

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) GENOTİPLERİNDE NİKEL
TOKSİSİTESİ ETKİLERİNİN ÇİMLENME VE ERKEN FİDE
EVRESİNDE FİZYOLOJİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba ÖZDEMİR

Biyoloji Anabilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) GENOTİPLERİNDE NİKEL
TOKSİSİTESİ ETKİLERİNİN ÇİMLENME VE ERKEN FİDE
EVRESİNDE FİZYOLOJİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba ÖZDEMİR

Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Ali DOĞRU

TEMMUZ 2024

Tuğba ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Bazı Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinin Nikel Toksisitesi Etkilerinin Çimlenme ve Erken Fide Evresinde 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 YILDIZ 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 “Bazı Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinin Nikel Toksisitesi Etkilerinin Çimlenme ve Erken Fide Evresinde Fizyolojik Olarak Araştırılması” 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)

Tuğba ÖZDEMİR





Alper'ime...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez sürecimi yöneten ve hazırlanma aşamasında desteğini ve anlayışını eksik etmeyen, tecrübelerinden ve bilgilerinden yararlandığım saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞRU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Sezen TOKSOY KÖSEOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Tohum temini sırasında verdikleri destekten dolayı Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım

Tez sürecimde destek ve yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans dönem arkadaşlarım, Gamze Eylül TÜZÜNER ve Merve YILMAZ KAÇAR'a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans süresince, desteklerini esirgemeyen, en zor ve sancılı günlerimde hep yanımda olan Sema Hilal UYAN YALÇIN ve değerli eşi Doç.Dr. Caner YALÇIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Sonsuz destek ve anlayışıyla hep yanımda olan ve bana inanan annem Nuriye KAHRAMAN, babam Mustafa KAHRAMAN ve kardeşim Şeyma KAHRAMAN BAŞ'a, teşekkür ederim.

Eşim Ferhat İsmail ÖZDEMİR'e, en çok da yaşama bakış açımı değiştiren, varlığıyla bana güç veren, canım oğlum Alper'ime teşekkür ederim.

Tuğba ÖZDEMİR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
ŞİMGELER	xvii
TABLO LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Bitkilerde Büyüme ve Gelişme	5
2.2. Bitkilerde Büyüme ve Gelişmeyi Etkileyen Faktörler	5
2.2.1. Dışsal faktörler	5
2.2.2. İçsel faktörler	6
2.3. Bitkilerde Stres	7
2.3.1. Bitkilerin strese verdiği cevaplar	8
2.3.1.1. Stresten kaçma	10
2.3.1.2. Stresten sakınma	10
2.3.1.3. Stres adaptasyonu ve aklımasyonu	11
2.3.1.4. Stres toleransı	11
2.4. Oksidatif Stres	12
2.4.1. Aktif oksijen türleri	13
2.4.1.1. Singlet oksijen ($^1\text{O}_2$)	13
2.4.1.2. Süperoksit radikali (O_2^-)	13
2.4.1.3. Hidroksil radikali ($\text{OH}^\cdot$)	14
2.4.1.4. Hidrojen peroksit (H_2O_2)	14
2.4.2. Oksidatif stresin hücrel makromoleküllere etkileri	15
2.4.2.1. Lipit peroksidasyonu	15
2.4.2.2. DNA oksidasyonu	16
2.4.2.3. Protein oksidasyonu	16
2.4.2.4. Karbonhidrat oksidasyonu	16
2.5. Antioksidant Sistem	17
2.5.1. Enzimatik antioksidanlar	17
2.5.1.1. Süperoksit dismutaz (SOD)	17
2.5.1.2. Askorbat peroksidaz (APOD)	18
2.5.1.3. Glutasyon redüktaz (GR)	18
2.5.1.4. Katalaz (KAT)	19
2.5.1.5. Guaiakol peroksidaz (GPOD)	19
2.5.2. Enzimatik olmayan antioksidantlar	19
2.5.2.2. Glutasyon	20

2.5.2.5. Fenolik bileşikler	21
2.6. Nikel (Ni).....	22
2.6.1. Nikelin bitkiler üzerindeki etkileri	23
2.6.1.1. Büyüme ve gelişmeye etkileri	23
2.6.1.2. Su alımı ve taşınmasına etkileri	24
2.6.1.3. Tohum çimlenmesine etkileri.....	25
2.6.1.4. Fotosenteze etkileri	25
2.6.1.5. Azot metabolizmasına etkileri.....	26
2.6.2. Karbohidrat metabolizmasına etkileri	26
2.7. Klorofil a Floresans Tekniği.....	27
2.8. Buğday Bitkisi	29
2.8.1. Buğday bitkisinin kökeni	29
2.8.2. Buğday bitkisinin sınıflandırılması	30
2.8.3. Buğday bitkisinin morfolojik özellikleri	33
2.8.4. Buğday bitkisinin iklim ve toprak isteği	34
2.8.5. Dünyada buğday üretimi	34
2.8.6. Türkiye’de buğday üretimi.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1. Bitki Materyali.....	37
3.2. Kullanılan araç ve gereçler	37
3.3. Çimlenme evresi	37
3.3.1. Çalışmaların deneysel planlaması	37
3.3.2. Kök ve koleoptil boyunun belirlenmesi	38
3.3.3. Kök ve koleoptillerin taze ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi	38
3.3.4. Bazı çimlenme parametrelerinin belirlenmesi.....	38
3.3.5. Kök ve koleoptillerin gerçek ve oransal büyüme hızının belirlenmesi....	38
3.3.6. İstatistiksel analizler.....	38
3.4. Erken fide evresi.....	39
3.4.1. Bitki yetiştirme ve deneysel planlama	39
3.4.2. Kök ve gövde boylarının belirlenmesi	39
3.4.3. Kök ve gövdelerin taze ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi	39
3.4.4. Toplam süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin belirlenmesi (1.15.1.1)	40
3.4.5. Toplam askorbat peroksidaz (APOD) aktivitesinin belirlenmesi (1.11.1.11)	40
3.4.6. Toplam glutatyon redüktaz (GR) aktivitesinin belirlenmesi (1.6.4.2)... ..	40
3.4.7. Toplam guaiakol peroksidaz (GPOD) aktivitesinin belirlenmesi(1.11.1.7)	41
3.5. Klorofil a Floresansı Ölçümleri.....	41
3.6. İstatistiksel Analizler.....	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	43
4.1. Nikel Uygulamalarının Çimlenme Evresi Üzerine Etkisi	43
4.1.1. Kök uzunluğu, gövde uzunluğu ve toplam boy uzunluğuna etkisi	43
4.1.2. Kök taze ağırlık, kök kuru ağırlık, koleoptil taze ağırlık ve koleoptil kuru ağırlık üzerine etkisi	44
4.1.3. Kök ve gövde gerçek büyüme hızına, kök ve gövde oransal büyüme hızına etkisi	46
4.1.4. Kullanılan rezerv miktarı, konversiyon katsayısı ve rezerv tüketimine etkisi	48
4.2. Nikel Uygulamalarının Buğday Genotiplerinde Fide Evresi Bulguları	52

4.2.1. Kök, gövde ve toplam boy uzunluğuna etkisi.....	52
4.2.2. Kök taze ve kuru ağırlığı ve gövde taze ve kuru ağırlıklığına etkisi.....	53
4.2.3. Bazı antioksidant enzim aktivitelerine etkisi	55
4.2.4. Fotosentetik aktivite üzerine etkisi	56
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	63
5.1. Çimlenme evresi.....	63
5.2. Erken fide evresi.....	67
KAYNAKLAR	73
EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ.....	101





KISALTMALAR

ABA	: Absisik asit
APO	: Apoplast
APOD	: Askorbat peroksidaz
AOT	: Aktif oksijen türleri
ATP	: Adenozin tri fosfat
DNA	: Deoksiribonükleik asit
ER	: Endoplazmik retikulum
FS I	: Fotosistem I
FS II	: Fotosistem II
GPOD	: Glutasyon peroksidaz
GR	: Glutasyon redüktaz
SOD	: Süperoksit dismutaz



SİMGELER

$^1\text{O}_2$	: Singlet oksijen
Ca	: Kalsiyum
Fe	: Demir
H_2O_2	: Hidrojen peroksit
mM	: Mikromolar
Ni	: Nikel
Nm	: Nanometre
μs	: Mikrosaniye
O_2^-	: Süperoksit radikali
OH^-	: Hidroksil radikali
ppm	: Milyonda bir kısım
Q_A	: Kinon A
Zn	: Çinko



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Çeşitli faktörlere bağlı olarak bitkilerin oluşturabileceği stres cevapları. .9	
Tablo 2.2. Bazı antioksidant enzimler ve bileşikler. 17	17
Tablo 2.3. Nikel elementinin bazı özellikleri 22	22
Tablo 2.4. JIP testinden elde edilen bazı parametreler ve tanımları 28	28
Tablo 2.5. Buğday bitkisinin sınıflandırılması. 30	30
Tablo 2.6. Yabani buğday tür ve alt türleri, ploidi düzeyleri, kromozom sayıları, genom formülleri ve bilinen isimleri. 32	32
Tablo 2.7. Bazı ülkelerin buğday ekim alanları (bin hektar). 34	34
Tablo 2.8. Bazı ülkelerin buğday üretim miktarı (1000 Ton) 35	35
Tablo 2.9. Yıllara göre buğday ekim alanı, üretim ve verimi (Anonim, 2023b). 36	36
Tablo 4.1. Farklı konsantrasyonlarda nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) toksisitesine maruz bırakılan buğday genotiplerinde kök ve koleoptil boylarına göre hesaplanan tolerans indeksleri ve genotiplerin aldığı toplam puan. 51	51



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Oksidatif denge	1
Şekil 2.1.	Çeşitli faktörlere bağlı olarak bitkilerin oluşturabileceği stres cevapları ...	10
Şekil 2.2.	Enerji aktarım sistemi ile AOT oluşumu.	12
Şekil 2.3.	AOT'lerin bitki hücrelerindeki hedefleri (Carocho ve Ferreira, 2013)	15
Şekil 2.4.	Bitkilerde nikel toksisitesinin çeşitli metabolik olaylar üzerindeki etkisi	24
Şekil 2.5.	Buğdayın orijininin Türkiye'yi kapsayan alanları	29
Şekil 2.6.	Ata buğdaylara ait başak şekilleri (Yabani siyez 1; Urartu Buğdayı 2; Ak buğday anası 3; Tesbih buğdayı 4) (Anonim, 2023a).	30
Şekil 2.7.	Buğday tanesinin yapısı (Anonim, 2007)	33
Şekil 2.8.	Buğday tanesindeki temel unsurların dağılımı	33
Şekil 2.9.	Türkiye buğday üretiminde önemli illerin payları	36
Şekil 4.1.	Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök uzunluğu, (b) koleoptil uzunluğu ve (c) toplam boy uzunluğuna etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir].	44
Şekil 4.2.	Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 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 ile gösterilmiştir].	46
Şekil 4.3.	Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök gerçek büyüme hızı, (b) koleoptil gerçek büyüme hızı, (c) kök oransal büyüme hızı ve (d) koleoptil oransal büyüme hızı üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir].	48
Şekil 4.4.	Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) uygulamalarının farklı buğday genotiplerinin tohumlarındaki (a) kullanılan rezerv miktarı, (b) konversiyon kat sayısı ve (c) rezerv tüketimi üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir].	50
Şekil 4.5.	Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) kök uzunluğu, (b) gövde uzunluğu ve (c) toplam boy uzunluğuna etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler üç tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].	53
Şekil 4.6.	Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) kök taze ağırlığı, (b) kök kuru ağırlığı (c) gövde taze ağırlığı ve (d) gövde kuru ağırlığı üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın	

- anlamalı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler üç tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)]. 54
- Şekil 4.7.** Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) toplam süperoksit dismutaz, (b) toplam askorbat peroksidaz (c) toplam glutatyon redüktaz ve (d) toplam guaiakol peroksidaz aktivitesi üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler üç tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)]. 55
- Şekil 4. 8.** Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) tFm, (b) alan, (c) Fo, (d) Fm, (e) Fv/Fm, (f) Fv/Fo, (g) $\Delta V/\Delta t_o$ ve (h) ϕP_o üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler yedi tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)]. 58
- Şekil 4. 9.** Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) DIO/RC, (b) SFI(abs), (c) RC/ABS, (d) $\phi_o/(1-\phi_o)$, (e) $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ ve (f) PI(abs) üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler yedi tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)]. 59
- Şekil 4.10.** Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) DIO/RC, (b) SFI(abs), (c) RC/ABS, (d) $\phi_o/(1-\phi_o)$, (e) $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ ve (f) PI(abs) üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler yedi tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)]. 60
- Şekil 4.11.** Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinin fotosentetik aktivitesi üzerindeki etkisi [(a) spesifik membran modeli ve (b) fenomenolojik verim modeli; boş halkalar sağlam, koyu renkli halkalar hasar görmüş reaksiyon merkezlerini göstermektedir] 61

BAZI BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) GENOTİPLERİNDE NİKEL TOKSİSİTESİ ETKİLERİNİN ÇİMLENME VE ERKEN FİDE EVRESİNDE FİZYOLOJİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisine ait yedi farklı genotipin (Cumhuriyet-75, Efe, Gönen-98, Kaşifbey-95, Kayra, Meltem ve Ziyabey-98) çimlenme ve erken fide evresinde nikel toleransları araştırılmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada kurulan denemede buğday genotipine çimlenme aşamasında farklı konsantrasyonlarda (0, 200, 400, 600, 800 ve 100 ppm) nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) çözeltileri uygulanmış, denemenin sekizinci gününde hasat yapılarak bazı çimlenme ve fizyolojik büyüme parametreleri ölçülmüştür. Buna göre fidelerin kök, koleoptil ve toplam boyu; kök ve koleoptillerin taze ve kuru ağırlığı; kök ve koleoptillerin gerçek ve oransal büyüme hızı; tohumlardaki kullanılan depo maddelerinin miktarı, konversiyon kat sayısı ve depo maddelerinin tüketimi (%) uygulanan nikel konsantrasyonuna bağlı olarak azalmıştır. Kök ve koleoptil boyları esas alınarak hesaplanan tolerans indekslerine göre yapılan puanlama sonucunda çimlenme evresinde nikel toksisitesine en dayanıklı genotipin Ziyabey-98, en duyarlı genotipin ise Cumhuriyet-75 olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotipleri kullanılarak saksı denemeleri kurulmuş ve 200 ppm nikel uygulaması yapılmıştır. Nikel toksisitesi Ziyabey-98 genotipinde kök büyümesinin, Cumhuriyet-75 genotipinde ise gövde büyümesinin ilgili kontrollere göre önemli derecede inhibe olmasına yol açmıştır. Bu sonuç her iki genotipin kök ve gövde büyümesinin nikel toksisitesine farklı derecede toleransa sahip olduğunu göstermiştir. Kök ve gövdenin taze ve kuru ağırlıklarında nikel toksisitesi etkisiyle meydana gelen değişimler, her iki genotipte de gövdenin daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Toplam SOD aktivitesi nikel uygulanan Ziyabey-98 genotipinde artmış, Cumhuriyet-75 genotipinde değişmemiştir. Bu durum muhtemelen Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesinin yaprak dokularındaki süperoksit birikiminin artmasından kaynaklanmıştır. Toplam APOD aktivitesi nikel uygulaması sonucunda Cumhuriyet-75 genotipinde azalmış, Ziyabey-98 genotipinde artmıştır. Toplam GR aktivitesi ise nikel toksisitesi altındaki Cumhuriyet-75 genotipinde değişmemiş, Ziyabey-98 genotipinde artmıştır. Bu sonuçlar nikel uygulanan Ziyabey-98 genotipinde askorbat-glutasyon döngüsünün aktif olduğunu ve etkili bir şekilde H_2O_2 detoksifikasyonunun gerçekleştiğini göstermektedir. Toplam GPOD aktivitesi ise nikel toksisitesi altındaki her iki genotipte de değişmemiştir. Ölçülen klorofil a floresansı ve hesaplanan JIP testi parametrelerinde gözlenen değişimler, Cumhuriyet-75 genotipinde fotosentetik birimlerin ve elektron taşınım reaksiyonlarının nikel toksisitesinden etkilenmediğini; Ziyabey-98 genotipinin ise olumsuz yönde etkilendiğini göstermiştir.

Buna göre her iki genotipin çimlenme ve erken fide evresinde nikel toksisitesine karşı tolerans ve duyarlılık derecelerinin farklı olduğu, erken fide evresinde uygulanan nikel toksisitesinin Ziyabey-98 genotipinde fotosentetik elektron taşınım reaksiyonlarını bozarak oksidatif strese neden olduğu söylenebilir.



PHYSIOLOGICAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NICKEL TOXICITY IN SOME WHEAT (*Triticum aestivum* L.) GENOTYPES AT THE GERMINATION AND EARLY SEEDLING STAGE

SUMMARY

In this research, the growth parameters and some physiological and biochemical changes caused by nickel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) stress on the germination and seedling stages of the wheat (*Triticum aestivum* L.) plant were studied.

In the first stage, different concentrations of nickel (200, 400, 600, 800 and 1000 ppm) solution were used to apply on seven different genotypes of wheat plants (Cumhuriyet-75, Efe, Kayra, Gönen-98, Kaşifbey-95, Meltem and Ziyabey-98). has been prepared. The same number of seeds and the same size were placed in the containers between filter papers moistened with their own solution, in five replicates. On the third day, 1 mM intermediate irrigation was applied with its own concentrations, and on the eighth day it was harvested and relevant analysis and measurements were made.

As a result of nickel application, it was determined that there was a statistical decrease in total root and stem length compared to the control in all genotypes ($p < 0.05$). A statistically significant decrease in root fresh weight was observed at concentrations of 400 ppm and above for all genotypes ($p < 0.05$). When the root dry weight was examined, the most resistant genotype was Kaşifbey-95, with no significant change ($p > 0.05$).

When the stem fresh weights are compared to the control, significant inhibition is observed at concentrations of 600 ppm and above for all genotypes ($p < 0.05$). Kaşifbey-95 was the most affected by the decrease in hull dry weight due to nickel application ($p < 0.05$).

All nickel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) concentrations applied to Efe and Ziyabey-98 genotypes caused a significant decrease in the actual growth rate in the root ($p < 0.05$). All nickel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) concentrations (200, 400, 600, 800 and 1000 ppm) applied on Gönen-98, Cumhuriyet-75, Ziyabey-98 genotypes caused a significant change in the decrease in the actual growth rate of the trunk compared to the control group ($p < 0.05$). The relative growth rate of root and stem was significantly inhibited in Efe, Kayra, Gönen-98, Meltem and Ziyabey-98 genotypes at concentrations of 600 ppm and above, and this was statistically significant ($p < 0.05$).

Gönen-98 ve Ziyabey-98 genotipleri 200 ppm ve üzeri konsantrasyonlarda uygulanan nikel kontrole göre istatistiki açıdan önemli olan kullanılan rezerv miktarında azalmaya sebep olmuştur ($p < 0.05$). Statistically, nickel application of 200 ppm and above caused a significant decrease in Kaşifbey-95 and Kayra genotypes. Nickel application significantly reduced the reserve consumption (%) rate of the Meltem genotype at all concentrations ($p < 0.05$).

When compared among the wheat genotypes studied, it was concluded that the most damaged and most sensitive genotype against nickel toxicity was Cumhuriyet-75, and the least damaged and most resistant genotype was Ziyabey-98.

In the second stage, approximately the same size and sound seeds of two genotypes of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes, Cumhuriyet-75 and Ziyabey-98, were selected. Seeds were placed between filter papers moistened with bidistilled water in lidded containers. The containers were left to germinate in a climate cabinet at 24 °C and 40-50% relative humidity. Three days later, uniform seedlings of both genotypes were transferred to pots containing perlite and ½ diluted Hoagland nutrient solution and maintained at 18/25 °C temperature (day/night), 16/8 hour photoperiod (day/night), 50±5% relative humidity and 200 µmol photons were placed in a climate cabinet with a light intensity of $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Twelve day old plants are divided into 2 groups.

The control plants in the first group were watered with ½ diluted Hoagland nutrient solution until the end of the experiment, the plants in the second group were given 200 ppm nickel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) solution, two days later, photosynthetic activity was measured on the leaves of the plants with the chlorophyll a fluorescence technique, some physiological growth parameters. Leaf samples to be used in biochemical analyzes were stored at -20 °C until analysis.

When the data obtained at the seedling stage are examined, 200 ppm nickel application causes a significant change in root length in the Cumhuriyet-75 genotype compared to the control group, while a significant decrease in stem length is observed in the Ziyabey-98 genotype ($p < 0.05$). Application of 200 ppm nickel did not cause a statistically significant decrease in total height in both Cumhuriyet-75 and Ziyabey-98 genotypes ($p > 0.05$). Nickel (200 ppm) application caused a significant decrease in root fresh weight, stem fresh weight and stem dry weight in Ziyabey-98 genotype ($p > 0.05$). However, the change in root dry weight in Cumhuriyet-75 and Ziyabey-98 genotypes was not significantly affected by nickel ($p > 0.05$). Wheat genotypes have created some reactions with defense mechanisms against nickel stress. These reactions are carried out by enzymatic and non-enzymatic means. In response to 200 ppm nickel application, total superoxide dismutase (SOD) enzyme activity increased significantly in Ziyabey-98 compared to its own control ($p < 0.05$), while the SOD increase in the application to Cumhuriyet-75 genotype was statistically insignificant ($P > 0.05$). Total SOD activity was calculated using the standard graph (U/mg protein) according to Beyer and Fridovich (1987). Total APOD activity Wang et al. According to (1991); It was calculated from the initial rate of the reaction ($\text{nmol ascorbate min}^{-1} \mu\text{g protein}^{-1}$) using the extinction coefficient of ascorbate ($2.8 \text{ mM cm } 290 \text{ nm}^{-1}$). While 200 ppm nickel application causes a significant increase in APOD activity in the Cumhuriyet-75 genotype, it causes a statistically significant decrease in APOD activity in the Ziyabey-98 genotype ($p < 0.05$). While the total Glutathione peroxidase (GR) enzyme activity caused its own control and a statistically significant increase against the applied nickel, it did not affect the Cumhuriyet-75 genotype. The total GR activity was determined by Sgherri et al. according to (1994), it was calculated from the initial rate of reaction using the extinction coefficient of NADPH ($6.2 \text{ mM cm } 340 \text{ nm}^{-1}$) ($\text{nmol NADPH per minute}^{-1} \mu\text{g protein}^{-1}$).

POD activity caused an increase in Cumhuriyet-75 genotype and a decrease in enzyme activity in Ziyabey-98 genotype, and these changes were statistically significant ($p < 0.05$). Total POD activity was calculated from the initiation rate of the

reaction ($\text{nmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \mu\text{g protein}^{-1}$) using the extinction coefficient of guaiacol ($26.6 \text{ mM cm}^{-1} 470 \text{ nm}^{-1}$) according to Sanchez-Romero (1993).

Chlorophyll a fluorescence parameters were determined in the leaves with a "plant productivity analyzer" (HandyPEA fluorometer, Hansatech Instruments Ltd., Pentney, King's Lynn, Norfolk, England), and the obtained data were evaluated according to the JIP test.

The results of 200 ppm nickel application in Cumhuriyet-75 genotype compared to the control, F_o (minimum fluorescence), F_m (maximum fluorescence), tF_m , F_v/F_m ratio (maximum quantum efficiency of FS II), F_v/F_o (Hill reaction efficiency), $\Delta V/\Delta t_o$ (accumulation rate of closed reaction centers) Area (region above the OJIP curve and between F_o and F_m) ϕP_o , Ψ_o , ϕE_o , ϕD_o , ϕR_o , ΔR_o , ABS/RC , TRo/RC and ETo/RC , DIO/RC (dissipation energy lost excluding photochemical events per reaction center in FS II; at $t=0$), $\text{SFI}(\text{abs})$ (indicator of the structural and functional state of FS II), RC/ABS (FS amount of active reaction centers per antenna chlorophylls in II), $\phi_o/(1-\phi_o)$ (Performance indicator of photochemical reactions), $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ (Performance indicator of non-light-dependent (dark) reactions) and PI Changes in (abs) (Performance index) values are statistically insignificant ($p>0.05$). Therefore, 200 ppm nickel application did not affect the photosynthetic activity in Cumhuriyet-75 genotype.

Ziyabey-98 genotype, the change in tF_m value, decrease in F_m value, increase in PI (abs) and increase in F_o do not cause a statistically significant change when compared to the control group with 200 ppm nickel stress ($p<0.05$). In Ziyabey-98 genotype, F_v/F_m , F_v/F_o , Area, ϕP_o , Ψ_o , ϕR_o , ϕE_o , $\text{SFI}(\text{abs})$, RC/ABS , $\phi_o/(1-\phi_o)$, $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ values and the increase in $\Delta V/\Delta t_o$, ϕD_o , ΔR_o , ABS/RC , TRo/RC , ETo/RC , DIO/RC values are statistically significant ($p<0.05$). Application of 200 ppm nickel reduces the photosynthetic activity of Ziyabey-98 genotype.

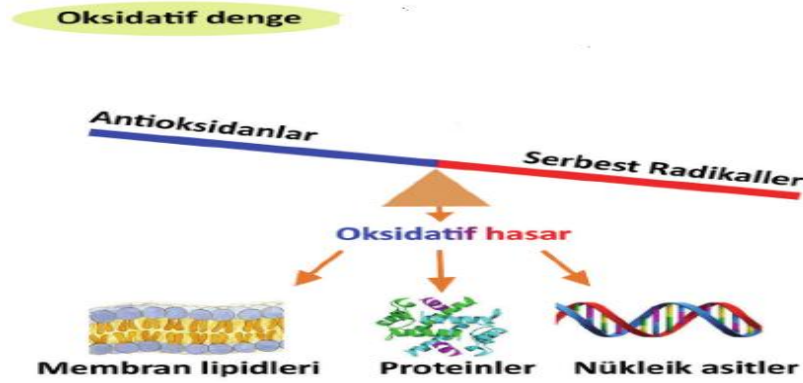
As a result of the studies, it can be concluded that nickel stress affects the physiological and biochemical activities of the wheat plant, increases some enzyme activities and decreases some enzyme activities, and generally has a negative effect on growth parameters and photosynthetic activities. The reason why it leaves different effects is because the wheat has different genotypes. There are differences in the resistance and sensitivity rates of genotypes to applied stress.



1. GİRİŞ

Büyüme “protein sentezindeki artışa bağlı olarak gerçekleşen ağırlık ve hacim artışı” olarak tanımlanmıştır. Gelişme ise, büyüme ve farklılaşmayı içine alan kompleks bir durumdur. Hücreler önce büyür sonra farklılaşır yani farklı bir görevi yapmak için gelişir. Bitkilerde büyümeyi etkileyen oksin, giberellin, sitokinin, absisik asit (ABA), etilen gibi içsel ve ışık, sıcaklık, su, pH, mineraller ve çevre kirliliği gibi dışsal pekçok faktör vardır (Kocaçalışkan, 2010).

Hücre içinde anabolizma ve katabolizma gibi canlılık faaliyetleri gerçekleşirken, hidrojen peroksit ve süperoksit radikali gibi aktif oksijen türlerinin (AOT) miktarı da artış gösterir. Bu artışa karşılık hücre kendini savunmak amacıyla çeşitli antioksidantlar üretir. AOT’lerin artışı ve antioksidantların yetersizliği sonucu hücre içinde meydana gelen toksik madde artışına oksidatif stres denir. Şekil 1.1.’de durum kısaca özetlenmiştir.



Şekil 1.1. Oksidatif denge.

Hidrojen peroksit, süperoksit radikali, hidroksil radikali gibi AOT’ler özellikle lipid, polipeptit ve DNA gibi büyük moleküllerde bulunan ikili bağları kırar ve moleküllerden hidrojen çıkartır. İkili bağların kırılması ve hidrojenlerin moleküllerden ayrılmasıyla, hücre içi yaşamsal faaliyetlerin gerçekleşmesinde önemli yeri olan lipid, polipeptit ve DNA gibi moleküllerin yapısı bozulur, hücresel hasarlar veya hücre ölümleri meydana gelir (Özcan ve ark., 2015).

Bitkiler; stres toleransı, strese uyum, stres aklimasyonu, stresten kaçış ve stresten kaçınma olarak tanımlanan, stresli koşulların üstesinden gelmek veya stresin etkilerini en aza indirerek hayatta kalabilmek için direnç ve dayanıklılık mekanizmaları geliştirmiştir (Doğru, 2006).

Moleküler oksijene (O_2) aktarılan, enerji düzeyi fazla olan elektronlar AOT'lerin oluşumuna neden olur (Mitter, 2002). Bitkiler için en zararlı ve en fazla oluşan AOT'ler; singlet (tekli uyarılmış) oksijen ($^1O_2$), süperoksit iyonları (O_2^-) ve hidrojen peroksit (H_2O_2)'tir (Apel ve Hirt, 2004; Triantaphylides ve ark., 2008). Stres artışına bağlı olarak hücre içinde AOT'lerin miktarı en fazla kloroplast, mitokondri ve peroksizom gibi organeller için tehdit edici düzeylere çıkar. Kloroplast organelinde stres koşullarında karbondioksit fiksasyon reaksiyonları yeterince aktif değildir. Karbondioksit fiksasyon reaksiyonlarında besin üretiminin azalışına bağlı olarak $NADP^+$ hidrojen taşıyıcı serbest enzim azalır. Bu da ışıklı evre reaksiyonlarında görev alan elektron taşınım sistemi elemanı olan ferrodoksinde hidrojen birikimini tetikler. Aşırı hidrojen artışı Mehler reaksiyonu olarak tanımlanan sistem tarafından süperoksit radikalleri (O_2^-) oluşturmak üzere fotosistem I (FSI)' den oksijene taşınır (Hsu ve Kao, 2003). AOT'lerle reaksiyona girmeleri nedeniyle lipidlerin yapısı bozulur ve buna bağlı olarak hücre zar sistemlerinde deformasyonlar görülür (McCord, 2000). Bitki hücrelerinin zar sistemlerinde temel olarak ikili bağlar bulunur, bu da zarların akışkan olmasına sebep olur. Bitki hücre zarlarında bulunan yağ asitleri $^1O_2$ ve HO^- gibi moleküllerden çabuk etkilenir (Mueller, 2004). Stres koşullarının artışından dolayı ortamda artan AOT'ler doymamış yağ asitleri ile reaksiyona girer ve lipidler parçalanır. Bunun sonucunda zar akışkanlığı azalır ve membran proteinlerinde denatürasyon görülür (Halliwell, 2006).

Bitkilerde AOT'leri detoksifiye eden antioksidant sistem iki grupta incelenir. Enzimatik olan birinci grupta; süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APOD), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (KAT) ve guaiakol peroksidaz (GPOD) gibi enzimler görev alırken, enzimatik olmayan ikinci grupta ise, askorbik asit (C vitamini), tokoferoller (E vitamini), karotenoidler (A vitamini), glutatyon ve fenolik bileşikler görev alır (Scandalios, 1990). Sitoplazmanın sıvı kısmı, mitokondri, kloroplast ve peroksizom gibi organellerde bulunan SOD enzimi, O_2^- 'nin hücre içinde aşırı artışıyla H_2O_2 oluşumunda etkilidir. Peroksizom, mitokondri, kloroplast gibi hücresel kısımlarda bulunan katalaz enzimi, direkt zehirli olan hidrojen peroksiti, su

ve oksijene parçalayarak zehirsizleştirirken, APOD enzimi elektron verici olarak askorbat kullanarak, GR enzimi elektron verici olarak NADPH kullanarak, GPOD enzimi ise glutatyon aracılığıyla hidrojen peroksiti detoksifiye etmektedir. Glutatyon, askorbat ve fenolik bileşik hidrojen peroksitin zehir etkisini ortadan kaldırırken, karotenoidler ve α -tokoferol $^1O_2$ serbest radikalini yok ederek oksidatif strese karşı bitkiyi savunur (Gechev ve ark., 2006).

Birçok metabolik süreç için gerekli olan nikel, bitkilerin normal yaşamsal döngülerinde etkileri olan mikroelementlerdendir (Eskew ve ark., 1983; Brown ve ark., 1987). Nikel, üreaz ve hidrogenaz gibi biyolojik katalizörlerin kofaktörü ve enzimlerin aktivatörüdür. Nitrifikasyon sırasında görev alarak bitkilerin atmosferde bulunan azottan yararlanmasını sağlar. Böylece bitkiler azotlu organik bileşiklerini üretir (Brown ve ark., 1987; Dixon ve ark., 1975; Molas, 1997; Zornoza ve ark., 1999).

Nikelin optimal değerin altında veya üzerinde olması durumunda bitkilerde çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal aksaklıklar görülmektedir. Bu aksaklıklar genel olarak; hücre solunumunda yavaşlama nedeniyle gerekli enerjinin üretimi azalması; karbondioksit özümlemesi yavaşladığından besin ve oksijen üretiminin azalması; hücre zarının seçici geçirgen özelliğinin zayıflaması, madde alışverişlerinde aksamalar, hücrede peroksidaz ve zararlı olan ürenin parçalanmasının yavaşlaması, protein sentezi, klorofil ve azot düzeyinin azalması ve hücre içi osmotik dengenin bozulmasıdır.

