi.

Artan tuz stresi, Na^+/K^+ (Tablo 7) oranını tuz stresine toleranslı çeşitte kontrol grubuna kıyasla 3 ila 32 kat artırırken, tuz stresine duyarlı mısır çeşidinde 4 ila 10 kat artırdığı tespit edildi. Bununla birlikte, tuz stresinin Trp uygulaması ile birleştirildiği

büyüme koşullarında, 'DKC6724' mısır çeşidine kıyasla (13 ila 30 kat) 'DKC6590' mısır çeşidinde (10 ila 32,4 kat) Na^+/K^+ oranının önemli düzeyde arttığı kaydedildi.

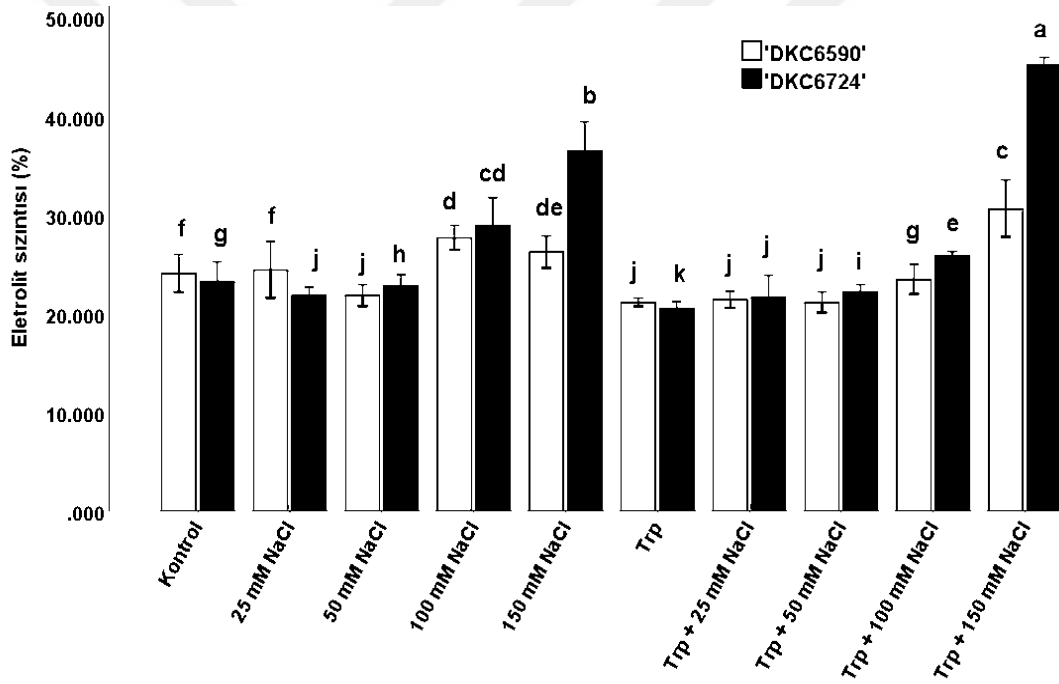
Artan tuz stresi, K^+/Na^+ oranını (Tablo 7) tuz stresine toleranslı mısır çeşidinde kontrol bitkilere kıyasla %75 ila %96 arasında azaltırken, tuz stresine duyarlı mısır çeşidinde ise %82 ila %93 arasında azalttığı belirlendi. Bununla birlikte, Trp ön uygulaması 'DKC6590' mısır çeşidinin K^+/Na^+ oranını %18,4 artırdı ve 'DKC6724' mısır çeşidinin K^+/Na^+ oranını %7,2 azalttığı tespit edildi.

Tablo 7. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak Na^+ , K^+ ve Cl^- içeriğine ve oranlarına (K^+/Na^+ ve Na^+/K^+) etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Her bir sütundaki farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

	Uygulamalar	Na^+	K^+	Cl^-	Na^+/K^+	K^+/Na^+
Zea mays L. 'DKC6590'	Kontrol	0,85±0,03 i	56,17±0,02 b	2,60±0,03 b	0,01±0,00 g	65,98±0,05 b
	25 mM NaCl	3,22±0,02 h	52,60±0,01 c	2,93±0,04 a	0,06±0,00 f	16,29±0,04 c
	50 mM NaCl	6,96±0,01 e	49,37±0,01 f	2,61±0,03 b	0,14±0,00 e	7,09±0,01 e
	100 mM NaCl	11,26±0,00 b	42,56±0,00 hi	2,12±0,01 d	0,26±0,00 b	3,78±0,01 fg
	150 mM NaCl	14,48±0,05 a	29,20±0,04 i	2,29±0,06 c	0,49±0,01 a	2,01±0,00 g
	Trp (0,1 mM)	0,75±0,01 i	58,84±0,01 a	2,05±0,02 d	0,01±0,00 g	78,12±0,06 a
	Trp + 25 mM NaCl	3,64±0,00 g	50,87±0,01 d	2,39±0,05 c	0,07±0,00 f	13,97±0,03 d
	Trp + 50 mM NaCl	6,35±0,02 f	46,87±0,00 f	2,64±0,01 b	0,13±0,00 e	7,38±0,02 e
	Trp + 100 mM NaCl	10,77±0,00 c	43,33±0,02 h	2,29±0,04 c	0,24±0,00 c	4,02±0,00 f
	Trp + 150 mM NaCl	10,05±0,00 d	44,47±0,00 g	2,62±0,03 b	0,22±0,00 d	4,42±0,00 f
Zea mays L. 'DKC6724'	Kontrol	0,78±0,00 j	59,43±0,02	1,98±0,01 d	0,01±0,00 j	75,84±0,05 a
	25 mM NaCl	4,06±0,01 g	55,60±0,01 e	2,22±0,02 bc	0,07±0,00 g	13,66±0,04 d
	50 mM NaCl	6,40±0,01 f	50,47±0,01 j	2,32±0,03 b	0,12±0,00 e	7,88±0,01 ef
	100 mM NaCl	9,27±0,00 b	53,06±0,00 g	2,34±0,01 b	0,17±0,00 b	5,72±0,00 h
	150 mM NaCl	8,96±0,02 c	55,07±0,00 f	2,17±0,05 c	0,16±0,00 c	6,14±0,01 g
	Trp (0,1 mM)	0,81±0,03 i	57,06±0,00 d	2,43±0,04 a	0,01±0,00 i	70,38±0,05 b
	Trp + 25 mM NaCl	3,57±0,01 h	67,73±0,01 a	1,96±0,01 d	0,05±0,00 h	18,93±0,04 c
	Trp + 50 mM NaCl	6,45±0,00 e	58,06±0,00 c	2,44±0,02 a	0,11±0,00 f	9,00±0,01 e
	Trp + 100 mM NaCl	10,01±0,00 a	52,63±0,01 h	2,22±0,02 bc	0,19±0,00 a	5,25±0,00 hi
	Trp + 150 mM NaCl	7,89±0,00 d	51,89±0,00 i	2,38±0,05 ab	0,15±0,00 d	6,57±0,01 f

3.4. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Elektrolit Sızıntısı (ES) Üzerine Olan Etkisi

Artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl) ve triptofan (0,1 mM) uygulamaları doz bağımlı olarak her iki mısır çeşidinin elektrolit sızıntısı (ES) değerini kontroller bitkilere kıyasla önemli düzeyde ('DKC6724'; $r = 0,891$ ve 'DKC6590'; $r = 0,491$; $p < 0,05$) artırdığı belirlendi (Şekil 10). Ancak tuza toleranslı çeşitte ES'deki artış önemli kabul edebilir düzeyde ($r = 0,491$; $p < 0,05$) göstermediği tespit edildi. Tuz stresi, tuza toleranslı çeşitte ('DKC6590') kontrol bitkilerine kıyasla ES'nı 100 ve 150 mM NaCl uygulamalarında sırasıyla yaklaşık %15 ve %9 oranında artırırken, tuza duyarlı çeşitte ('DKC6724') bu artış yaklaşık %24 ve %56,6 olarak belirlendi.



Şekil 10. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön muamelesinin elektrolit sızıntısı (ES)'na etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

Tuz stresi uygulamasının aksine, Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde (Şekil 9) de ES'nı önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalttığı belirlendi. Kontrol bitkileri ile kıyaslandığında, Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde de ES'da önemli ($p < 0,05$) bir artışa neden oldu ('DKC6590', $r = 0,843$; 'DKC6724', $r = 0,886$; $p < 0,05$). Kontrol grubu ile

karşılaştırıldığında, Trp uygulaması 150 mM NaCl koşullarında tuza toleranslı ('DKC6590') mısır çeşidinin ES değerini %27,2 artırırken, tuza duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinin ES'nı ise %94 artırdı.

Diğer yandan, genel olarak, tuza duyarlı 'DKC6724' çeşidinde, tuza toleranslı 'DKC6590' çeşidine kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir ES artışı belirlendi. Tuza duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde tuza toleranslı 'DKC6590' çeşidine kıyasla, ES kontrol bitkilerinde 100 ve 150 mM NaCl koşullarında sırasıyla yaklaşık %9 ve %47,6 artırılırken, Trp ön uygulaması tuz stresi ile kombine edilen koşullarda 100 ve 150 mM NaCl koşullarında sırasıyla ES yaklaşık %13,6 ve %66,7 artırıldığı belirlendi.

3.5. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Fotosentez Üzerine Olan Etkisi

3.5.1. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Fotosentetik Pigmentler İçeriğine Olan Etkisi

Her iki mısır çeşidinin klorofil *a* içeriği (Tablo 8), artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl) koşullarında kontrol bitkilerine kıyasla ve tuz stresi dozu bağımlı bir şekilde önemli düzeyde ($p < 0,05$) artış gösterdi. Ancak 150 mM NaCl koşullarında azalmaya başladığı belirlendi. Tuz stresine toleranslı çeşitte ('DKC6590'), artan tuz stresi, kontrol bitkilerine kıyasla klorofil *a* içeriğini sırasıyla %14,6, %16, %34,5 ve %28 arttırdığı tespit edildi. Tuz stresine duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise artan tuz stresi kontrol bitkilerinde klorofil *a* içeriğini sırasıyla %16,6, %26, %32 ve %7,6 arttırdığı belirlendi. Trp ön muamelesi ile tuz stresi kombine edildiği koşullardaki büyüyen bitkiler kontrollerine kıyasla, her iki mısır çeşidinde, klorofil *a* içeriğinin önemli düzeyde azaldığı kaydedildi.

Öte yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, genel olarak, 'DKC6724' çeşidi hem kontrol koşullarında hem de Trp ön muamelesi ile tuz stresi kombine edildiğinde, 100 mM NaCl grubuna kadar, 'DKC6590' çeşidinden önemli düzeyde ($p < 0,05$) daha fazla klorofil *a* içeriği sergilediği kaydedildi. Bununla birlikte 150 mM NaCl uygulamasında 'DKC6590' çeşidinde 'DKC6724' çeşidinden daha fazla klorofil *a* içeriğine sahip olduğu görüldü.

Klorofil *a* içeriğinde olduğu gibi, artan tuz stresi 100 mM NaCl grubuna kadar, her iki mısır çeşidinde de klorofil *b* içeriğinin (Tablo 8) artmasına neden olurken, 150 mM NaCl grubundaki klorofil *b* içeriği, 100 mM NaCl grubundakine kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) azaldığı belirlendi. 'DKC6590' mısır çeşidinde artan tuz stresi, klorofil *b* içeriği

kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %14, %15, %34, %26 artırırken, 'DKC6724' mısır çeşidinde klorofil *b* içeriğini %21, %40, %50, %28 oranında arttırdığı tespit edildi. Bununla birlikte tuz stresi koşullarında, her iki mısır çeşidinde de Trp ön muamelesi yapılan grupların klorofil *b* içeriği Trp ön muamele edilmeyenlere kıyasla azaldığı belirlendi. Ayrıca tohumlar Trp ile muamele edildiğinde, her iki çeşitte de Trp ön muamele edilen grupların klorofil *b* içeriği muamele edilmeyenlere kıyasla azaldığı görüldü.

Diğer taraftan, kontrol gruplarında, tuza toleranslı mısır çeşidi, tuz stresine duyarlı mısır çeşidine kıyasla artan tuz stresinde sırasıyla %96,8, %84,6, %62,2, %77, %95,1 daha fazla klorofil *b* içeriğine sahip olduğu belirlendi. Trp ön muamelesi koşullarında ise tuza toleranslı mısır çeşidi, tuz stresine duyarlı mısır çeşidine kıyasla artan tuz stres sırasıyla %87,7, %66,6, %83,3, %56, %80 daha fazla klorofil *b* içeriğine sahip olduğu kaydedildi

Artan tuz stresi, kontrol grubuna kıyasla, toplam klorofil (Tkl) içeriğini (Tablo 8), her iki mısır çeşidinde de 100 mM NaCl grubuna kadar önemli düzeyde ($p < 0,05$) arttırdığı, ancak 150 mM uygulama grubunda ise içeriğin azaldığı belirlendi. 'DKC6590' mısır çeşidinde Tkl içeriği, artan tuz stresinde kontrol bitkilerine kıyasla sırasıyla %18,6, %19,7, %39,5, %31,6 oranında artırırken, 'DKC6724' mısır çeşidinde %17,3, %28,2, %36,2, %11,5 oranında arttırdığı belirlendi. Trp ön uygulaması, kontrol bitkilerine kıyasla her iki mısır çeşidinde de toplam Tkl içeriğini hafifçe azalttığı ya da üzerinde bir etkisi olmadığı görüldü.

Diğer taraftan, her iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, hem kontrol hem de Trp ön uygulaması yapılan gruplarda, tuz stresine toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidi tuzluluğa duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinden daha fazla Tkl içeriğine sahip olduğunu gösterdi. Trp ön uygulaması yapılmayan gruplarında 'DKC6590' mısır çeşidi 'DKC6724' mısır çeşidinden, artan tuz stresinde sırasıyla, %13,4, %14, %6, %17, %33 daha fazla Tkl içeriğini artırdığı belirlendi. Trp ön uygulaması yapılan gruplarda ise, 'DKC6590' mısır çeşidi 'DKC6724' mısır çeşidinden %11,4, %8,4, %22,7, %3, %23,8 daha fazla Tkl içeriğine sahip olduğu görüldü (Tablo 8).

Artan tuz stresi kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, klorofil *a/b* oranı her iki mısır çeşidinde de önemli düzeyde ($p < 0,05$) artırdığı görüldü. 'DKC6590' çeşidinde, klorofil *a/b* oranını hem kontrol gruplarında hem de Trp ön muamele edildiğinde artan tuzluluk stresiyle önemli düzeyde ($p < 0,05$) arttığı tespit edildi. Bununla birlikte, 'DKC6724' çeşidinde, klorofil *a/b* (Tablo 8) oranı kontrol grubu ile farklı tuz stresi uygulanan grupları arasında Trp ön uygulama yapılan ya da uygulaması yapılmayan gruplarda önemli düzeyde

($p < 0,05$) farklılık gösterirken, artan tuz stresi grupları arasında önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir farklılık sergilemediği belirlendi.

Tkl içeriğine benzer şekilde artan tuz stresi, kontrol bitkilerine kıyasla toplam karotenoid (Tkar) içeriğini (Tablo 8), ve her iki mısır çeşidinde de tuz stresi uygulama dozu bağımlı bir şekilde (100 mM NaCl grubuna kadar) önemli düzeyde arttığı belirlendi. Bununla birlikte, 150 mM NaCl kontrole kıyasla Tkar içeriğini arttırmasına neden olsa da, 100 mM NaCl grubuna kıyasla azalttığı görüldü. Tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinde, artan tuz stresi koşullarındaki Tkar içeriği kontrol bitkilerine kıyasla sırasıyla %21,3, %26,3, %41,2, %25,5 arttığı kaydedildi. Duyarlı çeşitle ilgili olarak, tuz stresi uygulanan bitkilerdeki karotenoid içeriği, kontrol grubuna kıyasla yaklaşık %12,8, %14, %15,3, %5,8 oranında artırdığı belirlendi. Trp ön uygulaması, kontrol bitkilerine kıyasla her iki mısır çeşidinde de Tkar üzerinde bir etkisi olmadığı belirlendi.

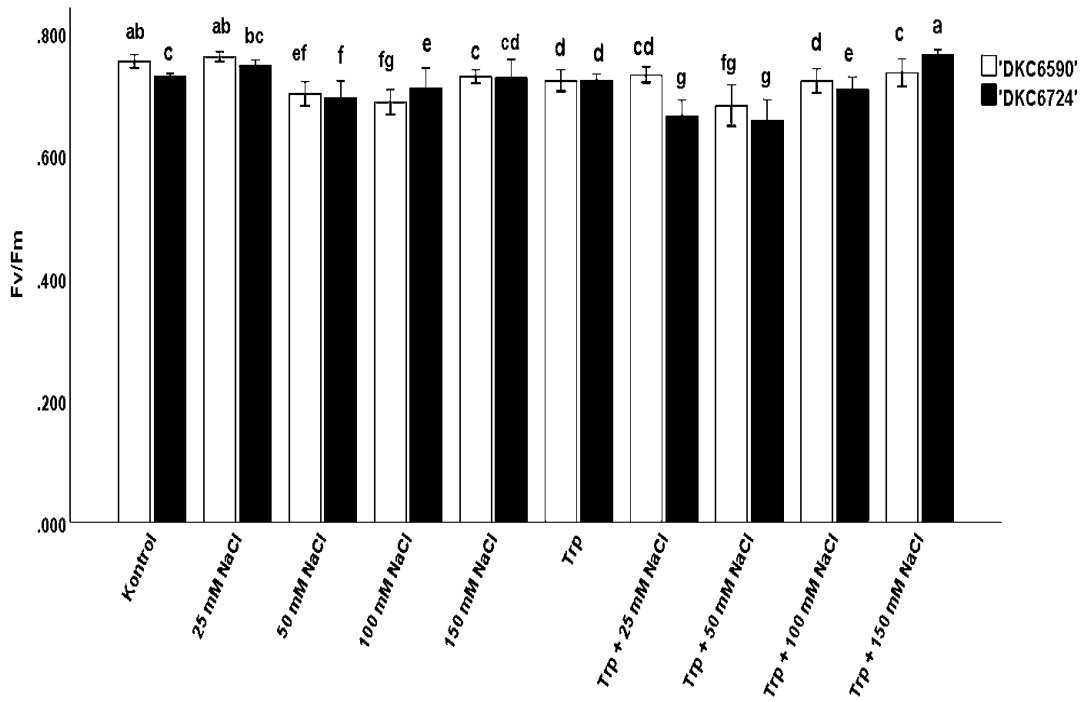
Diğer yandan, her iki mısır çeşidinin karşılaştırıldığında, 'DKC6724' çeşidinin hem Trp ön uygulaması yapılan hem de yapılmayan gruplarda 'DKC6590' çeşidinden daha yüksek toplam karotenoid içeriğine sahip olduğu kaydedildi. Tuz stresine duyarlı 'DKC6724' çeşidi kontrol koşullarında tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidiyle kıyaslandığında artan tuzluluk stresinde sırasıyla %61, %49,5, %45,4, %31,4, %35,7 daha fazla Tkar içeriğine sahip olduğu kaydedildi. Trp ile tuz stresinin kombine olduğu büyüme koşullarında ise, 'DKC6724' mısır çeşidi 'DKC6590' mısır çeşidine kıyasla artan tuz stresinde sırasıyla %61, %49,5, %45,4, %31,4, %35,7 oranında Tkar içeriğini azalttığı kaydedildi (Tablo 8).

Tablo 8. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak fotosentetik pigmentler içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Her bir sütundaki farklı küçük harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

	Uygulamalar	Klorofil a	Klorofil b	Toplam klorofil	Klorofil a/b	Toplam karotenoid
<i>Zea mays</i> L. 'DKC6590'	Kontrol	1,14±0,02 f	0,63±0,01 f	1,77±0,03 g	1,80±0,02 ef	0,15±0,00 i
	25 mM NaCl	1,38±0,01 d	0,72±0,03 de	2,10±0,05 ef	1,90±0,04 c	0,18±0,00 h
	50 mM NaCl	1,39±0,01 d	0,73±0,01 de	2,12±0,03 ef	1,89±0,03 de	0,19±0,00 d
	100 mM NaCl	1,62±0,02 a	0,85±0,01 a	2,47±0,03 a	1,91±0,02 b	0,21±0,00 a
	150 mM NaCl	1,53±0,07 b	0,80±0,04 b	2,33±0,02 b	1,89±0,02 de	0,19±0,05 e
	Trp (0,1 mM)	1,13±0,01 g	0,62±0,01 g	1,75±0,02 gh	1,81±0,05 e	0,15±0,00 j
	Trp + 25 mM NaCl	1,34±0,01 e	0,70±0,04 e	2,05±0,06 f	1,90±0,02 c	0,18±0,00 f
	Trp + 50 mM NaCl	1,49±0,00 c	0,77±0,01 c	2,27±0,02 d	1,93±0,03 a	0,20±0,00 b
	Trp + 100 mM NaCl	1,50±0,01 c	0,78±0,00 c	2,28±0,00 c	1,92±0,02 a	0,19±0,00 c
	Trp + 150 mM NaCl	1,38±0,01 d	0,74±0,02 d	2,13±0,02 e	1,85±0,01 d	0,17±0,00 h
<i>Zea mays</i> L. 'DKC6724'	Kontrol	1,23±0,04 h	0,32±0,05 g	1,56±0,02 gh	3,76±0,04 a	0,24±0,00 g
	25 mM NaCl	1,43±0,01 de	0,39±0,01 f	1,83±0,01 e	3,63±0,01 b	0,28±0,00 d
	50 mM NaCl	1,55±0,01 c	0,45±0,01 c	2,00±0,05 c	3,41±0,05 c	0,28±0,00 c
	100 mM NaCl	1,62±0,01 b	0,48±0,02 b	2,11±0,02 b	3,40±0,01 c	0,28±0,00 b
	150 mM NaCl	1,32±0,01 f	0,41±0,03 e	1,74±0,03 f	3,40±0,02 c	0,26±0,00 g
	Trp (0,1 mM)	1,24±0,01 i	0,33±0,01 g	1,57±0,01 g	3,77±0,01 a	0,25±0,00 f
	Trp + 25 mM NaCl	1,43±0,02 e	0,42±0,01 d	1,89±0,02 d	3,42±0,01 c	0,26±0,00 e
	Trp + 50 mM NaCl	1,56±0,01 d	0,42±0,01 de	1,85±0,02 de	3,40±0,04 c	0,27±0,00 d
	Trp + 100 mM NaCl	1,70±0,01 a	0,50±0,02 a	2,21±0,07 a	3,40±0,03 c	0,30±0,00 a
	Trp + 150 mM NaCl	1,31±0,02 fg	0,41±0,05 e	1,72±0,04 f	3,40±0,01 c	0,24±0,00 h

3.5.2. Tuz Stresi Ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Klorofil Fluoresansına (F_v/F_m) Olan Etkisi

Klorofil floresansı (F_v/F_m), her iki mısır çeşidinde de kontrol bitkilerine kıyasla artan tuz stresinde önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalma gösterdi (Şekil 11). Ancak, bu azalma tuz stresinde doz bağımlı olarak ('DKC6724'; $r = -0,142$ ve 'DKC6590'; $r = -0,460$; $p < 0,05$) gerçekleşmediği belirlendi. Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde de (Şekil 8) kontrol bitkilerine kıyasla ve artan tuz stresi koşullarındaki bitkilerde F_v/F_m 'yi önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalttığı tespit edildi. Bununla birlikte, 150 mM NaCl uygulaması F_v/F_m 'de bir artışa yor açtı. Tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinde, kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında, F_v/F_m artan tuz stresinde %1, 7, 9 ve 3 oranında azalırken, tuza duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde %2,4, 5, 2,6 ve 0,3 oranında azaldığı belirlendi.

