

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI



AZELAIK ASİT'İN KURAKLIK VE TUZ STRESİ ALTINDAKİ
SOYA (*Glycine max* L.) YAPRAKLARINDA, AOT
DÜZENLEMESİ, SAVUNMA CEVAPLARI ve HÜCRE DUVARI
DİRENÇ MEKANİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

HATİCE ÇETİNKAYA

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. BURCU SEÇKİN DİNLER

SİNOP - 2024

TEZ KABUL

Hatice ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan “**AZELAİK ASİT’İN KURAKLIK VE TUZ STRESİ ALTINDAKİ SOYA (*Glycine max* L.) YAPRAKLARINDA, AOT DÜZENLEMESİ, SAVUNMA CEVAPLARI ve HÜCRE DUVARI DİRENÇ MEKANİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı bu çalışma, 29.02.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **DOKTORA tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Serdar MAKBUL
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi / Fen Edebiyat Fakültesi

İmza

Üye
(Danışman)

Prof. Dr. Burcu SEÇKİN DİNLER
Sinop Üniversitesi / Fen Edebiyat Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Emire ELMAS
Sinop Üniversitesi / Fen Edebiyat Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Sefer DEMİRBAŞ
Namık Kemal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Ömer ELKIRAN
Sinop Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri MYO

İmza

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Fadime DİRİK

.....

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hatice ÇETİNKAYA



ÖZET

DOKTORA TEZİ

AZELAİK ASİT'İN KURAKLIK VE TUZ STRESİ ALTINDAKİ SOYA (*Glycine max* L.) YAPRAKLARINDA, AOT DÜZENLEMESİ, SAVUNMA CEVAPLARI VE HÜCRE DUVARI DİRENÇ MEKANİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

HATİCE ÇETİNKAYA

**SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN: PROF. DR. BURCU SEÇKİN DİNLER

Azelaik asit (AzA), dokuz karbonlu bir dikarboksilik asittir ve sistemik kazanılmış dirençte (SAR) etkili olan bir sinyal molekülüdür. AzA'nın stres koşulları altında farklı dokulara taşınabilen hareketli bir molekül olmasından dolayı; bitkinin farklı dokularında stresin olumsuz etkisinin azaltılmasında önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Bu çalışma; Soya (*Glycine max* L.) bitkisi yapraklarında tuz ve kuraklık stresi üzerine AzA etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Soya tohumları 23 °C ± 1°C de 3-5 iklim odasında toprak kültüründe 16 saat aydınlık / 8 saat karanlık fotoperiyotta 500µmol m²s⁻¹ ışık altında % 60 nem oranına sahip ortamda yetiştirilmiştir. Kuraklık stresi oluşturmak amacıyla % 15 PEG (Polietilen glikol 6000 MA), tuz stresi oluşturmak amacıyla NaCl (250 mM) kullanılmış ve eş zamanlı iki farklı konsantrasyonda AzA (12, 24 ppm) Houghlound besin çözeltisi içinde çözülerek 10 gün boyunca toprağa uygulanmıştır. 5. ve 10. günlerinde hasat işlemi yapılmıştır. Hasat edilen örneklerden kök ve gövdeye ait yaş ve kuru ağırlık, uzunluk ve bağıl su içeriği, klorofil miktarı belirlenmiştir. Ayrıca AOT (MDA, Prolin, H₂O₂, O₂, OH savurma kapasitesi), antioksidan enzim (SOD, POX, APX, GR, GST, DHAR, MDHAR, KAT) bunlarla birlikte, hücre duvarı enzimleri ve bileşenleri (PAL, PME, Lignin) ile hücre duvarı genleri (XTH, EXP, WAK4) analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, AzA uygulamasının tuz ve kuraklık stresi altında soya bitkisinde fizyolojik (klorofil, yaprak alanı) biyokimyasal (indirgenmiş MDA ve aktif oksijen türleri), moleküler parametrelerde iyileşmeye neden olduğu bulunmuştur. AzA, soya bitkisinde strese karşı bazı enzim aktiviteleri (SOD, APX, POX, GR, PME) üzerinde uyarıcı rol oynarken, hücre duvarı enzimi (PAL) ve prolin miktarı üzerinde artışa neden olmadan antioksidan görevi üstlenerek koruyuculuk sağlamıştır. Ayrıca AzA uygulaması kuraklık ve tuz stresi altında hücre duvarı genleri (*GmXTH3*, *GmEXPA2*, *GmWAKS4*) üzerinde uyarıcı etki yaparak koruma sağlamıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Azelaik asit; antioksidan enzim; hücre duvarı; sistemik kazanılmış direnç

Şubat 2024, 168

ABSTRACT

Ph.D THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF AZELAIC ACID ON AOS REGULATION, DEFENCE RESPONSES AND CELL WALL RESISTANCE MECHANISMS UNDER DROUGHT AND SALT STRESS IN SOYBEAN (*Glycine max* L.) LEAVES

HATICE ÇETINKAYA

SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF BIOLOGY

SUPERVISOR: PROF.DR. BURCU SEÇKİN DİNLER

Azelaic acid (AzA) is a nine-carbon dicarboxylic acid and a signaling molecule effective in systemic acquired resistance (SAR). Since AzA is a mobile molecule that can be transported to different tissues under stress conditions; it is thought to play an important role in reducing the negative effects of stress on different tissues of the plant. This work; it was carried out to determine the effect of AzA on salt and drought stress in soybean (*Glycine max* L.) plant leaves. Soybean seeds were grown in soil culture in 3-5 climate chambers at 23 °C $\pm$ 1 °C, in a photoperiod of 16 hours light / 8 hours dark, under 500 μ mol m²s⁻¹ light, in an environment with 60 % humidity. 15 % PEG (Polyethylene glycol 6000 MA) was used to create drought stress, NaCl (250 mM) was used to create salt stress, and two different concentrations of AzA (12, 24 ppm) were dissolved in Houglound and applied to the soil for 10 days. Harvesting was done on the 5th and 10th days. Fresh and dry weight, length, relative water content and chlorophyll amount of roots and stems were determined from the harvested samples. In addition, AOT (MDA, Proline, H₂O₂, O₂, OH scavenging capacity), antioxidant enzyme (SOD, POX, APX, GR, GST, DHAR, MDHAR, KAT), as well as cell wall enzymes and components (PAL, PME, Lignin). Cell wall genes (XTH, EXP, WAK4) analyzes were carried out. As a result, AzA application caused improvements in physiological (chlorophyll, leaf area), biochemical (reducing MDA and ROS content), and molecular parameters in soybean plants under salt and drought stress. While AzA plays inducer role on enzyme activities (SOD, APX, POX, GR, PME), it can also serve as an antioxidant without causing an increase in the cell wall related enzyme (PAL) and proline content. Beside this, it can be said that the AzA application under salt and drought stress provides stimulant effect on cell wall related gene expressions (*GmXTH3*, *GmEXPA2*, *GmWAKS4*).

KEYWORDS: Azelaic acid; antioxidant enzymes; cell wall; systemic acquired resistance

February 2024, 168

TEŞEKKÜR

Bu beş yıllık doktora öğrenimim boyunca çok büyük özveri ile çalışarak güzel bir sona gelmenin hem mutluluğunu hemde buruk bir üzüntüsünü yaşıyorum. Her ne kadar hiçbir zaman bağımızı koparmayıp kaldığımız yerden devam ederek kendisi ile çalışmalarımıza devam edeceğimizi bilsemde; bu süreçte beni yalnız bırakmayıp çalışmalarında yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bana destek olup; bilgi, öneri ve yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyerek bana destek olan ve bilimsel alanda yeni fikir ve önerileriyle yeni ufuklar açmama katkıda bulunan, çalışma grubumuz olan ‘‘GRUP STRES’’in ekip ruhunu bizlere yaşatan ve her zaman grup dinamiğinin aktif tutulması için elinden geleni yapan, akademik anlamdaki katkılarının yanı sıra; kalbi sevgi ve merhamet dolu örnek kişiliği ve karakteri ile kişisel gelişimimde sonsuz katkıları olan, maddi ve manevi her açıdan elinin üstümde olduğunu hissettiğim ve üzerimdeki emeğini ve hakkını ne kadar çalışsamda ödeyemeyeceğim, yeri gelince ailem olan çok değerli hocam Prof. Dr. Burcu SEÇKİN DİNLER (SÜ, Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı)’e,

Bu süreçte kendilerini ihmal ettiğim ve doktora eğitimimin her aşamasında özellikle manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve büyük sabırla beni dinleyen ve yanımda olduklarını her zaman hissettiğim canım ANNEM, BABAM ve kardeşlerime,

Gerek akademik anlamda bilgi ve önerileriyle gerek laboratuvar çalışmalarım esnasında bilgi aktarımı ve cihaz temini konusunda yardımlarını esirgemeyen, eğitime verdikleri destek ve önemi vurgulamış ve dolayısı ile katkı sağlamış olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ (SÜ, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama Merkezi SÜBİTAM Müdürü)’e, bilimsel anlamda ve cihaz temini açısından desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Emire ELMAS (SÜ, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji bölümü)’a ve Doç. Dr. Ömer ELKIRAN (Sağlık Hizmetleri MYO)’a, Öğr. Gör. Fatih BULUT (SÜ, SUBİTAM)’a, Doç. Dr. Dilek SAĞIR (SÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi), bu süreçte manevi olarak büyük desteklerini gördüğüm hocam Prof. Dr. Elife Doğan KILIÇ (İÜ Eğitim Fakültesi)’a çalışmalarım esnasında gen analizleri ile ilgili araştırmalarımın analizlerin yapılması ve değerlendirilmesi dışında her türlü bilimsel yardımlarını esirgemeyen sevgili, Dr. Zafer SEÇGİN’e, Dr.İsmail GÜNGÖR’e bilimsel çalışmalarım süresince ilgi, anlayış, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili dostlarım Yasemin AKAY, Ebru ÖZTÜRK’e, SUBİTAM’da birlikte çalıştığım mesai arkadaşlarıma ve ismini zikredemediğim tüm arkadaşlarıma sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Hatice ÇETİNKAYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ KABUL.....	ii
ETİK BEYANI.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLO DİZİNİ.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Sistemik kazanılmış direnç (SAR) mekanizması ve biyotik Stres.....	7
2.1.1. AzA'nın Sinyal Rolü	7
2.2. Tuz ve kuraklık Stresi.....	8
2.2.1. Tuzluluk.....	9
2.2.2. Kuraklık.....	11
2.3. Aktif Oksijen Türleri.....	13
2.4. Antioksidan savunma mekanizması.....	14
2.4.1. Enzimatik antioksidan savunma mekanizması.....	16
2.4.2. Enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizması.....	18
2.5. Bitki Hücre Duvarı yapısı ve bileşenleri, Tuz ve Kuraklık Stresi esnasında Hücre Duvarı.....	19
2.5.1. Hücre Duvarının yapısını oluşturan proteinler.....	19
2.5.1.1. Ksiloglukanlar.....	20
2.5.1.2. Ekspansinler.....	22
2.5.1.3. Endo-β-1, 4-glukanazlar.....	22
2.5.1.4. WAKL 4 Kinazlar.....	23
2.1.1. Pektin.....	24
2.1.2. Selüloz	25

2.1.3. Hemiselüloz	26
2.1.4. Diğer hücre duvarı bileşenlerinden membran fosfolipidleri ve fosfatidilgliserol.....	27
2.1.5. Lignin.....	27
2.1.6. Tuz ve Kuraklık Stresi esnasında hücre duvarı.....	28
2.6. Soya.....	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1.1. Ön denemenin kurulması.....	35
3.1.2. Deneme düzeneği.....	35
3.2. Fizyolojik analizler.....	38
3.2.1. Büyüme analizi.....	38
3.2.2. Bağlı su içeriğinin ölçülmesi.....	38
3.2.3. Bağlı elektriksel iletkenliğin ölçülmesi.....	38
3.2.4. Yaprak alanının ölçülmesi.....	38
3.2.5. Klorofil miktarının belirlenmesi.....	38
3.2.6. Prolin miktarının belirlenmesi.....	39
3.2.7. Lipit peroksidasyonun belirlenmesi.....	39
3.3. Aktif Oksijen Türlerinin (AOT) belirlenmesi.....	39
3.3.1. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) miktarının belirlenmesi.....	39
3.3.2. Süperoksit radikal miktarının belirlenmesi.....	40
3.3.3. Hidroksil radikal savurma kapasitesinin belirlenmesi.....	40
3.4. Antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenmesi.....	40
3.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1)	40
3.4.2. Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7)	41
3.4.3. Askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11)	41
3.4.4. Glutasyon-s-transferaz (GST; EC 2.5.1.18)	41
3.4.5. Glutasyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2)	41
3.4.6. Katalaz Enziminin (KAT) (EC 1.11.1.6)	42
3.4.7. Dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) (EC 1.8.5.1)	42
3.4.8. Monodehydroaskorbat redüktaz (MDHAR) EC 1.6.5.4)	42
3.5. Hücre duvarı enzimler.....	42
3.5.1. Fenilalanin amonyum liyaz (PAL)	42
3.5.2. Pektinmetilesateraz (PME)	43
3.5.3. Lignin miktarı	43

3.6. Gen ifadelerinin belirlenmesi.....	44
3.6.1. Ksiloglukan endo- β -transglukosilazlar/hidrolaz (<i>GmXTH3</i>), Expansin (<i>GmEXPA2</i>) ve WAK (<i>WAKS4</i>) Genlerinin ifadelerinin belirlenmesi.....	44
3.7. İstatistiksel analiz.....	46
4. BULGULAR.....	47
4.1. Büyüme parametreleri.....	47
4.1.1. Kök ve gövde uzunlukları.....	47
4.1.2. Yaş ve kuru ağırlık.....	48
4.1.2.1. Kuru ağırlık.....	48
4.1.2.2. Yaş ağırlık.....	49
4.2. Fizyolojik analizler.....	50
4.2.1. Bağlı su içeriği.....	50
4.2.2. Klorofil miktarı.....	51
4.2.3. Bağlı elektriksel iletkenlik.....	53
4.2.4. Yaprak alanı.....	55
4.3. Aktif Oksijen Türleri (AOT)	57
4.3.1. Prolin miktarı.....	57
4.3.2. Lipit peroksidasyon (MDA) miktarı.....	59
4.3.3. Hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarı	61
4.3.4. Hidroksil radikal ($OH^\cdot$) savurma kapasitesi	63
4.3.5. Süperoksit radikal ($O_2^\cdot$) Miktarı.....	65
4.4. Antioksidan enzimler	67
4.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD)	67
4.4.2. Peroksidaz (POX)	69
4.4.3. Askorbat peroksidaz (APX)	71
4.4.4. Glutasyon -s transferaz (GST)	72
4.4.5. Glutasyon redüktaz (GR)	74
4.4.6. Katalaz (KAT)	76
4.4.7. Dehidroaskorbat redüktaz (DHAR)	78
4.4.8. Monodehidro askorbat (MDHAR)	80
4.5. Hücre duvarı antioksidan enzimler	82
4.5.1. Fenilalanin amonyum ligaz (PAL)	82
4.5.2. Pektinmetilesteraz (PME)	84