Klorofil a floresans tekniği bitkilerde fotosentetik aktivitenin ölçülmesinde kullanılan en etkili tekniktir. Bu teknik, stres faktörlerine en duyarlı yapı olan fotosistem II (FSII)'nin yapı ve fonksiyonundaki değişimler hakkında bilgi sağlar. FSII' de bulunan klorofil pigmentlerinin ışığı absorblama ve yansıtma oranlarına bağlı olarak gerçekleşen elektron hareketleri ve fotosentetik aktivite hakkında bilgi verir (Maxwell ve Johnson, 2000). Yapılan çalışmalar sonucunda bitkilerde çeşitli stres faktörlerinin fotosentez mekanizması üzerindeki olumsuz etkisinin boyutu hakkında klorofil a floresans ölçümleriyle bilgi sahibi olunabileceği tespit edilmiştir.

Poacea ailesi içinde yer alan buğday (*Triticum aestivum* L.), mineral madde ve özellikle B vitamini oranının fazla olmasından dolayı temel gıda maddesi olarak kullanılan ekonomik bir bitki türüdür (Cummins ve Robert-Thomson, 2009). Türkiye'de ve dünyada insanların temel enerji gereksiniminin yarısından fazlası buğdaydan karşılanmakta ve ayrıca hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır (Kuşçu

2021). Bu nedenle buğday bitkisi üzerinde birçok bilimsel araştırma yapılmaktadır. Özellikle iklim değışiklikleri, ve çevre kirliliğı gibi faktörlerin buğday verimi üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Buğday bitkisi çimlenme evresinde 5-10°C sıcaklığa ve %60 suya, fide evresindeyse 10-15°C sıcaklık ve %65 suya gereksinim duyan, yıllık yağış ortalamalarına göre verim oranı değışebilen, Türkiye'nin çoğı yerinde yetişebilen bir bitkidir (Kuşcu, 2021).

Çalışma çimlenme ve fide evresi olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Çimlenme aşamasında buğday bitkisine ait yedi genotip bazı çimlenme ve fizyolojik büyüme parametreleri yardımıyla, nikel toksisitesine tolerans ve duyarlılık derecelerine göre gruplandırılmıştır. İkinci aşamada ise, birinci aşamada elde edilen bulgulara göre nikel toksisitesine en toleranslı ve en duyarlı olarak belirlenen iki genotiple (Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98) saksı denemeleri kurulmuştur. Bu genotiplere nikel toksisitesi uygulanarak bazı fizyolojik, biyokimyasal ve fotokimyasal parametreler yardımıyla nikel toksisitesine verilen cevaplar araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Bitkilerde Büyüme ve Gelişme

Bir bitkinin büyümesi ve gelişmesi, organları oluşturacak ve organlardaki farklılaşmış hücre ve dokuların karakteristik özelliklerini oluşturan bir dizi işleme bağlıdır. Hücre bölünmesi ve büyümesiyle organizmada görülen kütle ve hacim artışına büyüme adı verilir (Campbell ve Reece, 2008). Kalıtsal açıdan aynı olan hücrelerin bölünmesi sonucu oluşan yeni hücrelerin, aynı görevi yerine getirmek üzere geçirdikleri morfolojik, anatomik ve fizyolojik değişimleri içeren sürece de farklılaşma denir (Gündüz, 2014). Gelişme ise büyüme ve farklılaşma ile ilgili süreçlerin toplamıdır. Bitkinin yaşamı boyunca gerçekleşen kompleks olayları içermektedir (Sebanek, 1992).

Bitkilerde büyüme olayı meristematik hücrelerle sağlanır. Meristem hücreleri kök ve gövde uçlarında, iletim demetlerinin kambiyumlarında, monokotil bitkilerin nodyumlarının yakınında ve genç yaprakların bazı bölgelerinde bulunur. Bazı bitkisel yapılar sınırlı, bazıları ise sınırsız büyüme özelliğine sahiptir. Yaprak, çiçek ve meyve gibi generatif organlarda büyüme sınırlıdır. Belirli büyüklüğe ulaşıncaya büyüme durur. Vefetatif organlar olan gövde ve kökte ise büyüme sınırsızdır. Bitkinin yaşamı boyunca bu organlar, meristematik hücreler sayesinde sürekli büyür (Kocaçalışkan, 2010).

2.2. Bitkilerde Büyüme ve Gelişmeyi Etkileyen Faktörler

Bitkilerde büyüme ve gelişmeye etki eden faktörler, çevre şartları ve bitkilerin kendilerine özgü özelliklerdir. Çevreye bağlı faktörler dışsal, bitkinin kendine ait özelliklerinden oluşan faktörler ise içseldir (Vardar, 1985).

2.2.1. Dışsal faktörler

Işık, bitkiler üzerinde özellikle fotosentez ve fotomorfogenez gibi olaylarda etkili olan dışsal bir faktördür. Ayrıca bitkilerin büyüme, gelişme ve çeşitli metabolik faaliyetleri üzerinde etkilidir (Urbonavičiūtė ve ark., 2008). Işık, bulunduğu ortamda foton adı verilen partüküller halinde hareket eder. Fotonların enerji içeriği dalga boyuna bağlı

olarak değişir. Güneş ışığı spektrumu; ultraviyole ışık, görünür ışık ve kıızıltesi ışık olmak üzere üç kısımdan oluşur. Bitkiler bu spektrumun bir kısmını fotosentezde kullanılır. Fotosentezde etkili olan spektrum “görünür ışık” olarak bilinir ve dalga boyu da yaklaşık 380-740 nm arasındadır. Ayrıca görünür ışık bölgesinde bulunan fotonların miktarına da “büyüme ışığı” denilmektedir (Anonymous, 2016).

Sıcaklık, bitkilerde osmotik regülasyonu, transpirasyonu, madde alışverişini, madde taşınmasını ve enzim aktivitesini etkilemektedir. Yaşadıkları ekosisteme göre her bitkinin optimum büyüme sıcaklığı farklıdır (Kocaçalışkan, 2010).

Bitkiler büyüme ve gelişmelerini sürdürebilmek için suya gereksinim duymaktadır. Su gereksinimlerini büyük oranda topraktan kökleri aracılığıyla karşılamaktadır. Topraktaki su miktarı optimum değerin altına düşerse kuraklığa, optimum değerin üzerine çıkarsa da sel stresine sebep olmaktadır (Torlak, 2019).

Topraktaki tuz konsantrasyonunun artması, toprak çözeltisinin osmotik potansiyelinin artmasına; bu da bitki büyüme ve gelişmesinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Toprağın mineral madde bakımından zengin olması bitkinin beslenmesi bakımından oldukça önemlidir. Toprağın pH değeri de bitki büyüme ve gelişmesinin devam etmesi için belli değerler arasında (5.5-6.5) olmalıdır (Kocaçalışkan, 2010).

Artan nüfus, endüstriyel faaliyetlerdeki artış, kaynakların bilinçsiz kullanımı ve tarım ilâçları, gibi pekçok etken nedeniyle hava, su ve toprak kirliliği gün geçtikçe artmaktadır. Kirlilik oranının artması pek çok canlı gibi bitkileri de olumsuz etkilemektedir. Havaya, suya ve toğrağa karışan kirleticiler etkisiyle bitkilerin başta fotosentez mekanizmaları olmak üzere, topraktan su ve mineral alımı, besin maddelerinin taşınması, çeşitli enzim aktivitelerinin değişmesi gibi birçok değişiklik görülmektedir (Gürel ve Avcıoğlu,2001).

2.2.2. İçsel faktörler

Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyen, bitkiler tarafından üretilen, retildeği yerde etkili olduğu gibi, bitkinin diğer kısımlarına taşınarak ilgili doku ya da organda da etkili olabilen biyokimyasal özellikteki maddelere fitohormon denir (ırka ve ark., 2022).

Oksinler büyümeyi teşvik edici bir fitohormon grubudur. Hücrenin enine ve boyuna büyümesi dışında, doku gelişimi ve kök oluşumunu da teşvik etmektedir.

Oksinler bütün gelişmiş bitkiler tarafından sentezlenir (Teale ve ark, 2006). Ayrıca embriyogenez, vasküler farklılaşma ve fototropizma gibi olaylar üzerinde etkilidir (Davies, 2004; Huang ve ark., 2008).

Sitokininler kök ucundaki bölünür doku hücrelerinde sentezlenir ve daha sonra ksilem aracılığıyla bitkinin diğer kısımlarına transfer edilir. Mitoz bölünme yoluyla hücre çoğalmasında etkili olan sitokininler bir yandan da yaşlanmayı geciktirici etki yaparak yaprak absisyonunu engellemektedir. Oksinler daha çok kökler üzerinde, sitokininler ise toprak üstü organlarda etkilidir. Doku kültürü çalışmalarında organogenez ve organların gelişimine katkı sağlar. Ayrıca dormansinin kırılmasında, karbohidrat taşınımının hızlandırılmasında ve apikal dominansinin engellenmesinde de etkilidir (Güleryüz, 1982; Kaynak ve Ersoy, 1997; Westwood, 1993).

Giberellinler tohum ve tomurcukların dormansiden çıkması ve çimlenmesinde etkilidir. Dormant durumda iken bazal metabolizma halinde olan tohum içindeki embriyoya ait enzimleri uyarak çimlenmeyi sağlar. Embriyodan endosperme geçerek buradaki α -amilaz enzimini aktifleştirir. Aktifleşen enzim, nişastanın glikoza parçalanmasını sağlar. Glikoz molekülleri de solunumda enerji kaynağı olarak kullanılır (Hartmann ve ark., 1990; Hilhorst ve Karssen, 1992).

Etilen, gaz formunda salgılanan, büyümeyi engelleyici bir hormondur. Büyüme ve gelişme üzerinde eser miktarlarda bile etkilidir. Çiçeklenmede ve meyve olgunlaşmasında etkilidir. Ceviz, zeytin, kiraz ve vişne gibi türlerde meyve absisyonunu sağlar (Kaynak ve Ersoy, 1997).

Absisik asit ise bir bitki büyüme engelleyicisi olarak, tomurcuk ve tohum dormansisini, absisyon ve senesens olaylarını teşvik etme; tohum çimlenmesi ve meyve büyümesini inhibe etme gibi fonksiyonlara sahiptir. Diğer yandan kuraklık stresi altındaki bitkilerde sentez hızı artan ve kuraklığa karşı belli bir süre bitkinin kendini korumasını sağlayan mekanizmaları uyaran bir fitohormondur. Stomaların kapatılması ve böylece transpirasyon hızının azaltılması, dokularda prolin birikimini uyarması bu mekanizmalar arasındadır (Agarwall ve ark., 2005)

2.3. Bitkilerde Stres

Stres, bitki üzerinde olumsuz etkileri olan, büyüme ve gelişmeyi yavaşlatan ya da durdurabilen dış faktörler olarak tanımlanır (Büyük ve ark., 2012).

Stres oluşumuna sebep olan faktörlere stres faktörü denir. Stres faktörleri, bitkilerin metabolik faaliyetlerini, morfolojik ve fizyolojik özelliklerini etkiler. Bu durumda bitkide büyüme ve gelişmeyi yavaşlatabilir veya durdurabilir, bitki verimini düşürerek ürün kalitesini azaltabilir (Kacar, 2015). Canlılardan kaynaklanan stres faktörleri; hastalık yapıcı mikroorganizmalar, fungus gibi canlılar ve herbivor organizmalardır. Çevre etkisiyle oluşan stres faktörleri; kuraklık, tuz, donma ve yüksek sıcaklık, ağır metaller, UV ışınları, hava kirliliği (Ozon, SO₂), fiziksel stress, yüksek ve düşük ışık şiddetidir (Linchtenthaler, 1998). Bitkiler üzerinde stres oluşturan faktörler Tablo 2.1’de gösterilmiştir (Doğru, 2006; Reigosa, 2006).

2.3.1. Bitkilerin strese verdiği cevaplar

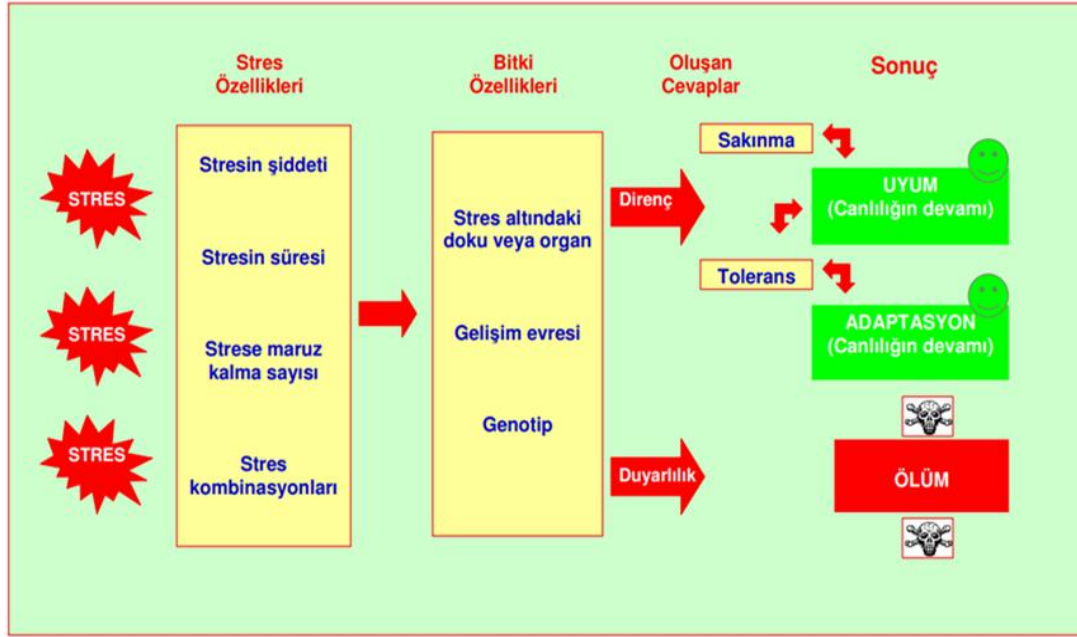
Bitkiler strese dört aşamada cevap oluşturur. Birinci aşama olan tepki fazı, başlangıç evresi veya alarm evresi olarak da bilinir. Bu evrede hayatsal faaliyetler yavaşlamaya başlar. Katabolik reaksiyonlar, anabolik reaksiyonlara göre daha baskın duruma gelir (Gürel ve Avcıoğlu, 2001). Metabolizma için gereksinim duyulan yapısal (polipeptit ve membran sentezi) ve fonksiyonel (biyokimyasal olaylar, ATP üretimi ve tüketimi) süreçlerde aksamalar başlar. Ayrıca bu fazda canlılık gerilemektedir (Kosova ve ark., 2011). Daha sonra onarım fazı veya kısa süreli stres fazı başlar ve bitki direnç ve uyum sürecine girer. Stres durumu değişmezse polipeptitler veya stresi azaltıcı maddelerin yapımı gibi onarım olayları bu fazda gerçekleşir (Gürel ve Avcıoğlu, 2001). Bitiş fazı veya uzun süreli stres fazında yüksek yoğunlukta stres nedeniyle uyum kapasitesinin aşılması sonucu kronik hasar veya ölüm söz konusu olabilir (Edreva 1998; Gürel ve Avcıoğlu, 2001). Son evre olan rejenerasyon fazı, stres hasarlarının yoğun görülmediği ve stres etkenlerinin ortamdan uzaklaştırıldığı dönemi ifade eder. Bu fazda fizyolojik fonksiyonların kısmen ya da hepsinin yeniden kazanılması söz konusudur (Edreva, 1998; Gürel ve Avcıoğlu, 2001).

Farklı bitki türlerinin stresten etkilenme dereceleri farklılık göstermektedir. Herhangi bir stres faktörü; bazı bitki türleri için şiddetli, bazı bitki türleri için hafif stres tepkisi oluşturabilir.

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	- Otlama	- 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 ilâçları	- CO ₂ konsantrasyon artışı
- Tuzlar (Mineral eksikliği / fazlalığı)	- Böcek ilâçları	- Tuzlu ve kuru toprakların artışı
- pH		- Gürültü
- Ozon		- Yangın
DİĞER		- Sıkı (geçirimsiz) toprak
- Yaralanma, ses, rüzgâr, magnetik alanlar, elektrik alanlar		

Bitkiler stres koşulları altında, stresten etkilenme derecelerini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için çeşitli direnç ve dayanıklılık mekanizmaları geliştirmiştir. Bitkilerin oluşturabileceği cevaplar; stresten kaçma, stres sakınması, stres adaptasyonu ve aklımasyonu ile stres toleransı olarak sıralanabilir (Doğru, 2006) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çeşitli faktörlere bağlı olarak bitkilerin oluşturabileceği stres cevapları (Doğru, 2006).

2.3.1.1. Stresten kaçma

Bitkilerin sadece ortam koşullarının uygun olduğu dönemde metabolik aktiviteye sahip olması durumudur. Buna örnek olarak bazı bitki türlerinin kuraklık stresinin hakim olmasından önceki yağışlı mevsimde yaşam döngülerini tamamlaması veirlebilir (Taiz ve Zeiger, 2002). Bu tip bitkilerin tohumlarının kuraklık döneminden önce gelen yağışlı mevsimde hızla çimlenip büyümesi ve bazılarının da çiçeklenip meyve ve tohum oluşturmaları stresten kaçınmayı sağlayan mekanizmalardır. Benzer şekilde bazı bitkilerin tohumları da kurak mevsimde dormant halde kalır ve bu şekilde kuraklıktan kaçır (Salisbury ve Ross, 1992). Bitki yaprak ayasının yüzey özelliklerinde ve genişliğinde, stomaların boyutu ve lokasyonunda, toprak altı ve üstü yapıların boyutlarında meydana gelen farklılıklar stresten kaçmayı sağlayabilir (Yalcın ve ark.,2004).

2.3.1.2. Stresten sakınma

Bitkilerde stres faktörlerinin olumsuz tesirlerinin minimuma indirilmesi veya engellenmesidir. Bu mekanizmada bitki kendisini dışarıdaki olumsuz durumlara karşı kapatmıştır (Taiz ve Zeiger, 2002). Örneğin bir bitki transpirasyon yoluyla yaprak dokularının iç sıcaklığını sabit tutmaya çalışır ve böylece yüksek sıcaklık stresinden sakınır (Ayaz, 1999).

Aynı şekilde Cactaceae familyası üyesi olan bitki türleri kuraklık stresi esnasında sukulent organlarında depoladıkları su ile dokularında kuraklık bulunmayan bir iç ortam oluşturur ve nem oranını stabilize ederek kuraklıktan sakınabilir (Bidwell, 1974).

2.3.1.3. Stres adaptasyonu ve aklimasyonu

Strese sebep olan çevre koşulları sebebiyle bitkilerin DNA dizilimlerinde, kromozomlarında veya genetik yapılarında meydana gelen kalıtsal değişimlere adaptasyon denir. Bu değişimler yüzlerce hatta binlerce yıllık çok uzun bir sürede meydana gelen ve nesilden nesile aktarılan niteliktedir. Çöl bitkilerinde bulunan diken yaprakların oluşumu buna örnek olarak verilebilir. Stres aklimasyonu ise, genotipte herhangi bir değişiklik olmaksızın değişen çevresel şartlara bağlı olarak ortaya çıkan fenotipik değişikliklerdir ve kalıtsal bir niteliğe sahip değildir (Huner ve ark., 1998). Buna verilebilecek en çarpıcı örnek kışlık bitkilerde görülen ve donma toleransının oluşmasını sağlayan soğuk aklimasyonu ya da soğuğa uyum olayıdır.

2.3.1.4. Stres toleransı

Bitkilerin stres şartlarının devam ettiği ortamlarda normal yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilme ve yaşam döngülerini tamamlayabilme yeteneklerine stres toleransı denir. Kısaca stres faktörlerinin etkisinin elimine edilmesi, azaltılması veya stres hasarlarının onarılması ile ilgili bir kavramdır (Taiz ve Zeiger, 2002). Stres toleransı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler seviyede oldukça karmaşık bir süreçtir. Stres toleransı; bitkide doku seviyesinde (reçine, yara peridermi oluşumu), hücre seviyesinde (çeper apozisyonları, hücre çeperi ve membranı ile kloroplastlardaki yapısal değişimler) ve moleküler düzeydeki değişimler (fenolik bileşiklerin sentezi veya stres proteinlerinin sentezi) arasındaki karmaşık etkileşimler sonucu oluşur. Bunun dışında antioksidant etkiye sahip enzim ve moleküller gibi submoleküler düzeydeki değişimlerle de ilgili bir süreçtir (Edreva, 1998; Levitt, 1980; Tal, 1983).

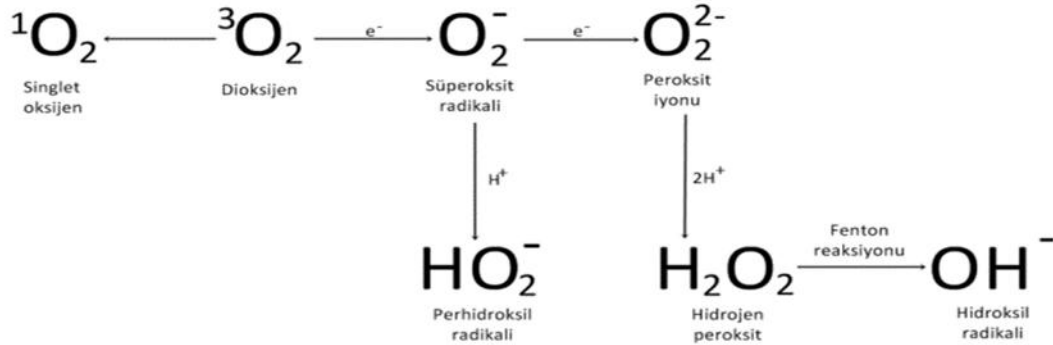
Çapraz tolerans ise; bitkinin daha önce maruz kaldığı ve öldürücü olmayan (subletal) bir stres faktörü nedeniyle, daha sonra maruz kaldığı farklı bir stres faktörüne tolerans kazanması olayı olarak tanımlanabilir.

2.4. Oksidatif Stres

Moleküler oksijen (O_2) yaklaşık 3 milyar yıl önce fotosentez yapan canlıların oksijen üretmeye başlamasıyla yaşama dahil olmuş ve AOT'nin oluşum süreci de böylece başlamıştır (Halliwell, 2006).

AOT, suyun oluşumu ile sonuçlanan ve basamak basamak gerçekleşen bir reaksiyon serisi ile oluşur. Bu reaksiyon serisine her basamakta bir elektron dahil olur. Bunun dışında AOT, bitki hücrelerinde NADPH oksidaz, ksantin oksidaz, lipoksigenaz ve peroksidazlar gibi enzimler tarafından oluşturulabildiği gibi, kloroplastlarda ışık enerjisi etkisiyle de oluşabilmektedir (McKersie ve Leshem, 1994).

AOT, “bağımsız elektronlar” ya da “bağımsız kökler” olarak da isimlendirilmektedir. Bitkilerde oluşan AOT; süperoksit (O_2^-), hidroksil (OH^-), perhidroksil (HO_2^-), peroksi (ROO^-), alkoksi (RO^-), fenoksi (C_6H_4O) kökleri ile hidrojen peroksit (H_2O_2) ve singlet oksijen ($^1O_2$) formlarından ibarettir (Edreva, 1988, 1998; McKersie ve Leshem, 1994). Enerji aktarım sistemi ile AOT oluşumu Şekil 2.2.'de gösterilmiştir (Gill ve Tuteja, 2010).



Şekil 2.2. Enerji aktarım sistemi ile AOT oluşumu (Gill ve Tuteja, 2010).

Stres şartlarının oluşmasından sonra bitki hücrelerinde AOT birikimi de başlar. AOT, bitki hücrelerinde belirli bir seviyeye kadar birikim göstermesi, sinyal iletim mekanizmasının bir bileşeni olarak kabul edilir ve hücrel savunma mekanizmalarının aktifleştirilmesi için fonksiyoneldir. AOT'nin savunma fonksiyonu bazı durumlarda AOT'nin mikroorganizmaları yok edici etkilerinden kaynaklanmaktadır. Mesela bitkilerde polifenollerin birleşmesi yolu ile hücre çeperi güçlendirilmektedir. (Edreva, 1998; McKersie ve Leshem, 1994). Reuveni (1998), Asma türü olan Cabernet Sauvignon da kalın çeperlerli yaprakların, ince çeperli

yapraklara oranla *Plasmopara viticola*'ya daha dirençli olmasının, AOT'nin sentezinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

AOT'nin birikimi belli seviyede olduğunda sinyal iletim mekanizması sayesinde bazı genlerin ekspresyonu da sağlanır ve böylece ikincil metabolitler sentezlenir. Bu şekilde olumsuz koşullara karşı direnç gelişimi sağlanır (McKersie ve Leshem, 1994; Edreva, 1998).

AOT'nin duyarlı bitki dokularında yüksek seviyelerde birikim göstermesi toksik etkilere yol açmakta ve bu durum "oksidatif stres" meydana getirmektedir (McKersie ve Leshem, 1994). Bitkilerde oluşturacağı oksidatif hasarın derecesi, AOT'nin oluşum hızına ve bu toksik bileşiklerin dokularda kalma süresine bağlıdır. Öncelikle hücre seviyesinde başlayan hasar sonucunda lipitlerin parçalanması, proteinlerin işlevini yerine getirememesi ve DNA'da ani ve hızlı kalıtsal değişimler görülürken, sitoplazmada proteinlerin kümeleşmesi ve hücre zarlarının tahrip olması ve sızıntıların başlaması; su dengesinin bozulması, solma ve en son olarak bitkinin ölümü söz konusudur. (Edreva, 1998; McKersie ve Leshem, 1994).

2.4.1. Aktif oksijen türleri

2.4.1.1. Singlet oksijen ($^1O_2$)

Tekli uyarılmış şekilde bulunan ve oluşumu için indirgenmesine ihtiyaç duyulmayan aktif oksijen türü singlet oksijendir ($^1O_2$). Kloroplast organelinde üçlü uyarılmış klorofil ve $^3O_2$ oluşumu, fotosentetik pigmentler tarafından absorblanan ancak CO_2 fiksasyonunda kullanılmayan ışık enerjisinden kaynaklanır. $^3O_2$ ve üçlü uyarılmış klorofilin reaksiyona girmesiyle $^1O_2$ oluşmaktadır. Singlet oksijen FS I ve FS II aktivitesinde azalmaya sebep olmaktadır. Tekli uyarılmış oksijenin bitkisel dokulardaki yarılanma süresi yaklaşık 3 μs 'dir ve difüzyonla dokular arasında hızlıca yayılabilmektedir (Hatz ve ark., 2007).

2.4.1.2. Süperoksit radikali (O_2^-)

Moleküler oksijen (O_2) tek elektron alarak süperoksit radikaline dönüşür (Miller ve ark., 1990). Anabolik ve katabolik reaksiyonlar gerçekleşirken veya radyasyon etkisiyle oluşabildiği gibi enzim ve metallerin ilerlettiği tepkimelerde bazı moleküllerin etkisiyle de oluşabilmektedir (Valko ve ark., 2005).

Kloroplast ve mitokondri organellerindeki elektron taşıma sistemlerinde gerçekleşen elektron kaçakları etkisiyle de oluşmaktadır. (Smirnov, 1993; Takahashi, 2011).

Elektron taşınım sistemlerindeki elektronların sistemden çıkarak O₂ ile tepkimeye girmesi buna neden olmaktadır (Moller, 2001).

Peroksizom organelinde fotorespirasyon, yağ asitlerinin enzimler aracılığıyla parçalanması, azotlu bileşiklerin yıkımı ve AOT'nin detoksifikasyonu gibi olaylar gerçekleşmektedir. Buna karşın hastalık yapıcı mikroorganizmaların istilası, kadmiyuma maruz kalma ve tuzluluk gibi etkenlere bağlı olarak da peroksizomlarda süperoksit üretimi söz konusudur (Del Rio, 2006; Reumann ve ark., 2006). Bazı çevresel faktörlerin elektron taşıma sistemini etkilemesiyle kloroplast, mitokondri ve peroksizom gibi organellerde de üretilmektedir (Doğru, 2020a).

2.4.1.3. Hidroksil radikali (OH⁻)

OH⁻ radikali hücrelerdeki en reaktif AOT çeşididir. Hidrojen peroksitin bakır veya demir ile tepkimeye girmesiyle sentezlenmektedir. Bu tepkime fenton tepkimesi olarak da bilinir (Denklem 2.1). Denklem 2.2'deki Haber-Weiss reaksiyonu da süperoksit (O₂⁻) radikali ve hidrojen peroksitten hidroksil radikalinin oluşmasına neden olmaktadır (Bielski ve ark., 1984).



2.4.1.4. Hidrojen peroksit (H₂O₂)

Oksijenin indirgenmesi sonucu süperoksit radikali oluşuktan sonra (Denklem 2.3), iki süperoksit molekülünden hidrojen peroksit ve oksijen oluşur (Denklem 2.4). Hidrojen peroksit ve demirin tepkimesi sonucunda da hidroksil radikali oluşur (Denklem 2.5) (Lambert ve Brand, 2009).

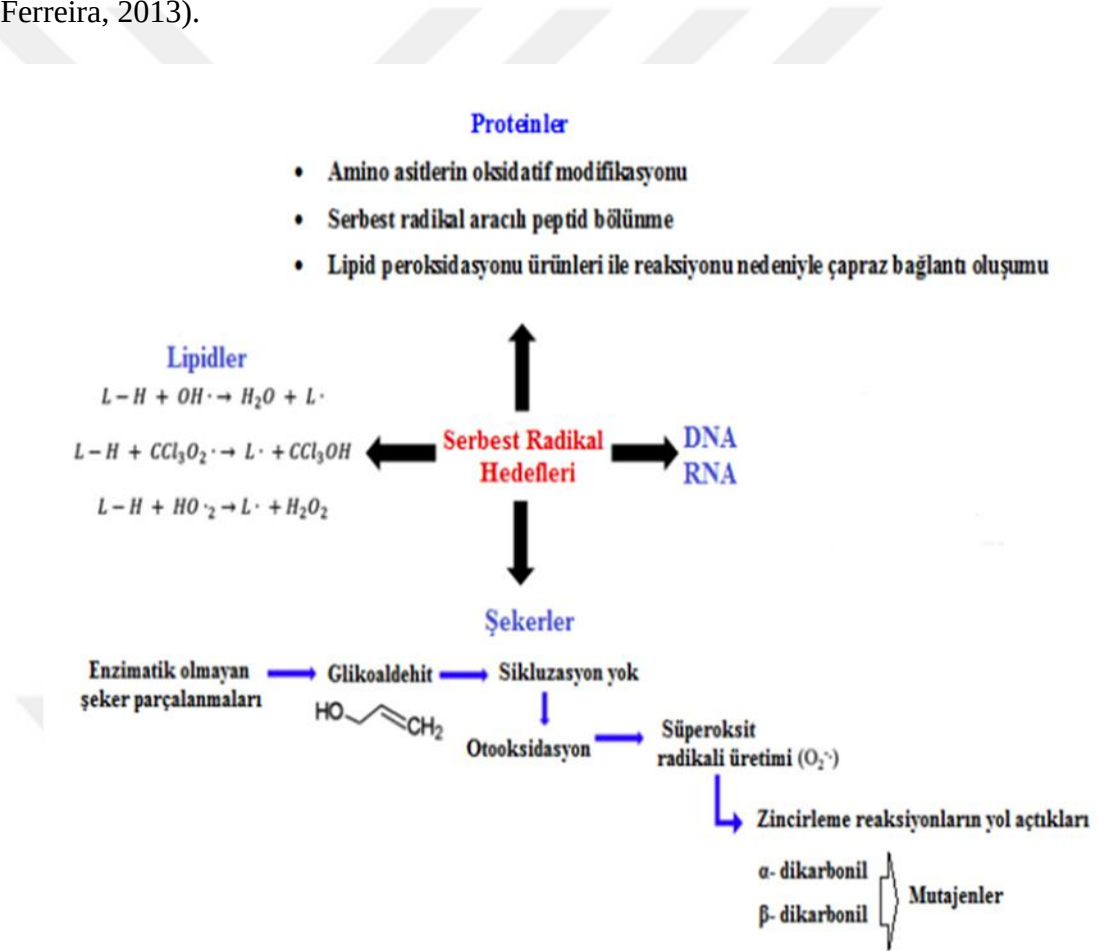
Hidrojen peroksit paylaşılmamış elektronları bulunmayan ve zayıf asidik yapıya sahip olan bir bileşiktir. Enzimatik tepkimelerle parçalandığı için yarı ömrü çok kısadır, en kararlı aktif oksijen türüdür (Halliwell ve ark., 2006).