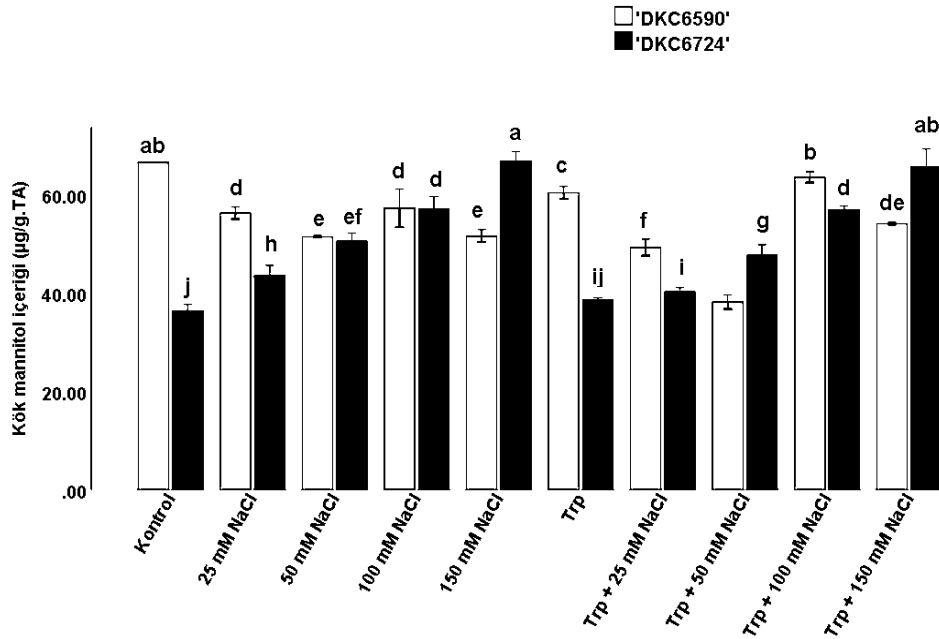


Şekil 11. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının klorofil floresansı (F_v/F_m)'na etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

3.6. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Şeker İçeriğine Olan Etkisi

3.6.1. Mannitol İçeriği

'DKC6724' mısır çeşidinde, artan tuz stresi kök mannitol içeriğini (Şekil 12), hem kontrol koşullarında ($r = 0,979$; $p < 0,05$) hem de Trp uygulaması birlikte tuz stresi ile kombine edilen koşullarda ($r = 0,982$; $p < 0,05$), tuz stresi dozuna bağlı bir şekilde önemli düzeyde ($p < 0,05$) artırdığı belirlendi. 'DKC6590' mısır çeşidinde, artan tuz stresi kontrol grubuna kıyasla tuz stresi uygulama grupları arasında mannitol içeriğinde önemli ($p < 0,05$) bir azalma olmasına rağmen, bu azalma tuz stresine bağlı bir şekilde olmadığı ($r = -0,466$; $p < 0,05$) tespit edildi. Kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında, artan tuz stresi mannitol içeriğini tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') %15,4, %22,6, %14 ve %22,5 oranında azaltırken, tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise %19,4, %38,6, %56,6 ve %83,1 oranında artırdığı belirlendi.



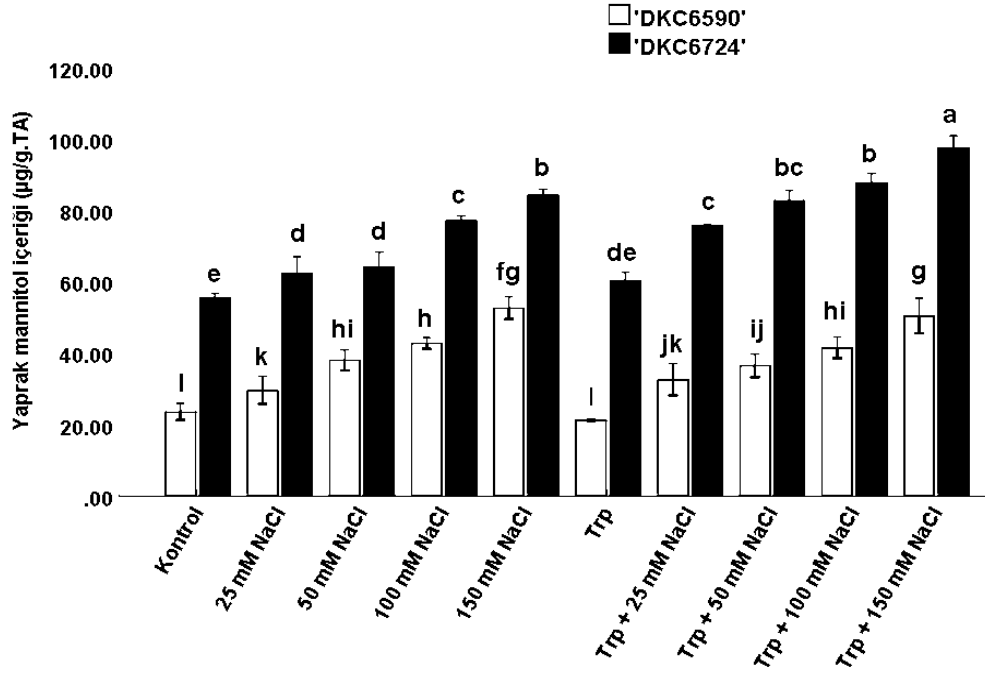
Şekil 12. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök mannitol içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

Trp ön uygulaması tuz stresi ile kombine edildiğinde ise, kontrol bitkilerine kıyasla, mannitol içeriğinin tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') %9,3 azaldığı ve tuz stresine duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') yaklaşık %6 artırdığı belirlendi. Bu sebeple artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl) ve Trp ön muamelesiyle kombine edildiğinde mannitol içeriğini, tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') %26, %42,6, %4,5 ve %18,7 azaltırken, tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise %10,4, %31, %56,2 ve %80 oranında artırdığı tespit edildi.

Öte yandan iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, kontrol koşullarında 'DKC6590' mısır çeşidi daha yüksek kök mannitol içeriğine sahip olduğu belirlendi. Ancak 150 mM NaCl uygulamasında hem tuz stresi koşullarında hem de Trp uygulaması tuz stresi ile kombine edilen koşullarda 'DKC6724' mısır çeşidi daha yüksek mannitol içeriği sergilediği görüldü.

Kök mannitol içeriğinden farklı olarak, yaprak mannitol içeriği (Şekil 13), hem tuz stresi uygulamalarında ('DKC6724', $r = 0,966$; 'DKC6590', $r = -0,958$; $p < 0,05$), hem de Trp ile tuz stresinin kombine edildiği uygulamalarda ('DKC6724', $r = 0,932$; 'DKC6590', $r = 0,922$; $p < 0,05$), her iki çeşitte de artan tuz stresiyle (25 mM - 150 mM NaCl) doz bağımlı bir şekilde önemli düzeyde ($p < 0,05$) artırıldığı kaydedildi. Kontrol bitkileriyle kıyaslandığında artan tuz stresi (25-150 mM NaCl) yaprak mannitol içeriğini, tuza toleranslı çeşitte ('DKC6590') yaklaşık %25,4 ila %123,5 arasında ve tuza duyarlı çeşitte ise ('DKC6724') yaklaşık 21 ila 60,4 arasında artırdığı tespit edildi. Trp uygulaması, tuza toleranslı çeşitteki ('DKC6590') yaprak mannitol içeriğini %9,6 oranında azaltırken, tuza duyarlı çeşitte ('DKC6724') ise %17,1 oranında artırdığı belirlendi. Trp ön uygulaması tuz stresi ile kombine edildiğinde ise, kontrol bitkilerine kıyasla, yaprak mannitol içeriği tuza toleranslı çeşitte ('DKC6590') yaklaşık %38,4 ila %114 arasında ve tuz stresine duyarlı çeşitte ise 45 ila %84,3 arasında artırdığı belirlendi.

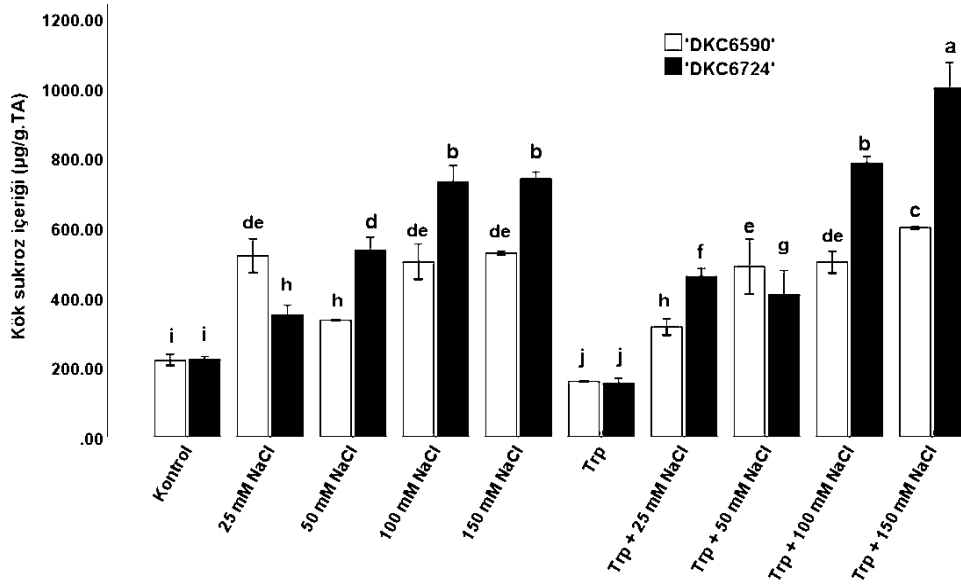
Diğer yandan, hem tuz stresi uygulamalarında hem de Trp ile tuz stresinin kombine edildiği uygulamalarda, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, tuz stresine duyarlı ('DKC6724') mısır çeşidinin tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidine kıyasla önemli düzeyde ($p < 0,05$) daha yüksek miktarda yaprak mannitol içeriğine sahip olduğu tespit edildi.



Şekil 13. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak mannitol içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

3.6.2. Sukroz İçeriği

Artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl), iki mısır çeşidinin kök sukroz içeriğini (Şekil 14), hem kontrol koşullarında ('DKC6590', $r = 0,859$; 'DKC6724', $r = 0,934$; $p < 0,05$) hem de Trp ön uygulaması ile tuz stresi kombine edilen koşullarda ('DKC6590', $r = 0,890$; 'DKC6724', $r = 0,965$; $p < 0,05$) önemli düzeyde ($p < 0,05$) artırdığı tespit edildi. Artan tuz stresi, tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinin sukroz içeriğinin 0,52 ila 1,39 kat arasında artırmaya neden olurken, tuza duyarlı DKC6724' mısır çeşidinde ise 0,52 ila 2,33 kat arasında artırdığı belirlendi. Trp uygulaması ise, 'DKC6590' mısır çeşidindeki sukroz içeriğini uygulama yapılmayan gruba kıyasla %27,6 azaltırken, 'DKC6724' çeşidinde %30,6 azaltırdığı tespit edildi. Dolayısıyla, kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında, artan tuz stresi sukroz içeriğini tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') 0,43 kat ila 1,72 kat arasında artırdığı, tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise 0,83 kat ila 3,5 kat arasında artırdığı belirlendi.

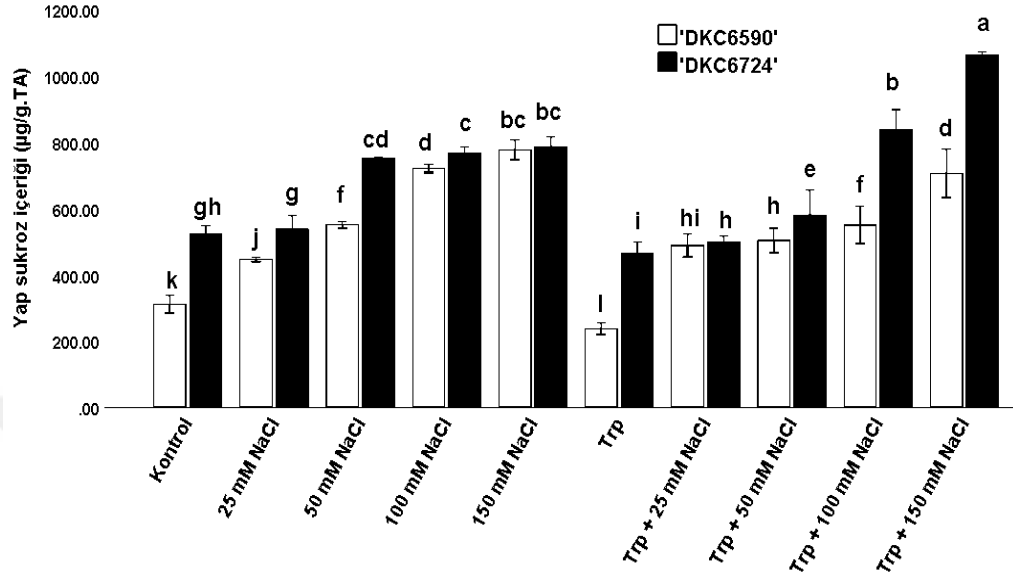


Şekil 14. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök sukroz içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, $n = 3$). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

Diğer yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, genel olarak hem kontrol koşullarında hem de Trp ön uygulamasıyla tuz stresi kombine edilen koşullarda, tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidi tuzluluğa toranslı 'DKC6590' mısır çeşidinden önemli düzeyde daha yüksek kök sukroz içeriği sergilendiği görüldü.

Köklerde olduğu gibi, artan tuz stresi, hem kontrol koşullarında ('DKC6590', $r = 0,966$; 'DKC6724', $r = 0,838$; $p < 0,05$) hem de Trp ön uygulamasıyla birlikte tuz stresinin büyüme koşullarında ('DKC6590', $r = 0,875$; 'DKC6724', $r = 0,976$; $p < 0,05$) her iki mısır çeşidinde de tuz stresi derişimleriyle birlikte yapraklardaki sukroz içeriğini (Şekil 15) önemli düzeyde artırdığı belirlendi. Tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') artan tuzluluk stresi (25 - 150 mM NaCl) kontrol bitkilerine kıyasla, yapraklardaki sukroz içeriğini, yaklaşık 0,44 ila 1,5 kat arasında artırdığı tespit edildi. Tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde ise artan tuz stresi kontrol bitkileri ile kıyaslandığında yapraklardaki sukroz içeriğini yaklaşık %2,7 ila %50,3 arasında artırdığı görüldü. Trp ön muamelesi yapılan kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında, yapraklardaki sukroz içeriği tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') %23,5 oranında azaldığı, tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise %11 oranında azaldığı belirlendi. Bu sebeple, artan tuz stresi, tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinin yapraklardaki sukroz içeriğini % 57 ila %127

arasında artırmadığını neden olduğu, tuza duyarlı 'DKC6724' çeşidinde ise %11 ila %103 arasında artırdığı kaydedildi.



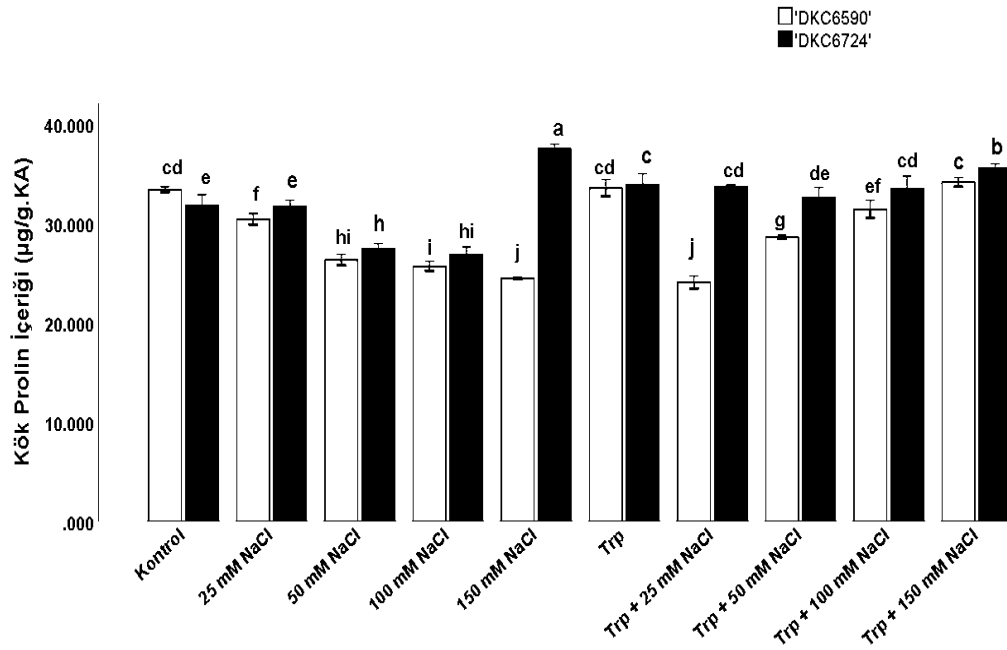
Şekil 15. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak sukroz içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, n = 3). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

Diğer yandan, köklere benzer şekilde, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, genel olarak hem kontrol koşullarında hem de Trp ön muamelesi tuz stresi kombine edilen koşullarda, tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidi tuzluluğa toranslı 'DKC6590' mısır çeşidinden önemli düzeyde daha yüksek sukroz içeriği sergilendiği tespit edildi.

3.7. Tuz Stresi ve Triptofan Uygulamalarının Mısır Fidelerinin Prolin İçeriğine Olan Etkisi

Artan tuzluluk stresi (25 - 150 mM NaCl), tuz stresine toleranslı mısır çeşidinin ('DKC6590', $r = -0,890$; $p < 0,05$) köklerindeki prolin içeriğini (Şekil 16) önemli düzeyde ve tuz stresinde doz bağımlı olarak azaltırken, tuza duyarlı mısır çeşidinde ise ('DKC6724', $r = 0,365$; $p < 0,05$) kontrol grubuna kıyasla 100 mM NaCl grubuna kadar azalttığı, ancak 150 mM NaCl uygulama grubunda ise önemli düzeyde arttığı bilirlendi. Artan tuz stresi, tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinin kök prolin içeriğinin %9 ila %27 arasında indirgenmesine neden olduğu belirlendi. Tuza duyarlı 'DKC6724' mısır

çeşidinde ise %14 ve %15,5 50 ve 100 mM NaCl gruplarında sırasıyla azaldığı ve 150 mM NaCl grubunda ise %18 artışı kaydedildi. Trp ön uygulaması ise, 'DKC6724' çeşidindeki kök prolin içeriğini uygulama yapılmayan gruba kıyasla %6,5 oranında artırırken, 'DKC6590' çeşidinde önemli düzeyde bir etkiye sahip olmadığı ortaya konuldu. Bununla birlikte, tuz stresi ile birlikte Trp ön muamelesi yapılan gruplarda kök prolin içeriği, her iki mısır çeşidinde de Trp uygulanmayan gruplara kıyasla önemli düzeyde artırdığı görüldü.



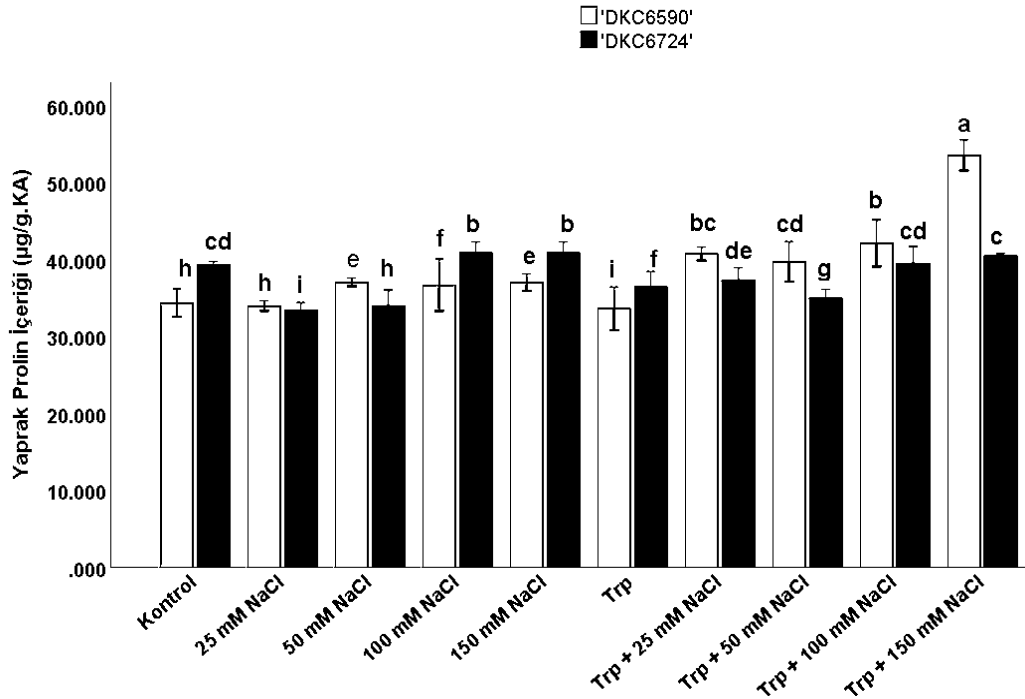
Şekil 16. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının kök prolin içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, n = 3). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

Diğer yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, genel olarak hem kontrol koşullarında hem de Trp ön uygulaması tuz stresiyle kombine edilen koşullarda, tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidi tuzluluğa toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinden önemli düzeyde daha yüksek miktarda kök prolin içeriğine sahip olduğu belirlendi.

Köklerden farklı olarak, yapraklardaki prolin içeriği (Şekil 17), hem tuz stresi uygulamalarında ('DKC6724', $r = 0,537$; 'DKC6590', $r = 0,521$; $p < 0,05$), hem de Trp ile tuz stresinin kombine edildiği koşullarda ('DKC6724', $r = 0,681$; 'DKC6590', $r = 0,886$; $p < 0,05$), her iki çeşitte de tuz stresinde doz bağımlı olarak önemli düzeyde ($p < 0,05$) artırdığı tespit edildi. Tuza toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinde artan tuz stresi kontrol

grubuyla karşılaştırıldığında prolin içeriğini %6,7 ile %7,8 arasında artırdığı ve tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidinde ise 100 ve 150 mM NaCl uygulama gruplarında %4 oranında arttırdığı kaydedildi. Fakat Trp ön muamelesi kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında, yapraklardaki prolin içeriğini tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') %2,1 oranında azalttığı, tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise %7,2 oranında azalttığı belirlendi. Trp ile tuz stresi kombine edildiğinde ise, artan tuz stresi kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') prolin içeriğini yaklaşık %18,5 ile %55,7 oranında artırdığı ve tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise prolin içeriğinin sadece 150 mM NaCl uygulama grubunda yaklaşık %3 artırdığı belirlendi.

Diğer yandan, iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, genel olarak kontrol koşullarında, tuz stresine duyarlı 'DKC6724' mısır çeşidi tuzluluğa toranslı 'DKC6590' mısır çeşidinden önemli düzeyde daha yüksek prolin içeriği sergilediği, Trp ön muamelesi tuz stresi kombine edildiği koşullarda ise tuzluluğa toranslı 'DKC6590' mısır çeşidi 'DKC6724' mısır çeşidinden önemli düzeyde daha yüksek yaprak prolin içeriğine sahip olduğu görüldü.



Şekil 17. Tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) bitkisine yapılan triptofan (Trp) ön uygulamasının yaprak prolin içeriğine etkisi. Değerler üç biyolojik tekrarın ortalamasıdır (ortalama + standart sapma, n = 3). Farklı harfler, farklı NaCl konsantrasyon ve Trp uygulamaları arasındaki önemlilik düzeyini ($p < 0,05$) gösterir.