4.5.3. Lignin miktarı.....	86
4.5.4. Hücre duvarı gen ifadeleri.....	88
4.5.4.1.Ksiloglukan endotransglukosilaz/hidrolazlar (<i>GmXTH3</i>) geninin ifadesi.....	88
4.5.4.2 Expansin (<i>GmEXPA2</i>) geninin ifadesi.....	90
4.5.4.3. WAKS4 (<i>GmWAKS4</i>) geninin ifadesi.....	92
5. TARTIŞMA.....	95
5.1. Büyüme parametreleri.....	95
5.1.1. Kök ve gövde uzunlukları.....	95
5.1.2. Yaş ve kuru ağırlık.....	96
5.2. Fizyolojik analizler.....	97
5.2.1. Bağlı su içeriği	97
5.2.2 Klorofil miktarı	98
5. 2.3. Bağlı elektriksel iletkenlik.....	99
5. 2.4. Yaprak alanı.....	100
5.3. Aktif Oksijen Türleri (AOT)	101
5.3.1. Prolin miktarı.....	101
5.3.2. Lipit peroksidasyon (MDA) miktarı.....	102
5.3.3. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) ve süperoksit radikal (O ₂ ⁻) miktarı	103
5.3.4. Hidroksil radikal (OH ⁻) savurma kapasitesi	104
5.4. Antioksidan enzimler.....	105
5.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD)	106
5.4.2. Peroksidaz (POX)	107
5.4.3 Askorbat-glutasyon döngüsü enzimleri.....	108
5.4.3.1. Askorbat peroksidaz (APX)	108
5.4.3.2. Glutasyon -s transferaz (GST).....	108
5.4.3.3.Glutasyon redüktaz (GR).....	109
5.4.4. Katalaz (KAT).....	109
5.5. Hücre duvarına ait antioksidan enzimler.....	110
5.5.1. Fenilalanin amonyum liyaz (PAL)	111
5.5.2. Pektinmetilesteraz (PME)	112
5.5.3. Lignin miktarı.....	113
5.6. Gen ifadeleri.....	114
5.6.1.Ksiloglukan endotransglukosilaz/hidrolazlar (<i>GmXTH3</i>) geninin ifadesi.....	114

5.6.2 Expansin (<i>GmEXPA2</i>) geninin ifadesi.....	115
5.6.3. WAK (<i>GmWAKS4</i>) geninin ifadesi.....	116
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	118
KAYNAKLAR.....	120
ÖZGEÇMİŞ.....	151



TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Soyada vejetatif (Fehr ve Caviness, 1977) ve generatif gelişme dönemleri (Williams vd., 1999)	44
Tablo 3.1 Ataem 7 çeşidi soya (<i>Glycine max</i> L.)’da Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde <i>GmXTH3</i> , <i>GmEXPA2</i> ve <i>WAKS4</i> gen analizlerinde kullanılan cDNA sentezi kitinin protokolü ve kullanılan PCR koşulları.....	44
Tablo 3.2 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)’nda Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde <i>GmXTH3</i> , <i>GmEXPA2</i> ve <i>WAKS4</i> gen analizlerinde kullanılan QPCR primerleri.....	45
Tablo 3.3 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)’da Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde <i>GmXTH3</i> , <i>GmEXPA2</i> ve <i>WAKS4</i> gen analizlerinde kullanılan QPCR bileşenleri ve uygulanan QPCR koşulları.....	45
Tablo 4.1 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)’nda Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde kök ve gövde uzunluklarında (cm) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A ₁ (Azelaikasit 12 ppm), A ₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A ₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A ₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A ₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A ₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A ₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A ₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....	47
Tablo 4.2 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)’nda Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde kök ve gövdelerinde kuru ağırlıklarında (gr) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A ₁ (Azelaikasit 12 ppm), A ₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A ₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A ₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A ₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A ₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A ₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A ₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....	48
Tablo 4.3 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaikasit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde kök ve gövdelerinde yaş ağırlıklarında (gr) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A ₁ (Azelaikasit 12 ppm), A ₂	

(Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....49

Tablo 4.4 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Bağlı Su İçeriğinde gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....51

Tablo 4.5 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Pearson korelasyon analizi sonucuna göre gruplararası meydana gelen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Bitkilerde patojen enfeksiyona bağlı olarak SAR mekanizmasının uyarılması.....	4
Şekil 2.2 Biyotik (patojen enfeksiyon, artropod hasarı) ve abiyotik (tuzluluk ve kuraklık, kimyasal ajanlar) strese bağlı oluşan SAR mekanizmasında oluşan geçici sinyalizasyon.....	5
Şekil 2.3. Azelaik asitin biyokimyasal yapısı.	6
Şekil 2.4 Patojen enfeksiyona bağlı olarak AzA oluşumu ile G3P biyosentezi ve SA artışı aracılığıyla SAR mekanizmasının uyarılması	7
Şekil 2.5 Farklı stres faktörlerine bağlı olarak bitki büyüme ve gelişiminde meydana gelen değişimler	9
Şekil 2.6 Toprak tuzluluğu ve tuz stresine bağlı olarak bitki bünyesinde meydana gelen hasarlar.....	10
Şekil 2.7 Kuraklık stresine bağlı olarak bitki bünyesinde meydana gelen hasarlar	12
Şekil 2.8 Aktif Oksijen Türleri (AOT) oluşumu.....	13
Şekil 2.9 AOT çeşitleri; radikal olanlar ve radikal olmayanlar.....	14
Şekil 2.10 Antioksidanlar; Enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar.....	15
Şekil 2.11 Tuz ve kuraklık stresi altında antioksidan savunma mekanizmasında; Askorbat-Glutatyon döngüsü	16
Şekil 2.12 Hücre duvarı yapısı ve bileşenleri.....	20
Şekil 2.13 Strese toleransının olası mekanizmasını gösteren şematik model.....	21
Şekil 2.14 Hücre duvarı oluşumu, A) Birincil hücre duvarı oluşumunda plazma membranı; selüloz mikrofibrinler, selüloz sentaz kompleksi, hemiselüloz, lignin ve çözünen proteinler B) İkincil hücre duvarı ve bileşiminde selüloz mikrofibrinler, lignin molekülleri ve pektin molekülleri	26
Şekil 2.15 A)Normal koşullarda bitki hücre duvarı, B)Stres altındaki bitki gelişiminin durması C)Toleranslı bitkilerde hücre duvarı polimerleri AOT aracılığı ile stres ile başatması.....	29
Şekil 2.16 Tuz stresi esnasında Hücre Duvarı yapısında meydana gelen değişimler.....	30

Şekil 2.17 Kuraklık stresi esnasında hücre duvarı yapısında meydana gelen değişimler	31
Şekil 2.18 Soya bitkisi genel görünümü tohum, çimlenme süreçleri, fide görünümü, yetişkin bitki, meyve oluşumu ve tohuma dönüşümü.....	32
Şekil 2.19 Tarım ve Orman Bakanlığı;Türkiye'nin en büyük soya üretimine sahip illeri.....	33
Şekil 2.20 Tarım ve Orman Bakanlığı;Türkiye'nin ülkelere göre soya ihracatı ve ithalatı.....	34
Şekil 3.1. Deneme düzeneği.....	35
Şekil 3.2 Hasat işlemi öncesi gruplara ait genel bitki görüntüsü.....	37
Şekil. 4.1 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10.günde Klorofil miktarında gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A ₁ (Azelaik asit 12 ppm), A ₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A ₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A ₂ (NaCl+Azelaik asit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A ₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A ₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A ₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A ₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm).....	52
Şekil 4.2 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)'nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Bağlı Elektriksel İletkenlik (BEİ) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A ₁ (Azelaik asit 12 ppm), A ₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A ₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A ₂ (NaCl+Azelaik asit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A ₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A ₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A ₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A ₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm).....	54
Şekil 4.3 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (<i>Glycine max</i>)'nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Yaprak Alanında (cm ²) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A ₁ (Azelaik asit 12 ppm), A ₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A ₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A ₂ (NaCl+Azelaik asit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A ₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A ₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A ₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A ₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm).....	56

Şekil 4.4 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde prolin miktarında (nmol/g⁻¹ YA) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)..... 58

Şekil 4.5 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250Mm) + PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Malondialdehid (MDA) miktarında (nmol/g⁻¹ YA) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....60

Şekil 4.6 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Hidrojen Peroksit (H₂O₂) miktarında (nmol/g⁻¹ YA) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....62

Şekil 4.7 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Hidroksil Radikal savurma kapasitesinde (OH⁻) (%) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)..... 64

Şekil 4.8 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Süperoksit Radikal (O₂⁻) (µmol/g⁻¹ YA) Miktarında gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂

(NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....66

Şekil 4.9 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde SOD enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....68

Şekil 4.10 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. Günde POX enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....70

Şekil 4.11 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde APX enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....72

Şekil 4.12 Ataem 7 çeşidi Soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5 ve 10. günde GST enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....74

Şekil 4.13 Ataem 7 çeşidi Soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde GR enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....76

Şekil 4.14 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde KAT enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....78

Şekil 4.15 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde DHAR enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....80

Şekil 4.16 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde MDHAR enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....82

Şekil 4.17 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde PAL enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂

(NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....84

Şekil 4.18 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250mM)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde PME enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....86

Şekil 4.19 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Lignin miktarında (mg g⁻¹ hücre duvarı) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....88

Şekil 4.20 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmXTH3* gen ifadesinde meydana gelen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....90

Şekil 4.21 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmEXPA2* gen ifadesinde meydana gelen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....92

Şekil 4.22 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmWAKS4* gen ifadesinde meydana gelen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24ppm), P (%15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).....94



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	:Yüzde
€	:Ekstraksiyon katsayısı
°C	:Santigrat derece
cm	:Santimetre
CO ₂	:Karbondioksit
dI	:Deiyonize
dk	:Dakika
gr	:Gram
H ₂ O ₂	:Hidrojenperoksit
O ₂ ^{•-}	:Süperoksit anyon
RO [•]	:Alkokoksil radikal
1O ₂	:Singlet oksijen
O ₃	:Ozon
OH ^{•-}	:Hidroksil radikal
K ⁺	: Potasyum
Na ⁺	:Sodyum
Ca ⁺²	:Kalsiyum
Mg ⁺²	:Magnezyum
Cl ⁻	:Klor
NO ₃	:Nitrat
CO ₃ ⁻²	:Karbonat radikal
ROOH	:Hidroperoksit
SO ₄ ⁻²	:Sülfat
HCO ₃ ⁻	:Bikarbonat
HOBr	:Hipobromöz asit
RO*	:Uyarılmış karboniller
SQ ⁻	:Semikinon
HOCl	:Hiopkloröz asit
OI	:Hidroksi Iyot

Kısaltmalar

ABA	:Absisik asit
AzA	:Azelaik asit
AOT	:Aktif oksijen türleri
APX	:Askorbat peroksidaz
BEİ	:Bağıl elektriksel iletkenlik
BSİ	:Bağıl su içeriği
CDNB	:1-kloro-2,4-dinitrobenzen
DAB 3,3'	:3,3'-Diaminobenzidin Tetrahidrokloroid
GPX	:Glutasyon peroksidaz
GR	:Glutasyon redüktaz
GSH	:Glutasyon
GSSG	:Okside glutasyon
GST	:Glutasyon s- transferaz
DHAR	:Dehidroaskorbat redüktaz
MDHAR	:Monodehidroaskorbat redüktaz
DNA	:Deoksiribonükleik asit
POX	:Peroksidaz
KAT	:Katalaz
ASC-GSH	:Askorbat- Glutasyon
EC	:Enzim numaraları
EDTA	:Etil diaminotetra asetik asit
FD	:Ferrodoksin
FNR NADPH	:Ferrodoksin nikotanamik adenin fosfat redüktaz
ONA	:9-okzononanoik asit
HyPRP	:Prolin açısından zengin proteinler
AZI1	:Azelaik asit uyarılmış 1
EARLI1	:Arabidopsis saliminyum-uyarılmış 1
LTP	:Lipit transfer protein
SAR	:Sistemik kazanılmış direnç mekanizması
ETI	:Etektörle uyarılan bağışıklık
PTI	:Patojen ile uyarılan bağışıklık
PAMP	:Patojen ile ilişkili moleküler model

PRR	:Örüntü tanıma reseptörleri
CMF	:Kristalin selülöz mikrofibrin
XTH	: Ksiloglukan
EXP	:Ekspansinler
WAK	:Hücre duvarı ile ilişkili kinaz
RLK	:Reseptör benzeri kinaz
IAA	:İndol asetik asit
ET	:Etilen
MAPK3	:Mutajenik aktivite protein kinaz 3
DIR1	:Defektif uyarılmış direnç 1
G3P	:Gliserol-3-Fosfat
ETS	:Elektron taşıma sistemi
GRP-3	:Gliserin açısından zengin protein
JA	:Jasmonik asit
SA	:Salisilik asit

1. GİRİŞ

Son yıllarda hem doğal hem de insan kaynaklı nedenlerin birleşmesi ile bitkileri olumsuz yönde etkileyen çevresel faktörler büyük tehlike oluşturmaktadırlar. Bu olumsuz faktörler, büyüme ve gelişmenin yanında ürün verimini de etkilemektedir. Stres faktörleri bitkilerde bir takım morfo-fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişikliklere neden olurlar. Bu nedenle, dünyadaki iklim değişiklikleri ve doğal ekosistemin bozulmasına neden olan etmenlerin araştırılması oldukça önemlidir (Labudda vd., 2022). Kuraklık ve tuzluluk stresleri bitkilerde metabolizma ve hücre yapısının bozulmasına neden olurlar. Topraktaki yeterli miktarda su olmasına karşın, bitkiler çeşitli nedenlerle kökleriyle yeterli suyu alamamaktadırlar. Tuzluluk ve kuraklık stresi bitkilerde fotosentezin engellenmesi ile klorofil içeriği ve bileşenlerinde değişikliklere neden olur. Bu stres faktörleri Kelvin döngüsünde görevli olan enzim aktivitelerinde aksaklıklara yol açarlar. Bitkinin fotosentetik düzeninde oluşan bu aktif oksijen türleri (AOT) ile antioksidan savunma enzim aktiviteleri arasındaki dengeyi bozmaktadır. Bu dengenin bozulması sonucu daha fazla AOT birikimine bağlı proteinlerin ve diğer hücresel bileşenlerin yapısı hasar görmektedir. Diğer birçok stres faktöründe olduğu gibi bitkiler su kaybını azaltmak için çeşitli stratejiler geliştirirler. Bunlar köklerini daha derinlere uzatma, yaprak alanını azaltma, stomalarını kapatma gibi savunma cevapları oluştururken bitki hücresine CO₂ gazının girişini de engellemektedirler.