Peroksizomlarda fotorespirasyon sırasında ve yağ asitlerinin parçalanması sırasında da H₂O₂ oluşur (Del Rio ve ark., 1998). Peroksidaz grubundaki biyolojik katalizörler de hidrojen peroksit oluşumunda etkilidir (Bindschedler, 2006). Hücreler arasında da birikim gösterdiği için bu alanlarda da stres oluşturma potansiyeli yüksektir (Doğru, 2020b).



2.4.2. Oksidatif stresin hücresel makromoleküllere etkileri

Oksidatif stres; polipeptitler, DNA, RNA, yağlar, polipeptitler, lipidler, enzimler gibi moleküllerde onarılabilen veya onarılamayan hasarlara sebep olur (Moller ve ark., 2007; Farmer ve Mueller, 2013). Bu durumda hücre çeperi ve plazma zarlarındaki hasarlar ve hücre parçalanması, fotosentetik verimin azalması ve yapraklarda senesensin hızlanması gibi nedenlerle bitki büyümesi yavaşlar (Alonso, 2001). Şekil 2.3'te AOT'lerin bitki hücrelerindeki hedefleri şematize edilmiştir (Carocho ve Ferreira, 2013).



Şekil 2.3. AOT'lerin bitki hücrelerindeki hedefleri (Carocho ve Ferreira, 2013).

2.4.2.1. Lipit peroksidasyonu

Hidroksil radikali genellikle çoklu doymamış yağ asitlerinin parçalanmasına sebep olur. Lipit peroksidasyonu hücre içinde gerçekleşen olağan bir durum olmasına rağmen, oksidatif stres etkisiyle membran yağlarında parçalanmalar meydana

getirmektedir. Yağ asitlerinin parçalanmasıyla hidroperoksitler, bunların da parçalanmasıyla çeşitli yan ürünler oluşur. Oluşan ürünlerin bir kısmı çok reaktiftir (Costa ve Ferreira, 2001).

Yağların parçalanma hızı oksidatif stres etkisiyle artınca, hücrelerdeki tüm membran sistemleri zarar görür. Bu durum hücre zarından madde geçişlerinde aksaklıklara, hücre içi metabolik aktiviteyi düzenleyen yapıların zarar görmesine, nükleik asitlerin ve polipeptitlerin işlevlerini kaybetmesine neden olur (Driever, 2009; Smirnov ve ark., 1993).

2.4.2.2. DNA oksidasyonu

DNA'yı oluşturan nükleotitlerin azotlu organik bazlarına veya deoksiriboz şekerlerine AOT'lerin bağlanması veya koparılmasıyla oluşur (Dizdaroğlu ve ark., 2002). DNA ikili sarmalında kopmalar, bazların yapısındaki değişiklikler ve nükleotit diziliminde değişiklikler sonucunda DNA hasarlarına sebep olmaktadır (Cooke, 2003; Yoshiyama ve ark., 2013).

Hidrojen peroksit ve süperoksit oluşturan bileşiklerin; pürin ve primidinlerin parçalanması için sinyal oluşturduğu, iplikte kopmalara sebep olduğu ve DNA kombinasyonlarındaki değişikliklerin oluşum hızını artırdığı *Saccharomyces cerevisiae*'de yapılan çalışmalarda görülmüştür (Costa ve Moradas-Ferreira, 2001).

2.4.2.3. Protein oksidasyonu

Proteinlerde meydana gelen oksidasyonlar; yapısal, düzenleyici ve taşıma bakımından proteinlere bağlı olan işlevlerin yavaşlamasına ve durmasına sebep olurken, polipeptitlerin yıkımı ile oluşan toksik protein ürünleri hücrel nekrozlara sebebiyet vermektedir (Avery, 2011).

2.4.2.4. Karbonhidrat oksidasyonu

AOT'lerin dokularda birikimiyle ortaya çıkan oksidatif stresin olumsuz etkilerini engellemek veya ortadan kaldırmak için bitkilerde antioksidant savunma mekanizmaları gelişmiştir (Emsen ve ark., 2019). AOT'ler membran proteinlerinin yıkılmasına sebep olarak hücrel hasara yol açan, DNA ve RNA yıkıcı etkisi olan moleküller olduğundan detoksifiye edilmez.

2.5. Antioksidant Sistem

Antioksidant sistem canlılarda AOT'lerin oluşumunu engelleyerek veya oluşan AOT'nin hücreye zarar vermesinin önüne geçerek etki eder ve oksidatif hasarın boyutunu azaltır. Çeşitli AOT'ne karşı canlılarda fonksiyonel olan mekanizmaya antioksidant savunma mekanizması denir (Ames ve ark., 1993; Müftüoğlu, 2003).

Bu sistemde enzimatik ve enzimatik olmayan bileşenler bulunur. Süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz, katalaz ve glutatyon peroksidazlar enzimatik; askorbik asit, tokoferoller, karotenoidler, glutatyon ve fenolik bileşikler enzimatik olmayan dir (Kasote ve ark., 2015). Bazı antioksidantlar ve görevleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Bazı antioksidant enzimler ve bileşikler.

Antioksidant Sistem	
Enzimatik Bileşenler	Enzimatik Olmayan Bileşenler
Süperoksit dismutaz (SOD)	Askorbik asit (C vitamini)
Askorbat peroksidaz (APOD)	Tokoferoller (E vitamini)
Glutatyon redüktaz (GR)	Karotenoidler (A vitamini)
Katalaz (KAT)	Glutatyon
Guaiakol peroksidaz (GPOD)	Fenolik bileşikler

2.5.1. Enzimatik antioksidanlar

2.5.1.1. Süperoksit dismutaz (SOD)

Bu enzim, oksijenli solunum yapan tüm canlılarda bulunur. Serbest radikallere karşı ilk tepkiyi oluşturan, yapısında kofaktör olarak metal iyonu bulunduran bir enzimdir (Gratão ve ark., 2015). SOD, süperoksit radikalini hidrojen peroksit (H_2O_2) ve moleküler oksijene (O_2) dönüştüren tepkimeyi katalizler. Ortamda bulunan hidrojen peroksit ise daha sonra katalaz veya peroksidaz grubu enzimlerle detoksifiye edilir (Karabulut ve Gülay, 2016).

Aktif bölgelerindeki metal iyonunun çeşidine göre farklı izozimleri vardır. Bunlar Cu/Zn SOD, MnSOD ve FeSOD olarak adlandırılır. *Streptomyces sp.* türünde enzimin aktif bölgesinde kofaktör olarak nikel tespit edilmiştir (Kim ve ark., 1996). Cu/ZnSOD, bitkisel hücrelerin sitoplazmasında ve kloroplastlarda bulunurken; MnSOD mitokondri ve peroksizomların matriksinde lokalize olmuştur. Enzimin

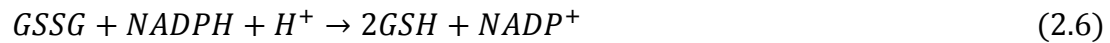
aktivitesinde meydana gelen değişimler, çevre faktörlerinin sebep olduğu oksidatif strese metabolic bir tepki gösterildiğinin kanıtıdır. Bu durum bitkilerin canlılıklarını sürdürebilmeleri açısından oldukça önemlidir. Tuz stresi altındaki buğday, bezelye, mısır ve çay bitkilerinde SOD aktivitesinin arttığı yapılan çalışmalarda ortaya çıkarılmıştır (Kirecci, 2018; Upadhyaya ve ark., 2018). Tuz stresi uygulanmış nohut bitkilerinde Cu/ZnSOD ve MnSOD enzimlerinin aktivitesinin arttığı tespit edilmiştir (Eyidoğan ve Öz, 2007). Tuz stresi uygulamalarının *Glycyrrhiza uralensis* bitkisinde enzim aktivitesinin arttığı bildirilmiştir (Pan ve ark., 2006). Ahmad ve ark. (2008) da dut bitkisinde tuz stresinin enzim aktivitesini artırdığını bildirmiştir.

2.5.1.2. Askorbat peroksidaz (APOD)

APOD, gelişmiş bitkileri de kapsayan çoğu canlıda AOT'nin detoksifikasyonunda en işlevsel antioksidant enzimlerden tanesidir. APOD, hidrojen peroksitin parçalanmasını sağlar (Doğru, 2019). APOD enziminin farklı izozimleri bulunmaktadır. Bu izozimlerinden tAPOD kloroplastın tilakoid membranlarına bağlı olarak, gmAPOD glioksizom zarında, sAPOD kloroplast stromasında, cAPOD ise sitoplazmada çözünmüş halde bulunmaktadır (Noctor ve Foyer, 1998a). Zhang ve ark. (2008), genetiği değiştirilmiş olan tütün bitkisine uyuladıkları kuraklık ve tuz stresi sonucu APOD aktivitesinin arttığını ve buna bağlı olarak hücre bölünmesinin uyarıldığını rapor etmişlerdir. Vital ve ark. (2001), stres uyguladıkları pamuk bitkisinde APOD aktivitesinin bir kaç saat içinde arttığını belirtmiştir. Buğday üzerinde yapılan çalışmada tuz stresi etkisiyle APOD aktivitesinin büyük oranda artış gösterdiği bildirilmiştir (Kirecci, 2018).

2.5.1.3. Glutasyon redüktaz (GR)

GR hücre içinde kloroplast, mitokondri ve peroksizom organellerinde yoğun olarak bulunmaktadır (Creissen ve ark., 1994). Okside glutasyonu NADPH koenziminden aldığı elektron yardımıyla indirger (Chalapathi 2008) (Denklem 2.6).



Glutasyon redüktaz ökaryotik hücrelerin büyük bir kısmında sentezlenmektedir. Bu yüzden hücrelerde yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Glutasyon antioksidant bir molekül olarak görev alır ve hücrenin redoks durumunu korumada, detoksifikasyon işleyişinin devam etmesinde, eikosonoidlerin üretilmesinde, hücrenin sinyal iletim

mekanizmasının fonksiyonunda, gen ekspresyonunda ve programlanmış hücre ölümleri ile ilgili süreçlerde de işlev görmektedir (Karabulut ve Gülay, 2016).

2.5.1.4. Katalaz (KAT)

Genellikle peroksizomlarda bulunan katalaz enzimi, hidrojen peroksiti (H_2O_2) oksijen (O_2) ve suya (H_2O) dönüştüren, tetramerik yapıda ve hem grubu içeren bir enzimdir (Ben-Amor ve ark., 2005; Srivalli ve ark., 2003). Üç kategoride incelenmektedir. Birinci gruptaki katalazlar (KAT1) fotorespirasyon esnasında oluşan hidrojen peroksitin parçalanmasını sağlar. İkinci grupta bulunan katalazlar (KAT2) vasküler dokularda oldukça fazla üretilir ve hücre çeperinin odunlaşmasında etkilidir. Üçüncü grubu oluşturan katalazlar (KAT3) ise, tohum ve ince çeperli kısımlarda oldukça fazladır ve temel işlevi lipid peroksidasyonu esnasında oluşan hidrojen peroksiti detoksifiye etmektir (Willekens, 1994). Scandailos (1990), yaptığı bir çalışmada KAT1 ve KAT2'nin daha çok peroksizomlar ve sitoplazmada, KAT3'ün ise mitokondrilerde bulunduğunu ortaya çıkarmıştır.

Katalaz aktivitesindeki artışın, muhtemelen H_2O_2 'nin toksik etkisini azaltarak canlı metabolizmasındaki hasarın minimuma indirilmesine yardımcı olduğuna inanılmaktadır. Bazı çevresel stres faktörleri çay, pamuk ve tütün bitkilerinde katalazın ekspresyonundan görevli DNA kısımlarının kontrolünü sağlar (Sekmen, 2007; Upadhyaya, 2008; Vital, 2008). Yapılan bazı araştırmalar sonucunda katalaz enziminin aktivitesinin tuz stresi karşısında Comba ve ark. (1998) soya bitkisi, Lechno ve ark. (1997) salatalık bitkisi, Sudhakar ve ark. (2001) dut bitkisi ve Yusuf ve ark. (2011) arttığını göstermiştir.

2.5.1.5. Guaiakol peroksidaz (GPOD)

GPOD indol-3-asetik asit adlı bitki hormonunun parçalanmasından, lignin üretiminden ve H_2O_2 'nin parçalanmasından sorumlu olan bir enzimdir. GPOD enzimi indirgeyici olarak genellikle aromatik özellikteki guaiakol ve pirogallol gibi yapıları tercih eder (Asada, 1999).

2.5.2. Enzimatik olmayan antioksidantlar

2.5.2.1. Askorbik asit (C vitamini)

Meyvelerde ve sebzelerde bulunan askorbik asit (AA) suda çözünebilen bir vitamindir. Askorbik asit birçok biyolojik reaksiyonların hızlı ilerleyebilmesi için önemli rol

oyunar (Du, 2012; Yuan, 2000). AOT'leri (O_2^- , OH^-) indirgeyici ve süpürücü gibi antioksidant özelliklere sahip olan askorbik asit, hücreler için yaşamsal işlevlere sahiptir. Organik yapıda olan ve C vitamini olarak bilinen L-askorbik asit (AA), doğal yollarla oluşmaktadır (Zou, 2020). Bitki büyümesi, metabolizma ve farklılaşmasına katkıda bulunduğu gibi AOT'nin indirgenmesini sağlayarak oksidatif stres zararlarını engellemektedir. Askorbik asit oksidatif strese sebep olan bazı AOT'leri direkt olarak detoksifiye ederken, membrana bağlı formda olan E vitaminine bu detoksifikasyon işleminde yardım ederek dolaylı olarak da koruyucu bir fonksiyonu yerine getirir. Bitkilerin yeşil kısımlarında, fotosentezin yoğun olarak gerçekleştiği yaprağa ait palizat ve sünger parankiması hücrelerinde, kloroplast içinde, vakuol özsuyunda askorbat formunda bulunmaktadır (McKersie ve Leshem, 1994). Genel olarak bitkilerin yaprak dokularında oksidatif stresin artışı ile doğru orantılı olarak askorbik asit artışı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar, tütün ve kavak gibi bitkilerin yapraklarındaki askorbik asit miktarının yüksek olmasının, oksidatif stres hasarlarının azaltılmasını sağladığını ortaya çıkarmıştır (Aono ve ark., 1993; Foyer ve ark., 1995).

2.5.2.2. Glutasyon

Üç aminoasit arasında peptit bağı kurulmasıyla oluşan, hücre içinde pekçok metabolik fonksiyona sahip olan glutasyon sitoplazmada bulunmaktadır (Millar ve ark., 2003). Meyer (2008), yaptığı çalışmalar sonucunda elektron alarak stres altında oluşan bazı AOT'nin yok edebildiğini öne sürmüştür. Belli konsantrasyonda bulunduğu zaman ortamdaki hidroksil radikali $^1O_2$ ve H_2O_2 'yi detoksifiye ettiği belirlenmiştir (Briviba ve ark., 1997; Larson, 1988; Noctor ve Foyer, 1998b). Bazı kimyasal döngüler sonucunda elektron alarak oluşan glutasyon miktarı, yoğun stres koşullarında artar ve bazı indirgenme-yükseltgenme tepkimelerine girerek oksidatif zararı minimize eder, bitkiyi toksik etkilerden korur (Tausz ve ark., 2004).

2.5.2.3. Tokoferoller (E vitamini)

Tokoferoller; bitkilerde ve alglerde bulunan antioksidant bir bileşiktir (Srivalli ve ark., 2003). Kloroplastın iç ve dış zarında yoğun olarak bulunan, diğer antioksidant bileşiklere göre daha dominant yapısı olan, dört farklı formuna rastlanabilmektedir (Sharma ve ark., 2012). En etkili ve doğada en çok rastlanan formu E vitamini olarak bilinen tokoferollerdir. Fotosentetik aktiviteye bağlı olarak sentezlenmeyen, genellikle hücre zarında konumlanan, gelişmiş yapıdaki bitkilerin tüm kısımlarında rastlanan bir moleküldür. Oksidatif stres koşulları altında membranın fosfolipit tabakasının

stabilizasyonunu sağlayarak, membran yapısının değişmesini engeller (McKersie ve Leshem, 1994). Levitt (1980), yapmış olduğu çalışmada aşırı soğuğa maruz kalan bitkilerde tokoferollerin enzimatik reaksiyonlarının devam etmesini sağladığını ve ışık etkisiyle bazı yapıların parçalanmasını engellediğini ortaya çıkarmıştır.

α -tokoferoller çeşitli AOT ve yağların parçalanması sonucu oluşan yan ürünleri ortadan kaldırarak, toksik etkilerine karşı bitkiyi korur, zardaki haberleşme mekanizmasını kontrol eder. (Kruk ve ark., 2005; Noctor, 2006).

Yapılan çalışmalarda, α -tokoferolün $^1\text{O}_2$ molekülünü hızlı bir şekilde detoksifiye ettiği için bazı doymamış yağ asitlerinden hidrojen koparılma hızını azalttığı ve serbest radikal oluşum hızını yavaşlatarak stresin olumsuz etkilerini elimine ettiği belirlenmiştir (Munne, 2005). Tuz stresi altındaki buğday bitkisiyle yapılan bir araştırmada α -tokoferolün yapraklarda metabolik faaliyetlerin sürekliliğini sağladığını belirtilmiştir (Farooq, 2009). Başka bir çalışmada buğday bitkisi hücrelerinin kloroplast iç zarında yağların parçalanma hızını azalttığı ve böylece toksisiteyi azalttığı ortaya çıkarılmıştır (Mittler, 2002).

2.5.2.4. Karetenoidler

α -karoten, β -karoten ve likopen gibi apolar özellikte olan karetenoidler olduğu gibi ksantofil gibi polar özellikte olan, yapısında farklı formlarda oksijen taşıyan çeşitleri bulunan karetenoidler de vardır. Yağ asitleriyle, karbohidrat ve polipeptitlerle birleşmiş formları olduğu gibi serbest halde, amorf yapıda veya yağda çözünmüş olarak bulunabilirler. (Parker, 1996; Von Elbe ve ark., 1996). Fotosentez sırasında klorofil a ve klorofil b tarafından absorblanamayan dalga boyundaki ışığı absorblayarak klorofil pigmentlerine aktarır.

Bu sayede fotosentez hızının artmasını sağlar. Klorofil pigmentlerinin ışık etkisiyle aşırı uyarılmasına bağlı olarak üretilen serbest oksijen radikallerinin oluşumunu engeller (Armstrong ve Hearst, 1996; Ke, 2001).

2.5.2.5. Fenolik bileşikler

Çok sayıda hidroksil grubunun aromatik halka oluşturmaları sonucu oluşurlar. Fenolik asitler, stilbenler, flavonoidler, tanen ve lignin gibi bileşikler fenolik yapıdadır (Paredes-Lopez ve ark., 2010). Kuraklık, UV ışınları, patojenler gibi olumsuz çevre koşullarında bitkilerin uyum sağlamasında etkili birer sekonder metabolit olan fenolik

bileşikler bitkilerde strese karşı dayanıklılık sağlar (Dietrich ve ark., 2004; Szajdek ve Borowska, 2008).

2.6. Nikel (Ni)

1751’de, İsveç’li kimyager Ronstadt tarafından nikel elementi keşfedilmiştir (McGrath ve ark., 1995). 1824 yılında Avusturya’da Gersdorff tarafından ilk metalurjik tesisin kurulmasıyla nikel işlenmeye başlamıştır. Endüstrinin gelişmesi ve çeşitli nikel yataklarının bulunmasıyla demirden sonra en fazla kullanılan metal haline getirilmiştir. Özgül ağırlığı 5 g/cm^{-3} ’den fazla olan metaller ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Bitkilerde metabolik faaliyetlerin gerçekleştirebilmesi için genellikle enzim aktivatörü olarak eser miktarlarda bulunan bakır (Cu ; $8,9 \text{ g/cm}^3$) ve çinko (Zn - $7,1 \text{ g/cm}^3$) gibi mikroelementler gibi nikelde de bir ağır metaldir. Herhangi bir fonksiyonu olmayan hatta bitkide birikerek zehir etkisi yaratan; kadmiyum, civa, krom ve kurşun da ağır metaldir. Atom numarası 28 olan nikel, sulu çözeltilerinde Ni^{+2} iyonu formundadır (Ayhan, 2006; Petrucci ve Harwood, 1993). Parlak, sert ve gümüş renginde bir elementtir (Altundağ, 2002). Genellikle başka elementlerle birleşerek veya kayaçların yapısında bulunmaktadır. Dünyada diğer element gruplarıyla kıyaslandığında rezerv miktarı bakımından 22. sıradadır. (Sunderman, 1991). Nikele ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2.3’de verilmiştir (El-Dahshan, 1996, 1983; Özdemir, 2006).

Tablo 2.2. Nikel elementinin bazı özellikleri (El Dahshan, 1996; Özdemir, 2006’dan değiştirilerek alınmıştır).

Parametre	
Sembol	: Ni
Atom numarası	: 28
Mol kütlesi	: 58,69 g/mol
Yoğunluğu	: 8.908 g/cm^3 (20°C)
Rengi	: Gümüş
Kaynama sıcaklığı	: 2913°C
Erime sıcaklığı	: 1455°C

2.6.1. Nikelin bitkiler üzerindeki etkileri

Nikel, bitkilerin yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmeleri için ortamda az miktarda bulunması gereken bir mikrobeseindir (Ghasemi ve ark., 2014). Düşük konsantrasyonları bitki gelişimi için gerekli ve faydalıyken, sanayi faaliyetlerinin artması, bilinçsiz gübre ve ilaç kullanımı, yerleşim yerlerinde oluşan nikel içeren atıklar ekosistemi olumsuz etkileyerek bitkilerde metabolik faaliyetlerin yavaşlaması hatta durmasına sebep olabilmektedir (Brown ve ark., 1987; Dixon ve 1975; Molas, 1997; Zornoza ve ark., 1999). Yapılan çalışmalar nikel toksisitesinin bitkilerde ATP sentezini engellediği, hücre zarından madde alışverişlerinde aksamalara, kloroplastlardaki fotosentetik elektron taşınım reaksiyonlarının inhibisyonuna, bazı enzimlerin aktivitelerinde azalmaya, protein, fotosentetik pigment ve azot miktarında azalmaya ve hücre osmotik dengesinin bozulmasına neden olduğu belirlenmiştir (Brown ve ark., 1990; Gajewska ve Sklodowska, 2005; Pandolfini ve ark., 1992).

Nikel, bitkiye toprak ve besin çözeltisindeki konsantrasyonuna göre aktif ya da pasif mekanizma ile alınmaktadır (Vogel ve ark., 1987). Bitkiler topraktan nikeli kök emici tüyleri sayesinde alır (Seregin ve ark., 2006).

Yapraklarda gerçekleşen transpirasyon etkisiyle artan kök osmotik basıncıyla köklerden ksilem ile bitkinin toprak üstü organlarına taşınır. (Krupa ve ark., 1993); Neumann ve Chamel, 1986). Floem aracılığıyla da depo organları olan yumru, sürgün ve yapraklara ulaştırılır (Fismes ve ark., 2005; Page ve ark., 2006; Welch, 1995).

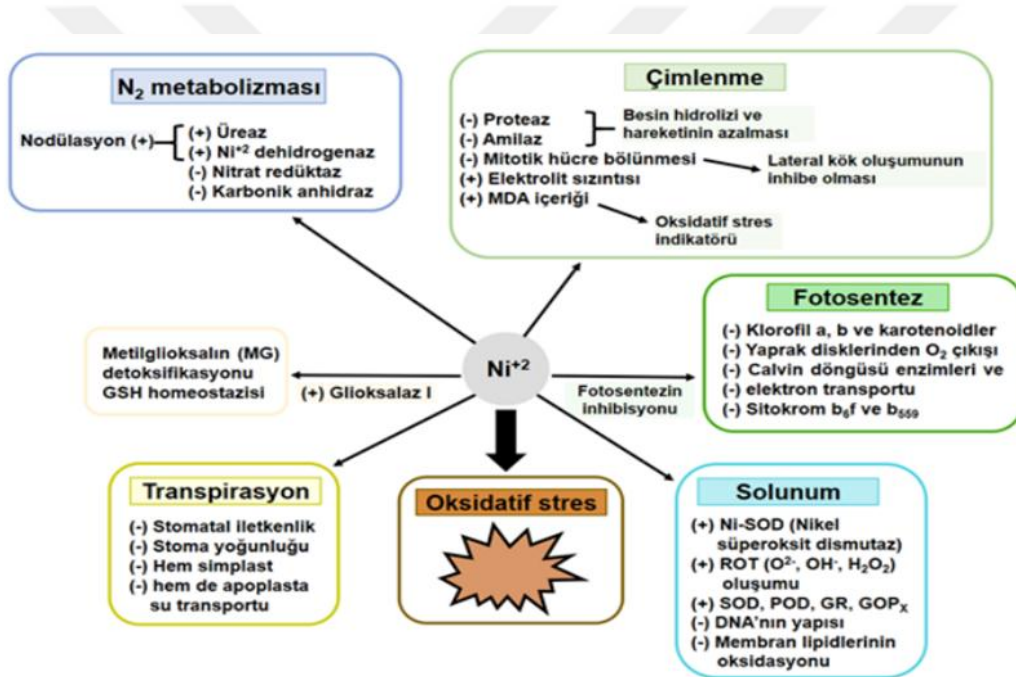
2.6.1.1. Büyüme ve gelişmeye etkileri

Yapılan çalışmalar nikel konsantrasyonundaki artışın bitkilerde birçok metabolik değişikliklere sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bunlar arasında tohum çimlenmesinin inhibisyonu, gövde ve kök büyüme hızında azalma, mitoz bölünme hızının yavaşlaması, zayıf dallanma, taç ve çanak yapraklarda morfolojik değişimler, besin üretiminde azalma, yaprak ölümleri, küçülen yaprak laminaları ve organ sayısında azalma sayılabilir (Gajewska ve ark., 2006; Sachan, 2019). Artan nikel konsantrasyonu bitkilerde köklerden su ve mineral alınımı, fotosentez ve transpirasyon gibi olayları da inhibe etmektedir. Sonuçta bitki büyümesi ve gelişmesi ile ürün miktarı ve kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir.

Nikel eksikliği bitkilerde üre metabolizmasının yavaşlamasına fazlalığı ise yapraklarda klorosis ve ölüme kadar bir çok olumsuz etkiye sahiptir (Van Assche ve

ark., 1990). Sun ve Wu (1998), su ıspanakları üzerine nikel stresi uygulayarak yaptıkları çalışmada nikel artışının yapraklarda sararma ve yaprak ölümlerini sebep olduğunu belirtmiştir.

Benzer bir çalışmada, Pandey ve ark. (2002) nikel etkisiyle yaprak ölümlerinin oluştuğunu; dokulardaki su potansiyelinin ve transpirasyon hızının azalmasına bağlı olarak yapraklarda turgor kayıplarının görüldüğü belirtilmiştir. Gajewska ve ark. (2008) tarafından buğday bitkisine farklı konsantrasyonlarda nikel uygulanmış, kök ve göve büyüme hızının azaldığı rapor edilmiştir. Sharma ve ark. (2008), *Brassica juncea*'da yaptığı bir çalışmada nikelin, çimlenme ve fide evresinde büyüme hızını azalttığı tespit edilmiştir. Nikel toksisitesinin bitkiler üzerindeki genel etkileri Şekil 2.4'de açıklanmıştır (Sachan, 2019).



Şekil 2.4. Bitkilerde nikel toksisitesinin çeşitli metabolik olaylar üzerindeki etkisi(Sachan, 2019).

2.6.1.2. Su alımı ve taşınmasına etkileri

Toprak altı ve sürgün kısımlar üzerinde su transfer mekanizması ağır metal etkisiyle inhibe olmaktadır. Bu durumda bitkinin çeşitli kısımlarında su eksikliği artmakta ve çeşitli metabolik aksamalar görülmektedir (Chen ve ark, 2004; Haag-Kerwer ve ark., 1999). Yapılan bir araştırma sonucunda yaprakların su kapasitesinde, stomalardaki bekçi hücrelerin aktivitesinde, transpirasyon hızında ve su miktarındaki azalmanın nikel uygulamasına bağlı olarak gerçekleştiği görülmüştür (Bishnoi ve ark., 1993).

2.6.1.3. Tohum çimlenmesine etkileri

Tohum çimlenmesi, uygun koşullarda tohumun embriyosunun büyüyüp gelişmeye başlayarak yeni bir bitkiyi meydana getirebilme kabiliyeti şeklinde tanımlanabilir. Özellikle çimlenme ve fide evreleri bitkilerin yaşamları için kritik gelişim dönemleridir. Bu evrelerde stres faktörlerine karşı direnç gösterme yetenekleri oldukça azdır. Bu nedenle karşılaşılan stres unsuru etkisiyle yaşam döngüleri sona erebilir (Mooring ve ark., 1971).

Tohumun inhibe olmasıyla tohumdaki su miktarının artması bazı enzimlerin aktifleşmesini sağlar. Tohumun bazal metabolizma formundan çıkarak embriyo için gerekli enerjinde üretilmesiyle önce embriyonik kök daha sonrada embriyonik gövde oluşur, ardından ilk yaprakların çıkmasıyla yeni bir bitki oluşur (Bewley ve M.Black, 1994). Nikelin tohum çimlenmesi üzerine etkisinin, bitki türüne ve ortamdaki yoğunluğuna göre değişiklik gösterdiği yapılan araştırmalarda ortaya çıkarılmıştır. *Phyllum pratense* tohumlarına düşük konsantrasyonda uygulanan nikelin indükleyici, ancak yüksek konsantrasyonlardaki nikelin çimlenme üzerinde inhibe edici etkiye neden olduğu rapor edilmiştir (Veer, 1988). Espen ve ark. (1994), tarafından *Raphanus sativus* bitkisinde tohumlara çimlenme evresinde uygulanan yüksek konsantrasyondaki nikelin, protein sentezi ve kütleli artışta inhibisyona sebep olduğu gözlemlenmiştir. *Brassica juncea* bitkisinde yapılan bir çalışmada, tohum çimlenmesinin nikel toksisitesi etkisiyle belli oranda inhibe olduğu kaydedilmiştir (Sharma, 2008). Citterio ve ark. (2003), tarafından yapılan bir diğer çalışmada nikel stresinin *Cannabis sativa* tohumlarında çimlenmeyi inhibe ettiği tespit edilmiştir. Nikel konsantrasyonundaki artışın etkisiyle, *Helianthus annuus* tohumlarının çimlenmesini yavaşlamıştır (Jadia ve Fulekar, 2008). *Oryza sativa* ve *Medicago sativa* bitkilerinde yapılan çalışmalar, eser miktarda uygulanan nikelin çimlenme hızını arttırdığı, nikel konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak çimlenme hızının azaldığı belirtilmiştir (Peralta ve ark., 2001).

2.6.1.4. Fotosenteze etkileri

Stres faktörlerinden en fazla etkilenen mekanizma bitkiler için fotosentez mekanizmasıdır. Özellikle ağır metallerin fotosentezin hem elektron taşının hem de karbon fiksasyon tepkimeleri üzerinde aksaklıklara neden olduğu yapılan çalışmalara bağlı olarak kaydedilmiştir. Nikel toksisitesi kloroplastlarda tilakoid membran ve granalarda yapısal hasarlara neden olmaktadır. Tilakoid zarında konumlanmış olan

klorofil pigmentlerinin miktarındaki azalma elektron taşınım reaksiyonlarında inhibisyona yol açmaktadır. Elektron taşınım reaksiyonlarında meydana gelen aksamaların Calvin döngüsünü de etkilediği ve genel olarak fotosentez hızının yavaşladığı tespit edilmiştir (Doğru ve ark., 2021).

2.6.1.5. Azot metabolizmasına etkileri

Bitkiler atmosferdeki serbet azot gazını doğrudan alamamaktadır. Nitrifikasyon olayı olarak adlandırılan sistem ile atmosferdeki azot gazı bitki köklerine azot bağlayıcı canlılar sayesinde bağlanmaktadır. Bitki aldığı azot sayesinde aminoasitler ve azotlu organik bazlar üretmektedir. Ürettiği aminoasitler de daha sonra canlılığın en temel bileşenleri ve birçok metabolik aktivite için gerekli olan enzimlerin yapısını oluşturan protein sentezinde kullanılmaktadır. Nikel, azotun bitkiler tarafından kullanılabilir hale gelmesi için gereken enzimlerin etkinliğini için gereklidir (Sachan, 2019; Yusuf ve ark., 2011). Nikel eksikliği durumunda ise proteinlerin parçalanması sonucu oluşan üreyi metabolize eden üreaz enziminin aktivitesinin azalması, hücre içinde üre birikimine sebep olmakta, üre yanıkları olduğu görülmektedir. Çünkü nikel bileşik enzim olan üreazın yardımcı kısmını oluşturan kofaktördür (Gheibi ve ark., 2009). Eskew ve ark. (1983) yaptıkları bir çalışmada, arpa bitkisinde nikel eksikliğinin çözünen anyonlar, aminoasit ve azot miktarı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Nikel eksikliğine bağlı olarak bozulan azot metabolizması arpa bitkisinde bazı bileşenlerin miktarında değişimlere yol açmıştır.

