

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUZ STRESİ ALTINDAKİ BAZI BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.)
GENOTİPLERİNDE POTASYUM NİTRAT UYGULAMALARININ
ETKİSİNİN FİZYOLOJİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuba TÜFEKÇİ

Biyoloji Anabilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUZ STRESİ ALTINDAKİ BAZI BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.)
GENOTİPLERİNDE POTASYUM NİTRAT UYGULAMALARININ
ETKİSİNİN FİZYOLOJİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuba TÜFEKÇİ

Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Ali DOĞRU

TEMMUZ 2024

Tuba TÜFEKÇİ tarafından hazırlanan “Tuz Stresi Altındaki Bazı Buğday (*Triticum Aestivum* L.) Genotiplerinde Potasyum Nitrat Uygulamalarının Etkisinin Fizyolojik Olarak Araştırılması ” adlı tez çalışması 19.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Hüseyin AKSOY Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞRU Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç.Dr. Mustafa YILMAZ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “TUZ STRESİ ALTINDAKİ BAZI BUĞDAY (*Triticum Aestivum* L.) GENOTİPLERİNDE POTASYUM NİTRAT UYGULAMALARININ ETKİSİNİN FİZYOLOJİK OLARAK ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(19/07/2024)

Tuba TÜFEKÇİ





Rahmetli Canım Babama...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Ali DOĞRU'ya,

Laboratuvar çalışmalarında deneyimlerini ve bilgilerini esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü Arş. Gör. Dr. Sezen TOKSOY KÖSEOĞLU'na,

Çalışmada kullanılan buğday tohumlarını temin eden Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Çok değerli abim Hüseyin KESEN'e ve canım annem Sevim KESEN'e,

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen canım eşim Semih TÜFEKÇİ'ye ve varlığıyla huzur bulduğum biricik kızım Eda'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tuba TÜFEKÇİ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SİMGELER.....	xv
TABLO LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	7
2.1. Bitkilerde Büyüme ve Gelişme Süreci	7
2.2. Bitkilerin Büyümesini Etkileyen Faktörler	8
2.2.1. Eksojen (dışsal) faktörler	9
2.2.1.1. Işık	9
2.2.1.2. Sıcaklık.....	10
2.2.1.3. Su ve nem	10
2.2.1.4. Mineraller	11
2.2.1.5. Yer çekimi etkisi.....	11
2.2.1.6. Endüstriyel ürünler	12
2.2.2. Endojen (içsel) faktörler	13
2.2.2.1. Oksinler	13
2.2.2.2. Sitokininler	14
2.2.2.3. Giberellinler.....	14
2.2.2.4. Absisik asit	15
2.2.2.5. Etilen	15
2.3. Bitkilerde Stres Kavramı	16
2.3.1. Tuz stresi.....	22
2.3.2. Toprak tuzluluğunun türleri ve topraktaki tuzlanmanın nedenleri.....	23
2.3.3. Bitkiler üzerinde tuz stresinin etkileri	26
2.4. Bitkiler üzerindeki tuz stresinin etkileri	26
2.4.1. Bitkilerin büyüme ve gelişim sürecinde tuz stresinin etkileri.....	26
2.4.2. Bitkilerde Tuz Stresinin Su Dengesi ve İyon Konsantrasyonu Üzerindeki Etkileri	28
2.4.3. Lipidler üzerine etkisi	32
2.4.4. Fotosentez üzerindeki tuz stresi etkisi	33
2.4.5. Tuz bitkisinin polioller üzerine etkisi	35
2.5. Bitkilerde Oksidatif Stres.....	37
2.5.1. Bitki hücrelerinde AOT' lerin olduğu bölgeler	40
2.5.1.1. Kloroplastlar	40

2.5.1.2. Mitokondriler	42
2.5.1.3. Peroksizomlar.....	44
2.5.1.4. Diğer AOT kaynakları	44
2.6. Bitkilerde Antioksidant Sistem.....	45
2.6.1. Enzimatik antioksidanlar	46
2.6.1.1. Süperoksit dismutaz (SOD)	46
2.6.1.2. Askorbat peroksidaz (APOD)	46
2.6.1.3. Katalaz (KAT).....	47
2.6.1.4. Glutasyon redüktaz (GR)	47
2.6.1.5. Guaiakol peroksidaz (GPOD)	48
2.6.2. Enzimatik olmayan antioksidanlar	49
2.6.2.1. Askorbik asit	49
2.6.2.2. Tokoferoller	49
2.6.2.3. Karotenoidler	50
2.6.2.4. Glutasyon	50
2.6.2.5. Fenolik bileşikler.....	51
3. MATERYAL VE YÖNTEM	53
3.1. Bitki Materyali	53
3.2. Yöntem	53
3.2.1. Kullanılan araç-gereçler	53
3.2.2. Bitki Yetiştirme Yöntemi	53
3.2.3. Bazı Çimlenme ve Fizyolojik Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi ...	53
3.3. Biyokimyasal Analizler	54
3.3.1. Toplam Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi (1.15.1.1)	54
3.3.2. Toplam Askorbat Peroksidaz (APOD) Aktivitesi (1.11.1.11).....	54
3.3.3. Toplam Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesi (1.6.4.2).....	55
3.3.4. Toplam Guaiakol Peroksidaz (GPOD) Aktivitesi.....	55
3.4. İstatistiksel Analizler.....	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	57
4.1. Tuz stresi ve KNO ₃ uygulamalarının kök ve koleoptil boyuna etkisi.....	57
4.2. Tuz stresi ve KNO ₃ uygulamalarının kök taze, kök kuru ve gövde taze, gövde kuru ağırlığına etkisi	59
4.3. Tuz stresi ve KNO ₃ uygulamalarının kullanılan rezerv, konversiyon katsayısı ve rezerv tüketimine etkisi	62
4.4. Tuz stresi ve KNO ₃ uygulamalarının APOD aktivitesi üzerine etkisi	64
4.5. Tuz stresi ve KNO ₃ uygulamalarının GR aktivitesi üzerine etkisi	65
4.6. Tuz stresi ve KNO ₃ uygulamalarının GPOD aktivitesi üzerine etkisi	66
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

KNO ₃	: Potasyum nitrat
ABA	: Absisik asit
AOT	: Aktif oksijen türleri
APOD	: Askorbat peroksidaz
AsA	: Askorbik asit
NaCl	: Sodyum klorür
DHAR	: Dehidroaskorbat redüktaz
DNA	: Deoksiribonükleik asit
dS m ⁻¹	: Desisiemens metre ⁻¹
ESP	: Değişebilir sodyum yüzdesi
FSI	: Fotosistem I
FSII	: Fotosistem II
GA	: Giberellik asit
GPOD	: Guaiakol peroksidaz
GR	: Glutasyon redüktaz
GSH	: İndirgenmiş glutasyon
GSSG	: Okside glutasyon
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
IAA	: İndol-3-asetik asit
ITK	: Işık toplayıcı kompleks



SİMGELER

K^{+}	: Potasyum iyonu
1O_2	: Tekli uyarılmış (singlet) oksijen
Cl^{-}	: Klor iyonu
$O_2^{\cdot-}$	: Süperoksit radikali
nm	: Nanometre
Na^{+}	: Sodyum iyonu



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Çeşitli faktörlere bağlı olarak bitkilerin oluşturabileceği stres cevapları.	20
Tablo 2.2. Bazı antioksidant bileşikler ve temel görevleri.....	48





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bitkilerde büyüme evreleri	8
Şekil 2.2. Bitkilerde Na^+ iyonunun taşınma mekanizması.....	28
Şekil 2.3. Enerji transferi mekanizması ile farklı AOT' lerin oluşumu.....	39
Şekil 2.4. AOT' lere bağlı olarak oluşan lipid peroksidasyonu ve ürünleri	43
Şekil 2.5. AOT'lerin hücresel düzeyde etkileri.....	44
Şekil 2.6. Askorbat-glutasyon döngüsü.....	48
Şekil 4.1. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO_3) ve $\text{NaCl}+\text{KNO}_3$ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök boyu, (b) koleoptil boyu ve (c) toplam boy üzerindeki etkileri.	54
Şekil 4.2. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO_3) ve $\text{NaCl}+\text{KNO}_3$ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök taze ağırlığı, (b) kök kuru ağırlığı, (c) koleoptil taze ağırlığı ve (d) koleoptil kuru ağırlığı üzerindeki etkileri	57
Şekil 4.3. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO_3) ve $\text{NaCl}+\text{KNO}_3$ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kullanılan rezerv miktarı, (b) konversiyon kat sayısı ve (c) rezerv tüketim oranı üzerindeki etkileri	59
Şekil 4.4. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO_3) ve $\text{NaCl}+\text{KNO}_3$ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde askorbat peroksidaz aktivitesi üzerindeki etkileri.	60
Şekil 4.5. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO_3) ve $\text{NaCl}+\text{KNO}_3$ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde glutasyon redüktaz aktivitesi üzerindeki etkileri....	61
Şekil 4.6. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO_3) ve $\text{NaCl}+\text{KNO}_3$ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde guaiakol peroksidaz aktivitesi üzerindeki etkileri	62



TUZ STRESİ ALTINDAKİ BAZI BUĞDAY (*Triticum Aestivum* L.) GENOTİPLERİNDE POTASYUM NİTRAT UYGULAMALARININ ETKİSİNİN FİZYOLOJİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada tuz stresi (80 mM NaCl) uygulanan bazı buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinde (Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner ve Yavuz) potasyum nitrat (3 mM KNO₃) uygulamasının çimlenme ve erken fide evresinde tuz stresinin neden olduğu metabolik hasarları olası iyileştirici etkisi, bazı fizyolojik büyüme parametreleri ve bazı antioksidant enzimlerin aktivitesinde meydana gelen değişimler yardımıyla araştırılmıştır. Tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde kök boyu, koleoptil boyu ve toplam boy kontrole göre önemli derecede azalmıştır. KNO₃ uygulaması tuz stresi uygulanan buğday genotiplerinde kök boyunu olumlu yönde etkilemezken; koleoptil büyümesini indüklemiştir. Tuz stresi tüm buğday genotiplerinde kök taze ve kuru ağırlıkları ile koleoptil taze ve kuru ağırlıklarını ilgili kontrollere göre önemli derecede azaltmıştır. KNO₃ uygulamasının tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde kök taze ağırlığı üzerinde, Bayındır ve Bozkır genotipleri hariç, olumlu etkisi bulunmamış; kök kuru ağırlıkları da değişmemiştir. KNO₃ uygulaması tuz stresi uygulanan genotiplerin çoğunda koleoptil taze ve kuru ağırlıklarını artırmıştır. Buna göre KNO₃ uygulamasının tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde koleoptil büyümesi üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Tuz uygulaması sonucu tüm genotiplerde tohumlardaki depo madde miktarı ve bunların kullanımı (%) kontrollere göre önemli derecede azalmış; tuz stresi altındaki genotiplerde KNO₃ uygulamasının bu parametreler üzerinde olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Ancak konversiyon kat sayısı genotiplerin çoğunda tuz uygulaması sonucunda kontrole göre azalmış; KNO₃ uygulaması ise tuz stresi uygulanan bitkilerde artırmıştır. Bu durumda tuz stresi altındaki buğday genotiplerinin tohumlarındaki glikolitik ve proteolitik enzimlerin inhibe edildiği; KNO₃ uygulamasının bu inhibisyonu ortadan kaldırdığı, ancak biyosentetik reaksiyonlar üzerinde iyileştirici bir etki yapmadığı söylenebilir. APOD aktivitesi tuz stresi uygulamasına cevap olarak Bozkır ve Selçuklu genotiplerinde kontrole göre artmış; diğer genotiplerde etkilenmemiştir. KNO₃ uygulaması tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde APOD aktivitesini, Bayındır ve Bozkır genotipleri hariç, etkilememiştir. GR aktivitesi Bayındır, Meke, Selçuklu ve Taner genotiplerinde tuz stresi etkisiyle kontrollere göre artmış; diğer genotiplerde etkilenmemiştir.

KNO₃ uygulaması tuz stresi altındaki Bayındır ve Meke genotiplerinde GR aktivitesini azaltmış; diğer genotiplerde etkilememiştir. GPOD aktivitesi tuz stresi etkisiyle Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke ve Selçuklu genotiplerinde kontrollere göre artmış; diğer genotiplerde etkilenmemiştir. KNO₃ uygulaması, tuz stresi uygulanan Bayındır, Bozkır, Meke ve Selçuklu genotiplerinde GPOD aktivitesini azaltmış; diğer genotiplerde etkilememiştir. Bu sonuçlar bazı buğday genotiplerinde tuz stresinin oksidatif strese yol açtığını gösteriyor olabilir. KNO₃ uygulamasının, bu enzimlerden bazılarının aktivitelerinde gözlenen azalmalar ve bazı enzimlerin aktivitelerinin

değişmemesi nedeniyle, oksidatif stresin etkilerini ve dokulardaki radikal birikimini azalttığı söylenebilir.



INVESTIGATION OF THE PHYSIOLOGICAL EFFECT OF POTASSIUM NITRATE APPLICATIONS ON THE SOME WHEAT (*Triticum aestivum* L.) GENOTYPES UNDER SALT STRESS

SUMMARY

In this study, a possible ameliorative effect of KNO₃ (3 mM) on metabolic disorders in some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes (Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner ve Yavuz) under salt stress (80 mM NaCl) was investigated at both germination and early seedling stage through the changes in some physiological growth parameters and activities of some antioxidant enzymes.

Seeds that are used in this study were obtained from the Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry Bahri Dagdas International Agricultural Research Institute, Konya, Türkiye. After sterilized in 5% sodium hypochlorite for 10 minutes, wheat seeds were placed between wet filter papers in plastic bags and allowed to germinate in climate chamber at 25 °C under 40-45% relative humidity in a dark environment for 7 days. Filter papers were wetted with bidistilled water (control), sodium chloride solution (80 mM), potassium nitrate solution (3 mM) or 80 mM NaCl + 3 mM KNO₃. On the 7th day of experiment, plants were harvested. The root and coleoptile length of barley plants were measured with a milimetric ruler. The fresh weight of roots and coleoptiles were separately weighted and plant materials were kept in an oven at 70 °C for 3 days until the constant weight was reached. After that the dry weight of root and shoot of barley plants were determined. The dry weight of seeds and seed remains were weighted before the establishment and on the 7th day of the experiment, respectively. The amount of consumed seed reserves, conversion coefficient, and reserve consumption (%) were calculated.

Total superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, glutathione reductase, and guaiacol peroxidase activities were measured after extraction in liquid nitrogen of coleoptiles and centrifugation under cold (4 °C) conditions. Experiments were a randomized complete block design with different independent replicates. Analysis of variance (ANOVA) was performed using SPSS 20.0 statistical software for Windows. To separate significant differences between means, LSD (least significant difference) test was used at $P = 0.05$

Salt stress caused significant decreases in root length, coleoptile length and total length in all wheat genotypes used in this study compared to the respective controls, probably due to inhibition of the mitotic activity in the apical meristems in wheat genotypes. Salt stress most negatively affected the genotype Buhara regarding root growth but the genotype Şehzade was least affected by salinity. Similarly, the genotype most negatively affected by salt stress in terms of coleoptile growth was Bayındır, and the genotype least affected was Şehzade. These results clearly showed that the wheat genotypes used in this study represented significant variations based on the genotype and organ type regarding salt tolerance. The results of this study also showed that KNO₃ application did not mitigate the inhibitory effect of salt stress on root growth.

However, it can be said that the genotype that responds best to KNO_3 application under salinity in terms of root growth is Meke, and the genotype that gives the weakest response is Yavuz. However, it was observed that KNO_3 application eliminated the inhibitory effect of salt stress on coleoptile growth in all genotypes used in this study. Accordingly, compared to roots, it can be said that coleoptiles have the capacity to respond better metabolically to KNO_3 application in ameliorating the negative effects of salt stress on growth. In addition, the genotype that responded best to KNO_3 application under salt stress in terms of coleoptile growth was Şehzade, while the weakest response was created by the Yavuz genotype. These results also show that the Yavuz genotype has a relatively low capacity to take up potassium ions from the growth medium through the roots and transport them to the above-ground organs. In the study, root fresh weight was not affected by salt application in Buhara and Selçuk genotypes compared to controls, but decreased in other genotypes. When evaluated in terms of root dry weight, salt stress did not affect Selçuklu and Yavuz genotypes, but caused a decrease in root dry weight in other genotypes compared to the controls. In the study, KNO_3 applied to Bayındır and Bozkır genotypes under salt stress caused a significant increase in root fresh weights, which decreased due to salt stress. KNO_3 application did not affect root dry weights in wheat genotypes under salt stress. Accordingly, it can be said that the KNO_3 application is very effective in regulating the water relations between the Bayındır and Bozkır genotypes and the growth environment and providing salt tolerance. In addition, this effect of KNO_3 differed according to organ type in wheat genotypes. The results obtained from the study showed that salt stress significantly reduced the coleoptile fresh and dry weights compared to the relevant controls, except for the coleoptile dry weight of the Yavuz genotype. Compared to roots, the improving effect of KNO_3 application is more evident in terms of coleoptile fresh and dry weight in most of the genotypes subjected to salt stress. Accordingly, the applied KNO_3 positively affects both water status and biomass production of coleoptiles in wheat genotypes under salt stress. As a result of salt application, the amount of reserves used in the seeds of all wheat genotypes used in the study and the rate of reserve usage decreased significantly compared to the controls. The conversion coefficient decreased in all genotypes except the Buhara and Yavuz genotypes. These results may indicate that proteolytic and glycolytic reactions in the seeds of wheat genotypes under salt stress slow down. This may be due to the decrease in the activities of the enzymes responsible for catalyzing the relevant reactions. KNO_3 application to wheat genotypes under salt stress caused the conversion coefficient to increase in many genotypes but did not significantly affect the usage rate and amount of storage materials. These results show that the reactions required to catabolize storage substances into building blocks in salt-stressed seeds are accelerated by KNO_3 application. Still, the use rate of these building blocks in biosynthetic reactions cannot be significantly increased by KNO_3 application. APOD activity was increased by salinity in the genotypes of Bozkır and Selçuklu, whereas it was not affected in the remaining genotypes. These results showed that the rate of hydrogen peroxide accumulation in coleoptile tissues in the genotypes Bozkır and Selçuklu increased as a result of salinity. In addition, the induced APOD activity in the genotypes Bozkır and Selçuklu under salinity may indicate the accelerated rate of hydrogen peroxide detoxification. KNO_3 application did not dramatically change the APOD activity in wheat genotypes under salinity except the genotypes Bayındır and Bozkır.

Especially in the genotype Bozkır, the KNO₃ application ameliorated the destructive effect of salinity, probably by decreasing hydrogen peroxide accumulation. GR activity was significantly increased in the genotypes Bayındır, Meke, Selçuklu, and Taner under salt stress compared to the relevant controls; but it remained unchanged in the rest of the wheat genotypes. The higher GR activity in the genotypes Bayındır, Meke, Selçuklu, and Taner under salt stress indicated that production rate of the reduced glutathione is increased. KNO₃ significantly reduced GR activity in the genotypes Bayındır and Meke under salt stress. However, KNO₃ did not affect GR activity in other genotypes. The reduced activity of GR in the genotypes Bayındır and Meke under salinity as a result of KNO₃ application may show ameliorative effect of KNO₃ on hydrogen peroxide production. GPOD activity increased significantly in the genotypes Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke, and Selçuklu in response to salinity compared to the relevant controls. However, it remained unaffected in the rest of the genotypes. KNO₃ decreased GPOD activity in the genotypes Bayındır, Bozkır, Meke and Selçuklu under salt stress; but other genotypes were not affected. These results may indicate that salt stress caused hydrogen peroxide-induced oxidative stress in some wheat genotypes.

In conclusion, the results of the study showed that salt stress negatively affected physiological growth parameters in most of the wheat genotypes used in the study. It has been demonstrated that KNO₃ application eliminates the growth inhibition caused by salt stress to a certain extent, especially in coleoptiles. It has been shown that the rate of degradation of macromolecules increases as a result of KNO₃ applications. Still, the rate of use of the resulting building blocks in biosynthetic reactions is not affected. In addition, it may be concluded that KNO₃ application reduced the effects of oxidative stress and accumulation of radicals because of the decreased and/or unchanged activities of some antioxidant enzymes.



1. GİRİŞ

Buğday, insan beslenmesindeki temel gıdaların hammaddesi olması nedeniyle en önemli tarımsal ürünler arasındadır. İnsanların kalori ve protein ihtiyaçlarının karşılanmasında buğday kilit bir rol oynar ve dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de stratejik bir ürün kapsamında değerlendirilir. Ancak, kuraklık, tuzluluk, sel stresi ve aşırı sıcaklıklar gibi çevresel koşullar buğday üretimini kısıtlayan önemli faktörlerdir. Dünya genelinde ürün verimini kuraklık stresinin ardından en çok tuzluluk stresi azaltmaktadır. Toplam toprak alanının yaklaşık %7'si tuz stresinden etkilenirken, bilinçsiz sulama uygulamaları tuzlu toprakların yaygınlığını artırmaktadır (Aycan, 2018). Bu nedenle buğday üretiminde çevresel koşulların etkilerini anlamak kritik öneme sahiptir.

Türkiye topraklarının karşı karşıya olduğu önemli sorunlardan biri olan tuzluluk, son yıllarda hızla gelişen sulama sistemlerinin drenaj eksiklikleri nedeniyle giderek artmaktadır. Ülkemizde toplam 28 milyon dekar alanın 15 milyon dekarında tuzluluk problemi yaşanmaktadır. Bu, sulanan arazilerin yaklaşık %31'ine denk gelmektedir (Kanber vd., 2005). Dünya genelinde ise 800 milyon hektar alan tuzluluk problemi ile karşı karşıyadır. Bu sorunun başlıca nedenleri arasında aşırı sulama ve yetersiz drenaj sistemleri bulunmaktadır. Tuzluluğun artması, tarımsal verimliliği ciddi şekilde tehdit etmektedir.

Yıllık yağış miktarının yetersiz olması, buharlaşmanın fazla olması ve tarımsal drenaj konusundaki hatalı uygulamaların yanı sıra toprağın özellikleri topraktaki tuzluluk oranını etkileyen en önemli etmenler arasındadır (Yılmaz ve Bayram, 2019). Ayrıca tuz konsantrasyonu yüksek olan suların ya da yeraltı ve taban sularının sulamada kullanılması topraktaki tuzluluk sorununun daha da artmasına neden olmaktadır (Dölerslan ve Gül, 2012). Tuzluluk sorunu, bitkiler üzerinde olumsuz etkiler yaratarak bitki yetiştiriciliğini kısıtlamaktadır. Bu durum çimlenme sürecinde azalma ya da gecikme, büyüme hızında yavaşlama, yaprak büyüklüğü ve sayısında azalma ve kardeşlenme sayısında azalma gibi sonuçlara yol açmaktadır. Ayrıca bitkilerin vejetatif ve generatif evrelerindeki metabolik süreçlerin aksamasına neden olur

(Munns ve Tester, 2008; Atak, 2014). Bu faktörler tarımsal verimliliği olumsuz yönde etkileyebilir. Yüksek tuz konsantrasyonları, bitkilerin hem biyokimyasal hem de fizyolojik süreçlerinde çeşitli olumsuz etkilere yol açmaktadır. Tuzlu topraklarda bitkilerin kök sistemleri tarafından topraktan su alımı azalmakta ve bu durum fizyolojik kuraklık olarak adlandırılmaktadır. Tuz iyonlarının bitki metabolizması üzerinde toksik etkileri vardır. Bitkilerin tuza tolerans indeksleri, genotipler ve tuz konsantrasyonlarına göre farklılık göstermektedir. Tuzluluk, tarımsal verimi önemli ölçüde kısıtlayan ve dünya genelinde sulu tarım yapılan alanların yaklaşık üçte birini etkileyen ciddi bir problemdir. Dünya genelinde yaklaşık olarak 400-950 milyon hektar sulanabilir tarım alanını tehdit eden en önemli sorunların başında tuzluluk gelmektedir (Hasegawa vd., 1986; Özkaldı vd. 2004; Taghipour ve Salehi 2008). Tuzluluk sorunu dünyadaki tarım alanlarının verimliliğini azalttığından gıda üretimini tehdit etmektedir.

Tuzlanma nedeniyle dünya genelinde her yıl 10 milyon hektar tarım arazisi tarımsal olarak kullanılamaz hale gelmektedir. Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde yağış yetersizliği ile birlikte yüksek buharlaşma, tuzluluğa neden olan başlıca etmenlerdir. Ayrıca sulamada yapılan yanlış uygulamalar, özellikle drenajın yetersiz olduğu bölgelerde tuzluluğun artmasına yol açabilmektedir (Baltacı vd., 2004). Ülkemizde de benzer şekilde, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak tuzluluğu, tarımsal üretimi kısıtlayan önemli bir sorun olarak öne çıkmaktadır (Eker vd., 2006). Bu durum tarımsal verimliliği ve sürdürülebilirliği ciddi şekilde tehdit etmektedir.

Topraktaki tuz birikimi bitkilerin gelişimini farklı derecelerde etkileyebilir ve çeşitli bitki türleri bu duruma farklı tepkiler verebilir. Genel olarak 0-0,8 dS m⁻¹ arasındaki elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, bitkisel üretim açısından kabul edilebilir seviyeler olarak değerlendirilir. Ancak bitki bazında özellikle tahılların hem çimlenme hem de erken fide evresinde yüksek tuzluluğa karşı duyarlı oldukları belirtilmiştir (Ghoulam ve Fares 2001). Yüksek tuz konsantrasyonları, bitkilerin su alımını zorlaştırarak fizyolojik kuraklık yaratır ve bu durum bitkilerin büyüme hızını ve genel sağlık durumunu olumsuz yönde etkiler. Tuz stresi altında, bitkilerde tohum çimlenme oranında azalma, yaprak sayısında ve büyüklüğünde azalma ve büyüme hızında yavaşlama gibi belirtiler gözlemlenir. Ayrıca yüksek tuz seviyeleri, bitki kök sistemlerinin zarar görmesine ve besin maddelerinin alımında sorunlara yol açar. Bu durum, özellikle tarımsal üretim alanlarında verimliliği ciddi şekilde düşürmektedir.

Tuzluluğa dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesi ve uygun sulama tekniklerinin kullanılması, bu sorunun yönetiminde kritik öneme sahiptir. Tarımsal verimliliği artırmak için bu faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. Buğday (*Triticum aestivum* L.), tuza orta derecede dayanıklı bitkiler grubunda yer almaktadır. Araştırmalar, topraktaki 100 mM'lık tuz (NaCl) konsantrasyonunun buğdayda verimi azalttığını, çeltik bitkisinde ise öldürücü olduğunu göstermiştir. Tuzluluğa en dayanıklı bitkilerden biri olan arpa bitkisinde bile, 250 mM'lık tuz stresinin uzun vadede bitkilerin ölümüne yol açtığı ifade edilmiştir. Ayrıca, makarnalık buğday, mısır ve sorgum gibi türlerin tuzluluğa karşı ekmeçlik buğdaydan daha duyarlı oldukları bildirilmiştir (Munns vd., 2006). Tuz stresi ile ilgili araştırmalarda, bitkilerin fide gelişimi ve çimlenme dönemleri üzerinde daha fazla durulmakta ve bitki türlerinin tuz stresine tepkilerinin belirlenmesinde bu gelişim evreleri özellikle dikkate alınmaktadır. Bitkilerin tohum çimlenme döneminde tuz stresinin olumsuz etkileri, tuzun tohum içerisine su alımını engellemesinden kaynaklanmaktadır. Tuzlu toprak bölgelerinde yetiştirilen bitkilerdeki verimin azalmasının nedenleri arasında bitki iyon dengesindeki bozulmalar, Na⁺ ve Cl⁻ gibi iyonların sebep olduğu toksik etki, bitkinin farklı doku ve organlarına besin taşınmasındaki problemler ve fotosentez ve solunum gibi fizyolojik işlevlerin zarar görmesi bulunmaktadır (Kara vd., 2011). Bu faktörler, bitkilerin genel sağlık durumunu ve tarımsal verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Tuz stresine dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesi, tarımsal verimliliği artırmada önemli bir stratejidir.

Büyüme, canlıların en temel evrensel özelliklerinin başında gelir ve canlılardaki hücre sayısı, boyutu, kütlesi ve hacminde meydana gelen geri dönüşümsüz artış olarak açıklanmaktadır. Bu sürecin gerçekleşmesi için hücrelerdeki makromolekül sentez hızının, parçalanma hızını aşması gerekmektedir. Büyümenin, gelişme ve farklılaşma adı altında iki aşamalı boyutu bulunmaktadır. Gelişme kavramı bitkinin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan tüm işlevsel ve yapısal değişiklikleri kapsar. Bu değişiklikler arasında hücre bölünmesi, hacim artışı ve doku ile organların farklılaşması bulunur. Farklılaşma ise, hücre gruplarının genetik ve çevresel faktörler tarafından yönlendirilen yapısal ve biyokimyasal değişikliklerle işlevlerini en uygun şekilde yerine getirecek şekilde değişimidir. Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi, çeşitli çevresel etmenlerle birlikte genetik faktörler tarafından kontrol edilir (Larcher, 1995).

Bu süreçler bitkilerin çevresel koşullara uyumunda kritik öneme sahiptir ve genetik faktörler bitkinin çevresel streslere karşı dayanıklılığını etkileyebilir. Bitkilerin büyüme ve gelişme mekanizmalarının anlaşılması, tarımsal verimliliği artırmak ve bitki sağlığını korumak açısından önemlidir.

Diğer canlılarda olduğu gibi, bitkiler de çevreleriyle etkileşime girer ve çevrelerinde ortaya çıkan her bir değişiklik, bitkilerin büyümesini ve gelişmesini belirli oranlarda etkileyerek bitkilerde stres kavramını ortaya çıkarmıştır. Stres teriminin, "bitkilerde büyüme ve gelişmeyi yavaşlatan veya durduran, ürün miktarı ve kalitesinde azalmaya neden olan her türlü faktör" olarak tanımlanması mümkündür. Fujita vd. (2006)' ya göre stres etkenleri biyotik ve abiyotik olarak iki ana kategoriye ayrılır. Biyotik stres etkenleri hastalıklar, zararlı organizmalar ve diğer canlı organizmalardan kaynaklanan olumsuz etkilerdir; abiyotik stres etkenleri ise kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklık ve soğuk gibi çevresel koşullardan kaynaklanır. Stresi ortaya çıkaran faktörler, bitkilerin hem ürün miktarını hem de kalitesini azaltır ve dolayısıyla tarımsal verimliliği olumsuz etkiler, tarım arazilerinin verimli kullanımını kısıtlar ve doğal ekosistemin dengesini bozabilir. Bu nedenle, bitkilerin stres faktörlerine karşı dayanıklılığını artırmak tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Bitkilerin stres toleransını artırmak için yapılan araştırmalar, tarımda verimliliği artırma ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama açısından kritik bir role sahiptir. Genetik ve biyoteknolojik yaklaşımlar, bitkilerin stres faktörlerine karşı dayanıklılığını artırmada önemli araçlar sunar.