4. TARTIŞMA

Tuz stresi, su alımının bozulması, normal iyon dengesinin değişmesi; temel besin maddelerinin miktarının azalması ve toksik maddelerin birikmesi gibi çeşitli yollarla bitki büyüme ve gelişmesini doğrudan etkilediği bilinmektedir (Jan vd., 2016). Bitki büyümesinin engellenmesinin ana nedeninin, toprağın ozmotik potansiyelinin azalmasından kaynaklanan suyun kullanılamamasına bağlı olarak gelişen ozmotik etki ve özel iyon toksisitesi olduğu bilinmektedir (Nemati vd., 2011). Bu süreçte, bitki büyümesinin engellenmesi, protein sentezi, enerji ve lipid metabolizması ve fotosentez verimi gibi bazı faktörlerdeki azalma, özellikle yaprak büyüme parametreleri ve bitki boyu üzerinde strese karşı yaygın bir tepki olarak ortaya çıktığı kabul edilmektedir (Hashemi & Shahani, 2019). Mevcut çalışmada, sonuçlar artan tuz stresinin (25 - 150 mM NaCl), kontrol bitkilerine kıyasla her iki mısır çeşidinin radikula, kök ve yaprak uzunluğunu doz bağımlı bir şekilde önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalttığı ortaya konuldu (Tablo 2, Şekil 6 & 7). Bu bulgulara benzer olarak birçok araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalar rapor edildi. Buna göre, Shafi vd. (2010), artan tuz stresinin 3 buğday çeşidinin toplam kök uzunluğunu önemli düzeyde azalttığını bildirdi. Thu vd. (2017), tuz stresinin farklı çeltik (*Oryza. sativa* L.) çeşitlerinin sürgün uzunluğunu kontrol grubuna kıyasla %3,8 ila %39 arasında azaltılabileceğini rapor ederken, Kumar vd. (2021) ise, artan tuz stresi ile muamele edilen *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees bitkilerinin boyunda kontrole kıyasla kademeli bir azalma kaydetti. Benzer şekilde Alkahtani ve Dwiningsih (2023) tuz stresinin çeltik (*Oryza. sativa* L.) çeşitlerinin kök uzunluğunu azalttığını rapor ettiler. Tuz stresine bağlı olarak bitki büyümesinin hem ozmotik hem de toksik nedenlerle engellenmesi stresin dozunun düzeyine bağlıdır (Aroca vd., 2012). Üstelik hafif ozmotik stres olsa bile, kökler büyümeye ve uzamaya devam etse de yaprak ve gövdenin büyümesini engelleyebilir (Nawaz vd., 2010). Yüksek NaCl derişimi koşullarında kök su alım oranındaki azalma, kök dokularında Na^+ ve Cl^- iyonlarının birikmesinden kaynaklanan özel toksik etkilerden (ROT) ya da diğer besin maddelerinin alımındaki dengesizlikten kaynaklandığı bilinmektedir (Aroca vd., 2012).

Mevcut çalışmada, tuz stresine benzer şekilde, Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde de RAU önemli düzeyde azalttığı belirlendi (Tablo 2). Bu durum, Trp'in domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkisinde büyüme parametreleri üzerinde kontrollerine kıyasla

yararlı bir etkisi olmadığını bildiren Alfosea-Simón vd. (2020)'nin bulguları ile doğrulanmaktadır. Bazı araştırmacılar bu büyüme engellemesinin bazı oksin formlarına, özellikle de IAA'ya (Indol-3-asetik asit) bağladılar (Ferro vd., 2007; Márquez vd., 2016). Ancak bu durumun çelişkili olduğu ve bitkinin üst organlarında hücre genişlemesi ve kök hücrelerinin uzaması üzerinde arttırıcı bir etkisi olduğu bilinmektedir (Edelmann, 2022). Ancak Ferro vd. (2007), mısır fidelerine düşük konsantrasyonlarda uygulanan IAA ve NAA (Naftalen asetik asit) gibi bazı büyüme uyarıcı maddeleri uyguladıklarında kök büyümesinin önemli düzeyde engellendiğini rapor ettiler. Oksin uygulaması, *Arabidopsis thaliana* L. bitkilerinde kök sistemi yapısını, özellikle birincil ve lateral kök oluşumunu, başka bir deyişle birincil kök uzamasını inhibe ederek ve lateral kök uzamasını geliştirerek değiştirir. Mısır bitkisinde oksin aynı zamanda birincil kök uzunluğunu azalttığı ve lateral kök oluşumunu uyardığını bilinmektedir. Bununla birlikte, kök uzaması engellenirse, yan kök yoğunluğu azaldığını, bu da birincil kök uzamasının lateral kök oluşumu için önemli bir gereklilik olduğu kaydedildi (Márquez vd., 2016).

Taze biyokütle ve kuru madde dağılımı, yaprak büyümesinden oluşan azalma nedeniyle tuz stresinden etkilenir (Galić vd., 2020). Toprak tuzluluğunun bitki biyokütlesi üzerindeki etkileri, esas olarak bitkilerdeki yüksek Na^+ birikimiyle bağlantılıdır (Maswada & Abd EIKader, 2016). Biyokütle verimi, bitkilerin ekonomik kazancının son durumunu temsil ettiğinden, tuzlu ortamlarda biyokütlenin azalması ürün miktarında kayıplara yol açmaktadır (Ma vd., 2021). Kontrol uygulamasına kıyasla verimdeki fark ve tuzluluk nedeniyle biyokütle verimindeki azalma, tuza toleranslı bitkiler için iki temel kriterdir. Dolayısıyla, hayatta kalma ve büyüme oranı, tuzlu ve kontrol koşulları arasındaki biyokütle verimi farkı, tuza tolerans deneylerinde en yaygın kullanılan ölçümlerdir (Han vd., 2020). Bunun nedeni, fotosentetik kapasiteyi zayıflatan ve böylece genç yapraklar olan karbohidrat destiğini azaltan ve yaprak büyümesini daha da baskılayan Na^+ 'un toksik konsantrasyon düzeyinde birikmesinden kaynaklanmaktadır (Ma vd., 2021). Mevcut çalışmada, artan tuz stresi (25-150 mM NaCl) her iki mısır çeşidinde de önemli düzeyde ($p < 0,05$), tuz dozuna bağımlı bir şekilde, kök ve yaprak taze ağırlığını (Tablo 3) yanı sıra kök ve yaprak kuru ağırlığını (Tablo 4) azalttığı görüldü. Bu durum, artan tuz stresinin *Taraxacum officinale* bitkisinin kök ve sürgün taze ve kuru ağırlığını önemli düzeyde azalttığını bildiren Zhu vd. (2022)'nin bulgularıyla uyumludur. Benzer şekilde, Karimi ve Hasanpour (2014) tuz stresi nedeniyle *Punica granatum* L. bitkilerinin taze ve kuru ağırlığında önemli düzeyde ($p < 0,05$) bir azalma olduğunu bildirdi. Carpici vd. (2010) tuz

stresinin potansiyel etkileri olarak tanımlanan su potansiyelinin azalma, özel iyon toksisitesi ve temel besin maddelerinin alımının engellenmesi bitki büyümesinin azalmasına neden olduğunu rapor ettiler. Ozmotik aşamanın ana sonucu, su alımının zorlaşması ve kökten sürgüne iyon akışının azaltılmasıdır. Bitki su dengesini korumak için stomalarını kapatarak transpirasyonun sınırlandırılmasını sağlar (Pour-Aboughadareh, 2021). Ancak bu durum CO₂'in yapraklara olan difüzyonunu engelleyerek azalan fotosentez oranına ve ardından biyokütle azalmasına neden olmaktadır (Hashemi & Shahani, 2019; Ma vd., 2021). Ayrıca, biyokütle azalması, fotosentez yoluyla karbon asimilasyonunda bir azalmaya yol açan düşük ışık kapasitesine neden olan yaprak alanının azalmasının bir sonucu olarak gerçekleşir (Sarafı vd., 2014). Aynı zamanda düşük biyokütle verimi, Shafi vd. (2010) tarafından bitkinin tuzluluğa karşı direncinin geliştirdiği karbon tasarrufuyla ilgili olduğunu ileri sürdü.

Mevcut çalışmada, Trp uygulamaları kök ve yaprak biyokütlesini artırmadığı, aksine azalttığı belirlendi (Tablo 3&4). Bu bulgular, Trp'in mısır bitkilerinin taze ve kuru ağırlığı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını bildiren Sarwar & Frankenberger'in (1994) çalışmalarını doğrulanır niteliktedir. Benzer şekilde Alfosea-Simón vd. (2020) Trp'nin domates bitkilerinin taze ve kuru ağırlığı iyileştiremediğini rapor ettiler. Trp, IAA biyosentezinde yaygın bir öncül olarak kabul edildiğinden (Back vd., 2016; Ye vd., 2017) ve düşük IAA konsantrasyonları biyokütle büyümesini engelleyebildiğinden (Ferro vd., 2007), çalışmamızda kullanılan Trp dozu her iki mısır çeşidinde de engelleyici etkilere neden olabileceği kanaatindeyiz.

Bağıl su içeriği (RWC), bir bitki organının su içeriğini, organın tam turgidite durumunda alabileceği maksimum su miktarına göre ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Bu nedenle, stres koşullarında bitkinin su durumunu ifade etmek için güvenilir bir ölçüt olarak kabul edilir (Karlidag vd., 2011). Çünkü RWC, hücre hacmi ile doğrudan ilişki yoluyla bir bitkinin su ve terleme oranını nasıl düzenlediğini daha iyi açıklayabilmektedir (Kapoor & Pande, 2015). RWC, bir bitkinin su dengesini koruma yeteneğini yansıtır, çünkü toprak suyun azalması, bitkilerin yeterli suyu alamadığı ve normal fizyolojik işlevlerini sürdüremediği anlamına gelir (Gao vd., 2020). Tuz stresi, bitkilerin su alma kabiliyetini azaltır ve dolayısıyla metabolik süreçlerin bozulmasına neden olarak büyüme hızını da azaltmaktadır (Meguekam vd., 2021). Tuzluluğun etkileri, bitkilerin su alabildiği son toprak su kapasitesini ve suyu kullanma oranını etkileyebilmektedir (Sheldon vd., 2017). Mevcut çalışmada, yaprak su içeriği (Şekil 7) iki

mısır (*Zea. mays* L.) çeşidinde artan tuz stresi koşullarında doza bağımlı bir şekilde önemli düzeyde ($p < 0,05$) azaldığı belirlendi. Bu sonuçlar, farklı çeltik (*Oryza. sativa* L.) genotiplerinde artan tuz stresine bağlı olarak RWC'de önemli bir azalma olduğunu bildiren Polash ve ekibinin (2018) bulguları ile doğrulanmaktadır. Benzer şekilde Jan vd. (2016) ve Hniličková vd. (2017) de benzer sonuçları rapor ettiler. Jan vd. (2016) RWC'nin, farklı tuz stresi koşullarında *Brassica rapa* ekotiplerinde önemli düzeyde azaldığını bildirdiler. Hniličková vd. (2017) artan tuz stresinin roka (*Eruca sativa* L. (Mill.) cv. Astro) bitkilerinde kontrol bitkilere kıyasla azalttığını rapor ettiler. Tuz stresi nedeniyle RWC'deki azalma, emici yüzeyin azalması nedeniyle yeterince su alamayan kök sistemlerinin yetersizliğine ve ayrıca terleme yoluyla su kaybına bağlanabilir (Karlıdağ vd., 2011). Mevcut çalışmada, Trp uygulamasında (Şekil 8), artan tuz stresinin her iki mısır çeşidinde de su içeriğini önemli düzeyde ($p < 0,05$) azalttığı belirlendi. Bununla birlikte, Trp ön muamelesinde kontrol gruplarına kıyasla su içeriğinde bir artış olmasına rağmen, artışın önemli düzeyde ($p < 0,05$) fark göstermediği görüldü. Bu bulgularla uyumlu olarak Alfosea-Simón vd. (2020) da benzer bulguları rapor ettiler. Bu araştırmacılar Trp uygulamalarının tuz stresi uygulanan ve uygulanmayan domates bitkileri üzerinde RWC açısından herhangi bir etkisi olmadığını ortaya koydular.

Su, bitkiler için hayvanlara kıyasla daha önemli bir sınırlayıcı faktör olarak kabul edilebilir çünkü bitkiler yüksek miktarda suya ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, köklerle emilen suyun çoğu (yaklaşık %97) transpirasyon yoluyla yapraklardan kaybedilir. Sadece ~%2'si farklı fizyolojik süreçlerde kullanılmak üzere bitki tarafından alıkonulmaktadır (Taiz vd., 2015). Terleme bitki için olumsuz gibi görünse de, bitkilerin kök sistemi tarafından suyu emmesini ve yapraklara kadar taşımalarını sağlayan iç koşulları yaratır. Dahası, transpirasyon bitki için etkili bir soğutma aracı oluşturur. Öte yandan, yeterli yenileme olmadan transpirasyon yoluyla su kaybı, ciddi bir dehidrasyona ve ardından da su stresine bağlı büyüme azalmasına neden olabilmektedir (Accosta-Motos vd., 2017). Tuzluluk etkileri, toksik etkileri bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerinin engellenmesiyle sonuçlanan iyonik bir bileşenden ve özellikle bitki köklerinin su alma kapasitesini etkileyen ozmotik bir bileşenden oluşmaktadır (Shanker & Venkateswarlu, 2011). Kök ortamındaki yüksek miktarda Na^+ iyonlarından kaynaklanan tuz stresinin ozmotik bileşeni, topraktaki su potansiyelinin azalmasından sorumludur ve böylece kökler aracılığıyla suyun emilimini azaltır (Köster vd., 2019). Tuzluluğun neden olduğu ozmotik stres, bitki boyunca su akışını engelleyerek yaprak turgorunu azaltır (Bomle vd., 2021).

Bitkiler tarafından ozmotik stresle başa çıkmak için evrim boyunca geliştirilen adaptasyon stratejileri, özellikle de stomaların kapanması, bitkilerin transpirasyon yoluyla su kaybını önlemesine imkan sağlar (Bharath vd., 2021). Mevcut çalışmada, yaprak su kaybı (Şekil 9.A, Şekil 9.B & Şekil 9.C) farklı tuz stresi seviyeleri koşullarında ve tuz dozuna bağlı olarak iki mısır çeşidinde önemli düzeyde azaldı. Bu bulgular, mangrov (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) bitkilerinde kontrol grubuna kıyasla yüksek tuzlu ortam koşullarında transpirasyon yoluyla su kaybı olduğunu bildiren Barhoumi vd. (2022) bulgularıyla uyumludur. Benzer şekilde, Hnilčková vd. (2017) artan tuz stresinin (50, 200 ve 300 mM NaCl) *Eruca sativa* L. (Mill.) cv. Astro'da önemli düzeyde azalttığını rapor ettiler. Ayrıca, aynı araştırmacılar su kaybının stoma iletkenliğindeki azalmayla ilişkili olduğunu da rapor ettiler. Mevcut çalışmada, su kaybı ozmotik potansiyel ve su içeriğindeki azalma ile önemli düzeyde benzerlik gösterdi. Diğer yandan, stomalar kapandığında stomatal terleme yoluyla su kaybı neredeyse sıfıra iner ve bitkiler artık terleme olarak adlandırılan mum tabakası yoluyla stomatal olmayan terleme (kutikula terleme) yoluyla su kaybedecektir (Hasanuzzaman vd., 2017). Bununla birlikte, su kaybının bu kısmı stomatal transpirasyondan daha az önemlidir. Çünkü kutikular mum karışımı su kaybına karşı zorunlu bir bariyer sağlar (Guo vd., 2017).

Van den Honert (1948)'in toprak ve kök arasındaki su potansiyeli gradyanı aracılığıyla kök boyunca su hareketini tahmin etmeyi sağlayan su akışı kurallarına göre bitkilerde, bitki hücrelerinin çevresinin su potansiyeli bir hücrenin su kaybedip kaybetmeyeceğini belirler (Steudle, 2000). Bu sebeple, hücre düzeyinde, suyun ozmosis yoluyla hücre içine girmesini sağlayacak su potansiyeli gradyentini korumak için sitozol ve vakuolün su potansiyeli apoplast ortamından daha düşük olmalıdır (Taiz vd., 2015). Kök bölgesinde Na^+ iyonlarının birikmesinin ozmotik potansiyelde bir düşüşe ve kök bölgesindeki su potansiyelinde azalmaya neden olduğu tuzlu ortamda (Acosta-Motos vd., 2017), bitkiler iç su potansiyellerini çevreleyen ortamın altına düşürmelidir (Sheldon vd., 2017). Su potansiyeli üç ana faktöre bağlıdır: (1) çözünen madde konsantrasyonu (ozmotik ya da çözünen madde potansiyeli), (2) hidrostatik basınç (turgor basıncı) ve (3) yerçekimi potansiyeli. Bitki hücrelerinde, yerçekimi eşit ya da önemsiz olduğu için, su potansiyeli turgor basıncı ve ozmotik potansiyel tarafından belirlenir. Bununla birlikte, hücrelerin plazmoliz durumunda kaldığı tuzlu koşullarda, turgor basıncı sıfırdır ve su potansiyeli çözünen madde potansiyeli ile belirlenecektir (Taiz vd., 2015). Bitkilerin su alımına izin veren su potansiyeli gradyanını korumak için, ozmotik potansiyeli ayarlayarak iç su

potansiyellerini toprağın altına düşürmeleri gerekmektedir. Ozmotik ayarlama olarak bilinen bu mekanizma, iyonların emilmesi ya da uyumlu organik bileşiklerin sentezlenmesi ve bunların sitozol ile vakuolde biriktirilmesinden oluşmaktadır (Sheldon vd., 2017; Hand vd., 2017).

Halofitler gibi bazı bitki türleri yüksek tuzluluk seviyelerine karşı koyabilmek için toksik inorganik iyonları (Na^+ ve Cl^-) vakuollerinde tutarak bu iyonların zararlarından sızdırmama yolları geliştirdiler. Ancak aynı zamanda toksik iyonlar bitkiler tarafından ozmotik potansiyellerini ayarlamak için kullanılır. Böylece, toprağa kıyasla iç su potansiyelini azaltabilir ve suyun bitkilere girmesine izin vermek için sürekli su potansiyeli gradyanını geri kazanabilir (Zhu vd., 2010; Roman vd., 2021). Bununla birlikte, glükofitler gibi diğer tuza duyarlı bitki türleri ozmolit olarak yüksek Na^+ seviyelerini biriktiremezler, ancak K^+ ve Ca^{2+} gibi diğer katyonlara ve uyumlu organik çözünenlere güvenirler. Bu nedenle, su kıtlığı durumunda toksik ürünlere karşı ozmoprotektan bir role sahip olabilecek amino asitleri (örn. prolin), şeker alkoller (örn. mannitol) ve çözünebilir şekerler (örn. sukroz) biriktirirler (Zhu vd., 2010; Taiz vd., 2015).

Bununla birlikte, inorganik solütlerin kullanımı, tuz stresi koşullarındaki bitkiler için organik ozmotiklere kıyasla daha verimli ve daha ekonomik olarak kabul edilmektedir (Song vd., 2009). Bu çalışmada, ozmotik potansiyelin tuz stresiyle birlikte azalma gösterdiği belirlendi (Tablo 5). Bizim sonuçlarımıza göre iki mısır çeşidinde yaprak ve kök ozmotik potansiyeli, K^+ , prolin, sukroz ve mannitol içerikleri ile birlikte önemli düzeyde arttığı ortaya konuldu. Bu sonuçlar Song vd. (2009) ve Shaheen vd. (2012)'nin bulgularıyla uyumludur. Ozmotik potansiyelin azalması, hücrelerin Na^+ iyonlarıyla yüklü apoplast çözeltisinden su alamamasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca, artan K^+ , prolin ve şeker birikiminin bitki hücrelerindeki su potansiyelini azaltarak su potansiyeli gradyanını korumalarına izin verdiği bilinmektedir (Taiz vd., 2015; Acosta-Motos vd., 2017).

Yüksek bitkiler tuzlu olmayan ortam koşullarında büyüdüğünde, hücreleri yaklaşık 100 mM K^+ ve 10 mM'dan daha düşük miktarda Na^+ içerir. Bu iyonik oran enzimlerin çalışabilmeleri için en uygun ortamdır (Taiz vd., 2015). Hem Na^+ hem de K^+ iyonları benzer fizikokimyasal özelliklere sahip olmalarına rağmen, bitki fizyolojik ve biyokimyasal işlevlerindeki rolleri bakımından tamamen farklılık gösterirler. Öyle ki, K^+ ozmotik ayarlama, stoma açılıp kapanmasının düzenlemesi gibi temel fizyolojik işlevlere aracılık ederek, önemli enzimlerin aktivasyonuna katılarak (Chakraborty vd., 2016) hücre ve tüm bitki düzeyinde homeostazını sağlar (Ashrafi vd., 2018). Tuzlu ortamlarda, tuz

stresinin ozmotik etkisi nedeniyle su alımı azalır ve apoplasttan su alımına bağlı olarak bitki pasif yolla besin maddesi alımını azaltır (Kasırağa & Demiral, 2016). Na^+ alımı tüm bitkide artar (Yu vd., 2015) ve bitki hücrelerindeki K^+/Na^+ ve $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ oranlarını değiştirerek iyonik beslenme dengesizliğine neden olur (Zhang vd., 2013). Aslında, topraktaki tuz konsantrasyonu arttığında ve Na^+ kökler aracılığıyla K^+ yerine emildiğinde, hücrelerde K^+ ile yarışmaya girebilir ve böylece K^+ 'a bağlı taşıma ve metabolik işlevleri engelleyebilir (Kaddour vd., 2009). Mevcut çalışmada, artan tuz stresi, iki mısır çeşidinin hem köklerinde hem de yapraklarında Na^+ içeriğinde önemli düzeyde artmayı sağladı (Tablo 6 ve 7). Bu bulgular, Hanci vd. (2016)'nin soğan (*Allium cepa* L.), Wang vd. (2018)'nin *Prunus maritima* bitkilerinin kök ve yapraklarında, Kumar vd. (2021)'nin *Oenanthe javanica* çeşitlerinde ve Ran vd. (2021)'nin *Salix alba* L. da rapor ettiği çalışmalar gibi birçok araştırmacı tarafından doğrulanmaktadır. Na^+ içeriği artışı, Na^+ iyonlarının ortamda K^+ 'a kıyasla yüksek oranda bulunması ve iki katyon arasındaki benzer fizikokimyasal özellikler nedeniyle kök hücreleri içine girerken Na^+ ve K^+ arasındaki rekabetten kaynaklanır. Bu durumda K^+ kanalları Na^+ iyonlarını da taşıyabilir (Fakhrfeshani vd., 2015). Mevcut çalışmada, tuz stresi uygulamalarından farklı olarak, Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde de yaprak ve kök Na^+ içeriğini önemli düzeyde azalttığı belirlendi (Tablo 6 & 7). Kırmızı biberde (*Capsicum annuum* L.) dıştan Trp uygulamasının Na^+ içeriğini azaltabileceğini gösteren benzer sonuçlar Jamil vd. (2018) tarafından da rapor edildi. Benzer şekilde, Hozayn vd. (2020) şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) tohumunun Trp ön uygulamasının kök ve yapraklardaki Na^+ içeriğini azalttığı rapor edildi. Bu azalmanın, Na^+ iyonlarının hücrelere girmesini engelleyerek ya da bu iyonları hücrelerden dışarı atarak tuz stresiyle başa çıkmak için bitkiler tarafından kullanılan stratejilerden biri olduğu bildirilmektedir (Negrão vd., 2011).