2.6.2. Karbohidrat metabolizmasına etkileri

Tohumun çimlenebilmesi için bazı enzimlerin karbohidrat metabolizması üzerinde oldukça önemli rolleri vardır. Çünkü bu enzimler etkisiyle parçalanmış karbohidratlardan metabolik faaliyetler için gereken enerjinin temin edildiği bildirilmiştir (Bishnoi ve ark., 1993; Maheshwari, 2007; Van den Ende ve ark., 2002; Yang ve ark., 2001). Çimlenmekte olan tohumları ve büyüme evresindeki fideleri doğrudan etkileyen nikel konsantrasyonundaki artış, büyüme ve gelişme için gerekli olan pek çok makromolekül miktarının değişimine sebep olarak bitkide hasara yol açmaktadır (Veer, 1989). Nikel toksisitesi karbohidrat metabolizması üzerinde olumsuz etki yaratarak, dokulardaki şeker miktarını etkilemektedir (Doğru ve ark., 2021).

2.7. Klorofil a Floresans Tekniği

Klorofil floresansı, fotosentetik etkinliği ölçmek için kullanılan en hassas ve modern yöntemlerden biridir (Hunt, 2003; Krause ve Weis, 1991; Strasser ve ark., 2000). Oldukça pratik olan bu teknik, FSII'nin işleyişıyle ilgili önemli bilgiler sağlamaktadır. Fotosentezin temel mekanizmasını, bitkilerin çevresel stres faktörlerine tepkilerini, genetik ve ekolojik çeşitliliği anlamada önemli bir rolü bulunur (Adams ve Demmig-Adams, 2004).

Klorofil a floresansı; fotosentetik pigment olan klorofil a'nın absorbladığı ışığın ortama dalga boyu artırılarak tekrar geri gönderilmesidir. Klorofil pigmentleri tarafından absorblanan ışık enerjisi; elektron taşıma sisteminde kullanılabilir, ısı enerjisine çevrilebilir ya da ışık olarak tekrar yansıtılabilir. Işık enerjisinin azalması, diğerlerinin artışına sebep olduğu gibi, ısı enerjisinin artışı da diğerlerinin azalmasına sebep olabilmektedir. Özetle birinin etkinliğinde görülen hızlanma, diğer ikisinin etkinliğinde yavaşlamaya neden olduğu, için bu teknikle hem fotosentetik aktivite hem de enerji üretim oranları hakkında sonuçlar alınabilmektedir. Elektron taşınım reaksiyonlarında fonksiyonel olan FSII'nin aktivitesi ile ilgili bilgilere ulaşılmasını sağlayan bir tekniktir (Maxwell ve Johnson, 2000).

Klorofil floresans ölçümleri sırasında en kritik nokta, FSII' nin ilk elektron alıcısı olan kinon A (Q_A)' nın indirgenme ve yükseltgenme faaliyetidir. Q_A 'nın yoğunluğu floresans verimliliğinin göstergesidir. Floresans miktarının, Q_A elektron aldığın zaman (Q_A^-) artış gösterdiği raporlanmıştır (Govindjee, 2004).

Floresansı ölçümleri bitkilerin yapraklarında bitki verimlilik analizatörü yardımıyla gerçekleştirilebilir. Gelişmiş yapraklar seçilir, seçilen yaprak klipsler aracılığıyla yaklaşık bir saat karanlık adaptasyonuna maruz bırakılır. Daha sonra $3,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ şiddetinde ışığa maruz bırakılan yapraklardan elde edilen veriler JIP testi ile değerlendirilir. Bu testle; dış faktörlerin fotosentez reaksiyonlarında meydana getirdiği değişimlerle ilgili birçok parametrenin hızlı bir şekilde incelenebileceği belirtilmiştir (Toksoy ve Doğru, 2021). JIP testi ile ilgili terimler ve sembolleri Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. JIP testinden elde edilen bazı parametre ve tanımları (Kalaji ve ark., 2011).

Parametreler	Tanımlar
Fo	: Karanlık adaptasyonu sağlanmış örnekte tüm FS II reaksiyon merkezlerinin açık olduğu andaki minimum floresans.
Fm	: Karanlık adaptasyonu sağlanmış örnekte tüm FS II reaksiyon merkezlerinin kapalı olduğu andaki maksimum floresans.
Fv	: Fotokimyasal olmayan tüm prosesler minimum seviyede iken maksimum değişken floresans.
Fv/Fm	: FS II'nin maksimum kuantum etkinliği.
Fv/Fo	: Hill reaksiyonu (fotoliz) etkinliği.
ABS/RC	: Reaksiyon merkezi başına FS II'nin ortalama anten boyutu.
ET ₀ /RC	: FS II'de reaksiyon merkezi başına QA'dan sonraki basamaklardaki maksimum elektron taşınımı.
TR ₀ /RC	: FS II'de reaksiyon merkezi başına yakalanan ve QA'nın indirgenmesini sağlayan maksimum enerji.
DI ₀ /RC	: FS II'de reaksiyon merkezi başına fotokimyasal olaylar dışında kaybedilen dissipasyon enerjisi.
RC/ABS	: FS II'deki anten klorofilleri başına aktif reaksiyon merkezi miktarı.
Alan	: OJIP eğrisinin üzerinde kalan, Fo ile Fm arasında bulunan ve indirgenmiş plastokinon (PQ) havuzunun boyutunu ifade eden bölge.
tFm	: Fm'ye ulaşılması için gereken zaman.
$\Delta V/\Delta t_0$	: Kapalı (indirgenmiş) reaksiyon merkezlerinin birikim hızı.
N	: Fm'ye ulaşılıncaya kadar geçen sürede QA'nın indirgenme sayısı.
PI _{ABS}	: Performans indeksi.
SFI _{ABS}	: FS II'nin yapısal ve fonksiyonel durumunun indikatörü.
SM	: Tüm reaksiyon merkezlerinin indirgenmesi için gereken enerji.
Ψ_0	: Yakalanan bir eksitonun bir elektronu QA'dan elektron taşınım sistemine hareket ettirme etkinliği.
ϕ_{D0}	: Termal dissipasyonun kuantum verimi.
ϕ_{E0}	: QA'dan PQ'ya elektron taşınımının kuantum verimi.
ϕ_{P0}	: Primer fotokimyasal olayların maksimum kuantum verimi.
$\phi_0/(1-\phi_0)$	: Işığa bağımlı olan fotokimyasal reaksiyonların performans göstergesi.
$\Psi_0/(1-\Psi_0)$	: Işığa bağımlı olmayan karanlık reaksiyonların performans göstergesi.

2.8. Buğday Bitkisi

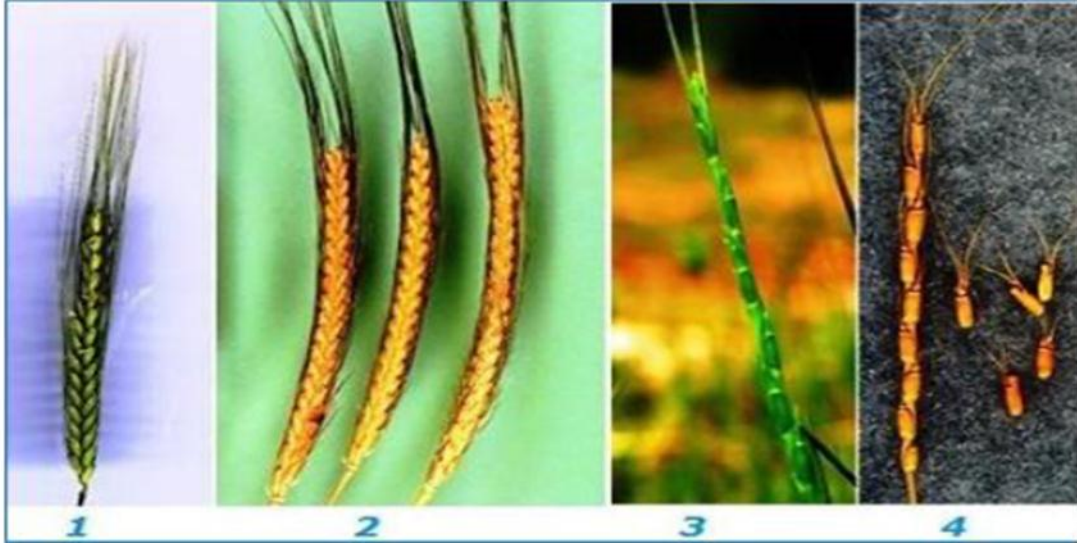
Buğday canlılar için en önemli bitkilerden biridir. Bunun nedenlerine bakıldığında değişen ortam şartlarına uyum yeteneğinin yüksek olması (Koca ve ark., 2011), ekonomik bir bitki türü olması (Aydoğan ve ark., 2020), canlıların temel besin kaynağı olan bir bitki olması ,hammadde olarak pek çok sanayi alanında kullanılması (Atak, 2017), ve gelecek yıllarda dünya için öngörülen gıda krizine çözüm olma potansiyelinin yüksek olması sayılabilir (Tonk ve ark., 2017).

2.8.1. Buğday bitkisinin kökeni

Araştırmalara göre buğdayın orijini, Türkiye'nin güneydoğusunu kapsayan Fırat ile Dicle nehirleri arasında kalan, "Bereketli Hilâl" isimli Mezopotamya bölgesidir (Şekil 2.5). Dünyanın diğer bölgelerine buradan taşındığı bilinmektedir (Anonim, 2023a). Ata buğdaylara ait başak şekilleri şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Buğdayın orijininin Türkiye'yi kapsayan alanları (Anonim, 2023a).



Şekil 2.6. Ata buğdaylara ait başak şekilleri (Yabani siyez 1; Urartu Buğdayı 2; Ak buğdayanası 3; Tesbih buğdayı 4) (Anonim, 2023a).

2.8.2. Buğday bitkisinin sınıflandırılması

Buğday (*Triticum aestivum*), buğdaygiller (Poacea) familyasında yer alan monokotil bir bitki türüdür. Kromozom sayısına göre diploid (kaplıca), tetraploid (makarnalık) ve hekzaploid (ekmeklik); botanik yapısına göre ekmeklik (*Triticum aestivum*), makarnalık (*Triticum durum*) ve bisküvilik/topbaş (*Triticum compactum*) şeklinde sınıflandırılan buğday Tablo 2.5 sınıflandırma kriterlerini göstermektedir (Köksal ve ark., 2011).

Tablo 2.5. Buğday bitkisinin sınıflandırılması (Köksal ve ark, 2011'den değiştirilerek alınmıştır).

Buğdayın Sınıflandırılması				
Kromozom sayısına göre	Botanik yapısına göre	Tane sertliğine göre	Tane rengine göre	Ekim zamanına göre
Diploid (2n=14)	Makarnalık (<i>T. durum</i>)	Sert	Kırmızı	Yazlık
Tetraploid (4n=28)	Ekmeklik (<i>T. aestivum</i>)	Yumuşak	Beyaz	Kışlık
Hekzoploid (6n=42)	Bisküvilik (<i>T. compactum</i>)			

Buğday bitkisine ait dünyada bulunan buğday tür ve alt türleri Tablo 2.6’da özetlenmiştir. Buğday (*Triticum*) cinsine bağlı 6 tür, 17 alt tür; alt türlerin ise 3 yabani, 14 kültür formu bulunmaktadır. Türler incelendiğinde *Triticum urartu*’nun sadece yabani, *Triticum aestivum* ve *Triticum zhukovskyi* L. türlerinin sadece kültür, diğer türlerin ise hem yabani hem kültür formu bulunduğu belirtilmiştir.

Diploid buğdaylara ait iki alt genotipin birbiriyle melezlenemediği, dış görünüşlerinin farklı olduğu tespit edilmiştir. Heun ve ark. (1997) diploid buğdayların orjini Verimli Hilâl bölgesi olduğunu belirtmiştir. Bazı buğday türlerinin Karadağ’da kültüre alındığı bazılarının ise kültüre alınmadığı ancak kültürü yapılan tetraploid ve hekzaploid buğdayların genomunu oluşturduğu belirtilmiştir (Dovarak ve ark., 1993; Peng ve ark., 2011a; Matsuoka, 2011). Tetraploid buğdaylar incelendiğinde morfolojik açıdan birbirine benzeyen, ancak genetik açıdan benzemeyen 2 tane yabani alt türe sahip olduğu; bazılarının melezlenemeyip kültürünün yapıldığı, bazılarının melezlenemeyip sadece kültürünün yapıldığı belirtilmiştir (Zohary ve Hopf, 2000; Matsuoka, 2011) (Tablo 2.6).

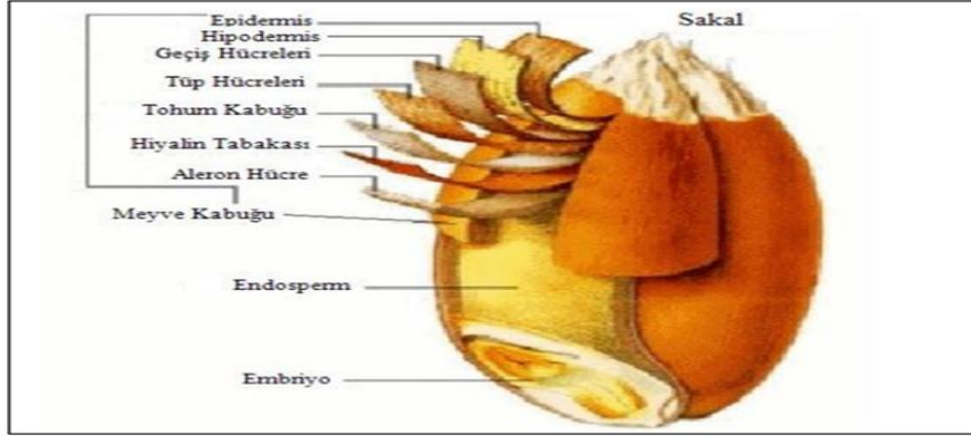
Hekzaploid buğdaylar melezlemeler ve kromozom sayılarındaki artışlara bağlı olarak oluşmuş, günümüze kadar geline süreçte dünyada en fazla ve yaygın olarak ekilen *Triticum aestivum* ekmeklik buğdayları olduğu, yabani tür ve alt türleri olmadığı bildirilmiştir (Dovarak ve ark., 1993; Matsuoka, 2011) (Tablo 2.6).

Tablo 2.6. Yabani buğday tür ve alt türleri, ploidi düzeyleri, kromozom sayıları, genom formülleri ve bilinen isimleri (Matsuoka, 2011).

Ploidi düzeyi ve kromozom sayısı	Tür ve alt türleri	Genom formülü	Tanımlar
Diploid buğdaylar 2n=14	<i>Triticum monococcum</i> L. - <i>subsp. aegilipoides</i> - <i>subsp. Monococcum</i> <i>Triticum urartu</i>	AA	Kaplıca, Siyez Yabani Ekin Kültür Ekin Yabani Urartu
Tetraploid buğdaylar 2n=28 (MAKARNALIK)	<i>Triticum turgidum</i> L. - <i>subsp. dicoccoides</i> - <i>subsp. dicoccon</i> - <i>subsp durum</i> - <i>subsp polonium</i> - <i>subsp tiranicum</i> - <i>subsp turgidum</i> - <i>subsp carthlicum</i> - <i>subsp paleocolchicum</i>	AABB	Gernik, Çatal, Siyez Yabani Gernik Kültür Gernik Makarnalık buğday Polonya buğdayı Horasan buğdayı Kaba Tahıl buğdayı Gürcü buğdayı Pers Buğdayı
	<i>Triticum timopheevii</i> - <i>subsp. armenicum</i> - <i>subsp. timopheevii</i>	AAGG	Rus buğdayı Yabani timophevi Kültür timophevi
Heptaploid buğdaylar 2n=42 (EKMEKLİK)	<i>Triticum aestivum</i> L. - <i>subsp. aestivum</i> - <i>subsp. compactum</i> - <i>subsp.sphaerococcum</i> - <i>subsp.macda</i> - <i>subsp. stelta</i>	AABBDD AABBGG	Ekmeklik buğday Ekmeklik buğday Toğbaş buğdayı Cüce buğday Maha buğdayı Stelta buğdayı
	<i>Triticum zhukovski</i>		Zhukovski buğdayı

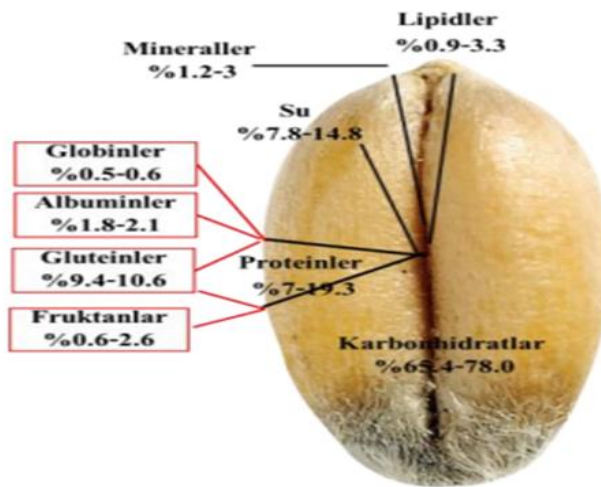
2.8.3. Buğday bitkisinin morfolojik özellikleri

Buğday tanesi üç kısım altında incelenebilir. Bunlardan kabuk, buğday tanesini, endospermi ve embriyosuyla birlikte dıştan çepeçevre saran katmandır. Endosperm, tanedeki besin maddelerinin depo edildiği yerdir. Tanenin ağırlık ve hacim bakımından en büyük kısmıdır. Embriyo ise uygun koşullar sağlandığında taneden yeni bir bitki oluşturan ve soyun devamlılığını sağlayan kısımdır (Özberk, 2009). Buğday tanesinin yapısı Şekil 2.7’de verilmiştir (Anonim, 2007).



Şekil 2. 7. Buğday tanesinin yapısı (Anonim, 2007).

Buğday tanesinin kimyasal bileşimi Şekil 2.8’de verilmiştir. Bir buğday tanesi lipit (% 0,9-3.3), mineral (%1.2-3), protein (%7-19.3), karbohidratlar (% 65.4-78) ve su (%7.8-14.8) gibi bileşenlerden oluşmaktadır (Huynhand ve ark., 2008; Kucek ve ark., 2015).



Şekil 2.8. Buğday tanesindeki temel unsurların dağılımı (Huynhand ve ark., 2008).

2.8.4. Buğday bitkisinin iklim ve toprak isteği

Buğday, sıcak ve nemi sevmeyen, adaptasyon gücü yüksek olan bir serin iklim bitkisidir. Gelişiminin ilk dönemleri için olması gereken en iyi koşullar sıcaklığın 8-10 °C, bağıl nemin ise % 60'ın üzerinde olduğu koşullardır. Kardeşlenme ve sapa kalkma arasında da 10-15 °C sıcaklık, % 65 nem, az ışıklı ve yarı kapalı havalara gereksinim duyar. Buğday bitkisinin gelişim evrelerine göre farklı sıcaklık ve nem isteği olduğu, yine gelişim evrelerinde farklı yağış oranlarına bağlı olarak optimum gelişim gösterdiği, toprakta su tutma kapasitesinin toprak türüne göre değişebildiği ancak ortalama %27-28 değerlerinde olması gerektiği rapor edilmiştir. Çok çeşitli toprak gruplarında yetiştirilebilen bir bitki olmasına karşılık en çok verim alınan ve buğdayın en iyi gelişim gösterebileceği toprağın, drenajı yeterli olan derin killi-tınlı toprak olduğu belirtilmiştir (Kaygıner, 2023).

2.8.5. Dünyada buğday üretimi

Buğdayın ülkelerdeki ekim alanlarına bakıldığında yıllar itibariyle değişim gösterdiği görülmüştür. Tablo 2.7 incelendiğinde özellikle son iki sezonda ekim alanlarının arttığı gözlenmiştir. 2016/2017 yıllarında 222.399 bin hektar olan ekim alanları, 2021/2022 yıllarında 224.090 bin hektara kadar yükselmiştir.

Dünya'daki ortalama ekim alanlarının %50-60'ı Hindistan, AB, Rusya, Çin ve ABD ülkelerde olduğu belirtilmekte ayrıca dünyadaki üretim miktarları Tablo 2.8'da görülmektedir (Anonim, 2023b).

Tablo 2.7. Bazı ülkelerin buğday ekim alanları (bin hektar) (Anonim, 2023b).

Ülkeler	2016/ 2017	2017/ 2018	2018/ 2019	2019/ 2020	2020/ 2021	2021/ 2022
Hindistan	30.220	30.785	29.651	29.319	31.357	31.580
Rusya	27.232	27.370	26.344	27.312	28.684	29.300
Çin	24.694	24.508	24.268	23.730	23.380	23.000
AB (28)	27.004	24.638	23.774	24.362	14.871	23.850
ABD	17.745	15.198	16.030	15.133	13.000	15.146
Avusturalya	12.373	10.919	10.402	9.863	12.081	13.200
Kazakistan	12.191	11.912	11.354	11.339	10.018	12.000
Kanada	8.976	8.983	9.881	9.656	8.825	9.200
Pakistan	9.224	8.973	8.797	8.678	7.100	7.000
Türkiye	7.815	7.800	7.615	7.000	7.100	7.000
Diğer	44.925	47.582	47.320	49.805	49.465	50.614
Dünya	222.399	218.398	215.436	216.197	221.864	224.090

Tablo 2.8. Bazı ülkelerin buğday üretim miktarı (1000 Ton) (Anonim, 2023b).

	2016/ 2017	2017/ 2018	2018/ 2019	2019/ 2020	2020/ 2021	2021/ 2022
Çin	133.271	134.334	131.430	133.590	134.250	136.000
AB (28)	145.369	136.681	123.124	138.741	125.942	135.500
Hindistan	87.000	98.510	99.870	103.600	107.860	108.000
Rusya	72.529	85.167	71.685	73.610	85.354	86.000
ABD	62.832	47.380	51.306	52.581	49.691	51.660
Kanada	32.140	30.377	32.352	32.670	35.183	32.000
Avusturalya		20.941	17.598	14.480	33.000	27.000
Ukrayna	26.791	26.981	25.057	20.171	25.420	29.500
Pakistan		26.674	25.076	24.349	24.946	26.000
Türkiye	17.250	21.000	19.000	17.500	18.250	17.000
Diğer	179.131	134.586	135.030	143.193	135.919	143.780
Dünya	756.313	762.631	731.528	763.528	775.815	794.440

2.8.6. Türkiye’de buğday üretimi

2020/21 yılında dünya buğday ekim alanının %3,1’lük kısmı 69 milyon dekar ile Türkiye’dir. 2020/21 yılında verimdeki artışa bağlı olarak Türkiye, buğday üretiminde onbirinci, buğday ihracatında da onuncu sırada yer almıştır. Veriler incelendiğinde toplam kullanımda %4,1’lik azalma, toplam arzda %0,6’lık artış olduğu görülmüştür. Tablo 2.10.’de Türkiye’de buğday ekim alanı, üretim ve verim miktarı verilmiştir (Anonim, 2023b; Kaygıner,2023).

Türkiye’de buğday üretimi için ayrılan alan oldukça fazladır. Ülkemizde buğday genel olarak her bölgede yetişebilirken özellikle İç Anadolu Bölgesi’nde yaygın olarak yetiştirilir.

2020/21 yılında Konya %9’luk payla birinci sırada yer alırken, onu %6,7’lik pay ile Şanlıurfa, sonrasında da %5,8’lik pay ile Tekirdağ takip etmektedir. Şekil 2.9.’da bakılarak Türkiye buğday alanı ekim alanı bakımından ilk onda yer alan diğer iller sırasıyla Adana, Mardin, Edirne, Diyarbakır, Kahramanmaraş ve Kırklareli’dir (Anonim, 2023b; Kaygıner, 2023).

Tablo 2.9. Yıllara göre buğday ekim alanı, üretim ve verimi (Anonim, 2023b).

Yıllar	Ekim Alanı (Ha)	Üretim (Ton)	Verim (Kg/da)
2002	9.400.000	21.000.000	223
2003	9.100.000	19.000.000	209
2010	8.103.000	19.674.000	243
2015	7.866.887	22.600.000	287
2016	7.671.945	20.600.000	269
2017	7.668.879	21.500.000	280
2018	7.299.270	20.000.000	274
2019	6.846.327	19.000.000	278
2022	6.922.236	20.500.000	296
2021	6.744.666	17.650.000	262



Şekil 2.9. Türkiye buğday üretiminde önemli illerin payları (%) (Anonim, 2023b).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Bitki Materyali

Araştırmada, buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisine ait Cumhuriyet-75, Efe, Ziyabey-98, Gönen-98, Kayra, Meltem ve Kaşifbey-95 genotipleri kullanılmıştır. Buğday genotiplerine ait tohumlar Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

3.2. Kullanılan araç ve gereçler

Çalışmada, Radwag AS220/C/12 hassas terazi, Centurion Scientific K3 Series soğutuculu santrifüj, DragonLab MS-H-Pro manyetik karıştırıcı, IsoLab vorteks, Hanna HI2211 pH metre, Nüve sıcak su banyosu, Elga saf su cihazı, JEIOTECH etüv, Shimadzu mini UV 1240 spektrofotometre, klorofil a florometresi (HandyPea) ve JSR-JSPC iklim dolabı gibi araç ve gereçler kullanılmıştır.

3.3. Çimlenme evresi

3.3.1. Çalışmaların deneysel planlaması

Yaklaşık olarak aynı büyüklükte ve sağlam olan tohumlar seçilerek, plastik çimlendirme kaplarında kurutma kağıtları arasına yerleştirilmiştir. Kontrol grubu olarak belirlenen kaplardaki kurutma kağıtları saf su ile (15 ml), diğer gruplardaki kaplar ise 200, 400, 600, 800 ve 1000 ppm $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi (15 ml) ile ıslatılmıştır. Her çimlendirme kabına 50 adet tohum yerleştirilmiştir. Çimlendirme kapları 25 °C sabit sıcaklık ve %45 oransal neme sahip iklim dolabında karanlıkta çimlenmeye bırakılmıştır. Çalışmanın dördüncü gününde tüm kaplar ilgili çözeltilerle sulanarak (7 ml) tekrar iklim dolabına yerleştirilmiş, çalışmanın sekizinci gününde ise hasat işlemleri yapılmıştır.

3.3.2. Kök ve koleoptil boyunun belirlenmesi

Buğday fidelerinin kök ve koleoptil uzunlukları sekizinci gün milimetrik cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümlerde sırasında en uzun kök dikkate alınmış ve sonuçlar cm bitki^{-1} olarak ifade edilmiştir. Kök ve koleoptil boyu ölçümleri beş tekrarlı ($n=5$) olarak yapılmıştır.

3.3.3. Kök ve koleoptillerin taze ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

Buğday fidelerinin kök ve koleoptilleri birleşme noktasından bistüri yardımıyla kesilmiş, hassas terazi ile ayrı ayrı taze ağırlıkları tartılmış; $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış etüvde üç gün bekletildikten sonra hassas terazi yardımıyla kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ölçümler beş tekrarlı ($n=5$) olarak yapılmış; kök ve koleoptillerin taze ve kuru ağırlıkları mg bitki^{-1} şeklinde belirtilmiştir.

3.3.4. Bazı çimlenme parametrelerinin belirlenmesi

Buğday tohumlarında kullanılan rezerv miktarını tespit etmek amacıyla deneme kurulmadan önce tohumların kuru ağırlığı hassas terazi ile tartılmıştır. Deneme tamamlandığında tohum kalıntıları $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış etüvde üç gün bekletildikten sonra tartılmıştır. Tohumlardaki kullanılan rezerv miktarı hesaplanarak mg tohum^{-1} şeklinde belirtilmiştir. Konversiyon (dönüşüm) kat sayısı ve rezerv tüketimi (%) Soltani ve ark. (2006)'ya göre hesaplanmıştır. Her üç parametreye için ölçümler beş tekrarlı ($n=3$) olarak yapılmıştır.

3.3.5. Kök ve koleoptillerin gerçek ve oransal büyüme hızının belirlenmesi

Çalışmanın dördüncü ve sekizinci gününde kök ve koleoptil boyları aynı buğday fidelerinde beş tekrarlı ($n=5$) olarak milimetrik cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Kök ve koleoptillerin gerçek ve oransal büyüme hızı Costa Franca ve ark. (2000)'e göre hesaplanmış ve cm gün^{-1} olarak ifade edilmiştir.

3.3.6. İstatistiksel analizler

Ölçüm ve analizler sonucunda elde edilen verilere SPSS paket programı kullanılarak istatistiki varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Bağımsız değişkenlerin tümü için uygulama ve çeşitler arasındaki farkın önem kontrolü Anlamlı Önemli Fark (AÖF) %5 düzeyinde hesaplanmıştır.

3.4. Erken fide evresi

3.4.1. Bitki yetiştirme ve deneysel planlama

Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-95 genotiplerine ait ortalama olarak aynı büyüklükte ve sağlam olan tohumlar seçilerek plastik çimlendirme kaplarında bidistile su ile ıslatılmış kurutma kâğıtları arasında çimlenmeye alınmıştır. Çimlenme kapları 25 °C sabit sıcaklık ve %45 oransal neme sahip olan iklim dolabında karanlık ortama yerleştirilmiştir. Üç gün sonra her iki genotipe ait uniform fideler perlit ve ½ oranında sulandırılmış Hoagland besin çözeltisi içeren kaplarda su kültürüne alınmıştır. Saksılar 18/25 °C sıcaklık (gece/gündüz), 16/8 saat fotoperiyot (gündüz/gece), %50±5 oransal nem ve 200 µmol foton m⁻² s⁻¹ ışık şiddetine sahip iklim odasına bırakılmıştır. Bitkiler 12 gün boyunca besin çözeltisi içeren su kültüründe büyütülmüş ve besin çözeltisi iki günde bir değiştirilmiştir. Denemenin 13. gününde bitkiler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grupta bulunan kontrol bitkileri denemenin sonuna kadar ½ oranında sulandırılmış Hoagland besin çözeltisi ile büyütülmüş, ikinci gruptaki bitkilere 200 ppm konsantrasyona sahip nikel çözeltisi (NiSO₄.7H₂O) besin çözeltisi içinde çözülerek uygulanmıştır. İki gün sonra bitkilerin yapraklarında klorofil a floresansı tekniği ile fotosentetik aktivite ölçülmüş, bazı fizyolojik büyüme parametreleri belirlenmiş ve biyokimyasal analizlerde kullanılacak olan yaprak örnekleri analizlere kadar -20 °C’de muhafaza edilmiştir.

3.4.2. Kök ve gövde boylarının belirlenmesi

Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotiplerine ait buğday bitkilerinin kök ve gövde uzunlukları milimetrik cetvel yardımıyla üç tekrarlı ($n=3$) olarak ölçülmüştür. Kök ölçümleri sırasında en uzun kök dikkate alınmıştır. Kök ve gövde boyları cm bitki⁻¹ olarak ifade edilmiştir.

3.4.3. Kök ve gövdelerin taze ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

Buğday fidelerinin kök ve gövdeleri birleşme noktasından bistüri yardımıyla kesilmiş, hassas terazi ile ayrı ayrı taze ağırlıkları tartılmış, 70 °C’ye ayarlanmış etüvde üç gün bekletildikten sonra hassas terazi yardımıyla kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ölçümler üç tekrarlı ($n=3$) olarak yapılmış; kök ve koleoptillerin taze ve kuru ağırlıkları mg/bitki⁻¹ şeklinde belirtilmiştir.

3.4.4. Toplam süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin belirlenmesi (1.15.1.1)

Toplam SOD aktivitesi Beyer ve Fridovich (1987)'ye göre ölçülmüştür. Yaklaşık 0.3 g taze yaprak dokusu, sıvı azotla ezilmiş ve 1.5 ml, 100 mM K-PO₄ (pH 7.0), % 2'likPVP (polivinilpirolidon) ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenat, 14.000 rpm ve +4 °C'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Son hacim 1030 µl olacak şekilde 100 mM KPO₄ tamponu (pH 7.8), 9.9x10⁻³ M metionin, 5.7x10⁻⁵ M NBT (nitroblue tetrazolyum), % 1'lik triton X-100 ve enzim karışımından oluşan bir tepkime çözeltisi yapılmıştır. Tepkime 0.9 µM riboflavin eklenerek başlatılmış, karışım 15 dakikalık süre içinde 375 µmol m⁻² s⁻¹ şiddetinde ışıpta bekletildikten sonra 560 nm'de absorbans değerleri belirlenmiştir (SHIMADZU UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometer). Toplam SOD aktivitesi daha önce hazırlanmış olan standart grafikten yararlanarak bulunmuştur (U/mg protein⁻¹).