Tuz stresi, genellikle kurak ve yarı kurak tarımsal alanlarda ortaya çıkan ve kültür bitkilerinin ürün verimliliğini kısıtlayan önemli bir abiyotik stres faktörüdür. Tuz stresi koşullarında, bitki dokularında aşırı miktarda biriken Na^+ iyonu, normal iyon dengesini bozarak K^+ alımını engeller (Atak vd., 2006). Aynı şekilde, Cl^- iyonu da özellikle NO_3^- alımını olumsuz etkileyerek bitkilerin iyon dengesinde bozulmalara neden olabilir (Güneş vd., 1994). İyon dengesinin bozulması, bitkilerin normal fizyolojik işlevlerini etkiler; su alımı, besin maddelerinin taşınması, metabolik süreçler ve fotosentez gibi temel süreçlerde sorunlara yol açar. Ayrıca tuz stresi bitkilerde oksidatif stresin artmasına ve hücresel zararın oluşmasına da neden olabilir. Bu durum, bitkilerin büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkilerken, nihayetinde verim kayıplarına ve tarımsal ürünlerde kalite düşüşüne yol açabilir. Dolayısıyla, tuz stresine

karşı bitkilerin dayanıklılığını artırmak ve tuz toleransı geliştirmek, tarımsal üretkenliği artırmak için önemli bir stratejidir.

Stresli ve stres içermeyen koşullarda bitki tür veya genotiplerinin üretim potansiyellerini belirlemek için çeşitli seleksiyon kriterleri ve indeksler geliştirilmiştir ve bu yöntemler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Fischer ve Maurer, 1978; Rosielle ve Hamlin, 1981). Stresiz koşullarda yüksek verim potansiyeline sahip genotipleri belirlemek, genetik çeşitlilik ve kalıtsallığın yüksek olduğu durumlarda daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ancak, özellikle geniş alanlardaki stres koşullarına uyum sağlayacak genotipleri seçmek oldukça zor ve zaman alıcı bir süreçtir (Fernandez, 1992). Bu tür genotiplerin belirlenmesi, stres faktörlerine karşı bitkilerin dayanıklılığını artırmak ve tarımsal verimliliği artırmak için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle stres toleransı ve adaptasyonunun genetik temellerini anlamak ve uygun genotipleri seçmek, tarımsal uygulamalarda verimliliği artırmak için önemli bir adımdır.

Çeşitli genotiplerin çevresel stres koşullarına tepkilerini değerlendirmek amacıyla çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Fernandez (1992), tuz stresine daha dayanıklı genotiplerin daha yüksek Tuz Tolerans İndeksi (TTI; STI, salt tolerance index) değerlerine sahip olduğunu belirterek bu indeksi kullanmıştır. Rosielle ve Hamblin (1981), geometrik ortalama performans (GOP; GMP, geometric mean performance) ve tuz tolerans indeksi gibi indekslerin, bitkilerin çevresel strese karşı tepkilerini değerlendirmek için en uygun göstergeler olduğunu tespit etmiştir. Fischer ve Maurer (1978), stres duyarlılık indeksini (SDI; SSI, stress sensitivity index) kullanarak, stresli ve stressiz ortamlarda daha kararlı olan genotiplerin daha düşük SDI değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu indeksler, bitki genotiplerinin çeşitli stres faktörlerine karşı tepkilerini objektif bir şekilde değerlendirmek için önemli araçlar sunmaktadır. Bu indeksler, bitki ıslahı ve genetik çalışmalarda kullanılarak stres koşullarına dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca bu indeksler, tarımsal verimliliği artırmak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemek için de önemli veriler sağlar.

Bu tez çalışmasının amacı bazı buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinde (Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner ve Yavuz) erken fide evresinde tuz stresinin (80 mM NaCl) neden olduğu metabolik bozuklukların iyileştirilmesi üzerine, KNO₃ (potasyum nitrat) uygulamasının etkilerini bazı büyüme

parametreleri ve bazı antioksidant enzimlerin aktivitesinde meydana gelen değişimler yardımıyla araştırmaktır. Bu çalışmanın sonuçlarının buğday bitkilerinin tuz stresine karşı tepkilerini anlamada ve potansiyel olarak stres toleransını artırmak için tarımsal uygulamalarda kullanılabilecek stratejilerin geliştirilmesinde önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Bitkilerde Büyüme ve Gelişme Süreci

Bitkiler yaşam döngülerine tohumun çimlenmesi ile başlar, büyür, farklılaşır, gelişir ve en sonunda ölür. Toprak ve atmosferden aldıkları hammaddelerle sentezledikleri organik maddelerin bir kısmını solunum yoluyla tüketir ve bu süreçte ihtiyaç duydukları enerjiyi (ATP) üretir. Kalan organik maddeleri ise dokularında yedek depo maddesi olarak biriktirir. Büyüme, bitkilerin veya bitki organlarının yapılarına yeni maddeler ekleyerek geri dönüşümsüz bir şekilde hacimlerini artırmalarıdır. Büyüme süreci, gelişme ve farklılaşma olarak iki aşamada meydana gelir. Gelişme, bitkinin yaşam döngüsü boyunca gelişen bütün yapısal ve işlevsel değişiklikleri kapsar. Hücre bölünmesi, hacim artışı ve doku ile organların farklılaşması gelişme sürecinin parçalarıdır. Farklılaşma ise bitkilerde belirli hücre gruplarının genetik ve çevresel faktörlerle kontrol edilerek görevlerini en uygun biçimde yerine getirmesi için geçirdiği biyokimyasal ve yapısal ve değişikliklerdir.

Bitkilerin büyüme hızları birbirlerinden farklılık gösterebilmektedir. Yosunlardan bazılarının saatte 0.001 mm'den daha az büyümesi, çoğu ağacın ise saatte 0.025-0.250 mm hızla büyümesi bu durumun en belirgin örneklerindendir. Büyüme hızının zamana karşı bir grafik üzerinde gösterimi büyüme eğrisi olarak adlandırılır. Bu eğri genellikle sigmoid ya da “S” şeklindedir. Bitkilerin yayılma organı olan tohumlar uygun koşullar oluştuğunda çimlenir ve filiz haline gelir, sonrasında da toprak yüzeyine ulaşana dek tohum içerisindeki yedek besinlerle desteklenir. Gövdenin toprak yüzeyine çıkmasından ve ilk yaprağının gelişiminin ardından bitki, fotosentez yaparak kendi besinini üretmeye başlar. Ancak yaprağın fotosentez alanı başlangıçta çok az olduğundan, bitkinin büyüme hızı düşüktür. Bu aşama “lag fazı” (durağan) olarak adlandırılır. İlk aşamadaki yavaş büyümenin sonrasında sentezlenen bütün besin maddeleri yeni dokuların oluşturulması amacıyla kullanıldığından başlangıçta yavaş olan büyüme hızında artış meydana gelir. Bu aşama ise logaritmik, lineer veya hızlı büyüme anlamlarına gelen “log fazı” olarak adlandırılır ve bu aşamada hücre

genişlemesi maksimum düzeyde hızlı ve doğrusal olur. Bitki gelişimi belirli bir düzeye eriştiğinde, sentezlenen besinlerin solunumda kullanıldıktan sonra artı kalan kısmı tohum ve köklerde depolanır. Bu noktada yeni doku oluşmadığı için bitki büyümesinde yavaşlama olur ve sonrasında büyüme durur. Bu evre ise “durgun faz” veya “sabit büyüme fazı” olarak isimlendirilir. Bu açıklamalar kapsamında şekil 2.1’de bitkilerin büyüme evreleri gösterilmektedir



Şekil 2.1. Bitkilerin büyüme evreleri (Yin vd., 2003; Henshaw vd., 1966).

2.2. Bitkilerin Büyümesini Etkileyen Faktörler

Bitkilerin büyüme ve gelişme süreçleri, bir dizi karmaşık etmenin etkileşimiyle belirlenir. Bu etmenler, bitkinin çevresel faktörlerle olan etkileşimi ve kendi içsel özellikleri arasındaki dinamik ilişkilerden kaynaklanır. Çevresel faktörler; ışık, su, sıcaklık, toprak bileşimi, hava koşulları gibi dışsal etkenlerdir. Bu faktörler, bitkinin büyümesini doğrudan etkileyebilir ve bitkinin büyüme hızını, kök, yaprak ve gövde gelişimini, çiçeklenme ve meyve oluşumunu belirler. Öte yandan bitkinin içsel özellikleri; genetik yapısı, fizyolojik durumu, hormonal düzenlemeleri ve metabolik süreçleri içerir. Bu içsel özellikler, bitkinin çevresel stres faktörlerine yanıt verme

Tablo ve Şekiller sayfa düzeni esaslarına uymak koşuluyla, metinde ilk söz edildikleri yerden hemen sonraya veya mümkün olduğu ölçüde en yakınına yerleştirilmelidir. Tablo ve şekillerden önce, ilgili tablo ya da şekile atıfta bulunulmalıdır. yeteneği, besin

alım ve kullanımı, büyümenin düzenlenmesi gibi süreçlerde belirleyici olabilir (Vardar, 1985). Bu nedenle bitkinin büyüme ve gelişmesini anlamak için hem dışsal çevresel faktörlerin hem de içsel özelliklerin dikkate alınması önemlidir. Bu etmenlerin kompleks etkileşimleri, bitkinin adaptasyonunu ve büyüme süreçlerini şekillendirir ve tarımsal üretimde verimliliği etkiler.

2.2.1. Eksojen (dışsal) faktörler

Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi üzerinde etkili olan birçok dışsal faktör bulunmaktadır. Su miktarı, sıcaklık, ışık, nem, mineraller, endüstriyel ürünler ve yer çekimi etkisi dış faktörler arasındadır. Işık, bitkiler için temel bir büyüme faktörüdür. Çünkü fotosentez sürecini başlatır ve bitkilerin enerji üretmesine yardımcı olur. Sıcaklık, bitkilerin metabolik aktivitesini, enzimatik reaksiyonları ve büyüme hızını etkiler. Su ve nem, bitkilerin hücresel yapılarının ve metabolizmasının temel bileşenleridir ve bitkilerin su alımı ve kaybı büyüme ve gelişme üzerinde doğrudan etkilidir. Yer çekimi etkisi, bitki köklerinin yerçekimi doğrultusunda büyümesini sağlar ve bitkilerin toprakta sabitlenmesine yardımcı olur. Son olarak, endüstriyel ürünler ve kirleticiler gibi insan kaynaklı faktörler de bitkilerin büyüme ve gelişmesini olumsuz etkileyebilir ve çevresel streslere neden olabilir. Bu dışsal faktörlerin karmaşık etkileşimi, bitki büyümesini ve gelişmesini belirleyen önemli bir faktördür.

2.2.1.1. Işık

Işık, bitkilerin büyüme ve gelişmesini önemli ölçüde etkileyen bir faktördür ve bu etkileşim ışık yoğunluğuna, ışığın dalga boyuna ve ışıklanma süresine (fotoperiyot) bağlıdır. Işık bitkiye elektromanyetik bir radyasyon şeklinde ulaşır ve fotonlardan oluşur. Görünür ışığın dalga boyu yaklaşık 400-700 nanometre arasında değişir ve bu bölgedeki kırmızı-turuncu ve mavi-mor ışınlar fotosentetik elektron taşıma reaksiyonları açısından önemlidir. Işık yoğunluğunun yüksek olması fotosentez üzerinde fotoinhibisyon (fotosentezin yüksek ışık yoğunluğu nedeniyle inhibe olması) etkisi oluşturabilir ve bu durum bitkilerin büyümesinde olumsuz etkiler yaratabilir.

Örneğin, fazla ışık alan bitkiler, bodur bir yapıya sahip olabilir, bu da fotosentetik verimi azaltabilir. Bitkiler açısından uygun olan ışık yoğunluğu, bitkinin ihtiyacına ve türüne ve bağlı olarak değişebilir. Bununla birlikte fotoperiyot da bitkilerin büyüme ve gelişmesini etkileyen unsurlardan biridir. Bazı bitki türleri kısa günlerde çiçeklenirken (kısa gün bitkileri), bazıları ise uzun günlerde çiçeklenir (uzun gün

bitkileri). Fotoperiyot, bitkilerin çevresel şartlara uyum sağlama yeteneğini etkiler ve tarımsal üretimde önemli bir rol oynar. Bitki türlerinden bazıları ise fotoperiyottan bağımsız bir şekilde çiçeklenebilir ve bu tür bitkilere nötr bitkiler denir. Ayrıca bitkiler tek yönlü ışığa maruz kaldıklarında fototropizma olarak adlandırılan bir hareket sergiler, bu da bitkinin ışığa doğru yönelmesini sağlar. Bu mekanizma bitkilerin ışığın kaynağına doğru büyümesini ve gelişmesini sağlar, bu da bitkilerin çevresel koşullara uyum sağlamasına yardımcı olur.

2.2.1.2. Sıcaklık

Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi önemli ölçüde etkileyen bir diğer dışsal faktör sıcaklıktır. Sıcaklık, bitkilerin büyüme hızını ve metabolik süreçlerini doğrudan etkiler. Bitkilerde büyüme hızını olumsuz etkileyen sıcaklık değerinden düşük olanı minimum sıcaklık, yüksek olanı ise maksimum sıcaklık olarak isimlendirilir. Bitkinin büyüme hızının en yüksek olduğu sıcaklık ise optimum sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, domates bitkisinin en iyi büyüme gösterdiği ve meyve verdiği maksimum ve minimum sıcaklık değerleri, gündüz 26,5°C ve gece ise 17-19°C olarak belirlenmiştir. Bu optimum sıcaklık aralığında domates bitkisi en verimli şekilde büyüyüp gelişebilir. Sıcaklık değişimleri aynı zamanda bitkiler için çeşitli fizyolojik yanıtlara neden olur. Örneğin, soğuk aklimasyonu adı verilen bir süreç, kışlık bitkilerin donma toleransı kazanmasını sağlar. Ayrıca, çiçeklenme ve tomurcuk dormansisi gibi olaylar da sıcaklık değişimlerinden etkilenir. Bu nedenle bitkilerin büyüme ve gelişmesi konusunda sıcaklık değişimlerinin dikkate alınması önemlidir.

2.2.1.3. Su ve nem

Su ve nemin bitkilerin uygun şekilde büyümesi ve gelişmesi için toprakta uygun miktarda bulunması gerekir ve özellikle su bitkilerin hayati fonksiyonlarını yerine getirmeleri için temel bir bileşendir. Bitkilerde su ihtiyacının büyük bir kısmı topraktan karşılanır; dolayısıyla, topraktaki suyun miktarı bitkilerin büyüme ve gelişmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Toprağın su miktarının optimum değerinin altına düşmesi durumunda, bitkiler kuraklık stresiyle karşı karşıya kalır. Bu durumda, bitkilerin su alımı ve fotosentez gibi temel süreçleri olumsuz yönde etkilenir, büyüme durur ve bitkilerin sağlığı ciddi şekilde zarar görür. Öte yandan, topraktaki su miktarının aşırı artması, sel stresi olarak adlandırılan bir duruma yol açabilir. Bu durumda da toprakta oksijen içeriği çok düşük bir ortam oluşur ve bu anoksik ortam nedeniyle bitkilerin oksijen alımı zorlaşır. Bu da büyümeyi olumsuz etkiler ve

bitkilerin çürümesine neden olabilir. Bu nedenle bitkilerin sağlıklı büyümesi ve gelişmesi için topraktaki su miktarının dengeli bir şekilde tutulması önemlidir. Bu, bitkilerin su stresine maruz kalmadan gelişmelerini sağlayarak verimliliği artırabilir.

2.2.1.4. Mineraller

Toprak suyunda çözülmüş halde bulunan mineraller, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için temel besin maddelerini oluşturur. Bitkiler kökleri aracılığıyla ve suyla birlikte bu mineralleri alarak kendi bünyelerine katar. Mineraller kullanım gereksinimlerine göre farklı isimler almışlardır. Bunlardan kullanım gereksinimi fazla olanlar makroelement, az olanlar ise mikroelement olarak belirtilmektedir. Bu minerallerin her ikisinin de gereğinden az ya da fazla olması bitkinin büyümesinde ve gelişmesinde olumsuz etkiler oluşturabilir. Makroelementler, bitkilerin büyümesinde ve gelişmesinde ihtiyaç duyduğu temel besin maddelerini sağlar. Bunlar arasında azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi mineraller bulunur. Mikroelementler ise bitkilerin daha az miktarlarda ihtiyaç duyduğu minerallerdir. Bu mineraller arasında demir, çinko, bakır, mangan, bor ve molibden gibi elementler yer alır. Her iki mineral grubunun da topraktaki eksikliği veya fazlalığı, bitki sağlığını olumsuz yönde etkiler. Eksiklik durumunda, bitkilerin temel besin ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli kaynakları olmadığından büyüme durur ve gelişme geriler. Aynı şekilde, fazlalık durumunda ise toksik etkiler ortaya çıkabilir ve bitkilerin büyümesini engelleyebilir.

Ayrıca çeşitli faktörler nedeniyle topraklarda tuzlanma görülebilir. Bu durumda, toprağın tuzluluk seviyesi artar ve bitkilerin su alma kapasitesi azalır. Sonuç olarak, bitkilerde su stresi ortaya çıkar ve büyüme ile gelişme yavaşlar veya durur. Bu nedenle, toprak minerallerinin dengeli bir şekilde sağlanması ve toprak tuzluluğunun kontrol altında tutulması, sağlıklı bitki büyümesi için önemlidir.

2.2.1.5. Yer çekimi etkisi

Yer çekiminin bitkilerin reproduktif gelişimi üzerindeki etkilerini anlamak için yapılan bir çalışmada, yatay bir biçimde büyütülen bir elma ağacının sürgünlerindeki çiçeklenmenin dikey şekilde büyüyenlere oranla daha hızlı gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu bulgu, bitkilerin yer çekimi etkisine duyarlı olduklarını ve büyüme yönelimlerinin çiçeklenme gibi reproduktif süreçleri etkilediğini göstermektedir. Ancak bu çalışmada ortaya çıkan önemli bir bulgu da bitkiler arasında yer çekimi hassasiyetinin farklılık gösterebileceğidir. Yani bir bitki türünde yatay büyüme dikey büyümeye göre

ieklenmeyi hızlandırırken, başka bir bitki türünde farklı sonuçlar görülebilir. Bu durum, bitkilerin evrimsel geçmişi, genetik yapıları ve çevresel faktörler gibi birçok etkene bağlı olabilir (Esim, 2011).

Ayrıca bu çalışma, yer çekimi etkisinin bitkilerde metabolik yollar aracılığıyla kontrol edildiğini de göstermektedir. Yani bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerinde yer çekimi algılamasının ve buna verilen tepkilerin, hücresel düzeydeki metabolik süreçler aracılığıyla düzenlendiğini düşündürmektedir. Bu durum bitkilerin çevresel koşullara adapte olma yeteneği ve reproduktif başarılarını optimize etme mekanizmalarını anlamak açısından önemli bir adımdır.

2.2.1.6. Endüstriyel ürünler

Endüstriyel faaliyetlerin artmasıyla birlikte, insanların ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli üretim süreçlerinden kaynaklanan atıklar doğal ortamlara salınmaktadır. Bu atıklar, bitkilerin büyüme ve gelişmesini olumsuz etkileyen çeşitli kirletici maddeler içerebilir. Özellikle endüstriyel üretim sonucu ortaya çıkan gazlar, ağır metaller ve diğer kimyasal atıklar, bitkiler üzerinde zararlı etkilere neden olabilir. Atmosfere salınan kirletici gazlar, hava kirliliğine yol açarak bitkilerin fotosentez ve solunum gibi temel metabolik süreçlerini olumsuz yönde etkileyebilir. Ağır metaller, topraklarda birikerek bitkiler tarafından absorplanıp vasküler sistemleri aracılığıyla toprak üstü organlara taşınabilir, bu da bitkilerin büyüme ve gelişmesini engelleyebilir veya toksisiteye neden olabilir.

Ayrıca tarım alanlarında kullanılan kimyasal mücadele ürünleri de (herbisitler, pestisitler, insektisitler vb.), istenmeyen bitki ve böcek türlerinin kontrolü için kullanılsa da yanlış veya aşırı kullanımı durumunda bitkiler üzerinde zararlı etkilere neden olabilir. Bu kimyasal maddeler, bitkilerin metabolik süreçlerini bozabilir, fotosentetik verimliliğini azaltabilir ve bitki büyümesini engelleyebilir. Sonuç olarak, endüstriyel faaliyetler ve tarımsal uygulamaların yanlış kullanımı sonucu doğaya salınan kirletici maddeler, bitkilerin sağlığı ve verimliliği üzerinde ciddi tehditler oluşturabilir. Bu nedenle, çevre dostu üretim yöntemlerinin benimsenmesi ve atık yönetiminin etkili bir şekilde yapılması, bitki yaşamını korumak ve sürdürülebilir tarımı desteklemek için önemlidir.

2.2.2. Endojen (içsel) faktörler

Bitkilerin büyüme, gelişme ve adaptasyon süreçlerinde önemli bir rol oynayan hormonlar, bitkilerin endojen (içsel) faktörlerinden biridir. Bu hormonlar, bir dizi fizyolojik olayın düzenlenmesinde görev alır ve bitkilerin yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında etkin rol oynar. Tohum oluşumu, olgunlaşması ve çimlenmesi gibi başlangıç aşamalarından, çiçeklenme, yaprak oluşumu, fide gelişimi, meyve oluşumu ve olgunlaşması gibi üreme ve büyüme aşamalarına kadar birçok fizyolojik olay, bitkisel hormonların etkisi altındadır. Ayrıca, apikal dominansi, dormansi, senesens ve vernalizasyon gibi olaylar da bitki hormonları tarafından kontrol edilir.

Bitkilerde büyüme düzenleyicileri olarak bilinen bu hormonlar arasında en yaygın olanları oksinler, sitokininler, giberellinler, absisik asit ve etilendir. Bunlar, bitkilerin büyüme, gelişme, çiçeklenme ve meyve oluşumu gibi temel fizyolojik süreçlerini koordine etmek için birlikte çalışır. Ayrıca, brassinosteroidler, poliaminler, salisilik asit ve jasmonatlar gibi diğer hormonlar da belirli fizyolojik yanıtları düzenlemede önemli rol oynar. Bu bitkisel hormonlar, bitkilerin içsel sinyal iletim sistemlerinde önemli bir rol oynar ve bitki hücrelerinde gen ekspresyonunu düzenleyerek çevresel koşullara uyum sağlanmasında etkili olur. Bu nedenle, bitkisel hormonlar bitki büyüme ve gelişmesinin temel düzenleyicileri olarak kabul edilir ve tarım alanlarında kullanılan birçok uygulamanın temelini oluşturur.

2.2.2.1. Oksinler

Oksinler, bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyen en eski ve en iyi bilinen hormon grubudur. Bu büyüme düzenleyicileri, bitkilerde hücre bölünmesini ve büyüme hızını artırarak büyümeyi teşvik eder. Oksinler bitkilerin yapraklarında, tepe tomurcuklarında ve çiçeklerinde sentezlenir. Bunlar, bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli bir rol oynayan anahtar hormonlardır. Bitkide yapraklar, tepe tomurcukları ve çiçeklerde sentezlenen oksinler, bitki yapısında yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya doğru taşınır. Bu taşıma, bitkinin farklı bölgelerinde büyüme ve gelişme süreçlerini düzenlemek için önemlidir. Özellikle kök büyümesi ve dallanma gibi süreçlerde oksinlerin taşınması kritik bir rol oynar.

Oksinler grubu içerisinde yer alan indol-3-asetik asit (IAA), bitki dokularında doğal bir şekilde sentezlenen tek bileşiktir. Ancak indol-3-asetik aside benzer etkilere sahip olan sentetik moleküller de geliştirilmiştir. Bu yapay oksin analogları, bitki büyüme

ve gelişmesini kontrol etmek için tarımda ve bitki fizyolojisi araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmacılar, bu sentetik bileşiklerin bitkiler üzerindeki etkilerini anlamak ve bitki büyüme düzenleyicileri olarak potansiyel uygulamalarını araştırmak için çeşitli araştırmalar yapmaktadırlar (Grunewald vd., 2009).

2.2.2.2. Sitokininler

Sitokininler hücre bölünmesi üzerinde kontrol sağlayarak bitkilerdeki organ ve doku farklılaşmasında önemli bir unsur durumundadır. Sitokininler aktif bir biçimde hücre bölünmesinin gerçekleştiği dokularda yüksek miktarda bulunurlar. Kök meristem dokularında sentezlenen sitokininler, sonrasında bitkinin genç doku kısımlarına ksilem yoluyla taşınır. Oksinlerin kök oluşumunu teşvik ettiği bilinirken, sitokininler sürgün oluşumuna katkı sağlar (Çetin, 2002). Bu nedenle bitkilerde organ ve doku oluşumu ve gelişimine etkileri göz önünde bulundurularak, doku kültürü çalışmalarında sitokininler oksinlerle birlikte kullanılır (Kumlay ve Eryiğit, 2011).

Bitkilerde ilk kez keşfedilen sitokinin, mısır tohumlarından izole edilen zeatindir. Bunun yanı sıra dimetilaliladenin, dihidrozeatin ve izopentenil adenin doğal bir şekilde üretilen diğer sitokininler arasındadır. Sitokininler de oksinler gibi yapay olarak sentezlenmiş türevlere sahiptir. Bu türevler arasında kinetin, tetrahidropirani benzoil adenin ve bilimsel çalışmalarda en yaygın olarak kullanılan benziladenin yer almaktadır. Bu çeşitlilik sitokininlerin bitki büyüme ve gelişimindeki rollerinin daha ayrıntılı incelenmesini sağlar. Ayrıca yapay türevlerinin kullanımı, sitokininlerin biyolojik etkilerinin anlaşılmasına ve tarımsal uygulamalarda optimize edilmesine yardımcı olur. Sentetik sitokinin analogları, bitki büyüme düzenleyicileri olarak tarımsal uygulamalarda ve bitki fizyolojisi araştırmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Algül vd., 2016).

2.2.2.3. Giberellinler

Giberellinler, düşük konsantrasyonlarda bitki büyümesini ve gelişimini teşvik eden önemli hormonlardan biridir. İlk olarak Japon araştırmacılar tarafından *Gibberella fujikuroi* adlı bir mantardan izole edilen bu hormonun adı bu mantar ile anılmıştır. *Gibberella fujikuroi*'nin pirinç bitkilerinin boyunun uzamasında aşırılığa neden olduğunun keşfi, giberellik asidin (GA) tanımlanmasına yol açmıştır (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Giberellinlerin keşfi, bitki hormonlarının anlaşılmasında önemli bir dönüm noktası olmuştur. Bu hormonların bitki büyüme süreçleri üzerindeki etkileri,

tarımda verimliliği artırma ve bitki gelişimini kontrol etme konularında yeni ufuklar açmıştır. Günümüzde büyüme ve gelişmeyi destekleyen bitki düzenleyicileri arasında yer alan giberellinlerin en az 126 farklı türü bilinmektedir. Giberellinler, bitkilerin kambiyum dokusunda, köklerinde, tomurcuklarında, embriyolarında, genç yapraklarında ve meyvelerinde bulunur. Giberellinlerin hücre uzamasını teşvik etmekle birlikte bodurluğun önüne geçilmesi, tohumların çimlenmesi, tohum ve tomurcuk dormansisinin kırılması ve partenokarpik meyve oluşumu üzerinde de etkili unsurların başında gelir (Çetin, 2002). Bu hormonlar, bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerinde kritik roller üstlenir ve tarımsal verimliliğin artırılması ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla da yaygın olarak kullanılır.

2.2.2.4. Absisik asit

1960'lı yıllarda absisyon ve dormansiye ilişkin gerçekleştirilen araştırmalar, hormonal bir bitki büyüme inhibitörünün keşfiyle sonuçlanmıştır. 1963 yılına gelindiğinde, pamuk meyvelerinde bulunan bu inhibitör kimyasal yapı açısından araştırılmış ve Wareing tarafından bileşiğin kimyasal yapısı tanımlanmış ve bu bileşiğe absisik asit (ABA) adı verilmiştir (Çetin, 2002). Bu hormon çevresel koşullara bağlı olarak bitki dokularında farklı miktarlarda bulunabilir ve en yüksek yoğunlukta yeşil yapraklarda yer alır, ancak diğer tüm bitki dokularında da bulunur. ABA, çeşitli bitki türlerinde birçok fizyolojik sürecin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu süreçler arasında stomaların kapanması, RNA ve protein sentezinin inhibisyonu, depo organlarının büyümesinin engellenmesi, depo proteini üretiminin teşvik edilmesi, tohumların erken çimlenmesinin önlenmesi ve birçok tohumda dormansinin sağlanması yer alır. Absisik asit, oksinler ve sitokininler gibi, laboratuvar ortamında sentetik bir şekilde üretilmektedir (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Bu hormonun çeşitli etkileri bitkilerin çevresel stres faktörlerine uyum sağlamalarında kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu uyum mekanizmalarının daha iyi anlaşılması, tarımsal verimliliğin artırılması ve bitki direncinin güçlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

2.2.2.5. Etilen

Etilen, bitkilerin tüm dokularında mevcut olan ve kimyasal olarak basit bir yapıya sahip bir organik moleküldür. Etilen, oda sıcaklığında gaz halinde bulunur ve genellikle de bitkileri olgunlaştırma hormonu olarak bilinir.

Bitkilerde çok düşük konsantrasyonlarda dahi etkili olabilir; stres altındaki bitki organlarında ve olgunlaşan/yaşlanan dokular içerisinde sentezlenir. Bununla birlikte bütün bitki organlarındaki etilen sentezi gelişimsel süreçler ile kontrol edilir ve köklerde bu sentezleme hızı oldukça düşüktür. Absisyona uğrayacak yaprak ve çiçeklerde ise etilen sentezi yüksek seviyelere ulaşır (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Etilen bitki gelişimi ve stres tepkilerinde kritik bir düzenleyici rol üstlenmektedir. Etilenin bu özellikleri, bitkilerin çevresel koşullara adaptasyonunda ve büyüme süreçlerinin yönetiminde önemli bir mekanizma olduğunu ortaya koyar. Aynı zamanda tarımsal uygulamalarda etilenin kullanımının bitki sağlığı ve verimliliği üzerinde nasıl etkili olabileceği araştırmalar için değerli bilgiler sağlar.

Doğal ortamlarda bulunan bitkilerde etilen, çeşitli fizyolojik işlevleri yerine getirir. Bu işlevler arasında meyvelerin olgunlaşması, yaprak ve çiçek absisyonunun teşvik edilmesi, dormansinin kırılması, dişi çiçek oluşumunun artırılması, meyve absisyonunun hızlandırılması ve hasat işlemlerinin kolaylaştırılması, gövdelerin uzamasının düzenlenmesi, polar oksin taşınımının engellenmesi ve adventif kök oluşumunun teşviki gibi çeşitli süreçler yer alır (Algül vd., 2016). Etilenin ticari kullanımını sağlamak amacıyla çeşitli sentetik formları da geliştirilmiştir. Bu sentetik etilen formları, tarımsal üretimde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu geniş yelpazede fizyolojik işlevler, etilenin bitkilerdeki önemli düzenleyici rolünü net bir şekilde ortaya koymaktadır. Etilenin çok çeşitli etkileri, tarımsal uygulamalarda geniş kullanım potansiyeline işaret etmekte ve bitki gelişimi ile hasat yönetimindeki önemini daha da vurgulayarak, araştırmalara yeni bakış açıları kazandırmaktadır.