Na^+ içeriğinden farklı olarak tuz stresi bitkilerin K^+ içeriğini azaltır ve bu durum tuza duyarlı bitki türlerinde toleranslı çeşitlere kıyasla daha şiddetlidir (Wu vd., 2018). Bu azalma temel olarak Na^+ ile K^+ 'un fizikokimyasal özelliklerindeki benzerliklerden kaynaklanır ve bu da taşıyıcılarında ya da enzim bağlanma bölgelerinde bir rekabete ve K^+ 'a bağlı bazı fizyolojik ve biyokimyasal işlevlerin engellenmesine yol açar (Fakhrfeshani vd., 2015). Mevcut çalışmada, artan tuz stresi iki mısır çeşidinin hem köklerinde hem de yapraklarında K^+ içeriğinde önemli bir azalmaya neden oldu (Tablo 6 ve 7). Hniličková vd. (2019), *Lactuca sativa* L. cv. Orion, *Tetragonia tetragonoides* (Pall) Kuntze ve *Portulaca oleracea* L. cv. Green Purslane olmak üzere üç bitki türünde benzer sonuçları bildirdiler.

Benzer şekilde, Alam vd. (2020) NaCl stresi uygulamasının üç *Citrus* spp. çeşidi fidelerinde K^+ içeriğinde önemli düzeyde azalmaya neden olduğunu rapor ettiler. K^+ içeriğinin azalması, sitozolde aşırı Na^+ birikiminden kaynaklanır ve bitki köklerine pasif olarak voltaj bağımsız ya da zayıf voltaj-bağlı seçici olmayan katyon taşıyıcıları yoluyla girer ve bu da K^+ dışarı atılmasına neden olur (Kumar vd., 2021). Tuz stresi esnasında devam eden Na^+ birikiminin, bitkilerdeki kronik K^+ eksikliğinin nedeni olduğuna düşünülür. Aynı zamanda bitkilerin tuzluluğa karşı koymak için fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmaları tetikleme yeteneği de kesinlikle K^+ bulunmasına bağlanır (Wu vd., 2018). Mevcut çalışmada, Trp uygulaması tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') K^+ içeriğini önemli düzeyde artırırken, tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') K^+ içeriğinin önemli düzeyde azaldığını belirledik. Jamil vd. (2018) kırmızı biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinde Trp'nin dıştan uygulanmasıyla K^+ miktarında bir artış olduğunu rapor ettiler. K^+ içeriğindeki artış, Na^+ 'un hücrelere alımını azaltmak için düşük bağımlıklı Na^+ aktivitesinin engellenmesinden ya da inaktivasyonundan kaynaklanır. Na^+ 'un hücrelerden atılmasına ek olarak, K^+ içeriğinin artması ise spesifik K^+ taşıyıcılarının aktivitesine ya da ifadesine bağlı olarak gerçekleşir (Muchate vd., 2016). Bu bağlamda, bitkiler tarafından geliştirilen ve Na^+ yerine seçici olarak K^+ alımını içeren ayırt edici mekanizma, birçok bitki türü tarafından kullanılan başlıca fizyolojik tuz tolerans stratejilerinden biri olarak kabul edilir (Khan vd., 2014).

Bitkiler tuzlu ortamda büyüdüklerinde, Na^+ alımından kaçınarak K^+ ve Ca^{2+} gibi temel elementlerin daha iyi bir beslenme dengesini koruma durumuyla karşı karşıya kalırlar. Bu durum, tuza toleranslı bitki çeşitlerinin bir özelliği olan K^+/Na^+ ve Ca^{2+}/Na^+ oranlarının artışı tetikler (Wang vd., 2015). Ancak bu, bitkiler için çok kolay bir işlem değildir. Çünkü topraktaki yüksek Na^+ konsantrasyonu bitki dokularındaki K^+/Na^+ oranını azaltır (Gul vd., 2019). Tuz stresi, yüksek pH'nın trans-membran proton gradyanı tarafından sağlanan köklerdeki K^+ alımı üzerindeki inhibitör etkisinden dolayı bitkideki K^+ içeriğini azaltır. En uygun koşullarda, bitkilerin normal enzimatik ve fizyolojik işlevlerini sürdürebilmesi için sitoplazmada yüksek bir K^+/Na^+ oranı gereklidir (Assaha vd., 2017).

Bununla birlikte, tuz stresi koşullarında K^+/Na^+ oranı bitkideki stres hasarının seviyesini belirlemek için kullanılır. Yapraklarda yüksek bir K^+/Na^+ oranı fotosentezin yürütülmesi için gereklidir (Ran vd., 2021). Mevcut çalışmada, kök ve yaprak K^+/Na^+ oranı her iki mısır çeşidinde de önemli düzeyde azalma gösterdiğini tespit ettik (Tablo 6 & 7). Benzer sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından da bildirildi (Gul vd., 2018; Hniličková

vd., 2019; Ran vd., 2021). Gul vd. (2018)'ne göre, NaCl uygulaması buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinde K^+/Na^+ oranını önemli düzeyde azalttı ve ortama K^+ konsantrasyonu eklenmesi ise tuz (Na^+) etkisini azaltabildiği ve kritik metabolik işlevleri sürdürmek için gerekli bir koşul olan K^+/Na^+ oranını artırdığını gösterdi. Benzer şekilde, Hniličková vd. (2019) *Lactuca sativa* L. cv. Orion, *Tetragonia tetragonoides* (Pall) Kuntze ve *Portulaca oleracea* L. cv. Green Purslane bitkilerinde K^+/Na^+ oranında bir azalma olduğunu bildirdi. Ran vd. (2021), NaCl stresinin beyaz söğüt (*Salix alba* L.)'ün dokularında K^+ 'a kıyasla Na^+ artışına bağlı olarak K^+/Na^+ oranında bir azalmaya neden olduğunu gösterdi. Bu azalma, iki katyonun fizikokimyasal özellikleri arasındaki benzerliklere bağlanan Na^+ artışıyla sitozolik K^+ çıkışından kaynaklandığı şeklinde açıklanmaktadır (Kumar vd., 2021). Bizim çalışmamızda ise Trp uygulaması, iki mısır çeşidinin kök ve yapraklarında K^+/Na^+ oranında bir artışa neden oldu. Bu bulgular, kırmızı biber (*Capsicum annuum* L.)'e Trp'nin dıştan uygulanmasıyla K^+/Na^+ oranının arttığını bildiren Jamil vd. (2018)'nin bulgularıyla uyum göstermektedir. Yüksek bir sitozolik K^+/Na^+ oranını korumak, hem glifikotlerde hem de halofitler için sürekli bir enzimatik aktivite sağlamak için gereklidir. Bu bağlamda, bitkiler Na^+ 'ın köklere girişini engelleyerek ya da hücrelerden atılmasını sağlayarak köke girişini ve yapraklara translokasyonunu önleyebilmektedir (Negrão vd., 2011).

Tuzlu topraklarda ana çözünebilir tuz katyonları Na^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} iken anyonlar Cl^- , SO_4^{2-} ve CO_3^{2-} anyonları oluşur. Bununla birlikte, NaCl yaygın tuzdur (çözünebilir tuzların %80'inde bulunur) ve Na^+ ve Cl^- sırasıyla baskın katyonlar ve anyonlardır (Khare vd., 2015). Bitkiler için zor olan görev, K^+ , Ca^{2+} ve NO_3^- gibi temel makro besin maddelerinin alımını nasıl sağlanabileceğidir (Tavakkoli vd., 2011). Bitkiler tarafından NaCl stresiyle mücadele etmek için kullanılan stratejiler arasında, hücre iyonlarının yüklerinin dengelenmesi bağlamında aşırı (+) ve (-) yüklerinin dışarı atılmasıdır (Khare vd., 2015). Dolayısıyla, Cl^- iyonlarının alımı, tuz stresi koşullarında genellikle Na^+ iyonları gibi bir katyonun alınmasıyla ya da temel bir makro besin maddesi olan NO_3^- gibi başka bir anyonun dışarı atılmasıyla dengelenebilir (Teakle & Tyerman, 2010). Tuzlu topraklarda Cl^- yüksek konsantrasyonlarında bulunur. Çünkü bu anyon Na^+ iyonlarına eşlik eder. Ayrıca, sitozol enzim aktivitelerinin düzenlenmesinde, fotosentezde bir ko-faktör olarak, membran potansiyelini stabilize etmek için karşı bir anyon olarak ve hücre turgorunu ve pH'ı düzenlemedeki rolü bildirildiği için Cl^- temel bir mikro besin maddesi olarak kabul edilir (Khare vd., 2015). Bununla birlikte, hücresel düzeyde yüksek konsantrasyonda

(duyarlı türler için 4-7 mg/l ve toleranslı türler için 15-50 mg/l) Cl^- bitkiler için toksik hale gelebilir (Tavakkoli vd., 2010). NaCl 'de Cl^- olmasına rağmen, bitki tuz tolerans mekanizmaları üzerine yapılan araştırmaların neredeyse tamamı Na^+ toksisitesine odaklanmaktadır (Khare vd., 2015). Bununla birlikte, bazı araştırmacılar Cl^- 'un bitkiler için Na^+ 'dan daha fazla zarar verebileceğini bile önermektedir (Teakle ve Tyerman, 2010). Mevcut çalışmada, kontrol grubuna kıyasla Cl^- içeriğinde bir artış olmasına rağmen, farklı tuz stresi ve Trp uygulamalarının iki mısır çeşidinde kök ve yaprak Cl^- içeriği üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlendi. Ayrıca, yapraklarda köklere kıyasla daha yüksek Cl^- içeriği değerleri bulunduğu tespit edildi. Bu durum, bu çeşitlerin Cl^- emilimini tolerans düzeyinde ayırt edebildiğini düşündürmektedir. Teakle & Tyerman (2010)'a göre, tuz stresine toleranslı farklı iki mısır çeşidi karşılaştırıldığında, daha duyarlı genotip toleranslı çeşide kıyasla daha yüksek Cl^- konsantrasyonuna sahip olduğu rapor edildi.

Bitkilerde elektrolit sızıntısı, biyotik ve abiyotik stresler nedeniyle ölen hücrelerin bağıl miktarını ifade etmek için kullanılır (Hatsugai & Katagiri, 2018). Ayrıca, elektrolit sızıntısı (ES) hücre zarının durumu ve apoplast boşluğundaki iyon varlığı hakkında da bilgi verir (Tuna vd., 2007). Çözünen maddelerin hücreye girişi veya hücreden çıkışı, iyonların seçici bir zardan geçmesi gerektiği gerçeğiyle zorlaştırılır. Ancak bu membran geçirgenliği membran yapısına ve çözünen maddenin fizikokimyasal doğasına da bağlıdır (Taiz vd., 2015). Yüksek tuz stresinin, lipid peroksidasyonunun neden olduğu membran bozulması nedeniyle hücre membranının yapısını ve işleyişini etkilediği bildirildi (Guimarães vd., 2011). Bu hasar, tuz stresinin iyon toksisitesi kaynaklı oluşan oksidatif stres tarafından üretilen reaktif oksijen türlerinin (ROT) etkisine bağlanır (Bomle vd., 2021). Tuz stresi nedeniyle ROT birikimi, organeller de dahil olmak üzere tüm hücre zarlarının bozulmasına neden olarak genel hücre bütünlüğünü etkiler (Mushtaq vd., 2020). Bitkilerde, tuz stresi nedeniyle lipid zarın membran bütünlüğünün bozulması ve dolayısıyla membran geçirgenliğinin değişmesi, Na^+ ve Cl^- gibi toksik olabilecek iyonların pasif akışına izin verdiği için zararlı etkiye neden olur (Guimarães vd., 2011). ES parametresi, hücre zarındaki hasar seviyesini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir ve stres koşullarında bitki hücre hasarının derecesinin güvenilir bir markörü olduğu kabul edilmektedir (Sabra vd., 2012; El-Sharkawy vd., 2017). Mevcut çalışmada, artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl) uygulamaları, kontrollerine kıyasla her iki mısır çeşidinin ES değerini önemli düzeyde arttırdığı belirlendi (Şekil 10). Bulgularımızı doğrulayan birkaç benzer çalışma (Jamil vd., 2012; El-Sharkawy vd., 2017; Hniličková vd., 2019) rapor edildi. Jamil vd. (2012) tuz

stresinin şeker pancarı fidelerinde (*Beta vulgaris* L.) ES değeri artışına neden olduğunu bildirdi. El-Sharkawy vd. (2017) ise yonca (*Medicago sativa*) bitkisinde tuz stresine bağlı olarak ES'de bir artış olduğunu rapor ettiler. Benzer şekilde, Hniličková vd. (2019) tuz stresi uygulamasının *Lactuca sativa* L. cv. Orion, *Tetragonia tetragonoides* (Pall) Kuntze ve *Portulaca oleracea* L. cv. Green Purslane bitkisinde ES'i önemli düzeyde artırdığını buldular. ES'nin artışı, biyolojik zarlara zarar veren ve geçirgenliğini artıran tuz stresıyla üretilen ROT'nin toksik etkisinden kaynaklanmaktadır (He vd., 2007). Aslında, hücre plazma membranının ana parçası olan lipidlerin peroksidasyon yoluyla bozunması hücre membranına zarar verir (Mushtaq vd., 2020). Bununla beraber, Demidchik vd. (2014) ES'nin artışı sitozolden K^+ çıkışıyla bağlantılı olduğunu rapor ettiler.

Mevcut çalışmada, Trp uygulaması, kontrol bitkilerine kıyasla 150 mM NaCl'den daha düşük tuz stresi uygulanan grupta ES'yi azalttığını gördük (Şekil 10). Benzer sonuçlar, Trp'nin yapraktan uygulanmasının soğan (*Allium cepa* L.) bitkilerinde ES'yi azaltabileceği rapor edildi (Hussein vd., 2014). ES, hücre zarı bütünlüğü (Guimarães vd., 2011; Sabra vd., 2012; El-Sharkawy vd., 2017) ve hücre geçirgenliği (Taiz vd., 2015; Tuna vd., 2007) ya da sitozolden K^+ iyonlarının çıkışı (Demidchik vd., 2014) ile bağlantılı olduğundan, ES'nin azalması K^+ iyonlarının kaybının azalmasına bağlı olabilir. ES'deki azalma, mevcut çalışmada gösterilen Trp uygulamasının neden olduğu K^+ içeriğindeki (Tablo 6 ve 7) artıştan kaynaklanabileceği kanaatindeyiz.

Işık enerjisini (doğadaki güneş enerjisi) biyokimyasal enerjiye dönüştürebilen tek önemli biyolojik yöntem olan fotosentez, bitki yapraklarında özellikle mezofil hücrelerinde gerçekleşir. Bu hücreler, klorofiller ve karotenoidler adı verilen özelleşmiş ışık emici pigmentlerle dolu birçok kloroplast organeline sahiptir (Taiz vd., 2015). Bununla birlikte, fotosentez, biyotik ya da abiyotik stresler gibi dış etkilere karşı daha duyarlı olduğu için bitkilerdeki en temel kritik fizyolojik işlemdir (Li vd., 2023). Tuz stresi, ozmotik stres nedeniyle stoma kapanması üzerindeki etkisi yoluyla fotosentez kapasitesini etkiler ve bu da stoma iletkenliğinin sınırlandırılmasından kaynaklanan karbon asimilasyonunun sınırlandırılmasına yol açar (Hannachi vd., 2022). Ozmotik stres etkilerine ek olarak tuzluluk, fotosentetik mekanizmaya zarar veren kloroplastlar aracılığıyla absorbe edilen enerjinin kullanılmamasından dolayı fotosentezi engelleyerek ROT oluşumuna yol açarak bitki fizyolojisini bozar ve kloroplast bütünlüğüne zarar verir (Li vd., 2023). Tuzluluk koşullarında, fotosentetik pigmentler fotosentez durumunun önemli bir belirleyicisidir. Klorofiller, karotenoidlerle birlikte ışık enerjisinin hasat edilmesinde önemli bir görev

yaparken, karotenoidler de fazla ışık enerjisinin dağıtılmasında ve fotosentetik reaksiyon merkezlerinin korunmasında önemli rol oynar (Shah vd., 2017). Tuz stresi, klorofil içeriği açısından bitki türlerini farklı şekillerde etkiler; toleranslı türlerde artarken duyarlı türlerde azalır (Acosta-Motos vd., 2017). Mevcut çalışmada, tuz stresi uygulamaları her iki mısır çeşidinde de klorofil *a*, klorofil *b* ve toplam klorofil içeriğini kontrollerine kıyasla artırdı (Tablo 8). Ayrıca, tuza toleranslı mısır çeşidi ('DKC6590') duyarlı çeşide ('DKC6724') kıyasla daha yüksek klorofil içeriği sergiledi. Bu bulgular, *Oenanthе javanica* bitkisinde klorofil *a*, klorofil *b* ve toplam klorofil içeriğinde artış olduğunu bildiren Kumar vd. (2021) sonuçlarıyla uyumlul içerisinde olduğu belirlendi. Ma vd. (2021) pamuk (*Gossypium arboreum* L.) bitkisinde tuz stresinin kontrol grubuna kıyasla klorofil içeriğini artırdığını bularak benzer sonuçları rapor ettiler. Benzer şekilde Hasanuzzaman vd. (2018) tuz stresi koşullarında arpa (*Hordeum vulgare* L.) genotiplerinin klorofil içeriğinde artış olduğunu bildirdi. Tuzluluk koşullarında klorofil içeriğinin artması, klorofil bozulmasını sınırlandırarak yaşlanmayı geciktiren yüksek yaprak sitokinin seviyesine bağlanabilir (Ma vd., 2021). Ayrıca, tuz stresine bağlı olarak yaprak kalınlığındaki artışın klorofil içeriği ve kloroplast sayısında artışa neden olduğu ileri sürüldü (Kumar vd., 2021). Bununla birlikte, diğer çalışmalarda tuz stresinin *Robinia pseudoacacia* (Lu vd., 2023), *Lepidium sativum* L. (Babaei vd., 2022) ve *Phaseolus vulgaris* L. (Taïbi vd., 2016) bitkilerinde klorofil içeriğini önemli düzeyde azalttığı bildirildi. Klorofil içeriğindeki azalma oksidatif streten kaynaklanır ve klorofil sentezinin engellenmesine bağlanır (Taïbi vd., 2016). Öte yandan, tuz stresine bağlı klorofil azalmasının, klorofil parçalayan enzim olan klorofilazın aktivasyonundan kaynaklandığı bilinmektedir (Jamil vd., 2014; Gong vd., 2018).

Mevcut çalışmada, tuz stresi her iki mısır çeşidinde de toplam karotenoid miktarında önemli bir artış uyardı. Benzer sonuçlar Kumar vd. (2021) tarafından *Oenanthе javanica* bitkisinde tuz stresinin karotenoid içeriğini artırdığı rapor edildi. Karotenoidler, bitki abiyotik stres tolerans mekanizmalarında sinyal algılamada önemli bir rol oynar (Gong vd., 2018). Onlar ROT'ları azaltarak antioksidan gibi davranır (Kumar vd., 2021) ve lipid peroksidasyonunu azaltarak kloroplast membranlarını korur (Taïbi vd., 2016). Mevcut çalışmada karotenoid içeriğinin artması, bu mısır çeşitlerinin oksidatif hasarı hafifletmek için mekanizmaları harekete geçirdiği kanaatindeyiz.

Mevcut çalışmada Trp ön uygulaması, kontrol bitkilerine kıyasla her iki mısır çeşidinde de klorofil ve karotenoid içeriğini hafifçe azalttı ya da hiç etkilemedi. Bu bulgulara paralel olarak Hussein vd., (2014) Trp'nin yapraktan uygulanmasının soğan

(*Allium cepa* L.) bitkisinde klorofil ve karotenoid içeriği üzerinde bir etkisi olmadığını, Alfosea-Simón ve vd. (2020) domateste (*Solanum lycopersicum* L.) dıştan Trp uygulaması ile klorofil ve karotenoid içeriğinde bir azalma olduğunu ve Kahveci vd., (2021) 0,025 mM Trp uygulamasından daha yüksek Trp'nin farklı konsantrasyonlarının fotosentetik pigment içeriğini azalttığını bildirdi. Bununla birlikte, yapılan diğer çalışmalar Trp uygulamalarının fotosentetik pigment içeriğini artırdığını da gösterdi. Örneğin, Jamil vd. (2018) kırmızı biberde (*Capsicum annuum* L.) 0,12 mM Trp uygulaması ile fotosentetik pigmentlerde bir artış olduğunu bildirirken, Hozayn vd. (2020) şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) bitkisinin 2,5 mM Trp ile dıştan uygulamasıyla fotosentetik pigment içeriğinde bir artış olduğunu rapor ettiler.

Klorofil fluoresansı, aşırı ışık nedeniyle tuz stresinin bitki fotosentezi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılan tekniklerden biridir ve fotosentezin engellenmesini belirlemek için kullanılır (Arief vd., 2023). Bitkilerin ışık enerjisini biyokimyasal enerjiye dönüştürebilen tek işlem olan fotosentezi gerçekleştirme yeteneği, CO₂'yi asimile etmek için kloroplastlar tarafından kullanılan NADPH ve ATP enerji moleküllerini üretmek için ışık enerjisini kullanma yetenekleridir (Caffarri vd., 2014). Fotosentezin tilakoid reaksiyonları olarak bilinen bu kısmı fotosistem II (PSII) ve fotosistem I (PSI) olarak bilinen iki fotokimyasal kompleksten oluşur. Bu fotosistemler fotokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği reaksiyon merkezlerini içerir (Taiz vd., 2015).

Işık klorofil *a* ve klorofil *b* tarafından absorbe edilse de bu moleküller PSII ya da PSI reaksiyon merkezlerine bağlanır. Bununla birlikte, klorofil *a* ve klorofil *b* fluoresans kapasitesine sahip olsa da, klorofil fluoresansının esas olarak klorofil *a* tarafından üretildiği artık kabul edilir. Benzer şekilde, her iki fotosistem de fluoresans sinyali yayabilse de, PSII'den gelen klorofil fluoresansının en baskın olduğu bilinmektedir (Porcar-Castell vd., 2021). Klorofil fluoresansı (KlaF) ve fotosentez arasındaki ilişki, enerji dönüşümü ve biyofiziksel modellere dayandırılır. PSII'de absorbe edilen enerji, enerji uyarımının fotokimyasal söndürülmesine, termal dağılım biçimlerini içeren fotokimyasal olmayan söndürmeye ve KlaF emisyonuna bölünür (Porcar-Castell vd., 2021). KlaF genellikle PSII'nin maksimum kuantum (bir ışık fotonu) verimini değerlendirmek için kullanılır ve *Fv/Fm* oranıyla ifade edilir. *Fv/Fm* oranı, PSII'nin maksimum fotokimyasal verimliliğini değerlendirmeyi ve PSII reaksiyon merkezlerinin hasar seviyesini tespit edebilmeyi sağlar. *Fv/Fm* oranı rakamları genellikle optimal koşullarda 0,75 ile 0,85 arasında değişir ve KlaF değerlerindeki düşüşün fotoinhibisyonun iyi bir göstergesi olduğu kabul edilir (Guidi vd.,

2019). Tuz stresi koşullarında yetiştirilen yüksek bitkilerde, tuza duyarlı bitkiler düşük Fv/Fm gösterirken, tuza toleranslı bitkilerin Fv/Fm değerleri artar (Luo vd., 2017). Ayrıca, Guidi vd. (2019) çeşitli C_3 ve C_4 türlerinin $KlaF$ 'lerini karşılaştırarak, C_4 türlerinin abiyotik stres koşullarında yetiştirildiğinde C_3 bitkilerinden daha düşük ya da benzer Fv/Fm değerlerine sahip olduğunu bildirdi ve bu farklılıkların fotosentez metabolizmasındaki farklılıklardan kaynaklandığını önerdiler. Örneğin, Zienkiewicz vd. (2015) *A. thaliana* L. (C_3) yapraklarının 0,81 ile 0,86 arasında değişen bir Fv/Fm oranına sahip olduğunu, C_4 mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinde ise bu oranın 0,75 olduğunu bildirdiler.