3.4.5. Toplam askorbat peroksidaz (APOD) aktivitesinin belirlenmesi (1.11.1.11)

Toplam APOD aktivitesi Wang ve ark. (1991)'e göre belirlenmiştir. Yaklaşık 0.3 g taze yaprak dokusu, sıvı azotla homojenize edilerek ve 1.5 ml, 50 mM Tris-HCl (pH 7.2), %2'lik PVP, 1 mM Na₂EDTA ve 2 mM askorbat içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojen hale getirilmiştir. Homojenat, 12.000 rpm ve +4 °C'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen 1000 µl olacak şekilde 50 mM K-PO₄ tamponu (pH 6.6), 2.5 mM askorbat, 10 mM H₂O₂ ve 100 µg proteinden oluşan enzim karışımından oluşan tepkime çözeltisi hazırlanmıştır. Reaksiyon, H₂O₂'nin eklenmesiyle başlatılmıştır. Askorbat yoğunluğunda düşme, spektrofotometrede (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometer) 290 nm'de yapılan okumalarla enzim özütü içermeyen tepkime çözeltisine karşılık kaydedilmiştir. Enzim aktivitesi, askorbatın ekstinksiyon katsayısı (2.8 mM cm 290 nm⁻¹) kullanılarak tepkimenin başlama süratinden hesaplanmıştır (nmol askorbat dakika⁻¹ µg protein⁻¹).

3.4.6. Toplam glutatyon redüktaz (GR) aktivitesinin belirlenmesi (1.6.4.2)

Toplam GR aktivitesi Sgherri ve ark. (1994)'e göre belirlenmiştir. Yaklaşık 0.3 g taze yaprak dokusu sıvı azotla homojenize edilerek 1.5 ml, 100 mM K-PO₄ (pH 7.0), % 2'lik PVP ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenat,14.000 rpm ve +4 °C'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen 1000 µl olacak şekilde 100 mM K-PO₄ tamponu (pH 7.8), 2 mM Na₂EDTA, 0.5 mM okside glutatyon(GSSG), 0.2 mM NADPH ve 100 µg protein içeren enzim karışımından oluşan tepkime çözeltisi hazırlanmıştır. Reaksiyon, NADPH'nin ilave edilmesiyle

başlatılmıştır. Enzim aktivitesi spektrofotometrik (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometer) olarak 320 nm’de yapılan okumalarla ölçülmüştür. Düzeltme, NADPH yokluğunda GSSG oksidasyonu ile yapılmıştır. Enzim etkinliği, NADPH’nin ekstinksiyon katsayısı (6.2 mM cm 340 nm⁻¹) kullanılarak tepkime başlangıç hızından hesaplanmıştır (nmol NADPH dakika⁻¹ µg protein⁻¹).

3.4.7. Toplam guaiakol peroksidaz (GPOD) aktivitesinin belirlenmesi(1.11.1.7)

Toplam POD aktivitesi Sanchez-Romero (1993)’e göre belirlenmiştir. Yaklaşık 0.3 g taze yaprak dokusu sıvı azotla homojenize edilmiş ve 1.5 ml, 100 mM K-PO₄ (pH 7.0), %2’lik PVP ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenat, 14.000 rpm ve +4 °C’de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Son hacim 3180 µl olacak şekilde 100 mM K-PO₄ tamponu (pH 7.0), 0.316 mM guaiakol, 0.116 mM H₂O₂ ve 100 µl enzim karışımından oluşan tepkime çözeltisi hazırlanmıştır. Tepkime, H₂O₂’nin eklenmesiyle başlatılmıştır. Enzim aktivitesi spektrofotometrik (SHIMADZU, UV mini 1240 UV-VIS Spectrophotometer) olarak 470 nm’de yapılan okumalarla ölçülmüş ve guaiakolün ekstinksiyon katsayısı (26.6 mM cm 470 nm⁻¹) kullanılarak reaksiyonun başlangıç hızından hesaplanmıştır (nmol H₂O₂ dakika⁻¹ µg protein⁻¹).

3.5. Klorofil a Floresansı Ölçümleri

Klorofil a floresans ölçümleri yapraklarda “bitki verimlilik analizatörü” (HandyPEA florometresi, Hansatech Instruments Ltd., Pentney, King’s Lynn, Norfolk, England) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ölçüm için kullanılacak yapraklar, yaprak klipsleri yardımıyla 45-60 dakika karanlık adaptasyonuna maruz bırakılmıştır. Daha sonra yaprak yüzeylerine 3,500 µmol m² s⁻¹ şiddetinde ışık uygulanmış ve elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi PeaPlus adlı programla uygulanan JIP testi ile yapılmıştır (Strasser ve ark., 2000).

3.6. İstatiksel Analizler

Ölçüm ve analizler sonucunda elde edilen verilere SPSS paket programı kullanılarak istatistiki varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Bağımsız değişkenlerin tümü için uygulama ve çeşitler arasındaki farkın önem kontrolü Duncan testi ile %5 düzeyinde yapılmıştır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Nikel Uygulamalarının Çimlenme Evresi Üzerine Etkisi

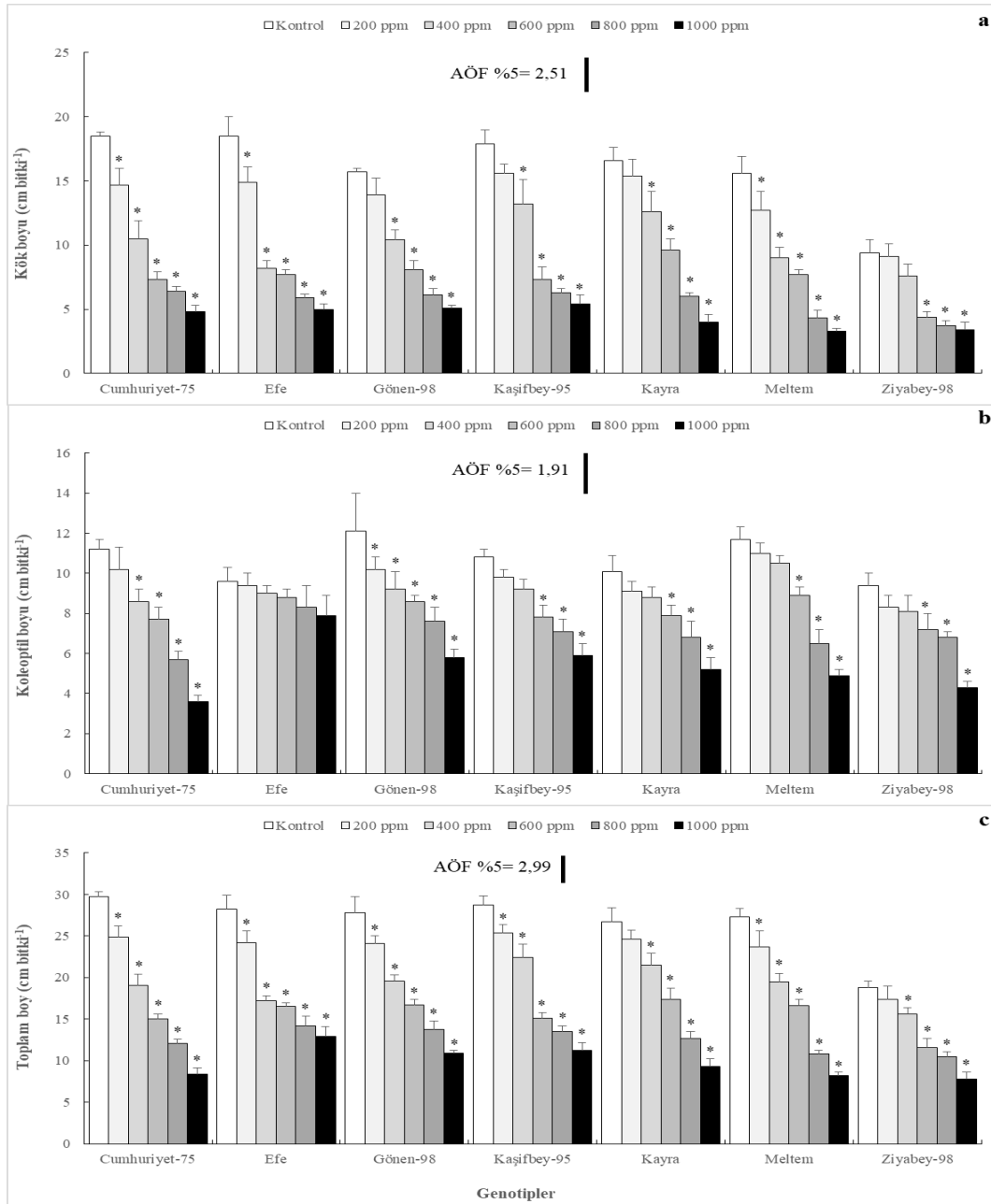
4.1.1. Kök uzunluğu, gövde uzunluğu ve toplam boy uzunluğuna etkisi

Farklı konsantrasyonlardaki (200, 400, 600, 800 ve 1000 ppm) nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) uygulamalarının, yedi farklı buğday genotipinde kök boyu üzerindeki etkisi Şekil 4.1a'da gösterilmektedir.

Cumhuriyet-75, Efe ve Meltem genotiplerinde, tüm Ni konsantrasyonları kök boyunu önemli derecede azaltmıştır ($p < 0.05$). Gönen-98, Kayra ve Kaşifbey-95 genotiplerinde 200 ppm'lik Ni uygulaması kök boyu üzerinde kontrollerle karşılaştırıldığında önemli değişime yol açmazken ($p > 0.05$), aynı genotiplerde 400, 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları kök büyümesini kontrollere göre önemli derecede inhibe etmiştir ($p < 0.05$). Ziyabey-98 genotipinde ise sadece 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulaması kök boyunu kontrole göre büyük oranda azaltmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.1a).

Efe genotipinde uygulanan tüm Ni konsantrasyonları, gövde boyu üzerinde kontrole oranla istatistiksel bir değişime yol açmazken ($p > 0.05$), Gönen-98 genotipinde uygulanan tüm Ni konsantrasyonları gövde boyunu kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.1b). Ayrıca Cumhuriyet-75 genotipine uygulanan 400, 600, 800 ve 1000 ppm'lik nikel gövde büyümesinde kontrole göre önemli derecede inhibisyona sebep olmuştur ($p < 0.05$). Kaşifbey-95, Kayra, Meltem ve Ziyabey genotiplerinde sadece 600, 800 ve 1000 ppm'lik nikel uygulaması gövde boyunda kontrole göre önemli oranda azalmaya yol açmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.1b).

200, 400, 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni konsantrasyonlarının yedi farklı buğday genotipi üzerindeki toplam boy uzunluğuna etkisi Şekil 4.1c'de verilmiştir. Cumhuriyet-75, Efe, Gönen-98, Kaşifbey-95 ve Meltem genotiplerinin toplam boy uzunluğu kontrole göre tüm Ni konsantrasyonlarında istatistiki açıdan ciddi oranda azalmıştır ($p < 0.05$). Kayra ve Ziyabey-98 genotiplerinde ise gövde boyu 200 ppm'lik Ni uygulamasından etkilenmemiştir ($p > 0.05$). Ancak bu iki genotipte 400, 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları toplam boyu kontrollere göre önemli derecede azaltmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.1c).



Şekil 4.1. Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök uzunluğu, (b) koleoptil uzunluğu ve (c) toplam boy uzunluğuna etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir].

4.1.2. Kök taze ağırlık, kök kuru ağırlık, koleoptil taze ağırlık ve koleoptil kuru ağırlık üzerine etkisi

Kaşifbey-95 ve Kayra genotiplerinde tüm Ni konsantrasyonları kök taze ağırlığını kontrol gruplarına göre istatistiksel olarak önemli derecede azaltmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.2a). Efe, Meltem ve Gönen-98 genotiplerinde uygulanan 200 ppm konsantrasyondaki Ni'nin kontrollere göre kök taze ağırlığında neden olduğu azalma istatistiki açıdan önemsizdir. ($p > 0.05$).

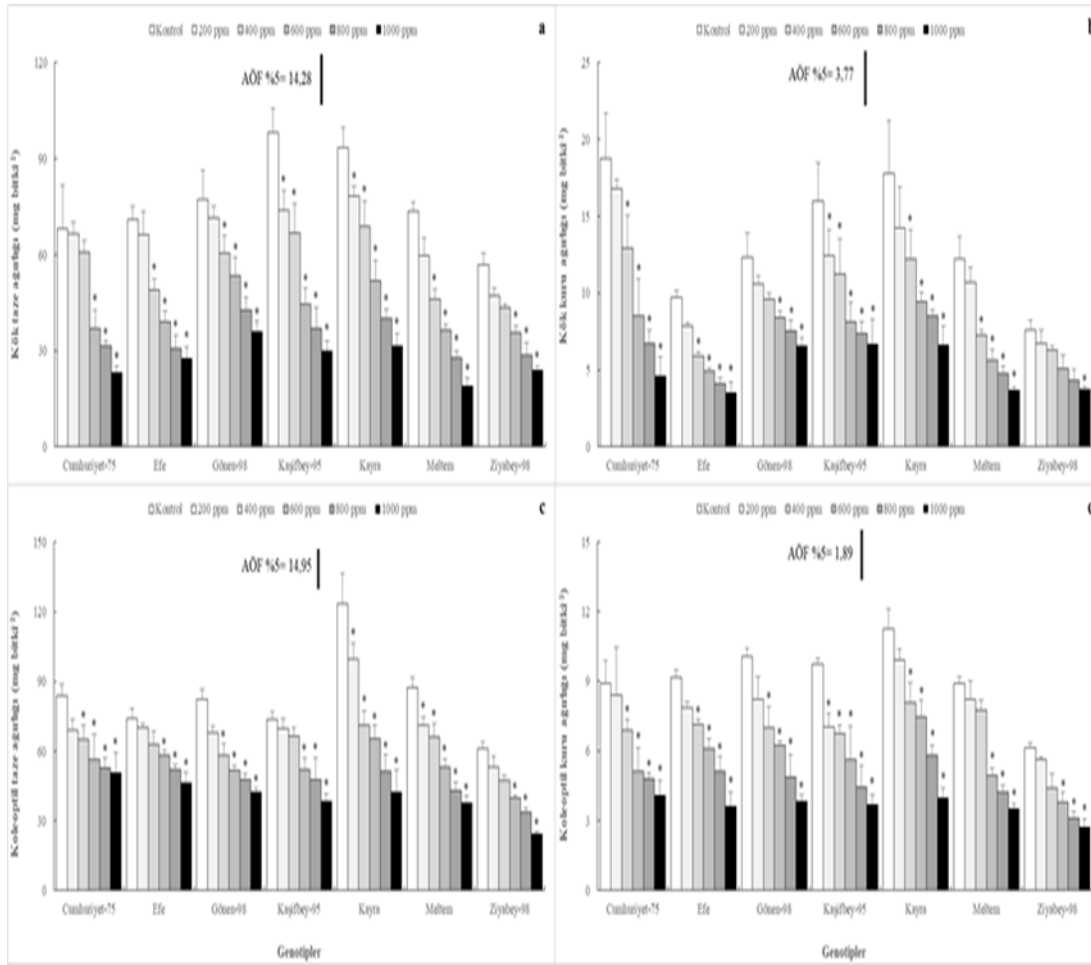
Efe, Meltem ve Gönen-98 genotiplerinin 400, 600, 800 ve 1000 ppm konsantrasyonlarındaki uygulamalardaki sonucu kök taze ağırlıklarında belirlenen azalma kontrollere göre istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Şekil 4.2a). Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotiplerinde 200 ve 400 ppm'lik Ni uygulamaları kök taze ağırlığında kontrollere göre istatistiksel bir değişime neden olmamış ($p>0,05$), diğer Ni konsantrasyonları ise kontrollere göre önemli derecede azaltmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4.2a).

Uygulanan tüm Ni konsantrasyonları Kaşifbey-95 genotipinde kök kuru ağırlığını kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ($p>0,05$) (Şekil 4.2b). Cumhuriyet-75, Efe, Kayra ve Meltem genotiplerinde 200 ve 400 ppm'lik Ni uygulaması sonucu kök kuru ağırlığında gözlemlenen azalmalar kontrollerle kıyaslandığında önemli bulunmamış ($p>0,05$), 600, 800 ve 1000 ppm'lik uygulamaların ise istatistiksel olarak önemli derecede azalttığı belirlenmiştir ($p<0,05$) (Şekil 4.2b). Gönen-98 genotipinde 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları; Ziyabey-98 genotipinde ise sadece 1000 ppm'lik Ni uygulaması kök kuru ağırlığını kontrollere göre ($p<0,05$) (Şekil 4.2b).

Efe, Kaşifbey-95 ve Ziyabey-98 genotiplerinde 200 ve 400 ppm'lik Ni uygulamaları koleoptil taze ağırlıklarını kontrollere göre önemli derecede etkilemezken ($p>0,05$), diğer Ni konsantrasyonları önemli derecede azaltmıştır ($p<0,005$) (Şekil 4.2c).

Cumhuriyet-75 ve Gönen-98 genotiplerinde 200 ppm Ni uygulaması sonucu görülen koleoptil taze ağırlığındaki azalma kontrollere göre istatistiksel olarak anlamsız bulunmuş ($p>0,05$), ancak diğer Ni konsantrasyonları kontrollere göre önemli oranda azaltmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4.2c). Kayra ve Meltem genotiplerinde ise uygulanan tüm Ni konsantrasyonları koleoptil boylarının kontrollere göre önemli derecede azalmasına yol açmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4.2c).

Cumhuriyet-75, Efe, Gönen-98 ve Kayra genotiplerinde 200 ppm'lik Ni uygulaması koleoptil kuru ağırlıklarını kontrollere göre etkilememiş ($p>0,05$), diğer konsantrasyonlar önemli derecede azalmasına neden olmuştur ($p<0,05$) (Şekil 4.2d). Meltem ve Ziyabey-98 genotiplerinde sadece 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları; Kaşifbey-95 genotipinde ise tüm Ni uygulamaları koleoptil kuru ağırlığının kontrollere göre önemli derecede azalmasına yol açmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4.2d).



Şekil 4.2. Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 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 ile gösterilmiştir].

4.1.3. Kök ve gövde gerçek büyüme hızına, kök ve gövde oransal büyüme hızına etkisi

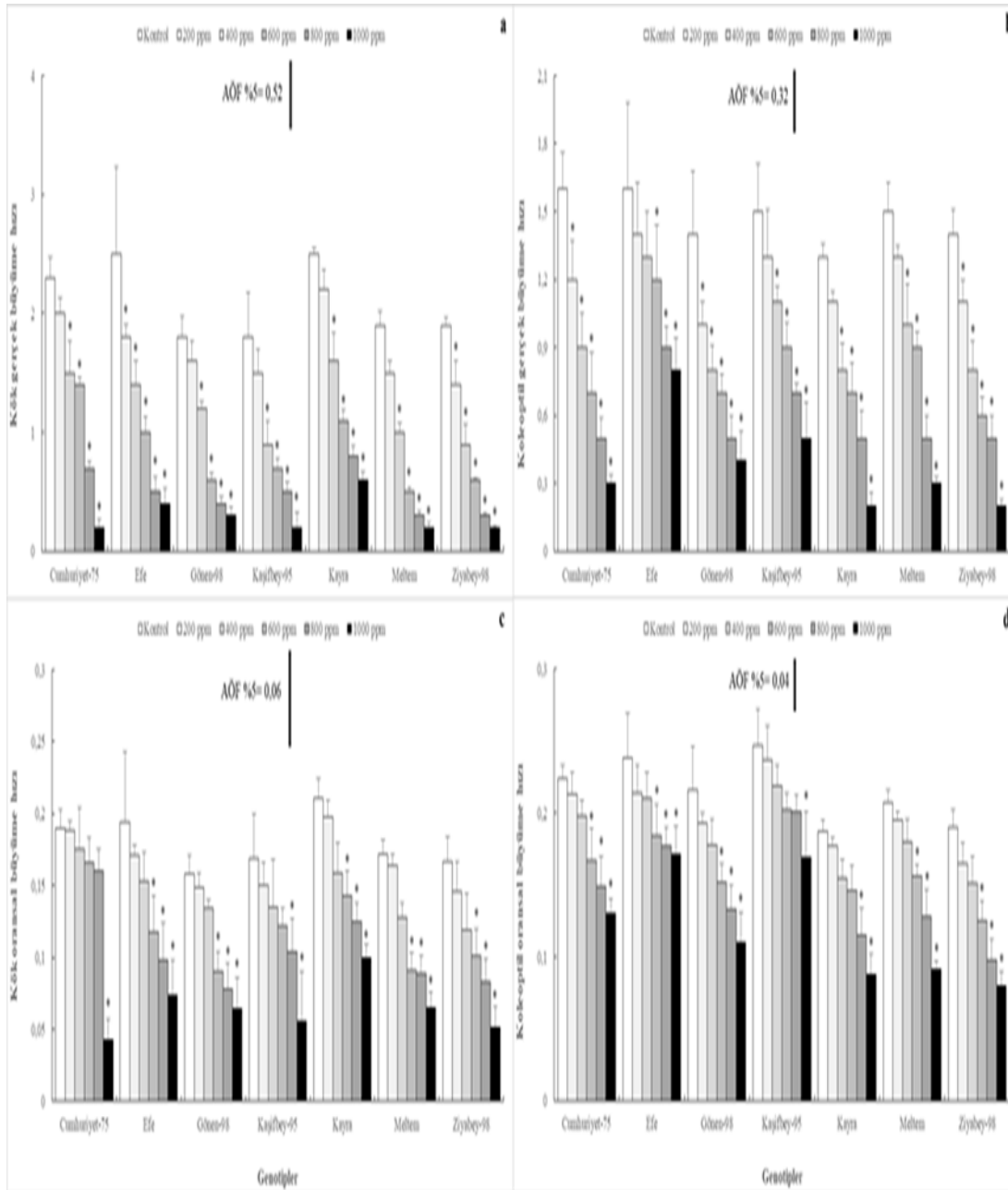
Efe ve Ziyabey-98 genotiplerinde tüm Ni konsantrasyonları kök gerçek büyüme hızının kontrollere göre önemli derecede azalmasına neden olmuştur ($p < 0.05$) (Şekil 4.3a). Cumhuriyet -75, Gönen-98, Kaşifbey-95, Kayra ve Meltem genotiplerinde 400, 600, 800 ve 1000 ppm’lik Ni uygulamaları kök gerçek büyüme hızını ilgili kontrollere göre önemli derecede azaltırken ($p < 0.05$), 200 ppm’lik Ni uygulaması etkilememiştir ($p > 0.05$) (Şekil 4.3a).

Kaşifbey-95, Kayra ve Meltem genotiplerinde koleoptil gerçek büyüme hızı 200 ppm’lik Ni uygulaması sonucu kontrollere göre önemli derecede değişmemiş ($p > 0.05$), diğer Ni konsantrasyonları ile önemli oranda azalmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.3b).

Cumhuriyet-75, Gönen-98 ve Ziyabey-98 genotiplerinde uygulanan tüm Ni konsantrasyonları koleoptil gerçek büyüme hızının kontrollere göre önemli derecede azalmasına neden olmuştur ($p<0.05$) (Şekil 4.3b). Efe genotipinde ise sadece 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları sonucu kontrollere göre istatistiksel olarak önemli oranda azalmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.3b).

Efe, Gönen-98, Kayra, Meltem ve Ziyabey-98 genotiplerinde kök oransal büyüme hızı sadece 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları sonucunda kontrollere göre önemli derecede azalırken ($p<0.05$), 200 ve 400 ppm'lik uygulamalar etkilememiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.3c). Cumhuriyet-75 genotipinde sadece 1000 ppm'lik, Kaşifbey-95 genotipinde ise sadece 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları kök oransal büyüme hızını kontrollere göre önemli derecede azaltmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.3c).

Cumhuriyet-75, Efe, Gönen-98, Meltem ve Ziyabey-98 genotiplerinde koleoptil oransal büyüme hızı sadece 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları sonucu kontrollere göre önemli derecede azalırken ($p<0.05$), 200 ve 400 ppm'lik Ni uygulamaları istatistiksel olarak etkilememiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.3d). Kaşifbey-98 genotipinde sadece 1000 ppm, Kayra genotipinde ise 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları koleoptil oransal büyüme hızını kontrollere göre önemli derecede azaltmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.3d).



Şekil 4.3. Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) uygulamalarının farklı buğday genotiplerinde (a) kök gerçek büyüme hızı, (b) koleoptil gerçek büyüme hızı, (c) kök oransal büyüme hızı ve (d) koleoptil oransal büyüme hızı üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir].

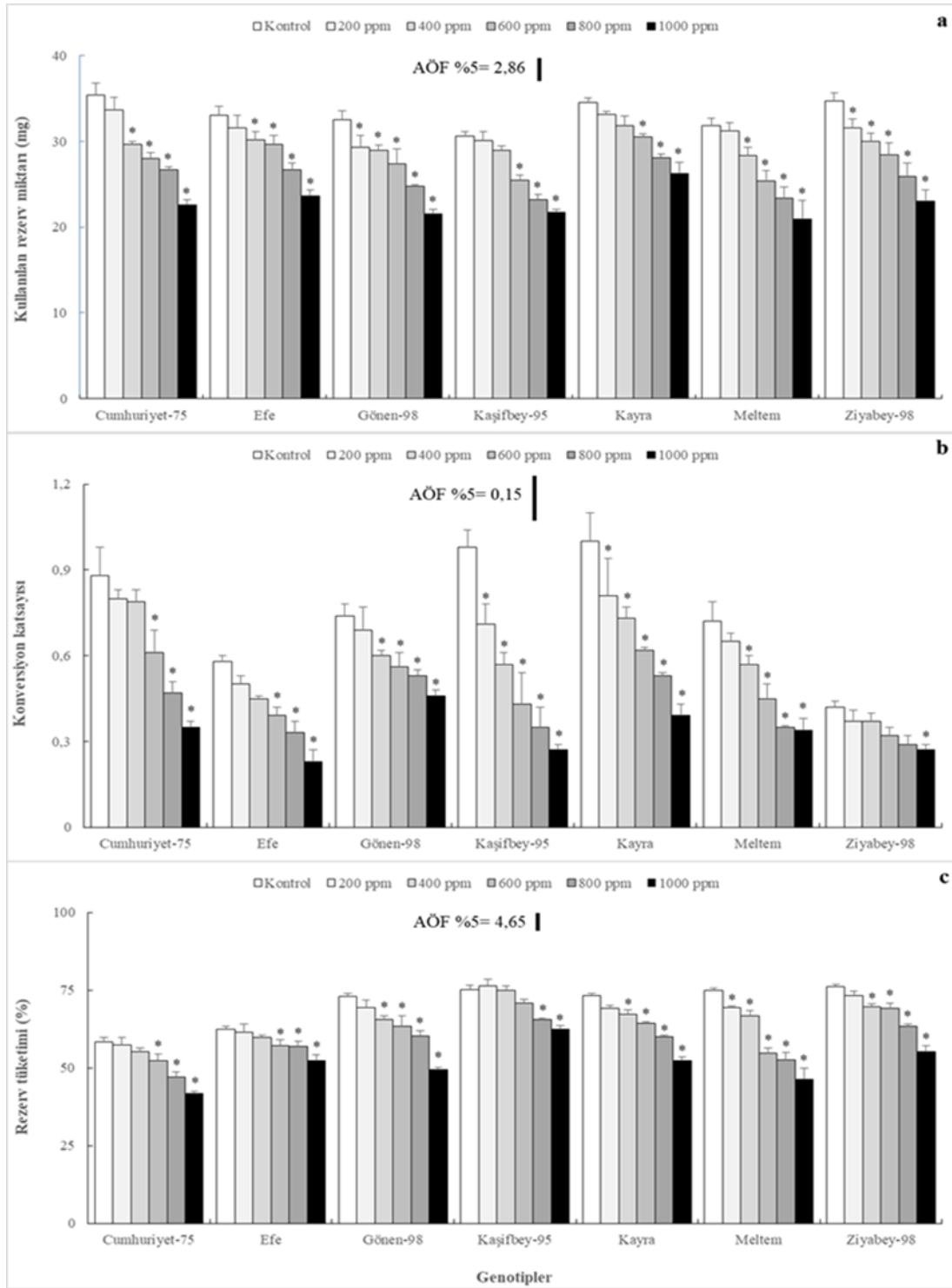
4.1.4. Kullanılan rezerv miktarı, konversiyon katsayısı ve rezerv tüketimine etkisi

Gönen-98 ve Ziyabey-98 genotiplerinde uygulanan tüm Ni konsantrasyonları kullanılan rezerv miktarını kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede azaltmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.4a). Cumhuriyet-95, Efe ve Meltem genotiplerinde 200 ppm’lik nikel uygulaması kontrollere göre kullanılan rezerv miktarını istatistiksel olarak

etkilememiş ($p>0.05$) ancak 600, 800 ve 1000 ppm'lik nikel uygulamaları kontrolle kıyaslandığında önemli oranda azaltmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.4a). Kaşifbey-95 ve Kayra genotiplerine uygulanan 200 ve 400 ppm konsantrasyonundaki nikel kullanılan rezerv miktarını kontrollere göre önemli derecede etkilememiş ($p>0.05$), 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni uygulamaları ise önemli derecede azaltmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.4a).

Konversiyon katsayısı, Kaşifbey-95 ve Kayra genotiplerinde uygulanan tüm nikel konsantrasyonlarında, kontrole oranla istatistiki bakımdan önemli derecede azalmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.4b). Gönen-98 ve Meltem genotiplerinde 200 ppm'lik Ni uygulaması sonucu konversiyon kat sayısında gözlenen azalma istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş ($p>0.05$); 400, 600, 800 ve 1000 ppm 'lik Ni uygulamaları konversiyon kat sayısını kontrollere kıyaslandığında önemli derecede azaltmıştır ($p<0.005$) (Şekil 4.4b). Cumhuriyet-75 ve Efe genotiplerinde sadece 600, 800 ve 1000 ppm; Ziyabey-98 genotipinde ise sadece 1000 ppm'lik Ni uygulaması konversiyon akt sayısının kontrollere göre önemli derecede azalmasına neden olmuştur ($p>0.05$) (Şekil 4.4b).

Meltem genotipinde uygulanan tüm Ni konsantrasyonları rezerv tüketimini (%) kontrole göre önemli derecede azaltmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.4c). Gönen-98, Kayra, Ziyabey-98 genotiplerinde 400, 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni konsantrasyonları; Cumhuriyet-75 ve Efe genotiplerinde 600, 800 ve 1000 ppm'lik Ni konsantrasyonları; Kaşifbey-95 genotipinde ise 800 ve 1000 ppm'lik Ni konsantrasyonları kontrol grubuna göre rezerv tüketimini (%) önemli oranda azaltmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.4c).



Şekil 4.4. Farklı konsantrasyondaki nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) uygulamalarının farklı buğday genotiplerinin tohumlarındaki (a) kullanılan rezerv miktarı, (b) konversiyon kat sayısı ve (c) rezerv tüketimi üzerindeki etkileri [kontrollere göre istatistiksel (AÖF; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir].

Tablo 4.1. Farklı konsantrasyonlarda nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) toksisitesine maruz bırakılan buğday genotiplerinde kök ve koleoptil boylarına göre hesaplanan tolerans indeksleri ve genotiplerin aldığı toplam puan.

Genotipler	Kök tolerans indeksi (%)					Koleptil tolerans indeksi (%)					Toplam puan
	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm	
Cumhuriyet-75	79.9 (1)*	56.6 (2)	39.5 (1)	34.8 (3)	25.8 (3)	91.6 (5)	77.2 (2)	68.8 (1)	50.7 (1)	32.4 (1)	20**
Efe	80.2 (2)	44.2 (1)	41.7 (3)	32.1 (2)	26.9 (4)	97.1 (7)	93.6 (7)	91.5 (7)	85.9 (7)	82.2 (7)	47
Gönen-98	88.4 (5)	66.3 (4)	51.7 (6)	39.1 (6)	32.4 (6)	84.1 (1)	76.2 (1)	71.2 (2)	63.3 (3)	47.9 (4)	38
Kaşifbey-95	87.4 (4)	73.6 (5)	41.0 (2)	35.3 (4)	30.1 (5)	90.9 (4)	85.2 (3)	72.4 (3)	66.2 (4)	54.4 (6)	40
Kayra	93.2 (6)	76.2 (6)	57.9 (7)	36.0 (5)	24.4 (2)	90.3 (3)	87.5 (5)	77.8 (6)	66.9 (5)	51.9 (5)	50
Meltem	81.5 (3)	58.0 (3)	49.7 (5)	27.8 (1)	21.2 (1)	93.7 (6)	89.4 (6)	75.8 (4)	55.6 (2)	42.0 (2)	33
Ziyabey-98	96.2 (7)	80.5 (7)	46.3 (4)	39.3 (7)	36.3 (7)	88.5 (2)	85.7 (4)	76.8 (5)	72.3 (6)	46.2 (3)	52

* Parantez içinde verilen değerler tolerans indeksine göre verilen puanları göstermektedir.

** En düşük puan en yüksek hasarı, en yüksek puan en düşük hasarı göstermektedir.

*** Puanlama kullanılan genotip sayısı dikkate alınarak “1-7” arasında yapılmıştır.

Farklı Ni konstrasyonları uygulanmış olan yedi farklı buğday genotipinin kök ve koleoptil boylarına göre hesaplanan tolerans indeksleri ve buna göre yapılan puanlama sonucunda, en düşük puanı Cumhuriyet-75, en yüksek puanı da Ziyabey-98 genotipi almıştır (Tablo 4.1). Buna göre Ni toksisitesi nedeniyle kök ve gövde büyümesi anlamında en büyük inhibisyon Cumhuriyet-75, en düşük inhibisyon da Ziyabey-98 genotipinde meydana gelmiştir.