2.3. Bitkilerde Stres Kavramı

Bitkilerde stres kavramı, çevresel koşullardaki aşırı ve anormal değişimlerin bitki büyüme ve gelişmesinin yanı sıra verim üzerinde oluşturduğu olumsuz etkileri ifade eder. Bu stres faktörleri, biyotik ve abiyotik olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır. Abiyotik stres faktörleri arasında kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklık veya soğuk, ağır metaller ve su baskını gibi çevresel şartlar bulunur. Bu faktörler, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Biyotik stres faktörleri ise bitkilerin patojenler, zararlılar ve diğer bitki türleri ile olan etkileşimlerinden kaynaklanır. Bitkiler, bu stres faktörlerine karşı çeşitli fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar geliştirerek adaptasyon sağlarlar. Bu mekanizmalar arasında osmotik düzenleme,

antioksidan enzimlerin üretimi, hormonal sinyaller ve gen ekspresyonundaki değişiklikler bulunur. Bu durum bitkilerin hayatta kalmasını ve verimliliğini korumasını sağlar. Bitkilerin büyüme ve gelişme süreçleri, uygun çevre koşulları sağlandığında olağan seyrinde ilerler. Fakat çevresel koşullardaki herhangi bir değişiklik, bitki büyümesini ve gelişimini belirli ölçüde etkileyebilir ve strese yol açabilir. Stres kavramı, başlangıçta fizik biliminde dışsal bir gücün bir sistemi gerilime sokması anlamında kullanılmıştır (Larcher, 1995). Daha sonra bu kavram biyolojik bağlamda da kullanılmaya başlanmıştır. Biyolojik olarak stres, organizmanın optimum olarak algıladığı şartlarda meydana gelen önemli değişikliklerdir. Bu değişiklikler, organizmada fonksiyonel tepkilerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Levit (1980), stresi "canlılar için uygun olmayan çevresel koşullar" şeklinde açıklamıştır. Cassels ve Curry (2001) ise stresi, "fizyolojik değişikliklere, fiziksel zararlara ve hastalık oluşturma potansiyeline sahip olan biyotik ve abiyotik faktörlerin tümü" şeklinde tanımlamıştır. Bu nedenle stres, bitkilerin büyümesini ve gelişmesini yavaşlatan veya durduran, ürün miktarında ve kalitesinde azalmaya sebep olan tüm faktörleri ifade eder.

Bu faktörler bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz yönde etkileyerek verim ve kalite kayıplarına neden olur. Bu bağlamda bitkilerin stres faktörlerine karşı geliştirdikleri adaptasyon mekanizmaları, tarımsal verimliliğin sürdürülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Çevresel stres faktörlerinin anlaşılması, bitki ıslahı ve tarımsal uygulamalarda daha dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Stres faktörlerinin bitkiler üzerinde yarattığı hasar, bitkinin kısmen ya da tamamen ölümüne bile yol açabilir. Ancak stres faktörlerinin bitkiye verdiği zarar, bitkinin çevresel adaptasyon kapasitesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu durum farklı bitki türlerinin farklı koşullarda en iyi şekilde büyüebilmesini sağlayan temel bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Stres fizyolojisi kavramında "sıfır stres" olarak adlandırılan teorik bir kavram da bulunmaktadır. Dünya üzerinde bitki büyümesi için tamamen ideal bir ortam mevcut olmadığından bu kavram yalnızca teorik bir anlam taşımaktadır (Hale ve Orcutt, 1987). Bitkilerin stres faktörlerine verdikleri tepkilerin anlaşılması, tarım ve bitki bilimi alanlarında kritik öneme sahiptir. Farklı türlerin adaptasyon yetenekleri, tarımsal verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından değerlidir ve

bu bilgi, stres toleransını artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Stres faktörleri tarih boyunca çeşitli şekillerde sınıflandırılmış olsa da günümüzde genellikle kökenlerine göre abiyotik ve biyotik faktörler olarak ayrılmaktadır (Alexieva vd., 2003). Bu faktörler sadece tarımsal verimliliği azaltmakla kalmaz, aynı zamanda yeni arazilerin tarımsal faaliyetler için kullanımını kısıtlayabilir veya tamamen engelleyebilir. Bitkilerin çevresel stres faktörlerine verdiği morfolojik, anatomik ve metabolik tepkiler, doğal seçilimin etkisiyle evrimsel olarak belirlenmiştir (Gaspar vd., 2002). Bu nedenle çevresel stres faktörleri, bitkilerin yapısal ve işlevsel özelliklerinin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Doğal ortamlarda, bitkiler genellikle birçok stres faktörüne aynı anda maruz kalabilir (Larcher, 1995).

Ilıman iklim bölgelerinde çevresel faktörler günlük ve mevsimsel anlamda daha belirgin değişimler gösterebilir. Bu yüzden ılıman bölgelerde yaşayan bitkiler stres faktörlerine daha sık ve etkin bir biçimde maruz kalabilir (Gaspar vd., 2002). Bu durum bitkilerdeki metabolik aktivitelerin değişen çevresel koşullara uyum sağlamasını zorunlu kılar. Bununla birlikte bu adaptasyon yeteneği bitkilerin hayatta kalma ve üreme başarıları açısından kritik öneme sahiptir. Bitkilerin bu adaptasyon süreci, tarımsal uygulamalarda verimliliği artırma ve sürdürülebilirliği sağlama açısından kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca stres faktörlerine dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesi, küresel gıda güvenliği için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı geliştirdiği adaptasyon mekanizmaları, tarım ve bitki bilimi alanında yapılan araştırmalar için önemli bir odak noktasıdır. Bu adaptasyon süreçlerinin anlaşılması, tarımsal verimliliği artırmak ve sürdürülebilir tarım uygulamaları geliştirmek için temel bilgileri sağlar. Bitki büyümesi ve gelişimini etkileyen stres faktörlerinin sınıflandırması Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çeşitli faktörlere bağlı olarak bitkilerin oluşturabileceği stres cevapları (Doğru, 2006; Reigos, 2006).

Çevresel Stres Kaynaklı		Antropojenik Kaynaklı
Abiyotik	Biyotik	
SICAKLIK	PATOJENLER	-O ₃ ve fotokimyasal tepkimeler
- Düşük sıcaklık (Donma, soğuk)	- Virüsler	- Kimyasallar
- Yüksek sıcaklık	- Mantarlar	- Duman
SU	- Bakteriler	- AOT oluşumu
- Su kıtlığı	HAYVANLAR	- Fotooksidanlar
- Su baskını (Sel, aşırı yağmur, oksijen yetersizliği)	- Phytiohagia	- Asit yağmuru ve sis
RADYASYON	- Otlatma	- Asidik su ve topraklar
- Kızılötesi	- Böceklerin etkileri	- Mineral eksiklikleri
- Görünür ışık	DİĞER BİTKİLER	- Ağır metal kirliliği
- UV-A, UV-B	- Parazitizm	- Azot fazlalığı
- İyonize edici radyasyon	- Alleopati	- UV ışınlarının fartması
KİMYASALLAR	- Rekabet	- Küresel iklim değişikliği
- İyonlar	- Herbisitler, mantar ilaçları	- CO ₂ konsantrasyon artışı
- Tuzlar (Mineral eksikliği / fazlalığı)	- Böcek ilaçları	- Tuzlu ve kuru toprakların artışı
- pH		- Gürültü
- Ozon		- Yangın
DİĞER		- Sıkı (geçirimsiz) toprak
- Yaralanma, ses, rüzgâr, magnetik alanlar, elektrik alanlar		

Stres dayanıklılığı veya stres direnci ifadeleri bir organizmanın olumsuz şartlar altında hayatta kalma yeteneği olarak tanımlanır. Bitkilerin stres karşısında gösterdikleri direnç seviyesi, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Örneğin bazı durumlarda bitki bütünüyle strese karşı direnç gösterebilirken, bazen yalnızca belirli organları dirençli olabilir. Örneğin, dormant tomurcuklar ve kuru tohumlar genellikle yüksek stres direncine sahipken, sukulent organlar ve meristematik dokular oldukça hassastır. Bitkinin stresle karşılaştığı dönemdeki gelişim evresi de direncin seviyesini belirlemede önemli bir faktördür; genç bitki dokuları, yaşlı dokulara kıyasla strese ilişkin faktörlere duyarlılık seviyesi daha yüksektir (Hale ve Orcutt, 1987). Stresin hem süresi hem de şiddeti direnci etkileyen diğer önemli faktörler arasındadır. Uzun süreli ya da yoğun stres koşulları bitkinin dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilir (Bray vd., 2000). Ayrıca aynı tür içerisindeki farklı çeşitler veya genotipler, aynı stres

koşullarına farklı tepkiler verebilir (Doğru, 2006). Bu çeşitlilik genetik varyasyon ve çevresel adaptasyon yeteneklerine bağlıdır. Örneğin bazı buğday çeşitleri kuraklık stresine daha dayanıklı iken, diğerleri tuz stresine daha iyi adapte olabilir. Bu nedenle, stres direnci üzerine yapılan araştırmalar, bitki ıslahı ve tarımsal üretim stratejileri için büyük önem taşır.

Stres direncinin altında yatan mekanizmalar genellikle karmaşık olup, birçok fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler süreci içerir. Stres koşullarında bitkiler, çeşitli adaptif tepkiler geliştirir. Bu tepkiler arasında osmoregülatör maddelerin üretimi, antioksidan savunma sistemlerinin aktive edilmesi ve strese bağlı genlerin ekspresyonu yer alır. Ayrıca bazı bitkiler su ve besin maddelerine erişimi artırmak için kök sistemlerini derinleştirir veya su kaybını azaltmak amacıyla stomalarını kapatır. Bitkilerde stres direncini artırmaya yönelik araştırmalar, genetik mühendislik, moleküler biyoloji ve bitki fizyolojisi gibi alanlarda yoğunlaşmıştır. Bu araştırmalar sayesinde stres toleransını artıran genler tanımlanmakta ve bu genlerin bitkilere aktarılması ile daha dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece, tarımsal üretimde sürdürülebilirlik ve verimlilik artışı sağlanabilir.

Levitt (1980), stres direncini tolerans ve kaçınma olarak iki temel kategoriye ayırmıştır. Bu kategoriler, bitki metabolizması ile stres faktörü arasındaki termodinamik etkileşimlere dayanarak belirlenir. Stres kaçınma durumunda, bitki stres faktöründen kaçınmak için fiziksel veya metabolik engeller oluşturarak termodinamik etkileşimlerden kaçınmaya çalışır. Bu yaklaşım, bitkinin stresin zararlı etkilerinden korunmasını sağlar. Örneğin, çöl bitkilerinin sukulent organları, kuraklık stresinden korunmalarına yardımcı olabilir. Bitki ve stres faktörleri arasında tolerans mekanizmalarında termodinamik bir etkileşim mümkündür; ancak bu etkileşimin sonucunda bitki zarar görmeyebilir veya oluşan zarar onarılabilir. Ayrıca bu süreç bitkilerin hayatta kalma stratejilerinde önemli bir rol oynar. Hale ve Orcutt (1987), evrim sürecinde stres direncinin sağlanmasında sakınma mekanizmasının daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu mekanizmaların derinlemesine anlaşılması, bitki ıslahı ve genetik mühendisliği çalışmaları için kritik öneme sahiptir. Sakınma ve tolerans stratejilerinin etkin bir şekilde kullanılması, bitkilerin zorlu çevresel koşullarda hayatta kalma ve verimliliklerini artırma potansiyelini göstermektedir. Stres faktörlerine karşı bitkilerin farklı adaptasyon stratejileri, tarım ve bitki bilimi alanında yapılan araştırmalar için büyük önem taşır. Bu stratejilerin genetik temellerinin ve

mekanizmalarının anlaşılması, tarım uygulamalarında daha dayanıklı ve verimli bitki türlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Adaptasyon ve aklımasyon stres fizyolojisindeki önemli olan diğer iki kavramdır. Adaptasyon, bitkilerin çevresel değişikliklere genetik olarak yanıt verdiği uzun vadeli bir süreçtir. Bu süreçte meydana gelen genetik değişiklikler kalıcı olup birçok nesil boyunca devam eder. Aklımasyon veya uyum ise, genetik yapıda bir değişiklik olmadan, çevresel değişikliklere karşı fenotipik bir yanıt olarak gerçekleşir (Huner vd., 1998). Bitkiler, çevresel koşullardaki değişimlere hem fizyolojik hem de yapısal olarak uyum gösterebilirler. Kısa süreli uyum noktasında bitkinin metabolizma hızı ve büyümesi çevresel şartlara göre yeniden ayarlanır; bu süreçte protein sentezi hızı, transkripsiyon, translasyon ve hormonal dengede değişiklikler olabilir. Uzun süreli uyumda ise bitkiler bazı organlarında kayıplar yaşayabilir, fakat bu organlar yeniden büyüdüğünde bitki yeni bir anatomik ve morfolojik yapı kazanabilir (Gaspar vd., 2002). Bu kavramlar bitkilerin stres altındaki dayanıklılıklarını anlayabilmek adına kritik bir öneme sahiptir.

Adaptasyon ve aklımasyon kavramları, bitkilerin çevresel değişimlere nasıl yanıt verdiğini anlamak için kritiktir. Bu kavramların anlaşılması, bitki ıslahı ve tarımda verimliliği artırmak için stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunur. Bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırmak, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği açısından da büyük önem taşır.

Stres direncinin sağlanması için bitkiler, metabolik ve fizyolojik süreçlerinde çeşitli düzenlemeler yapar. Örneğin, sukulent bitkiler su depolama kapasitelerini artırarak kuraklık stresinden korunurken, tuzcul bitkiler tuz stresine karşı tuz biriktirme veya atma mekanizmaları geliştirir. Tolerans mekanizmalarında ise, bitkiler stresin doğrudan etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak için osmoregülasyon, antioksidant savunma sistemleri ve ısı şok proteinleri gibi çeşitli biyokimyasal ve moleküler yanıtlar geliştirir. Bu uyum ve adaptasyon stratejileri, bitkilerin farklı çevresel koşullarda hayatta kalabilmelerini ve üreme yeteneklerini sürdürebilmelerini sağlar. Stres fizyolojisi araştırmaları, tarım ve ekosistem yönetimi açısından büyük önem taşır. Bitki stresine karşı direnç mekanizmalarının anlaşılması, daha dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve tarımsal üretimde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından kritik rol oynar. Bu bağlamda, modern tarımda kullanılan

biyoteknolojik yaklaşımlar, stres toleransını artırmak için genetik modifikasyonlar ve seleksiyon yöntemleri ile desteklenir.

2.3.1. Tuz stresi

Tuzluluk, küresel düzeyde artan insan nüfusuyla birlikte tarımsal verimlilik ve kalite üzerinde olumsuz etkileri olan abiyotik bir stres faktörüdür (Botella vd., 2005). Yetersiz ve plansız sulama uygulamaları, dünya çapında 95 milyon hektarlık, Türkiye'de ise yaklaşık 1,5 milyon hektarlık bir alanda tuzluluk sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bu alanın %32,5'i sulamaya uygun tarım arazilerinden oluşmaktadır (Szabolcs, 1994; Sönmez, 2004; Ekmekçi vd., 2005). Tarım arazilerinde gözlenen tuz birikimi, bitkilerin büyümesini, gelişimini, ürün verimini ve kalitesini olumsuz yönde etkileyerek önemli ekonomik kayıplara yol açabilir (Mahajan ve Tuteja, 2005). Tuzluluğun tarım arazileri üzerindeki zararlı etkileri ve bunun tarımsal üretime olan olumsuz etkileri, ekonomik açıdan büyük öneme sahiptir. Bu durum, ekonominin potansiyelini etkileyebilir.

Tuzluluk, toprakta çözünmüş tuzların bitki kök bölgesinde birikmesiyle meydana gelir ve bu durum bitki için iki ana problem yaratır. Bunlar ozmotik stres ve iyonik toksisitedir. Ozmotik stres, bitkinin su alımını zorlaştırırken, iyonik toksisite hücresel düzeyde metabolik dengesizliklere yol açar. Bu sorunlar, bitkilerde yapısal ve fonksiyonel bozulmalara neden olarak fotosentez hızının azalması, büyüme ve gelişmenin duraklaması ve sonuç olarak ürün verimliliğinin düşmesi gibi olumsuz etkiler yaratır (Munns ve Tester, 2008).

Türkiye'deki tuzlu topraklar üzerine yapılan araştırmalar, özellikle sulama yönetimi ve tarımsal uygulamalardaki yanlışların bu sorunu daha da kötüleştirdiğini göstermektedir. Sulama suyunun tuz içeriğinin yüksek olması, drenaj sistemlerinin yetersizliği ve aşırı sulama, toprak tuzluluğunun artmasına neden olan başlıca faktörlerdir (Sönmez, 2004). Tuzluluk sorununun çözümü için uygun sulama tekniklerinin kullanılması, tuza toleranslı bitki türlerinin seçimi ve yetiştirilmesi, toprak ıslahı ve drenaj sistemlerinin iyileştirilmesi gibi çeşitli stratejiler gerekmektedir (Flowers ve Yeo, 1995).

Gelecekte, tuzluluğun tarımsal verim üzerindeki etkilerini azaltmak için, genetik mühendislik ve biyoteknoloji alanlarında yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Tuz toleransını artırmak amacıyla bitkilerde çeşitli genetik modifikasyonlar

yapılmakta ve bu sayede daha dirençli bitki çeşitleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu tür ilerlemeler, tarımsal sürdürülebilirliği sağlamada ve gıda güvenliğini artırmada kritik rol oynayacaktır (Zhu, 2001) .

2.3.2. Toprak tuzluluğunun türleri ve topraktaki tuzlanmanın nedenleri

Bir toprağın tuzlanmış olarak kabul edilmesi için, topraktaki tuz miktarının bitki büyümesini olumsuz yönde etkileyebilecek düzeyde artmış olması gerekir. Bu tuz miktarı genellikle toprak çözeltisinin elektriksel iletkenliği (EC) ile ölçülür. Toprağın elektriksel iletkenliği, içerdiği çözünmüş tuz miktarını belirtir ve yüksek EC değerleri, toprakta yüksek miktarda tuz bulunduğunu gösterir. Bu nedenle toprağın tuzluluk düzeyini değerlendirmek için EC ölçümleri kritik öneme sahiptir. Genellikle bir toprağın tuzlu olarak sınıflandırılması için EC değerinin belirli bir eşik değeri aşması gerekir; bu eşik değer genellikle 4 dS m^{-1} olarak kabul edilir. Bu seviyenin üzerindeki tuz konsantrasyonları, bitki köklerinin su ve besin alımını zorlaştırarak bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Günümüzde, bir toprağın tuzlu olarak sınıflandırılabilmesi için elektriksel iletkenlik değerinin 4 dS m^{-1} veya daha yüksek olması gerekmektedir; bu da yaklaşık olarak 40 mM'lik bir konsantrasyona denk gelir (Chinnusamy vd., 2005).

Birçok bitki türü, elektriksel iletkenliği 4 dS m^{-1} seviyesinden daha düşük olan ortamlarda dahi tuz stresinden etkilenebilir. Bu durum yüksek buharlaşma hızı ve azalan toprak neminin olduğu bölgelerde geçerlidir. Yani bitkiler yalnızca yüksek tuz konsantrasyonlarında değil, aynı zamanda suyun sınırlı olduğu ve buharlaşmanın yoğun olduğu koşullarda da tuz stresi yaşayabilir (Chinnusamy vd., 2005).

Bu nedenle toprağın tuzluluğunun belirlenmesi ve bitkilerin tuz stresine olan duyarlılığının tespit edilmesi oldukça karmaşık bir süreçtir.

Toprağın tuzluluğunun tanımlanması ve bitkilerin tuz stresine olan duyarlılığının belirlenmesi, yüksek buharlaşma hızı ve azalan toprak neminin olduğu bölgelerde daha karmaşık bir hal alır.

Toprak tuzluluğunu azaltmak ve bitkilerin bu stres faktörüne karşı dirençli hale gelmesini sağlamak için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, uygun sulama tekniklerinin kullanılması, drenaj sistemlerinin iyileştirilmesi, tuza toleranslı bitki türlerinin yetiştirilmesi ve biyoteknolojik yöntemlerle bitkilerde genetik modifikasyonların yapılması yer almaktadır (Flowers ve Yeo, 1995; Zhu, 2001). Bu

stratejiler tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak ve gıda güvenliğini artırmak için büyük önem taşımaktadır. Özellikle genetik mühendisliği alanında sağlanan ilerlemeler sayesinde tuz toleransını artıracak genlerin bitkilere kazandırılmasıyla, tuzlu topraklarda bile yüksek verimliliğin elde edilmesin amaçlanmaktadır (Zhu, 2001).

Primer tuzluluk, tuz bileşiklerinin uzun bir süre boyunca toprak ve yeraltı sularında birikmesi sonucunda oluşur. Bu tuzluluğun ana kaynaklarından biri, çözünür tuz bileşiklerini içeren ana kaya materyalinin erozyonudur. Erozyon sürecinde, kayalar parçalanarak toprağa sodyum, kalsiyum, magnezyum gibi elementlerin klorür, karbonat ve sülfat formundaki bileşikleri katılır. Bu bileşiklerden en yüksek çözünürlüğe sahip olan bileşik sodyum klorürdür (Kadıǧlu, 2011). Diğer bir etken yağmur ve rüzgârın okyanus ve deniz suyundaki tuz bileşiklerini karalara taşımasıdır. Bu tuzlar genellikle iç kesimlere rüzgârla taşınır ve "siklik tuzlar" olarak adlandırılır; çoğunlukla sodyum klorür formunda bulunur. Yağmur suyu da belli bir miktarda tuz içerir, ancak bu miktar kıyıda uzaklaştıkça azalır. Yağmur suyundaki tuz miktarı genellikle 6-50 ppm arasında değişir. Kıyılardan uzak bölgelerde, yağmur suyu yaklaşık olarak 10 ppm tuz içerebilir ve bu da yılda yaklaşık olarak 10 kg ha⁻¹ tuzun karasal ekosistemlere dahil olması anlamına gelir (Rengasamy, 2002).

Geçici tuzluluk, bitkilerin kök bölgelerinde mevsimsel (temporal) ve mekânsal (spatial) değişkenliklere bağlı olarak biriken tuz miktarını ifade eder. Bu tuzluluk türü yeraltı suyu seviyesinin yükselmesi veya taban suyunun etkilenmesiyle ortaya çıkmaz. Genellikle yüzeydeki su hareketleri ve buharlaşma gibi faktörlere bağlı olarak değişir (Rengasamy, 2002). Bu bilgilere dayanarak, tuzluluğun bitki büyümesi ve verimliliği üzerindeki olumsuz etkilerini anlamak, tarım ve çevre yönetimi açısından büyük önem taşır. . Doğal olarak biriken tuzlar, bitki gelişimini engelleyebilir ve toprak verimliliğini azaltabilir. Bu nedenle, tuz yönetimi stratejileri geliştirilerek tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak ve doğal kaynakları korumak için adımlar atılmalıdır.

Geçici tuzluluğun şiddeti, bölgedeki yağış miktarına ve toprak derinliğine bağlı olarak farklılık gösterir. Sekonder tuzlanma ise insan etkisiyle ortaya çıkar ve toprağın hidrolojik dengesinin bozulmasıyla ilişkilidir. Bu dengeyi değiştiren faktörler arasında, çok yıllık bitkilerin yerine tek yıllık bitkilerin yoğun olarak ekilmesi, yetersiz drenaj sistemleri ve sulama sularındaki tuz bileşikleri yer alır. İnsan müdahalesi olmaksızın, mevsimsel olarak kurak veya yarı kurak geçen bölgeler yağış miktarı ile

bitkilerin su kullanımı arasında doğal bir denge oluşturur (Kadioğlu, 2011). Bu doğal denge ekosistemde suyun sürdürülebilir bir şekilde dolaşımını sağlar ve bitkilerin su gereksinimlerini karşılamasına yardımcı olur.

Derin kök sistemine sahip olan çok yıllık bitkiler, biriken suyun toprak yüzeyinin altında kalmasını sağlar. Ancak insan müdahaleleri, özellikle bitki örtüsünün değiştirilmesi ve sulama gibi etkiler, bu doğal dengeyi bozarak topraktaki su miktarını bitkilerin alabileceği seviyenin üzerine çıkarır. Yeraltı suyunun yükselmesi, daha derin katmanlarda bulunan tuz bileşiklerinin kök bölgelerine taşınmasına neden olur. Bitkiler kökleri vasıtasıyla suyu emdiğinde, toprak daha fazla tuzla yoğunlaşır. Yeraltındaki su seviyesi yükseldikçe, tuz bileşikleri de artar ve suyun buharlaşmasıyla birlikte tuzlar toprağın üst kısmında birikmeye başlar (Kadioğlu, 2011). Bu süreçler sonucunda tuz birikimi bitkiler için zararlı hale gelir ve toprak verimliliği ciddi şekilde azalır. Bu nedenle, tuzlanma sorununu yönetmek için uygun tarımsal uygulamalar ve su yönetimi stratejileri geliştirilmelidir. Bu, tarımsal verimliliği korumak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak açısından son derece önemlidir.

Tuzlu topraklarda, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ve K^+ katyonları dışında, Cl^- , SO_4^{2-} (sülfat), HCO_3^- (bikarbonat), CO_3^{2-} (karbonat) ve NO_3^- (nitrat) anyonları da bulunmaktadır (Tanji, 2002). Sulama alanlarının çoğunda, aşırı sulama ve yetersiz drenaj nedeniyle yeraltı suyu seviyesi yükselmektedir. Sulama suyundaki tuz seviyeleri genellikle 200-500 ppm arasındadır ve bu, toprağa yılda 0.5 ton tuz eklemektedir. Örnek olarak, sulama suyundaki her 1.000 m³ suya 500 ppm tuz eklenmesi durumunda, yılda 0.5 ton tuz toprağa eklenir. Tarımsal bitkilerin yıllık olarak hektar başına 6.000-10.000 m³ suya ihtiyacı olduğu düşünüldüğünde, bu miktar yaklaşık olarak bir hektarlık alana yılda 3-5 ton tuz girişine denk gelmektedir.

Tarımsal bitkiler, topraktan uzaklaştırdıkları tuz miktarının oldukça az olması nedeniyle, bitkinin kök kısmında tuz birikimi devam eder. Bu birikimi azaltmak için, bitkilerin ihtiyaç duyduğundan daha fazla su verilmesi gerekebilir. Ancak drenaj yetersiz olduğunda, su birikimi tuzların kök bölgelerine taşınmasına yol açabilir. Ayrıca bitkilerin hareket halindeki suyun tamamını kullanamaması halinde su baskınlarının meydana gelme ihtimali yüksektir (Kadioğlu, 2011). Toprak tuzlanmasıyla mücadele edilirken, tarımsal sulama uygulamalarının tuz birikimi üzerindeki etkileri ve bu durumun bitki büyümesi üzerindeki olumsuz sonuçları da dikkate alınmalıdır.

2.3.3. Bitkiler üzerinde tuz stresinin etkileri

Topraktaki çözünebilir tuzlar, bitki kökleri tarafından kolayca alınabilir. Ancak bu tuzlar bitki dokularında belirli bir konsantrasyonu aştığında, bitki için zararlı hale gelir ve stres oluşturur. Bu durum, bitkilerin metabolizmasını ve mineral beslenmesini bozarak zamanla toksik etkilere neden olur (Kanber vd., 1992). Tuz kontrasyanonundaki artış nedeniyle bitkilerin topraktan su alımı azalabilir ya da tamamen durabilir. Örneğin, bazı bitkilerin yaşadıkları toprakta yeterli miktarda suyun bulunmasına rağmen, turgorlarını kaybettikleri gözlemlenmiştir. Bu durum topraktaki yüksek tuz konsantrasyonundan kaynaklanan fizyolojik kuraklık sonucunda ortaya çıkar. Yüksek ozmotik basınç, bitki köklerinin topraktaki suyu almasını engelleyerek bitkiyi kuraklık stresine maruz bırakır. Bitki gelişimi ile osmotik basınç arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Düşük osmotik basınç seviyesi altında bitkinin gelişim süreci normal bir şekilde devam ederken, osmotik basınç seviyesi 20 atmosfere ulaştığında bitki gelişimi kısıtlanabilir ve 40 atmosfere ulaştığında ise bitkilerin hayatta kalma şansı azalır ve ölüm süreci başlar.

Toprak tuzluluğu, bitkilerde tohum çimlenmesini kısmen veya tamamen inhibe eder, turgor kaybına, solmaya ve kurumaya neden olur. Bununla birlikte bitkilerin boyutunu küçültür, yapraklarını küçültür ve gövde büyümesini yavaşlatır. Yapraklar mavimsi bir renk alabilir, çiçeklenme gecikebilir ve çiçek sayısı azalabilir, tohumlar ise daha küçük olabilir (Ekmekçi vd., 2011). Ayrıca tuzlanmış tarım alanlarında tuza dayanıklı yabancı ot türlerinin gelişimi de sıkça gözlemlenmektedir. Bu olumsuz etkiler tarımsal verimliliği ciddi şekilde düşürerek ekonomik kayıplara yol açar. Tuzluluk stresıyla başa çıkmak için uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından büyük önem taşır.

2.4. Bitkiler üzerindeki tuz stresinin etkileri

Tuz stresi bitkilerde çeşitli fizyolojik ve moleküler problemlere yol açar. Genel olarak tuz stresi, bitkilerde fizyolojik kuraklık, iyon toksisitesi, mineral madde eksikliği ve oksidatif stres gibi sorunları tetikler. Bu durumda bitkilerin moleküler yapılarında hasar meydana gelir ve sonunda bitki canlılığını kaybedebilir.

2.4.1. Bitkilerin büyüme ve gelişim sürecinde tuz stresinin etkileri

Tuzluluk, bitkilerin fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal süreçlerini etkileyen önemli bir çevresel faktördür. Toprak çözeltisindeki tuz miktarının artması, bitkilerin

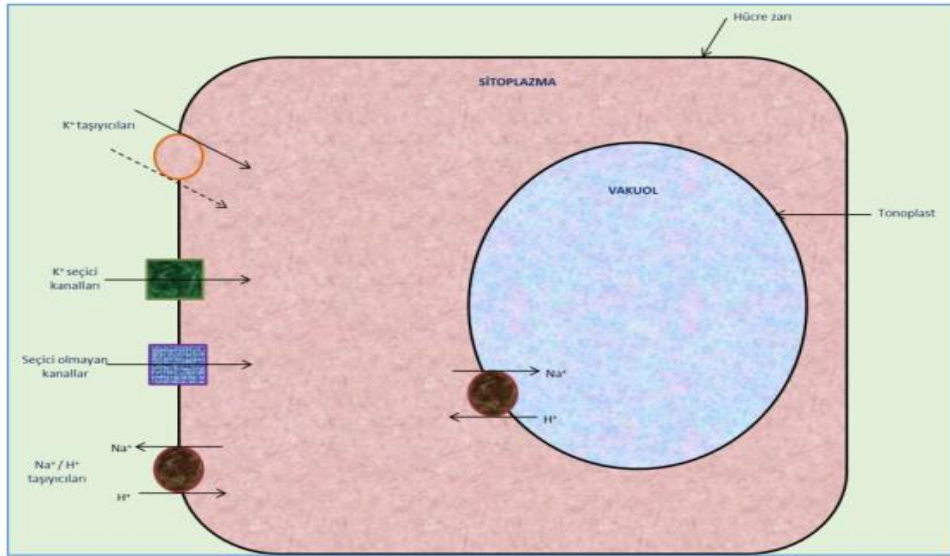
su alım yeteneklerini azaltarak su ve ozmotik potansiyellerinde düşüşe neden olur. Bu durum, bitki köklerinin su alımını zorlaştırır, hücre uzamasını ve bölünmesini etkileyerek kökteki ve gövdedeki hücre sayısında ve mitotik aktivitede azalmaya yol açar (Burssens vd., 2000). Tuz stresi koşulları devam ettiğinde bitki büyümesi tamamen durabilir (Ashraf, 1994). Tuz stresine aşırı duyarlı bitkilerde, nekrotik lekeler, kloroz, verim ve kalitede azalmalar, büyüme ve gelişme gerilemeleri gözlemlenir (Hasegawa vd., 1986).