Bitkilerde antioksidanlar; kuraklık ve tuzluluk stresi sonucu oluşan AOT'nin oksidatif hasara dönüşümünü engelleyen en önemli savunma mekanizmaları arasında yer alırlar. Bunlardan enzimatik olmayanların başında vitamin E, vitamin C, glutatyon ve karotenoidler gelirken; enzimatik olan antioksidanlar ise süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1), askorbat peroksidaz (APX; EC1.11.1.11), glutatyon redüktaz (GR; EC1.6.4.2), katalaz (CAT; EC1.11.1.6), peroksidaz (POX; EC1.11.1.7), glutatyon-s-transferaz (GST), monodehidroaskorbat (MDHAR; EC 1.6.5.4), dehidroaskorbat (DHAR; EC1.8.5.1)'dır (Zabalza vd., 2008). Ayrıca ksiloglukan (XTH), expansinler (EXPA, EXPB, EXPLA, EXPLB; GH45) ve hücre duvarı kinazlar (WAK) (Eklöf ve Brumer, 2010; Verica vd., 2003) stres faktörleri altında hücre duvarları yapısını ve hücre duvarını değiştiren proteinlerdendir. Bunun yanında hücre duvarı değiştirici enzimlerden; pektinmetilesteraz (PME; CE8) (Sénéchal vd., 2014), Fenil alanin liyaz (PAL) ve lignin metabolizması oldukça önemlidir (Moura vd., 2010). Patojen etkisi nedeniyle sağlam bitki dokularında geliştirilen sinyal oluşumu ile sistemik kazanılmış direnç (SAR) mekanizması bir savunma mekanizmasını meydana getirir (Winter vd., 2014). Patojen enfeksiyon sırasında

yapraklarda oluşan ve SAR mekanizmasıyla ilişkili olan sinyal moleküllerinin uzak dokulardaki etkisi floem yoluyla diğer dokulara taşınarak oluşur (Shah vd., 2014). Bitkiler stres faktörleriyle baş edebilecek etkili bir savunma sistemine sahip olup; yerel ve enfekte olmayan bölgelerdeki savunma mekanizmasının mikrobiyal patojenlerin istilasıyla mücadele edebilmesini sağlayan karmaşık bir bağışıklık sistemi geliştirmiştir (Gao vd., 2015). SAR, bitkide uzun süreli dayanıklılık sağlar ve geniş spektrumu sayesinde virüs, bakteri ve mantar gibi patojenlere karşı bağışıklığı artırır. Patojen enfeksiyona yanıt olarak salisilik asit (SA)'ın daha hızlı ve daha güçlü birikmesini sağlayan, gliserol-3-fosfata bağlı azelaik asit (AzA) (Jung vd., 2009; Yu vd., 2013) yer almaktadır. Azelaik asit, sistemik kazanılmış dirençte rol oynayan bir moleküldür. AzA bitkilerde patojen enfeksiyon altında salisilik asit birikimini tetiklemektedir. Literatürde AzA'nın özellikle abiyotik stres faktörler üzerindeki etkileri hakkında çok az şey bilinmektedir.

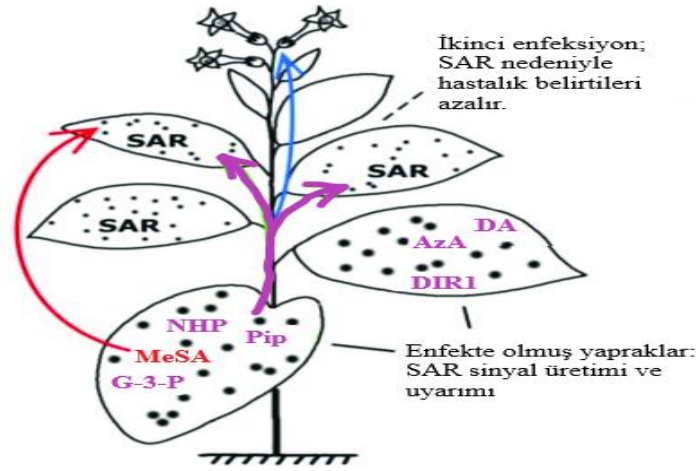
Bu çalışma, bitkilerde AzA'nın tuz ve kuraklık streslerine bağlı AOT'ların etkisiyle oluşan hasarlardan korumada antioksidan enzimler ve hücre duvarı bileşenleri ile ilgili savunma mekanizmasındaki rolünün belirlenmesine dikkat çekmeyi amaçlamaktadır. Çalışmamız soya kùltivarı (*Glycine max* L. Ataem7) yapraklarında; farklı konsantrasyonlarda uygulanan AzA (12, 24 ppm)'nın tuz (250 mM) ile kuraklık S PEG) stresi altında meydana getirdiği etkileri; fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde aydınlatmayı amaçlamıştır. Daha önceki yıllarda, tuz ve kuraklık stresinin oluşturduğu hasarların iyileştirilmesinde farklı uygulamalar yapılmış olmasına rağmen AzA etkisine değinilmemiştir. Bununla birlikte, soya bitkisinin stres koşulları altında AzA uygulamasına göstermiş olduğu tepkiyi ortaya koymanın literatürdeki ağığı gidermek ağıısından önemli olduğu düşünceindeyiz.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sistemik kazanılmış Direnç (SAR) Mekanizması ve Biyotik Stres

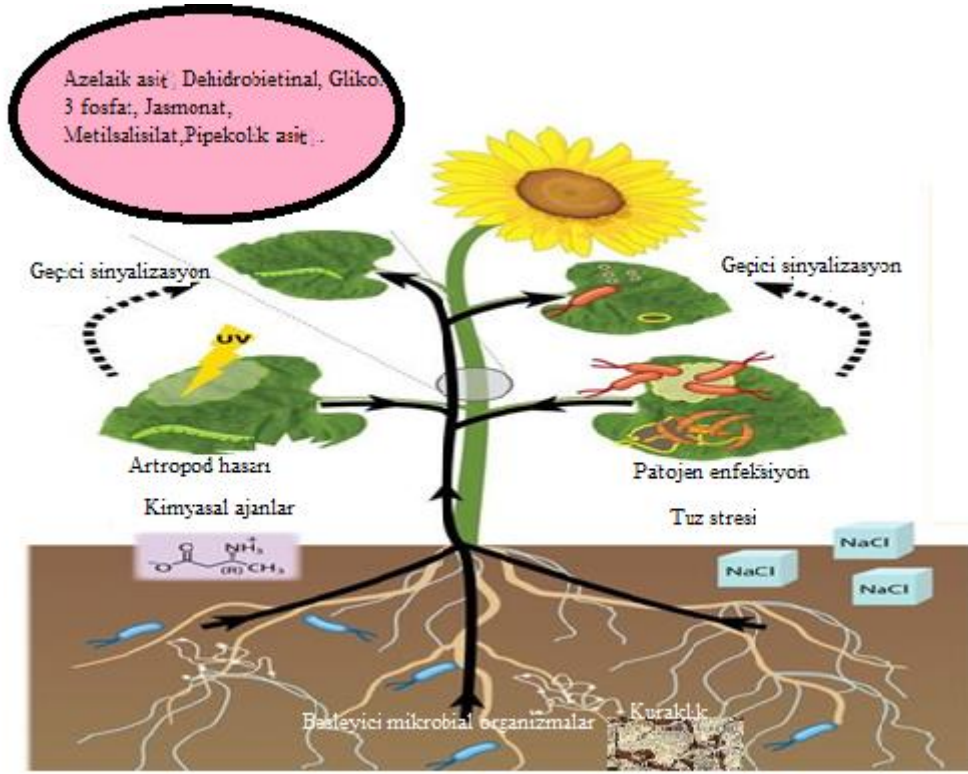
Bitkilerin genelinde bölgesel savunma sistemleri içerisinde geniş spektrumlu direnç sağlayan sistemik tepkiler uyarılmaktadır. Bunlar, faydalı bakteriler tarafından kök bölgesine yanıt olarak teşvik edilmiş sistemik direnci (ISR) ve patojen enfeksiyona yanıt olarak aktive olan sistemik kazanılmış direnç (SAR) mekanizmalarını içerir. Sistemik kazanılmış direnç, bölgesel olarak sınırlı olan birincil enfeksiyondan sonra bitki dokularında uzak mesafedeki bitki dokularını koruyabilmek amacıyla geliştirdikleri evrimsel olarak korunmuş olan savunma mekanizmasıdır (Ding vd., 2016). SAR mekanizması patojen enfeksiyona bağlı sağlam bitki dokularında sinyal oluşumunu sağlayarak savunma mekanizması oluşturur (Winter vd., 2014). Böylece sinyal oluşumu yapraklarda üretilen ve uzak dokularda uyarılma ile SAR mekanizmasında yer alan sinyal moleküllerinin floem aracılığıyla diğer dokulara taşınımı ile meydana gelmiş olur (Shah vd., 2014) (Şekil 2.1).

Patojen kaynaklı moleküllerin bölgesel savunma sistemleri üzerindeki savunma sinyal yollarını tanınması patojenle ilişkili moleküler model (PAMP), patojen ile uyarılan bağışıklık (PTI) veya efektörle uyarılan bağışıklık (ETI) ile sağlanır. PTI, bitkideki örüntü tanıma reseptörleri (PRR'ler), PAMP'ler olarak adlandırılan korunmuş mikrobiyal faktörleri tanıdığı anda uyarılır. Patojenden türetilen elisitörler, ana kaynak kodlu örüntü tanıma reseptörleri (PRR'ler) tarafından tanındıklarında, PTI veya bazal direncin aktivasyonu ile sonuçlanır (Bigeard vd., 2015). ETI, konakçı tarafından kodlanmış direnç (R) proteinleri tarafından tanınan, avirülans (avr) faktörleri olarak adlandırılan bir patojeni gösteren alt kümesine yanıt olarak uyarılır. ETI türe oldukça özgüdür ve PTI'dan çok daha güçlü ve daha dayanıklı bir dirençle sonuçlanır ve genel olarak patojenin yayılmasını önleyebilir (Yu vd., 2022).



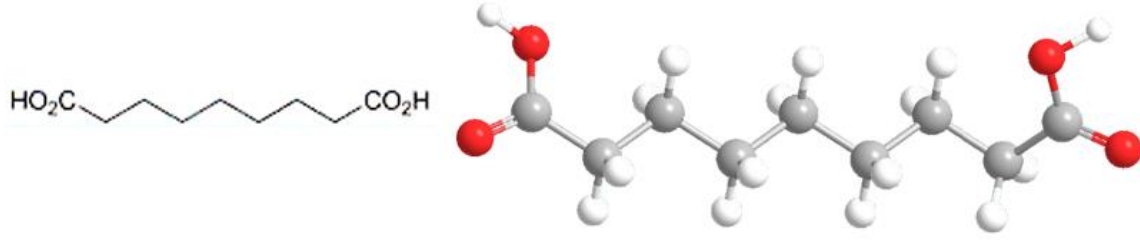
Şekil 2.1. Bitkilerde patojen enfeksiyona bağlı olarak SAR mekanizmasının uyarılması (Ádám vd., 2018)

SAR mekanizmasındaki birçok sinyal bileşenlerini PTI ve ETI paylaşarak ve her iki yol da bitki savunmasında da sinyal yollarının temel bileşenlerini fitohormonlar oluşturur. Bunlar arasında salisilik asit (SA), JA, etilen (ET), absisik asit (ABA) ve oksin (IAA) yer alır. Bu hormonlar biyotik ve abiyotik streslere karşı bitki savunmasında yer alan oksilipinler olarak adlandırılan, yağ asitlerinden oluşurlar. Bitki savunmasında ve hem yağ asitleri hem de karbonhidrat mekanizmasında çok önemli rolleri olan bu fitohormonlar (SA, JA ve ABA dahil olmak üzere) birbiriyle çapraz etkileşimler sonucunda oluşmaktadır. Ayrıca yağ asitlerinin SAR'da çok önemli rolleri bulunmaktadır. SAR sırasında, birincil bir patojen tarafından oluşan bölgesel enfeksiyon, bitkinin sistemik dokularında ikincil enfeksiyonlara karşı geniş spektrumlu direncin uyarılması SA hormonunun metillenmesi ile metilsalisilat (MeSA) oluşumu sağlanır (Chanda vd., 2011). SAR sinyal iletim bileşenleri metil salisilat (MeSA) (Manosalvo vd., 2010), lipid transfer proteini (LTP) (Carella vd., 2015), dehidroabietinal (DA) (Chaturvedi vd., 2012), azelaik asit (AzA) (Yu vd., 2013), gliserol-3-fosfat bağımlı faktör (G3P) (Chanda vd., 2011) ve lizin katabolit amino asit ve pipetik asittir (PiP) (Hartmann vd., 2018) (Şekil 2.2). Bunlara ilave olarak; nitrik oksit (NO), aktif oksijen türleri (AOT), ve N-hidroksipipekolik asit (NHP) dahil olmak üzere birkaç SAR uyarıcısı olarak belirlenmiştir (Shields vd., 2022). Son yıllarda SAR mekanizmasının uyarılmasında etkili olan temel bileşenleri aralarında doğrusal olmayan etkileşimler belirlenmiştir (Chanda vd., 2011). SAR ile ilişkili kimyasalların taşınabileceği iki farklı yol apoplastik veya simplastik bölmeler aracılığıyla sağlanmıştır. Bu bölmelerde SA ve G3P/AzA düzeylerinde artış olduğu tespit edilmiştir (Lim vd., 2016). SAR ile ilişkili diğer kimyasalların taşınma yolları açısından farklılıkları tam olarak ortaya konulamamıştır (Kim ve Lim., 2023).