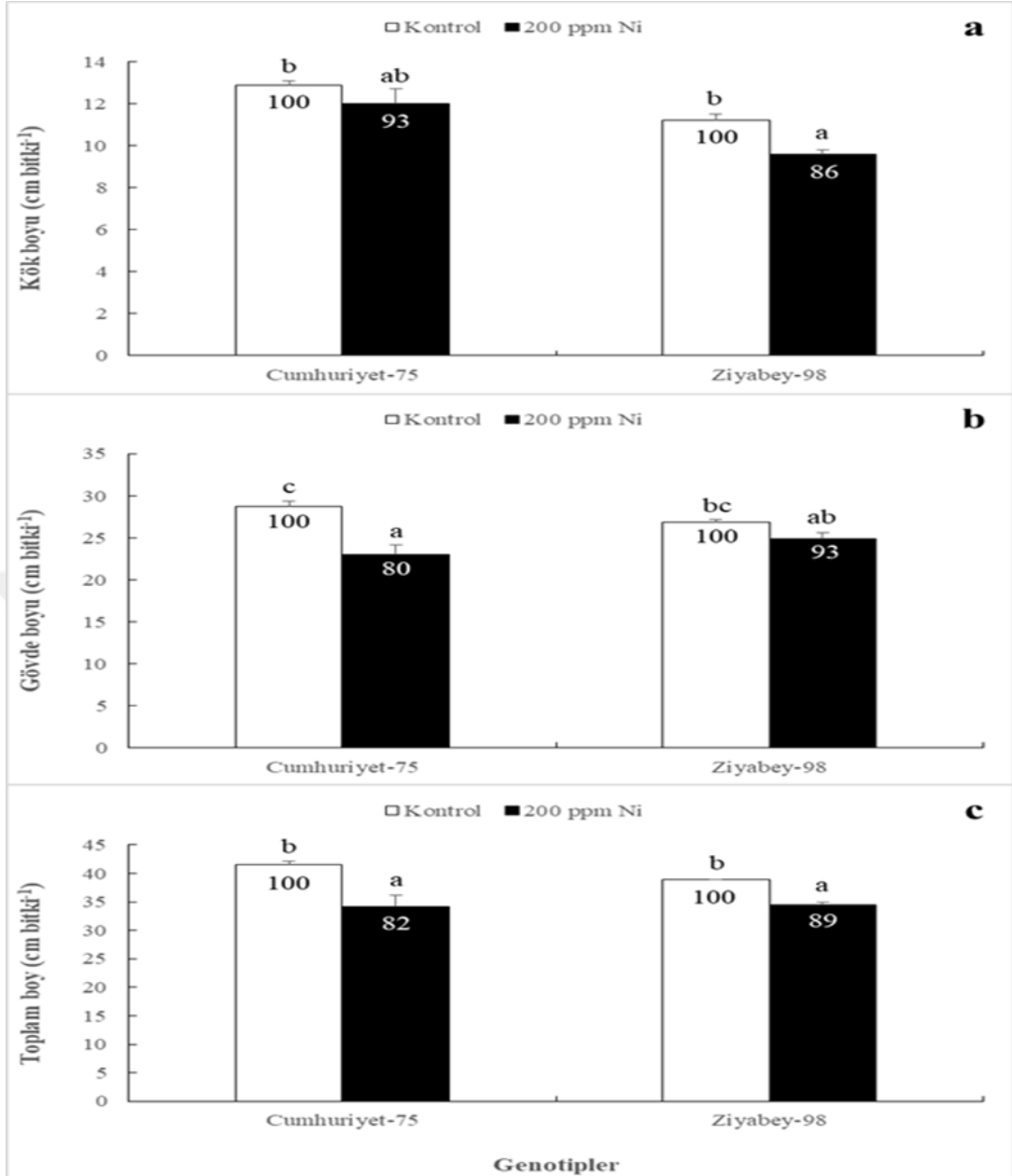
4.2. Nikel Uygulamalarının Buğday Genotiplerinde Fide Evresi Bulguları

4.2.1. Kök, gövde ve toplam boy uzunluğuna etkisi

Cumhuriyet-75 genotipinde 200 ppm'lik Ni uygulaması kök boyunda kontrole göre %7 oranında ancak istatistiksel olarak önemsiz bir azalmaya yol açmıştır ($P>0.05$) (Şekil 4.5a). Ziyabey-98 genotipinde ise kök boyu 200 ppm'lik Ni uygulaması sonucunda kontrole göre %14 oranında ve önemli derecede azalmıştır ($P<0.05$) (Şekil 4.5a).

Cumhuriyet-75 genotipi kendi kontrolü ile karşılaştırıldığında, 200 ppm'lik Ni uygulamasının gövde büyümesini %20 oranında ve istatistiksel olarak önemli oranda inhibe ettiği belirlenmiş ($P<0.05$) ancak Ziyabey-98 genotipinde gözlenen kontrole göre %7'lik azalma önemli bulunmamıştır ($P>0.05$) (Şekil 4.5b).

Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotiplerinin toplam boylarında 200 ppm'lik Ni uygulaması sonucunda kendi kontrollerine göre gözlenen inhibisyonun (sırasıyla %8 ve %11) önemli olduğu bulunmuştur ($p<0.05$) (Şekil 4.5c).



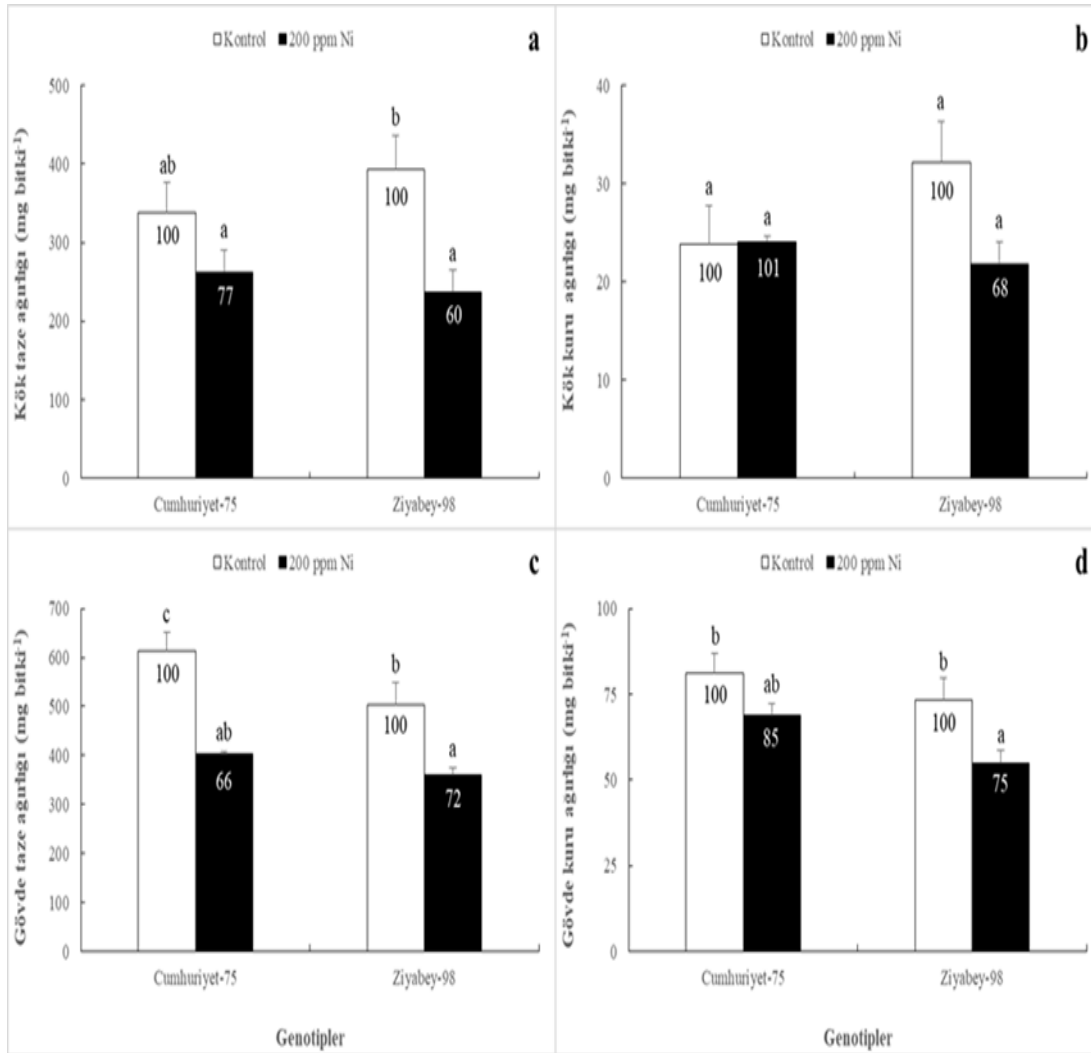
Şekil 4.5. Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) kök uzunluğu, (b) gövde uzunluğu ve (c) toplam boy uzunluğuna etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler üç tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].

4.2.2. Kök taze ve kuru ağırlığı ve gövde taze ve kuru ağırlığına etkisi

Cumhuriyet-75 genotipinin kök taze ağırlığında 200 ppm'lik Ni uygulaması sonucunda kontrole göre gözlenen %23'lük azalma istatistiksel olarak önemsiz bulunurken ($p > 0.05$), Ziyabey-98 genotipindeki % 40'luk azalma kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan önemli değişime yol açmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.6a.). 200 ppm konsantrasyonunda Ni uygulanan Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotiplerinde kök

kuru ağırlıkları kendi kontrollerine göre önemli bir değişim sergilememiştir (sırasıyla %1 ve %32) ($p>0.05$) (4.6b). 200 ppm'lik Ni uygulaması Cumhuriyet-75 genotipinde gövde taze ağırlığının kontrole göre %34, Ziyabey-98 genotipinde ise %28 oranında önemsiz derecede azalmasına neden olmuştur ($p>0.05$)(4.6c).

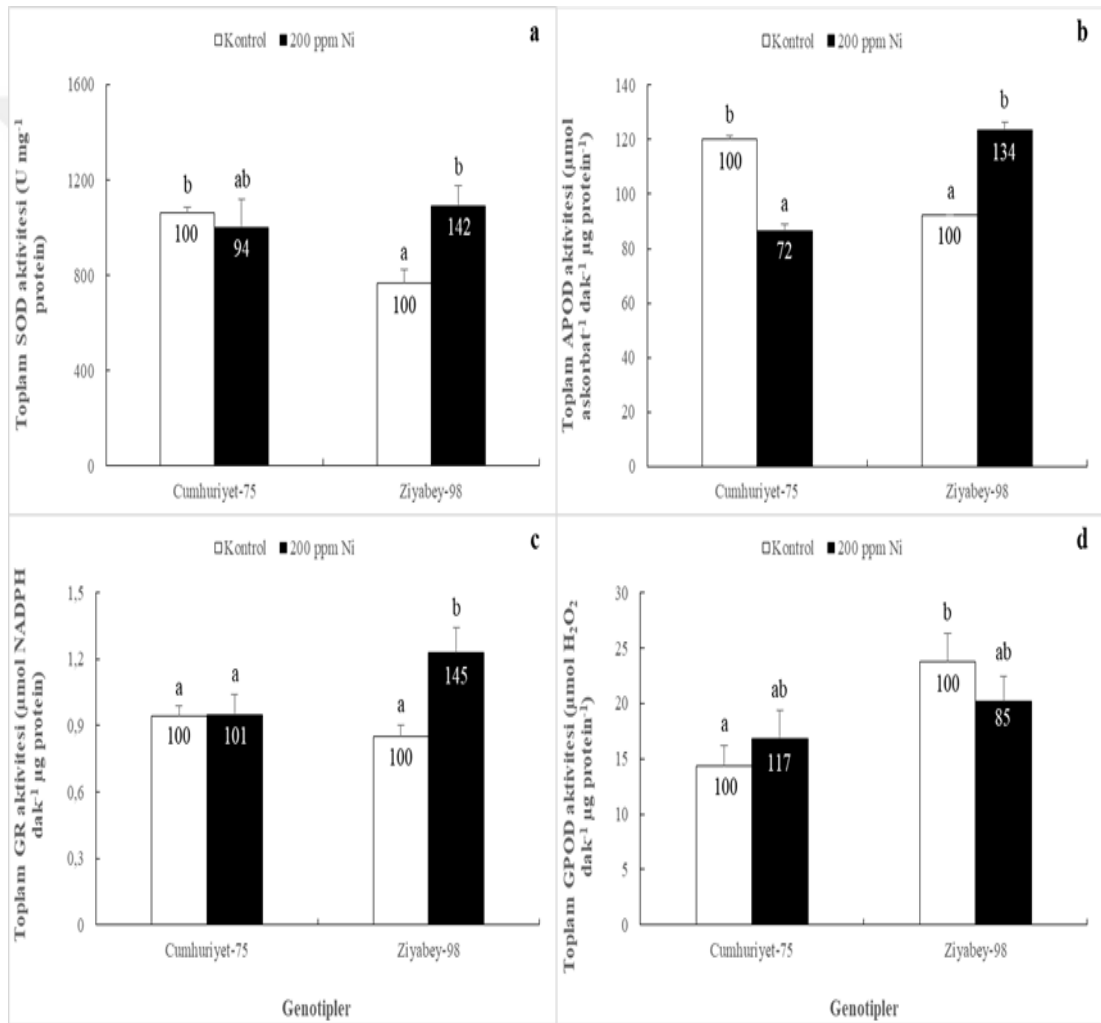
Cumhuriyet-75 genotipinde 200 ppm'lik Ni uygulamasının gövde kuru ağırlığında kontrole göre neden olduğu %15'lik azalma istatistiksel olarak anlamsız ($p>0.05$), Ziyabey-98 genotipinde kontrole göre gözlenen %25'lik azalma ise önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Şekil 4.6.d.)



Şekil 4.6. Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) kök taze ağırlığı, (b) kök kuru ağırlığı (c) gövde taze ağırlığı ve (d) gövde kuru ağırlığı üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler üç tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].

4.2.3. Bazı antioksidant enzim aktivitelerine etkisi

200 ppm'lik nikel uygulaması Cumhuriyet-75 genotipinde toplam SOD, toplam GR ve toplam GPOD aktivitesini ilgili kontrollerle kıyaslandığında istatistiksel olarak önemli derecede etkilememiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.7a, 4.7c ve 4.7d). Ancak toplam APOD aktivitesi kontrole göre %28 oranında ve önemli oranda azalmıştır ($p>0.05$) (Şekil 4.7b). Ziyabey-98 genotipinde ise toplam SOD, toplam APOD ve toplam GR aktivitesi ilgili kontrollere göre sırasıyla %42, %34 ve %45 oranında ve önemli derecede artarken ($p<0.05$) (Şekil 4.7a, 4.7b ve 4.7c); toplam GPOD aktivitesi kontrole göre önemli bir değişim göstermemiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.7d.).



Şekil 4.7. Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) toplam süperoksit dismutaz, (b) toplam askorbik peroksidaz (c) toplam glutatyon redüktaz ve (d) toplam guaiakol peroksidaz aktivitesi üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler üç tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].

4.2.4. Fotosentetik aktivite üzerine etkisi

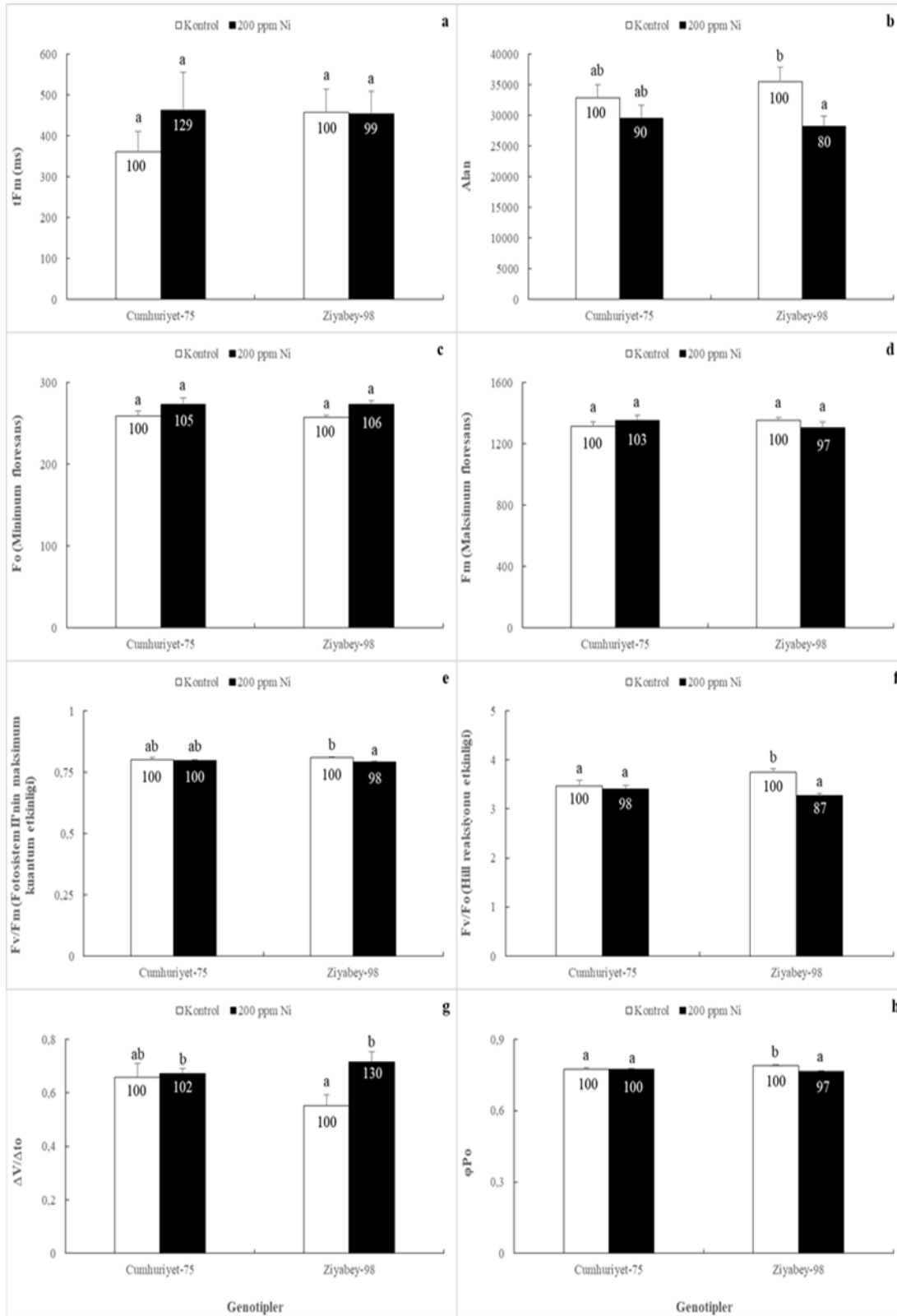
Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotiplerinde uygulanan 200 ppm'lik Ni tFm (maksimum floresansa ulaşıncaya kadar geçen zaman), Fo (minimum floresans) ve Fm (maksimum floresans) parametrelerinde ilgili kontrollere göre önemli bir değişime neden olmamıştır ($p>0.05$) (Şekil 4.8a, 4.8c ve 4.8d). Cumhuriyet-75 genotipinde alan, Fv/Fm (FSII'nin maksimum kuantum etkinliği), Fv/Fo (Hill reaksiyonu etkinliği), $\Delta V/\Delta t_o$ (kapalı reaksiyon merkezlerinin birikim hızı) ve ϕP_o (primer fotokimyasal olayların maksimum kuantum verimi) 200 ppm'lik Ni uygulaması sonucunda ilgili kontrollerle kıyaslandığında istatistiksel bir değişim sergilememiştir ($p>0.05$). Ancak Ziyabey-98 genotipinde kontrollere göre alan %20, Fv/Fm %2, Fv/Fo %13 ve ϕP_o %3 oranında azalırken (Şekil 4.8b, 4.8e, 4.8f ve 4.8h); $\Delta V/\Delta t_o$ %30 oranında artmıştır (Şekil 4.8g). Bu değişimlerin tamamı da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$).

Cumhuriyet-75 genotipinde 200 ppm'lik Ni uygulaması Ψ_o (yakalanan bir ekzitonun bir elektronu Q_A 'dan elektron taşıma sistemine gönderme etkinliği), ϕE_o (Q_A 'dan plastokinona elektron taşımasının kuantum verimi), ϕD_o (termal dissipasyonun kuantum verimi), ϕR_o (elektronların plastokinondan FSI'in son elektron akseptörüne taşımasının kuantum verimi), ΔR_o (elektronların sistemler arası elektron taşıyıcıları tarafından FSI'in akseptör bölgesine taşıma hızı), ABS/RC (FSII anten klorofilleri için reaksiyon merkezi başına ışık absorpsiyonu akışı) ve TRo/RC (reaksiyon merkezi başına yakalanan ve Q_A 'nın indirgenmesini sağlayan maksimum enerji akışı) parametrelerinde ilgili kontrollerle kıyaslandığında önemli bir değişime neden olmamıştır ($p>0.05$) (Şekil 4.9a, 4.9b, 4.9c, 4.9d, 4.9e, 4.9f ve 4.9g). Ancak Ziyabey-98 genotipinde bu parametrelerden Ψ_o , ϕE_o , ϕR_o ve ΔR_o 200 ppm'lik Ni uygulaması sonucunda ilgili kontrollere göre sırasıyla %8, %11, %22 ve %12 oranında önemli derecede azalırken ($p<0.05$) (Şekil 4.9a, 4.9b, 4.9d ve 4.9e); ϕD_o , ABS/RC ve TRo/RC sırasıyla %11, %18 ve %15 oranında ve önemli oranda artmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.9c, 4.9f ve 4.9g). ETo/RC (FSII'deki reaksiyon merkezi başına Q_A 'dan sonraki bölgede maksimum elektron taşıma akışı) ise her ik genotipte de 200 ppm Ni uygulamasından kontrollere göre önemli oranda etkilenmemiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.9h).

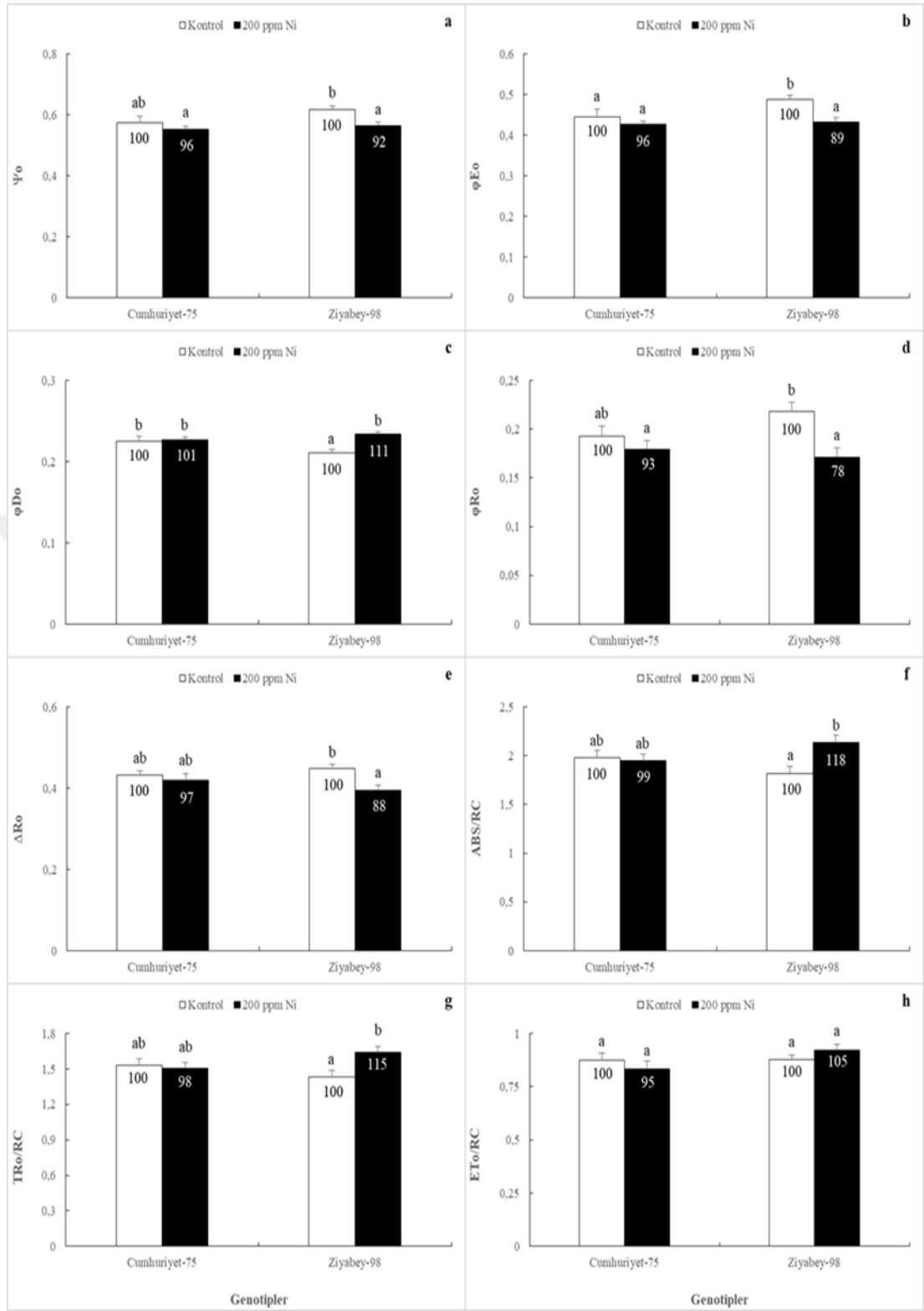
Cumhuriyet-75 genotipinde 200 ppm Ni uygulaması DIo/RC (FSII'deki reaksiyon merkezi başına dissipasyon enerjisi akışı), SFI(abs) (FSII'nin yapısal ve fonksiyonel

durumunun indikatörü), RC/ABS (FSII'deki aktif reaksiyon merkezlerinin miktarı), $\phi_o/(1-\phi_o)$ (primer fotokimyasal olaylar için konformasyon terimi), $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ (termal reaksiyonlar için konformasyon terimi) ve PI(abs) (performans indeksi) parametreleri ilgili kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede değişmemiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.10a, 4.10b, 4.10c, 4.10d, 4.10e ve 4.10f). Ancak Ziyabey-98 genotipinde 200 ppm'lik Ni uygulaması DIO/RC'yi kontrole göre önemli derecede artırırken ($p<0.05$) (Şekil 4.10a); SFI(abs), RC/ABS, $\phi_o/(1-\phi_o)$, $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ ve PI(abs) ilgili kontrollere göre önemli oranda azalmıştır ($p<0.05$) (Şekil 4.10b, 4.10c, 4.10d, 4.10e ve 4.10f).

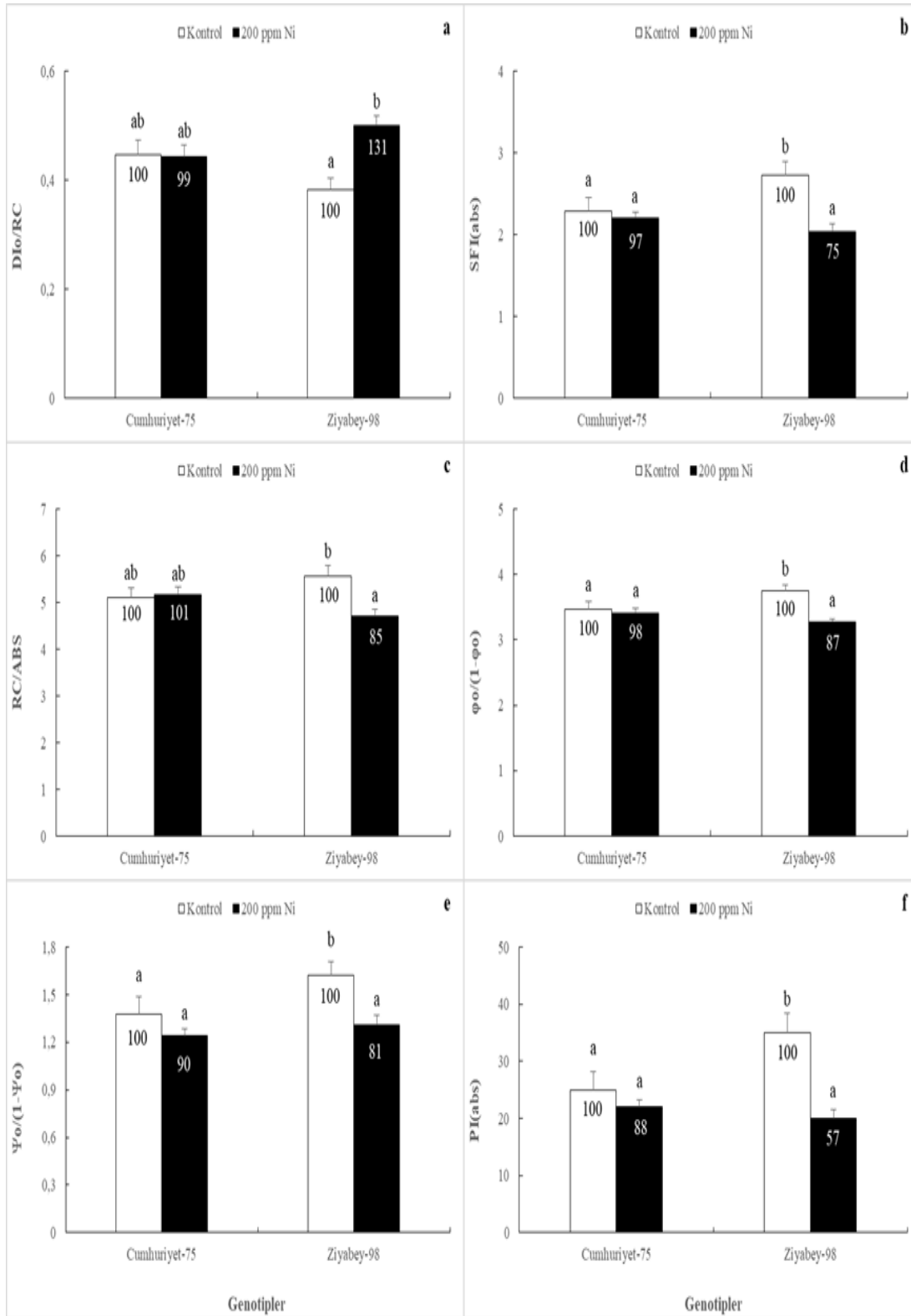




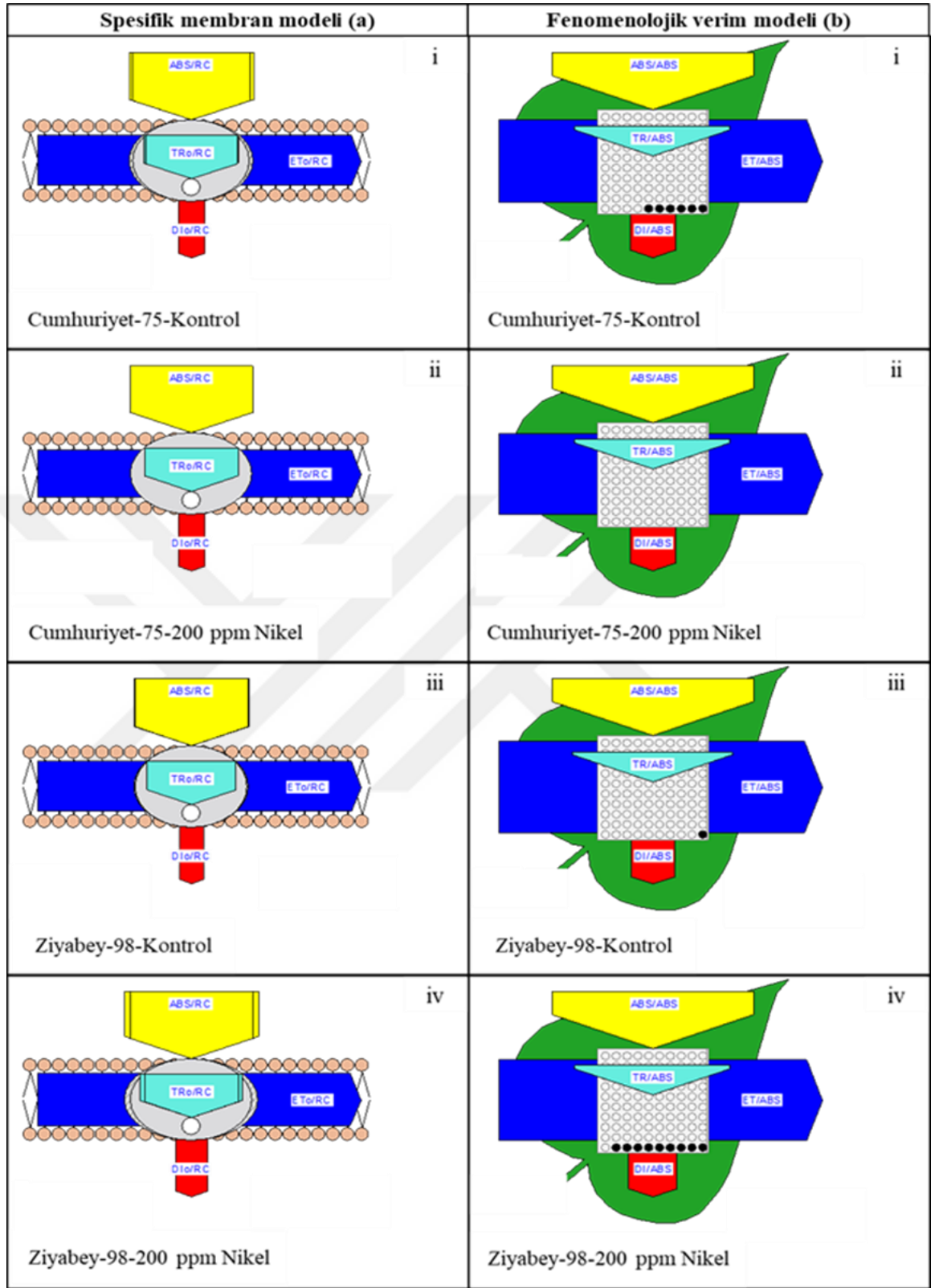
Şekil 4.8. Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) tFm, (b) alan, (c) Fo, (d) Fm, (e) Fv/Fm, (f) Fv/Fo, (g) $\Delta V/\Delta t_0$ ve (h) ϕP_0 üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler yedi tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].