Mevcut çalışmada, Fv/Fm değerleri kontrol bitkilerinde, 'DKC6590' çeşidinde 0,75 ve 'DKC6724' çeşidinde ise 0,73 olarak bulundu (Şekil 11). Luo vd. (2017) *Lycium ruthenicum* Murr bitkisinin kontrol gruplarında Fv/Fm değerlerinin 0,80 ile 0,85 arasında değiştiğini bildirdi. Fv/Fm değerleri abiyotik streslere karşı duyarlıdır (Baker vd., 2008). Örneğin, Ruan vd. (2017), normal ışığa kıyasla güçlü ışığın mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde 1. ve 5. tam gelişmiş yaprakların Fv/Fm değerlerini önemli düzeyde azaltabileceğini ve 5. yaprağın 1. yapraktan daha düşük oranda azaldığını bildirdi. Beşinci yaprağın PSII'de güçlü bir ışık enerjisi akışını sağlayabildiği, Buna karşın 1. yaprağın ise fotoinhibisyona neden olduğu görüldü. Mevcut çalışmada, tuza toleranslı mısır çeşidinde, kontrole kıyasla tuz stresi 50 mM NaCl grubundan itibaren önemli düzeyde azalırken, Fv/Fm oranı 150 mM'de 100 mM NaCl'e kıyasla arttığı görüldü. Bununla birlikte, tuza duyarlı mısır çeşidinde, Fv/Fm oranı 50 ve 100 mM NaCl koşullarında azalırken, 150 mM NaCl uygulama gruplarında artmaya başladığı gözlemlendi. Bu bulgu, mısır bitkilerinin 25 mM NaCl seviyesinde fotosentezi sürdürebildiğini, ancak Fv/Fm oranının 100 mM NaCl'e kıyasla 150 mM'de artması PSII düzenleme mekanizmasında bir hasar olduğunu düşündürülebilir. Najjar vd. (2018) benzer sonuçları *Medicago truncatula* bitkisinde tuz stresinin Fv/Fm 'yi azalttığını rapor ettiler. Benzer şekilde, Hniličková vd. (2017) roka (*Eruca sativa* (L.) Mill.) cv. Astro bitkisinde artan tuz stresine bağlı olarak PSII fotokimyasının maksimum kuantum verimliliğinde bir azalma olduğunu rapor ettiler. Fv/Fm oranındaki azalma, fotosentetik makinelerin ortam değişikliklerine karşı düzenleme mekanizması nedeniyle PSII'deki değişikliklere bağlanmaktadır (Ran vd., 2021). Bu mekanizma, ışık enerjisi üretim hızı ile tuz stresinin neden olduğu stoma kapanması nedeniyle sınırlı CO_2 metabolizması arasında bir denge sağlamak için PSII'nin kuantum verimini doğrudan azaltan fotokimyasal enerjiyi söndürerek PSII'nin hasar görmesine karşı korumayı içerir (Jamil vd., 2014). Ayrıca, Fv/Fm oranının düşük değerleri PSII reaksiyon

merkezlerinin hasar gördüğünü ya da inaktive olduğunu gösterir (Hniličková vd., 2017). Mevcut çalışmada, Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde hem tuz stresi geçirmeyen hem de tuz stresine maruz kalan bitkilerde Fv/Fm oranını azalttı (Şekil 11). Bu azalma, Trp ön uygulamasının mısır bitkilerinde PSII'de fotoinhibisyon veya fotokimyasal aparat inaktivasyonu yoluyla bağlantılı olabildiğini göstermektedir.

Bitkiler ozmotik ve iyonik stresin üstesinden gelebilmek için farklı biyokimyasal mekanizmalar geliştirdi. Bu mekanizmalar uygun solütlerin birikimini ve biyosentezini kapsamaktadır (Muchate vd., 2016). Bu mekanizmalar, tuzluluk stresi nedeniyle köklerin etrafındaki su potansiyeli bitki içindeki su potansiyeline kıyasla azaldığında ozmotik strese adapte olmak için ilk stratejiyi devreye koyar (Yang & Guo, 2018). Ozmotik ayarlama, hem vakuol hem de sitozoldeki iyonların ve uyumlu ozmolitlerin solüt içeriğinde net bir artışı içerir. İyonlar vakuolde tutulurken, iki kompartman arasındaki su potansiyeli dengesini korumak için uyumlu solütler sitozolde biriktirilir (Taiz vd., 2015). Bu uyumlu ozmolitler arasında yer alan şekerler (örn., sukroz, fruktoz, glukoz ve fruktanlar) ve şeker alkoller (örn., mannitol, inositol ve sorbitol) tuz stresi koşullarındaki bitkilerde yüksek düzeyde birikir (Singh vd., 2015; Yang & Guo, 2018). Bununla birlikte, monosakkarit şekerler (yani glukoz, fruktoz) ozmoprotektanlar olarak kabul edilse de, antioksidant etkileri doğrudan değildir ve muhtemelen polimerler oluşturarak katkıda bulunur ya da diğer antioksidanların ifadesini tetiklemek için sekonder sinyaller olarak hareket ederler (Wani vd., 2018). Hem şekerler hem de şeker alkoller ozmoprotektan olarak kabul edilir ve ozmotik ayarlama, membran kararlılığı ve ROT'lara karşı detoksifikasyonda ROT temizleyici yetenekleri sayesinde önemli bir yer tutarlar (Singh vd., 2015; Taiz vd., 2015). Polioller, diğer organik bileşiklerle reaksiyona girebilen ve ROT temizleme mekanizmalarına katılabilen birkaç hidroksil grubuna (-OH) sahip düşük moleküler ağırlıklı bileşiklerdir (Chourasia vd., 2021).

Polioller kategorisinde yer alan mannitol birikimi, yüksek bitkilerde abiyotik streslere karşı tolerans ile bağlantılı olduğu kabul edilir (Shahid vd., 2020). Mannitol, doğada en yaygın olarak bulunan bir polioldür ve birincil fotosentetik üründür (Chan vd., 2011). Mannitol gelişmiş yapraklarda sentezlenen altı karbonlu ve halkalı yapıda olmayan bir şeker alkol olup depolandığı ya da karbon kaynağı ve enerji kaynağı olarak kullanılacağı diğer dokulara taşınır (Patel vd., 2016). Bitkideki mannitol içeriğinin artmasının, abiyotik streslere karşı toleransla bağlantılı olduğu ve makromoleküllerin korunmasında yer aldığı ve ROT temizleme aktivitesine sahip olduğu birçok çalışmada

rapor edildi (Wani vd., 2018). Mannitolün birçok bitkide ozmotik stres toleransında rolü olduğu da bilinmektedir (Khan vd., 2020). Bu bağlamda mannitol, hücrel ozmotik ayarlama mekanizmalarında uyumlu çözünen olarak ya da tuz stresi koşullarında büyüyen bitkilerdeki Na^+ iyonlarının toksik etkilerine karşı etkin ozmoprotektan olarak kabul edilir (Afzal vd., 2023). Mevcut çalışmada, kök mannitol içeriği 'DKC6724' mısır çeşidinde kontrol grubuna kıyasla NaCl stresinin artmasıyla birlikte önemli düzeyde artarken, 'DKC6590' mısır çeşidinde kök mannitol içeriği tuz stresi uyguladığımızda stres uygulanmayan bitkilere kıyasla azalma gösterdi (Şekil 12). Bununla birlikte, yaprak mannitol içeriği (Şekil 13), her iki mısır çeşidinde de, artan NaCl stresi ile önemli düzeyde arttığı görüldü. Bulgularımıza benzer olarak, yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) bitkilerinde (Patel vd., 2016), buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkilerinde (El-Yazal vd., 2016), çeltik (*Oryza sativa* L.) bitkilerinde (Chang vd., 2019) ve zeytin (*Olea europaea* L.) bitkilerinde (Ayaz vd., 2021) tuz stresine bağlı olarak mannitol içeriğinde artış olduğu bildirdi. Tuz stresine bağlı olarak mannitol içeriğinin artması, bu şekerin bitkinin tuz stresine tolerans stratejisinde yer aldığının bir göstergesidir (Moula vd., 2020). Öte yandan, yaprak mannitol içeriği kök mannitol içeriğine kıyasla daha fazla miktarda arttığı bulundu. Bu fark, yapraklarda sentezlenen ve alıcı dokulara taşınan mannitolün (Patel vd., 2016; Ayaz vd., 2021) fotosentez yokluğunda kloroplastlarda oluşan ROT'lara karşı hücreleri korumak için yapraklarda birikmesinden kaynaklanabileceği bildirdi (Khan vd., 2020). Dahası, abiyotik stres esnasında bitkilerin mannitol sentezinden sorumlu *mltD* geninin aşırı ekspresyonunu aktif hale getirdiği rapor edildi (Chang vd., 2019; Singh vd., 2023).

Poliollere ek olarak, diğer ozmolit grubunu sukroz, fruktoz, glukoz ve fruktanlar gibi indirgen olmayan şekerler oluşturur (Arif vd., 2020). Bu çözünebilir şekerler arasında sukroz bitki fizyolojisinde rolü olan önemli bir şekerdir. Çünkü ozmolit bileşeninde yer alır ve asimilatların mezofilden alıcı organlara dağıtımında merkezi olarak yer alan "C" taşıma formudur (Redillas vd., 2012). Optimum koşullarda, fotosentez sırasında üretilen karbohidratlar nişasta ve sukroz formlarında bulunur (Zhu vd., 2016). Sukroz, sukroz-fosfat sentazla sentezlenir ve hem fotosentetik (kaynak) hem de alıcı organlarda invertaz ve sukroz sentazla parçalanırken (Li vd., 2023), nişasta ADP-glukoz pirofosforilaz sayesinde sentezlenir ve amilazla parçalanır (Zhu vd., 2016). Nişasta, taşınan sükrozdan 'havuz' organlarında sentezlenir (Thalmann & Santelia, 2017). Çünkü sükroz, yapraklardan floem yoluyla diğer fotosentetik olmayan dokulara fotosentez kaynaklı karbohidratları dağıtmak için en çok kullanılan karbohidrattır (Redillas vd., 2012; Mathan vd., 2020). Tuzluluk

koşullarında, alıcı dokularda floem yoluyla sukroz transferinin tuz stresiyle hızla engellendiği ve fotosentetik olmayan dokularda sukroz ve nişasta içeriğinin azalmasına neden olduğu bilinmektedir (Zhu vd., 2016; Li vd., 2022). Mevcut çalışmada, artan tuz stresi her iki mısır çeşidinde de hem kök (Şekil 14) hem de yaprak (Şekil 15) sukroz içeriğini artırdı. Mevcut çalışma sonuçları Dong vd. (2011)'nin salatalık (*Cucumis sativus* L.)'da, Almeida vd. (2014)'nin domateste (*Solanum lycopersicum* L.), Zhao vd. (2015)'nin asperde (*Carthamus tinctorius* L.), Asghari & Ahmadvand (2018)'nin *Aloe vera* L.'de, Mathan vd. (2020)'nin *O. sativa ssp indica*'da ve Li vd. (2022)'nin *Ricinus communis*'te yaptıkları çalışmalarla benzerlik gösterir. Abiyotik stres koşullarında köklerdeki sukroz içeriğinin artması, kök büyümesinin engellenmesinden ve ozmotik ayarlama ve koruma sürecinde kullanıldıktan sonra yapraklardaki fazla sukrozun mobilize edilmesinden kaynaklanır (Mathan vd., 2020). Yapraklarda ise sukroz içeriğindeki artış, yaprak büyümesini azaltan tuz stresinin ozmotik stres kısmının neden olduğu birikimden (Mathan vd., 2020) ve sukrozun yapraklardan diğer dokulara aktarılmasının engellenmesinden ve yaprak hücrelerini Na^+ iyonlarının neden olduğu toksik etkilere karşı korumak için tutulmasından kaynaklanır (Dong & Beckles, 2019; Arif vd., 2020). Diğer yandan, Trp uygulaması, genel olarak, her iki mısır çeşidinde de özellikle 100 ve 150 mM NaCl koşullarında mannitol ve sukroz içeriğini artırdı. Benzer bulgular Alfosea-Simón vd. (2020)'nin domates bitkisinde benzer sonuçlar rapor etti. Bu şekerlerin artışı, Trp uygulamasının fotosentezi iyileştirerek yapraklardaki şeker içeriğini ve diğer alıcı dokulara taşınmasını artırmasından kaynaklanabileceği ileri sürülmektedir (Jamil vd., 2018).

Bitkiler, olumsuz çevre koşullarıyla mücadele etmek için çok çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalar kullanırlar (Moghaddam vd., 2019). Bu stratejilerden biri olarak bitkiler, uyumlu solütler veya ozmolitler olarak adlandırılan, hücrel konsantrasyonlarda toksik olmayan, düşük moleküler ağırlıklı organik bileşiklerin farklı türlerini büyük miktarda biriktirme yoluna giderler (Hayat vd., 2012). Prolin, abiyotik strese maruz kalan bitkilerde (Ali & Rab, 2017), özellikle de ozmotik stres esnasında genellikle yüksek miktarda biriktirilen amino asitlerden biri olarak bilinmektedir. Bitkinin su durumu normal koşullara döndüğünde ise mitokondride parçalanarak prolin düzeyi azalma gösterir (Taiz vd., 2015). Tuz stresi koşullarında prolin birikimi, bitki toleransının bir belirleyicisi olarak önemsenir (Shakeri vd., 2019). Prolin birikiminin ilk rolü, bitki su potansiyelinin azalmasından oluşan ve bitkilerin topraktan su almasını sağlayan ozmotik ayarlamadır (Moghaddam vd., 2020; Kumar vd., 2021). Ozmolit rolüne ek olarak prolin,

membranın kararlı hale getirilmesine yardımcı olur (Singh vd., 2016). Ozmolitler OH^- ve $^1\text{O}_2$ gibi ROT'ların temizlenmesine katılarak bitkileri ROT teşvikli oksidatif hasara karşı korur, lipid peroksidasyonu kaynaklı hasarı azaltır ve organel yapıları için sitozolik bir pH koruyucu işlevi yürütür (Shakeri vd., 2019; Mushtaq vd., 2020). Tuz stresi koşullarında büyüyen bitkilerde prolin birikimi, prolin biyosentezinden sorumlu genlerin, özellikle de *P5CS* ve *P5CR* genlerinin ifadesinin başlatılması (Tavakoli vd., 2016; Gharsallah vd., 2016; Singh vd., 2016; Goharrizi vd., 2020) ya da mevcut olan prolinin parçalanmasının engellenmesi olarak açıklanabilir (Kholghi vd., 2018). Mevcut çalışmada, kök prolin içeriği (Şekil 16) 'DKC6724' mısır çeşidinde kontrole kıyasla 150 mM NaCl uygulama grubunda artarken, 'DKC6590' çeşidinde ise kök prolin içeriği tuz stresi koşullarında azalma gösterdi. Bununla birlikte, yaprak prolin içeriği (Şekil 17) her iki mısır çeşidinde de tuz stresinin artmasıyla birlikte kademeli olarak önemli düzeyde arttığı gözlemlendi. Kumar vd. (2021), *Andrographis paniculata* Nees. bitkisinde prolin içeriğinin tuz stresi ile birlikte kademeli olarak arttığını bildirmesi mevcut bulgularımızı destekler niteliktedir. Benzer şekilde, Zhu vd. (2022) tuz stresinin *Taraxacum officinale* bitkisinde prolin içeriğini önemli düzeyde artırdığını tespit ettiler. Prolin içeriğindeki artış, birçok araştırmacı tarafından rapor edildiği gibi (Shakeri vd., 2019; El Sabagh vd., 2015; El-Sharkawy vd., 2017; Akçin & Yalcin, 2016) Na^+ toksisitesinin zararlarına karşı koymak için tuz stresi esnasında prolin birikiminden yararlanılır. Ayrıca, mevcut çalışmada, yapraklardaki prolin içeriği köklerdekinden önemli düzeyde daha fazla üretildiği gözlemlendi. Alam vd. (2020) *Citrus spp.* bitkisinde de benzer sonuçlar rapor ettiler. Prolin, bitkileri ROT'ların neden olduğu hasara karşı korumada önemli bir role sahiptir (Singh vd., 2016; Shakeri vd., 2019; Mushtaq vd., 2020) ve bu ROT'ların klorofil tarafından emilen aşırı enerji nedeniyle kloroplastta üretilmesi için (Taiz vd., 2015), yapraklardaki prolin içeriğinin köklerden daha yüksek olması gerektiği şeklinde açıklanmaktadır.

Trp uygulaması, Trp uygulanmayan bitkilere kıyasla her iki mısır çeşidinde de yaprak prolin içeriğinde bir azalmaya neden oldu. Ancak özellikle yüksek tuz stresi koşullarında (100 ve 150 mM NaCl) büyüyen bitkilerde prolin içeriğinde arttığı belirlendi. Bu bulgulara benzer olarak, Yasmin vd. (2017) Trp uygulamasının stresli olmayan iki mısır (*Z. mays* L.) çeşidi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu, stresli bitkilerde ise bir artış olduğunu rapor ettiler. Benzer şekilde Queiroz vd. (2023), artan Trp konsantrasyonları ile prolin içeriğinin arttığını da rapor ettiler.

5. SONUÇ

Çoğu çalışmada, Trp'nin farklı şekillerde uygulanmasının birçok bitki türünde büyümeyi iyileştirebildiği rapor edildi. Mevcut araştırmada Trp (0,1 mM) ön muamelesinin artan tuz stresiyle (0, 25, 50, 100 ve 150 mM NaCl) mısır bitkisi bazı büyüme, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkisi araştırıldı. Bu sebeple, araştırmanın bulguları dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlara varılabilir

- 1) Artan tuz stresi (25 - 150 mM NaCl), her iki mısır çeşidinin radikula, kök ve yaprak uzunluğunu kontrollerine kıyasla önemli düzeyde azalttı. Aksine, Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde kök ve yaprak uzunluğunu azalttı.
- 2) Artan tuz stresi, her iki mısır çeşidinin kök ve yaprak taze ağırlığının yanında kök ve yaprak kuru ağırlığını da önemli düzeyde azalttı. Bununla birlikte, Trp uygulaması mısır bitkisinin kök ve yapraklarının taze ve kuru biyokütlesini artırmadığı, aksine kontrollerine kıyasla azalttığı belirlendi.
- 3) Su içeriği, her iki mısır çeşidinde de artan tuz stresi koşullarında önemli düzeyde azalma gösterdi. Trp ön uygulamasında kontrol gruplarına kıyasla su içeriğinde bir artış olmasına rağmen, bu artış istatistiksel olarak önemli düzeyde olmadığı görüldü.
- 4) Yaprak su kaybı, tuz stresi koşullarında ve tuz stresi uygulamasına bağlı olarak her iki mısır çeşidinde de önemli düzeyde azaldığı tespit edildi. Ancak, Trp uygulamasının her iki mısır çeşidi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görüldü.
- 5) Hem kök hem de yaprak ozmotik potansiyeli, her iki mısır çeşidinde de tuz stresinin artmasıyla birlikte önemli düzeyde azaldığını gösterdi. Bununla birlikte, Trp ön muamelesi, muamele edilmeyen bitkilere kıyasla her iki mısır çeşidinde de ozmotik potansiyeli önemli düzeyde artırdığı gözlemlendi.
- 6) Artan tuz stresi, her iki mısır çeşidinin hem köklerinde hem de yapraklarında Na^+ içeriğinde önemli düzeyde bir artışa neden olduğu belirlendi. Tuz stresi uygulamalarından farklı olarak, Trp uygulaması her iki mısır çeşidinde de yaprak ve kök Na^+ içeriğini önemli düzeyde azalttı.
- 7) Artan tuz stresi, iki mısır çeşidinin hem köklerinde hem de yapraklarında K^+ içeriğinde önemli bir azalmaya neden olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte, Trp uygulaması tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') K^+ içeriğini önemli düzeyde arttırırken, tuza

duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise tuz stresi uygulanmayan bitkilerde K^+ içeriğini arttırdı.

- 8) Artan tuz stresi, iki mısır çeşidinin hem köklerinde hem de yapraklarında K^+ içeriğinde önemli bir azalmaya neden olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte, Trp uygulaması tuza toleranslı mısır çeşidinde ('DKC6590') K^+ içeriğini önemli düzeyde arttırırken, tuza duyarlı mısır çeşidinde ('DKC6724') ise tuz stresi uygulanmayan bitkilerde K^+ içeriğini arttırdı.
- 9) Tuz stresi koşullarında kök ve yaprak K^+/Na^+ oranı her iki mısır çeşidinde de önemli ölçüde azalırken, Trp uygulaması iki mısır çeşidinin kök ve yapraklarında K^+/Na^+ oranının artmasına neden olduğu tespit edildi.
- 10) Kontrol bitkilerine kıyasla Cl^- içeriğinde bir artış olmasına rağmen, farklı tuz stresi ve Trp uygulamalarının iki mısır çeşidinde kök ve yaprak Cl^- içeriği üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görüldü.
- 11) Artan tuz stresi uygulamaları her iki mısır çeşidinde de elektrolit sızıntı değerini kontrole kıyasla önemli düzeyde artırırken, Trp uygulaması 150 mM NaCl'den daha düşük tuz stresi uygulanan grupta elektrolit sızıntı değerini kontrol bitkilerine kıyasla azalttı.
- 12) Tuz stresi uygulamaları, her iki mısır çeşidinde de klorofil *a*, klorofil *b* toplam klorofil içeriğinin yanında toplam karotenoid içeriğini kontrole kıyasla arttırdı. Bununla birlikte, Trp ön muamelesi, kontrol bitkilerine kıyasla her iki mısır çeşidinde de klorofil ve karotenoid içeriğinde düşük miktarda azalma sağladığı ya da herhangi bir etkisi göstermediği görüldü.
- 13) Artan tuz stresi, orta tuz stresi düzeyinde (25 ve 50 mM) klorofil floresansını (F_v/F_m) azaltırken, şiddetli tuz stresi düzeyinde (100 ve 150 mM) F_v/F_m 'yi arttırdığı gözlemlendi. Bununla birlikte, Trp uygulaması iki mısır çeşidinde de hem tuz stresi olmayan hem de tuz stresi olan bitkilerde F_v/F_m oranını azalttığı görüldü.
- 14) Kök prolin içeriği, 'DKC6724' mısır çeşidinde kontrole kıyasla 150 mM NaCl uygulama grubunda artarken, 'DKC6590' çeşidinde kök prolin içeriği tuz stresi koşullarında belirgin azalma gösterdi. Bununla birlikte, yaprak prolin içeriği her iki mısır çeşidinde de tuz stresinin artmasıyla birlikte kademeli olarak önemli düzeyde arttığı belirlendi.
- 15) Trp uygulaması, Trp uygulanmamış bitkilere kıyasla her iki mısır çeşidinde de yaprak prolin içeriğinde bir azalmaya neden olurken, özellikle yüksek düzeyde tuz stresi

koşullarında (100 ve 150 mM NaCl) tuz stresi uygulanan bitkilerde prolin içeriğini artırdığı gözlemlendi.

- 16) Kök mannitol içeriği, 'DKC6724' mısır çeşidinde kontrol grubuna kıyasla NaCl stresinin artmasıyla birlikte önemli düzeyde artarken, 'DKC6590' mısır çeşidinde tuz stresi uygulandığında kök mannitol içeriği stres uygulanmayan bitkilere kıyasla azaldığı tespit edildi. Öte yandan, mannitol içeriği yapraklarda köklere kıyasla daha fazla artırdığı gözlemlendi. Benzer şekilde, artan tuz stresi her iki mısır çeşidinde de hem kök hem de yaprak sukroz içeriğini artırırken, Trp uygulaması genel olarak her iki mısır çeşidinde de özellikle 100 ve 150 mM NaCl koşullarında mannitol ve sukroz içeriğini artırdığı tespit edildi.