Şekil 2.2. Biyotik (patojen enfeksiyon, artropod hasarı) ve abiyotik (tuzluluk ve kuraklık, kimyasal ajanlar) strese bağlı oluşan SAR mekanizmasında oluşan geçici sinyalizasyon (Mauch-Mani vd., 2017'den modifiye edilmiştir)

SAR'da SA'nın rolüne SA taşınması için bozulmamış kütiküllerin gerekli olup; diğer mobil sinyaller veya proteinler dahil olmak üzere SAR bileşenleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Lim vd., 2020). SAR mekanizmasının en önemli bileşenleri *AZI1* (azelaic acid induced 1) ve *DIR1* (defective in induced resistance 1) proteinleridir (Jung vd., 2009; Maldonado vd., 2002). Her iki protein de sekiz sistein bileşenleri ile ilişkili olup: *AZI1* ve *DIR1* farklı gen ailelerine sahiptirler. Bunlar HyPRP (prolin açısından zengin protein)'ler ve spesifik olmayan LTP (lipit transfer protein)'leridir (José-Estanyol vd., 2004). Azelaik asit (AzA), SAR mekanizmasında görev alan dokuz karbonlu bir dikarboksilik asittir. AzA biyosentezinin mekanizması tam olarak açıklanamamış olsa da yapılan çalışmalar patojen enfeksiyonu sırasında membran lipidlerinden serbest yağ asitlerinin salınımı uyardığını ve bu yağ asitlerinin AzA üretiminde kullanılabildiğini göstermiştir.

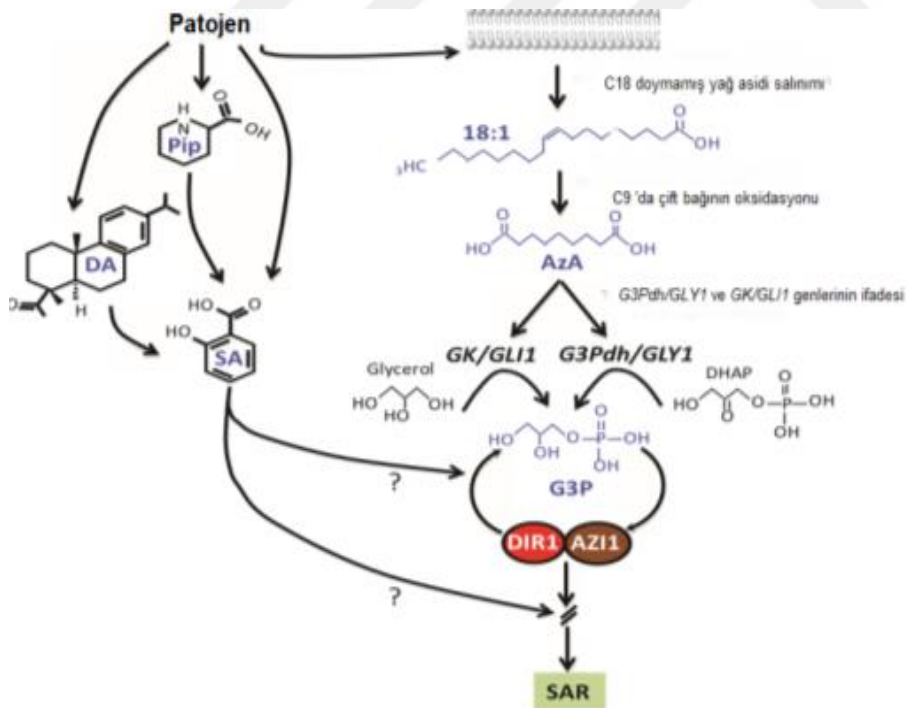


Şekil 2.3. Azelaik asitin biyokimyasal yapısı. <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/a/azelaic-acid.html>

Patojen enfeksiyonu altında biriken on sekiz karbonlu doymamış yağ asitleri olan; (18:1) oleik asit, (18:2) linoleik ve (18:3) linolenik asit gibi AzA öncüsü olarak görev aldığı belirlenmiştir (Şekil 2.3), (Yu vd., 2013). Bu 18 karbonlu yağ asiti her 9 karbondan oluşur. Patojen saldırısı altında olan bitkilerin petiyol salgısında 6 kat fazla biriktiği tespit edilmiştir (Jung vd., 2009). C18 doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu, farklı AOT'leri tarafından kolaylaştırılır. Böylece tamamı çift bağ içeren 18:1, 18:2 ve 18:3 yağ asitleri olan monokarboksilik asit 9-okzononanoik asit (ONA) AzA'nın öncüsü olarak hareket eder. Bu durum patojen enfeksiyon esnasında yabancı tip bitkilerde dışardan uygulanan 18:1 veya 18:2'nin yağ asitlerinin birikimine neden olduğu AzA biyosentezi ve SAR'ı tetiklemesi gerçeğiyle desteklenir (Yu vd., 2013). *AZI1* ve bunun homoloğu olan genleri AzA'nın farklı dokulara taşınımında önemli role sahip olan proteinlerdir (Cecchini vd., 2015). Her iki protein de sekiz sistein bileşenleri ile ilişkili olup: *AZI1* ve *DIR1* farklı gen ailelerine sahiptirler. Bunlar prolin açısından zengin proteinler (HyPRP'ler) ve spesifik olmayan lipid transfer protein (LTP)'leridir (José-Estanyol vd., 2004). AzA'nın bitkilerin köklerinde üretildiği bilinmektedir (Mukhtarova vd., 2011). Buna rağmen bitki köklerine uygulanan AzA'nın yapraklara taşınmadığı, fakat sistemik hastalık direncinin uyarılmasında sinyal görevi üstlendiği bildirilmiştir (Cecchini vd., 2019). Patojen enfeksiyona bağlı SA seviyelerinde artış meydana gelir. Böylece bitki yapraklarında 18 karbonlu doymamış yağ asiti salınımında 9 karbonlu AzA oluşumu için parçalanır.

2.1.1. AzA'nın Sinyal Rolü

AzA, bitkilerde SA aracılığı ile SAR mekanizmasını uyarıcı etki yapmaktadır. G3P birikimini teşvik ederek SAR'ı uyarıcı role sahiptir. *AZI1* geninin ifadesi dışarıdan AzA uygulanan yapraklarda artmıştır. *Azi1* mutanlığı ile yapılan çalışmalar, *AZI1* geninin AzA ve biyolojik olarak teşvik edilmiş SAR mekanizması için gerekli olduğunu ortaya çıkarmıştır (Yu vd., 2013). Sistemik direncin uyarılması sırasında bitkiler, uzak dokularda savunmayı teşvik etmek için bölgesel hareket edebilen sinyaller üretirler (Chanda vd., 2011; Návarová vd., 2012; Chaturvedi vd., 2012; Wittek vd., 2014; Chen vd., 2018). Bu sinyaller arasında, oksilipin, AzA gibi hidrofobik veya lipid ile ilgili moleküller bulunmaktadır (Chanda vd., 2011; Chaturvedi vd., 2012; Riedlmeier vd., 2017; Wittek vd., 2014). Patojen enfeksiyona bağlı SA seviyelerinde artış meydana gelir. Böylece bitki yapraklarında 18 karbonlu doymamış yağ asidi salınımında 9 karbonlu azelaik asit oluşumu için parçalanır (Şekil 2.4) AzA transkripsiyonuna gliserol-3-fosfat (G3P) dehidrogenazı kodlayan G3P biyosentetik genleri sitozolik DIR1 ve AZI1 proteinleri aracılığı ile SAR mekanizması oluşur (Gao vd., 2014).

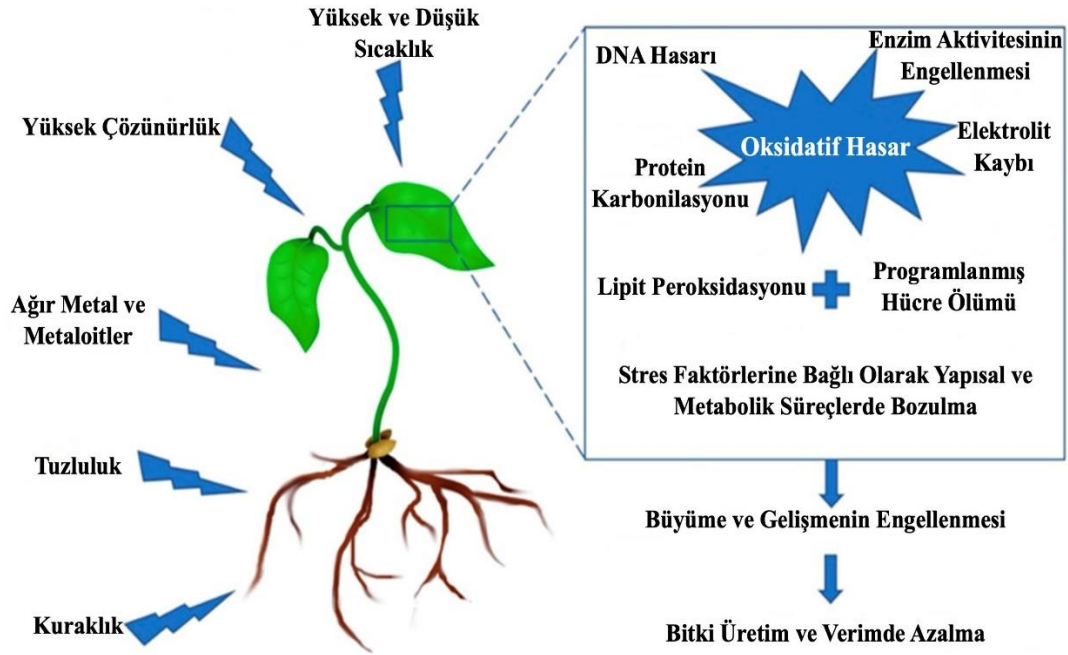


Şekil 2.4. Patojen enfeksiyona bağlı olarak AzA oluşumu ile G3P biyosentezi ve SA artışı aracılığı ile SAR mekanizmasının uyarılması (Gao vd., 2014)

Ayrıca azelaik asitin oluşumu ve hareketinden sorumlu, sinyal mekanizmasında etkili olan *AZI1* ve onun en yakın homoloğu *EARL1* geni membran stabilitesinin sağlanmasında da görevli olup; lipid değişimi yada hareketinin düzenlenmesi için gerekli olan yerlere lokalize olmuşlardır (Cecchini vd., 2019). Bu genler ortak çalışmaktadır. AzA'nın üretildiği yerden daha uzak dokulara hareketi için *AZI1* ve *EARL1* gereklidir. *AZI1* ve *EARL1* plazma membranı, endoplazmik retikulum ve kloroplast dış zarlarında lokalize olan zar proteinleri olduğundan; AzA ve SAR sinyallerinin üretimi kloroplastlarda meydana gelir (Zoeller vd., 2012), (Şekil 2.4). Buna bağlı olarak AzA'nın abiyotik stres faktörleri altındaki bitkilerde oluşturduğu sinyal iletimini ve hücre duvarı savunma mekanizmasını nasıl etkilediği tam olarak ortaya konulmamıştır. Bu konu ile ilgili çalışmalar daha çok AzA normal koşullar altındaki bitkilerde göstermiş olduğu etki mekanizması ile ilgilidir (Jung vd., 2009; Xu vd., 2011; Yu vd., 2013). Araştırmalar biyotik stres üzerine yoğunlaşmakla beraber (Wubben vd., 2008; Parker, 2009; Chaturvedi vd., 2012; Cecchini vd., 2019) abiyotik stres altında yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bununla birlikte, *AZI1* geninin aşırı ifadesi ile oluşturulan transgenik Arabidopsis bitkilerinin kuraklık stresine duyarlı hale geldiği tespit edilirken (Atkinson vd., 2013), buna zıt olarak *AZI1* tarafından ABA bağlı sinyal yolu ile üşüme ve tuz toleransının artırıldığı rapor edilmiştir (Xu vd., 2011; Pitzschke vd., 2014). Ayrıca yapılan çalışmalarda *AZI1*' in mutajenik aktivite protein kinaz 3 (MAPK3) ile etkileşime girerek fosforile olmasını sağladığı belirlenmiştir (Pitzschke vd., 2013). Bunlardan farklı olarak son yıllarda yapılan bir çalışmaya göre dışarıdan uygulanan azelaik asitin domates (*Lycopersicum esculentum* L.) bitkisinde tuz stresi altında klorofil miktarı, fenolik içeriği, stoma ve fotosentez etkinliğinin iyileştiği tespit edilmiştir (Haghighi ve Sheibanirad, 2018). Bu bilgiler ışığında bu çalışmanın bitki materyali olan soyada, azelaik asitin tuz ve kuraklık stresi altındaki etki mekanizmasının detaylı bir şekilde (AOT düzenlenmesi, antioksidan enzim sistemi ve hücre duvarı tepkisi) ortaya konması oldukça önemlidir.

2.2.Tuz ve Kuraklık Stresi

Çevresel stres faktörleri hem doğal hem de insan kaynaklı nedenlerin birleşimi ile bitkiler üzerinde büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkiler büyüme ve gelişimi olduğu kadar ürün kalitesini ve verimi de etkileyen birçok morfo-fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişikliklere maruz kalırlar. Farklı streslerin etkileri altında bitki davranışını gözlemlemek oldukça önemlidir. Küresel olarak gıda gereksiniminin karşılanmasına sınırlayıcı olan bu faktörlerin başında tuzluluk ve su kıtlığı gelmektedir (Şekil 2. 5).