Şekil 4.9. Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) Df/RC, (b) SFI(abs), (c) RC/ABS, (d) $\phi_o/(1-\phi_o)$, (e) $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ ve (f) PI(abs) üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler yedi tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].



Şekil 4.10. Nikel ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinde (a) DI_o/RC , (b) $SFI(abs)$, (c) RC/ABS , (d) $\phi_o/(1-\phi_o)$, (e) $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ ve (f) $PI(abs)$ üzerindeki etkileri [(Farklı harfler kontrollere göre farkın anlamlı ($P < 0.05$) olduğunu göstermektedir) (Değerler yedi tekrarın ortalaması olup barlar $\pm$ standart hata değerlerini göstermektedir)].



Şekil 4.11. Nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 ppm) uygulamasının farklı buğday genotiplerinin fotosentetik aktivitesi üzerindeki etkisi [(a) spesifik membran modeli ve (b) fenomenolojik verim modeli; boş halkalar sağlam, koyu renkli halkalar hasar görmüş reaksiyon merkezlerini göstermektedir].



5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

5.1. Çimlenme evresi

Araştırmada dünyada tarımı oldukça önemli yer tutan buğday bitkisinin Türkiye’de üretilen ve yetiştirilen ulusal genotipler olan; Cumhuriyet-75, Efe, Gönen-98, Kaşifbey-95, Kayra, Meltem ve Ziyabey-98, Kayra’nın çimlenme ve erken fide evresinde nikel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) toksisitesine verdikleri fizyolojik ve biyokimyasal cevaplar incelenmiştir.

İki aşamadan oluşan çalışmanın ilk aşamasında, çimlenme evresinde yedi genotipe farklı konsantrasyonlarda (200, 400, 600, 800, 1000 ppm) nikel uygulanarak bazı çimlenme ve fizyolojik büyüme parametreleri yardımıyla genotiplerin nikel toleransı/duyarlılık derecesi belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise, ilk aşamada yapılan puanlamaya göre çimlenme evresinde nikel toksisitesine en dayanıklı ve en duyarlı olarak belirlenen Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotipleri ile saksı denemeleri gerçekleştirilerek bu iki genotipin erken fide evresindeki nikel toksisitesine dayanıklılık ve duyarlılık dereceleri çimlenme evresi ile karşılaştırılmıştır. 200 ppm konsantrasyonunda nikel uygulanmış iki genotip, bazı fizyolojik büyüme parametreleri, antioksidant enzim aktiviteleri ve fotosentetik aktivitelerinde meydana gelen değişimler yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Canlılar yaşamları boyunca çevreyle her an etkileşim içindedir ve bu etkileşimler bazen bitki yararına bazen de bitkiye zarar verici boyutlardadır. Bitkilerde büyüme ve gelişme üzerinde olumsuzluklara sebep olan etkenler aynı zamanda bitki için stres unsurudur. Bitkide kütle ve hacim artışını azaltan veya durduran, ürün içeriğini etkileyen her türlü faktöre stres denir. Bu olumsuz durumlar bitkide stres adı verilen durumu oluşturmaktadır (Fujita ve ark., 2006).

Ağır metaller grubunda olan nikel bitkiler için az miktarda gerekli olan bir mikrobesindir. Ancak nikelin yüksek konsantrasyonları bitkiler için toksik etkiye sahiptir. Bitki metabolizmasında etkili olan nikelin ekosistemdeki miktarı, artan sanayi faaliyetleri ve çevre kirliliği etkisiyle özellikle toprak ve suda sürekli olarak artış

göstermektedir. Buna bağılı olarak bu topraklarda yetişen bitkiler yüksek nikel konsantrasyonuna maruz kalmakta ve metabolik aktiviteleri bu durumdan olumsuz etkilenmektedir (Eskew, 1983,1984). Bu yüzden özellikle ağır metal kirliliğine karşı toplumsal duyarlılığın artırılması ve insanların bilinçlendirilmesi amacıyla çeşitli sosyal sorumluluk projelerinin üniversitelerin de desteğı ile tüm eğitim-öğretim kademelerinde yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Bu çalışmada çimlenme evresinde buğday genotiplerine uygulanan nikel, Cumhuriyet-75, Efe ve Meltem genotiplerinde tüm konsantrasyonlarda; Gönen-98, Kaşifbey-95 ve Kayra genotiplerinde 400 ppm'lik konsantrasyondan itibaren ve Ziyabey-98 genotipinde de 600 ppm'lik nikel konsantrasyonundan itibaren ilgili kontrollerle karşılaştırıldığında önemli derecede inhibe etmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan buğday genotiplerinden Ziyabey-98 genotipi, kök büyümesi ile ilgili metabolik olaylar bakımından diğer genotiplere göre nikel toksisitesine daha dayanıklı; Cumhuriyet-75, Efe ve Meltem genotipleri ise daha duyarlı genotipler olarak nitelendirilebilir. Nikel toksisitesi altındaki buğday genotiplerinin koleoptil boylarında meydana gelen değişimlere bakıldığında, Efe genotipinde uygulanan nikel konsantrasyonlarının koleoptil büyümesini etkilemediğı; Gönen-98 genotipinde ise tüm nikel konsantrasyonlarının koleoptil büyümesini kontrole göre önemli derecede inhibe ettiğı belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında ise koleoptil büyümesinin kullanılan buğday genotiplerinde nikel toksisitesine karşı kök büyümesine göre daha dayanıklı olduğı söylenebilir. Koleoptil büyümesindeki inhibisyonun, köklerle karşılaştırıldığında daha yüksek nikel konsantrasyonlarında ortaya çıkması bunu açık bir şekilde ispatlamaktadır. Bu çalışmada elde edilen kök ve koleoptilin gerçek ve oransal büyüme hızı ile ilgili bulgular da bunu destekler niteliktedir. Yapılan diğer çalışmalar da elde edilen bulguları destekler niteliktedir. Örneğin Lavado ve ark. (2001), buğday bitkisi ile yaptığı çalışmada nikel toksisitesine karşı kök büyümesinin büyük oranda yavaşladığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde yüksek nikel konsantrasyonlarının birçok bitkide hücre çeperinin plastisitesini değiştirerek hücre bölünmesi ve büyümesini belli oranda inhibe ettiğı belirlenmiştir (Shi ve Cai, 2009). Buna göre bu çalışmada kullanılan buğday genotiplerinden Cumhuriyet-75, Efe ve Meltem genotiplerinin kök uçlarındaki mitotik aktivitenin ve hücre büyüme metabolizmasının, Ziyabey-98 genotipine göre daha duyarlı olduğı sonucuna varılabilir. Benzer bir yaklaşım, koleoptil büyümesi konusunda Efe genotipinin gövde ucu meristemleri için

de geçerli olabilir. Amari ve ark. (2007), nikel toksisitesinin bitkilerde magnezyum, kalsiyum, demir, bakır ve çinko gibi minerallerin alınımlarını ve taşınım hızını azalttığını rapor etmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada da nikelin bu elementlerle bitki tarafından alınımı ve kullanımı konusunda, çoğunlukla nikel lehine sonuçlanan bir rekabetin varlığını ortaya çıkarılmıştır (Kidd ve ark., 2009). Bu çalışmada kullanılan Cumhuriyet-75 genotipinin kök büyümesinin inhibisyonundan sorumlu olan diğer bir faktör de bozulan mineral madde beslenme rejimi olabilir. Çalışmada kullanılan genotiplerden Ziyabey-98 kök büyümesi bakımından, Efe genotipi de koleoptil büyümesi bakımından, nikel toksisitesine bu faktörü bir dereceye kadar elimine etme mekanizmalarına sahip olabilir. Ishtiaq ve Mahmood (2012), nikel elementini köklerden bitkinin toprak üstü organlarına ksilem ve floem yoluyla kolayca taşınabilen bir element olarak tanımlamışlardır. Bu çalışmada, koleoptil büyümesi nikel toksisitesinden etkilenmeyen Efe genotipinde, nikelin köklerde tutulmasını sağlayan ve toprak üstü organlara taşınmasını engelleyen bir mekanizma bulunuyor olabilir. Çalışmada kullanılan buğday genotiplerinin nikel toksisitesi altında toplam boylarında gözlenen değişimlere bakıldığında, nikel toksisitesinin muhtemelen hem köklerde hem de koleoptillerdeki kümülatif inhibitör etkisinden dolayı, çoğu genotipte toplam boy en düşük nikel konsantrasyonunda bile ilgili kontrollere göre önemli derecede inhibe edilmiştir. Ancak Kayra ve Ziyabey-98 genotiplerinde toplam bitki boyu yine de 200-400 ppm arasındaki bir nikel konsantrasyonundan itibaren kısmen inhibe olmuştur.

Çalışmanın çimlenme evresi ile ilgili bulgularına göre, kullanılan genotipler arasında kök taze ağırlığının Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotiplerinde daha yüksek nikel konsantrasyonlarından itibaren ilgili kontrollere göre önemli derecede azaldığı gözlenmiştir. Kaşifbey-95 ve Kayra genotiplerinde kök taze ağırlığı en düşük nikel konsantrasyonundan (200 ppm) itibaren kontrollere göre önemli derecede azalmıştır. Diğer genotipler ise kök taze ağırlığı bakımından bu iki grubun arasında bir pozisyona sahiptir. Koleoptil taze ağırlığı bakımından benzer bir gruplama yapıldığında; Efe, Kaşifbey-95 ve Ziyabey-98 genotipleri taze ağırlıklarını en iyi koruyan, Cumhuriyet-75 ve Gönen-98 orta seviyede koruyan, Kayra ve Meltem genotipleri ise koleoptil taze ağırlığı bakımından en büyük inhibisyonun görüldüğü genotiplerdir. Gajewska ve ark. (2006), bitki taze ağırlığındaki azalmanın kısmen içsel su dengesindeki bozukluklar ve bitki dokularının su içeriğindeki azalma ile bağlantılı olabileceğini belirtmişlerdir. Buna göre kök ve koleoptil taze ağırlıklarını belirli derecede koruyabilen genotiplerin

ortamla aralarındaki su ilişkilerinin en düşük seviyede etkilendiği söylenebilir. Özellikle Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesi koşullarında kök ve gövde büyümesinin daha yüksek nikel konsantrasyonlarında inhibe olması, bu genotipte daha düşük nikel konsantrasyonlarında büyümenin daha ideal bir şekilde devam etmesinin ilgili nikel konsantrasyonları altında su ilişkilerinin korunmasından kaynaklandığı söylenebilir. Elde edilen bulgular, çalışmada kullanılan buğday genotipleri arasında yüksek nikel konsantrasyonlarında kök ve koleoptil kuru ağırlığının en az etkilendiği genotipin Ziyabey-98 olduğunu göstermiştir. Ziyabey-98 ile birlikte Meltem genotipi de koleoptil kuru ağırlığını muhafaza etme bakımından eşit yeteneğe sahiptir. Daha sonra nikel toksisitesi altında kök kuru ağırlığını muhafaza etme yeteneği bakımından Gönen-98; Cumhuriyet-75, Efe, Kayra ve Meltem genotiplerinin oluşturduğu grup; en son olarak da Kaşifbey-95 genotipi gelmektedir. Benzer bir sıralama nikel toksisitesi altında koleoptil kuru ağırlığını koruma yeteneği bakımından Cumhuriyet-75, Efe, Gönen-98 ve Kayra genotiplerinin oluşturduğu grup; son olarak da Kaşifbey-95 genotipi gelmektedir. Ağır metal toksisitesinin bitkilerde protein yıkımını teşvik ettiği de bildirilmiştir (Cuyper ve ark., 2005). Buna göre nikel toksisitesi altında büyüme yeteneğini belirli oranda koruyabilen genotiplerin sahip olduğu proteinlerin yapısal olarak nikel toksisitesine daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Bitki hücrelerindeki protein, karbonhidrat ve nükleik asit gibi makromoleküllerin miktarının yüksek nikel konsantrasyonu altında azaldığı rapor edilmiştir (Maheshwari ve Dubey, 2007). Nikel bazı katabolik enzimlerinin kofaktörü olduğundan hücrelerde büyük moleküllerin katabolik sürecini hızlandırabilmektedir (Veer, 1989). Buna göre, nikel toksisitesinin çalışmada kullanılan buğday genotiplerinde biyokütle azalmasına katabolik reaksiyonları indükleyerek neden olduğu söylenebilir.

Çalışmada buğday genotiplerinin tohumlarındaki depo maddelerinin miktarının uygulanan nikel konsantrasyonu arttıkça azaldığı görülmüştür. Ancak konversiyon kat sayısı, Kaşifbey-95 ve Kayra dışındaki diğer genotiplerde nispeten daha yüksek nikel konsantrasyonlarında belirgin derecede azalmıştır. Elde edilen bulgular, çalışmada kullanılan buğday genotipleri arasında çimlenme sırasında tohumlardaki depo maddelerinin en hızlı kullanıldığı (200 ppm) genotiplerin Gönen-98 ve Ziyabey-98 olduğunu göstermiştir. Cumhuriyet-75, Efe ve Meltem genotiplerinde bu parametre 400 ppm; Kaşifbey-95 ve Kayra genotiplerinde ise 600 ppm nikel konsantrasyonundan itibaren ilgili kontrollere göre belirgin derecede azalmaya başlamıştır. Bu sonuçlar,

Gönen-98 ve Ziyabey-98 genotiplerinde tohumlardaki depo maddelerinin nikel toksisitesi koşullarında daha hızlı bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Ashraf ve ark. (2011), nikel toksisitesi uygulanan ayçiçeği tohumlarında α -amilaz ve protez genotiplerinde nikel toksisitesi altında çimlenmeye bırakılan tohumlardaki bu enzimlerin daha aktif oldukları ve bu iki genotipte büyüme için gerekli maddelerin nişasta ve proteinlerin hidrolizi ile daha hızlı bir şekilde sağlanabildiğini göstermektedir. Diğer genotiplerde ise bu iki enzimin nikel toksisitesine daha duyarlı olduğu ve aktivitelerinin daha düşük seviyede kaldığı söylenebilir.

Schützendübel ve ark. (2001), bitkilerde ağır metal stresine karşı verilen en duyarlı ve hızlı fizyolojik cevabın kök büyüme hızındaki değişim olduğunu ileri sürmüştür. Ancak farklı bitki türü ve genotiplerinin, metallerin alınımı ve translokasyonu bakımından geniş bir varyasyon gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan buğday genotiplerinin nikel toksisitesine dayanıklılık ve duyarlılık derecelerinin belirlenmesi amacıyla hem köklerin hem de koleoptillerin tolerans indeksleri kullanılmıştır. Buna göre kök ve koleoptil boyu esas alınarak hesaplanan tolerans indeksine göre en düşük puanı (20 puan) alan genotip Cumhuriyet-75, en yüksek puanı (52 puan) alan genotip ise Ziyabey-98 olarak belirlenmiştir. Buna göre Cumhuriyet-75 genotipindeki kök ve koleoptil meristemlerinin nikel toksisitesine duyarlı, Ziyabey-98 genotipindeki kök ve koleoptil meristemlerinin nikel toksisitesine dayanıklı olduğu söylenebilir.

5.2. Erken fide evresi

Çalışmanın bu aşamasında, ilk aşamada nikel toksisitesine en dayanıklı ve en duyarlı buğday genotipleri olarak belirlenen Cumhuriyet-75 ve Ziyabey-98 genotipleri kullanılarak saksı denemeleri kurulmuş ve 200 ppm nikel toksisitesi altındaki buğday genotiplerinin fizyolojik ve biyokimyasal cevapları araştırılmıştır.

Çalışmada 200 ppm'lik nikel uygulaması sonucu Cumhuriyet-75 genotipinde kök büyümesi kontrolle karşılaştırıldığında etkilenmemiş, Ziyabey-98 genotipinde ise önemli derecede inhibe edilmiştir. Bu sonuç aynı konsantrasyondaki nikel toksisitesine verilen büyüme cevabı bakımından meristematik hücrelerin genotipe bağlı olarak farklılık gösterdiğini ispatlamaktadır. Benzer bir durum gövde büyümesi konusunda da söz konusudur. Çalışmada kullanılan Cumhuriyet-75 genotipinin gövde boyu 200 ppm'lik nikel uygulaması sonucu kontrole göre önemli derecede azalırken,

Ziyabey-98 genotipinde etkilenmemiştir. Buna göre Ziyabey-98 genotipinde kök, Cumhuriyet-75 genotipinde ise gövde meristemlerinin nikel toksisitesine daha duyarlı olduğu söylenebilir. Çalışmada elde edilen bulguları destekleyen pekçok araştırma örneği bulunmaktadır. Fide evresindeki buğday bitkisine artan miktarlarda uygulanan nikel kök büyümesini inhibe etmiştir (Gajewska ve ark., 2006). Kök ve gövde boyu ile ilgili bulgular aynı zamanda nikel elementinin köklerle alındıktan sonra toprak üstü organlara taşınım konusunda genotipe bağlı bir farkın bulunduğunu da gösteriyor olabilir. Buna göre Cumhuriyet-75 genotipinde köklerle alınan nikel toprak üstü organlara hızlı bir şekilde taşınırken, Ziyabey-98 genotipinde daha çok köklerde depo ediliyor olabilir. Çalışmada kullanılan buğday genotiplerinin nikel toksisitesi altında taze ve kuru ağırlıklarında meydana gelen değişimlere bakıldığında, gövdenin bu bakımdan köke göre daha duyarlı olduğu söylenebilir. Nitekim yapılan bir çalışmada buğday fidelerine uygulanan nikelin kök ve gövde ağırlıklarında inhibisyon oluşturduğu belirtilmiştir (Athar ve Ahmad, 2002).

Kloroplastların bitki dokularında gerçekleşen AOT birikimine en büyük katkıyı yapan organeller olduğu bilinmektedir (Doğru ve Çakırlar, 2020a, 2020b). Ancak kloroplastlar AOT'lerin olumsuz etkilerini elimine edecek olan enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidantlara da sahiptir. Bunlardan SOD, süperoksit radikalini hidrojen peroksit parçalayan bir metaloenzimdir. SOD'un bitkilerde ağır metal toksisitesinin neden olduğu oksidatif strese karşı hücrel yapıları korumaktan görevli anahtar bir enzim olduğu belinmektedir (Van Assche ve Clijsters, 1990). Çalışmada 200 ppm'lik nikel uygulaması sonucunda Cumhuriyet-75 genotipinde SOD aktivitesi kontrole göre değişmezken, Ziyabey-98 genotipinde önemli derecede artmıştır. Bu sonuç Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesi sonucu süperoksit üretiminin arttığını göstermektedir. SOD aktivitesinin artması süperoksit radikalinin hidrojen peroksit dönüşümünü sağlayarak Ziyabey-98 genotipinin yaprak dokularında bir yandan süperoksit miktarını azaltmakta diğer yandan hidrojen peroksit miktarını artırmaktadır. Ancak Cumhuriyet-75 genotipinde SOD aktivitesinin nikel uygulaması sonucu değişmemesi birkaç şekilde açıklanabilir. Bu olasılıklardan biri, çalışmada uygulanan 200 ppm'lik nikel konsantrasyonunun bu genotipte süperoksit radikali üretimini artıracak derecede toksik etki yapmamış olmasıdır. Ayrıca uygulanan 200 ppm'lik nikelin bu genotipte SOD aktivitesini inhibe etmiş olmasıdır. Nitekim Hao ve ark. (2006) nikel toksisitesinin bitkilerde SOD aktivitesini, nikelin Fe ve Zn gibi

oldukça duyarlı olduğu bilinmektedir (Kalaji ve ark., 2011). Pereira ve ark. (2000), Fv/Fo oranındaki azalmanın fotosentetik elektron taşınımındaki inhibisyon sonucu ortaya çıktığını rapor etmiştir. Çalışmada nikel toksisitesinin Ziyabey-98 genotipinde Fv/Fo oranını ve alan parametresini kontrole göre azalttığı, Cumhuriyet-75 genotipinde ise etkilemediği belirlenmiştir. Buna göre Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesinin oksijen evolusyon kompleksinde oluşturduğu hasardan dolayı plastokinon havuzuna doğru gerçekleşen elektron hareketini kısıtladığı söylenebilir (Oukarroum ve ark., 2015).

Kidd ve ark. (2009), nikel iyonlarının oksijen evolusyon kompleksinde bulunan Ca iyonları ile yer değiştirerek elektron taşınımını kısıtladığını bildirmiştir. Nikel toksisitesi altındaki Ziyabey-98 genotipinde $\Delta V/\Delta t_o$ parametresinin kontrole göre azalması da, bu genotipte nikel uygulaması sonucu kapalı reaksiyon merkezi miktarının arttığını göstermektedir. Ψ_o ve ϕE_o parametreleri de nikel uygulanan Cumhuriyet-75 genotipinde kontrole göre değişim göstermezken, Ziyabey-98 genotipinde azalmıştır. Bu sonuç, Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesi etkisiyle Q_A 'dan plastokinona doğru gerçekleşen elektron hareketinin belli derecede inhibe edildiğini göstermektedir. Nikel toksisitesi altındaki Ziyabey-98 genotipinde TRo/RC parametresinde kontrole göre gözlenen artış, bu genotipte absorblanan ışık enerjisi miktarının arttığını; ancak ETo/RC parametresinin sabit kalması absorblanan ışık enerjisinin elektron taşınımı için kullanılmadığını göstermektedir. Bunun bir sonucu olarak Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesi etkisiyle ϕDo ve DIo/RC parametreleri kontrole göre artmış, yani elektron taşınım reaksiyonlarında nikel toksisitesi nedeniyle kullanılmayan ışık enerjisi ortama ısı olarak verilmiştir. Ziyabey-98 genotipinde nikel uygulaması sonucu ABS/RC parametresinin kontrole göre artıp RC/ABS parametresinin azalması, bu genotipte nikel toksisitesinin reaksiyon merkezlerinin inaktif forma dönüştüğünü kanıtlamaktadır. Şekil 4.13b'ye bakıldığında bu durum açıkça görülmektedir. Nikel toksisitesi etkisiyle Ziyabey-98 genotipinde ϕRo ve ΔRo parametrelerinin kontrole göre artış göstermesi, bu genotipte plastokinondan FSI'e kadar olan elektron hareketinin de bir dereceye kadar inhibe edildiğini ispatlamaktadır. 200 ppm nikel uygulanan Ziyabey-98 genotipinde SFI (abas) parametresinin kontrole göre azalması, FSII birimlerinin nikel toksisitesi nedeniyle hem yapısal hem de fonksiyonel olarak zarar gördüğünün bir kanıtı olarak kabul edilebilir. $\phi_o/(1-\phi_o)$ ve $\Psi_o/(1-\Psi_o)$ parametrelerinin nikel uygulanan Ziyabey-98 genotipinde kontrollere göre

azalması, bu genotipte hem primer fotokimyasal olayların hem de karbon dioksit fiksasyon reaksiyonlarının veriminin azaldığı şeklinde değerlendirilebilir.

Benzer şekilde PI(abs) de nikel toksisitesi altındaki Ziyabey-98 genotipinde kontrole göre azalmıştır. Bu da Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesi etkisiyle fotosentetik aktivitenin olumsuz yönde etkilendiğini göstermektedir. Cumhuriyet-75 genotipinde ise ölçülen ve hesaplanan klorofil a floresansı ve JIP testi parametrelerinde meydana gelen değişimler, bu genotipin fotosentetik birimlerinin nikel toksisitesine daha dayanıklı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Sonuç olarak çimlenme evresi ile ilgili çalışmalardan elde edilen bulgular, çimlenme evresinde nikel toksisitesine en dayanıklı genotipin Ziyabey-98, en duyarlı genotipin de Cumhuriyet-75 olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ancak erken fide evresinde yapılan çalışmalarda Cumhuriyet -75 genotipinin nikel toksisitesine daha dayanıklı olduğunu göstermiştir. Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesi sonucu fotosentetik aktivite ile ilgili parametrelerde belirgin değişimler meydana gelmemiştir. Bunun sonucu olarak bu genotipin yaprak dokularında osidatif stres oluşmamış ve antioksidant sistemin bazı enzimleri uyarılmamıştır. Cumhuriyet-75 genotipinde ise nikel toksisitesi sonucu fotosentetik elektron taşınım reaksiyonları olumsuz etkilenmesi yaprak dokularında AOT'lerin oluşumuna neden olmuş, bunun sonucunda bazı antioksidant enzimlerin aktivitesinde artışlar gözlenmiştir. Diğer yandan Ziyabey-98 genotipinde nikel toksisitesi etkisiyle olumsuz yönde meydana gelen bu değişimler, stres koşullarına uyum ve absorblanan ve kullanılan ışık enerjisi miktarı arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla sergilenen metabolik değişimler olarak da yorumlanabilir.



KAYNAKLAR

- Adams III, W. W., & Demmig-Adams, B. (2004). Chlorophyll fluorescence as a tool to monitor plant response to the environment. In *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis*, 583-604.
- Agarwal JP, Ogilvie M (2005). Vacuum-assisted closure for sternal wounds: a first-line therapeutic management approach. *Plast Reconstr Surg*, 116(4), 1035-1040.
- Ahmad, P., Sarwat, M., & Sharma, S. (2008). Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. *Journal of Plant Biology*, 51, 167-173.
- Athar, R., & Ahmad, M. (2002). Heavy metal toxicity: effect on plant growth and metal uptake by wheat, and on free living *Azotobacter*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 138, 165-180.
- Aono, M., Kubo, A., Saji, H., Tanaka, K., & Kondo, N. (1993). Enhanced tolerance to photooxidative stress of transgenic *Nicotiana tabacum* with high chloroplastic glutathione reductase activity. *Plant and Cell Physiology*, 34(1), 129-135.
- Alonso, R., Elvira, S., Castillo, F. J., & Gimeno, B. S. (2001). Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. *Plant, cell & environment*, 24(9), 905-916.
- Altundağ, H. (2002). *Adapazarı Ev Tozlarında Ağır Metallerin Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometrik Teknikle Tayini* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Amari, T., Ghnaya, T., & Abdelly, C. (2017). Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany*, 111, 99-110.
- Ames, B. N., Shigenaga, M. K., & Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(17), 7915-7922.
- Anonim. (2007, Aralık). Buğday tanesi. <http://www.gulbayun.com/images/wheat.gif> adresinden alınmıştır.
- Anonim. (2023a, Ekim). Türkiye Kalkınma Vakfı. 2021 Buğday Raporu. http://www.tkv-dft.org.tr/medya/media/191_1656073551.pdf, adresinden alınmıştır.
- Anonim. (2023b Ekim) Tarım ve Orman Bakanlığı <https://www.tarimorman.gov.tr/>, adresinden alınmıştır.
- Anonymous. 2016. Web page: file:///C:/Users/user/Desktop/Downloads/general booklet philipd ledlighting in horticulture%20(1). Pdf: Date accessed. 05.10.2016.

- Apel K., Hirt H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399.
- Armstrong, G.A., Hearst, J.E.(1996). Carotenoids 2: Genetics and molecular biology of carotenoid pigment biosynthesis. *FASEB journal*, 10(2), 228-237.
- Asada, K. (1999). The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annu. Rev. Plant Physiol, Plant Mo Biol*, 50, 601-639.
- Ashraf, M. Y., Sadiq, R., Hussain, M.,& Ahmad, M. S. A. (2011). Toxic effect of nickel (Ni) on growth and metabolism in germinating seeds of sunflower (*Helianthus annuus*). *Biological Trace Element Research*, 143(3),1695-1703. <http://doi.org/10.1007/s12011-011-8955-7>.
- Atak, M. (2017). Buğday ve Türkiye buğday köy çeşitleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 71-88.
- Avery, S. (2011). Molecular targets of oxidative stress. *Biochemical Journal*, 434, 201-210.
- Ayaz, F. (1999). *Mısır (Zea mays) Fidelerinin Düşük ve yüksek sıcaklığa adaptasyonunda büyümeyi düzenleyici maddelerin rolü* [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Aydoğan, S., Şahin, M., Göçmen, A., Demir, B., Yıldırım, T., Hamzaoglu, S. (2020). Yağışa dayalı koşullarda bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin (*Triticum aestivum*) verim ve bazı kalite özelliklerinin değerlendirilmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*. 23(5), 1104-1111.
- Ayhan, B., Ekmekçi, Y., Tanyolaç, D. (2006). Bitkilerde ağır metal zararları ve korunma mekanizmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1-16.
- Ben-Amor, Hamed, K. B., Debez, A., Grignon, C., & Abdelly, C. (2005). Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science*, 168(4), 889-899.
- Bewley, J. D., & Black, M. (2013). *Seeds: physiology of development and germination*. Springer Science & Business Media.
- Beyer Jr, W. F., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Analytical biochemistry*, 161(2), 559-566.
- Bidwell, R. (1974). *Plant Physiology*, Giles, McMillan Co., New York.
- Bielski, B. H., Cabelli, D. E., Arudi, R., & Ross, A. B. (1985). Reactivity of HO₂/O₂ radicals in aqueous solution. *Journal of physical and chemical reference data*, 14(4), 1041-1100.
- Bindschedler, V., Dewdney, J., Blee, K. A., Stone, J. M., Asai, T., Plotnikov, J.& Paul Bolwell, G. (2006). Peroxidase- dependent apoplastic oxidative burst in Arabidopsis required for pathogen resistance. *The Plant Journal*, 47(6), 851-863.
- Bishnoi, N. R., Sheoran, I. S., & Randhir Singh, R. S. (1993). Influence of cadmium and nickel on photosynthesis and water relations in wheat leaves of different insertion leve, 28, 473-479.

- Briviba, K., Klotz, O., & Sies, H. (1997). Toxic and signaling effects of photochemically or chemically generated singlet oxygen in biological systems. *Biological chemistry*, 378(11), 1259-1265.
- Brown, P. H., Welch, R. M., & Cary, E. E. (1987). Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant physiology*, 85(3), 801-803.
- Brown, P. W. (1990). Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid and nitrogen levels in barley. *Plant and Soil*, 125, 19-27.
- Büyük, İ., Soydam-Aydin, S., & Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 69(2).
- Campbell, N. A. (2008). Biyoloji. Bitki Yap. ve İşl.. *Pearson Education*, 729.
- Carocho, M., & Ferreira, I. C. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and chemical toxicology*, 51, 15-25.
- Chalapathi Rao, A. R. (2008). Glutathione reductase: a putative redox regulatory system in plant cells. in: Khan, N.A. S. Singh, S. Umar (Eds.), Sulfur Assimilation and Abiotic Stresses in Plants. *Springer, The Netherlands*, 111-147.
- Chen ChienTeh, C. C., Chen TsaiHuei, C. T., Lo KuoFu, K., & Chiu ChihYu, C. C. (2004). Effects of proline on copper transport in rice seedlings under excess copper stress.
- Citterio, S., Santagostino, A., Fumagalli, P., Prato, N., Ranalli, P., & Sgorbati, S. (2003). Heavy metal tolerance and accumulation of Cd, Cr and Ni by Cannabis sativa *Plant and soil*, 256, 243-252.
- Comba, M. E., Benavides, M. P., & Tomaro, M. (1998). Effect of salt stress on antioxidant defence system in soybean root nodules. *Functional Plant Biology*, 25(6), 665-671.
- Cooke, M. S., Evans, M. D., Dizdaroglu, M., & Lunec, J. (2003). Oxidative DNA damage: mechanisms, mutation, and disease. *The FASEB Journal*, 17(10), 1195-1214.
- Costa, V., & Moradas-Ferreira, P. (2001). Oxidative stress and signal transduction in *Saccharomyces cerevisiae*: insights into ageing, apoptosis and diseases. *Molecular aspects of medicine*, 22(4-5), 217-246.
- Costa França MG, Pham-Thi CAT, Pimentel ROP, Rossiello Y, Fodil Z, Laffray D (2000). Differences in Growth and Water Relations Among *Phaseolus vulgaris* Cultivars in Response to Induced Drought Stress. *Environ. Exp. Bot.*, 43, 227–237.
- Creissen, G. P., Broadbent, P., Kular, B., Reynolds, H., Wellburn, A. R., & Mullineaux, P. M. (1994). Manipulation of glutathione reductase in transgenic plants: implications for plants' responses to environmental stress. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 102, 167-175.