Wang ve Nil (2000), *Amaranthus tricolor* bitkisi üzerinde gerçekleştirdikleri bir çalışmada, artan tuz konsantrasyonlarının yaprak genişleme hızını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde, Franco vd. (1997) kavun bitkisi üzerinde yaptıkları araştırmada, farklı tuz konsantrasyonlarının (2.5 (kontrol), 5.0, 7.5 dS m⁻¹) artmasıyla birlikte yaprak alanı ve meyve veriminde azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Tuz stresi koşullarında, bitki köklerinin su alım kapasitelerinin azalması kök gelişimini ve gövde uzamasını olumsuz etkiler. Yakıt ve Tuna (2006), tuz stresi altında kalan bitkilerin boylarının kontrol grubuna kıyasla daha kısa olduğunu ve bodur bir yapı sergilediğini bildirmişlerdir.

Mısır ve domates üzerine yapılan çalışmalar, kök büyümesi ve gelişiminin tuzluluk nedeniyle olumsuz etkilendiğini ortaya koymuştur (Cramer vd., 1988; Snapp ve Shennan, 1994). Zaimoğlu ve Doğru'nun (2016) mısır genotipleri üzerine yaptığı çalışmada tuz stresinin, gövde büyümesini kök büyümesine göre daha belirgin şekilde engellediği ve gövdenin tuz stresine daha duyarlı olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, bitkilerin özellikle erken fide döneminde tuz stresine daha hassas olduğu bilinmektedir (Khatun ve Flowers, 1995). Steppuhn vd. (2001), fasulye, bezelye ve buğday genotipleri üzerinde farklı tuz konsantrasyonlarının (1.2, 11.2 ve 24.9 dS m⁻¹) çimlenme ve verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bulgular, tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte tüm genotiplerde çimlenme oranının azaldığını, bezelye örneğinde ise erken büyüme döneminde bitki ölümlerinin meydana geldiğini ve toplam bitki ağırlığının azaldığını ortaya koymuştur. Bu durum, verimde %40 oranında bir düşüşle sonuçlanmıştır. Yapılan araştırmalar, tuzluluğun bitki büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkilediğini, özellikle erken fide döneminde bitkilerin tuz stresine daha duyarlı olduğunu göstermektedir.

2.4.2. Bitkilerde Tuz Stresinin Su Dengesi ve İyon Konsantrasyonu Üzerindeki Etkileri

Tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte bitkilerde su potansiyeli ve ozmotik potansiyel daha negatif hale gelirken, turgor basıncı yükselir (Ahmad vd., 2012). Bu durum tuz stresinin bitkilerin su alımını azalttığını göstermektedir. Na^+ ve Cl^- konsantrasyonlarının artması, tuzluluğun olumsuz bir etkisi olarak belirginleşir ve bu durum K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi besin elementlerinin alımını olumsuz yönde etkiler (Parida ve Das, 2005). Na^+ ile diğer besin elementleri arasındaki antagonistik etkileşim, iyon dengesi ve kök bölgesindeki hücre zarı geçirgenliğinin bozulmasına neden olur, bu da bitkide besin eksikliğine yol açabilir (Fageria, 2001). Na^+ iyonları için özel bir taşıyıcı bulunmaması sebebiyle, hücreye girişleri çeşitli yollarla gerçekleşebilir. Örneğin, K^+ gibi diğer besin elementleriyle rekabet ederek depolarize olmuş hücre zarındaki KOR kanallarının açılması, seçici olmayan kanallar ya da Na^+/H^+ antiportları aracılığıyla Na^+ hücre içine alınabilir (Munns vd., 2003; Debouba vd, 2006).



Şekil 2.2. Bitkilerde Na^+ iyonunun taşıma mekanizması (Amtmann ve Sanders, 1999)

Tuz stresi altında kök bölgesinde Na^+ iyonu konsantrasyonunun artışı gözlemlenmiştir. Ghoulam vd. (2002) şeker kamışı, Lacerda vd. (2002) Sorgum ve Essa (2002) soya üzerine yaptıkları araştırmalarda bu durumu açıkça belirtmişlerdir. Bu artış, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ve Na^+/K^+ oranlarının yükselmesine, dolayısıyla bitkinin Ca^{2+} ve K^+ iyonlarını daha az aldığını göstermektedir. Başka bir deyişle, yüksek Na^+/K^+ veya

$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ oranları, bitkinin Na^+ iyonunu, Ca^{2+} veya K^+ iyonlarına göre daha fazla aldığını ifade eder. Aynı şekilde yüksek K^+/Na^+ veya $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ oranları ise bitkinin Na^+ iyonu yerine K^+ veya Ca^{2+} iyonlarını tercih ettiğini gösterir. K^+ ve Ca^{2+} iyonları, tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletme kapasiteleri sayesinde, bitkinin tuz toleransını belirleyen önemli faktörler arasında yer alır (Ehret vd., 1990).

Wei vd. (2003), tuzlu koşullar altında farklı arpa çeşitlerini inceledikleri çalışmalarında, tuza toleranslı (Golden Promise) ve hassas (Maythorpe) olarak sınıflandırılan iki genotip arasında farklılıklar bulmuşlardır. Bu çalışmada, tuza toleranslı Golden Promise genotipinde Na^+ konsantrasyonunun hassas genotipe göre daha düşük olduğu, ayrıca K^+/Na^+ ve $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ oranlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu yüksek oranlar, genotipin tuz toleransını artıran önemli bir etken olarak öne çıkmıştır. Ayrıca, kalsiyumun bitkiyi tuz stresinin zararlı etkilerine karşı koruyan hayati bir besin elementi olduğu vurgulanmıştır (Arshi vd., 2006). Bu bulgular bitkilerin tuz toleransını artırmak için K^+ ve Ca^{2+} iyonlarının önemini vurgulamakta ve farklı genotiplerin tuza karşı nasıl tepki verdiğinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede tarımda daha tuz toleranslı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi mümkün olabilir.

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde, dışarıdan eklenen Ca^{2+} iyonlarının, hücre zarının Na^+ iyonlarına karşı geçirgenliğini azalttığı tespit edilmiştir (Kaya vd., 2002). Cramer (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır bitkilerine uygulanan 71 mM Na^+ stresine ek olarak 12.5 mM Ca^{2+} verildiğinde, bitkilerin stres toleransının arttığı ve tuzluluğun zararlı etkilerinin azaldığı belirtilmiştir. Tuz stresine maruz kaldığında, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ oranındaki artış, hücre zarında Na^+ iyonlarının Ca^{2+} iyonlarıyla değiş tokuş yapmasına neden olarak zar yapısının bozulmasına yol açar (Yokoi ve ark., 2002). Bu süreçte serbest kalan Ca^{2+} iyonları, sitoplazmada stres sinyallerini ileterek hücrel tepkileri tetikler (Yokoi vd., 2002; Lynch vd., 1989). Ayrıca kalsiyumun hücre zarındaki çeşitli protein ve lipidlerle etkileşimi, zarın bütünlüğünü korur ve hücre içi pH dengesini sağlar (Hirschi, 2004). Pamuk bitkilerine su kültüründe verilen NaCl, bitki gelişimini ve kök büyümesini olumsuz etkilerken, ortamda bulunan kalsiyumun kök gelişimini olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir (Cramer vd., 1988). Bu durum tuz stresi altında bitkilerin Ca^{2+} iyonlarına olan ihtiyacını ve bu iyonların bitki sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamaktadır. Özellikle kalsiyumun hücre zarının yapısını koruması ve stres sinyallerini iletmesi, bitkinin tuz stresine karşı

dayanıklılığını artırmada kritik bir rol oynar. Bu bilgiler, tarım uygulamalarında tuzlu topraklarda yetişen bitkilerin verimliliğini artırmak için kalsiyum takviyesinin önemini göstermektedir.

Tuz stresi altındaki bitki hücreleri, K^+ iyonlarını tercih ederek yüksek K^+/Na^+ oranıyla kendini gösterir. Potasyum, tuz stresine maruz kalan bitkilerde artan turgor basıncını koruyarak bitkinin osmotik dengeyi sürdürmesine yardımcı olur (Blum, 1988). Potasyum (K^+) iyonları, protein sentezinde tRNA'nın ribozomlara bağlanmasında kritik bir rol oynarlar (Sekmen, 2009). Karbonhidrat metabolizmasında aktif olan enzimler, örneğin pirüvat kinaz ve fosfofruktokinaz gibi, yeterli miktarda potasyum iyonlarına ihtiyaç duyarlar (Lauchli ve Pflüger, 1978). Ayrıca, potasyum iyonları yeşil bitkilerin fotosentez sürecinde ve metabolik enerji kaynağı olan ATP'nin üretiminde önemli bir role sahiptirler (Tester ve Blatt, 1989). Bununla birlikte, potasyum iyonları bitki hücrelerinde osmotik potansiyeli artırarak suyun hücre içine girişini kolaylaştırır (Kacar, 2005). Potasyum iyonlarının bu çeşitli işlevleri, bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli bir rol oynar. Bu yaklaşım potasyumun bitki stres yönetiminde ve genel sağlığında kritik bir besin olduğunu göstermektedir. Potasyum, bitkilerin osmotik dengesini koruma, protein sentezini destekleme ve metabolik süreçlerde yer alma gibi hayati işlevlere sahiptir. Bu nedenle tuzlu topraklarda tarım yaparken potasyum düzeylerini optimize etmek, bitki verimliliğini artırmak için önemli bir strateji olabilir. K^+ iyonları, bitkilerin transpirasyon sürecinde ve stomaların açılıp kapanmasında önemli bir rol oynar. Suyun yeterli olduğu durumlarda, stoma hücrelerinde K^+ iyonları birikir, bu da hücrelerin su almasını sağlayarak stomaların açılmasına neden olur (Kacar, 2005). Ancak suyun yetersiz olduğu durumlarda, stoma hücreleri K^+ iyonlarını dışarıya pompalar, bu da hücrelerin su kaybını önlemek için stomalarını kapatmasına yol açar. Bu nedenle bitki hücreleri K^+ eksikliği durumunda su stresine girme eğilimindedir (Kacar, 2005).

Potasyum bitkilerin birçok fizyolojik süreci üzerinde önemli etkilere sahiptir, örneğin enzimatik aktiviteler, fotosentez, turgor potansiyeli, hücre uzaması, stoma hareketleri ve transpirasyon gibi süreçlerde rol oynar (Marschner, 1995). Benzer şekilde tuz stresine maruz kalan mısır bitkilerine dışarıdan uygulanan minerallerin (Ca, Mg ve K gibi), hücre zarının geçirgenliğini artırarak ve oransal su içeriğini yükselterek tuzun zararlı etkilerini hafiflettiği de belirlenmiştir (Yakıt ve Tuna, 2006). Tuzlu koşullarda, bitkilerde Na^+ ve Cl^- iyonlarının yaşlı yapraklarda birikmesi, bitkilerin tuz toleransını

gösteren bir işaret olarak kabul edilir (Wolf vd., 1991). Bu durum potasyumun bitki sağlığı ve stres yönetimindeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Potasyum, bitkilerin su dengesini koruma, enzimatik aktiviteleri destekleme ve genel büyüme süreçlerinde hayati işlevlere sahiptir. Bu nedenle tuzlu topraklarda tarım yaparken potasyum seviyelerini optimize etmek, bitki verimliliğini artırmak için önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Potasyum bitki dokuları tarafından hızlıca ve fazla miktarda alınır, bu durum daha genç yapraklarda yaşlı yapraklara kıyasla K^+ miktarının daha yüksek olduğu ve K^+ 'nın yaşlı yapraklardan genç yapraklara floem aracılığıyla taşındığı şeklinde ifade edilmiştir (Aydemir ve İnce, 1988). Bitkilerde büyüme ve gelişmenin azalmasıyla birlikte K^+ alımının yavaşladığı ve turgor basıncının düştüğü belirtilmiştir (Aydemir ve İnce, 1988). Bu bağlamda gerçekleştirilen araştırmalar potasyumun bitkilerde sklerenkima hücrelerinin sayısını artırdığını ve pamuk gibi bazı lif bitkilerinde hücre duvarlarının kalınlaşmasına katkı sağladığını göstermektedir. Bu durum bitki gövdelerinin sağlam gelişiminin, sklerenkima hücrelerinin miktarı ve hücre duvarı kalınlığı ile bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır (Kacar ve Katkat, 1998).

Bitkilerde, potasyumun hastalıklara ve zararlılara karşı koruma sağladığı bilinir (Kacar, 2005). Potasyum eksikliği, karbonhidrat metabolizmasını bozarak, yaprak ve gövdelerin dış hücrelerinde selüloz ve lignin miktarının yanı sıra kütikula tabakasının kalınlığında azalmaya neden olur. Bu azalma, bitkilerin gövde ve saplarının zayıf yapıda olmasına ve hastalıklar ile zararlılara karşı dirençlerinin azalmasına yol açar (Marschner, 1986). Bir araştırmada potasyum uygulamasının fungal hastalıkları %70, bakteriyel hastalıkları %69, böcek zararlarını %63 ve viral hastalıkları %41 oranında azaltabileceği bulunmuştur (Perrenoud, 1990). Potasyumun bitki sağlığını olumlu yönde etkileyerek bitkilerin genel büyüme potansiyelini artırdığı belirlenmiştir.

Araştırmalar, potasyumun çeşitli bitki türlerinde hastalıklara karşı dayanıklılığı artırarak hastalıkların sıklığını azalttığını göstermektedir. Örneğin, pirinç bitkisinde bakteriyel yaprak yanıklığı ve sap çürüklüğüne, buğdayda kara pasa, pamuk bitkisinde köşeli yaprak lekesine, çay bitkisinde kırmızı pasa ve yem börülcesinde fide çürüklüğüne karşı potasyumun etkili olduğu belirlenmiştir (Tandon ve Sekhon, 1989). Ayrıca, potasyumun bitkilerin soğuğa karşı direncini artırdığı bilinmektedir (Kacar, 2005). Soğuk hava koşullarında, bitkiler K^+ iyonlarını kaybeder ve donma hasarından sonra dokuların iyileşebilmesi için bu iyonların (özellikle K^+) hücrelere geri taşınması

gerektiği bulunmuştur (Iswari ve Palta, 1989). Potasyumun bitkisel hastalıklara karşı koruyucu etkisi ve soğuğa dayanıklılığı artırma özelliği, tarımsal üretimde önemli bir konudur. Bu etkiler bitkilerin sağlıklı büyümesini ve verimliliğini artırarak tarımsal riskleri azaltabilir. Potasyumun bu faydaları, tarımda hastalık yönetimi ve stres toleransı açısından kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Bu nedenle potasyum düzeylerinin optimize edilmesi, bitki sağlığını ve verimliliğini korumak için önemli bir strateji olarak değerlendirilebilir.

2.4.3. Lipidler üzerine etkisi

Bitki hücrelerinde lipidler, enerji sağlama görevlerinin yanı sıra, hücresel membranların temel yapı taşlarını oluştururlar (Singh vd., 2002). Çevresel stres faktörlerine karşı toleransın artırılmasında da kritik bir rol oynarlar. Örneğin, kuraklık stresi altında iki tabakalı fosfolipid yapısının karbohidratlar, özellikle trehaloz ile stabilizasyonu kuraklığa karşı dayanıklılığı artırır. Yağ asitlerinin doymamış bir duruma gelmesi, tuz ve kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde koruma sağlamaktadır. Olefinik bağlara yakın haldeki hidrojen atomları, oksidatif tehlikelere karşı yüksek hassasiyet gösterir. Lipidler, bu bağlardan zengin oldukları için oksidatif reaksiyonların birincil hedefidir. Eğer ilgili enzimler bu reaksiyonları kontrol edemezse, lipid oksidasyonu sonucunda oluşan ürünler protein ve DNA moleküllerinde yapısal hasara yol açabilir (Singh vd., 2002). Lipidlerin bitki hücrelerindeki çeşitli işlevleri ve çevresel streslere karşı geliştirdikleri tolerans mekanizmaları, bitkilerin adaptasyon sürecini anlamak açısından önemlidir. Bu mekanizmaların anlaşılması, tarımda stres koşullarına dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesine yönelik stratejilerin oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Araştırmaya göre, *Arachis hypogea* bitkisine uygulanan tuz konsantrasyonları, 45 mM'a kadar artış gösterdiğinde lipid miktarını artırırken, bu seviyenin üstündeki konsantrasyonlarda lipid miktarında azalma meydana gelmektedir. Wu ve ekibinin (1998) yaptığı bir çalışmada, *Spartina patens* bitkisinin kök hücre membranlarında tuz stresine bağlı olarak lipid kompozisyonunda değişiklikler tespit edilmiştir. Bu çalışmada, yüksek tuz konsantrasyonlarının sterol ve fosfolipid miktarını düşürdüğü ancak sterol/fosfolipid oranında bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Bir diğer araştırmada, 100 mM'lık tuz stresine dayanıklı domates bitkisinin kalluslarından izole edilen membran veziküllerinde, kontrol grubuna göre fosfolipid ve sterol miktarlarının arttığı rapor edilmiştir. Ancak, bu çalışmada fosfolipid/serbest sterol oranının ve

fosfolipidlerdeki yağ asitlerinin çift bağ indeksinin azaldığı da tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tuz stresinin hücrel membranların lipid kompozisyonunu ve dolayısıyla seçici geçirgenlik özelliklerini belirli ölçülerde değiştirdiği gözlemlenmektedir. Tuz stresinin bitki hücrel membranlarının lipid bileşimini nasıl etkilediğinin ve bu etkilerin bitki adaptasyonu üzerindeki rolünün araştırılması önem taşımaktadır. Tuz stresine toleranslı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve tarımsal uygulamalarda kullanılabilmesi için bu tür araştırmaların bulguları değerlidir.

2.4.4. Fotosentez üzerindeki tuz stresi etkisi

Fotosentez, bitki gelişimi için kritik bir süreçtir ve biyokütle üretimiyle yakından ilişkilidir. Fotosentez hızı, büyümenin belirleyici bir göstergesidir (Parida ve Das, 2005). Dolayısıyla büyümeyi etkileyen herhangi bir çevresel faktör, fotosentezi olumsuz etkileyebilir. Fotosentez genellikle iki aşamada gerçekleşir: Fotosentezin ilk aşaması, kloroplastların tilakoid membranlarında gerçekleşen elektron taşıma sürecidir. Işık enerjisi, FS II, sitokrom b6f kompleksi, FS I ve ATPaz kompleksi gibi kompleksler aracılığıyla kimyasal enerjiye dönüştürülür. İkinci aşama ise kloroplastların stromasında gerçekleşen CO₂ fiksasyon aşamasıdır ve bu aşama heksoz şekerlerin sentezini sağlar. Çevresel stres faktörleri, fotosentetik pigment miktarında, bu pigmentlerin ışık enerjisini absorbe etme sürecindeki primer fotokimyasal olaylarda, tilakoid membranların ve üzerindeki birimlerin yapısal düzenlenmesinde, elektron taşınımında ve CO₂ fiksasyon reaksiyonlarının hızında meydana gelen değişiklikler aracılığıyla algılanır (Biswal vd., 2011). Fotosentez, bitki yaşamının kritik bir parçasıdır ve bitkilerin büyüme ve gelişmesini sağlayan önemli bir mekanizmadır. Çevresel stres faktörlerinin fotosentez üzerindeki etkilerinin anlaşılması, bitkilerin stres koşullarına adapte olma yeteneklerini artırmak için stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Tuzluluğun artması fotosentezde azalmaya, stomaların kapanmasına, protein konsantrasyonunun düşmesine fotosentetik pigment miktarının azalmasına ve iyon konsantrasyonlarında değişimler ortaya çıkmasına neden olabilir (Khan ve Ungar, 1997). Tuz stresi ozmotik basınçta artma başladıktan sonra bitki hücrelerinin topraktan su alım yeteneklerinde azalma ortaya çıkabilir. Bu durumda bitkiler transpirasyon yoluyla su kaybını önlemek için stomalarını kapatır. Stomaların kapanma durumu transpirasyona engel oluşturur ve stoma iletkenliğinde azalmaya neden olur (Munns ve Tester, 2008). Stomadaki iletkenlik düzeyinin azalmasıyla kloroplastlara dâhil olan

CO₂ miktarı sınırlanır ve asimilasyon hızı azalır (Degl'Innocenti vd., 2009). Azalmanın nedeni yapraklarda biriken sodyum ve klor iyonlarının oluşturduğu toksisitedir (Munns ve Termaat, 1986). Tuz stresinin fotosentez üzerindeki etkileri, bitki metabolizması ve fizyolojisi açısından önemlidir. Stomaların kapanmasıyla su kaybının azaltılması, bitkilerin tuz stresine karşı adaptasyon mekanizmalarından biridir. Ancak stomaların kapanması fotosentez hızını da olumsuz yönde etkileyerek bitkinin büyüme ve verimliliğini azaltabilir. Bu nedenle tuz stresine toleranslı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, tarımsal üretimde tuzlu topraklarda yetiştiriciliği mümkün kılacak önemli bir hedeftir.

Tuz stresinin bitkilerde net CO₂ fiksasyonunu azaltmasının çeşitli sebepleri vardır. Bunlar arasında suyun yetersiz olması, stomaların kapanması, apoplastik tuz birikimi, mezofil hücrelerinin turgor kaybı ve tuz iyonlarının doğrudan toksik etkisi yer alır (Karanlık, 2001; Yaşar, 2003). Kurban ve ekibi (1999), tuz stresine maruz kalan bitkilerde stomaların iletkenlik derecesinin ve yaprak dokularındaki CO₂ konsantrasyonunun kontrol bitkilerine kıyasla daha düşük olduğunu keşfetmişlerdir. Benzer şekilde dut bitkisinde tuz stresi koşullarında net CO₂ asimilasyon hızının, stoma iletkenlik derecesi ve transpirasyon hızının azaldığı gözlemlenmiştir (Agastian vd., 2000). Bu durum tuz stresinin bitkilerde fotosentez performansını önemli ölçüde etkilediğini ve bu etkilerin stomaların fizyolojik fonksiyonları ve gaz değişimi üzerindeki etkileriyle bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Tuz stresindeki en açık etki, kloroplastlarda gözlemlenir (Koyro, 2002). Kloroplast tilakoidlerinde ve stromada şişme, tuz stresinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. NaCl'nin varlığı, hidroksil radikali (OH⁻) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi AOT'lerin birikimine neden olarak oksidatif stres oluşumunu tetikler. Bu durum, tilakoidlerin şişmesine ve yapılarının bozulmasına yol açar (Miyake vd., 2006). Araştırmalar, tuz stresine maruz kalan patates bitkisinin mezofil hücrelerinde, tilakoid membranlarının şiştiğini ve yüksek tuz konsantrasyonlarının tilakoidlerin tamamen parçalanmasına neden olduğunu ortaya koymaktadır (Mitsuya vd., 2000). Tuz stresinin bitki hücrelerindeki etkisinin özellikle kloroplastlarda belirgin olması, tuz stresinin kloroplastların yapısını ve fonksiyonunu daha iyi anlamamıza olanak tanımaktadır.

Tuz stresi hücresel membranların yapısının bozulmasına, domates bitkisinde kloroplastların toplanmasına ve grana ile tilakoidlerin kaybolmasına yol açabilir (Khavarinejad ve Mostofi, 1998). Sodyum klorürün bulunması, çeltik bitkilerinde

tilakoidlerin şişmesine, lipid damlacıkları ve polisakkarit tanelerinin birikmesine ve granalarda yapısal bozulmalara neden olur. Bu durumların sebepleri arasında, artan tuz stresi konsantrasyonu ile birlikte kloroplastlardaki nişasta parçalayan enzimlerin zarar görmesi ve tuzluluğu tolere edebilmek için gereken metabolik enerji ihtiyacının lipid damlacıkları biriktirilerek karşılanması sayılabilir (Rahman vd., 2000).

Yüksek tuz konsantrasyonları, bitkilerin klorofil miktarını olumsuz yönde etkileyebilir (Ashraf ve Harris, 2004). Klorofil içeriğindeki azalma, tuzun membran kararlılığına zarar vermesinden veya klorofilin parçalanması ve sentez hızının azalmasından kaynaklanabilir (Ashraf ve Bhatti, 2000; Santos, 2004). Chutipaijit ve ekibi (2011), tuz stresinin bitkilerdeki klorofil miktarındaki değişikliklerin, hücre metabolizma süreçleri için önemli bir gösterge olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Çiçek ve Çakırlar (2002) mısırdaki, Gadallah (1999) ise bakla bitkisinde, tuz stresinin yapraklardaki klorofil içeriğinde azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir. Yüksek tuz konsantrasyonlarının bitkilerin klorofil miktarını ve dolayısıyla fotosentetik etkinliklerini olumsuz yönde etkilediği, bu durumun bitkilerin genel sağlığı ve verimliliği üzerinde önemli sonuçlar doğurabileceği değerlendirilmektedir.

Bir çalışmada, biber bitkilerine tuz stresi uygulandığında, ek olarak verilen potasyum nitratın (KNO_3) yaprak ve köklerde potasyum ve klorofil miktarını artırdığı ve stres faktörlerinin negatif etkilerini azalttığı saptanmıştır (Kaya ve Higgs, 2003). Ashrafuzzaman ve arkadaşları (2000), tuz stresinin bitki pigment içeriğini azalttığını bildirmişlerdir. Yeo ve Flowers (1983), tuzlu ortamlarda potasyum uygulamasının genç bitki yapraklarında klorofil miktarını artırdığını ve bu artışın pigment sentezi hızının artmasından veya potasyumun klorofil içeriğindeki azalmayı yavaşlatmasından kaynaklanabileceğini vurgulamışlardır. Bu durum bitkilerin tuz stresine karşı mücadelelerinde potasyum nitrat gibi potasyum içeren bileşiklerin potansiyel faydalarını vurgulamakta ve potasyum nitratın bitkilerde tuz stresine karşı koruyucu bir rol oynayarak bitki sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir.

2.4.5. Tuz bitkisinin polioller üzerine etkisi

Bitkilerin ozmotik dengesini sağlayan bileşikler poliollerdir. Bu nedenle poliollerin bitkilerin ozmoregülasyon mekanizması ve tuz toleransı üzerinde etkili oldukları düşünülmektedir (Bohnert ve Shen, 1999). Polioller kimyasal açıdan polihidrik alkoller olarak bilinir. Bitki aleminde yaygın olarak bulunan polioller, çeşitli sıklık ve asıklık yapıdaki birçok bileşiği içerir (Clark vd., 2003). Mannitol, gliserol ve

sorbitol gibi asiklik polioller bitki dokularında en yaygın bulunanlardır, siklik polioller arasında ise ononitol ve pinitol en yaygın olanlarıdır. Genellikle, halofit bitkilerde polioller, sitoplazma ve vakuollerde birikerek inorganik iyonların neden olduğu ozmotik bozuklukları dengelemeye yardımcı olurlar (Nelson vd., 1999). Poliollerin tuz toleransı üzerindeki etkisi, bitki fizyolojisi ve stres tepkilerini anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bileşiklerin ozmotik dengeyi sağlama yetenekleri, bitkilerin tuz stresine adaptasyonunu ve hayatta kalma şansını artırabilir. Bu nedenle poliollerin bitkisel biyoteknoloji ve tarım uygulamalarında önemli bir rolü olabileceği düşünülmektedir.

Poliollerin ozmotik regülasyon özelliklerinin yanı sıra, etkili oksijen radikali temizleyicileri oldukları da bilinmektedir. Örneğin, mannitol'ün in vitro koşullarda reaktif oksijen türlerini (AOT'ler) detoksifiye ettiği ve kuraklık stresi altındaki bitkilerde proteinleri oksidatif hasara karşı koruduğu belirlenmiştir (Halliwell vd., 1988; Moran vd., 1994). Smirnov ve Cumbes'in (1989) araştırması, mannitol, sorbitol, gliserol, ononitol ve pinitol'ün etkili antioksidanlar olduğunu ortaya koymuştur. Ek olarak, birçok bitki türünde, kuraklık ve tuz stresine karşı poliollerin biriktiği gözlemlenmiştir (Abebe vd., 2003). Poliollerin ozmotik regülasyon özellikleri yanında oksijen radikalleriyle etkili bir şekilde mücadele etme yetenekleri, bitkilerin çeşitli stres koşullarına adaptasyonunda önemli bir rol oynamaktadır.

Polioller, özellikle mannitol, bitkilerin yüksek tuz konsantrasyonlarına karşı toleranslarını artırabilir. Örneğin, mannitol sentezleme yeteneği olmayan normal tütün bitkisine bakteriyel mannitol-1-fosfat dehidrogenaz (mtID) geni eklenerek elde edilen transgenik bitkiler, mannitol birikimi yaparak tuz toleransını artırmıştır (Tarczynski vd., 1992). Benzer şekilde, buğday bitkilerine aynı gen eklenerek yapılan çalışmalarda, transgenik bitkilerin yapraklarında mannitol birikimi sağlanmış ve bu bitkilerin kuraklık ve tuz stresi altında daha yüksek büyüme hızına sahip oldukları gözlemlenmiştir (Abebe vd., 2003). Bu bağlamda bitki dokularındaki mannitol birikiminin tuz toleransı ile ilişkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Pinitol ve diğer bazı O-metil inositoller, birçok baklagil türünde bulunmaktadır. D-pinitolün AOT'lerin detoksifikasyonunda rol aldığı saptanmıştır ve ayrıca vakuol ve sitoplazma arasındaki ozmotik düzenlemeye katkı sağlar (Quemener ve Brillouet, 1983). Honkenya peploides ve Sesbania aculeata bitkilerinde, tuz stresine maruz kaldıklarında pinitol

birikimi gözlemlenmiştir. Ancak, bu bitki türlerinde yapraklardaki inositol miktarının tuz stresinden etkilenmediği tespit edilmiştir (Gorham vd., 1984).

Araştırmalar, pinitolün sadece AOT'lerin detoksifikasyonunda değil, aynı zamanda ozmotik düzenlemede de kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte yonca bitkilerinde de ononitol ve pinitol birikimi olduğu belirlenmiş, bu da bu bileşiklerin bitkilerin tuz toleransını artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Fougere vd., 1991). Mannitol ve pinitol gibi poliollerin, bitkilerin tuz stresine karşı toleransını artırma yetenekleri, bitkisel biyoteknoloji ve tarım uygulamalarında önemli bir rol oynayabilir. Bu bileşiklerin bitkilerin tuz toleransını artırma amacıyla nasıl kullanılabileceği konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Poliollerin tuz stresi altındaki bitkilerdeki etkileri konusunda literatürde bazı bilgi eksiklikleri bulunmasına rağmen, son yıllarda poliollerin birikiminin biyokimyasal ve genetik temelleri konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Örneğin, halofit bitki türlerinden biri olan *Mesembryanthemum crystallinum*'da, tuz stresi altında miyoinositol-o-metil transferaz enzimini kodlayan genin ekspresyonunda bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca tuz stresinin floemdeki miyoinositol ve Na^+ ile inositolün yapraklar arasındaki taşınımını artırdığı ve Na^+ alımı ile miyoinositolün bitki içindeki dağılımındaki değişimler arasında bir etkileşim olduğu tespit edilmiştir (Nelson ve arkadaşları, 1999). Bu bulgular üzerinden miyoinositolün ozmotik etkinlik gösteren bileşiklerin sentezinde bir substrat olarak kullanılmasının yanı sıra, Na^+ alımını sağlayarak yapraklardan köklere sinyal gönderen bir rol oynadığını göstermektedir. Sheveleva ve diğerleri (1997) tarafından yapılan bir çalışmada, miyoinositol-o-metil transferaz enzimi bakımından genetik olarak değiştirilmiş bitkilerin, kuraklık veya tuz stresine maruz kaldıklarında yüksek miktarda D-ononitol biriktirdikleri rapor edilmiştir. Poliollerin birikimi, genetik olarak değiştirilmiş bitkilerde bir tolerans stratejisi olarak kullanılmaktadır. Poliollerin birikimi ile tuz toleransı arasındaki ilişkinin daha açık bir şekilde belirlenmesi durumunda, bu bileşiklerin tuz toleransının artırılmasında geleneksel ıslah programlarında kullanılabileceği öngörülmektedir.