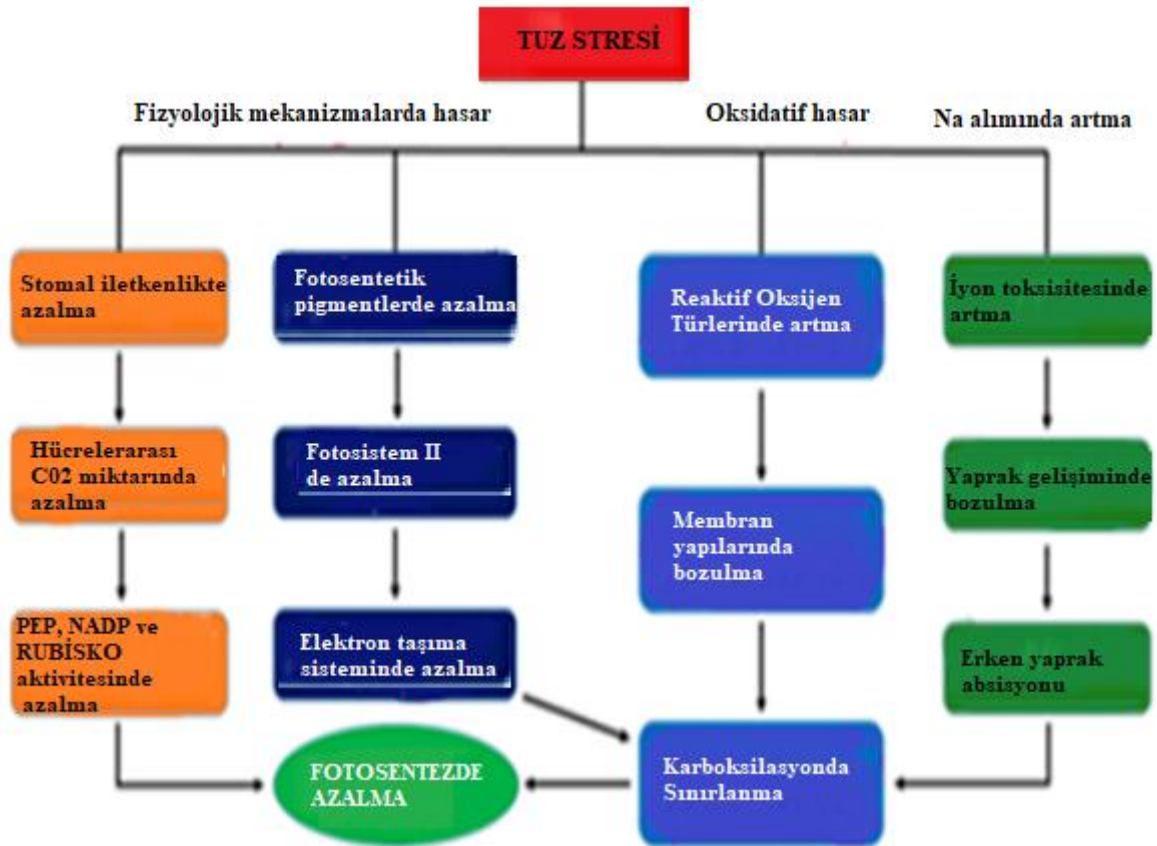
Şekil 2.5. Farklı stres faktörlerine bağlı olarak bitki büyüme ve gelişiminde meydana gelen değişimler (Labudda vd., 2022)

2.2.1. Tuzluluk

Bitkiler su ve suda erimiş besin maddelerini topraktan aldıkları için toprak tuzluluğu, bitki gelişimini etkileyen çevresel faktörler arasında en önemlileri arasında yer almaktadır. Dünyadaki toplam arazilerin %7'si, ekili tarım arazilerinin %20'si ve sulanan arazilerin yaklaşık yarısı toprak tuzluluğundan etkilenir (Kibria ve Hoque, 2019). Küresel iklim değişiklikleri, uygulanan gübrelerin toprakta birikmesi ve sulama suyu bu oranı arttırmaktadır (Rengasamy, 2010). Tuz (klorit, sülfat, sodyum vb.) iyonlarının fazla miktarda toprakta bulunması sonucu iyon dengesizlikleri oluşmaktadır (Mudgal vd., 2010). Toprakta bazı katyonların (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2}) ve anyonlar (Cl^- , NO_3 , SO_4^{-2} , CO_3^{-2} ve HCO_3^-)'ın yüksek konsantrasyonlarda birikmesiyle ortaya çıkmaktadır (Corwin, 2021). Bu oluşumda mineral elementlerin ayrışması sonucu, yağmur ve sulama suyu yoluyla ya da gübre, pestisit gibi uygulamalar ile ayrıca endüstriyel atıkların boşaltılmasına bağlı meydana gelir (Hasanuzzaman vd., 2013; Corwin, 2021).

Tuz stresi, bitki büyümesini ve gelişimini engelleyerek gelecekte besin üretimi ve devamlılığın sınırlanmasına sebep olan çevresel stres faktörlerinden biridir. Bu durum iyon alımını ve hücre zarının bütünlüğünü bozarak su ve iyon dengesinin neden olarak tuz stresine yol açar. Bunun sonucunda fizyolojik düzeyde ozmotik ve iyon stresini meydana getirir.

Na^+ ve Cl^- iyonları primer (iyonik, osmotik stres) ve sekonder (oksidatif stres) strese neden olup (Liang vd., 2018) fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal süreçleri olumsuz yönde etkilemektedirler (Acosta-Motos vd., 2017; Hussain vd., 2017; Yang ve Guo, 2018). Tuzlu bir ortamda, bitkilerin ozmotik stres nedeniyle su alamamaları, dehidrasyon stresine, stoma iletkenliği ve fotosentetik enzimlerin işleyişinin bozulmasına sebep olmaktadır (Şekil 2.6). Bu farklı tepkiler tuzluluktan etkilenen bitkilerde iyon toksisitesine ve besin dengesizliğine yol açmaktadır (Hasanuzzaman vd., 2018). Bitkiler tuz stresine bağlı fizyolojik olarak stomaları kapatır ve yaprak genişleme oranını azaltır (Zahra vd., 2018; Javid 2019). Tuz stresi, bitkilerde aktif oksijen türleri (H_2O_2 , $\text{O}_2^{\bullet-}$, 1O_2 , $\text{OH}^{\bullet}$)’nin artmasına yol açarak olumsuz etkilere neden olmaktadır (Zhao vd., 2020).



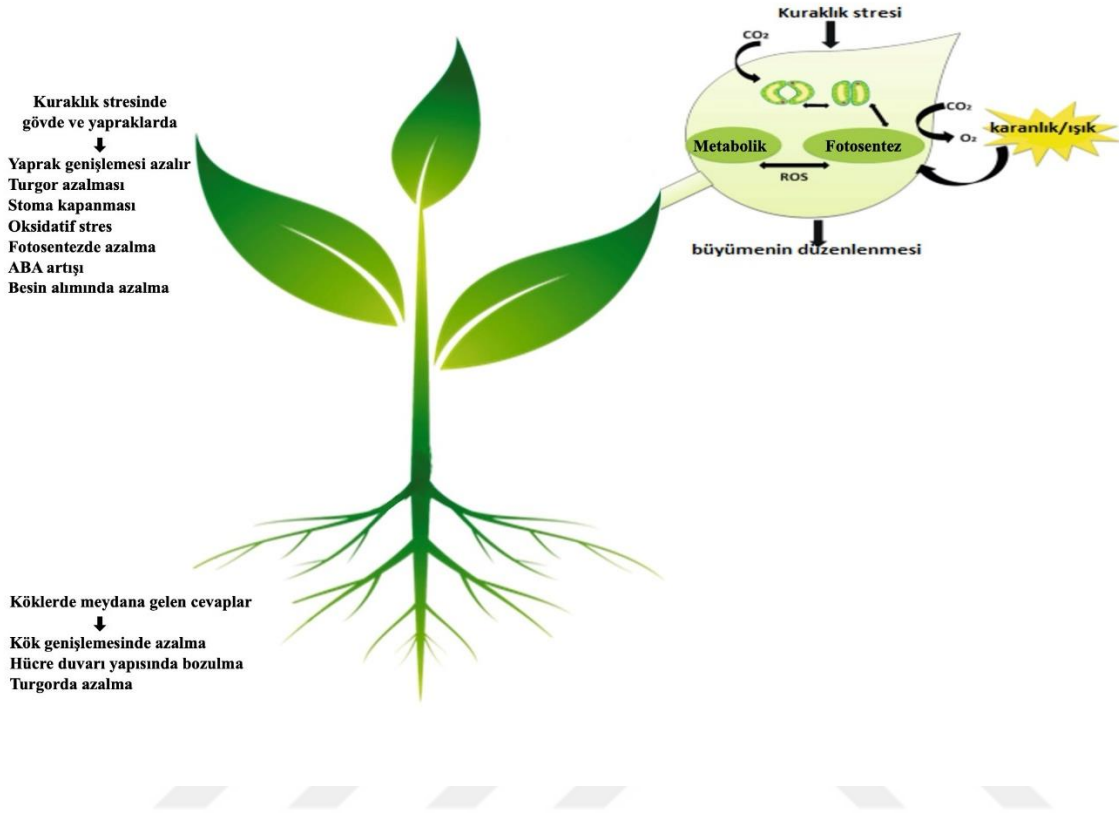
Şekil 2.6. Toprak tuzluluğu ve tuz stresine bağlı olarak bitki bünyesinde meydana gelen hasarlar (Kamran vd., 2019'den Türkçeye çeviri)

Aktif oksijen türlerinin (AOT) aşırı üretilmesi kalsiyum ve potasyum gibi temel besin maddelerinin alımını azaltmakta ve böylece büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkilemektedir (Salim ve Raza, 2020).

Bu fizyolojik değişikliklerin dışında; hücre membranında, lipid peroksidasyonuna, DNA hasarına ve protein denatürasyonu gibi birçok hücresel yapılara ve hücre zarları ile birlikte diğer hücresel bileşenlere ciddi şekilde zarar oluşturmaktadır. Bu durum tuzdan kaynaklı meydana gelen oksidatif stresin bitkilerde olumsuz etkilerin sonucudur (Hasanuzzaman vd., 2013). Bitki tuzluluk toleransına göre fizyolojik (Raza 2020; Ami vd., 2020) ve biyokimyasal mekanizmalarını tuzluluğun neden olduğu olumsuz etkileri en aza indirmek için kullanır. Bunu şu şekilde sağlar; iyon alımını ve taşınımını, antioksidan bileşiklerin, ozmo-koruyucuların ve uyumlu çözünen bileşiklerin biyosentezinin yeniden düzenleyerek sağlamaktadırlar (Abobatta, 2020).

2.2.2. Kuraklık

Tarım alanlarına etki eden çevresel stres etmenleri göz önünde bulundurulduğunda, tuzluluktan sonra kuraklık stresi de %40 su kaybına bağlı olarak %20.6 oranında ürün verimini azaltmaktadır (Daryanto vd., 2016). Kuraklık abiyotik stres faktörleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Kuraklık toprakta bulunan suyun azalmasıyla birlikte bitkilerin gelişiminde meydana gelen azalmaya neden olan atmosferik bir olgudur (Akhoundnejad ve Dasgan, 2020). Çeşitli sebeplerle toprak suyunun bitki için yetersiz olması sonucu bitkiler su ve suda erimiş maddeleri alamadığından; bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenecek ürün kayıpları oluşmaktadır (Gogoi ve Tripathi, 2019; Kim vd., 2019). Suyun tarımsal faaliyetler açısından önemi oldukça büyüktür; fakat suyun kaynak açısından sınırlı olduğu bilinmelidir (Wang vd., 2012). Kuraklık stresi bitki yapraklarında makro ve mikro besin element içeriğinde büyük ölçüde azalmaya neden olur (Sanchez-Rodriguez vd., 2010; Filek vd., 2012; Akhoundnejad ve Daşgan, 2019; Zhang vd., 2020). Kuraklık ayrıca bitkilerde su kullanım etkinliğini, enzim fonksiyonunu, besin alımını ve çözünür şeker içeriğini olumsuz yönde etkilemektedir (Chen vd., 2022). Buna bağlı olarak yaprak genişlemesi ve turgorda azalma meydana gelir. Ayrıca stomalarda kapanma ve fotosentez oranında düşme oksidatif hasarın meydana geldiğini gösterir. Su stresine bağlı ABA hormon miktarında artış gözlenir (Iqbal vd., 2020) (Şekil 2.7).

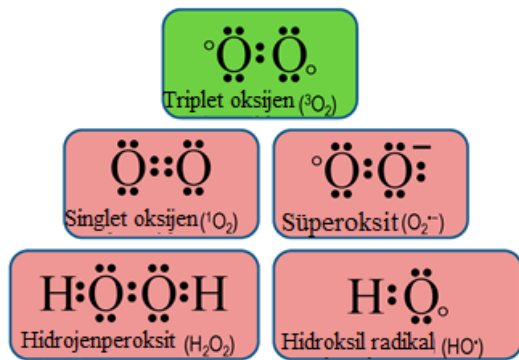


Şekil 2.7. Kuraklık stresine bağlı olarak bitki bünyesinde meydana gelen hasarlar (Türkçeye çeviri) (Iqbal vd., 2020)

Bitkiler kuraklık stresıyla karşı karşıya kaldıklarında verdikleri ilk tepki stomaların kapanmasıdır. Bununla birlikte, stoma kapanması sadece terleme yoluyla su kaybını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda CO₂ ve besin alımının azalmasına da neden olur (Xiong ve Zhu, 2002). Kuraklık, stomaların kapanmasına, azalan CO₂ girişine ve bozulmuş fotosentetik hızın yanı sıra büyüme ve gelişmede dengesizliğe ve kloroplastlarda fotokimyasal reaksiyonlarda değişim ile AOT'un aşırı üretilmesine sebep olmaktadır (Hasanuzzaman vd., 2019, 2020). Ayrıca, fotorespirasyondan kaynaklanan protein ve membran hasarı, TCA döngü enzimlerinin aktivitesinde bozulmalar ve kuraklık sırasında azalan karboksilasyonu AOT aşırı üretimi ile bağlantılıdır (Hasanuzzaman vd., 2014). Ayrıca NADP⁺ yenilenmesinde azalma, ETS (elektron taşıma sistemi)'de bozulma, kuraklık stresinde BEİ (Bağıl Elektriksel İletkenlik)'de artma meydana gelir. Böylece AOT metabolizmasında artma ve oksidatif strese bağlı hasarla sonuçlanır (Fahad vd., 2017; Hasanuzzaman vd., 2018).