- Cummins, A. G., & Roberts- Thomson, I. C. (2009). Prevalence of celiac disease in the Asia-Pacific region. *Journal of gastroenterology and hepatology*, 24(8), 1347-1351.
- Cuypers, A., Koistinen, K. M., Kokko, H., Kärenlampi, S., Auriola, S., & Vangronsveld, J. (2005). Analysis of bean (*Phaseolus vulgaris*) proteins affected by copper stress. *Journal of Plant Physiology*, 162(4), 383-392.
- Çirka, M., Tunçtürk, R., Kulaz, H., Tunçtürk, M., Eryiğit, T., & Baran, İ. (2022). Kuraklık stresi altında yetiştirilen bakla (*Vicia faba*) bitkisinde rizobakteri ve alg uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 1124-1133.
- Davies, P. J. (Ed.). (2004). *Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!*. Springer Science & Business Media.
- Del Río, A., Sandalio, M., Corpas, F. J., López- Huertas, E., Palma, J. M., & Pastori, G. M. (1998). Activated oxygen- mediated metabolic functions of leaf peroxisomes. *Physiologia Plantarum*, 104(4), 673-680.
- Del Río, A., Sandalio, M., Corpas, F. J., Palma, J. M., & Barroso, J. B. (2006). Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant physiology*, 141(2), 330-335.
- Dietrich, H., Rechner, A., & Patz, C. D. (2004). Bioactive compounds in fruit and juice. *Fruit Processing*, 1, 50-55.
- Dixon, N. E., Gazzola, C., Blakeley, R., & Zerner, B. (1975). Jack bean urease (EC 3.5. 1.5). Metalloenzyme. Simple biological role for nickel. *Journal of the American Chemical Society*, 97(14), 4131-4133.
- Dizdaroglu, M., Jaruga, P., Birincioglu, M., & Rodriguez, H. (2002). Free radical-induced damage to DNA: mechanisms and measurement. *Free Radical Biology and Medicine*, 32(11), 1102-1115.
- Doğru, A., Altundağ, H., & Dünder, M. Ş. (2021). Gelişmiş bitkilerde nikel elementinin fizyolojik fonksiyonları ve nikel toksisitesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(1), 1-19.
- Doğru, A., & Çakırlar, H. (2020a). Effects of leaf age on chlorophyll fluorescence and antioxidant enzymes activity in winter rapeseed leaves under cold acclimation conditions. *Brazilian Journal of Botany*, 43(1), 11-20.
- Doğru, A., & Çakırlar, H. (2020b). Is leaf age a predictor for cold tolerance in winter oilseed rape plants?. *Functional Plant Biology*, 47(3), 250-262.
- Doğru, A., Altundağ, H., & Dünder, M. Ş. (2021). Gelişmiş bitkilerde nikel elementinin fizyolojik fonksiyonları ve nikel toksisitesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(1), 1-19.
- 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. (2019). Bitkilerde antioksidan sistemler ve tuz stresine verdikleri yanıtlar. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 1(2), 164-185.

- Doğru, A. (2020). Bitkilerde aktif oksijen türleri ve oksidatif stres. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(2), 205-226.
- Dovarak J, di Terlizzi P, Zhang HB, Resta P, 1993. The evolution of polyploid wheats: identification of the A genome donor species. *Genome*, 36(1): 21-31. 31.
- Driever, S. M., Fryer, M. J., Mullineaux, P. M., & Baker, N. R. (2009). Imaging of reactive oxygen species in vivo. *Plant Signal Transduction: Methods and Protocols*, 109-116.
- Du, J., Cullen, J. J., & Buettner, G. R. (2012). Ascorbic acid: chemistry, biology and the treatment of cancer. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Cancer*, 1826(2), 443-457.
- Edreva, A. (1998, Haziran, 22-26). Molecular bases of stress in plants, bitkilerde stres fizyolojisinin moleküler temelleri. *EBiLTEM*, 1-33. İzmir, Türkiye.
- El-Dashan, M. (1996). Fundamentals of extractive metallurgy. *King Saud University*, 362, 13-21.
- Emsen, B., Karataş, M., & Doğan, M. (2019). In Vitro Koşullarda Çoğaltılan *Bacopa monnieri* Pennell'nin Oksidatif Stres İnhibisyon Aktiviteleri. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2), 181-189.
- Eskew, D. , Welch, R. M., & Cary, E. E. (1983). Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science*, 222(4624), 621-623.
- Eskew, D. L., Welch, R. M. ve Norvell, W. A. (1984). Daha yüksek bitkilerde nikel: önemli bir rol için daha fazla kanıt. *Bitki fizyolojisi*, 76(3), 691-693.
- Espen, , Pirovano, , & Cocucci, S. M. (1997). Effects of Ni²⁺ during the early phases of radish (*Raphanus sativus*) seed germination. *Environmental and experimental botany*, 38(2), 187-197.
- Eyidogan, F., & Öz, M. T. (2007). Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(5), 485-493
- Farmer, E. E., & Mueller, M. J. (2013). ROS-mediated lipid peroxidation and RES-activated signaling. *Annual review of plant biology*, 64(1), 429-450
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.
- Fismes, J., Echevarria, G., Leclerc- Cessac, E., & Morel, J. (2005). Uptake and transport of radioactive nickel and cadmium into three vegetables after wet aerial contamination. *Journal of environmental quality*, 34(5), 1497-1507.
- 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.
- Fujita, M A., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi Shinozaki K. ve Shinozaki, K., 2006. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling Networks, *Current Opinion in Biology*, 9, 436-442.

- Gajewska E. ve Skłodowska, M. (2005). Antioxidative responses and proline level in leaves and roots of pea plants subjected to nickel stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 27(3), 329-339.
- Gajewska, E., Skłodowska, M., Słaba, M., & Mazur, J. (2006). Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. *Biologia plantarum*, 50, 653-659.)
- Gechev, T. S., Van Breusegem, F., Stone, J. M., Denev, I., & Laloi, C. (2006). Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *Bioessays*, 28(11), 1091-1101.
- 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.
- Güleryüz, 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.
- Gürel, A., & Avcıoğlu, 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.
- 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.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., & Davies, T. F. (1990). Principal of propagation by seed. *Plant propagation, principals and practices*, 104-136.

- Hatz, S., Lambert, J. D., & Ogilby, P. R. (2007). Measuring the lifetime of singlet oxygen in a single cell: addressing the issue of cell viability. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6(10), 1106-1116.
- Heun, M., Schafer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B., & Salamini, F. (1997). Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science*, 278(5341), 1312-1314.
- Hilhorst, H. W. M., & Karssen, C. M. (1992). Seed dormancy and germination: the role of abscisic acid and gibberellins and the importance of hormone mutants. *Plant growth regulation*, 11, 225-238.
- Hsu, S. Y., & Kao, C. H. (2003). The protective effect of free radical scavengers and metal chelators on polyethylene glycol-treated rice leaves. *Biologia Plantarum*, 46, 617-619.
- Huang JF, Hu YH, Hsu JC, Daghir N. 2008. Waterfowl production in hot climates. *Poult Product Hot Clim*, 330-375.
- Huner, N. P., Öquist, G., & Sarhan, F. (1998). Energy balance and acclimation to light and cold. *Trends in Plant Science*, 3(6), 224-230.
- Hunt, S. (2003). Measurements of photosynthesis and respiration in plants. *Physiologia Plantarum*, 117(3), 314-325.
- Huynh, B., Palmer, M., Mather, D. E., Wallwork, H., Graham, R. D., Welch, R. M., & Stangoulis, J. C. (2008). Genotypic variation in wheat grain fructan content revealed by a simplified HPLC method. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 369-378.
- Seregin, I. V., Kozhevnikova, A. D., Kazyumina, E. M., & Ivanov, V. B. (2003). Nickel toxicity and distribution in maize roots. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50, 711-717.
- Ishtiaq, S., & Mahmood, S. (2012). Phytotoxicity of nickel and its accumulation in tissues of three Vigna species at their early growth stages.
- Jadia, C. D., & Fulekar, M. H. (2008). Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 7(5).
- Kacar, B. (2015). *Genel Bitk Fiziyojisi* (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.
- Kalaji, H. M., Bosa, K., Kościelniak, J., & Żuk-Gołaszewska, K. (2011). Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO₂ assimilation of two Syrian barley landraces. *Environmental and Experimental Botany*, 73, 64-72.
- Karabulut, H., & Gülay, M. Ş. (2016). Antioksidanlar. *Veterinary Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 1(1), 65-76.
- Kasote, D. M., Katyare, S. S., Hedge, M. V. & Bae, H., 2015. Significance Of Antioxidant Potential Of Plants And Its Relevance To Therapeutic Applications. *International Journal of Biological Sciences*, 982-991.
- Kaygıner. (2023). Buğday (Triticum) *İSPEC Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 9-27.

- Kaynak, & Ersoy, N. (1997). Bitki büyüme düzenleyicilerinin genel özellikleri ve kullanım alanları. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 10(1), 223-236.
- Ke, B. (2001). Role of carotenoids in photosynthesis. *Photosynthesis: Photobiochemistry and Photobiophysics*, 229-250.
- Kidd, P., Barceló, J., Bernal, M. P., Navari-Izzo, F., Poschenrieder, C., Shilev, S., & Monterroso, C. (2009). Trace element behaviour at the root-soil interface: implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 243-259.
- Kim, E. J., Kim, H. P., Hah, Y. C., & Roe, J. H. (1996). Differential expression of superoxide dismutases containing Ni and Fe/Zn in *Streptomyces coelicolor*. *European Journal of Biochemistry*, 241(1), 178
- Kirecci, O. A. (2018). The effects of salt stress, SNP, ABA, IAA and GA applications on antioxidant enzyme activities in *Helianthus annuus*. *Fresenius Environ. Bull*, 27(5), 3783-3788.
- Koca, Y. O., Dere, Ş., & Erakul, O. S. M. A. N. (2011). İleri ekmeklik buğday hatlarında tane verimi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 15-22.
- Kocaçalışkan, İ. (2010). *Bitki Fizyolojisi*. Bitkilerde Büyüme ve Gelişme Fizyolojisi, (107-125). Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Köksal ve ark. (2011). Buğday. *Biyoloji Ansiklopedisi*, 3, 211-215
- Krause, G., Weis (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mo Biol*, 42: 313- 349.
- Kruk, J., Holländer-Czytko, H., Oettmeier, W., & Trebst, A. (2005). Tocopherol as singlet oxygen scavenger in photosystem II. *Journal of plant physiology*, 162(7), 749-757.
- Krupa, Z., Siedlecka, A., Maksymiec, W., & Baszyński, T. (1993). In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* to nickel toxicity. *Journal of plant physiology*, 142(6), 664-668.
- Kucek, K., Veenstra, D., Amnuaycheewa, P., & Sorrells, M. E. (2015). A grounded guide to gluten: how modern genotypes and processing impact wheat sensitivity. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(3), 285-302.
- 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.
- 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.
- Lavado, R. S., Porcelli, C. A., & Alvarez, R. (2001). Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil and tillage research*, 62(1-2), 55-60.S.

- 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.
- Mooring, M. T., Cooper, A. W., & Seneca, E. D. (1971). Seed germination response and evidence for height ecophenes in *Spartina alterniflora* from North Carolina. *American Journal of Botany*, 58(1), 48-55.
- Mueller, M. J. (2004). Archetype signals in plants: the phytoprostanes. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(4), 441-448.
- Maheshwari, R., & Dubey, R. S. (2007). Nickel toxicity inhibits ribonuclease and protease activities in rice seedlings: protective effects of proline. *Plant Growth Regulation*, 51, 231-243.
- Matsuoka Y, (2011). Evaluation of polyploid Triticum wheats under cultivationThe role of domestication, natural hybridization and allopolyploid specification in their diversification. *Plant and Cell Physiology*, 52(5), 750-764.
- McCord J.M. (2000). The evolution of free radicals and oxidative stress. *American Journal of Medicine*, 108, 652-659.
- McGrath, S. P., Chaudri, A. M., & Giller, K. E. (1995). Long-term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *Journal of industrial microbiology*, 14, 94-104.
- Mckersie, B. D., & Leshem, Y. A. Y. (1994). Chilling stress. *Stress and stress coping in cultivated plants*, 79-103.
- Meyer, A. J. (2008). The integration of glutathione homeostasis and redox signaling. . *Plant Physiology*, 165, 1390-1403.
- Millar, A. H., Mittler, R., Kiddle, G., Heathwood, J. , Bartoli, C. G., Theodoulou, F. , & Foyer, C. H. (2003). Control of ascorbate synthesis by respiration and its implications for stress responses. *Plant physiology*, 133(2), 443-447.
- Miller, D. B. (1990). Transition metals as catalysts of “autoxidation” reactions. *Free Radic. Bio Med*, 8 (1), 95–108.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9), 405-410.
- Molas, J. (1997). Changes in morphological and anatomical structure of cabbage (*Brassica oleracea*) outer leaves and in ultrastructure of their chloroplasts caused by an in vitro excess of nickel . *Photosynthetica*, 34 (4), 513-522.
- Moller, I. (2001). Plant mitochondria and oxidative stress. Electron transport, NADPH turnover and metabolism of reactive oxygen species. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52, 561-591.
- Moller, I. M., Jensen, P. E., & Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annu. Rev. Plant Bio*, 58(1), 459-481.
- Munne-Bosch, S. (2005). The role of tocopherol in plant stress tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 162 ,743-748.

- Müftüoğlu, T. (2003). Antioksidanlar, serbest radikaller ve diğer reaktif türler. *Kocatepe Veteriner Dergisi*, 3(1), 51-60.
- Maxwell, K., Johnson, N. G. (2000) Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *J Exp Bot*, 51, 659-668.
- Neumann, P. M., & Chamel, A. (1986). Comparative phloem mobility of nickel in nonsenescent plants. *Plant Physiology*, 81(2), 689-691.
- Noctor, G., & Foyer, C. H. (1998a). Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, 49(1), 249-279.
- Noctor, G., & Foyer, C. H. (1998b). Are-evaluation of the ATP: NADPH budget during C3 photosynthesis: a contribution from nitrate assimilation and its associated respiratory activity?. *Journal of Experimental Botany*, 49(329), 1895-1908.
- Noctor, G. (2006). Metabolic signalling in defence and stress: the central roles of soluble redox couples. *Plant, Cell & Environment*, 29(3), 409-425.
- Oukarroum, A., Bussotti, F., Goltsev, V., & Kalaji, H. M. (2015). Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemna gibba* plants under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 109, 80-88.
- Özberk, İ. Ö. (2009). *Serin iklim Tahılları (Buğday ve Arpa) Ders Notları*. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Şanlıurfa, Yayın No: 2010-1. 1.
- Özcan, O., Erdal, H., Çakırca, G., & Yönden, Z. (2015). Oksidatif stres ve hücre içi lipid, protein ve DNA yapıları üzerine etkileri. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 6(3), 331-336.
- Özdemir, V. (2006). Hydrometallurgical extraction of nickel and cobalt from Çaldağ Laterite Ores, Msc Thesis. *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*. 80.
- Sharma, P., Bhardwaj, R., Arora, N., Arora, H. K., & Kumar, A. (2008). Effects of 28-homobrassinolide on nickel uptake, protein content and antioxidative defence system in *Brassica juncea*. *Biologia Plantarum*, 52, 767-770.
- Page, W. (2006). Floem tarafından bitkinin sürgün ve yapraklarına su taşınması. *Bitki Fizyolojisi Araştırmaları*, 25(2), 89-95.
- Pan, Y., Wu, J., & Yu, Z. (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.
- Pandey, N., & Sharma, C. P. (2002). Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, 163(4), 753-758.
- Pandolfini, T., Gabbrielli, R., & Comparini, C. (1992). Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum*. *Plant, Cell & Environment*, 15(6), 719-725.
- Paredes-López, O., Cervantes-Ceja, M., Vigna-Pérez, M., & Hernández-Pérez, T. (2010). Berries: improving human health and healthy aging, and promoting quality life a review. *Plant Foods For Human Nutrition*, 65, 299-308.
- Parker, R. (1996). Absorption, metabolism, and transport of carotenoids. *FASEB Journal*, 10, 542– 551.

- Peng, J., Sun, D., & Nevo, E. (2011a). Wild emmer wheat, 'Triticum dicoccoides', occupies a pivotal position in wheat domestication process. *Australian Journal of Crop Science*, 5(9), 1127-1143.
- Peralta JR, Gardea Torresdey JL, Tiemann KJ, Gomez E, Arteaga S, Rascón E, Parsons JG (2001) Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa*) L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 66 (6): 727-734.
- Pereira, W. E., de Siqueira, D., Martínez, C. A., & Puiatti, M. (2000). Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. *Journal of Plant Physiology*, 157(5), 513-520.
- Petrucci ve H (1993). General Chemistry: Principles and Modern Applications, 6th Edition, *Macmillan Publising Company*, New York,.
- Reigosa, M. J., Pedrol, N., & González, (Eds.). (2006). *Allelopathy: a physiological process with ecological implications*. Springer Science & Business Media
- Reumann, S., & Weber, A. P. (2006). Plant peroxisomes respire in the light: some gaps of the photorespiratory C2 cycle have become filled others remain. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1763(12), 1496-1510.
- Reuveni, M. (1998). Relationships between leaf age, peroxidase and beta-1,3-glucanase activity and resistance to downy mildew in grapevine. *Journal of Phytopathology*, 146 (10), 525-530.
- Sachan, P. a. (2019). Khan, M.M.A.A., Abid, M., Vermaand, D., Maheshwari, R.K. (Eds). *Molecular mechanisms of nickel (Ni²⁺) homeostasis in plants: uptake, tolerance and hyperaccumulation*.
- Salisbury, F. B. and Ross C.W. (1992). *Plant physiology (4th ed.)*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Sánchez-Romero, C., García-Gómez, M., Pliego-Alfaro, F., & Heredia, A. (1993). Peroxidase activities and isoenzyme profiles associated with development of avocado (*Persea americana*, M.) leaves at different ontogenetic stages. *Journal of Plant Growth Regulation*, 12, 95-100.
- Scandalias, J. (1990). Response of plant antioxidant defense genes to environmental stress. *Adv. Genet*, 28, 1-41.
- Schützendübel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld-Heyser, R., Godbold, D., & Polle, A. (2001). Cadmium-induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in Scots pine roots. *Plant physiology*, 127(3), 887.
- Sebanek, J. (1992). *Plant Physio* Prague. Elsevier Science Publishers.
- Sekmen H., A., Türkan, İ., & Takio, S. (2007). Differential responses of antioxidative enzymes and lipid peroxidation to salt stress in salt- tolerant *Plantago maritima* and salt- sensitive *Plantago media*. *Physiologia Plantarum*, 131(3), 399-411.
- Seregin, I. v. (2006). Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russ. J. Plant Physio*, 53, 257-277.
- 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.

- Shahzad, B., Tanveer, M., Rehman, A., Cheema, S. A., Fahad, S., Rehman, S., & Sharma, A. (2018). Nickel; whether toxic or essential for plants and environment-A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 641-651.
- Sharma, P., Bhardwaj, R., Arora, N., Arora, H. K., & Kumar, A. (2008). Effects of 28-homobrassinolide on nickel uptake, protein content and antioxidative defence system in *Brassica juncea*. *Biologia Plantarum*, 52, 767-770.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 2012(1), 217037.
- Shi, G., & Cai, Q. (2009). Leaf plasticity in peanut (*Arachis hypogaea*) in response to heavy metal stress. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 112-117.
- Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-58.
- 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.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*, 25, 445-483.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba*) under NaCl salinity. *Plant science*, 161(3), 613-619.
- Sun, E. J., & Wu, F. Y. (1998). Along-vein necrosis as indicator symptom on water spinach caused by nickel in water culture. *Bot Bull Acad Sin*, 39, 255-259.
- Sunderman FW, O. (1991). *A. Metals and their compounds in the environment*. Weinheim, Germany: VCH Verlag
- Szajdek, A., & Borowska, E. J. (2008). Bioactive compounds and health-promoting properties of berry fruits: a review. *Plant Foods For Human Nutrition*, 63, 147-156.
- Taiz, , & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*. Sinauer associates. *Plant Physiology* 3,602-611
- Takahashi, S., & Badger, M. R. (2011). Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends in Plant Science*, 16(1), 53-60.
- Tal, M. (1983). D.E. Evans, W. R. Sharp, P.V. Ammirato, Y. Yamada eds, ss 461-487. Selection for stress tolerance. In “*Handbook of Plant Cell Culture, Volume .* Collier Macmillon Publisher.
- Tausz, M., Šircelj, H., & Grill, D. (2004). The glutathione system as a stress marker in plant ecophysiology: is a stress-response concept valid?. *Journal of Experimental Botany*, 55(404), 1955-1962.

- Teale, W. D., Paponov, I. A., & Palme, K. (2006). "Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development." *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 7(11), 847-859
- 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.
- Tonk, F. A., İstipliler, D., & Tosun, M. (2017). Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) genotiplerinde özellikler arası ilişkiler ve path analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1), 85-89.
- Torlak, E. (2019). *Tuz stresi altındaki mısır (Zea mays) bitkisinde askorbik asit uygulamalarının fizyolojik ve biyokimyasal etkisinin araştırılması* [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Triantaphylides, C., Krischke, M., Hoeberichts, F. A., Ksas, B., Gresser, G., Havaux, M., & Mueller, M. J. (2008). Singlet oxygen is the major reactive oxygen species involved in photooxidative damage to plants. *Plant physiology*, 148(2), 960-968.
- Upadhyaya, H., Panda, S. K., & Dutta, B. K. (2008). Variation of physiological and antioxidative responses in tea cultivars subjected to elevated water stress followed by rehydration recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(4), 457-468.
- Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Ulinskaitė, R., Jankauskienė, J., Duchovskis, Ž., Žukauskas, A., 2008. The possibility to control the metabolism of green vegetables and sprouts using light emitting diode illumination. *Scientific Works Of The Lithuanian Institute of Horticulture And Lithuanian University Of Agriculture, Sodininkystė Ir Daržininkystė*, 28(2): 83-92.
- Valko, M. M. H. C. M., Morris, H., & Cronin, M. T. D. (2005). Metals, toxicity and oxidative stress. *Current medicinal chemistry*, 12(10), 1161-1208.
- Van Assche, F., & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell & Environment*, 13(3), 195-206.
- Van den Ende, W., Michiels, A., Le Roy, K., & Van Laere, A. (2002). Cloning of a vacuolar invertase from Belgian endive leaves (*Cichorium intybus*). *Physiologia Plantarum*, 115(4), 504-512.
- Vardar, Y. (1985). Bitki Fizyolojisine Giriş (157-165). İzmir: Bilgehan Basımevi.
- Veer, B. (1988). Effect of Phasic Treatment of Ni on Seedling Growth and Activities of Certain Hydrolytic Enzymes of Seeds, *J. Ind. Bot Soc*, 5, 351-354.
- Veer, B. (1989). Effects of Ni and Zn on seedling growth and hydrolytic enzymes in *Phaseolus aureus* cv. R-851. *Geobios (Jodhpur)*, 16(6), 245-248.
- Vital, S. A., Fowler, R. W., Virgen, A., Gossett, D. R., Banks, S. W., & Rodriguez, J. (2008). Opposing roles for superoxide and nitric oxide in the NaCl stress-induced upregulation of antioxidant enzyme activity in cotton callus tissue. *Environmental and Experimental Botany*, 62(1), 60-68.
- Vogel, K.P., F.A.Haskins and H.J.Gorz. 1987. Potential for Hydrocyanic acid poisoning of livestock by Indiangrass, *J.of Range Management* 40(6):506-509.

- Von Elbe, J. a. (1996). O.R. Fennema (Ed). Colorants. Food Chemistry . *Chapter Marcel Dekker Inc.*, 10, 651–722 New York.
- Wang, S. Y., Jiao, H. J., & Faust, M. (1991). Changes in ascorbate, glutathione, and related enzyme activities during thidiazuron- induced bud break of apple. *Physiologia Plantarum*, 82(2), 231-236.
- Welch, R. M., & Shuman, (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14(1), 49-82.
- Westwood, M. (1993). Hormones and Growth Regulators. *Temperate Zone Pomology: Physiology and Culture*, Timber Press Inc, Portland, Oregon, USA.
- 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.
- Yalcin, E., Bilgin, A., Kutbay, H. G., & Kilinc, M. (2004). Relationships between community structure and soil properties of a swamp forest from Northern Turkey. *Polish Journal of Ecology*, 52(2), 233-238.
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., & Zhu, Q. (2001). Activities of starch hydrolytic enzymes and sucrose- phosphate synthase in the stems of rice subjected to water stress during grain filling. *Journal of Experimental Botany*, 52(364), 2169-2179.
- Yoshiyama, K. O., Sakaguchi, K., & Kimura, S. (2013). DNA damage response in plants: conserved and variable response compared to animals. *Biology*, 2(4), 1338-1356.
- Yuan, R. Y., Wu, M. Y., & Hu, S. P. (2000). Antioxidant status in patients with Parkinson's disease. *Nutrition Research*, 20(5), 647-652.
- Yusuf, M., Fariduddin, Q., Hayat, S., & Ahmad, A. (2011). Nickel: an overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86, 1-17.
- Zhang, Y., Yang, J., Lu, S., Cai, J., & Guo, Z. (2008). Overexpressing SgNCED1 in tobacco increases ABA level, antioxidant enzyme activities, and stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27, 151-158.
- Zohary, D., & Hopf, M. (2000). Domestication of plants in the Old World: the origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley.
- Zornoza, P., Robles, S., & Martin, N. (1999). Alleviation of nickel toxicity by ammonium supply to sunflower plants. *Plant and Soil*, 208, 221-226.
- 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

EKLER

EK A. Tablo



Tablo A.1. Çimlenme evresi kök uzunluğu, gövde boy uzunluğu, toplam boy uzunluğu, kullanılan rezerv miktarı, konveksiyon katsayısı, rezerv tüketim miktarı (kontrollere göre istatistiksel (LSD; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir).

Kök Boy Uzunluğu	200 pp m	400 pp m	600 pp m	800 pp m	1000 ppm	Gövde Boy Uzunluğu	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm	Toplam Boy Uzunluğu	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm
Cum.-75	*	*	*	*	*	Cum.-75			*	*	*	Cum.-75	*	*	*	*	*
Efe		*	*	*	*	Efe						Efe	*	*	*	*	*
Gönen-98		*	*	*	*	Gönen-98	*	*	*	*	*	Gönen-98	*	*	*	*	*
Kaşıfbey-95		*	*	*	*	Kaşıfbey-95			*	*	*	Kaşıfbey-95		*	*	*	*
Kayra	*	*	*	*	*	Kayra			*	*	*	Kayra	*	*	*	*	*
Meltem		*	*	*	*	Meltem			*	*	*	Meltem	*	*	*	*	*
Ziyabey-98				*	*	Ziyabey-98			*	*	*	Ziyabey-98		*	*	*	*
Kullanılan Rezerv	200 pp m	400 pp m	600 pp m	800 pp m	1000 ppm	Konveksiyon Katayısı	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm	Rezerv Tüketim	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm
Cum.-75		*	*	*	*	Cum.-75			*	*	*	Cum.-75			*	*	*
Efe		*	*	*	*	Efe			*	*	*	Efe			*	*	*
Gönen-98		*	*	*	*	Gönen-98		*	*	*	*	Gönen-98		*	*	*	*
Kaşıfbey-95			*	*	*	Kaşıfbey-95	*	*	*	*	*	Kaşıfbey-95			*	*	*
Kayra			*	*	*	Kayra	*	*	*	*	*	Kayra		*	*	*	*
Meltem		*	*	*	*	Meltem		*	*	*	*	Meltem	*	*	*	*	*
Ziyabey-98	*	*	*	*	*	Ziyabey-98					*	Ziyabey-98		*	*	*	*

Tablo A.2. Kök gerçek büyüme hızı, kök oransal büyüme hızı, koleoptil gerçek büyüme hızı, koleoptil oransal büyüme hızı(kontrollere göre istatistiksel (LSD; $P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir).

Kök Gerçek Büyüme Hızı	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm	Kök Oransal Büyüme Hızı	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm
Cum.-75			*	*	*	Cum.-75					*
Efe	*	*	*	*	*	Efe				*	*
Gönen-98			*	*	*	Gönen-98				*	*
Kaşıfbey-95			*	*	*	Kaşıfbey-95					*
Kayra			*	*	*	Kayra				*	*
Meltem			*	*	*	Meltem				*	*
Ziyabey-98	*	*	*	*	*	Ziyabey-98				*	*
Koleoptil Gerçek Büyüme Hızı	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm	Koleoptik Oransal Büyüme Hızı	200 ppm	400 ppm	600 ppm	800 ppm	1000 ppm
Cum.-75	*	*	*	*	*	Cum.-75			*	*	*
Efe			*	*	*	Efe			*	*	*
Gönen-98	*	*	*	*	*	Gönen-98			*	*	*
Kaşıfbey-95		*	*	*	*	Kaşıfbey-95					*
Kayra		*	*	*	*	Kayra				*	*
Meltem		*	*	*	*	Meltem			*	*	*
Ziyabey-98	*	*	*	*	*	Ziyabey-98			*	*	*

Tablo A.3. Fide evresi kök uzunluğu, gövde uzunluğu ve toplam boy uzunluğu ($P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir).

	Kök Uzunluğu		Gövde uzunluğu		Toplam Boy Uzunluğu	
	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm
Cumhuriyet-75	100	93	100	80*	100	82*
Ziyabey-98	100	86 *	100	93	100	89*

Tablo A.4. Fide evresi kök taze ağırlığı, kök kuru ağırlığı, gövde taze ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, toplam SOD aktivitesi, toplam APOD aktivitesi, toplam GR aktivitesi, toplam GPOD aktivitesi ($P < 0.05$) olarak anlamlı olan farklılıklar “*” işareti ile gösterilmiştir).

	Kök Taze Ağırlığı		Kök Kuru Ağırlığı		Gövde Taze Ağırlığı		Gövde Kuru Ağırlığı	
	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm
Cumhuriyet-75	100	77	100	101	100	66*	100	85
Ziyabey-98	100	60 *	100	93	100	72*	100	75*
	Toplam SOD Aktivitesi		Toplam APOD Aktivitesi		Toplam GRAktivitesi		Toplam GPOD Aktivitesi	
	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm
Cumhuriyet-75	100	94	100	72*	100	101	100	117
Ziyabey-98	100	142*	100	134*	100	145	100	85

Tablo A.5. Fotosentetik aktivite parametreleri P<0.05) olarak anlamlı olan farklılıklar.

	Cumhuriyet-75		Ziyabey-98	
	Kontrol	200 ppm	Kontrol	200 ppm
tFm	100	129	100	99
Fo	100	105	100	106
Fv/Fm	100	100	100	98*
$\Delta V/\Delta to$	100	102	100	130*
Alan	100	90	100	80*
Fm	100	103	100	97
Fv/Fo	100	98	100	87*
ABS/RC	100	99	100	118*
$\phi P0$	100	100	100	97
Ψ_o	100	96	100	92*
ϕDo	100	101	100	111*
ΔRo	100	97	100	88*
TR ₀ /RC	100	98	100	115*
DI ₀ /RC	100	96	100	89*
$\Psi_o/(1-\Psi_o)$	100	90	100	81*
SFI (abs)	100	97	100	75*
$\phi 0/(1-\phi 0)$	100	98	100	87*
RC/ABS	100	101	100	85*
PI _{ABS}	100	88	100	57

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tuğba ÖZDEMİR

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans : 2012, Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi ,
Biyoloji
- Yüksek lisans : Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,
Biyoloji Ana Bilim Dalı (Halen devam)
- Pedagojik Formasyon : 2013, Sakarya Üniversitesi, Sakarya Hendek Eğitim
Fakültesi

MESLEKİ DENEYİM:

- 2012 yılından bu yana Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı çeşitli özel okullarda 11 yıldır Biyoloji Öğretmeni olarak görev yapmaktayım.

TEZDEN TÜRETİLMİŞ ESERLER:

- “Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinde Çimlenme Sırasında Nikel Uygulamasına Fizyolojik Tepkilerin Değerlendirilmesi” adlı makale