2.5. Bitkilerde Oksidatif Stres

Bitkiler, tıpkı aerobik organizmalar gibi, verimli enerji üretimi için oksijene ihtiyaç duyarlar. Fotosentez sürecinde oksijen, suyun parçalanması sonucu serbest bırakılır.

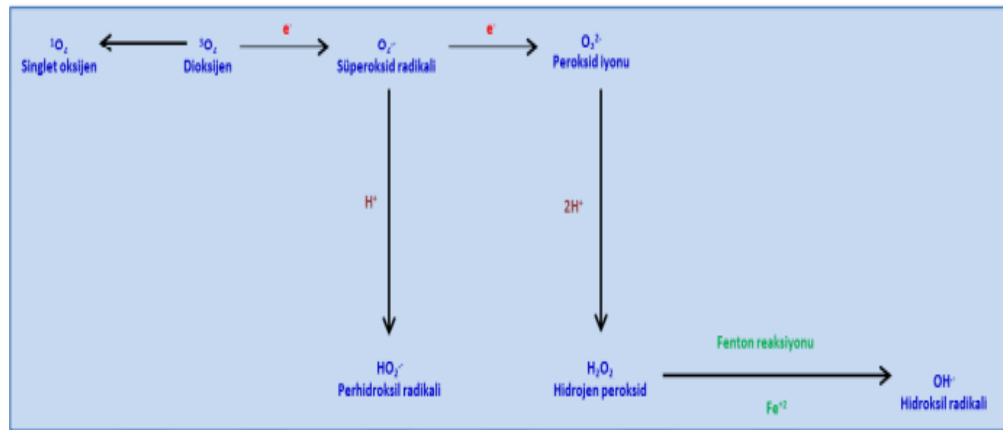
Ancak, oksijenin varlığı hücrel yapıları ve reaksiyonları sürekli olarak oksidatif bir tehlike altında tutar (Alscher vd., 1997). Bu durum, oksijenin serbest radikal olarak taşıdığı eşlenmemiş iki elektronla diğer moleküllerle kolayca elektron alışverişi yaparak indirgenmesi ve Aktif Oksijen Türleri (AOT'ler) oluşturmasıyla ilişkilidir. Bitki hücrelerinde oksijenin suya tam olarak indirgenmesi, gerekli enerjinin açığa çıkmasını sağlar; ancak tam indirgenememesi durumunda, DNA, proteinler ve lipidler gibi birçok makromoleküle zarar verebilecek oldukça reaktif AOT'ler oluşur (Dat vd., 2000). Bu çerçevede, bitkilerin oksijene bağımlılığı ve oksijenin reaktif doğası, bitki hücrelerindeki önemli fizyolojik süreçler üzerinde ciddi etkiler yaratır. Oksidatif stresin kontrol altında tutulması, bitki yetiştiriciliği ve tarımsal üretim açısından önemli bir hedef olmaya devam etmektedir.

Normal şartlarda bitki hücrelerinde Aktif Oksijen Türleri (AOT'ler), metabolizmanın yan ürünleri olarak düşük düzeylerde üretilir ve çeşitli antioksidan savunma mekanizmaları tarafından temizlenir (Foyer ve Noctor, 2005). Ancak tuzluluk, UV radyasyonu, kuraklık, ağır metaller, aşırı sıcaklık, besin eksikliği, hava kirliliği, herbisitler ve patojen saldırıları gibi biyotik ve abiyotik stres faktörleri, AOT'lerin üretimini artırabilir ve detoksifikasyon mekanizmalarını zorlayabilir (Gill ve Tuteja, 2010). Bu durumda, antioksidan enzimlerin aktivitesi azalabilir ve AOT'lerin artan üretimi, hücrel yapıların zarar görmesine yol açabilir (Breusegem vd., 2001). Bu bağlamda, bitkilerin çeşitli stres faktörlerine uyum mekanizmaları, AOT'lerin kontrolü ve detoksifikasyonu üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir.

Gelişmiş bitkilerde fotosentez genellikle kloroplastlarda gerçekleşir. Ancak, bitkiler tuz ve kuraklık gibi stres koşullarında su kaybını azaltmak için stomalarını kapatır. Stomaların kapanması, CO₂ fiksasyonunun azalmasına yol açar. Stres koşulları altında, mitokondri ve kloroplastlardaki solunum ve fotosentez sırasında gerçekleşen elektron taşıma reaksiyonları sonucunda, elektronlar hedef molekülden ziyade moleküler O₂'ye aktarılır. Bu durum süperoksit radikali (O₂⁻), hidrojen peroksit (H₂O₂), singlet oksijen (1O₂), perhidroksi radikali (HO₂⁻) ve hidroksil radikali(OH⁻) gibi toksik etkili AOT'lerin oluşmasına neden olur (Asada, 1994; Foyer vd., 1994; Makela vd., 1999). Stres koşullarının olmadığı biyolojik ortamlarda moleküler oksijen (O₂), su (H₂O) oluşumuna kadar indirgenir. Bitkilerin hücrel düzeyde stresle başa çıkma mekanizmaları oldukça karmaşıktır ve AOT'lerin etkilerini nötralize etmek için çeşitli antioksidan savunma mekanizmaları devreye girer. Stres koşulları altında,

moleküler oksijen bir elektron alarak süperoksit radikaline dönüşür. Bu radikal, dış yörüngesinde paylaşılmamış bir elektron barındırır, bu da onu kararsız hale getirir ve hücre içinde hareket etme kabiliyetine sahip olmadığından bulunduğu yerde hasara neden olabilir. Doğal olarak veya süperoksit dismutaz enzimi aracılığıyla H_2O_2 'ye dönüştürülür (Blokina ve Fagerstedt, 2010). Parvaiz vd. (2010), süperoksit radikalini önemli bir bileşik olarak tanımlamıştır çünkü hem H_2O_2 'nin kaynağıdır hem de geçiş metallerini indirgeme özelliğine sahiptir. H_2O_2 ise dış yörüngesinde ek bir elektron bulundurmaz, bu yüzden kararlı bir moleküldür. Membranları difüzyon yoluyla geçerek hücrel yapılar üzerinde ciddi zararlara neden olabilir (Blokina ve Fagerstedt, 2010). Bu nedenle bitkilerin stres koşullarına uyum sağlaması için süperoksit radikali ve hidrojen peroksitin kontrol altına alınması kritiktir.

H_2O_2 , yüksek konsantrasyonlarda hücre içinde oksidatif hasara yol açarak programlanmış hücre ölümüne neden olabilir; ancak düşük konsantrasyonlarda sinyal molekülü görevi görebilir (Grant ve Loake, 2000). Oksidatif özelliğinden dolayı, H_2O_2 aktif metal iyonları olan demir ve bakırın bulunduğu ortamda süperoksit radikali ile birleşerek, Fenton veya Haber-Weiss reaksiyonları yoluyla hücreler açısından en reaktif formlardan hidroksil radikalinin oluşmasına neden olur (Halliwell, 1984). Bu durum hücre zarlarında lipid peroksidasyonunu tetikleyerek biyolojik verilerde hasara yol açabilir; dolayısıyla, H_2O_2 'nin ortamdaki uzaklaştırılması hayati öneme sahiptir (Halliwell, 1984). Bu mekanizmalar, bitkilerin stres altında nasıl etkili bir şekilde tepki verdiğini anlamak için kritik öneme sahiptir.



Şekil 2.3. Enerji transferi mekanizması ile farklı AOT'lerin oluşumu

2.5.1. Bitki hücrelerinde AOT' lerin oluştuğu bölgeler

Aktif oksijen türlerinin hücresel yapılara zarar vermesi genellikle "oksidatif stres" olarak adlandırılır. Kloroplast ve mitokondri gibi hücresel organellerdeki redoks reaksiyonları sırasında, bazı stres faktörleri elektronların asıl alıcı molekül yerine moleküler oksijene aktarılmasına neden olarak AOT'lerin oluşumuna yol açar. Kuraklık, ağır metaller, aşırı sıcaklıklar, mekanik yaralanma, ultraviyole ışık, yüksek ışık yoğunluğunun neden olduğu fotoinhibisyon, patojen enfeksiyonları ve hava kirliliği gibi stres faktörlerinin de AOT oluşumuna ve dolayısıyla oksidatif strese sebep olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, oksidatif stres genellikle bitkilerde biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin etkisiyle ortaya çıkan ikincil bir stres olarak nitelendirilebilir. Bu bilgi bitkilerin çevresel streslere tepki verme mekanizmalarını anlamak için önemlidir.

2.5.1.1. Kloroplastlar

Bitkilerde fotosentez kloroplastlarda bulunan ve optimum ışık absorpsiyonunu sağlayan oldukça organize bir yapı olan tilakoid membran sistemine sahiptir (Pfannschmidt, 2003). Fotosentetik elektron taşıma reaksiyonları sırasında suyun parçalanmasıyla (fotoliz veya Hill reaksiyonu) O_2 açığa çıkarılır. Bu süreç, kompleks organizmaların metabolik aktiviteleri için gereken enerjinin üretimini destekler. Stres faktörlerinden bazıları bu indirgenme sürecinin gerçekleşmesine engel oluşturabilir. Hızla artan üretim, dokular içerisinde biriken fazla oksijen türevlerine (AOT'ler) neden olabilir ve biyolojik moleküllerden çoğunu okside edebilir. Örnek olarak, bitkilerde tuz stresi altında stomaların kapanması, CO_2 alımını ve CO_2 fiksasyon reaksiyonlarının hızını düşürebilir. Ayrıca NADPH molekülünün tüketim hızını azaltır ve dolayısıyla fotosentetik elektron taşıma reaksiyonlarında son elektron alıcısı olan $NADP^+$ molekülünün yenilenme hızını olumsuz yönde etkiler. Bu fizyolojik etkiler bitkilerin çevresel streslere uyum sağlama mekanizmalarının önemli bir parçasını oluşturur.

Bu süreçte fotosentetik elektron taşıma reaksiyonları hızlı bir biçimde devam ederken, elektronlar yeterince $NADP^+$ molekülü bulunmadığında alternatif alıcılara, örneğin O_2 'ye aktarılır ve böylece $O_2\cdot^-$ radikali oluşur. Bu tepki, "Mehler reaksiyonu" olarak bilinir (Tausz ve diğerleri, 2004). Oksijen radikali, bitki dokularında ilk olarak oluşan bir tür olan AOT'dir ve yaklaşık 2-4 μs süren bir yarı ömre sahiptir. Oksijen radikali, kloroplastların tilakoid membranlarına bağlı olan fotosistem I (FS I) tarafından sentezlenir. Bununla birlikte, bazı çalışmalar, fotosistem II'nin (FS II) yapısında

bulunan kinon A (QA) ve kinon B (QB) adlı elektron taşıyıcı moleküllerin de benzer bir mekanizmayla oksijen radikalini oluşturabileceğini ortaya koymuştur (Takahashi ve diğerleri, 1988). Bu bulgular bitki dokularında oksijen radikali üretiminin çoklu kaynaklardan kaynaklandığını göstermektedir.

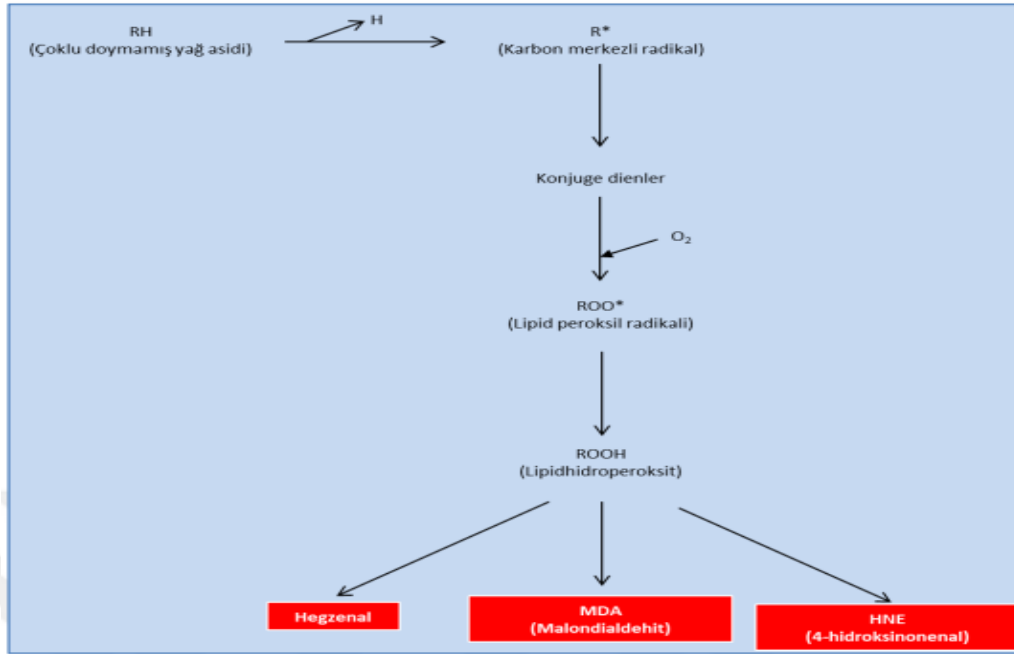
Tuz stresinin çeşitli bitki türlerinde gözlemlendiği ve bu stresin $O_2\cdot$ -radikalinin birikim hızını artırdığı daha önceki çalışmalarda vurgulanmıştır (Ahmad ve Umar, 2011). $O_2\cdot$ -radikali, tilakoid membranların stromaya bakan yüzeyindeki bir dismutasyon reaksiyonu ile enzimatik olarak H_2O_2 'ye dönüştürülür (Takahashi vd., 1988). H_2O_2 'nin doku içindeki yarı ömrü yaklaşık olarak 1 milisaniye olarak ifade edilmiştir. H_2O_2 'nin birikimi, bitki dokularında oksidatif stres oluşturur; özellikle enzimleri ve bazı bileşiklerin tiol gruplarını okside ederek bunları etkisiz hale getirir. Yapılan araştırmalar, H_2O_2 'nin bitki metabolizması üzerinde çift yönlü bir etki mekanizmasına sahip olduğunu göstermektedir. Düşük konsantrasyonlarda, çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerine tolerans gelişiminde bir sinyal molekülü olarak rol oynarken, yüksek konsantrasyonlarda programlanmış hücre ölümlerine neden olabilir (Quan vd., 2008). H_2O_2 ayrıca bitkilerde büyüme, gelişme, senesans, fotosentez, fotorespirasyon, stoma hareketleri ve hücre döngüsü gibi birçok süreçte düzenleyici bir rol oynar (Mittler vd., 2004; Peng vd., 2005; Noctor & Foyer, 1998; Bright vd., 2006; Foreman vd., 2003). $1O_2$ (tekli uyarılmış oksijen, singlet oksijen), elektron almayı gerektirmeyen ve tekli uyarılmış durumda olan bir AOT çeşididir ve bu özelliğiyle olağandışı kabul edilir. Bu bağlamda, bitkilerdeki tuz toleransı üzerindeki fizyolojik etkileri daha kapsamlı bir şekilde anlamak için H_2O_2 ve $1O_2$ 'nin rolü önemlidir.

Enerji, fotosentetik elektron taşıma reaksiyonlarında kullanılamayan ancak emilmiş olan enerji, kloroplastlarda triplet (üçlü uyarılmış) klorofil ve $3O_2$ üretimine sebep olur. Bu tepkime, son derece reaktif bir aktif oksijen türü olan $1O_2$ 'nin oluşumuna yol açar. $1O_2$, FS I ve FS II aktivitelerini ciddi biçimde bastırır. Bitki dokularında 3 μ s süren ve önemli mesafeleri difüzyonla aşabilen $1O_2$ 'nin varlığı, bitkide FS I ve FS II aktivitelerini inhibe ederek olumsuz etkilere neden olur (Hatz vd., 2007). $OH\cdot$ -radikali, hücrelerde en reaktif aktif oksijen türüdür. $O_2\cdot$ -radikali ve H_2O_2 'nin varlığında, Fenton reaksiyonu yoluyla üretilir. $OH\cdot$ -radikalleri, hücre membranlarındaki lipid peroksidasyonu, DNA, protein ve diğer hücresel bileşenlerin hasarı açısından son derece etkilidir. Tuz stresi koşullarında, $OH\cdot$ -radikallerinin bitki

hücrelerinde önemli bir rol oynayarak hücre ölümüne yol açtığı bildirilmiştir (Vranova, 2002a). Hücrelerde OH.- radikalini detoksifiye edecek herhangi bir enzim bulunmadığı için, bu radikalın aşırı birikimi hücre ölümüne neden olabilir (Vranova et al., 2002b). Kloroplastlar, bitkisel organizmalarda O₂.- radikali, H₂O₂ ve 1O₂ gibi toksik aktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olan en önemli hücresel organel olarak kabul edilir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde, hücre içinde toksik aktif oksijen türlerinin birikmesi, fotosentez aktivitesinde azalmaya ve hücre hasara yol açabilir.

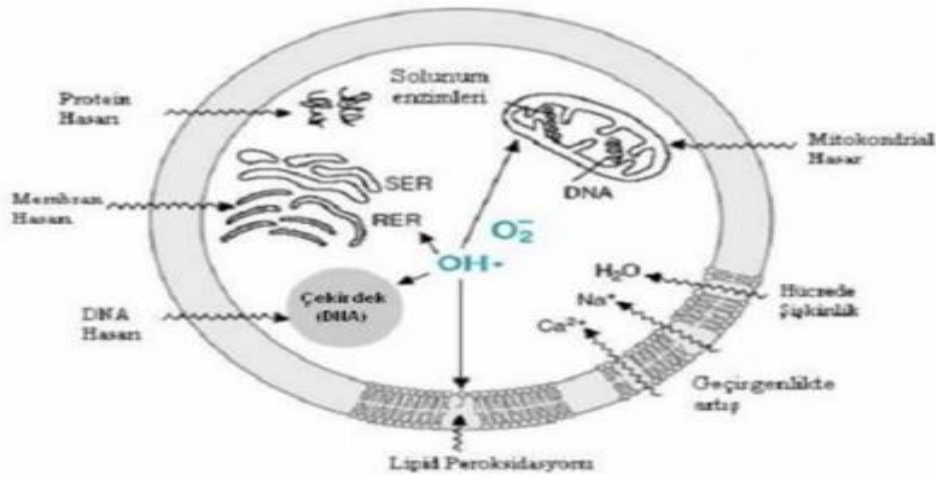
2.5.1.2. Mitokondriler

Mitokondri, enerji kaynağı olarak bilinir ve stres koşullarında aktif oksijen türlerinin (AOT'lerin) üretildiği bir yer olarak önem kazanır (Rasmusson vd., 2004). Mitokondriyal elektron taşıma zincirindeki bileşenlerden biri olan kompleks I ve kompleks III, O₂.- radikali üretimine katkıda bulunurlar. O₂.- radikali daha sonra ya kendiliğinden ya da süperoksit dismutaz enzimi aracılığıyla H₂O₂'ye indirgenir (Blokina ve Fagerstedt, 2010). H₂O₂, indirgenmiş demir veya bakır iyonları ile reaksiyona girerek (Fenton veya Haber-Weiss reaksiyonu) hücreler için toksik etkiye sahip olan OH.- radikalini oluşturur (Rhoads vd., 2006). OH.- radikali, diğer AOT'lerden daha reaktif olduğundan DNA; proteinler, karbohidratlar ve lipitlerle etkileşim sağlayarak oksidatif hasarlara yol açar (Blokina ve Fagerstedt, 2010). Amino asitler AOT'lere karşı hassasiyet farklı hassasiyet seviyelerindedir; ancak sistein, metiyonin, sistin, triptofan, histidin ve tirozin gibi belirli amino asitler, AOT'ler üzerinde daha hassas tepkiler gösterebilirler. AOT'ler, proteinler üzerinde çeşitli yapısal bozulmalara yol açabilirler (Arıcıoğlu, 1994). AOT'ler ayrıca DNA'da kromozomal değişikliklere ve mutasyonlara sebep olabilir (Arıcıoğlu, 1994; Comporti, 1993; Kaneko, 1980). AOT'lerin en belirgin etkisi, lipit peroksidasyonu olarak bilinen ve hücre zarlarında önemli zararlara yol açan bir süreçtir (Koyro, 2006). Lipit peroksidasyonu, zarlar üzerindeki doymamış yağ asidi zincirlerinden bir hidrojen atomunun kopmasıyla başlar (Kour ve Perkins, 1991). Lipit radikali, oksijenle tepkimeye girerek lipit peroksil radikali (ROO.-) oluşturur. Lipit peroksil radikali, zincir reaksiyonunu başlatır ve diğer lipitlerle etkileşime girerek lipit hidroperoksitlerini (ROOH) oluşturur (Kour ve Perkins, 1991). Lipit peroksidasyonunun önemli bir yan ürünü malondialdehittir (MDA) (Akkuş, 1995). Bu olay, hücrelerin lipid bileşimini ve yapılarını ciddi şekilde etkileyebilir, bu da hücre fonksiyonlarını olumsuz yönde etkileyebilir.



Şekil 2.4. AOT' lere bağlı olarak oluşan lipit peroksidasyonu ve ürünleri (Kanner ve ark., 1987; Estrerbauer vd., 1991' den değiştirilerek alınmıştır.)

Bitkilerde stres koşullarından ilk etkilenen bölge hücre membranlarıdır ve burada meydana gelen lipit peroksidasyonu sonucunda ortaya çıkan MDA (malondialdehit), stres hasarının bir göstergesi olarak kabul edilir. Çalışmalar stres altındaki *Lycopersicon esculentum*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Brassica nigra* ve çeşitli diğer bitki türlerinde MDA seviyelerinin yükseldiğini ve bu nedenle lipit peroksidasyonunun arttığını göstermektedir (Nouairi vd., 2006; Halliwell ve Gutteridge, 1985). Oluşan MDA, hücre membranlarının iyon alışverişini etkileyerek Ca^{2+} ve Na^{+} geçirgenliğinin artmasına, enzimatik değişimlere ve membran bütünlüğünün bozulmasına neden olur (Montillet vd., 2005). Hücre içindeki Ca^{2+} iyonlarının artışı, protein ve lipitleri parçalayabilen proteaz ve fosfolipaz enzimlerinin aktivasyonuna neden olur (Halliwell ve Gutteridge, 1999). Dolayısıyla, lipit peroksidasyonu, hücre membranlarının yanı sıra diğer hücre bileşenlerine dolaylı olarak zarar veren geri dönüşümsüz bir süreçtir (Onat vd., 2002) (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. AOT'lerin hücresel etkileri (Onat vd., 2002).

2.5.1.3. Peroksizomlar

Peroksizomlar, özellikle oksidasyon reaksiyonlarının ve AOT oluşumunun sıklıkla meydana geldiği organelldir. Mitokondri ve kloroplastlar gibi, peroksizomlar da normal metabolizma sürecinde O_2^- radikali üretirler. Araştırmalar, peroksizomların O_2^- radikali oluşumunu iki farklı bölgelerinde gösterdiğini belirtmektedir (delRio vd., 2002). Bu bölgelerden biri peroksizom matriksi içindedir. Bu bölgede, ksantin oksidaz enzimi aracılığıyla ksantin ve hipoksantin ürik aside dönüştürülür (Corpas vd., 2001). Diğer bir bölge ise peroksizom membranlarıdır ve burada, NAD(P)H molekülüne bağımlı basit bir elektron taşıma sistemi bulunmaktadır. Ayrıca, peroksizomlarda fotorespirasyon olayının reaksiyon basamaklarında ve yağ asitlerinin β -oksidasyonu sırasında da H_2O_2 oluşumu gözlemlenmektedir (del Rio vd., 2002). Peroksizomların işlevleri ve içerdikleri enzimatik aktiviteler, hücresel metabolizmanın kontrolünde kritik roller üstlenmektedir.

2.5.1.4. Diğer AOT kaynakları

Bitki hücrelerinde, AOT'ler hem plazma zarında hem de apoplastik bölgede üretilebilir. Apoplastik bölgedeki H_2O_2 kaynakları arasında pH'ya bağımlı çeper peroksidazları, germin benzeri oksalat oksidazlar ve amin oksidazlar yer almaktadır (Bolwell ve Wofastek, 1997). Bu enzimler, bitkilerde H_2O_2 üretimine katkıda

bulunurlar ve bitki dokularındaki oksidatif stresin düzenlenmesinde önemli bir rol oynarlar.

2.6. Bitkilerde Antioksidant Sistem

Antioksidant sistem, yaşayan organizmaların içinde bulunur ve AOT'leri temizleyerek oksidatif stresin zararlı etkilerini azaltmak veya önlemekle görevlidir (He vd., 2017; Rahal, 2014). Oksidatif stresin biyokimyasal kökeninde, AOT'lerin aşırı üretimi yatar. Bu üretim ile antioksidant savunma sisteminin performansı arasındaki denge kritik bir öneme sahiptir. Antioksidant sistem, enzimatik ve enzimatik olmayan bileşenlerden oluşur. Enzimatik bileşenler arasında süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz, katalaz ve guaiakol peroksidaz bulunurken; enzimatik olmayan bileşenler arasında askorbik asit, tokoferoller, karotenoidler, glutatyon ve fenolik bileşikler yer almaktadır. Bazı antioksidantlar ve işlevleri Tablo 2.2'de ayrıntılı olarak listelenmiştir. Tüm bitki türlerinin belirli bir antioksidant potansiyeline sahip olduğuna inanılmaktadır. Bitkiler, çeşitli antioksidanlar aracılığıyla oksidatif stresle mücadele etme kabiliyetine sahiptirler. (Hassan, 2017; Kasote vd., 2015).

Tablo 2.1. Bazı antioksidant bileşikler ve temel görevleri

Bileşikler	Görevleri
Süperoksit Dismutaz (SOD)	$O_2^{\bullet-}$ 'i H_2O_2 'ye dönüştürür.
Askorbat Peroksidaz (APOD)	H_2O_2 'yi H_2O 'ya çevirir.
Katalaz (KAT)	H_2O_2 'yi H_2O 'ya çevirir.
Glutatyon Redüktaz (GR)	GPOD ile birlikte H_2O_2 'den $OH^{\bullet-}$ 'in oluşmasını engeller.
Glutatyon Peroksidaz (GPOD)	H_2O_2 'i ve lipid peroksitlerini etkisiz hale getirir.
Askorbik Asit	Direkt olarak $O_2^{\bullet-}$, $OH^{\bullet-}$ ve H_2O_2 'i temizler.
Tokoferoller	Lipid peroksitlerini $O_2^{\bullet-}$ ve $OH^{\bullet-}$ 'i temizler.
Karotenoidler	Peroksi radikalleri ile $O_2^{\bullet-}$ ve $OH^{\bullet-}$ 'i temizler.
Glutatyon	GPOD ile birlikte H_2O_2 'den $OH^{\bullet-}$ 'in oluşmasını engeller.
Fenolik Bileşikler	1O_2 'i temizler.

2.6.1. Enzimatik antioksidanlar

2.6.1.1. Süperoksit dismutaz (SOD)

Süperoksit dismutaz (SOD), içinde metal iyonu bulunan ve aerobik organizmaların tamamında bulunan bir enzimdir. Bu enzim, süperoksit radikalının H_2O_2 ve oksijene dönüşmesini katalizler, böylece oksidatif stresle mücadelede birinci savunma hattını oluşturur. SOD, hem süperoksit radikalının (O_2^-) hem de H_2O_2 'nin hücresele seviyesini etkileyerek AOT'lerin detoksifikasyonunda önemli bir rol oynar ve süperoksit radikali ile ilişkili toksisiteyi önler. Ayrıca, Haber-Weiss reaksiyonu yoluyla oluşan OH^- üretimini sıkı bir şekilde düzenler. Bitkilerde SOD, bakır-çinko süperoksit dismutaz (Cu/ZnSOD), mangan süperoksit dismutaz (Mn-SOD) ve demir süperoksit dismutaz (FeSOD) olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu gruplar, oksidatif stresle farklı hücresele ortamlarda ve koşullarda mücadelede farklı önemlere sahiptir. Fe-SOD ve Mn-SOD, yapısı açısından birbirleriyle benzerdir. Ancak Cu/Zn-SOD, iki metal iyonunu içerdiğinden, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir ve yapısal seviyede farklılıklara neden olur.

2.6.1.2. Askorbat peroksidaz (APOD)

Askorbat peroksidaz (APOD), hidrojen peroksiti (H_2O_2) su ve oksijene dönüştüren bir enzimdir ve bunu askorbat asit (AsA) tarafından sağlanan elektronlarla gerçekleştirir. Bu reaksiyon sırasında, askorbat asit monodehidroaskorbat aside (MDHA) dönüşür (Sharma vd., 2012). Dolayısıyla, APOD'un aktivitesi öncelikle askorbat asidin mevcudiyetine bağlıdır (Foyer ve Noctor, 2003). APOD, birçok farklı organizmada bulunan bir enzimdir, bitkiler de dahil olmak üzere (Mittler vd., 2004). Katalazdan farklı olarak, APOD yüksek bir affiniteye sahip olduğundan, düşük H_2O_2 seviyelerinde bile etkili olabilir. Bu özelliği sayesinde, APOD hücresele zararın önlenmesine katkı sağlar, özellikle H_2O_2 'nin neden olduğu zararın önlenmesinde önemlidir. Ayrıca, bitki hücrelerindeki H_2O_2 seviyesini kontrol altında tutarak gerekli sinyal iletim olaylarının gerçekleşmesine yardımcı olur (Mittler, 2002).