2.3.Aktif Oksijen Türlerinin (AOT) Oluşumu

Aktif oksijen türleri oluşumu; atmosferik O_2 , temel durumda (üçlü oksijen, 3O_2) bulunan ve reaktivitesini azaltan, aynı spin sayılarına sahip iki eşleşmemiş paralel spin elektronuna sahip serbest bir moleküldür. Bununla birlikte, bazı biyokimyasal reaksiyonlardan, elektron taşıma zincirlerinden (ETS), ultraviyole-B'den ve iyonlaştırıcı ışıklardan gelen ek enerji, 3O_2 'nin dönüşümünde kısıtlamadan kurtulmasına ve böylece AOT haline gelmesine yardımcı olur.



Şekil 2.8. AOT(Aktif Oksijen Türleri) oluşumu (Hasanuzzaman vd., 2019)

Çok yönlü sinyaller olarak işlev gören aktif oksijen türleri (AOT); radikal olanlar süperoksit anyon, O_2^- ; hidroperoksil radikal, $HO_2^\bullet$; alkokoksil radikal, $RO^\bullet$; ve hidroksil radikal, $^\bullet OH$ ve radikal olmayan hidrojen peroksit (H_2O_2), singlet oksijen (1O_2) radikali ve ozon (O_3)'dir (Mehla vd., 2017; Hasanuzzaman vd., 2019), (Şekil 2.8). Bununla birlikte, hipokloröz asit ($HOCl$), hidroperoksitler ($ROOH$) ve uyarılmış karboniller (RO^*) gibi diğer bazı radikal olmayan AOT' de bitkilerde bulunur (Kapoor vd., 2015). Ayrıca aktif oksijen ara maddeleri (ROI), O_2 'nin tamamlanmamış indirgenmesiyle oluşan reaktif oksijen molekülleri olarak da sınıflandırılır. Bu nedenle AOT, O_3 ve 1O_2 'nin yanı sıra tüm ROI türlerini içerir (Şekil 2.9). Diğer yandan hipobromöz asit ($HOBr$), hipoyodöz asit (HOI) ve $HOCl$ gibi bazı asitler ve karbonat radikali ($CO_3^\bullet$) ve semikinon ($SQ^\bullet$) gibi radikaller de AOT'e dahil edilir (Farnese vd., 2016; Waszczak vd., 2018). Bunlar patojen enfeksiyonu, yüksek tuzluluk, kuraklık ve sıcaklık stresleri (Miller, 2010) altında bitki apoplastında üretilir.



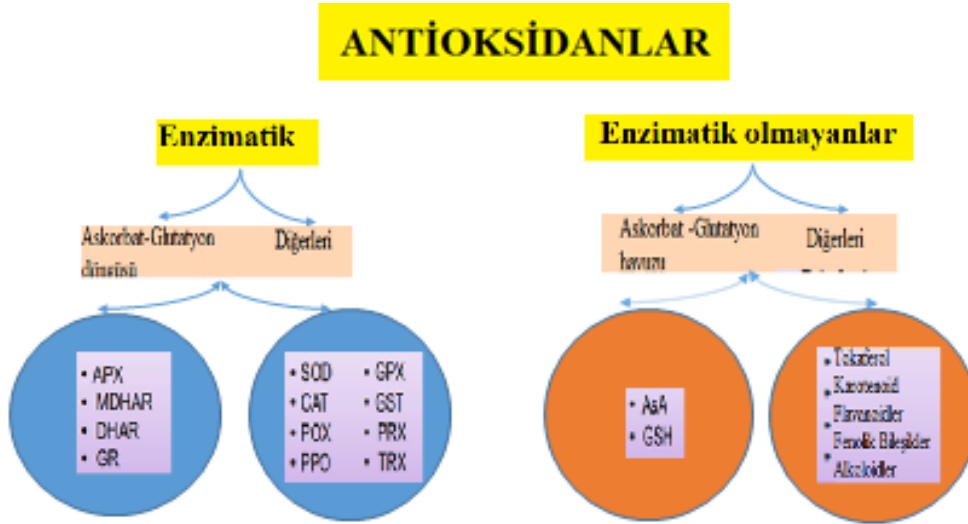
Şekil 2.9. AOT çeşitleri; radikal olanlar ve radikal olmayanlar

AOT'lar üretiminin ana bölgeleri kloroplastlar, peroksizomlar ve mitokondriyal solunum elektron taşıma sistemi olup; kloroplast, mitokondri, peroksizomlar, plazma zarı, apoplast, hücre duvarı ve endoplazmik retikulumu kapsayan hücresel bölümlerin birçoğunda sentezi yapılır (Hossain vd., 2016). Bitkide abiyotik stresler altında AOT üretimi üzerinde direkt ya da dolaylı olarak; stoma kapanması, su kaybı ve buna bağlı olarak CO₂ akışını ve fotosentez hızının bozulmasına neden olur. Ayrıca Kelvin döngüsü reaksiyonlarının hızını ve NADP⁺ oluşumunu azaltarak fotosentetik elektron taşıma sistemindeki elektron yüklerinin artışına sebep olur. Tilakoid membrandaki fotosistem I ve fotosistem II, AOT üretiminin ana bölgeleri olup; burada fazla olarak oluşan elektronlar Mehler reaksiyonu ile O₂ dönüşümü sağlanmış olur (Cruz de Carvalho 2008; Johnson ve Puthur, 2019).

2.4. Antioksidan Savunma Mekanizması

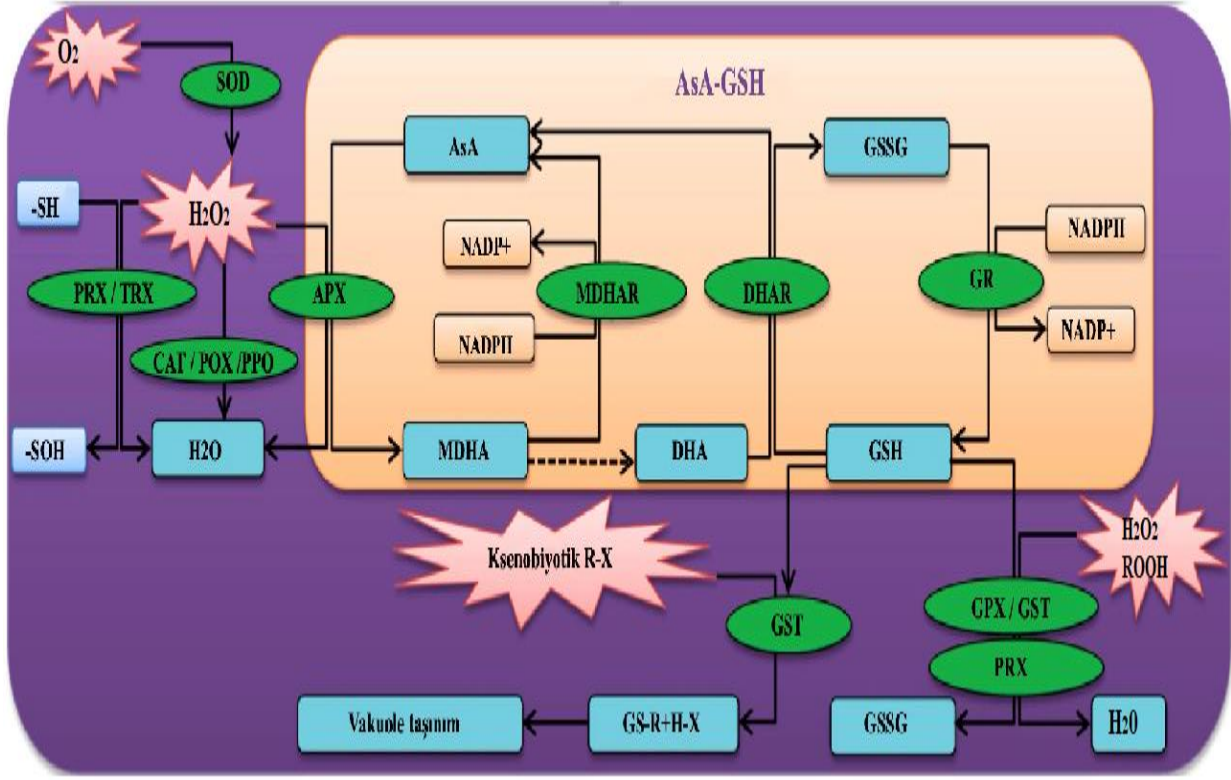
Bitkiler her türlü stres faktörleri altında birtakım savunma mekanizmaları oluşturmaktadırlar. Bunlar fizyolojik olarak meydana gelen yapısal değişiklikler dışında AOT'lar tarafından sinyal oluşumu aracılığı ile enzim aktivitelerinin uyarılması sonucu savunma cevapları meydana gelmektedir. Tuz ve kuraklık stresine maruz kalan bitki hücrelerinde aktif oksijen türlerinin (AOT) üretiminde artış meydana gelmekte ve artan AOT konsantrasyonu hücresel yapılarda ve aktivitelere ciddi hasarların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Bu amaçla bitkiler AOT birikimini ve neden oldukları hasarları en aza indirmek için antioksidan savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Antioksidan savunma mekanizması; enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizması olmak üzere iki grup altında incelenmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Antioksidanlar; enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar

Farklı işlevlere sahip antioksidan enzimlerin stres toleransının sağlanması için oldukça önemli olup; AOT'ların süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT), glutatyon S tranferaz (GST), peroksidaz (POX), glutatyon peroksidaz (GPX) ve peroksitoksin (PRX) ve ayrıca askorbik asit ve glutatyon (GSH) detoksifikasyonu sağlanır (Choudhury vd., 2017; Mittler vd., 2004). Enzimatik olmayan askorbat- glutatyon döngüsünde yer alan askorbik asit (AsA), 1O_2 , $O_2^{\bullet-}$ ve OH^- 'yi doğrudan temizleyebilmektedir. Diğerleri ise glutatyon olup redoks dengesini korumaktadır (Hao vd., 2021).



Şekil 2.11. Tuz ve Kuraklık stresi altında Antioksidan savunma mekanizmasında; Askorbat-Glutatyon döngüsü (Hasanuzzaman vd., 2019).

2.4.1. Enzimatik antioksidan savunma mekanizması

Enzimatik antioksidan savunma mekanizması hücre içerisinde artan AOT'ların uzaklaştırılmasında önemli rol oynamaktadır. Süperoksit dismutaz (SOD), tüm aerobik organizmalarda oksidatif strese karşı toleransın sağlanmasında önemli rol oynayan enzimlerdendir (Ahmad vd., 2019). Hücre içerisinde $O_2^{\bullet-}$ radikalinin meydana gelebileceği tüm yapılarda (mitokondriler, kloroplastlar, peroksisomlar ve sitozol gibi) bulunmaktadır. SOD'un temel görevi hücrede biriken $O_2^{\bullet-}$ radikalinin O_2 ve H_2O_2 'e parçalanmasını katalizleyerek $O_2^{\bullet-}$ radikalinin hücreden uzaklaştırılmasını sağlayarak (Demidchik, 2015; Muchate vd., 2016); $O_2^{\bullet-}$ radikalinin yıkıcı etkisinin azaltılmasında rol oynar (Şekil 2.11).

Peroksidaz (POX)'da içsel bir birinci basamak antioksidan enzim olan SOD'a benzer şekilde AOT'ın temizlenmesinde çok önemli bir role oynar. POX tarafından temizlenen daha az tehlikeli AOT olan H_2O_2 üretimini sağlar. POX, çok çeşitli bitki fenolik bileşenlerini oksitleyen H_2O_2 'yi temizleyen vakuol, hücre duvarı ve sitozolde lokalize olan temel antioksidan

enzimlerden biridir (Asada, 1992, 2006; Ferreres vd., 2011). H_2O_2 temizlenmesinde etkili olan çok geniş aralığı ve çok sayıda POX izoformu olup; farklı stres türlerine yanıt vermede, bitki plastisitesini korumada POX'u önemli bir yere sahiptir (Jovanović vd., 2018).

Peroksidaz substratları olarak H_2O_2 'nin uzaklaştırılmasını sağlamasının yanı sıra, fenolik bileşenler ile ayrıca doğrudan etkileşimlerde bulunarak AOT'ın temizlenmesinde oldukça etkindir (Rice-Evans vd., 1997). Katalaz (CAT/ KAT), H_2O_2 'nin su ve oksijene parçalanmasını katalizleyen tetramer yapısına sahip bir enzimdir. Stres altındaki bitkilerde AOT'ların uzaklaştırılmasında önemli rol oynamaktadır (Doğru, 2019). Ayrıca KAT'ın kloroplastlarda bulunmaması en önemli özellikleri arasındadır (Yılmaz vd., 2011).

Kloroplastlarda oluşan H_2O_2 'nin detoksifikasyonunda askorbat-glutasyon döngüsünün bir enzimi olan askorbat peroksidaz (APX) enziminin aktivitesi oldukça önemlidir (Parida ve Das, 2005). Ayrıca glutasyon peroksidaz (GPX) enzimi de fenolik bileşikler yada askorbatı kullanarak H_2O_2 'nin detoksifikasyonunun sağlanmasında önemlidir (Yılmaz vd., 2011). KAT ve diğer peroksidazların (GPX) aksine APX'in H_2O_2 'ye olan duyarlılığı oldukça yüksektir (Doğru, 2019). Bu yüzden H_2O_2 detoksifikasyonunda APX aktivitesinin rolü çok önemlidir.

APX'in yanı sıra, ASC-GSH döngüsünün diğer bileşenleri olan monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), glutasyon-s-transferaz (GST) ve glutasyon redüktaz (GR), farklı hücre bölmelerinde sinerjik etki göstererek çalışır. MDHAR, DHAR, GST ve GR enzimleri stresi altında uyarılarak gen ifadeleri ve enzim aktiviteleri artmaktadır (Laxa vd., 2019). ASC-GSH metabolizmasının uyarılması ve bu döngü içerisinde yer alan enzimler AOT'lar içerisinde en önemlilerinden olan H_2O_2 'nin H_2O ve O_2 'ye parçalanmasını sağlayarak savunma sisteminin sağlanmasında oldukça etkindirler (Lou vd., 2018).