Genel olarak, bulgular, beklendiği gibi, tuz stresinin dikkate alınan tüm parametreler üzerinde olumsuz etkileri olduğunu ve tuz stresine toleranslı 'DKC6590' mısır çeşidinin tuza duyarlı 'DKC6724' çeşidine kıyasla tuz stresine karşı daha üstün bir toleransa sahip olduğunu ortaya koydu. Bununla birlikte, Trp uygulaması bazı parametreler üzerinde olumlu bir etkiye neden olurken bazı parametreler üzerinde hiçbir etkiye sahip olmadığı, ancak genel olarak mısır bitkilerinin büyüme ve gelişmesini iyileştirebileceği kanaatine varıldı.

6. ÖNERİLER

Tuz stresinin zararlı etkilerinin üstesinden gelmek için bitkiler birçok enzimatik ve enzimatik olmayan stratejiler geliştirdiler. Triptofanın tohum ön muamelesi (priming), toprağa uygulaması ya da yaprağa (foliar) püskürtme gibi farklı şekillerde uygulanmasının, tuz stresi de dahil olmak üzere farklı abiyotik streslerin neden olduğu olumsuz etkilere karşı bitki büyüme ve gelişimini iyileştirdiği önceki çalışmalarda olduğu gibi mevcut çalışmada ortaya konuldu

Mevcut araştırmada, NaCl stresinin mısır bitkisinin büyümesi ve gelişmesi üzerindeki olumsuz etkilere neden olduğunu gösterdik. Benzer şekilde, Trp uygulamasının mısır bitkisinin tuz stresine toleransını artırmadaki etkisini çalışılan temel fizyolojik ve biyokimyasal parametreler kullanarak belirledik. Bu nedenle, Trp'nin bitkilerin tuz stresine toleransı üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için daha ileri çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu konuda yapabilecek öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- tuz stresinin etkileri 3 gün sonra gözlemlendiğinden, ileriki çalışmalarda tuz stresi uygulama süresi artırılabilir.
- benzer şekilde, Trp uygulaması sadece tohum ön uygulaması (priming) yoluyla gerçekleştirildi. Bu bağlamda, yapılacak çalışmalarda Trp'ın foliar ve toprak uygulanması mevcut çalışmayı destekleyebilecek sonuçlar sağlayabilir.
- bu araştırmada, tuz stresinin etkileri ve Trp'ın tuz stresine toleransı mısır bitkisi üzerinde büyüme, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler düzeyinde incelendi. İleri çalışmalar, moleküler düzeyde (gen ifadesi) yapılması da çalışmamıza destekleyebilecek yardımcı bilimsel veriler katabilir.
- mısır (*Z. mays* L.), orta derecede tuz stresine duyarlı bir tür olarak kabul edilen tek çenekli bir bitkidir. Bu sebeple, bulgularımızı desteklemek amacıyla diğer ürün bitkilerinde de karşılaştırmalı çalışmalar yürütülebilir.
- tarımda potansiyel bir uygulama için laboratuvar çalışmalarını doğrulamak üzere tarla koşullarında deneyler yürütülebilir
- triptofanın oksin hormonunun bir öncüsü olması nedeniyle bu iki molekülün etkilerinin karşılaştırılması bulgularımızı destekleyebilir nitelikte olabilir. Aynı zamanda Trp'ın aynı gruptan diğer amino asitlerle karşılaştırılabilen çalışmalar da yürütülebilir.

- aynı koşullarda Trp'ın vakuolar iyon bölümlenmesine yönelik çalışmalarda yürütülebilir.



7. KAYNAKLAR

- Abbas, S. H., Sohail, M., Saleem, M., Mahmood, T., Aziz I., Qamar, M., Majeed, A. & Arif, M. (2013). Effect of L-tryptophan on plant weight and pod weight in chickpea under rainfed conditions. *Sci Tech Dev.* 32: 277–280.
- Acosta-Motos, J.-R., Diaz-Vivancos, P., Alvarez, S., Fernandez-Garcia, N., Sanchez-Blanco, M. J. & Hernandez, J. A. (2015). Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. *Planta* 242, 829–846.
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., SanchezBlanco, M. J. & Hernandez, J. A. (2017). Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy* 7, 18.
- Adiaha, M. S. (2017). The impact of Maize (*Zea mays* L.) and it uses for human development: A review. ***International Journal of Scientific World*** 5 (1), 93-95.
- Afzal, M., Nawaz, K., Hussain, K. Iqbal, I., Riaz, H., Rouf, ZA., Javeria, M., Akram, R., Khaliq, M., Attique, A., Zainab, R. & U-Nisa, W. (2023). Foliar application of mannitol as an effective approach to ameliorate the salt stress-induced toxicity in two varieties of maize (*Zea mays* L.). *Pak. J. Bot.* 55(2), 459-467.
- Ahanger, M. A., Tomar, N. S., Tittal, M., Argal, S. & Agarwal, R. M. (2017). Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiol Mol Biol Plants* 23 (4), 731–744.
- Ahemad, M. & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspectives. *J King Saud Univ-Sci.* 26: 1–20.
- Ahmad, P., Hakeem, K. R., Kumar, A., Ashraf, M. & Akram, N. A. (2012). Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of three cultivars of mustard (*Brassica juncea* L.). *African Journal of Biotechnology* 11 (11), 2694-2703.
- Ahmad, R., Shahzad, S. M., Khalid, A., Arshad, M. & Mahmood, M. H. (2007). Growth and yield response of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) to nitrogen and L-tryptophan enriched compost. *Pak. J. Bot.*, 39 (2), 541-549.
- Ahmad, P., Jamsheed, S., Hameed, A., Rasool, S., Sharma, I., Azooz, M. & Hasanuzzaman, M. (2014). Drought Stress Induced Oxidative Damage and Antioxidants in Plants. *Elsevier Inc.*
- Akcin, A. & Yalcin, E. (2016). Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content, and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). *Braz. J. Bot* 39 (1), 101–106.

- Alama, A., Ullah, H., Attiad, A. & Datta, A. (2020). Effects of Salinity Stress on Growth, Mineral Nutrient Accumulation and Biochemical Parameters of Seedlings of Three Citrus Rootstocks. *International Journal of Fruit Science* 20 (4), 786–804.
- Khalid H. Alamer, K. H., Shaista Perveen, S., Abdul Khaliq, A., Ul Haq, M. Z., Ibrahim, M. & U., Ijaz, B. (2022). Mitigation of Salinity Stress in Maize Seedlings by the Application of Vermicompost and Sorghum Water Extracts. *Plants* 11, 2548.
- Alfosea-Simón, M., Zavala-Gonzalez, E.A., Camara-Zapata, J. M., Martínez-Nicolás, J. J., Simón I., Simón-Grao, S. & García-Sánchez, F. (2020). Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. *Scientia Horticulturae* 272, 109509.
- Ali, S. G. & Rab, A. (2017). The influence of salinity and drought stress on sodium, potassium and proline content of *solanum lycopersicum* L. cv. Rio Grande. *Pak. J. Bot.*, 49 (1), 1-9.
- Ali, B., Wang, X., Saleem, M. H., Sumaira, H. A., Afridi, M. S., Khan, S., Un-Nisa, Z., Ullah, I., Júnior, A. T. A., Alatawi, A. & Ali, S. (2022). PGPR-Mediated Salt Tolerance in Maize by Modulating Plant Physiology, Antioxidant Defense, Compatible Solutes Accumulation and Bio-Surfactant Producing Genes. *Plants* 11, 345.
- Alkahtani, J. & Dwiningasih, Y. (2023). Analysis of morphological, physiological, and biochemical traits of salt stress tolerance in asian rice cultivars at different stages. *Stresses* 2023, 3, 717–735.
- Almeida, P., Feron, R., de Boer, G.-J. & de Boer, A. H. (2015). Role of Na⁺, K⁺, Cl⁻, proline and sucrose concentrations in determining salinity tolerance and their correlation with the expression of multiple genes in tomato. *AOB Plants* 6: plu039.
- Alzahrani, O., Abouseadaa, H., Abdelmoneim, T. K., Alshehri, M. A., Elmogy, M. M., ElBeltagi, H. S., Atia, M. A. M. Agronomical, physiological and molecular evaluation reveals superior salt-tolerance in bread wheat through salt-induced priming approach. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 49 (2), 12310.
- Arief, M. A. A., Kim, H., Kurniawan, H., Nugroho, A. P., Kim, T. & Cho, B.-K. (2023). Chlorophyll fluorescence imaging for early detection of drought and heat stress in strawberry plants. *Plants* 12, 1387.
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry* 156, 64-77.
- Aroca, R., Porcel, R. & Ruiz-Lozano, J.-M. (2012). Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. *Journal of Experimental Botany* 63, (1), 43–57.

- Assaha, D. V. M., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R. & Yaish, M. W. (2017). The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. *Frontiers In Physiology* 8, 509.
- Asghari, R. & Ahmadvand, R. (2018). Salinity Stress and its impact on MorphoPhysiological Characteristics of Aloe Vera. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 41 (1): 411 – 422.
- Ashrafi, E., Razmjoo, J., Zahedi, M. (2018). Effect of salt stress on Growth and Ion accumulation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 41 (7), 818–831.
- Ayaz, M., Varol, N., Yolcu, S., Pelvan, A., Kaya1, Ü., Aydoğdu, E., Bor, M., Özdemir, F. & Türkan, G. (2021). Three (Turkish) olive cultivars display contrasting salt stress-coping mechanisms under high salinity. *Trees* 35, 1283–1298.
- Babaei, M., Shabani, L. & Hashemi-Shahraki, S. (2022). Improving the effects of salt stress by β -carotene and gallic acid using increasing antioxidant activity and regulating ion uptake in *Lepidium sativum* L. *Botanical Studies* 63:22.
- Back, K., Tan, D. & Reiter, R. J. (2016). Melatonin biosynthesis in plants: multiple pathways catalyze tryptophan to melatonin in the cytoplasm or chloroplasts. *Journal of Pineal Research* 61, 426–437.
- Baghel, L., Kataria, S. & Jain, M. (2019). Mitigation of adverse effects of salt stress on germination, growth, photosynthetic efficiency and yield in maize (*Zea mays* L.) through magnetopriming. *Acta Agrobot* 72 (1), 1757.
- Baker, N. R. (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:89–113.
- Balachandran, S., Hurry, V. M., Kelley, S. E., Osmond, C. B., Robinson, S. A., Rohozinski, J., Seaton, G. G. R. & Sims, D. A. (1997). Concepts of plant biotic stress. Some insights into the stress physiology of virus-infected plants, from the perspective of photosynthesis. *Physiologia Plantarum* 100, 203-213.
- Bandeh-hagh, A., Toorchi, M., Mohammadi, M. A., Chaparzadeh, N., Salekdeh, G. H. & Kazemnia, H. (2008). Growth and osmotic adjustment of canola genotypes in response to salinity. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 6 (2), 201-208.
- Barhoumi, Z., Atia, A., Hussain, A. A., Albinhassan, T. H. & Saleh, K. A. (2022). Effects of high salinity on photosynthesis characteristics, leaf histological components and chloroplasts ultrastructure of *Avicennia marina* seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum* 44, 85.
- Bharath, P., Gahir, S. & Raghavendra, A. S. (2021). Absciscic acid-induced stomatal closure: An important component of plant defense against abiotic and biotic stress. *Frontiers in plant Science* 12, 615114.

- Bolink, E. M., van Schalkwijk, I., Posthumus, F. & van Hasselt, P. R. (2001). Growth under UV-B radiation increases tolerance to high-light stress in pea and bean plants. *Plant Ecology* 154, 149–156.
- Bomle, D. V., Kiran, A., Kumar, J. K., Nagaraj, L. S., Pradeep, C. K., Ansari, M. A., Alghamdi, S., Kabrah, A., Assaggaf, H., Dabool, A. S., Murali, M., Amruthesh, K. N., Udayashankar, A. C. & Niranjana, S. R. (2021). Plants Saline Environment in Perception with Rhizosphere Bacteria Containing 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate Deaminase. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 11461.
- Bose, S. (2018). Effects of Salinity on Seedling Growth of Four Maize (*Zea Mays* L.) Cultivars Under Hydroponics. *Journal of Agricultural Studies* 6, 1.
- Caffarri, S., Tibiletti, T., Jennings, R. C. & Santabarbara, S. (2014). A comparison between plant photosystem I and photosystem II architecture and functioning. *Current Protein and Peptide Science* 14, 000-000.
- Carillo, P., Annunziata, M. G., Pontecorvo, G., Fuggi, A. & Woodrow, P. (2014). Salinity Stress and Salt Tolerance. *II University of Naples*.
- Cayuela, E, Pérez-Alfocea, F. M., Caro, M. & Bolarín M. C. (1996). Priming of seeds with NaCl induces physiological changes in tomato plants grown under salt stress. *Physiologia Planterum* 96 (2), 231-236.
- ÇavuGoğlu, D. (2020). Cytogenetical and Physiological Effects of L-tryptophan in Onion (*Allium cepa* L.) Exposed to Salt Stress. *Russian Agricultural Sciences* 46, (4), 341–346.
- Chakma, P., Hossain, M. M. & Rabbani, M. G. (2019). Effects of salinity stress on seed germination and seedling growth of tomato. *Journal of Bangladesh Agricultural University* 17 (4), 490–499.
- Chakraborty, K., Bhaduri, D., Meena, H. N., Kalariya, K. (2016). External potassium (K^+) application improves salinity tolerance by promoting Na^+ -exclusion, K^+ accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry* 103, 143-153.
- Chandna, Azooz, R., M. M. & Ahmad, P. (2013). Recent Advances of Metabolomics to Reveal Plant Response During Salt Stress. P. Ahmad et al. (eds.), *Salt Stress in Plants: Signalling, Omics and Adaptations*, Science + Business Media New York.
- Chang, J., Cheongb, B. E., Natera, S. & Roessner, U. (2019). Morphological and metabolic responses to salt stress of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars which differ in salinity tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry* 144, 427-435.
- Chan, Z., Grumet, R. & Loescher, W. (2011). Global gene expression analysis of transgenic, mannitolproducing, and salt-tolerant *Arabidopsis thaliana* indicates widespread changes in abiotic and biotic stress-related genes. *Journal of Experimental Botany* 62 (14), 4787–4803.

- Cha-Um, S. & Kirdmanee, C. (2009). Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pak. J. Bot.*, 41 (1): 87-98.
- Chen, H. & Jiang, J.-G. (2010). Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environ. Rev.* 18: 309–319.
- Chen, Z., Dong, Y. & Huang, X. (2022). Plant responses to UV-B radiation: signaling, acclimation and stress tolerance. *Stress Biology* 2, 51.
- Chourasia, K. N., Lal, M. K., Tiwari, R. K., Dev, D., Kardile, H. B., Patil, V. U., Kumar, A., Vanishree, G., Kumar, D., Bhardwaj, V., Meena, J. K., Mangal, V., Shelake, R.M., Kim, J.-Y. & Pramanik, D. (2021). Salinity Stress in Potato: Understanding Physiological, Biochemical and Molecular Responses. *Life* 11, 545.
- Chinnusamy, V., Zhu, J. & Zhu, J.-K. (2007). Cold stress regulation of gene expression in plants. *TRENDS in Plant Science* 12, 10.
- Costa, F. H. R., Goes, G. F., Almeida, M. S., Magalhães, C. L., de Sousa, J. M. & Sousa, G. G. (2021). Maize crop yield in function of salinity and mulch. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* 25 (12), 840-846.
- Cucci, G., Lacolla, G., Boari, F., Mastro, M. A. & Cantore, V. (2019). Effect of water salinity and irrigation regime on maize (*Zea mays* L.) cultivated on clay loam soil and irrigated by furrow in Southern Italy. *Agricultural Water Management* 222, 118–124.
- Deinlein, U., Stephan, A., Horie, T., Luo, W., Xu, G. & Schroeder, J. I. (2014). Plant salttolerance mechanisms. *Trends in Plant Science* xxx xxxx, Vol. xxx, No. x.
- Demidchik, V. (2014). Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany* xxx, xxx–xxx.
- Demmig-Adams, B., Dumlao, M., Herzenach, M. & Adams III, W. (2008). Acclimation. In: Jørgensen, S.E., Fath, B.D.B.D. (Eds.), *Encyclopedia of Ecology*.
- Demmig-Adams, B. & Adams III, W. W. (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bioi.* 43, 599-626.
- Dikobe, T. B., Mashile, B., Sinthumule, R. R. & Ruzvidzo, O. (2021). Distinct Morpho Physiological Responses of Maize to Salinity Stress. *American Journal of Plant Sciences* 12, 946-959.
- Dong, C.-J., Wang, X.-L. & Shang, Q.-M. (2011). Salicylic acid regulates sugar metabolism that confers tolerance to salinity stress in cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae* 129, 629-636.

- Dong, S. & Beckles, D. M. (2019). Dynamic changes in the starch-sugar interconversion within plant source and sink tissues promote a better abiotic stress response. *Journal of Plant Physiology* 234-235, 80-93.
- Dutta, P. (2018). Seed Priming: New Vistas and Contemporary Perspectives. *Nature Singapore Pte Ltd*.
- Edelmann, H. G. (2022). Plant root development: Is the classical theory for auxin-regulated root growth false? *Protoplasma* 259, 823–832.
- Edwards, J. M., F. Gibson, F., Jackman, L. M. & Shanson, J. S. (1964). The source of the nitrogen atom for the biosynthesis of anthranilic acid. *Biochimica et Biophysica Acta* 25119.
- El-Bassiouny, H. M. S. (2005). Physiological responses of wheat to salinity alleviation by nicotinamide and tryptophan. *Int J Agric Biol.* 7: 653–659.
- Elkhatib, H. A., Gabr, S.M., Roshdy, A. H. & Kasi, R.S. (2020). Effects of Different Nitrogen Fertilization Rates and Foliar Application of Humic Acid, Fulvic Acid and Tryptophan on Growth, Productivity and Chemical Composition of Common Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Alexandria Science Exchange Journal* 41, 2.
- El Moukhtari, A., Cabassa-Hourton, C., Farissi, M. & Saviouré, A. (2020). How Does Proline Treatment Promote Salt Stress Tolerance During Crop Plant Development? *Frontiers in Plant Physiology* 11, 1127.
- El Sabagh, A., Omar, A. E., Saneoka, H. & Barutçular, C. (2015). Comparative physiological study of soybean (*Glycine max* L.) Cultivars under salt stress. *YYÜ J. Agr. Sci.* 25(3), 269-284.
- EL Sabagh, A., Hossain, A., Barutçular, C., Iqbal, M. A., Islam, M. S., Fahad, S. , Sytar, O., Çiğ, F., Meena, R. S. & Erman, M. (2020). Consequences of Salinity Stress on the Quality of Crops and Its Mitigation Strategies for Sustainable Crop Production: An Outlook of Arid and Semi-arid Regions. S. Fahad et al. (eds.), *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*.
- El-Sharkawy, M., El-Beshbseshy, T., Al-Shal, R. & Missaoui, A. (2017). Effect of Plant Growth Stimulants on Alfalfa Response to Salt Stress. *Agricultural Sciences* 8, 267-291.
- El-Yazal, M. A. S., Eissa, H. F., Ahmed, S. A. M. E-M., Howladar, S. M., Zaki, S. S. & Rady, M. M. (2016). The *mtld* gene-overexpressed transgenic wheat tolerates salt stress through accumulation of mannitol and sugars. *Plant* 4(6), 78-90.
- Eom, S. H., Ahn, M., Kim, E., Lee, H. J., Lee, J. H., Wi, S. H., Kim, S. K., Lim, H. B. & Hyun, T. K. (2022). Plant Response to Cold Stress: Cold Stress Changes Antioxidant Metabolism in Heading Type Kimchi Cabbage (*Brassica rapa* L. *ssp. Pekinensis*). *Antioxidants* 11, 700.

- Fahad, S., Hussain, S., Matloob, A., Khan, F. A., Khaliq, A., Saud, S., Hassan, S., Shan, D., Khan, F., Ullah, N., Faiq, M., Khan, M. R., Tareen, A. K., Khan, A., Ullah, A., Ullah, N. & Huang, J. (2015). Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. *Plant Growth Regul* 75, 391–404.
- Fakhrfeshani, M., Shahriari-Ahmadi, F., Niazi, A., Moshtaghi, N. & Zare-Mehrjerdi, M. (2015). The effect of salinity stress on Na⁺, K⁺ concentration, Na⁺/K⁺ ratio, electrolyte leakage and HKT expression profile in roots of *Aeluropus littoralis*. *Journal of Plant Molecular Breeding* 3 (2): 1-10.
- FAO (2019). “Dünyada Gıda Güvenliği ve Beslenme Durumu”, <http://www.fao.org/3/ca5249tr/ca5249tr.pdf>.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. (2022). The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>.
- Farooq, M., Gogoi, N., Hussain, M., Barthakur, S., Paul, S., Bharadwaj, N., Migdadi, H. M., Alghamdi, S. S. & Siddique, K. H. M. (2017). Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry* 118, 199-217.
- Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A. & Siddique, K. H. M. (2015). Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 461–481.
- Ferro, N., Bultinck, P., Gallegos, A., Jacobsen, H.-J., Carbo-Dorca, R. & Reinard, T. (2007). Unrevealed structural requirements for auxin-like molecules by theoretical and experimental evidences. *Phytochemistry* 68, 237–250.
- Fiore, A. & Murray, P. J. (2021). Tryptophan and indole metabolism in immune regulation. *Current Opinion in Immunology*, 70, 7–14.
- Flexas, J., Baron, M., Bota, J., Ducruet, J.-M., Gallé, A., Galmés, J., Jiménez, M., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Sajnani, C., Tomàs, M. & Medrano, H. (2009). Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted Vitis hybrid Richter-110 (*V. berlandieri*·*V. rupestris*). *Journal of Experimental Botany* 60 (8), 2361–2377.
- de Freitas, P. A. F., de Carvalho, H. H., Costa, J. H., Miranda, R. S., Saraiva, K. D. C., de Oliveira, F. D. B., Coelho, D. G., Prisco, J. T. & Gomes-Filho, E. (2019). Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. *Plant Cell Reports* 38, 403–416.
- Fresno, D. H., Solé-Corbaton, H. & Munné-Bosch, S. (2023). Water stress protection by the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizoglyphus irregularis* involves physiological and hormonal responses in an organ-specific manner. *Physiologia Plantarum* 175:e13854

- Galić, V., Mazur, M., Šimić, D., Zdunić, Z. & Franić, M. (2020). Plant biomass in saltstressed young maize plants can be modelled with photosynthetic performance. *Photosynthetica* 58 (SI), 194-204.
- Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W. & He, X. (2020). Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two Adonis species in Northeast China. *Scientia Horticulturae* 259, 108795.
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J. F. & Dommes, J. (2002). Concepts in plant stress physiology: Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation* 37, 263–285.
- Gharsallah, C., Fakhfakh, H., Grubb, D. & Gorsane, F. (2016). Effect of salt stress on ion concentration, proline content, antioxidant enzyme activities and gene expression in tomato cultivars. *AoB PLANTS* 8: plw055; doi:10.1093/aobpla/plw055.
- Ghori, N.-H., Ghori, T., Hayat, M. Q., Imadi, S. R., Gul, A., Altay, V. & Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16, 1807–1828.
- Ghosh, U. K., Islam, M. N., Siddiqui, M. N. & Khan, M. A. R. (2021). Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: a review of potential mechanism. *Plant Signaling & Behavior* 16 (8), e1913306.
- Gill, M. (2014). Heavy metal stress in plants: a review. *International Journal of Advanced Research* 2 (6), 1043-1055.
- Gill, P. K., Sharma, A. D., Singh, P. & Bhullar, S. S. (2002). Osmotic stress-induced changes in germination, growth and soluble sugar content of *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds. *Bulg. J. Plant Physiol.* 28 (3-4), 12-25.
- Goharizi, K. J., Baghizadeh, A., Afroushteh, M., Amirmahani, F. & Kermani, S. G. (2020). Effects of salinity stress on proline content and expression of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthase and vacuolar-type H⁺ subunit E genes in wheat. *Cambridge University Press* 18 (5), 334–342.
- Gong, D. H., Wang, G. Z., Si, W. T., Zhou, Y., Liu, Z. & Jia, J. (2018). Effects of Salt Stress on Photosynthetic Pigments and Activity of Ribulose-1,5-bisphosphate Carboxylase/Oxygenase in *Kalidium foliatum*. *Russian Journal of Plant Physiology* 65 (1), 98–103.
- Goodman, M. M. & Galinat, W. C. (1988). The history and evolution of Maize. *Critical Reviews in Plant Sciences* 7 (3), 197-220.
- Guidi, L., Ermes Lo Piccolo, E. & Marco Landi, M. (2019). Chlorophyll fluorescence, photoinhibition and abiotic stress: Does it make any difference the fact to be a c3 or c4 species? *Frontiers In Plant Science* 10, 174.