APOD, çeşitli uyarıcılar tarafından düzenlenen küçük bir gen grubu tarafından kodlanır. Bu uyarıcılar arasında transkripsiyon faktörleri, H_2O_2 konsantrasyonu ve redoks sinyalleri bulunur (Shigeoka vd., 2002). Bitkilerde, amino asit dizilimlerine dayanarak, beş ayrı APOD sınıfı tanımlanmış ve hücre içindeki lokalizasyonlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar şunları içerir: sitosolik APOD (cAPOD), stromal APOD (sAPOD) olarak kloroplastta bulunan, tilakoidal APOD (tAPOD) olarak

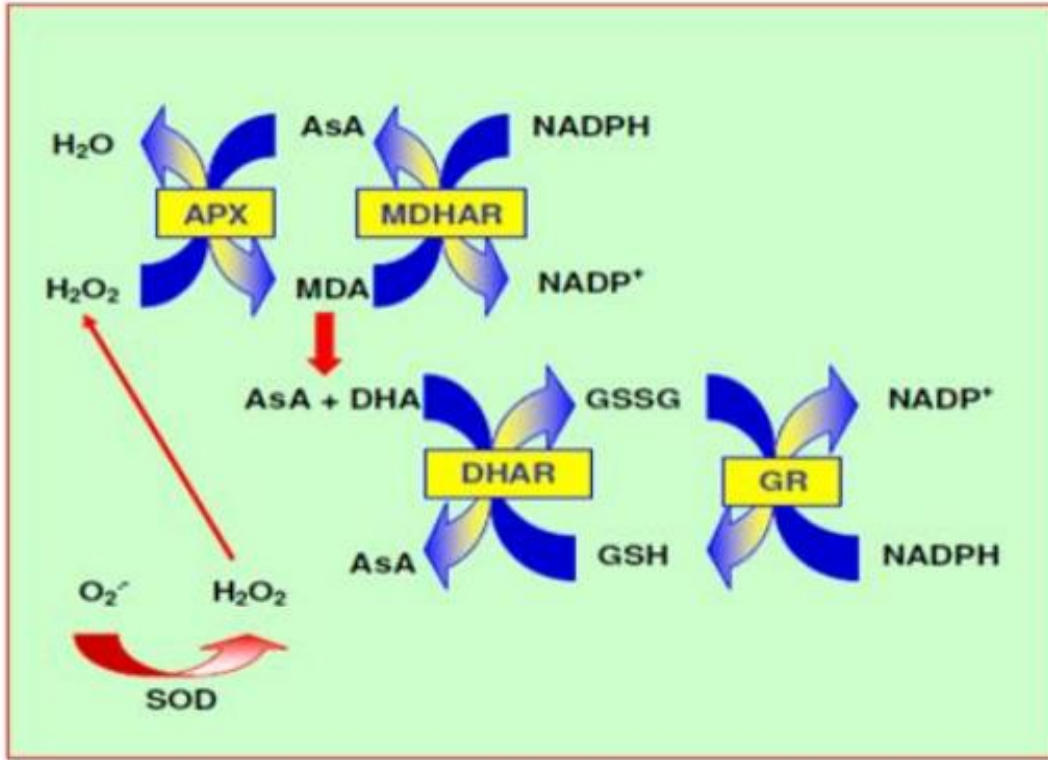
tilakoid membranlarında lokalize olan, mitokondriyal APOD (mitAPOD) ve peroksizomal APOD (pAPOD) izoenzimleri (Sharma vd., 2012; Gupta vd., 2015).

2.6.1.3. Katalaz (KAT)

Katalaz (KAT), tetramerik bir yapıya sahip olup aerobik organizmaların peroksizomlarında bulunan ve ilk olarak keşfedilip işlevsel olarak tanımlanan bir antioksidan enzimdir (Sharma vd., 2012). Bu enzim hücre içindeki detoksifikasyon sürecinde H_2O_2 'nin su ve oksijene ayrıştırılmasından sorumludur. H_2O_2 'nin ayrışmasıyla ilgili diğer enzimlerin de etkin olduğu bilinmekle birlikte, katalaz bu süreçte merkezi bir rol oynar. Katalazın H_2O_2 'ye karşı düşük bir afinitesi vardır. Ayrıca bazı araştırmalarda peroksizomlarda yüksek düzeyde bulunmasına rağmen, ışığın etkili olduğu durumlarda katalazın etkinliğinin azaldığı belirtilmiştir (Foyer ve Mullineaux, 1994).

2.6.1.4. Glutasyon redüktaz (GR)

Glutasyon redüktaz (GR), özellikle kloroplastlarda bulunan ancak mitokondri, sitozol ve peroksizomlarda da yer alan bir flavoprotein oksidoreduktazdır. GR, glutasyonun (GSH) indirgenmesi, AOT detoksifikasyonu ve hücre proliferasyonu gibi çeşitli hücresel süreçlerde önemli bir rol oynar (Jozefczak vd., 2012; Yu ve Zhou, 2007). Bitkilerde, askorbat-glutasyon (AsA-GSH) döngüsü, AOT'lerin olumsuz etkilerine karşı önemli bir savunma mekanizmasıdır. GSH ve GR, bu döngünün temel bileşenleridir. GSH, bir tripeptit olup bir sülfhidril (-SH) grubu içerir ve suda çözünür bir antioksidandır. Ayrıca AsA-GSH döngüsünde dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) enzimi için bir substrat olarak görev yapar (Anjum vd., 2010). GR, NADPH molekülünden alınan elektronları kullanarak okside olmuş glutasyonu (GSSG) indirgenmiş glutasyon'a (GSH) dönüştürür. Bu süreç sayesinde, bitki hücrelerinde yüksek GSH/GSSG oranının korunmasına yardımcı olur ve bu da abiyotik stres altında proteinlerin aktif çalışması için gereken GSH havuzunun sürdürülmesine katkı sağlar (Yu ve Zhou, 2007). GR tarafından katalizlenen reaksiyon, NADPH'nin azalmasına ve $NADP^+$ 'nin artmasına yol açan bir elektron transferinden ibarettir (Tandoğan ve Ulu, 2007; Edwards vd., 1990). Bu durum, CO_2 fiksasyon reaksiyonlarını destekleyecek yeterli NADPH/ $NADP^+$ oranının sağlanmasına katkıda bulunur (Aono vd., 1995; Creissen vd., 1996; Güler, 2008).



Şekil 2.6. Askorbat-glutasyon döngüsü ($O_2^{\cdot-}$), süperoksit radikali; SOD, süperoksit dismutaz; H_2O_2 , hidrojen peroksit; APX, askorbat peroksidaz; AsA, askorbik asit; MDA, monodehidroaskorbik asit; MDHAR, monodehidro askorbat redüktaz; DHA, dehidroaskorbik asit; DHAR, dehidroaskorbat redüktaz; GSSG, okside glutasyon; GSH, indirgenmiş glutasyon; GR, glutasyon redüktaz) (Mittler 2002' den değiştirilerek alınmıştır.)

2.6.1.5. Guaiakol peroksidaz (GPOD)

Guaiacol peroksidaz (GPOD), tüm yaşam formlarında bulunan ve özellikle bitki hücrelerinin sitozolünde ve hücre duvarında yer alan bir enzimdir (Sharma ve diğerleri, 2012). GPOD, guaiakol veya pirogallol gibi çeşitli bileşikleri kullanarak H_2O_2 'ü su ve oksijene parçalayarak hücre içindeki H_2O_2 seviyelerini düzenler. Hem hücre içinde hem de dışında enzimatik aktivite göstermesi, GPOD'un H_2O_2 'ün detoksifikasyonunda kritik bir rol oynadığını gösterir (Das ve Roychoudhury, 2014; Gill ve Tuteja, 2010). GPOD, bitkilerde oksidatif stres toleransının yanı sıra, hücre duvarının lignifikasyonu, indol-3-asetik asit (IAA) katabolizması ve etilen biyosentezi gibi diğer önemli biyosentetik süreçlerde de önemli fonksiyonlara sahiptir (Sharma ve diğerleri, 2012).

2.6.2. Enzimatik olmayan antioksidanlar

C vitamini olarak bilinen Askorbik asit, E vitamini olarak bilinen α -tokoferol ve glutatyon, karotenoidler ve fenolik bileşikler gibi moleküller enzimatik olmayan antioksidanlar arasında yer alır. Bu bileşikler, serbest radikalleri nötralize ederek ve oksidatif stresin etkilerini azaltarak hücrel hasarı önlerler. Bu antioksidant moleküller, birçok bitki türünde doğal olarak bulunur ve bitkilerin çevresel streslere karşı direncini artırır.

2.6.2.1. Askorbik asit

Askorbik asit, bitkilerde en yaygın ve en sık araştırılan antioksidan bileşiktir. Bu bileşik, çeşitli enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlara katılabilir. Bitki hücrelerinde, askorbik asit mitokondride yer alan L-galaktano- γ -lakton dehidrogenaz enzimi tarafından sentezlenirken, bir kısmı da D-galakturonik asitten üretilen Smirnoff-Wheeler yoluna katılır. Askorbik asit havuzunun büyük bir kısmı sadece sitosolde değil, aynı zamanda apoplastta da yoğunlaşır, bu da antioksidan savunma mekanizmasının ilk hattını oluşturur (Barnes vd., 2002). Ayrıca, metal bağlayıcı enzimlerin aktivitelerini korumada da rol oynar. İndirgenmiş formu, birçok enzimin kofaktörü olarak işlev görür ve aşırı uyarılmış enerjiyi dağıtır (Smirnoff, 2000). FS II'nin fotooksidasyonunu önlemede de önemli bir rol oynadığı bilinmektedir.

2.6.2.2. Tokoferoller

Tokoferoller, özellikle kloroplastların tilakoid membranlarında ve plastoglobüllerde bulunan plastidlerde bulunur (Blokina ve ekibi, 2003). Bu bileşikler, yalnızca fotosentetik organizmalar tarafından sentezlenir ve bu nedenle yalnızca bitkilerin yeşil dokularında mevcuttur (Igamberdiev ve ark., 2004). Tokoferoller, 2-metil-6-kromanol halkasında belirli pozisyonlarda metil gruplarına sahip olan dört izomer içerir (α -, β -, γ -, δ -tokoferol) (Blokina ve ekibi, 2003; Foyer ve Noctor, 2003). Bu izomerler arasında α -tokoferol, en yüksek antioksidan etkiye sahip olanıdır. α -tokoferol, γ -tokoferol molekülünden γ -tokoferol-metil transferaz (γ -TMT) enzimi tarafından katalizlenen bir reaksiyonla sentezlenir (VTE4 geni tarafından kodlanan) (Blokina ve ekibi, 2003; Foyer ve Noctor, 2003). Tokoferoller, oksitlenebilen lipitleri koruyarak membran özelliklerini, belirli membran bölgelerinde yerleşen reseptörleri ve sinyal yollarını değiştirebilir (Tengerdy, 1990)., Bu moleküller özellikle antioksidan aktiviteleriyle bilinir ve bitki hücrelerinin oksidatif stresle başa çıkmasına yardımcı olur.

Kloroplast lipitleri ve diğer membran bileşenlerinin, oksijenle reaksiyona girmesini sağlayarak FSII'nin hem yapısal hem de fonksiyonel olarak korunmasını sağladığı bilinmektedir (Igamberdiev vd., 2004). α - tokoferol, özellikle $^1\text{O}_2$, OH^- ve ayrıca çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu sonucunda oluşan bazı lipit radikalleriyle doğrudan etkileşime girebilir, bu nedenle tilakoid membranlarda özellikle aktiftir. Farklı kinonların ve epoksitlerin üretimine yol açan bir enerji aktarım mekanizması yoluyla $^1\text{O}_2$ 'yi detoksifiye edebilir. Bu ürünlerden biri olan α - tokoferol kinon, α - tokoferol ile aynı antioksidant özelliklere sahiptir ve FSII'deki enerji dağılımında rol oynar (Munné-Bosch ve Alegre, 2002).

2.6.2.3. Karotenoidler

Karotenoidler, fotosentetik ve fotosentetik olmayan birçok organizmada bulunan lipofilik antioksidanlar grubuna dahildir (Nisar vd., 2015). Bu pigmentler, ışık absorpsiyonu yaparak enerjiyi klorofil moleküllerine ileten anten molekülleri olarak işlev görürler. Fotosentetik aktiviteyi korumak için karotenoidler, antioksidant aktivitelerini dört farklı mekanizma ile gösterirler. Bunlar; lipid peroksidasyon ürünleri ile reaksiyona girerek zincir reaksiyonlarını durdurmak, $^1\text{O}_2$ 'yi detoksifiye etmek ve yan ürün olarak ısı üretmek, 3Chl^* (triplet klorofil) ve Chl^* (tekli uyarılmış klorofil) ile reaksiyona girmek ve ksantofil döngüsü yoluyla fazla uyarılma enerjisini dağıtmaktır (Fini vd., 2011).

2.6.2.4. Glutasyon

Glutasyon, hücresel yapıların çoğunda, özellikle de sitozol, endoplazmik retikulum, mitokondri, kloroplastlar, vakuoller, peroksizomlar ve apoplast gibi, bol miktarda bulunan düşük moleküler ağırlıklı bir tiyol tripeptit antioksidandır (Mullineaux ve Rausch, 2005). Radikal temizleyici olarak etkili olan glutasyon, $^1\text{O}_2$, OH^- ve H_2O_2 gibi radikallerle kimyasal reaksiyona girme özelliğine sahiptir (Sharma vd., 2012). Ayrıca, glutasyon, normal ve stresli koşullarda hücre bileşenlerinin durumunu koruyan hücresel bir tampon görevi de üstlenir (Foyer ve Noctor, 2005). Glutasyon, sitozol ve kloroplastlarda spesifik enzimler olan glutamil sistein ligaz ve glutasyon sentetaz aracılığıyla sentezlenir (Gill ve Tuteja, 2010).

2.6.2.5. Fenolik bileşikler

Fenolik bileşikler, genellikle yapraklar, çiçekler ve polen tanelerinde bulunan antioksidan bileşiklerdir. Bu bileşikler, yapılarına göre flavonoidler, hidrosinamik asitler, taninler ve antosiyaninler olmak üzere dört ana sınıfa ayrılabilir (Fini ve diğ., 2011). Bitkilerde üreme ve polen çimlenmesi, bitki patojenlerine karşı savunma, çiçeklerin, meyvelerin ve tohumların renklendirilmesi gibi çeşitli işlevleri vardır. Fenolik bileşikler, fotosentetik sisteme zarar veren ikincil reaktif oksijen türlerini etkisiz hale getiren bir sistem olarak kabul edilir. Ayrıca, $1O_2$ 'nin detoksifikasyonunda önemli bir rol oynarlar ve kloroplastik zarın dış tabakasında meydana gelen hasarları azaltırlar (Agati ve diğ., 2012). Fenolik bileşikler ayrıca, çeşitli peroksidazlar için substrat görevi görürler (Pourcel ve diğ., 2007; Hernández ve diğ., 2009). Membranlardaki lipid homeostazına katkıda bulunarak, fosfolipidlerin kutupsal bölgesiyle etkileşime girerler ve böylece oksidatif hasarı önlerler (Erlejman ve diğ., 2004). Ek olarak, nukleusta bulunan kuersetin türevleri, yüksek H_2O_2 konsantrasyonlarında bile OH.- üretimini engelleyebilir ve bu şekilde DNA üzerindeki reaktif oksijen türlerinin neden olduğu hasarı önleyebilir (Brown vd., 1998).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Bitki Materyali

Araştırmada, buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisine ait Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner ve Yavuz adlı genotipler kullanılmıştır. Tohumlar Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kullanılan araç-gereçler

Araştırmada temel olarak kullanılan ekipmanlar şunlardır: Radwag AS220/C/12 hassas terazi, Centurion Scientific K3 Serisi soğutmalı santrifüj, DragonLab MS-H-Pro manyetik karıştırıcı, Elga saf su sistemi, JEIOTECH ısıtma dolabı, JSR JSPC iklim dolabı ve Shimadzu UV-vis mini 1240 spektrofotometre.

3.2.2. Bitki Yetiştirme Yöntemi

Sağlam ve büyüklükleri birbirine yakın tohumlar seçilerek plastik çimlendirme kaplarında ıslak kurutma kağıtları arasında çimlenmeye bırakılmıştır. Her çimlendirme kabına 50 adet tohum yerleştirilmiştir. Kurutma kağıtları bidistile su (kontrol), 80mM NaCl, 3mM KNO₃ ve 80 mM NaCl + 3 mM KNO₃ çözeltisiyle ıslatılarak dört farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Çimlenme kapları 25°C sıcaklık ve %40-45 oransal nem oranına sahip iklim dolabına yerleştirilerek tohumlar karanlık ortamda çimlenmeye bırakılmıştır. Denemenin kurulmasından dört gün sonra çimlenme kapları uygun çözeltilerle (10 ml) sulanmıştır ve yedi gün sonra hasat işlemleri yapılmıştır. Biyokimyasal analizlerde kullanılacak koleoptil örnekleri derin dondurucuda -20°C'de muhafaza altına alınmıştır.

3.2.3. Bazı Çimlenme ve Fizyolojik Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi

Buğday bitkilerinin kök ve koleoptil uzunlukları milimetrik cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümlerde en uzun kök dikkate alınmış ve sonuçlar cm bitki⁻¹ olarak ifade edilmiştir. Kök ve koleoptil boyu ölçümleri beş tekrarlı (n=5) olarak yapılmıştır.

Buğday bitkilerinin kök ve koleoptilleri birleşme noktasından bir bistüri yardımıyla kesilerek, hassas terazi yardımıyla ayrı ayrı taze ağırlıkları tartılmış; daha sonra 70°C'ye ayarlanmış etüvde üç gün kurutulduktan sonra yine hassas terazi ile kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ölçümler beş tekrarlı ($n=5$) olarak yapılmış; kök ve koleoptillerin taze ve kuru ağırlıkları mg bitki^{-1} olarak ifade edilmiştir.

Tohumlardaki kullanılan rezerv miktarını belirlemek amacıyla tohumların kuru ağırlığı denemenin kurulmasından önce hassas terazi ile tartılmıştır. Denemenin sonunda tohum kalıntıları 70 °C'ye ayarlanmış etüvde üç gün kurutulmuş, tekrar tartılmış ve tohumlardaki kullanılan rezerv miktarı hesaplanarak mg tohum^{-1} olarak ifade edilmiştir. Konversiyon (dönüşüm) kat sayısı ve rezerv tüketimi (%) Soltani ve ark., (2006)'ya göre hesaplanmıştır. Her üç parametreye ait ölçümler üç tekrarlı ($n=3$) olarak yapılmıştır.

3.3. Biyokimyasal Analizler

3.3.1. Toplam Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi (1.15.1.1)

Toplam SOD aktivitesi, Beyer ve Fridovich (1987) tarafından belirlenmiştir. Yaklaşık 0.3 g taze yaprak dokusu, sıvı azotla öğütülmüş ve 1.5 ml, 100 mM K-PO₄ (pH 7.0), % 2 oranında PVP (polivinilpirolidon) ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenat, +4 °C'de 14.000 rpm hızında 20 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Son hacim 1030 μl olacak şekilde 100 mM K-PO₄ tamponu (pH 7.8), 9.9×10^{-3} M metionin, 5.7×10^{-5} M NBT (nitroblue tetrazolyum), %1 oranında triton X-100 ve enzim karışımından oluşan bir reaksiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Reaksiyon, 0.9 μM riboflavin ilavesi ile başlatılmış, bu karışım 15 dakika boyunca $375 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğuna maruz bırakılmış ve ardından 560 nm dalga boyunda absorbans değerleri SHIMADZU UV mini 1240 UV-VIS Spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam SOD aktivitesi, önceden hazırlanmış olan standart grafikten faydalanılarak hesaplanmıştır (U mg protein^{-1}).

3.3.2. Toplam Askorbat Peroksidaz (APOD) Aktivitesi (1.11.1.11)

Toplam APOD aktivitesi Wang vd. tarafından (1991) belirlenmiştir. Yaklaşık 0.3 gram taze yaprak dokusu, sıvı nitrojen kullanılarak öğütülmüş ve içinde 1.5 ml, pH değeri 7.2 olan 50 mM Tris-HCl, % 2 oranında PVP, 1 mM Na₂EDTA ve 2 mM askorbat bulunan ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Elde edilen homojenat, +4

derece Celsius'ta 12.000 devir/dakika hızında 20 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Son hacim 1000 µl olacak şekilde 50 mM K-PO₄ tamponu (pH 6.6), 2.5 mM askorbat, 10 mM H₂O₂ ve 100 µg protein içeren enzim karışımından oluşan reaksiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Reaksiyon, H₂O₂'nin eklenmesiyle başlatılmıştır. Askorbat konsantrasyonundaki azalma, spektrofotometrede (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spektrofotometre) 290 nm'de yapılan okumalarla enzim özütü içermeyen reaksiyon çözeltisine karşılık kaydedilmiştir. Enzim aktivitesi, askorbatın ekstinksiyon katsayısı (2.8 mM cm 290 nm⁻¹) kullanılarak reaksiyonun başlangıç hızından hesaplanmıştır (nmol askorbat dakika⁻¹ µg protein⁻¹).

3.3.3. Toplam Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesi (1.6.4.2)

Toplam GR aktivitesi, Sgherri vd. (1994) tarafından tanımlanmıştır. Yaklaşık 0.3 gram taze yaprak dokusu, sıvı nitrojenle öğütülmüş ve 1.5 mililitre, pH değeri 7.0 olan 100 mM K-PO₄, % 2 oranında PVP ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisiyle homojenize edilmiştir. Homojenat, +4 derece santigrat sıcaklıkta 14.000 rpm'de 20 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Son hacmi 1000 mikrolitre olacak şekilde hazırlanan reaksiyon çözeltisi, 100 mM K-PO₄ tamponu (pH 7.8), 2 mM Na₂EDTA, 0.5 mM oksit glutasyon (GSSG), 0.2 mM NADPH ve 100 mikrogram protein içermektedir. Reaksiyon, NADPH'nin eklenmesiyle başlatılmıştır. Enzim aktivitesi, SHIMADZU UV mini 1240 UV-VIS Spektrofotometresi kullanılarak 340 nanometrede yapılan okumalarla spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Düzeltme işlemi, NADPH'nin bulunmadığı durumlarda GSSG oksidasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Enzim aktivitesi, NADPH'nin ekstinksiyon katsayısı (6.2 mM cm⁻¹ 340 nm⁻¹) kullanılarak reaksiyonun başlangıç hızından hesaplanmıştır (nmol NADPH dakika⁻¹ mikrogram protein⁻¹). Bu deneysel prosedür, bitki örneklerinden elde edilen toplam glutasyon redüktaz (GR) aktivitesinin belirlenmesi için standart bir yöntemdir.

3.3.4. Toplam Guaiakol Peroksidaz (GPOD) Aktivitesi

Toplam POD aktivitesi, Sanchez-Romero (1993) tarafından belirlenmiştir. Yaklaşık olarak 0.3 gram taze yaprak dokusu, sıvı nitrojenle öğütülmüş ve 1.5 mililitre, pH değeri 7.0 olan 100 mM K-PO₄, % 2 oranında PVP ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisiyle homojenize edilmiştir. Homojenat, +4 derece santigrat sıcaklıkta 14.000 rpm'de 20 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Son hacmi 3180 mikrolitre olacak şekilde hazırlanan reaksiyon çözeltisi, 100 mM K-PO₄ tamponu (pH

7.0), 0.316 mM guaiakol, 0.116 mM H₂O₂ ve 100 mikrolitre enzim karışımından oluşmaktadır. Dikkate alınan bu yöntem, bitki örneklerinden elde edilen toplam peroksidaz (POD) aktivitesinin belirlenmesi için standart bir yöntemdir. Reaksiyon, H₂O₂'nin eklenmesiyle başlatılmıştır. Enzim aktivitesi spektrofotometrik olarak (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spektrofotometre) 470 nm'de yapılan okumalarla ölçülmüş ve guaiakol'ün ekstinksiyon katsayısı (26.6 mM cm 470 nm⁻¹) kullanılarak reaksiyonun başlangıç hızından hesaplanmıştır (nmol H₂O₂ dakika⁻¹ µg protein⁻¹).

3.4. İstatistiksel Analizler

Denemelerden elde edilen veriler SPSS paket programı kullanılarak istatistiksel varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. Her bir bağımsız değişken için uygulama ve çeşitler arasındaki farkın önemi, Anlamlı Önemli Fark (AÖF) %5 düzeyinde değerlendirilmiştir. Oluşturulan grafiklerde, kontrol gruplarına göre belirlenen önemli farklar "*" sembolü ile ifade edilirken, tuz stresi ve tuz+KNO₃ uygulamaları arasındaki farklar ise "Δ" sembolü ile gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

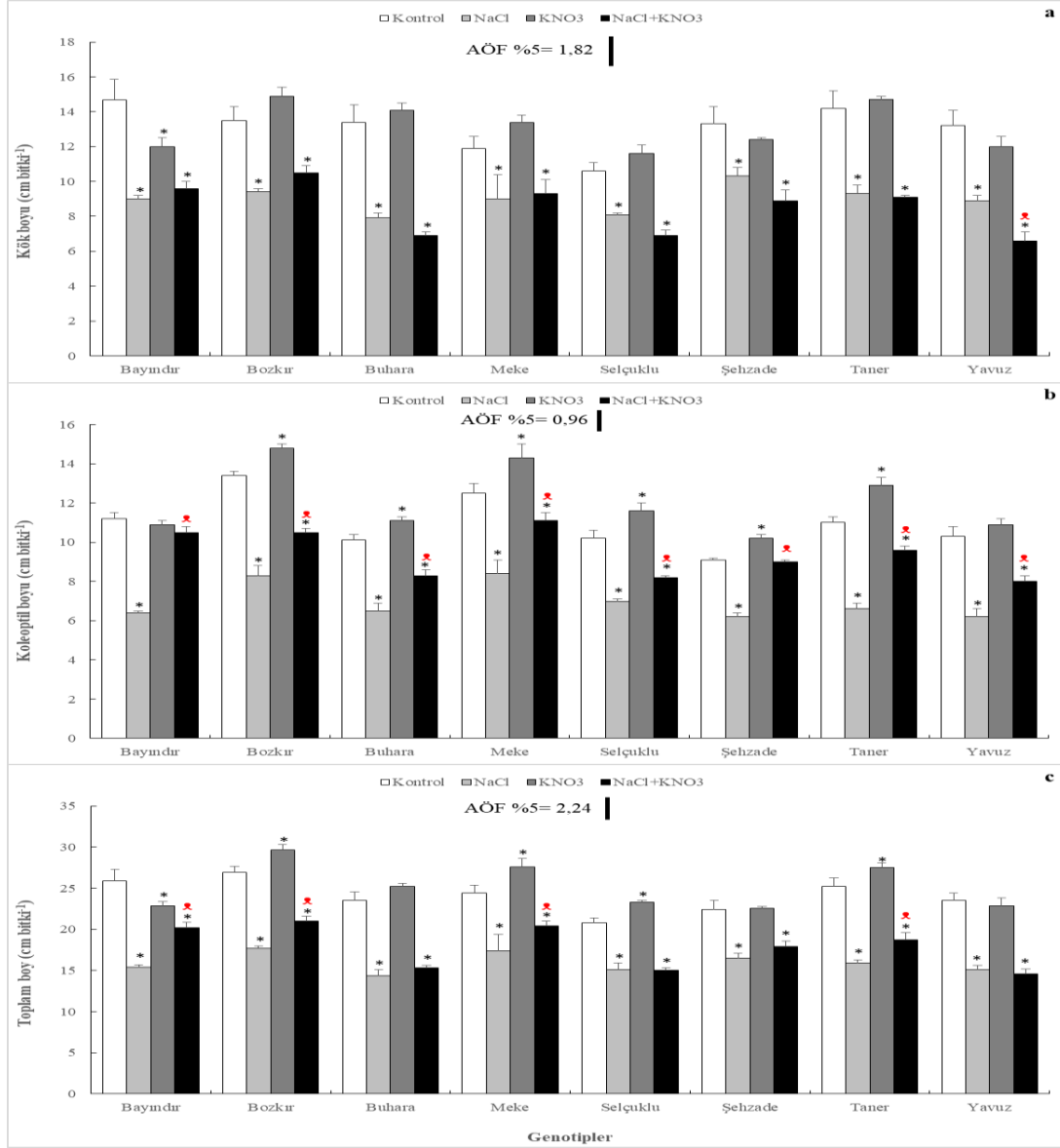
4.1. Tuz stresi ve KNO₃ uygulamalarının kök ve koleoptil boyuna etkisi

80mM tuz 3 mM KNO₃ ve 80mM NaCl+3mM KNO₃ çözeltilerinin uygulandığı Bayındır genotipinde kök boyu kontrollerine göre istatistiksel açıdan ciddi ölçüde azaldığı belirlenmiştir ($P<0,05$) (Şekil 4.1a). Bozkır, Buhara, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner ve Yavuz genotiplerinin kök boyları NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamalarından kontrole göre istatistiksel olarak önemli ölçüde azalmıştır ($P<0,05$). Sadece KNO₃ uygulaması ise kök boylarını kontrollere etkilememiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.1a). NaCl+KNO₃ çözeltisinin uygulandığı Yavuz genotipinde kök boyu sadece tuz uygulanan bitkilere oranla istatistiki olarak önemli ölçüde azalmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.1a). Diğer genotiplerde (Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner) kök boyu bakımından NaCl+KNO₃ ve sadece tuz uygulaması arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır ($P>0,05$) (Şekil4.1a).

Çalışmada kullanılan tüm buğday genotiplerinde NaCl uygulaması koleoptil boyunun ilgili kontrollerle kıyaslandığında önemli oranda azalmasına neden olmuştur ($P<0,05$) (Şekil 4.1b). Bayındır ve Yavuz genotiplerinde KNO₃ uygulaması koleoptil boyunu kontrollerle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde önemli derecede artmasına neden olmuştur ($P<0,05$) (Şekil 4.1b). Bayındır ve Şehzade genotiplerinde NaCl+KNO₃ uygulaması ile ilgili kontrol bitkileri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise koleoptil boyu kontrollere göre önemli oranda düşük bulunmuştur ($P<0,05$) (Şekil 4.1b). Çalışmada kullanılan ve NaCl stresi uygulanan tüm buğday genotiplerinde koleoptil boyu, KNO₃ uygulaması sonucu önemli derecede artmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.1b).

Çalışmada kullanılan tüm genotiplerde sadece tuz ve NaCl+KNO₃ uygulamaları toplam boyları kontrole göre önemli oranda azaldığı belirlenmiştir ($P<0,05$) (Şekil 4.1c). Sadece KNO₃ uygulaması ise toplam boyu Bayındır genotipinde kontrole göre önemli derecede azaltmış ($P<0,05$); Buhara, Şehzade ve Yavuz genotiplerinde

etkilememiş ($P>0,05$); Bozkır, meke, Selçuklu ve Taner genotiplerinde artırmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.1c). Bayındır, Bozkır, Meke ve Taner genotiplerinde NaCl+KNO₃ uygulamaları toplam boyu sadece NaCl uygulamalarına göre önemli derecede artırmış ($P<0,05$); diğer genotiplerde etkilememiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.1c).



Şekil 4.1. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO₃) ve NaCl+KNO₃ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök boyu, (b) koleoptil boyu ve (c) toplam boy üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (ADF; $P \leq 0,05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti, NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları arasındaki istatistiksel (ADF; $P \leq 0,05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “” işareti ile gösterilmiştir (ADF, anlamlı bir fark göstermektedir) (Değerler beş tekrarın ortalaması alınarak, barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir).

4.2. Tuz stresi ve KNO₃ uygulamalarının kök taze, kök kuru ve gövde taze, gövde kuru ağırlığına etkisi

Bayındır, Bozkır, Meke, Şehzade, Taner ve Yavuz genotiplerinde NaCl uygulamaları kök taze ağırlığını kontrollerle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli derecede azaltmış ($P<0,05$); Buhara ve Selçuklu genotiplerinde etkilememiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2a). Yavuz genotipinde kök taze ağırlığı KNO₃ uygulaması sonucunda kontrole karşılaştırıldığında önemli derecede artmış ($P<0,05$); diğer genotiplerde etkilenmemiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2a). NaCl+KNO₃ uygulaması Bayındır, Bozkır ve Selçuklu genotiplerinde kök taze ağırlığını kontrollere göre önemli derecede etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise azaltmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.2a). NaCl+KNO₃ uygulaması Bayındır ve Bozkır genotiplerinde kök taze ağırlığını sadece NaCl uygulaması ile karşılaştırıldığında önemli oranda artırırken ($P<0,05$); diğer genotiplerde etkilememiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2a).