Glutasyon redüktaz (GR) enzimi, Halliwell-Asada yolunun son adımını katalizleyerek, kloroplastlardaki CO_2 tutucu enzimlerin aktive olmasını ve askorbat üretimi için gerekliliği oldukça önemlidir (de Azevedo-Neto vd., 2006). Bununla birlikte indirgenmiş glutasyon (GSH) ve yükseltgenmiş glutasyonu (GSSG) oluşturan askorbat havuzunun oluşumundan sorumludur. NADPH'a bağlı GSSG indirgenmesi sitoplazma, kloroplast ve mitokondrilerde bulunan GR enziminin katalizlenmesi sağlanmaktadır. Abiyotik stres faktörlerine karşı toleransın sağlanmasında GR aktivitesinde ve GSH miktarında meydana gelen değişimlerin önemi büyüktür. Abiyotik strese bağlı bazı bitkilerde GR enzim aktivitesinin arttığı yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir (Abdelaal vd., 2020; Khan vd., 2020).

2.4.2. Enzimatik Olmayan Antioksidan Savunma Mekanizması

Enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizmasında yer alan bileşikler AOT'ların hücreden uzaklaştırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bileşiklerden biri olan askorbik asit (AsA), bitkilerin büyümesi, farklılaşması gibi birçok metabolizmanın düzenlenmesinde, hücrel metabolizmaya ve yapılara zarar verebilecek AOT'ların uzaklaştırmada oldukça önemli rol oynamaktadır (Kireççi, 2018). Askorbat-glutasyon döngüsünde APX, iki AsA molekülünü kullanarak H_2O_2 molekülünü suya indirmek için kullanmaktadır. AsA, 1O_2 , $O_2^{\bullet-}$ ve OH^- 'yi doğrudan temizleyebilmekte ve α -tokaferol radikalinden yeniden ∞ -tokaferol sentezleyebilmektedir (Ahmad vd., 2010). Ayrıca, hücre redoks durumunu düzenlemede AsA önemli bir sinyal molekülü olarak işlev görmektedir. Fotosentetik sistem ve mitokondriyal elektron taşıma sistemi içinde de önemli rol oynamaktadır (Hao vd., 2021). Tuz stresi altındaki bitkilere uygulanan dışsal AsA'nın tuz stresinin olumsuz etkisini düzeltmede yardımcı olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Munir vd., 2021; Hassan vd., 2021).

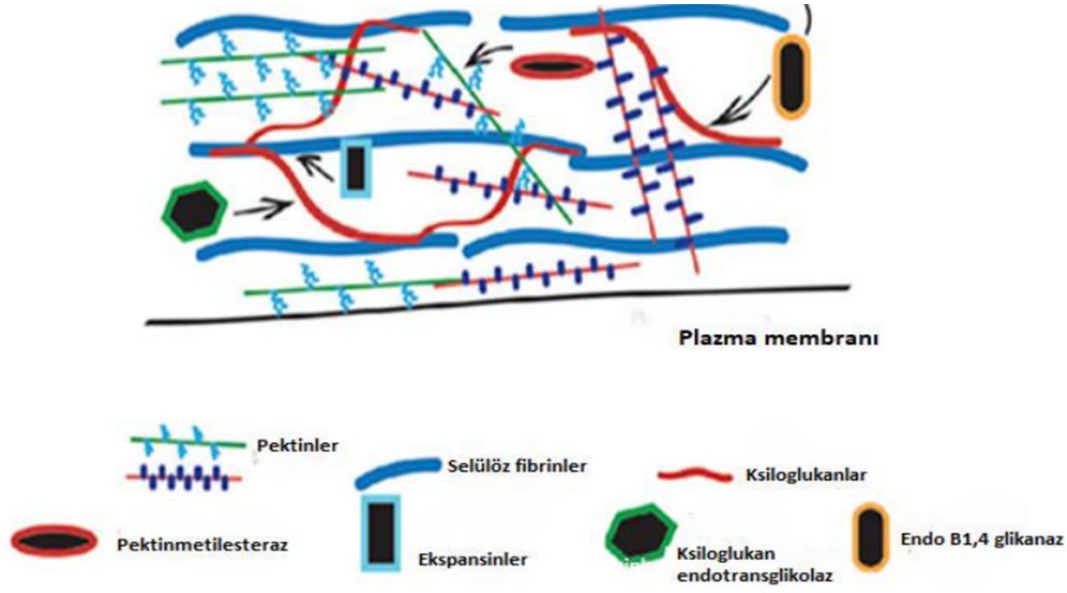
Glutasyon, hücre içinde biriken AOT'un temizlenmesini sağlayarak bitki savunmasında önemli bir antioksidandır. Aynı zamanda, askorbat-glutasyon döngüsünün bir bileşeni olarak redoks dengesini korumaktadır (Hao vd., 2021). Glutasyonun sitozol, kloroplastlar, mitokondriler gibi hemen hemen hücrenin tüm yapılarında bulunduğu ve GSSG'den GSH'a geri dönüşümü, GR enzimi tarafından katalize edilerek indirgeyici olarak NADPH kullanıldığı bilinmektedir (Ahmad vd., 2010). Diğer yandan glutasyon AsA'nın yeniden üretilmesini sağlayarak oksidatif strese karşı bitki savunmasının en önemli yapılarıdır (Gill ve Tuteja, 2010).

Bitkilerde stres faktörleri altında artış gösteren bir diğer antioksidan ise tokoferoldür. Lipofilik antioksidan olan dört tokaferol grubu (α , β , γ ve δ) bulunmaktadır. Özellikle α -tokaferol kloroplast membranlarında bulunup; oksidatif hasara karşı bitkiyi korunmaktadır (Mushtaq vd., 2020; Hao vd., 2021). α -tokaferol, lipid peroksitleri hidroperoksitlere indirgeyerek lipid peroksidasyon oluşumunu sınırlandırmaktadır (Hasanuzzaman vd., 2013). Tokaferoller gibi karotenoidlerde oksidatif strese karşı korumada, fotosentez sırasında biriken AOT'nin ve lipid peroksitlerin temizlenmesinde bitki metabolizmasında önemli rolleri bulunmaktadır (Gill ve Tuteja, 2010).

Ayrıca fenolik bileşikler; flavonoidler, tanenler, hidroksisinnamat esterler gibi fenolikler, bitki dokularında bol miktarda bulunan fenolik bileşiklerdir. Polifenoller AOT'I temizlenme aktivitesi için çok iyi yapısal kimyaya sahiptirler. Tokoferol ve askorbattan etkinliği daha fazladır. Polifenolik oldukça yaygın olarak bulunan fenoliklerdendir (Schroeter vd., 2002). Polifenollerin antioksidatif özellikleri, hidrojen veya eşleşmemiş elektronu (zincir kırma fonksiyonu) ve geçiş metali iyonlarını şelatlama (Fenton reaksiyonunun sonlandırılması) yeteneklerine sahiptirler (Rice-Evans vd., 1997). Antioksidanlar olarak işlev gören fenolik bileşikler, serbest radikal zincirlerinin sonlandırıcıları ve lipid metabolizmasında akışkanlığı etkileyerek; peroksidasyonu katalize edebilen redoks-aktif metal iyonlarının bağlayıcılarıdır (Schroeter vd., 2002).

2.5.Bitki Hücre Duvarı Yapısı ve bileşenleri, Tuz ve Kuraklık Stresi Esnasında Hücre Duvarı

Bitki hücre duvarı yaşamsal faaliyetleri açısından oldukça önemli olup; hücre genişlemesinin mekanik kontrolü yoluyla doku ve organ morfolojisini yöneterek, hücre boyutunu ve şeklini belirler (Gall vd., 2015). Hücre bölünmesi sırasında başlatılan, hücre uzaması sırasında selüloz, hemiselüloz ve pektin birikimi ile oluşur (Şekil 2.13.). Bu hem yapısal hem de işlevsel olarak önemli protein yapıda olup birincil hücre duvarına büyüme özelliği kazandırmaktadır (Tenhaken, 2015). Koruyucu bir bariyer olarak ve selüloz mikrofibrillerden oluşan karmaşık bir yapıdır. Selülozik olmayan nötral polisakkaritler fizyolojik olarak aktif bir pektin matriksinde gömülü, yapısal proteinlerle çapraz bağlanarak ligninle birleşerek oluşurlar (Albert vd., 2002). Protein ve polisakkarit biyopolimerlerinden oluşan lignin aracılığı ile doku ve organlara bağlanır. Bu sayede yapısal proteinlerle çapraz bağlanan sert bir matris duvar yapısı meydana gelmiş olur.



Şekil 2.12. Hücre duvarı yapısı ve bileşenleri (Cetinkaya ve Seçkin Dinler, 2020; Sasidharan vd., 2011'den modifiye edilmiştir)

Selüloz ve hemiselülozların birincil duvarların içindeki aşırı birikimi ikincil duvarların karakteristik kalınlıklarını oluşturur (Liepman vd., 2010). Bu oluşum sırasında, lignin öncülleri olan monolignoller hücre duvarı boşluğuna salgılanır ve oksidatif polimerizasyon yoluyla rastgele çapraz bağlanır (Vanholme vd., 2010). Çapraz bağlama, laktazlar ve hücre duvarı peroksidazları (PRX) tarafından oluşturulan AOT'nin varlığına bağlıdır. Bu işlem hücre duvarlarının kararlılığını ve sertliğini artırır ve bitkinin çevresel etkenlere tepkisinin önemli bir bileşenidir (Vanholme vd., 2010; Hamann, 2012).

2.5.1. Hücre duvarının yapısını oluşturan Proteinler

Bitki hücre duvarı yapısında hemiselüloz (ksiloglukan)-selüloz ağı, ksiloglukan endotransglukosilaz /hidrolazlar (XTH'ler) adı verilen başka bir protein grubunun oluşmasında etkin olan yapıyı oluşturur.

2.5.1.1. Ksiloglukanlar

Hücre duvarına lokalize Ksiloglukan (XTH)'lar hücre duvarı bağlantılarını bölebilir ve/veya yeniden bağlayabilir, bu da ksiloglukanların indirgeyici ucunun başka bir ksiloglukanın indirgeyici olmayan ucuna bağlanmasına yol açar, böylece kimerik oligomer veya polimer ksiloglukan molekülleri üretilir (Park ve Cosgrove, 2015).

Bitki hücre duvarındaki yapı ksiloglukan-selüloz bağlantısı hücresel genişlemesi esnasında temel gerilim alanını oluşmasını sağlar. XTH'ler gibi enzimler hücre duvarının uzayabilme yeteneği üzerine etki sağlayarak ksiloglukan bağlantısının ayrılmasında bir artışı oluşturur (Yu vd., 2022). Genişletici özellikteki yapılar gibi, XTH'ler de gen yapısı ve düzenlenmesine dayalı büyük gen aileleri olarak belirlenir (Rose vd., 2002). XTH gen aile yapılarına ait hidroliz veya transglukosilasyon olmak üzere iki enzimatik aktiviteyi sağlarlar. Kristalin selülöz mikrofibrin (CMF)'ler arasında yük taşıyan ksiloglukan zincirlerinin kesilmesi hücresel genişlemeyi olumlu bir şekilde düzenleyici özelliktedirler (Shin vd., 2006). XTH'ların uzama bölgesinde büyümeye etkisi ilgili genin ifadesi ve enzim aktivitesi ile pozitif korelasyonlu olarak belirlenmiştir (Shin vd., 2006). XTH'ler, hücrenin yeniden şekillenmesini ayrıntılı bir şekilde belirler ve hücre duvar genişleme sürecini ksiloglukan zincirlerinin bitişi ve yeniden bir araya getirmesi yoluyla oluşturur (Aguilar Velasquez vd., 2021). XTH homologları çeşitli streslere farklı tepki verir; bazı homologlar gen ifadeleri artarken bazıları azalırken bazıları değişmemiştir. Bu nedenle, her XTH'nin (hem pozitif hem de negatif) düzenleyicisinin olduğu belirlenmiştir (Dabravolski ve Isayenkov, 2023).

Şekil 2.13. Tuz ve kuraklık stres toleranslarının olası mekanizmasını gösteren şematik model. PLC/PLD fosfolipaz-C/-D; PA fosfatidik asit; AOT reaktif oksijen türleri; SOS tuzu kaplamasına duyarlı; CAM (kalmodulin), CML (Kalmodulin Benzeri); CBL (Kalsinörin B benzeri); SOD (süperoksit dismutaz); POD (peroksidaz); GST (glutasyon-S-transferaz); LEA (geç embriyogenezi bol miktarda bulunur); PRO (prolin); EXP (ekspensinler); XTH (ksiloglukan endoTransglukosilaz/hidrolaz); DHN (dehidrin); NCED (9-Cis-epoksikarotenoid dioksijenaz); ZEP (zeaksantin epoksidaz); SDR (kısa zincirli alkol dehidrojenaz/redüktaz); BCH (β-karoten hidrosilaz); AAO (absisik aldehit oksidaz); PP2C (tip 2C protein fosfatazlar) (Mohanrao Mahajan, 2020)

2.5.1.2. Ekspansinler

Ekspansinler ilk olarak asit kaynaklı çalışmalarda salatalık hipokotillerinde hücre duvarı uzamasında araştırılmış ve daha sonra salatalık fidelerinde hipokotillerinden tanımlanmış, izole edilerek saflaştırılmıştır (Mcqueen-Mason vd., 1992). Daha sonra ekspansin genleri yulaf koleoptilleri de dahil olmak üzere pirinç (Cho ve Kende, 2010), pamuk lifi (Shimizu vd., 1997) ve soya fasulyesi (Lee vd., 2003) gibi farklı bitkilerde araştırılmıştır (Li ve Cosgrove, 1993). Ekspansinler hücre duvarında izole edilmiş uzamayı uyaran önemli düzenleyici proteinler arasında yer alır. Bitkinin büyüyen bölgelerinde ekspansin proteini transkript ve aktivite artışı ile bağlantılı olarak uzama bölgelerinin oluşmasını sağlar. Bu kısımlar uzamayan alanlara oranla ekspansin artışının sağlanması ile hareket oluşur (Cho vd., 1997). Ekspansinler genomik ve filogenetik analizlere göre α -ekspansinler (EXPA'lar), β -ekspansinler (EXPB'ler), ekspansin-benzeri A (EXLA) ve ekspansin benzeri B (EXLB) (Sampedro vd., 2006) olarak adlandırılırlar (Şekil 2.14). Ekspansinler hemiselülozlar ve Kristalin Selüloz Mikrofibrin (CMF)'ler arasındaki kovalent olmayan etkileşimleri bozarak hücre duvarı genişletirler. Bu sayede köklenme, filizlenme ve meyve olgunlaşması, polen tüpüne nüfuz etme ve absisyon gibi süreçlerde etkili olmaktadır (Cosgrove, 2000).