- Gul, M., Wakeel, A., Steffens, D. & Lindberg, S. (2019). Potassium-induced decrease in cytosolic Na⁺ alleviates deleterious effects of salt stress on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biology* 21, 825–831.
- Gull, A., Lone, A. A. & Wani, N. I. (2019). Biotic and Abiotic Stresses in Plants. *Intechopen* 85832.
- Gull, M., Sajid, Z. A. & Aftab, F. (2022). Alleviation of Salt Stress in *Solanum tuberosum* L. by Exogenous Application of Indoleacetic acid and L-Tryptophan. *Journal of Plant Growth Regulation*.
- Guimarães, F. V. A., de Lacerda, C. F., Marques, E. C., de Miranda, M. R. A., de Abreu, C. E. B., Prisco, J. T. & Gomes-Filho, E. (2011). Calcium can moderate changes on membrane structure and lipid composition in cowpea plants under salt stress. *Plant Growth Regul* 65, 55–63.
- Guo, R., Shi, L., Yan, C., Zhong, X., Gu1, F., Liu, Q., Xia, X. & Li, H. (2017). Ionomic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L.) seedlings. *BMC Plant Biology* 17:41.
- Hand, M. J., Taffouo, V. D., Nouck, A. E., Nyemene, K. P. J., Tonfack, L. B., Meguekam, T. L. & Youmbi, E. (2017). Effects of salt stress on plant growth, nutrient partitioning, chlorophyll content, leaf relative water content, accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in pepper (*capsicum annum* l.) Cultivars. *Not Bot Horti Agrobo* 45 (2), 481-490.
- Hanci, F., Cebeci, E., Uysal, E. & Dasgan, H. Y. (2016). Effects of salt stress on some physiological parameters and mineral element contents of onion (*Allium cepa* L.) plants. *Physiol* 144 (2), 241–247.
- Hanci, F. & Tuncer, G. (2020). How Do Foliar Application of Melatonin and L-Tryptophan Affect Lettuce Growth Parameters Under Salt Stress? *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 8 (4): 960-964.
- Han, P. T., Viet, V. H., Trang, D. T. T., Tung, N. C. T., Dong, N. M., Nishimura, T., Toan, P. V. & Trang, N. T. D. (2020). Effects of salt stress on plant growth and biomass allocation in some wetland grass species in the Mekong delta. *Vietnam Journal of Science and Technology* 58 (3A), 50-58.
- Hannachi, S., Steppe, K., Eloudi, M., Mechi, L., Bahrini, I. & Van Labeke, M.-C. (2022). Salt Stress Induced Changes in Photosynthesis and Metabolic Profiles of One Tolerant („Bonica“) and One Sensitive („Black Beauty“) Eggplant Cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants* 11, 590.
- Hasan, M. M., Rahman, M. A., Skalicky, M., Alabdallah, N. M., Waseem, M., Mohammad Shah Jahan, M. S., Ahammed, G. J., El-Mogy, M. M., El-Yazied, A. A., Ibrahim, M. F. M. & Fang, X.-W. (2021). Ozone Induced Stomatal Regulations, MAPK and Phytohormone Signaling in Plants. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 6304.

- Hasanuzzaman, M., Davies, N. W., Shabala, L., Zhou, M., Brodribb, T. J. & Shabala, S. (2017). Residual transpiration as a component of salinity stress tolerance mechanism: a case study for barley. *Plant Biology* 17:107.
- Hasanuzzaman, M., Shabala, L., Zhou, M., Brodribb, T. J., Corkrey, R. & Shabala, S. (2018). Factors determining stomatal and non-stomatal (residual) transpiration and their contribution towards salinity tolerance in contrasting barley genotypes. *Environmental and Experimental Botany* 153, 10–20.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. & Fujita, M. (2012). Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., Parvaiz Ahmad, P., Chandna, R., Prasad, M. N. V. & Öztürk, M. (2013). Enhancing Plant Productivity Under Salt Stress: Relevance of Poly-omics. *Science + Business Media New York*.
- Hasanuzzaman, M. & Fotopoulos, V. (2019). Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings: Implication in Plant Stress Tolerance and Enhancing Productivity in Crop Plants. *Nature Singapore Pte Ltd*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1>.
- Hashemi, A. & Shahani, A. (2019). Effects of salt stress on the morphological characteristics, total phenol and total anthocyanin contents of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Plant Physiol. Rep.* 24 (2), 210–214.
- Hatsugai, N. & Katagiri, F. (2018). Quantification of Plant Cell Death by Electrolyte Leakage Assay. *Bio-protocol* 8 (5).
- Hayat, S., Yadav, S., Wani, A. S., Irfan, M., Alyemini, M. N. & Ahmad, A. (2012). Impact of Sodium Nitroprusside on Nitrate Reductase, Proline Content, and Antioxidant System in Tomato under Salinity Stress. *Hort. Environ. Biotechnol* 53 (5), 362-367.
- Hayat, S., Hasan, S. A., Yusuf, M., Hayat, Q. & Ahmad, A. (2010). Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. *Environmental and Experimental Botany* 69, 105–112.
- Hellin, J., Erenstein, O., Beuchelt, T., Camacho, C. & Flores, D. (2013). Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Research* 153, 12–21.
- He, Z., He, C., Zhang, Z., Zou, Z. & Wang, H. (2007). Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 59, 128–133.
- Hildebrandt, T. M., Nunes Nesi, A., Araújo, Wagner L. & Braun, H.-P. (2015). Amino acid catabolism in plants. *Mol. Plant* 8, 1563–1579.

- Hniličková, H., Hnilička, F., Martinková, J. & Kraus, K. (2017). Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket. *Plant Soil Environ.* 63 (8), 362–367.
- Hniličková, H., Hnilička, F., Orsák, M. & Hejnák, V. (2019). Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. *Plant, Soil and Environment* 65 (2), 90–96.
- Hoffmann, A. M., Noga, G. & Hunsche, M. (2015). High blue light improves acclimation and photosynthetic recovery of pepper plants exposed to UV stress. *Environmental and Experimental Botany* 109, 254–263.
- Hopkins, W.G. (2003). *Physiologie végétale. Editions De Boeck & Larcier s.a. Bruxelles.* 514 p.
- Hoque, M. M. I., Jun, Z. & Guoying, W. (2015). Evaluation of salinity tolerance in maize (*Zea mays* L.) genotypes at seedling stage. *J. BioSci. Biotechnol.* 4 (1), 39-49.
- Hozayn, M., Abd-Elmonem, A. A. & Samaha, G. M. (2020). The physiological effect of presoaking with tryptophan on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) productivity under different levels of salinity stresses. *Bulletin of the National Research Centre* 44:65.
- Hozayn, M. & Ahmed, A. A. (2019). Effect of Magneto-priming by tryptophan and ascorbic acid on germination attributes of barley (*Hordeum vulgare*, L.) under salinity stress. *EurAsian Journal of BioSciences* 13, 245-251.
- Hussain, B. (2015). Modernization in plant breeding approaches for improving biotic stress resistance in crop plants. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39, 515-530.
- Hussein, M. M., Faham, S. Y. & Alva, A. K. (2014). Role of Foliar Application of Nicotinic Acid and Tryptophan on Onion Plants Response to Salinity Stress. *Journal of Agricultural Science* 6 (8).
- Iqbal, S., Hussain, S., Qayyum, M. A., Ashraf, M. & Saifullah. (2021). The Response of Maize Physiology under Salinity Stress and Its Coping Strategies. *Intechopen* 92213.
- Islam, F., Wang, J., Farooq, M. A., Yang, C., Jan, M., Mwamba, T. M., Hannan, F., Xu, L. & Zhou, W. (2019). Rice responses and tolerance to salt stress: Deciphering the physiological and molecular mechanisms of salinity adaptation. *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance, Elsevier Inc.*
- Jacob, P. J., Siddiqui, S. A., Rathore, M. S. (2020). Seed germination, seedling growth and seedling development associated physiochemical changes in *Salicornia brachiata* (Roxb.) under salinity and osmotic stress. *Aquatic Botany* 166, 103272.
- Jamil, M., Ashraf, M., ur Rehman, S., Ahmad, M. & Rha, E. S. (2012). Salinity induced changes in cell membrane stability, protein and RNA contents. *African Journal of Biotechnology* 11(24), 6476-6483

- Jamil, M., Kharal, M. A., Ahmad, M., Abbasi, G. H., Nazli, F., Hussain, A. & Akhtar, M. F. Z. (2018). Inducing salinity tolerance in red pepper (*Capsicum annuum* L.) through exogenous application of proline and L-tryptophan. *Soil Environ.* 37(2): xxxx.
- Jamil, M., ur Rehman, S. & Rha, E.S. (2014). Response of Growth, PSII Photochemistry and Chlorophyll Content to Salt Stress in Four *Brassica* Species. *Life Science Journal* 11 (3).
- Jamil, M., Ahamd, M., Anwar, F., Zahir, Z. A., Kharal, M. A. & Nazli, F. (2018). Inducing drought tolerance in wheat through combined use of Ltryptophan and *pseudomonas fluorescens*. *Pak. J. Agri. Sci.*, 55 (2), 331-337.
- Janda, T., Darko, E., Shehata, S., Kov, V., Pal, M. & Szalai, G. (2016). Salt acclimation processes in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry* 101, 68-75.
- Jan, S. A., Shinwari, Z. K. & Rabbani, M. A. (2016). Agro-morphological and physiological responses of *Brassica rapa* ecotypes to salt stress. *Pak. J. Bot.* 48 (4), 1379-1384.
- Jouyban, Z. (2012). The Effects of Salt stress on plant growth. *Tech J Engin & App Sci.* 2 (1), 7-10.
- Joshi, R., Mangu, V. R., Bedre, R., Sanchez, L., Pilcher, W., Zandkarimi, H. & Baisakh, N.. (2015). Salt Adaptation Mechanisms of Halophytes: Improvement of Salt Tolerance in Crop Plants. G.K. Pandey (ed.), *Elucidation of Abiotic Stress Signaling in Plants*.
- Kaddour, R., Nasri, N., M'rah, S., Berthomieu, P. & Lachaâl, M. (2009). Comparative effect of potassium on K and Na uptake and transport in two accessions of *Arabidopsis thaliana* during salinity stress. *C. R. Biologies* 332, 784–794.
- Kahveci, H., Bilginer, N., Diraz-Yildirim, E., Kulak, M., Yazar, E., Kocacinar, F. & Karaman, S. (2021). Priming with salicylic acid, β -carotene and tryptophan modulates growth, phenolics and essential oil components of *Ocimum basilicum* L. grown under salinity. *Scientia Horticulturae* 281, 109964.
- Kai, H. & Iba, K. (2014). Temperature Stress in Plants. *John Wiley & Sons, Ltd: Chichester*.
- Kandil A. A., Sharief A. E., Abido W. A. E. & Ibrahim M. M. (2012). Effect of salinity on seed germination and seedling characters of some forage sorghum cultivars. *International Journal of Agriculture Sciences* 4 (7), 306-311.
- Kao, C. H. (2017). “Mechanisms of Salt Tolerance in Rice Plants: Reactive Oxygen Species Scavenging-Systems”, *Journal of Taiwan Agricultural Research*, 66, 1–8.

- Kapoor, N. & Pande, V. (2015). Effect of Salt Stress on Growth Parameters, Moisture Content, Relative Water Content and Photosynthetic Pigments of Fenugreek Variety RMt-1. *Journal of Plant Sciences* 10 (6), 210-221.
- Karimi, H. R. & Hasanpour, Z. (2014). Effects of salinity and water stress on growth and macro nutrients concentration of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 37, 1937–1951.
- Karlıdag, H., Yildirim, E. & Turan, M. (2011). Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Scientia Horticulturae* 130, 133-140.
- Kartal, N. & Demirhan, Y. (2014). “Türkiye”de Kentsel Yoksulluğun Kırsal Nedenleri ve Çözüm Önerileri Üzerine”, Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 15 (2), 135-154.
- Kartik, V. P., Jinal, H. N. & Amaresan, N. (2021). Inoculation of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings with Salt-Tolerant Plant Growth Promoting Bacteria Improves Nutrient Uptake, Plant Attributes and Physiological Profiles. *Journal of Plant Growth Regulation* 40, 1728–1740.
- Khan, N., Ali, S., Zandi, P., Mehmood, A., Ullah, S., Ikram, M., Shahid, M. A. & Babar, M. A. (2020). Role of sugars, amino acids and organic acids in improving plant abiotic stress tolerance. *Pak. J. Bot.* 52 (2), 355-363.
- Khan, M. S. A., Al-Mamun, M. A., Al-Mahmud, A., Bazzaz, M. M., Hossain, A., Alam, M. S., Shamimuzzaman, M. & Karim, M. A. (2014). Effects of salt and water stress on leaf production, sodium and potassium ion accumulation in soybean. *Journal of Plant Sciences* 2 (5), 209-214.
- Khare, T., Kumar, V. & Kishor, P. B. K. (2015). Na⁺ and Cl⁻ ions show additive effects under NaCl stress on induction of oxidative stress and the responsive antioxidative defense in rice. *Protoplasma* 252, 1149–1165.
- Kholghi, M., Toorchi, M., Bandeh-Hagh, A. & Shakiba, M. R. (2018). An evaluation of canola genotypes under salinity stress at vegetative stage via morphological and physiological traits. *Pak. J. Bot.* 50 (2), 447-455.
- Khodarahmpour, Z. (2011). Screening maize (*Zea mays* L.) hybrids for salt stress tolerance at germination stage. *African Journal of Biotechnology* 10 (71), 15959-15965.
- Kısa, D., Öztürk, L., Serhat Doker, S. & Gökçe, G. (2017). Expression analysis of metallothioneins and mineral contents in tomato (*Lycopersicon esculentum*) under heavy metal stress. *J Sci Food Agric* 97, 1916–1923.
- Kogo, B. K., Kumar, L., Koech, R. & Hasan, M. K. (2022). Response to climate change in a rain-fed crop production system: insights from maize farmers of western Kenya. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 27, 50.

- Kozłowska, M., Bandurska, H. & Breś, W. (2021). Response of Lawn Grasses to Salinity Stress and Protective Potassium Effect. *Agronomy* 11, 843.
- Köster, P., Wallrad, L., Edel, K. H., Faisal, M. , Alatar, A. A. & Kudla, J. (2019). The battle of two ions: Ca²⁺ signalling against Na⁺ stress. *Plant Biology* 21, 39–48.
- Krishna, R., Karkute, S. G., Ansari, W. A., Jaiswal, D. K. & Verma, J. P., Singh, M. (2019). Transgenic tomatoes for abiotic stress tolerance: status and way ahead. *3 Biotech* 9,143.
- Kumar, A., Rodrigues, V., Verma, S., Singh, M., Hiremath, C., Shanker, K., Ashutosh, K. & Sundaresan, V. (2021). Effect of salt stress on seed germination, morphology, biochemical parameters, genomic template stability, and bioactive constituents of *Andrographis paniculata* Nees. *Acta Physiologiae Plantarum* 43, 68.
- Kuşaksız, T. (2010). Adaptability of some new maize (*Zea mays* L.) Cultivars for silage production as main crop in mediterranean environment. *Turkish Journal of Field Crops* 15 (2), 193-197.
- Larcher, W. (1987). Stress bei Pflanzen. *Naturwissenschaften* 74, 158-167.
- Levitt, J. (1980) Responses of Plant to Environmental Stress: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. *Academic Press*, New York, 365.
- Liang, W., Ma, X., Wan, P. & Liu, L. (2017). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications* xxx, 1-6.
- Lichtenthaler, H. K. (1996). Vegetation Stress: An Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology* 148, 4-14.
- Li, Y., Chu, Y., Yao, K., Shi, C., Deng, X. & Lin, J. (2023). Response of sugar metabolism in the cotyledons and roots of *Ricinus communis* subjected to salt stress. *Plant Biology* 25, 62–71.
- Luo, J., Huang, C., Peng, F., Xue, X. & Wang, T. (2017). Effect of salt stress on photosynthesis and related physiological characteristics of *Lycium ruthenicum* Murr. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 67 (8), 680-692.
- Lutts, S., Kinet, J. & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced Senescence in Leaves of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars Differing in Salinity Resistance. *Annals of Botany* 78: 389–398.
- Lu, Y., Jeffers, R., Raju, A., Kenny, T., Ratchanniyasamu, E. & Fricke, W. (2023). Does night-time transpiration provide any benefit to wheat (*Triticum aestivum* L.) plants which are exposed to salt stress? *Physiologia Plantarum* 175.
- Ma, Y, Wei1, Z., Liu1, J., Liu, X. & Liu, F. (2021). Growth and physiological responses of cotton plants to salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 207, 65–576.

- Mahlooji, M., Sharifi, R. S., Razmjoo, J., Sabzalian, M. R. & Sedghi, M. (2018). Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. *Photosynthetica* 56 (2), 549-556.
- Mano Y, Nemoto K. (2012). The pathway of auxin biosynthesis in plants. *J Exp Bot.* 63, 2853–2872.
- Márquez, G., Alarcón, M.V. & Salguero, J. (2016). Differential responses of primary and lateral roots to indole-3-acetic acid, indole-3-butyric acid, and 1-naphthaleneacetic acid in maize seedlings. *Biologia Plantarum* 60 (2), 367-375.
- Martinelli, F., Scalenghe, R., Davino, S., Panno, S., Scuderi, G., Ruisi, P., Villa, P., Stroppiana, D., Boschetti, M., Goulart, L. R., Davis, C. E. & Dandekar, A. M. (2015). Advanced methods of plant disease detection. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1– 25.
- Martínez-Vilalta, J. & Garcia-Forner, N. (2017). Water potential regulation, stomatal behaviour and hydraulic transport under drought: deconstructing the iso/anisohydric concept. *Plant, Cell and Environment* 40, 962–976.
- Maswada, H. F. & Abd El-Kader, N. I. K. (2016). Redox halopriming: A promising strategy for inducing salt tolerance in bread wheat. *J Agro Crop Sci* 202, 37–50.
- Mathan, J., Singh, A. & Ranjan, A. (2021). Sucrose transport in response to drought and salt stress involves ABA-mediated induction of OsSWEET13 and OsSWEET15 in rice. *Physiologia Plantarum* 171, 620–637.
- Mathur, S., Sharma, M. P. & Jajoo, A. (2018). Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology* 180, 149–154.
- Mathur, S., Agrawal, D. & Jajoo, A. (2014). Photosynthesis: Response to high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 137, 116–126.
- Meguekam, T. L., Moualeu, D. P., Taffouo, V. D. & Stützel, H. (2021). Changes in plant growth, leaf relative water content and physiological traits in response to salt stress in peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 49 (1), 12049.
- Mekuria, T., Abreham, K., Addisu, W. & Guja, U. (2022). Evaluation of various blended fertilizer types and rates for better maize (*Zea mays* L.) crop production in Yeki woreda, Sheka Zone, South West Ethiopia. *Int. J. Agril. Res. Innov. Tech.* 12 (2), 56-59.
- Milind, P. & Isha, D. (2013). Zea Maize: A Modern Craze. *Int. Res. J. Pharm.* 4 (6).
- Miller, R. N. G., Alves, G. S. C., Van Sluys, M.-A. (2017). Plant immunity: unravelling the complexity of plant responses to biotic stresses. *Annals of Botany* 119, 681–687.

- Moghaddam, M., Farhadi, N., Panjtandoust, M. & Ghanati, F. (2020). Seed germination, antioxidant enzymes activity and proline content in medicinal plant *Tagetes minuta* under salinity stress. *Official Journal of the Societa Botanica Italiana* 154 (6), 835–842.
- Morita, Y., Nakamori, S. & Takagi, H. (2002). Effect of Proline and Arginine Metabolism on Freezing Stress of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 94 (5), 390-394.
- Müller-Xing, R., Xing, Q. & Goodrich, J. (2014). Footprints of the sun: memory of UV and light stress in plants. *Frontiers in Plant Science* 5, 474.
- Muncan, J., Jinendra, B. M. S., Kuroki, S. & Tsenkova, R. (2022). Aquaphotomics Research of Cold Stress in Soybean Cultivars with Different Stress Tolerance Ability: Early Detection of Cold Stress Response. *Molecules* 27, 744.
- Munns, R. & Gilliam, M. (2015). Salinity tolerance of crops – what is the cost? *New Phytologist* 208, 668–673.
- Moula, I., Boussadia, O., Koubouris, G., Ben Hassine, M., Boussetta, W., Van Labeke, M.C. & Braham, M. (2020). Ecophysiological and biochemical aspects of olive tree (*Olea europaea* L.) in response to salt stress and gibberellic acid-induced alleviation. *South African Journal of Botany* 132, 38-44.
- Muchate, N. S., . Nikalje, G. C.,. Rajurkar, N. S., Suprasanna, P. & Nikam, T. D. (2016). Plant Salt Stress: Adaptive Responses, Tolerance Mechanism and Bioengineering for Salt Tolerance. *Bot. Rev.* 82, 371–406.
- Muneer, M., Saleem, M., Abbas, S. H., Hussain, I. & Asim M. (2009). Using L-tryptophan to influence the crop growth of maize at different harvesting stages. *Int J Biol Biotechnol.* 6: 251–255.
- Mushtaq, Z., Asghar, H. N., Zahir, Z. A. & Maqsood, M. (2022). The Interactive Approach of Rhizobacteria and L-tryptophan on Growth, Physiology, Tuber Characteristics, and Iron Concentration of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Plant Growth Regulation* 41, 1359–1366.
- Mushtaq, Z., Faizan, S. & Gulzar, B. (2020). Salt stress, its impacts on plants and the strategies plants are employing against it: A review. *Journal of Applied Biology & Biotechnology* 8 (03), 81-91.
- Mustafa, A., Hussain, A., Naveed, M., Ditta, A., Nazli, Z. E. H. & Sattar, A. (2016). Response of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) to soil and foliar applied Ltryptophan. *Soil Environ.* 35, 76–84.
- Mustafa, A., Imran, M., Ashraf, M. & Mahmood, K. (2018). Perspectives of Using L Tryptophan for Improving Productivity of Agricultural Crops: A Review. *Pedosphere* 28 (1): 16–34, 2018.