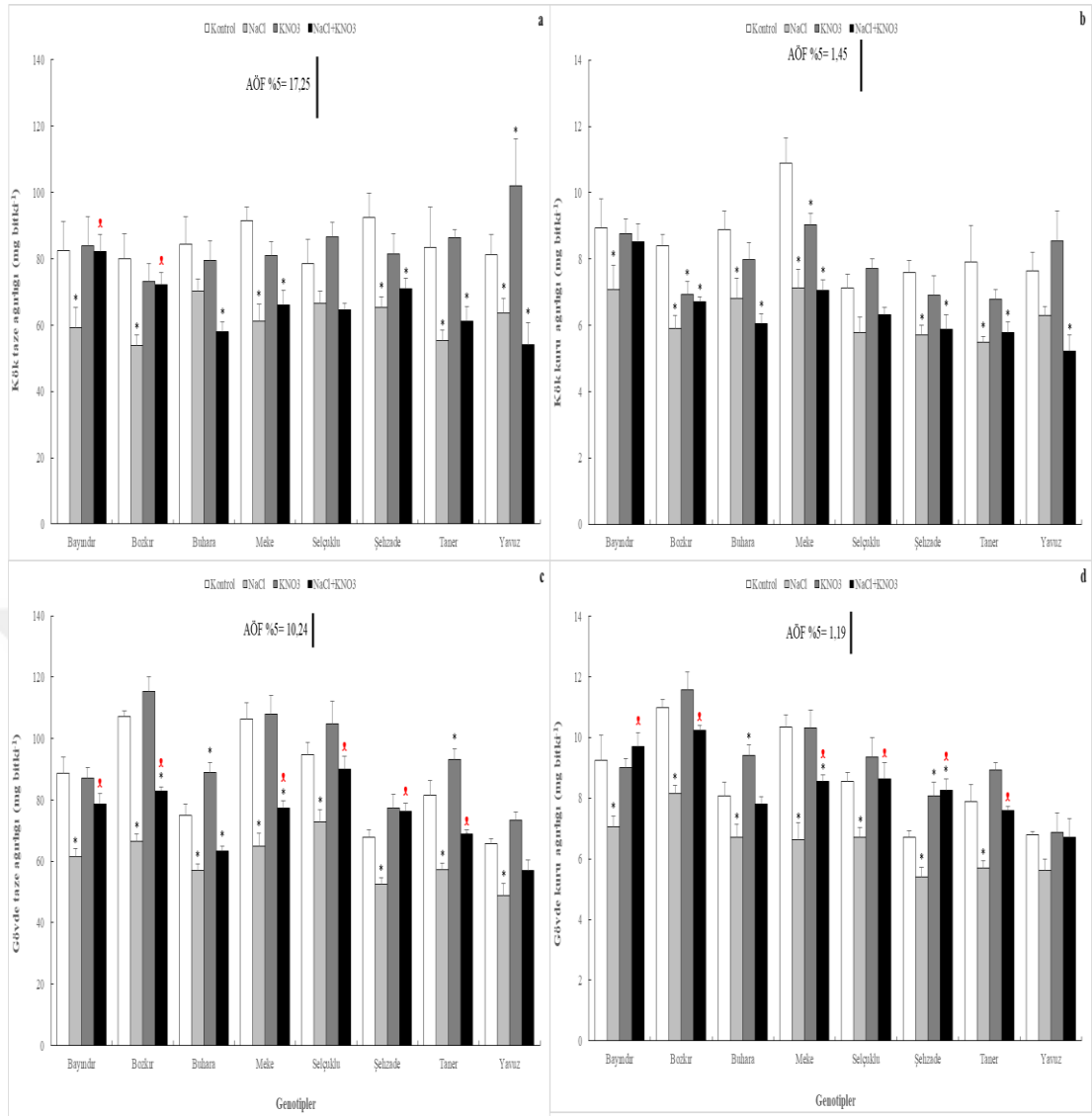
Selçuklu ve Yavuz genotiplerinde kök kuru ağırlığı NaCl uygulaması sonucu ilgili kontrollerle karşılaştırıldığında önemli bir değişim sergilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise önemli derecede azalmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.2b). Bozkır ve Meke genotiplerinde KNO₃ uygulamaları kök kuru ağırlığını kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede azaltmış ($P<0,05$); diğer genotiplerde etkilemediği tespit edilmiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2b). Bayındır ve Selçuklu genotiplerinde NaCl+KNO₃ uygulamaları sonucu kök kuru ağırlığı kontrollere göre anlamlı derecede etkilenmemiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise önemli derecede azalmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.2b). Çalışmada kullanılan buğday genotiplerinde NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları arasında kök kuru ağırlığı bakımından önemli fark gözlenmemiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2b).

Çalışmada kullanılan tüm buğday genotiplerinde koleoptil taze ağırlığı NaCl uygulaması sonucunda kontrollere göre önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir ($P<0,05$) (Şekil 4.2c). Buhara ve Taner genotiplerinde KNO₃ uygulaması sonucu koleoptil taze ağırlığı kontrollere göre önemli derecede artış gösterirken ($P<0,05$); diğer genotiplerde değişmediği belirlenmiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2c). Bozkır, Buhara ve Meke genotiplerinde koleoptil taze ağırlığı NaCl+KNO₃ uygulaması sonucu ilgili kontrollerle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli derecede azalırken ($P<0,05$); diğer genotiplerde değişmemiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2c). NaCl+KNO₃ uygulaması yapılan Buhara ve Yavuz genotiplerinde koleoptil taze ağırlığı sadece

NaCl uygulaması ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise önemli derecede artırmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.2c).

NaCl uygulaması Yavuz genotipinde koleoptil kuru ağırlığını kontrole göre önemli derecede etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde önemli oranda azaltmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.2d). KNO_3 uygulaması sonucunda Buhara ve Şehzade genotiplerinde koleoptil kuru ağırlığı kontrollere göre istatistiksel olarak önemli derecede artarken ($P<0,05$); diğer genotiplerde değişmemiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2d). Meke genotipinde koleoptil kuru ağırlığı NaCl+ KNO_3 uygulaması sonucu kontrole göre önemli derecede azalırken ($P<0,05$); Şehzade genotipinde artmış ($P<0,05$); diğer genotiplerde ise değişmemiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.2d). NaCl+ KNO_3 uygulaması Buhara ve Yavuz genotipinde koleoptil kuru ağırlığını sadece NaCl uygulaması ile karşılaştırıldığında önemli derecede etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise artırmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.2d).





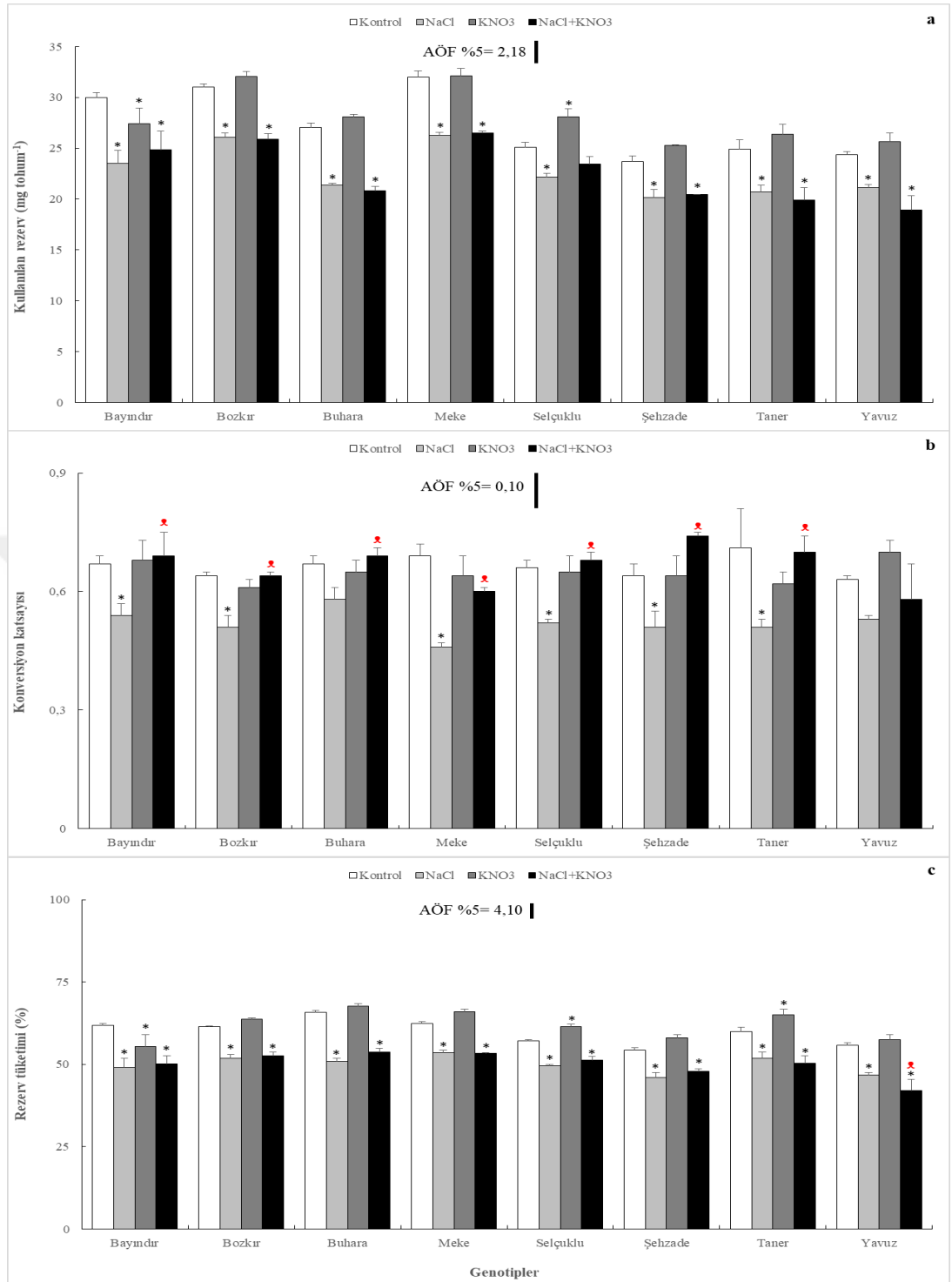
Şekil 4.2. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO₃) ve NaCl+KNO₃ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök taze ağırlığı, (b) kök kuru ağırlığı, (c) koleoptil taze ağırlığı ve (d) koleoptil kuru ağırlığı üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti, NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları arasındaki istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “a” işareti ile gösterilmiştir (AÖF, istatistiksel olarak önemli bir fark göstermektedir) (Değerler beş tekrarın ortalaması alınarak, barlar $\pm$ standart hata değerlerini belirtmektedir).

4.3. Tuz stresi ve KNO₃ uygulamalarının kullanılan rezerv, konversiyon katsayısı ve rezerv tüketimine etkisi

Çalışmada kullanılan tüm genotiplerin tohumlarındaki kullanılan rezerv miktarı ilgili kontrollerle kıyaslandığında önemli derecede azaldığı belirlenmiştir ($P<0,05$) (Şekil 4.3a). Bayındır genotipinde KNO₃ uygulamaları sonucu tohumlardaki rezerv miktarı kontrollere göre önemli derecede azalırken ($P<0,05$), Selçuklu genotipinde artmış ($P<0,05$); diğer genotiplerde etkilenmemiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.3a). Seçuklu genotipinde NaCl+KNO₃ uygulaması kontrole göre tohumlardaki rezerv miktarını istatistiksel olarak etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise azaltmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.3a). Çalışmada kullanılan tüm buğday genotiplerinde tohumlardaki rezerv miktarı, ilgili kontrollerle kıyaslandığında istatistiksel açıdan etkilenmemiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.3a).

NaCl uygulaması sonucunda Buhara ve Yavuz genotiplerinde konversiyon kat sayısı kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde ise azalış göstermesine yol açmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.3b). KNO₃ ve NaCl+KNO₃ uygulamaları çalışmada kullanılan buğday genotiplerinin konversiyon kat sayısı üzerinde kontrollerle karşılaştırıldığında istatistiksel anlamda bir değişime yol açmamıştır ($P>0,05$) (Şekil 4.3b). Yavuz genotipinde NaCl+KNO₃ uygulaması sadece NaCl uygulaması ile karşılaştırıldığında konversiyon kat sayısını önemli derecede etkilememiş ($P>0,05$); diğer genotiplerde artırmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.3b).

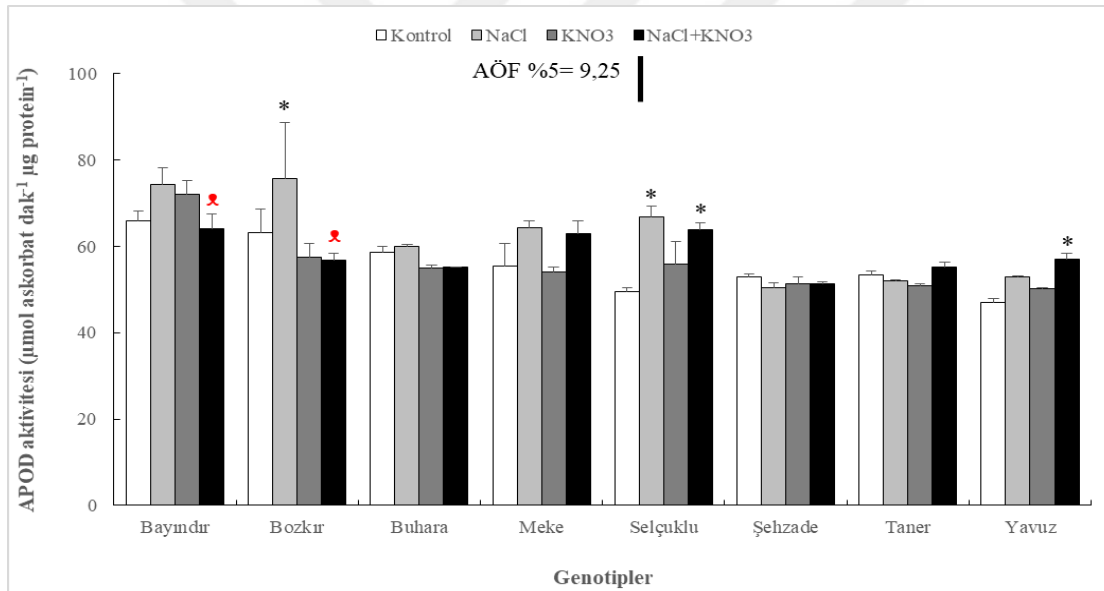
Çalışmada kullanılan tüm buğday genotiplerinde NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları ilgili kontrollere göre rezerv tüketim oranını önemli derecede azaltmıştır ($P<0,05$) (Şekil 4.3c). Bayındır, Selçuklu ve Taner genotiplerinde KNO₃ uygulaması rezerv tüketim oranını kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede azaltmış ($P<0,05$); diğer genotiplerde etkilememiştir ($P>0,05$) (Şekil 4.3c).



Şekil 4.3. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO₃) ve NaCl+KNO₃ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kullanılan rezerv miktarı, (b) konversiyon kat sayısı ve (c) rezerv tüketim oranı üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti, NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları arasındaki istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir.

4.4. Tuz stresi ve KNO₃ uygulamalarının APOD aktivitesi üzerine etkisi

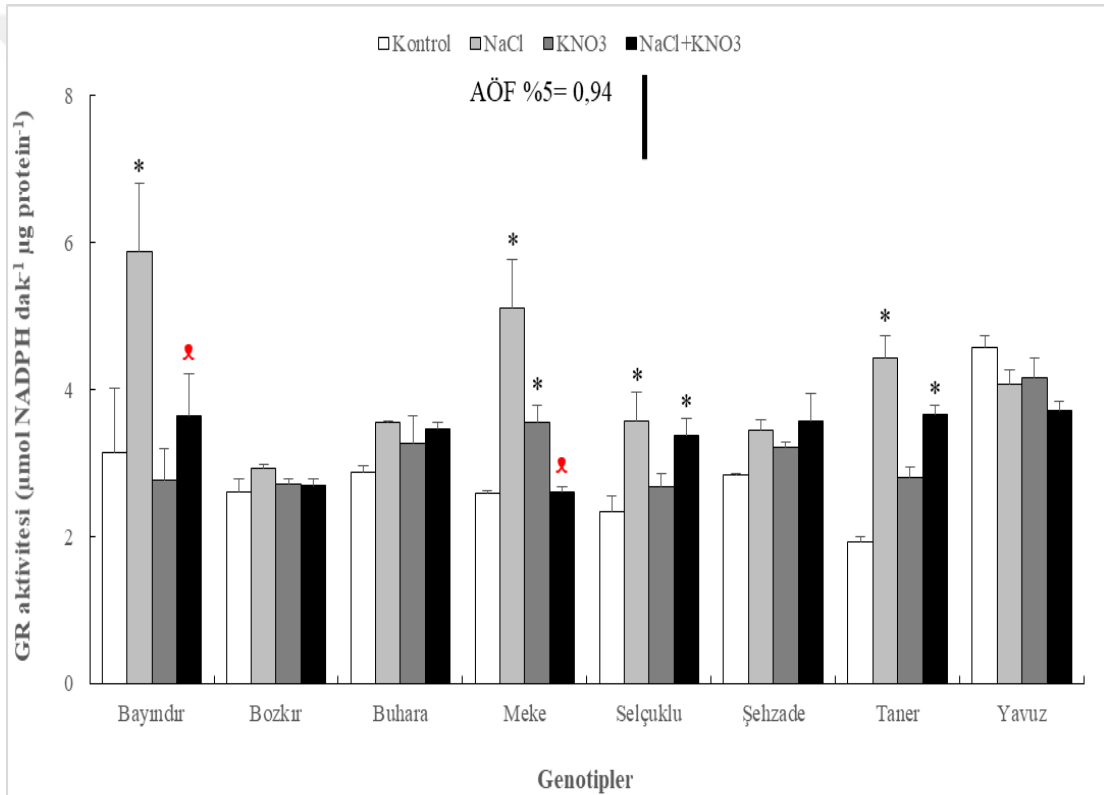
NaCl uygulaması, Bozkır ve Selçuklu genotiplerinde kontrol gruplarına kıyasla APOD aktivitesini anlamlı derecede artırmış ($P < 0,05$); diğer genotiplerde ise bu etki gözlenmemiştir ($P > 0,05$) (Şekil 4.4). Çalışmada kullanılan tüm buğday genotiplerinde, KNO₃ uygulamasının kontrol gruplarına göre APOD aktivitesini istatistiksel olarak etkilemediği tespit edilmiştir ($P > 0,05$). NaCl+KNO₃ uygulaması, Selçuklu ve Yavuz genotiplerinde APOD aktivitesini kontrol gruplarına göre önemli ölçüde artırmış ($P < 0,05$); diğer genotiplerde ise bir etkisi bulunmamıştır ($P > 0,05$) (Şekil 4.4). Bayındır ve Bozkır genotiplerinde, NaCl+KNO₃ uygulaması yalnızca NaCl uygulaması ile karşılaştırıldığında APOD aktivitesini anlamlı derecede azaltmış ($P < 0,05$); diğer genotiplerde ise herhangi bir etkisi olmamıştır ($P > 0,05$) (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO₃) ve NaCl+KNO₃ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde askorbat peroksidaz aktivitesi üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti, NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları arasındaki istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “•” işareti ile gösterilmiştir (AÖF, önemli bir fark göstermektedir) [Değerler, beş tekrarın ortalamasıdır ve barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir].

4.5. Tuz stresi ve KNO₃ uygulamalarının GR aktivitesi üzerine etkisi

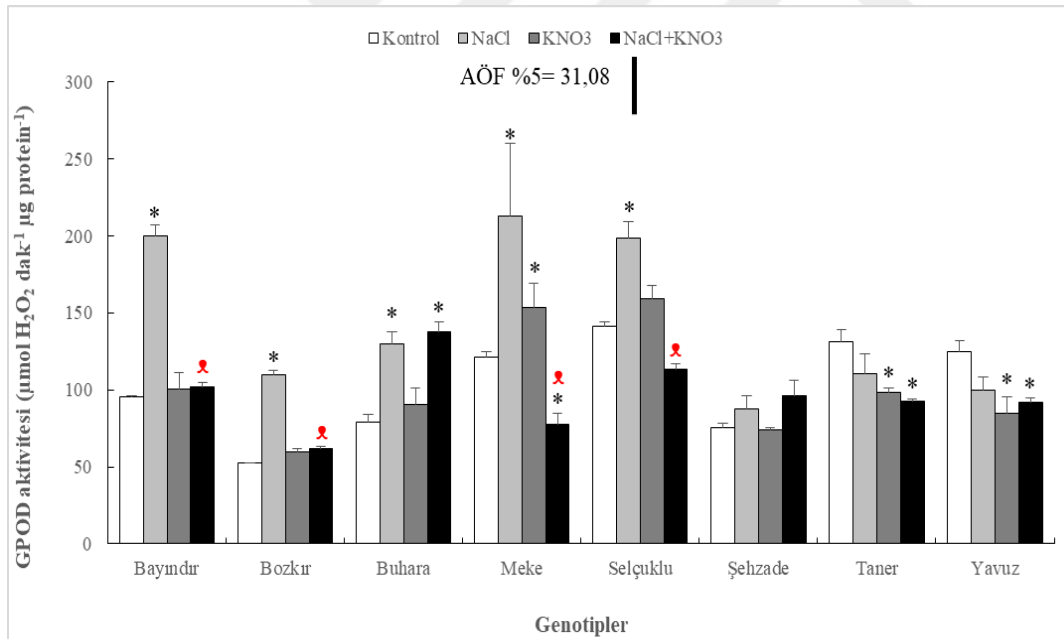
NaCl uygulaması, Bayındır, Meke, Selçuklu ve Taner genotiplerinde GR aktivitesini kontrol gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı ölçüde artırırken ($P < 0,05$); diğer genotiplerde bu etkinin görülmediği belirlenmiştir ($P > 0,05$) (Şekil 4.5). Meke genotipinde, KNO₃ uygulaması GR aktivitesini kontrol grubuna göre önemli ölçüde yükseltmiş ($P < 0,05$); diğer genotiplerde ise bir değişiklik yaratmamıştır ($P > 0,05$) (Şekil 4.5). NaCl+KNO₃ uygulaması, Selçuklu ve Taner genotiplerinde GR aktivitesini kontrol gruplarına kıyasla anlamlı derecede artırmış ($P < 0,05$); diğer genotiplerde ise bir etki göstermemiştir ($P > 0,05$) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO₃) ve NaCl+KNO₃ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde glutatyon redüktaz aktivitesi üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti, NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları arasındaki istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “x” işareti ile gösterilmiştir (AÖF, anlamlı önemli fark) (Değerler beş tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].

4.6. Tuz stresi ve KNO₃ uygulamalarının GPOD aktivitesi üzerine etkisi

Bayındır, Bozkır, Buhara ve Meke ve Selçuklu genotiplerinde NaCl uygulaması ilgili kontrollerle karşılaştırıldığında GPOD aktivitesini önemli derecede artırırken ($P < 0,05$); diğer genotiplerde etkilememiştir ($P > 0,05$) (Şekil 4.6). KNO₃ uygulaması Meke genotipinde GPOD aktivitesini kontrolle kıyaslandığında önemli oranda artırmış ($P < 0,05$); Taner ve Yavuz genotiplerinde azaltmış ($P < 0,05$); diğer genotiplerde ise etkilememiştir ($P > 0,05$) (Şekil 4.6). Bayındır, Bozkır, Selçuklu ve Şehzade genotiplerinde NaCl+KNO₃ uygulaması GPOD aktivitesini ilgili kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede etkilemezken ($P > 0,05$); Buhara genotipinde artırmış ($P < 0,05$); Meke, Taner ve Yavuz genotiplerinde azaltmıştır ($P < 0,05$) (Şekil 4.6). Bayındır, Bozkır, Meke ve Selçuklu genotiplerinde NaCl+KNO₃ uygulamaları sonucunda sadece NaCl uygulaması ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı derecede azalırken ($P < 0,05$); diğer genotiplerde değişmemiştir ($P > 0,05$) (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Tuz (NaCl), potasyum nitrat (KNO₃) ve NaCl+KNO₃ uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde guaiakol peroksidaz aktivitesi üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti, NaCl ve NaCl+KNO₃ uygulamaları arasındaki istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “a” işareti ile gösterilmiştir (AÖF, istatistiksel olarak anlamlı bir fark) [Veriler, beş tekrarın ortalamasını temsil etmekte ve çubuklar $\pm$ standart hata değerlerini belirtmektedir]

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin tuz stresi (80 mM NaCl) uygulanan Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke, Selçuklu, Şehzade, Taner ve Yavuz genotiplerinde, potasyum nitrat (3mM KNO₃) uygulamalarının tuzluluğun olumsuz etkilerini iyileştirici bir etkiye sahip olup olmadığı; bazı fizyolojik büyüme parametreleri yardımıyla ve bazı antioksidant enzimlerin aktiviteleri incelenerek araştırılmıştır. Bu bağlamda potasyum nitrat uygulamalarıyla tuz toleransı arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Nüfusun artışına bağlı olarak ekonomik öneme sahip bitkilerde tuz toleransı çalışmalarının yapılması önem taşımaktadır. Bu sebeple, son yıllarda bitki yetiştiricileri ve biyokimyacılar tuz toleransı yüksek bitkiler elde etmek için başarılı çalışmalar yapmaktadırlar. Tuzluluk, bitkilerin büyüme ve gelişimini iyonik toksisite ve ozmotik stres aracılığıyla önemli ölçüde engellemektedir (Zhu, 2002). Bu durum, fotosentezin sınırlanması sonucu bitkilerde büyüme inhibisyonuna yol açmaktadır (Chaves vd., 2009).

Çalışmada kullanılan tüm buğday genotiplerinde kök ve koleoptil büyümesi tuz stresi uygulaması sonucunda kontrollere göre önemli derecede inhibe edilmiştir. Kök büyümesi bakımından tuz stresinden en olumsuz etkilenen genotip Buhara, en az etkilenen genotip de Şehzade olmuştur. Benzer şekilde tuz uygulamasının koleoptil büyümesini en fazla etkilediği genotip Bayındır, en az etkilediği genotip de Selçuklu olmuştur. Bu sonuçlar çalışmada kullanılan buğday bitkisinde tuz toleransı bakımından hem genotipe hem de bitki organına bağlı olarak farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Munns (2002) tuz stresinin bitkilerde meristematik hücrelerde mitoz bölünme mekanizmasına zarar vererek büyüme kısıtladığını bildirmiştir. Buna göre, çalışmada kullanılan buğday genotiplerinin kök ve koleoptil uçlarındaki meristematik hücrelerin tuza oldukça duyarlı olduğu söylenebilir. Yapılan bir çalışmada da tuz stresinin büyümeyi kısıtlama etkisinin, tuzluluğun hücre büyümesini inhibe etmesinden kaynaklandığı rapor edilmiştir (Bendeoğlu vd., 2014). Çalışmada tuz stresi altındaki buğday genotiplerine uygulanan KNO₃'ün kök büyümesini iyileştirici bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bunun nedeni tuzlu bir bitki organı olarak

köklerin tuz içeren ortamla sürekli temas halinde olması olabilir. Buna rağmen kök büyümesi bakımından tuz stresi altında KNO_3 uygulamasına en iyi cevap veren genotipin Meke, en zayıf cevabı veren genotipin ise Yavuz olduğu söylenebilir. Koleoptil boylarındaki değişimlere bakıldığında ise KNO_3 uygulamasının tüm genotiplerde tuz stresinin büyümeyi inhibe edici etkisini ortadan kaldırdığı gözlenmiştir. Buna göre köklerle karşılaştırıldığında tuz stresinin büyüme üzerindeki olumsuz etkilerinin iyileştirilmesi konusunda koleoptillerin KNO_3 uygulamasına metabolik olarak daha iyi cevap verme kapasitesine sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca koleoptil büyümesi bakımından tuz stresi altında KNO_3 uygulamasına en iyi cevap veren genotip Şehzade olurken, en zayıf cevap Yavuz genotipi tarafından oluşturulmuştur. Bu sonuçlar Yavuz genotipinin büyüme ortamından potasyum iyonlarını köklerle alma ve toprak üstü organlara taşıma konusunda nispeten düşük kapasiteye sahip olduğunu da göstermektedir. Çalışmada Buhara ve Selçuklu genotiplerinde kök taze ağırlığı kontrollere göre tuz uygulamasından etkilenmemiş, diğer genotiplerde azalmıştır. Kök kuru ağırlığı bakımından değerlendirildiğinde ise tuz stresi Selçuklu ve Yavuz genotiplerini etkilememiş, diğer genotiplerde ise kök kuru ağırlığının kontrollere göre azalmasına yol açmıştır. Çalışmada tuz stresi altındaki Bayındır ve Bozkır genotiplerine uygulanan KNO_3 , tuz stresi etkisiyle azalan kök taze ağırlıklarının önemli derecede artmasını sağlamıştır. Tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde KNO_3 uygulaması ise kök kuru ağırlıklarını etkilememiştir. Bitki dokularının taze ağırlığı su içeriği, kuru ağırlık ise biyokütle üretimi ile ilgili parametrelerdir. Yapılan bir çalışmada biyotik ve abiyotik stres faktörleri altındaki bitkilerde dokuların su içeriğini ayarlama kapasitesinin stres toleransı bakımından önemli olduğu bildirilmiştir (Bohnert vd.,1995). Tuza duyarlı olan bitki türlerinde dokulardaki su miktarı ve ozmotik potansiyelin toleranslı türlere göre daha belirgin şekilde azaldığı rapor edilmiştir (Mansour, 1998). Yaprak taze ağırlığının tuz stresi altındaki bitkilerin fizyolojik durumu konusunda çok önemli bir indikatör olduğu da bildirilmiştir (Mansour vd., 2005). Buna göre KNO_3 uygulamasının Bayındır ve Bozkır genotiplerinin büyüme ortamıyla aralarındaki su ilişkilerini düzenleme ve tuz toleransı sağlama konusunda oldukça etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca KNO_3 'ün bu etkisi buğday genotiplerinde organ tipine göre farklılık göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar tuz stresinin koleoptil taze ve kuru ağırlıklarını, Yavuz genotipinin koleoptil kuru ağırlığı hariç, ilgili kontrollere göre önemli derecede azalttığını göstermiştir. Köklerle karşılaştırıldığında KNO_3 uygulamasının tuz stresi uygulanan

genotiplerin çoğunda koleoptil taze ve kuru ağırlığı bakımından iyileştirici etkisinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Buna göre uygulanan KNO_3 'ün tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde koleoptillerin hem su durumu hem de biyokütle üretimi üzerinde olumlu etki yaptığı söylenebilir. Yapılan araştırmalar tuz stresinin bitkilerde iyon dengesini bozarak, fotosentetik pigment ve CO_2 fiksasyon reaksiyonlarında fonksiyonel olan bazı enzimleri inhibe ederek, fotosentetik elektron taşınım reaksiyonlarını yavaşlatarak ve bitki dokularında sodyum iyonu birikimini indükleyerek biyokütle birikimini olumsuz etkilediğini göstermiştir (Munns, 2002 ; Davenport vd., 2005; Munns vd., 2008). Sonuçlarımız tuz stresinin bahsedilen olumsuz etkilerinin çalışmada kullanılan buğday genotiplerinde KNO_3 uygulaması ile ortadan kaldırıldığını gösteriyor olabilir.

Çimlenmekte olan tohumlarda birçok glikolitik ve proteolitik enzimin aktivitesi hem çimlenme hızını hem de fide büyümesini kontrol etmesi amacıyla artırılır. Farklı çevresel faktörler altında bu enzimlerin aktivasyon derecesi farklılık gösterebilir. Örneğin α -amilaz enzimi nişastanın hidrolizi ve çözünür şekerlerin oluşumunu sağlayan çok önemli bir glikolitik enzimdir. Oluşan çözünür şekerler de daha sonra radikula ve plumula büyümesi için gerekli ATP enerjisinin sentezlenmesi için okside edilir (Ashraf vd., 2009). Bu şekerler aynı zamanda çimlenmekte olan tohumlarda ve erken fide evresindeki bitkilerde hücrel osmotik regülasyonun sağlanmasında da önemlidir. Proteaz grubu enzimler ise tohumlardaki depo proteinlerinin hidrolizi sonucu serbest aminoasitlerin oluşumundan sorumludur (Canton vd., 2005). Tuz uygulaması sonucunda çalışmada kullanılan tüm buğday genotiplerinin tohumlarındaki kullanılan rezerv miktarı ve rezerv kullanım oranı kontrollere göre önemli derecede azalmıştır. Konversiyon kat sayısı ise Buhara ve Yavuz genotipleri dışında tüm genotiplerde düşüş göstermiştir. Bu sonuçlar tuz stresi altındaki buğday genotiplerinin tohumlarındaki proteolitik ve glikolitik reaksiyonların yavaşladığını gösteriyor olabilir. Bu durum da ilgili reaksiyonları katalizlemekten sorumlu olan enzimlerin aktivitelerinin azalmasından kaynaklanmış olabilir. Tuz stresi altındaki buğday genotiplerine yapılan KNO_3 uygulaması ise özellikle konversiyon kat sayısının birçok genotipte artmasını sağlamış, ancak depo maddelerinin kullanım oranını ve kullanım miktarını belirgin derecede etkilememiştir. Bu sonuçlar tuz stresi uygulanan tohumlardaki depo maddelerinin yapı taşlarına katabolize edilmesi için gerekli reaksiyonların KNO_3 uygulaması ile hızlandığını, ancak bu yapı taşlarının biyosentetik

reaksiyonlardaki kullanım hızının KNO_3 uygulaması ile belirgin derecede artıramadığını göstermektedir.

Bitki dokularının biyotik ve abiyotik stres faktörlerine maruz kaldığında, AOT birikim hızlarının arttığı bilinmektedir. Bitkiler, AOT'lerin zararlı etkilerini ortadan kaldırmak için bir antioksidan sistem geliştirmişlerdir. Bu savunma sisteminin enzimatik bileşenlerinden olan APOD ve GR askorbat-glutasyon döngüsünde görev alan ve hidrojen peroksitin detoksifikasyonundan sorumlu olan iki enzimdir (Doğru ve Çakırlar, 2020a). Bu döngüde APOD doğrudan doğruya hidrojen peroksitin su ve oksijene parçalanmasını sağlarken, GR ise askorbik asidin indirgenmesini sağlar (Doğru ve Çakırlar, 2020a). Çalışmada tuz stresi uygulaması sonucu APOD aktivitesi Bozkır ve Selçuklu genotiplerinde; GR aktivitesi Bayındır, Meke, Selçuklu ve Taner genotiplerinde; GPOD aktivitesi ise Bayındır, Bozkır, Buhara, Meke ve Selçuklu genotiplerinde ilgili kontrollere göre belirgin derecede artmıştır. Bu sonuçlar bahsedilen genotiplerde tuz stresinin hidrojen peroksit birikimini indüklediğini göstermektedir. Ayrıca Bozkır ve Selçuklu genotiplerinde hidrojen peroksitin detoksifikasyonu hem APOD hem de GPOD etkisiyle gerçekleşmektedir. Tuz stresi altındaki Bayındır, Buhara ve Meke genotiplerinde hidrojen peroksitin detoksifikasyonundan GPOD enziminin sorumlu olduğu söylenebilir. KNO_3 uygulaması çalışmada kullanılan ve tuz stresi uygulanan buğday genotiplerinde aktiviteleri ölçülen enzimlerin aktivitesin üzerinde farklı etkiler yapmıştır. Örneğin APOD aktivitesi tuz stresi koşullarında KNO_3 uygulanan Bayındır ve Bozkır genotiplerinde; GR aktivitesi Bayındır ve Meke genotiplerinde; GPOD aktivitesi de Bayındır, Bozkır, Meke ve Selçuklu genotiplerinde azalmıştır. Diğer genotiplerde her üç antioksidan enzimin aktivitesi $\text{NaCl}+\text{KNO}_3$ uygulaması sonucunda sadece NaCl uygulaması ile karşılaştırıldığında etkilenmemiştir. Bu durum tuz stresi altındaki bu genotiplerde KNO_3 uygulamasının, tuz stresinin neden olduğu oksidatif stresi ve hidrojen peroksit birikimini azaltmasından da kaynaklanıyor olabilir. Bu konuda kesin bir sonuca ulaşmak için daha farklı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak çalışmanın sonuçları uygulanan tuz stresinin çalışmada kullanılan buğday genotiplerinin çoğunda fizyolojik büyüme parametrelerini olumsuz yönde etkilediğini; KNO_3 uygulamasının tuz stresinin neden olduğu büyüme inhibisyonunu özellikle koleoptillerde belli oranda ortadan kaldırdığını göstermiştir. Çimlenme parametrelerinde görülen değişimler tuz stresi altındaki tohumlarda rezerv kullanım

oranı ve miktarı ile konversiyon kat sayısının azaldığını; KNO₃ uygulamaları sonucunda makromoleküllerin parçalanma hızının arttığını ancak oluşan yapı taşlarının biyosentetik reaksiyonlarda kullanım hızının etkilenmediğini göstermiştir. Çalışmada kullanılan ve tuz stresi uygulanan buğday genotiplerinde KNO₃ uygulamasının aktivitesi ölçülen APOD, GR ve GPOD enzimlerinin indüklenmesinde etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.





KAYNAKLAR

- Agastian, P. Kingsley, S.J., Vivekanandan, M. (2000). Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica.*, 38, 287-290.
- 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
- Akgül, H., (2002). Tuzluluk. <http://www.ebkae.cjb.net>
- Akgül H., (2003). Tuzluluk. Eğirdir Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Ziraat Mühendisliği Dergisi, 340.
- Aktaş, H. (2002). Biberde Tuza Dayanıklılığın Fizyolojik Karakterizasyonu ve Kalıtımı. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, Adana, 105 sayfa.
- Alexieva, V. Ivanov, S., Sergiev, I., Karanov, E. (2003). Interaction between stresses, *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. Special Issue, 1-17.
- Allen, R. 1995. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiology*, 107(4): 1049-1054.
- Aono, M. Saji, H., Fujiyama, S., Sugita, M., 1995. Decrease in Activity of Glutathione Reductase Enhances Paraquat Sensitivity in Transgenic *Nicotiana tabacum*. *Plant Physiology*. 107, 645-648.
- Apse, M.P. ve Blumwald, E., (2007). Na⁺ Transport in Plants, *FEBS Letters*, 581, 2247- 2254.
- Arıcioglu, A.(1994): Serbest oksijen radikalleri ve hücre hasarı. Doktor. 2/3 Mayıs: 238-242.
- Asada, K., Takahashi, M., (1987). Production and Scavenging of Active Oxygen Radicals in Photosynthesis. In: D.J.Kyle Et Al. (Eds.) *Photoinhibition*. Elsevier, Amsterdam, 227-297.
- Ashraf, M. (1994). Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(1); 17-42.
- Athar, H.R. Khan, A. Ashraf, M. 2008. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*,
- Aycan, M. (2018). Türkiye'de bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinde tuza tolerans/dayanıklılık göstergesi olarak evrensel SSR markörlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması ve tuz stresi koşullarında gen ifade profillerinin incelenmesi. Yayınlanmamış doktora tezi. Ankara Üniversitesi

- Aydemir, B. Ve Karadağ Sarı, E. (2009). Antioksidanlar ve Büyüme Faktörleri ile İlişkisi. Derleme. Kocatepe Vet J (2009) 2 (2): 5660.
- Baker, N.R. Rosenqvist, E. (2004). Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany, 55(403), 1607-1621.
- Balal, R.M., Ashraf, M. Y., Khan, M. M., Jaskani, M. J. ve Ashfaq, M., (2011), Influence of salt stress on growth and biochemical parameters of citrus rootstocks, Pakistan Journal of Botany, 43(4), 2135-2141.
- Bates, L.S. Waldren, R. P., and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39, 205-207.
- Bennetzen, J.L. ve Hake, S.C., (2009). Handbook of Maize: Its Biology, Springer
- Berger J., 1962. Maize Production and the Manuring of Maize. Centre D'étude de L'azote, Geneva, Page 315.
- Blokhina, O. ve Fagerstedt, K.V., (2010). Reactive Oxygen Species and Nitric Oxide in Plant Mitochondria: Origin and Redundant Regulatory Systems, Physiologia Plantarum, 138, 447-462.
- Bohnert, H.J, D. E. Nelson and R. G. Jensen, (1995). "Adaptation to environmental stresses," Plant Cell, vol. 7, pp. 1099-1111
- Bohnert, H.J. Su, H., Shen, B. (1999). Molecular mechanisms of salinity tolerance, molecular responses to cold, drought, heat and salt stress in higher plants, Published by R.G. Landes Co., ISBN 157-059-563-1, 170p.
- Borsani, O. Valpuesta, V., Botella, M.A. (2003). Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach, Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 73, 101-115
- Borsani, O. Valpuesta, V., Botella, M.A. (2003). Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach, Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 73, 101-115.
- Botella, M.A., Rosado, A., Bressan, R.A. ve Hasegawa, P.M., (2005). Plant Adaptive Responses to Salinity Stress, Plant Abiotic Stress, Blackwell Publishing Ltd., 270p.
- Bouchereau, A., Aziz, A., Larher, F. ve Martin-Tanguy, J. (1999). Polyamines and environmental challenges: recent development. Plant Sci. 140, 103-125.
- Budak, N. Çalışkan, CF. Çaylak, Ö. (1994). Bitki büyüme regülatörleri ve tarımsal üretimde kullanımı. Ege Üniv. Zir. Fak.Dergisi, 31, 289-296.
- Büyük İ., Soydam-Aydın S. ve Aras S., (2012). Bitkilerin Stres Koşullarına verdiği Moleküler Cevaplar. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 69 (2): 97-110.
- Canavar, S. (2018). Bazı arpa (*Hordeum vulgare* L.) genotiplerinde tuz toleransının fizyolojik ve biyokimyasal olarak araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Chapman, H.D. Edwards, D.G., Blamey, F.P.C., Asher, C.J. (1997). Challenging the dogma of a narrow supply range between deficiency and toxicity of boron. In boron in soils and plants. Proceedings Editors R.W. Bell and B. Rerkasem, Pp. 151-155. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Chaudhuri, K. Choudhuri, M.A. (1997). Effect of short-term NaCl stress on water relations and gas exchange of two jute species. *Biologia Plantarum*, 40, 373-380.
- Cram, W.J. Torr, P.T., Rose, D.A. (2002). Salt allocation during leaf development and leaf fall in mangroves , *Trees*, 16, 112-119.
- Çiçek, N. ve Çakırlar, H., (2002). The Effect of Salinity on Some Physiol. Parameters in two Maize Cult..*Bulg. J.Plant Physiol.*,28(1-2),66-74.
- Dajic, Z., (2006). Salt Stress, Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants, ISBN-13 978-14020-4224-9, Dordrecht, The Netherlands, 345p.
- Davenport, R. R. James, A. Zakrisson Plogander, M. Tester and R. Munns, (2005). “Control of sodium transport in durum wheat,” *Plant Physiology*, vol. 137, pp. 807-818
- Debouba, M., Gouia, H., Suzuki, A., Ghorbel, M.H., (2006). NaCl Stress Effects on Enzymes Involved in Nitrogen Assimilation Pathway in Tomato “*Lycopersicon Esculentum*” Seedling. *Journal of Plant Physiology*, 163: 1247-1258.
- Degl’Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L. ve Navari-Izzo, F., (2009). The Effect of Salinity on Photosynthetic Activity in Potassium-deficient Barley Species, *Journal of Plant Physiology*, 166, 1968-1981.
- Demiral, T. ve Türkan, I. (2004). Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment? *J. Plant Physiol.* 161, 1089–1100. Dept. Of. Commerce, Washington Dc. 25.
- Doğan, M., Tıprıdamaz, R., Demir, Y., (2010). Effective salt criteria in callus- cultured tomato genotypes, *A. Journal of Biosciences*, 65, 613–618.
- Doğru, A., Doğru, A. (2006). *Kolza (Brassica napus ssp. oleifera)’nın bazı kışlık çeşitlerinde düşük sıcaklık toleransı ile ilgili fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerin araştırılması* [Doktora tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- Doğru, A. (2014). Farklı mısır genotiplerinde tuz stresinin antioksidant system üzerindeki etkileri. 22. Ulusal biyoloji kongresi, Eskişehir, 430.
- Doğru, A. (2019). Bitkilerde Antioksidan Sistemler ve Tuz Stresine Verdikleri Yanıtlar. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 1 (2) , 164- 185.
- Doğru, A, Çakırlar H (2020a) Is leaf age a predictor for cold tolerance in winter oilseed rape plants *Funct Plant Biol* 47:250–262.
- Doğru, A., Altundağ, H., & DüNDAR, M. Ş. (2021). Gelişmiş bitkilerde nikel elementinin fizyolojik fonksiyonları ve nikel toksisitesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(1), 1-19.

- Dölarslan, M., Gül, E. (2023). Karasal ekosistemlerde toprak tuzluluğunun bitki taksonları üzerine etkileri. A. Bilgili (Ed.), Çevreyi keşfetme, tanıma ve korumayla ilgili yeni gelişmeler içinde (s.66-78). Bidge Yayınları.
- Dubey, R. S. ve Singh, A.K. (1999). Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolizing enzymes in rice plants. *Biol. Plant.* 42, 233–239.
- Ehret, D.L., Remann, R.E., Harvey, B.L. and Cipywnyk, A., 1990. Salinity-induced Ca defic. in wheat and barley. *Plant Soil.* 128, 143-151.
- Esim N. (2011). Nitrik oksitin mısırdaki (*Zea mays*) düşük sıcaklık stresi toleransı üzerine etkisi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora Tezi), Erzurum.
- Eyidogan, F. Oz, M.T. (2005). Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29, 485-493.
- Ferroni, L. Baldiserrotto, C., Pantaleoni, I., Billi, P., Fasulo, M.P., Pancaldi, S. (2007). High salinity alters chloroplast morpho-physiology in a fresh water *Kirchneriella* species (Selenastraceae) from Ethiopian lake Awasa , *American Journal of Botany*, 94(12).
- Foyer, C.H. Harbinson, J. (1994). Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport. In: Foyer CH, Mullineaux P, eds. *Causes of Photooxidative Stresses and Amelioration of Defense Systems in Plants*. Boca Raton, FL. CRC Press, 1-42.
- Foyer, C. H., Souriau, N., Perret, S., Lelandais, M., Kunert, K. J., Pruvost, C., & Jouanin, (1995). Overexpression of glutathione reductase but not glutathione synthetase leads to increases in antioxidant capacity and resistance to photoinhibition in poplar trees. *Plant physiology*, 109(3), 1047-1057.
- Foyer, C.H. Lopez-Delgado, H., Dat, J.F., Scott, I.M. (1997). Hydrogen peroxide and glutathione associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. *Article in Physiologia Plantarum*, 100(2): 241-254.
- Fridovich, I. 1995. Superoxide radical and superoxide dismutases, *Annual Review Biochemistry*, 64, 97-112.
- Gabor, G., Simon-Sarkadi, L., Bekes, F. ve Erdei, L., (1986). Genotype specific changes in amino acid ve polyanime of wheat tissue culture induced by osmotic stress. *Advances in Agricultural Biotechnology* 170-176.
- Galston, A.W. ve Sawhney, R.K., (1990). Polyamines in Plant Physiology, *Plant Physiology*, 94, 406-410.
- Galston, A.W. Kaur-Sawhney, R., Atabella, T., Tiburcio, A.F. (1997). Plant polyamines in reproductive activity and response to abiotic stress. *Bot. Acta.*, 110, 197–207.
- Genişel, M. (2010). Kemik tozu solüsyonu, CaCl₂ ve IAA uygulamalarının tuz stresi altındaki fasulye (*Phaseolus vulgaris*) bitkisinin fizyolojik parametreleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Ghasemi, R., Chavoshi, Z. Z., Boyd, R. S., & Rajakaruna, N. (2014). A preliminary study of the role of nickel in enhancing flowering of the nickel hyperaccumulating plant *Alyssum inflatum* Nyár.(Brassicaceae). *South African Journal of Botany*, 92, 47-52.
- Gheibi, M. N., Malakouti, M. J., Kholdebarin, B., Ghanati, F., Teimouri, S., & Sayadi, R. (2009). Significance of nickel supply for growth and chlorophyll content of wheat supplied with urea or ammonium nitrate. *Journal of plant nutrition*, 32(9), 1440-1450.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Govindjee. (2004). Klorofil bir floresan: biraz temel bilgiler ve tarihçe. *Klorofil'de bir floresan: fotosentezin bir imzası* (s. 1-41). Dordrecht: Springer Hollanda.
- Gratão, P. , Monteiro, C. C., Tezotto, T., Carvalho, R. F., Alves, R., Peters, P., & Azevedo, R. A. (2015). Cadmium stress antioxidant responses and root-to-shoot communication in grafted tomato plants. *Biometals*, 28(5), 803-816.
- Güleriüz, M. (1982). Bahçe ziraatında büyütücü ve engelleyici maddelerin kullanılması ve önemi. *Atatürk Üniversitesi Yayınları*, 279.
- Gündüz, E. v. (2014). *Yaşam biyolojisi*. Palme yayıncılık dokuzuncu baskıdan çeviri, ISBN: 978-605-355-261-1.
- Güneş, A., İnal, A., Bağcı, E. G. & Pilbeam, D., (2007). *Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil*. *Plant and Soil*, 290(1), pp. 103- 114.
- Gürel, A., & Avcioğlu, R. (2001). Bitkilerde strese dayanıklılık fizyolojisi. *Bitki Biyoteknolojisi II, Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları*, 21, 308-313.
- Haag-Kerwer, A., Schäfer, H. J., Heiss, S., Walter, C., & Rausch, T. (1999). Cadmium exposure in *Brassica juncea* causes a decline in transpiration rate and leaf expansion without effect on photosynthesis. *Journal of experimental botany*, 50(341), 1827-1835.
- Hale, M. G. Orcutt, D.M. (1987). *The Physiology of Plants under Stress*, John Wiley&Sons. New York, 1-4.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press, USA.
- Halliwell, B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant physiology*, 141(2), 312-322
- Hao, F., Wang, X., & Chen, J. (2006). Involvement of plasma-membrane NADPH oxidase in nickel-induced oxidative stress in roots of wheat seedlings. *Plant Science*, 170(1), 151-158.
- Hernandez, J.A. Olmos, E., Corpas, F.J., Sevilla, F. ve Del Rio , L.A., (1995). Saltinduced oxidative stress in chloroplasts of pea plants, *Plant Science*, 1005, 151- 167.

- Hernandez, J.A. Campillo, A., Jimenez, A., Alacon, J.J., Sevilla, F. (1999). Response of antioxidant systems and leaf water relations to NaCl stress in pea plants. *New Phytologist*, 141, 241-251.
- Hussein, T. M. et al., (2008). Recent Advances in Salt Stress Biology a Review. *Biotechnology and Molecular Biology Review.*, pp. 8-13.
- Hurkman, W.J. Fornari, C.S., Tanaka, C.K. (1989). A comparison of the effect of salt on polypeptide and translatable mRNA in roots of a salt tolerant and salt sensitive cultivar of Barley. *Plant Physiology*, 90, 1444-1456.
- Jain, M. Mathur, G., Koul, S. ve Sarin, N. (2001). Ameliorative effects of proline on salt stress-induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogea* L.), *Plant Cell Reports*, 20(5): 463-468.
- Jamei, R. Heidari, R., Khara, J., Zare, S. (2009). Hypoxia induced changes in the lipid peroxidation , membrane permeability, reactive oxygen species generation , and antioxidative response systems in *Zea mays* leaves, *Turkish Journal of Biology*, 33, 45-52.
- Jimenez, A. Hernandez J.A., Pastori G, del Rio LA, Sevilla F. (1998). Role of the ascorbate-glutathione cycle of mitochondria and peroxisomes in the senescence of pea leaves. *Plant Physiology*, 118, 1327-1335.
- Kacar, B. ve A. V. Katkat, (1988). Bitki Besleme . Uludağ Üniversitesi Geliştirme Vakfı Yayın No: 127. Vipaş Yayınları 3. Özsan Matbaası, Bursa. s: 595.
- Kacar, B., Katkat, A.V. ve Öztürk, Ş., 2002, Bitki Fizyolojisi, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:198, Bursa.
- Kacar, B., 2005. Potasyumun bitkilerde işlevleri ve kalite üzerine etkileri. Ege Üniversitesi'nin 50. Kuruluş Yılı Etkinlikleri, Çalıştay, 3-4 Ekim, Eskişehir, s: 20- 31.
- Kacar, B., Katlav, V., Öztürk, Ş., Bitki Fizyolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2006.
- Kacar, B. (2015). *Genel Bitki Fizyolojisi* (1. Baskı, ss 1-539). Göktuğ Ofset Matbaacılık.
- Sönmez, E. (2019). *Tuz stresi altındaki mısır (Zea mays) bitkisinde potasyum uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal etkisinin araştırılması*. [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Kanber, R., Kırdar, C. & Tekinel, O., 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın . Adana: Ders Kitapları Yayın, p. No:21.
- Kalefetoğlu, T. Ekmekçi., Y. 2005. The effect of drought on plant salt tolerance mechanism. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4): 723-740.
- Karadavut, U., 1997. Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri. *K.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2(1):57-72.
- Kılınç, K. & Kılınç, A., 2002. Oksijen toksisitesinin aracı molekülleri olarak oksijen radikalleri. *Hacettepe Tıp Dergisi*, Cilt 33, pp. 110-118.

- Koyro, H.-W., (2002). Ultrastructural Effects of Salinity in Higher Plants. Salinity: Environment-Plants-Molecules. Dordrecht, The Netherlands: Published by Kluwer Academic Publishers, p. 522.
- Kumlay, A. M. & Eryiğit, T., (2011). Bitkilerde Büyüme ve Gelişmeyi Düzenleyici Maddeler: Bitki Hormonları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), pp. 47-56.
- Kurban, H. Saneoka, H., Nehira, K., Adilla, R., Premachandra, G.S., Fujita, K. (1999). Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* (Bieb.). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45, 851–862.
- Kuşcu, S. (2021). *Estimation of possible effects of climate change on wheat (Triticum) yield in Konya* [Doktora Tezi]. Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Kuşvuran, Ş., Yaşar, F., Abak, K., ve Ellialtıoğlu, Ş., “Tuz stresi altında yetiştirilen tuza toleran ve duyarlı *Cucumis* sp.’nin bazı genotiplerinde lipid peroksidasyonu, klorofil ve iyon miktarlarında meydana gelen değişimler”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi* (J. Agric. Sci.), 18 (1): 13- 20 (2008).
- Kuşvuran Ş., 2010. Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları Arasındaki Bağlantılar, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilimdalı, Adana.
- Lambert, A. J., & Brand, M. D. (2009). Reactive oxygen species production by mitochondria. *Mitochondrial DNA: methods and protocols*, 165-181.
- Larson, R. A. (1988). The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry*, 27, 969-978.
- Lauchli, A. ve R. Pflüger, 1978. Potassium transport through plant cell membranes and metabolic role of potassium in plants. In: Potassium research- Review and Trends. Potash Inst. Bern. p: 111-163
- Lechno, S., Zamski, E., & Tel-Or, E. (1997). Salt stress-induced responses in cucumber plants. *Journal of Plant Physiology*, 150(1-2), 206-211.
- Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses*, 497.
- Linchtenthaler, H. K. (1998). The stress concept in plants. *Annals of New York Academy of sciences*, 851, 187-198.
- Malkin R., ve Niyogi K., (2000). Photosynthesis. In: Biochemistry and Molecular Biology of Plants, Buchanan B, Gruissem W, Jones R, eds (Rockville, MD: American Society of Plant Physiologists), pp. 568–628.
- Mansour, M.M.F., (1998). Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 36(10): 767-772.
- Malkoç, M., ve Aydın, A., (2003). Mısır (*Zea Mays* L.) ve fasulye (*Phaseolus Vulgaris* L.)’nin gelişimi ve bitki besin maddeleri içeriğine farklı tuz uygulamalarının etkisi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 34 (3): 211–216

- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, pp: 60, 379-396.
- Matsumura, T. Kanechi, M., Inagaki, N., Maekawa, S. 1998. The effects of salt stress on ion uptake, accumulation of compatible solutes, and leaf osmotic potential in safflower, *Chrysanthemum paludosum* and sea aster. *Journal of the Japanese Society Horticultural Science*, 67, 426-431.
- Mansour, M.M.F. 1998. "Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 36, pp. 767–772.
- Mansour, K.H.A. Salama, F.Z.M. Ali, and A.F.A. Hadid, 2005. "Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. Cultivars differing in salt tolerance," *General and Applied Plant Physiology*, vol. 31, pp. 29-41.
- Maurel, C. Chrispeels, M.J. 2001. Aquaporins. A molecular entry into plant water relations, *Plant Physiology*, 125, 135-138.
- Mehlar, A.H. (1951). Studies on reactions of illuminated chloroplasts. I. Mechanism of the reduction of oxygen and other Hill reagents *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 33(1): 65-77.
- Meloni, D.A. Oliva, M.A., Martinez, C.A., Cambraia, J. (2003). Photosynthesis and activity of superoxide dismutase , peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress, *Enviromental and Experimental Botany*, 49, 69-76.
- Meloni, D.A. Oliva, M. A., Ruiz, H.A., Martinez, C.A. (2001). Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 599–612.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7, 405-410.
- Mugdal, V. Madaan, N., Mudgal, A. (2010). Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: a review. *International Journal of Botany*, 6(2): 136-143
- Munns, R. (2002) "Comparative physiology of salt and water stress," *Plant Cell and Environment*, vol. 25, pp. 239–250.
- Munns and M. Tester, (2008). "Mechanisms of salinity tolerance," *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, pp. 651-681.
- Nable, R.O. (1988). Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars - a preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant and Soil*, 112, 1, 45-52.
- Naqvi, S.S.M. Ansari, R., Kuawada, A.N. (1982). Responses of salt stressed wheat seedlings to kinetin. *Plant Science Letters*, 26, 279–283.
- Niu, X. Bressan, R.A., Hasegawa, P.M., Pardo, J.M. (1995). Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109(3): 735-742.
- Oukarroum, A. Bussotti, F., Goltsev, V., ve Hazem, M.K. (2015). *Environmental and Experimental Botany* 109. Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemna gibba* L. *Plants under salt stress.*, 80-88.

- Örs, S. ve Ekinci, M. (2015). *Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi*. *Derim*, 32 (2):237-250
- Pan, Y. Wu, L.J., Yu, Z.L. 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch), *Plant Growth Regulation*, 49, 157-165.
- Parida, A.K. Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a Review, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349.
- Parida, A.K. Das, A.B., Mohant, P. 2004. Investigations on the antioxidative defense responses to NaCl stress in a mangrove, *Bruguiera parvi flora*: differential regulations of isoforms of some antioxidative enzymes. *Plant Growth Regulation*, 42, 213-226.
- Parvaiz, A. Satyawati, S. 2008. Salt stress and phytochemical responses of *Planta* Review. *Plant Soil Environment*. 54(3): 89-99.
- Sgherri, C. M., Loggini, B., Puliga, S., & Navari-Izzo, F. (1994). Antioxidant system in *Sporobolus stapfianus*: changes in response to desiccation and rehydration. *Phytochemistry*, 35(3), 561-565.
- Soltani F, Kashi F, Arghavani M. 2006. Effect of Magnetic Field on *Asparagus officinalis* L. Seed Germination and Seedling Growth. *Seed Science and Technology*, 34(5), 349-353
- Srivalli, B., Chinnusamy, V., & Khanna-Chopra, R. (2003). Antioxidant defense in response to abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Biology-New Delhi*, 30(2), 121-140.
- Sivritepe, N. (2001). Doğada oksidatif stres: asma, üzüm ve şarapta antioksidantlar. *Anadolu, J. Of Aarı* 11 (2), 108 - 135 Mara.
- Tiryakioğlu, M., Karanlık, S., Aslanyürek, D., (2014). Farklı su baskını sürelerinin ekmeklik buğday fidelerinde yaprak alanı, kuru madde ve klorofil içeriğine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(2): 281-288.
- Toksoy, S., & Doğru, A. (2021). Tuz stresi altındaki hıyar bitkilerinde ekzojen askorbik asit uygulamalarının fotosistem II aktivitesi üzerindeki etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(4), 757-765.
- Torlak, E. (2019). *Tuz stresi altındaki mısır(Zea mays) bitkisinde askorbik asit uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal etkisinin araştırılması* [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Turan, M.A., Elkarim, A.H.A., Tabna, N., ve Taban, S., 2009. Effect of Salt Stress on Growth, Stomatal Resistance, Proline and Chlorophyll Concentrations on Maize Plant. *African Jour. of Agricul. Research*, 4(9): 893-897. *Biotech.*, 17 (2): 217-220 (2007).
- Türkan, I. Demiral, T. (2009). Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 2-9
- Wang, W. Vinocur, B., Altman, A. (2003). Plant responses to drought. Salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, *Planta*. 218, 1-14.

- Willekens, H., Villarroel, R., Van Montagu, M., Inzé, D., & Van Camp, W. (1994). Molecular identification of catalases from *Nicotiana plumbaginifolia*. *Febs Letters*, 352(1), 79-83.
- Wu, S.J. Ding, L., Zhu, J.K. (1996). SOS1, a genetic locus essential for salt tolerance and potassium acquisition. *The Plant Cell*, 8, 617-627.
- Yaşar, F. Ellialtıoğlu, Ş., Özpaya, T., and Uzal, Ö. Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi. *Journal of Agricultural Science*, 18(1): 61-65. (2008). Tuz stresinin karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) antioksidatif enzim (SOD, CAT, APX ve GR) aktivitesi üzerine etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat
- Yılmaz, M. & Bayram, G. (2019). Bazı yonca çeşitlerinin farklı tuz konsantrasyonlarında çimlenme özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (2), 169-176. 10.24925/turjaf.v7isp2.169-176.3194
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, 6(2): 66-71.
- Zhu, J.K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants, *Annual Review of Plant Biology*, 53, 247-73.
- Zhu, J. Meinzer, F.C. (1999). Efficiency of C-4 photosynthesis in *Atriplex lentiformis* under salinity stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 26, 79-86.
- Zhu, J.K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45, 437-448.
- Zou, M. Y., Nie, S. P., Yin, J. Y., & Xie, M. Y. (2020). Ascorbic acid induced degradation of polysaccharide from natural products: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 483

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tuba TÜFEKÇİ

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans : 2012, Sakarya Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilimleri Öğretmenliği
- Yüksek lisans : Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Ana Bilim Dalı (Halen devam)

MESLEKİ DENEYİM:

- 2013 yılından beri Milli Eğitim Bakanlığı'nda kadrolu Fen bilimleri Öğretmeni olarak görev yapmaktayım.

TEZDEN TÜRETİLMİŞ ESERLER:

- “ Tuz Stresi Altındaki Bazi Buğday (*Triticum Aestivum* L.) Genotiplerinde Potasyum Nitrat Uygulamalarının Etkisinin Fizyolojik Olarak Araştırılması” adlı makale