- Najar, R., Aydi, S., Sassi-Aydi, S., Zarai, A. & Abdelly, C. (2018). Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. *Official Journal of the Societa Botanica Italiana*.
- Nannas, N. J. & Dawe, R. K. (2015). Genetic and Genomic Toolbox of *Zea mays*. *Genetics Society of America* 199, 655–669.
- Nawkar, G. M., Maibam, P., Park, J. H., Sahi, V. P., Lee, S. Y. & Kang, C. H. (2013). UVInduced Cell Death in Plants. *Int. J. Mol. Sci.* 4, 1608-1628.
- Nawaz, K., Khalid Hussain, K., Majeed, A., Khan, F., Afghan, S. & Ali, K. (2010). Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. *African Journal of Biotechnology* 9 (34), 5475-5480.
- Negrão, S., Courtois, B., Ahmadi, N., Abreu, I., Saibo, N. & Oliveira, M. M. (2011). Recent Updates on Salinity Stress in Rice: From Physiological to Molecular Responses. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30, 329–377.
- Nemati, I., Moradi, F., Gholizadeh, S., Esmaeili, M. A. & Bihamta, M. R. (2011). The effect of salinity stress on ions and soluble sugars distribution in leaves, leaf sheaths and roots of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Soil Environ.* 57 (1), 26–33.
- Neto, A. D. A., Prisco, J. T., Enéas-Filho, J., de Abreu, C. E. B. & Gomes-Filho, E. (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany* 56, 87–94.
- Nguyen, H.C., Lin, K.H., Ho, S.L., Chiang, C.M. & Yang, C.M. (2018). “Enhancing the Abiotic Stress Tolerance of Plants: from Chemical Treatment to Biotechnological Approaches”, *Physiologia Plantarum*, 164 (4), 452-466.
- Nowicka, N. & Kruk, J. (2012). Plastoquinol is more active than α -tocopherol in singlet oxygen scavenging during high light stress of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Biochimica et Biophysica Acta* 389-394.
- Oliwa, J. & Skoczowski, A. (2019). Different response of photosynthetic apparatus to high–light stress in sporotrophophyll and nest leaves of *Platycerium bifurcatum*. *Photosynthetica* 57 (1), 147-159.
- Palego, L., Betti, L., Rossi, A. & Giannaccini, G. (2016). Tryptophan biochemistry: Structural, nutritional, metabolic, and medical aspects in human. *J Amino Acids* 8952520.
- Pandolfi, C., Azzarell, E., Mancuso, S., Shabala, S. (2016). Acclimation improves salt stress tolerance in *Zea mays* L. plants. *Journal of Plant Physiology* 201, 1–8.
- Pandolfi, C., Mancuso, S. & Shabala, S., (2012). Physiology of acclimation to salinity stress in pea (*Pisum sativum*). *Environ. Exp. Bot.* 84, 44-51.

- Pang, C.-H. & Wang, B.-S. (2008). Oxidative Stress and Salt Tolerance in Plants. *Progress in Botany* 69.
- Pan, J., Sharif, R., Xu, X. & Chen, X. (2021). Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects. *Frontiers in Plant Science* 11, 627331.
- Pareek, A., Sopory, S. K. & Bohnert, H. J. (2010). Abiotic Stress Adaptation in Plants. Physiological, Molecular and Genomic Foundation. Govindjee (ed.).
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P. & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ Sci Pollut Res* 22, 4056–4075.
- Patel, K. G., Mandaliya, V. B., Mishra, G. P., Dobaria, R. J. & Thankappan, R. (2016). Transgenic peanut overexpressing *mtlD* gene confers enhanced salinity stress tolerance via mannitol accumulation and differential antioxidative responses. *Acta Physiol Plant* 38, 181.
- Patel, M. N., Kumar, M., Li, W., Luo, Y., Burritt, D.J., Alkan, N. & Tran, L.-S.P. (2020). Enhancing Salt Tolerance of Plants: From Metabolic Reprogramming to Exogenous Chemical Treatments and Molecular Approaches. *Cells* 9, 2492.
- Porcar-Castell, A., Malenovský, Z., Magney, T., Wittenberghe, S. H., Fernández-Marín, B., Maignan, F., Zhang, Y., Maseyk, K., Atherton, J., Albert, L. P., Robson, T. M., Zhao, F., Garcia-Plazaola, J.-I., Ensminger, I., Rajewicz, P. A., Grebe, S., Tikkanen, M., Kellner, J. R., Ihalainen, J. A., Rascher, U. & Logan, B. (2021). Chlorophyll *a* fluorescence illuminates a path connecting plant molecular biology to Earth-system science. *Nature Plants* 7, 998–1009.
- Pour-Aboughadareh, A., Mehrvar, M. R., Sanjani, S., Amini, A., Nikkhah-Chamanabad, H. & Asadi, A. (2021). Effects of salinity stress on seedling biomass, physiochemical properties, and grain yield in different breeding wheat genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 43, 98.
- Pradhan, C. & Mohanty, M. (2013). Submergence Stress: Responses and adaptations in crop plants. G.R. Rout and A.B. Das (eds.), *Molecular Stress Physiology of Plants*.
- Pu, Y., Liu, L., Wu, J., Zhao, Y., Bai, J., Ma, L., Yue, J., Jin, J., Niu, Z., Fang, Y. & Sun, W. (2019). Transcriptome Profile Analysis of Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Response to Freezing Stress, Reveal Potentially Connected Events to Freezing Stress. *Int. J. Mol. Sci.* 20, 2771.
- Queiroz, R. B., Bessa, L. A., Ávila, R. G., Augusto, D. S. S., Oliveira, M. S. & Vitorino, L. C. (2023). Effect of Exogenous Tryptophan on Primary Metabolism and Oxidative Stress and Their Relationship with Seedling Germination and Vigor of *Glycine Max* L. *Agronomy* 13, 1609.
- Radwanski, E. R. & Last, R. L. (1995). Tryptophan Biosynthesis and Metabolism: Biochemical and Molecular Genetics. *The Plant Cell* 7, 921-934.

- Rai, V. K. (2002). Role of amino acid in plant responses to stresses. *Biol Plantarum* 45:481–487.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C. & Job, D. (2012). Seed Germination and Vigor. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63, 507–33.
- Rakshit, A. & Singh, H. B. (2018). Advances in Seed Priming. *Nature Singapore Pte Ltd.*
- Ran, X., Wang, X., Gao, X., Liang, H., Liu, B. & Huang, X. (2021). Effects of salt stress on the photosynthetic physiology and mineral ion absorption and distribution in white willow (*Salix alba* L.). *Plos One* 16 (11).
- Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C, Murata, Y. & Hasanuzzaman, M. (2020). Seed Priming with Phytohormones: An Effective Approach for the Mitigation of Abiotic Stress. *Plants* 2021: 10-30.
- Redillas, M. C. F. R., Park, S.-H., Lee, J. W., Kim, Y. S., Jeong, J. S., Jung, H., Bang, S. W., Hahn, T.-R. & Kim, J.-K. (2012). Accumulation of trehalose increases soluble sugar contents in rice plants conferring tolerance to drought and salt stress. *Plant Biotechnol Rep* 6, 89–96.
- Roman, V. J., van de Zedde, R., Peller, J., Visser, R. G. F., van der Linden, C. G. & van Loo, E. N. (2021). High-resolution analysis of growth and transpiration of quinoa under saline conditions. *Frontiers in Plant Physiology* 12, 634311.
- Ruan, Y., Li, X., Wang, Y., Jiang, S., Song, B., Guo, Z., Zhang, A., Qi, Q., Zhang, L., Fan, J., Guan, Y., Cui, Z. & Zhu, Y. (2017). Photoinhibition of Leaves with Different Photosynthetic Carbon Assimilation Characteristics in Maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences* 8, 328-339.
- Ruiz, K. B., Aloisi, I., Del Duca, S., Canelo, V., Torrigiani, P., Silva, H. & Biondi, S. (2016). Salares versus coastal ecotypes of quinoa: Salinity responses in Chilean landraces from contrasting habitats. *Plant Physiology and Biochemistry* 101, 1-13.
- Ruiz-Lozano, J.-M., Porcel, R., Azcon, C. & Aroca, R. (2012). Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Jourbal of Experimental Botany* 63 (11), 4033-4044.
- Sabra, A., Daayf, F. & Renault, S. (2012). Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. *Scientia Horticulturae* 135, 23-31.
- Sarafi, E., Chatzissavvidis, C. & Therios, I. (2014). Effect of Calcium and Boron on the Ion Status, Carbohydrate and Proline Content, Gas Exchange Parameters and Growth Performance of Pomegranate cv. Wonderful Plants Grown Under NaCl Stress. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences* 2.

- Sarwar, M. & Frankenberger, W. T. (1994). Influence of L-tryptophan and auxins applied to the rhizosphere on the vegetative growth of *Zea mays* L. *Plant and Soil* 160, 97-104.
- Sassine, Y. N., Alturki, S. M., Germanos, M., Shaban, N., Sattar, M. N. & Sajyan, T. K. (2020). Mitigation of salt stress on tomato crop by using foliar spraying or fertigation of various products. *Journal of Plant Nutrition* 43 (16), 2493–2507.
- Savvides, A., Ali, S., Tester, M. & Fotopoulos, V. (2016). “Chemical Priming of Plants Against Multiple Abiotic Stresses: Mission Possible?”. *Trends in Plant Science* 21 (4), 329-340.
- Sen, A., & Puthur, J. T. (2020). Seed priming-induced physiochemical and molecular events in plants coupled to abiotic stress tolerance: An overview. *Priming-Mediated Stress and Cross-Stress Tolerance in Crop Plants*.
- Senguttuvel, P., Vijayalakshmi, C., Thiagarajan, K., Kannanbapu, J. R., Kota, S., Padmavathi, G., Geetha, S., Sritharan, N. & Viraktamath, B. C. (2014). Changes in photosynthesis, chlorophyll fluorescence, gas exchange parameters and osmotic potential to salt stress during early seedling stage in rice (*Oryza sativa* L.). *SABRAO Journal of Breeding and Genetics* 46 (1), 120-135.
- Shabir, A., Saqib, M., Ahmad, M., Latif, M., Bukhari, S.A.H., Ahmad, M.Q., Dawood, M. & Rashid, M. (2020). Enhancing Drought Tolerance of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Through Foliar Application of Proline and L-Tryptophan. *Pak. j. sci. ind. res. Ser. B: biol. sci.* 63B (3) 199-206.
- Shafi, M., Bakht, J., Khan, M. J., Khan, M. A. & Anwar, S. (2010). Effect of salinity on yield and ion accumulation of wheat genotypes. *Pak. J. Bot.* 42 (6): 4113-4121.
- Shahid, M. A., Sarkhosh, A., Khan, N., Balal, R. M., Ali, S., Rossi, L., Gómez, C., Neil Mattson, N., Nasim, W. & Garcia-Sanchez, F. (2020). Insights into the Physiological and Biochemical Impacts of Salt Stress on Plant Growth and Development. *Agronomy* 10, 938.
- Shah, S. H., Houborg, R. & McCabe, M. F. (2017). Response of Chlorophyll, Carotenoid and SPAD-502 Measurement to Salinity and Nutrient Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy* 7, 61.
- Shakeri, E., Mozafari, A. A., Sohrabi, F. & Saed-Moucheshi, A. (2019). Role of Proline and Other Osmoregulatory Compounds in Plant Responses to Abiotic Stresses. *Handbook of Plant and Crop Stress* 9.
- Shan, D., Ali, M., Shahid, M., Arif, A., Waheed, M. Q., Xia, X., Trethowan, R., · Mark Tester, M., Poland, J., Ogbonnaya, F. C., Rasheed, A., Zhonghu He, Z. & Li, H. (2022). Genetic networks underlying salinity tolerance in wheat uncovered with genome-wide analyses and selective sweeps. *Theoretical and Applied Genetics* 135:2925–2941.

- Shanker, A. K. & Venkateswarlu, B. (2011). Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adaptations. *InTech* www.intechopen.com
- Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Jaleel, C. A. & Zhao, C.-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biologies* 331, 215–225.
- Sharma, Y. K. & Davis, K. R. (1997). The effects of ozone on antioxidant responses in plants. *Free Radical Biology & Medicine* 23 (3), 480–488.
- Sheldon, A. R., Dalal, R. C., Kirchhof, G., Kopittke, P. M. & Menzies, N. W. (2017). The effect of salinity on plant-available water. *Plant Soil* 418:477–491.
- Shi, G. & Cai, Q. (2009). Leaf plasticity in peanut (*Arachis hypogaea* L.) in response to heavy metal stress. *Environmental and Experimental Botany* 67, 112–117.
- Shtereva, L. A., Vassilevska-Ivanova, R. D. & Karceva, T. V. (2015). Effect of salt stress on some sweet corn (*Zea mays* L. Var. *Saccharata*) genotypes. *Arch. Biol. Sci., Belgrade* 67 (3), 993–1000.
- da Silva, E. C., Nogueira, R. J. M. C., de Araujo, F. P., de Melo, N. F. & Neto, A. D. A. (2008). Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environmental and Experimental Botany* 63, 147–157.
- Singh, D., Debnath, P., Sane, A. P. & Sane, V. A. (2023). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) WRKY23 enhances salt and osmotic stress tolerance by modulating the ethylene and auxin pathways in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology and Biochemistry* 195, 330–340.
- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V. P. & Prasad, S. M. (2015). Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol* 14, 407–426.
- Singh, S. S., Kumar, P. & Rai, A. K. (2006). Ultraviolet radiation stress: Molecular and physiological adaptations in trees. *Ashwani K. Rai and Teruhiro Takabe (eds.), Abiotic Stress Tolerance in Plants*, 91–110.
- Singh, M., Singh, V. P. & Prasad, S. M. (2016). Responses of photosynthesis, nitrogen and proline metabolism to salinity stress in *Solanum lycopersicum* L. under different levels of nitrogen supplementation. *Plant Physiology and Biochemistry* 109, 72–83.
- Song, J., Chen, M., Feng, G., Jia, Y. Wang, B. & Zhang, F. (2009). Effect of salinity on growth, ion accumulation and the roles of ions in osmotic adjustment of two populations of *Suaeda salsa*. *Plant Soil* 314, 133–141.
- Soureshjani, H. K., Nezami, A., Nabati, J., Oskoueian, E. & Ahmadi-Lahijani, M. J. (2022). The Physiological, Biochemical, and Molecular Modifications of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seedlings Under Freezing Stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 41:1109–1124.

- Sprinson, D. B. (1960). The biosynthesis of aromatic compounds from D-glucose. *Department of Biochemistry, College of Physicians and Surgeons, Columbia University, New York.*
- Steudle, E. (2000). Water uptake by plant roots: an integration of views. *Plant and Soil* 226: 45–56.
- Stukenbrock, E. H. & McDonald, B. A. (2008). The Origins of Plant Pathogens in AgroEcosystems. *Annual Review of Phytopathology* 46:75–100.
- Szymańska, R., Ślesak, I., Orzechowska, A. & Kruk, J. (2017). Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany* 139, 165–177.
- Taïbi, K., Taïbi, F., Ait Abderrahim, L., Ennajah, A., Belkhodja, M. & Mulet, J. M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany* 105, 306–312.
- Tahjib-Ul-Arif, M., Siddiqui, M. N., Sohag, A. M., Sakil, M. A., Rahman, M. M., Polash, M. A. S., Mostofa, M. G. & Tran, L.-S. P. (2018). Salicylic Acid-Mediated Enhancement of Photosynthesis Attributes and Antioxidant Capacity Contributes to Yield Improvement of Maize Plants Under Salt Stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 37, 1318–1330.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, IM. & Murphy, A. (2015). Plant Physiology and Development: Sixth edition. *Sinauer Associates, Inc.*
- Tavakoli, M., Poustini, K. & Alizadeh, H. (2016). Proline Accumulation and Related Genes in Wheat Leaves under Salinity Stress. *J. Agr. Sci. Tech.* 18, 707–716.
- Teakle, N. L. & Tyerman, S. D. (2010). Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. *Plant, Cell and Environment* 33, 566–589.
- Ten Berge, H. F. M., Hijbeek, R., van Loon, M.P., Rurinda, J., Tesfaye, K., Zingore, S., Craufurd, P., van Heerwaarden, J., Brentrup, F., Schröder, J. J., Boogaard, H. L., de Groot, H. L. E. & van Ittersum, M. K. (2019). Maize crop nutrient input requirements for food security in sub-Saharan Africa. *Global Food Security* 23, 9–21.
- Teotia, S. & Singh, D. (2014). Oxidative Stress in Plants and Its Management *Approaches to Plant Stress and their Management*. DOI 10.1007/978-81-322-1620-9.
- Thalmann, M. & Santelia, D. (2017). Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. *New Phytologist* 214, 943–951.
- Tounekti, T., Vadel, A. M., Onate, M., Khemira, H. & Munné-Bosch, S. (2011). Saltinduced oxidative stress in rosemary plants: Damage or protection? *Environmental and Experimental Botany* 71, 298–305.

- Tuna, A. L., Kaya, C. Ashraf, M., Altunlu, A., Yokas, I. & Yağmur, B. (2007). The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 59, 173–178.
- Tuteja, N. (2007). Mechanisms of High Salinity Tolerance in Plants. *Methods in Enzymology* 428.
- Verma, J. P., Yadav, J., Tiwari, K. N. & Kumar, A. (2013). Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecol. Eng.* 51, 282–286.
- Wani, S. H. (2018). Biochemical, physiological and molecular avenues for combating abiotic stress in plants. *Academic Press*. ISBN 978-0-12-813066-7.
- Wang, X., Geng, S., Ma, Y., Shi, D., Yang, C. & Wang, H. (2015). Growth, Photosynthesis, Solute Accumulation, and Ion Balance of Tomato Plant under Sodium- or Potassium-Salt Stress and Alkali Stress. *Agronomy Journal* 107, 2.
- Wang, L., Bu, X., Chen, J., Huang, D. & Luo, T. (2018). Effects of nacl on plant growth, root ultrastructure, water content, and ion accumulation in a halophytic seashore beach plum (*Prunus maritima*). *Pak. J. Bot.*, 50 (3), 863-869.
- Wang, W., Wang, X., Lv, Z., Khanzada, A., Huang, M., Cai, J., Zhou, Q., Huo, Z. & Jiang, D. (2022). Effects of Cold and Salicylic Acid Priming on Free Proline and Sucrose Accumulation in Winter Wheat Under Freezing Stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 41, 2171–2184.
- Wei, J., Zheng, G., Yu, X., Liu, S., Dong, X., Cao, X., Fang, X., Li, H., Jin, J., Wenbo Mi, W. & Liu, Z. (2021). Comparative Transcriptomics and Proteomics Analyses of Leaves Reveals a Freezing StressResponsive Molecular Network in Winter Rapeseed (*Brassica rapa* L.). *Frontiers in Plant Science* 12, 664311.
- Widholm, J. M. (1971). Control of Tryptophan Biosynthesis in Plant Tissue Cultures: Lack of Repression of Anthranilate and Tryptophan Synthetases by Tryptophan. *Physiol. Plant.* 25, 75-79.
- Wu, H. Zhang, X., Giraldo, J. P. & Shabala, S. (2018). It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. *Plant Soil* 431, 1–17.
- Wu, J., Wang, J., Hui, W., Zhao, F., Wang, P., Su, C., Gong, W. (2022). Physiology of Plant Responses to Water Stress and Related Genes: A Review. *Forests* 13, 324.
- Xiong, L. & Zhu, J.-K. (2002). Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant, Cell and Environment* 25, 131–139.
- Yang, Y. & Guo, Y. (2018). Unraveling salt stress signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biol* 60 (9), 796–804.

- Yasmin, H., Nosheen, A., Naz, R., Bano, A., Keyani, R. (2017). L-tryptophan-assisted PGPR-mediated induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Interactions* 12 (1), 567–578.
- Ye, T., Yin, X., Yu, L., Zheng, S., Cai, W., Wu, Y., Feng, Y. (2019). Metabolic analysis of the melatonin biosynthesis pathway using chemical labeling coupled with liquid chromatography-mass spectrometry. *J Pineal Res.* 66, 12531.
- Yu, X., Liang, C., Chen, J., Qi, X., Liu, Y. & Li, W. (2015). The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L. *Scientia Horticulturae* 197, 579–583.
- Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P. & Wu, F. (2020). Comparison of Biochemical, Anatomical, Morphological, and Physiological Responses to Salinity Stress in Wheat and Barley Genotypes Deferring in Salinity Tolerance. *Agronomy* 10, 127.
- Zhang, M., Fang, Y., Ji, Y., Zeping Jiang, Z. & Wang, L. (2013). Effects of salt stress on ion content, antioxidant enzymes and protein profile in different tissues of *Broussonetia papyrifera*. *South African Journal of Botany* 85, 1–9.
- Zhang, X., Zhao, X., Wang, Z., Shen, W. & Xu, X. (2015). Protective effects of hydrogenrich water on the photosynthetic apparatus of maize seedlings (*Zea mays* L.) as a result of an increase in antioxidant enzyme activities under high light stress. *Plant Growth Regul.* 77, 43–56.
- Zhang, H. & Zhao, Y. (2011). Effects of different neutral and alkaline salinities on seed germination and early seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *African Journal of Agricultural Research* 6 (15), 3515-3521.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Yu, J., Zhang, H., Wang, L., Wang, S., Guo, S., Miao, Y., Chen, S., Li, Y. & Dai, S. (2019). NaCl-responsive ROS scavenging and energy supply in alkaligrass callus revealed from proteomic analysis. *BMC Genomics* 20, 990.
- Zhao, G., Han, Y., Sun, X., Li, S., Shi Q. & Wang, C. (2014). Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. *Industrial Crops and Products* 64, 175-181.
- Zhao, C. Zhang, H., Song, C., Zhu, J.-K. & Shabala, S. (2020). Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. *The Innovation Review*. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>.
- Zhao, X., , C., Pang, X., Wang, Z., Guo, Y., Du, F. & Wu, R. (2011). Functional mapping of ontogeny in flowering plants. *Briefings in Bioinformatics* 13(3), 317-328.
- Zhao, Y. (2012). Auxin Biosynthesis: A Simple Two-Step Pathway Converts Tryptophan to Indole-3-Acetic Acid in Plants. *Molecular Plant* 5 (2), 334–338.

- Zhu, J.-K., Hasegawa, P. M., Bressan, R. A. & Bohnert, H. J. (1997). Molecular Aspects of Osmotic Stress in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 16 (3), 253-277.
- Zhu, Y., Guo, J., Feng, R., Jia, J., Han, W. & Gong, H. (2016). The regulatory role of silicon on carbohydrate metabolism in *Cucumis sativus* L. under salt stress. *Plant Soil* 406, 231–249.
- Zhu, Y., Gu, W., Tian, R., Li, C., Ji, Y., Li, T., Wei, C. & Chen, Z. (2022). Morphological, physiological, and secondary metabolic responses of *Taraxacum officinale* to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 189, 71-82.
- Zienkiewicz, M., Drozak, A., Wasilewska, W., Baćławska, I., Przedpeńska-Wasowicz, E. & Romanowska, E. (2015). The short-term response of *Arabidopsis thaliana* (C3) and *Zea mays* (C4) chloroplasts to red and far red light. *Planta* 242, 1479–1493.
- Zörb, C., Geilfus, C.-M. & Dietz, K.-J. (2019). Salinity and Crop Yield. doi: 10.1111/plb.12884.

ÖZGEÇMİŞ

Philbert NDACAKOMEJE Burundi'de 2008 yılında fen bilimleri alanında liseyi tamamladıktan sonra Burundi Devletinden burs alarak Bitki Islahına Uygulanan Bitki Biyoteknolojisi alanında Lisans eğitime başlamak üzere Cezayir'in Tiaret Gehrine gönderildi. İbn Haldun Üniversitesinde Bitki Islahına Uygulanan Bitki Biyoteknolojisi alanında 2012 yılında mezun oldu. Lisans eğitiminin sonrasında aynı üniversitede devam ederek 2014 yılında Bitki Islahı alanında Yüksek Lisans eğitimini başarıyla tamamladı. Yaklaşık 2 yıl boyunca tarım sektöründe çalıştıktan sonra 2016 yılında akademik kariyerine girdi ve Burundi Üniversitesi Ziraat ve Biyomühendislik Fakültesi Bitkisel Üretim Bölümü'nde çalışmaya başladı. 2018 yılında, Türkiye Cumhuriyeti Devletinden YTB (Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı) burs programı aracılığıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde doktora eğitime burslu olarak destek aldı. Türkçe hazırlık eğitimini tamamladıktan sonra 2019 yılında KTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü'nde Bitki Fizyolojisi ve Biyokimyası alanında doktora programına başladı. Anadilinin (Kirundi) yanında çok iyi derecede Fransızca ve İngilizce bilmektedir.