2.5.1.3. Endo- β -1, 4-glukanazlar

Bitki Endo- β -1, 4-glukanazlar (EGazlar) ailesinden salgılanan β -1, 4 glukan bağınyı hidrolize eden protein yapıdadır. Fakat bazı EGazlar membrana birleşik yapıda ve selüloz sentezinde oldukça etkindirler (Mølhøj vd., 2002). EGase'lerin genel olarak substratları ksiloglukan ve selüloz içerdiğinden ksiloglukan-selüloz bağlantısı sayesinde duvar gevşemesini sağlar. EGazlar tarafından hücre duvarı yapısı büyümesinde meyve olgunlaşması sağlanır (Ohmiya vd., 2000). EGaz'lar ekspansinler gibi hücre duvarın gevşemesine neden olmayıp (Goellner vd., 2001), diğer çeper modifiye edici enzimlerin aktivitesini uyarak ikincil çeper gevşetme görevi üstlenirler.

2.5.1.4. WAKL 4 Kinazlar

Bitki hücrelerinin dış sinyalleri reseptör benzeri kinaz (RLK)'lar uyarıları hücre dışı alanları aracılığıyla algılayan ve sinyalleri sitoplazmik kinaz alanları aracılığıyla ileten transmembran proteinleridir (Shiu ve Bleecker, 2001; Morris ve Walker, 2003). Hücre duvarı ile ilişkili kinaz WAK (wall associated kinase) benzeri kinaz (WAKL), 26 üyesi, hücre duvarı ile sitoplazma arasında doğrudan bağlanan ve iletişim kuran sinyal moleküllerinden en iyilerinden olup RLK alt ailesini temsil eder (Kohorn, 2000 ; Verica vd., 2003). WAK/WAKL üyeleri için öne çıkan benzersiz özellikler arasında, hücre dışı alanlarındaki epidermal büyüme faktörü benzeri tekrarlar ve hücre duvarı ile sıkı ilişkileri yer alır (Verica vd., 2003). WAK/WAKL üyelerinin biyotik ve abiyotik stres yanıtlarında yer aldığı ve hücre uzaması ve gelişimi için gerekli olduğunu gösterilmiştir (He vd., 1996; Lally vd., 2001; Wagner ve Kohorn, 2001).

WAK/WAKL üyelerinin bitki fonksiyonlarında geniş rol oynadığı ileri sürülmesine rağmen, ligand bağlanmalarının doğası ve hücre içi sinyal yayılım mekanizmaları hakkında çok az şey bilinmektedir. Biyokimyasal analizler, WAK1'in hücre dışı alanının, pektinler gibi hücre duvarı karbonhidrat bileşenlerine (Decreux ve Messiaen, 2005) ve gliserin açısından zengin protein AtGRP-3 gibi hücre duvarı proteinlerine bağlandığını göstermiştir (Park vd., 2001). Bir WAKL üyesi olan WAKL6'nın hücre yüzeyi lokalizasyonu ve hücre duvarı birleşimi de yakın zamanda doğrulanmıştır (Verica vd., 2003). Bu ilişkilerin hücre duvarı ile hücre içi bölme arasındaki sinyalleşmede rol oynayıp oynamayacağı ve nasıl oynayacağı henüz belirlenmemiştir.

Bazı WAK/WAKL üyeleri de dahil olmak üzere çeşitli RLK'lerin kök dokularında ifade edildiği bilinmesine rağmen, RLK'lerin bitki kök sinyalleşmesinde inorganik iyonlar halinde kök sistemleri tarafından emilen temel elementlerdir. Bunların mevcut seviyeleri, bitkiler tarafından algılanması gereken sinyaller olarak görevlidirler (Clemens, 2001). Hücre duvarı ile ilişkili reseptör kinaz (WAK) ve WAK benzeri kinaz (WAKL) gen ailesi üyeleri, hücre duvarı ile sitoplazmik bölme arasında sinyal göndermede etkindirler. Bazı WAK/WAKL üyelerinin bakteriyel patojen ve ağır metal alüminyum tepkilerinde rol oynadığı diğerlerinin ise hücre uzaması ve bitki gelişiminde etkinlik sağladığı daha önceki çalışmalarda ileri sürülmüştür. WAKL1 ve WAKL6 gibi WAKL4'ün de hücre yüzeyinde lokalize olduğu ifade edilmektedir (Verica vd., 2003).

Ayrıca bunlardan kök ekspresyon profillerinin bitki büyümesi ve gelişimi sırasındaki fonksiyonel rolleriyle nasıl birleştiğine dair daha fazla bilgi edinmek için, çeşitli mineral besin koşulları altında WAKL4 ekspresyonunu ile ilgili çalışmalarda; WAKL4 ifadesinin Na^+ , K^+ , Cu^{+2} , Ni^{+2} ve Zn^{+2} dahil olmak üzere çeşitli mineral besin maddelerine oldukça duyarlı olduğu belirlenmiştir. Tuz stresi altında Arabidopsis köklerinde yapılan analizde kontrolle karşılaştırıldığında WAKL4 transkript ifadesinin kontrole göre 5 kat daha fazla arttığı belirlenmiştir (Hou vd., 2005).

2.5.1. Pektin

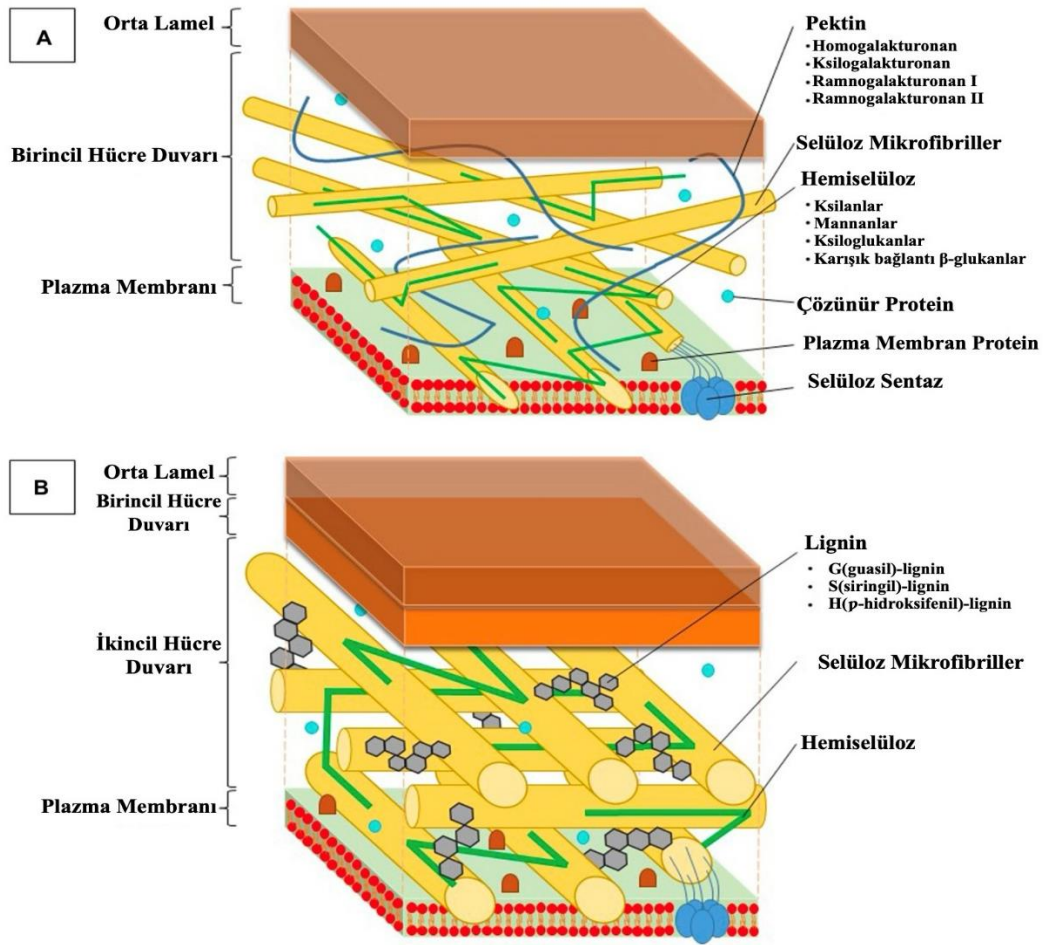
Pektinler, pektinmetilesterazlar (PME'lar) olarak bilinen duvar proteinleri hücre duvarında yüksek derecede esterlenmiş halde olup bir hücre grubu için substratlardır (O'Neill ve York, 2018). PME'ler pektinlerin dimetilesteri oluşumunu katalize ederek hücre duvarı modifikasyonu ile ortaya çıkan pektin değiştirici enzimleri meydana getirir (Pelloux vd., 2007). PME'ler tarafından üretilen demetilesterifikasyonun kendisi hücre duvarı gevşemesi veya sertleşmesinin oluşup oluşmadığını kontrol edebilir (Pelloux vd., 2007). Olgun PME'lar substrat pektik polisakkarit üzerinde rastgele veya doğrusal olarak etki alanlarını oluştururlar. Sert bir pektat jel yapısı ve daha az esnek bir hücre duvarı polisakkarit yapısından meydana gelir. Bu yapının karboksil grupları aracılı çapraz bağlanması ve doğrusal demetilesterifikasyon reaksiyonlarını Ca^{+2} oluşturur. Hücre duvarı modifikasyon proteinleri pH'a bağlı protonlar rastgele demetilesterifikasyon üretimini sağlar. Daha sonra bu proteinler poligalakturonazlar gibi pektinler üzerinde hareket edebilir. Bunun sonucunda duvar gevşemesini teşvik edebilir özellik taşır. Pektin enzimleri içinde yer alan pektin metilesterazların hücre duvarı üzerine etki alanı pH miktarına bağlı ortaya çıkmaktadır (Micheli, 2001). Farklı formlara sahip PME'ların aktivitelerinden farklı metilesterifikasyon modellerinin ortaya çıkması da mümkündür. PME'lar karbonhidrat esterazların 8. sınıfına aittir ve ayrıca tipik olarak büyük multigen aileleri meydana getirir. PME'lar tohum çimlenmesi, meyve olgunlaşması, gövde büyümesi, hücresel ayırma, kök ucu ve polen tüpü uzaması ve internodal işlevlerinin sağlanmasında oldukça etkindir (Pelloux vd., 2007).

Hücre duvarı modifiye edici enzimler, hücre duvarı plastisitesinin kontrolünde önemli bir rol oynar. Bunlar pektinmetilesteraz (PME), poligalakturonaz (PG), pektin/pektat liyaz (PLL) benzeri ve pektindir (Sénéchal vd., 2014).

Stres, bitkilerde solgunluğa ve yaşlanmaya neden olarak hücre duvarı metabolizmasını kritik bir şekilde etkiler (Pal, 2016). Pektin modifikasyonu, hücre duvarında bulunan ve pektik ağın kurulması ve bozulması için baskılara yanıt olarak apoplastik Ca^{+2} içeriğini modüle eden PME'lerin büyük bir enzim ailesi tarafından katalize edilir (Wu ve Jinn, 2010). Yukarıda bahsedildiği gibi, AzA hücre duvarını stresten koruyabilir, ancak AzA'nın tuz ve kuraklık stresi altında hücre duvarı özellikleri üzerindeki etkisi hakkında çok az şey bilinmektedir.

2.5.2. Selüloz

Bitki hücre duvarları, bitki büyümesi ve gelişmesi süresince, çeşitli abiyotik ve biyotik strese yanıt olarak yeniden şekillenebilen oldukça dinamik ve duyarlı yapıları meydana getirir (Cesarino, 2019; Gladala-Kostarz vd., 2020; Pauly ve Usadel, 2018). Bitkilerin tuzluluğa toleransı, ikincil hücre duvarlarının oluşumu, selüloz ve ligninin birikme modeli ile yakından ilişkili olmaktadır (Byrt vd., 2018; Wang vd., 2016). Selüloz, bitki hücre duvarlarının ana bileşenidir. Tuzluluğun selüloz sentaz genlerini ve selüloz mikrofibrillerinin düzenini etkileyerek selüloz biyosentezini doğrudan veya dolaylı olarak etkilediği görülür (Kesten vd., 2019; Wang vd., 2016), (Şekil 2.15). Özellikle abiyotik stres, ikincil hücre duvarlarında lignin biyosentezini ve birikmesini hızla uyarabilmesi (Moura vd., 2010; Vanholme vd., 2019) ligninin ikincil hücre duvarlarına mekanik destek, geçirimsizlik ve biyolojik bozulmaya karşı direncin artmasını sağlayıcı özellikleri sayesinde (Mota vd., 2019; Ralph vd., 2019). Ayrıca An vd. (2014)'de soyada yaptıkları çalışmada tuz stresine bağlı olarak selüloz miktarında azalma olduğunu gözlemişlerdir.



Şekil 2.14. Hücre duvarı oluşumu, A) Birincil hücre duvarı oluşumunda plazma membranı; selüloz mikrofibrinler, selüloz sentaz kompleksi, hemiselüloz, lignin ve çözünür proteinler B) İkincil hücre duvarı ve bileşiminde selüloz mikrofibrinler, lignin molekülleri ve pektin molekülleri (Loix vd., 2017)

2.5.3. Hemiselüloz

Hemiselülozlar birbiriyle etkileşime giren dallanmış heteropolimerlerdir ve selüloz mikrofibrillerini çapraz bağlayarak bitki hücrelerini güçlendirirler (Khodayari vd., 2021). Damarlı bitkilerde hücre duvarlarında hemiselülozların bazı durumlarda lignin ile de etkileşime girebileceğini ileri sürmüştür (Gallina vd., 2018). Hemiselüloz miktarı ve yapısı farklı bitki türlerinde büyük farklılıklar gösterir. Bunlar ksilan, ksiloglukan, arabinoksilan olarak veya glukuronoksilan ve glukomannan şeklinde gruplandırılmıştır (Scheller ve Ulvskov, 2010). Ksiloglukan, selüloz yoluyla hücre duvarının güçlendirilmesinde rol oynar. Hücre uzaması sırasında mikrofibriller bağlanırken, ksilan polisakkaritlerin çapraz bağlanmasına katılır ve iskeleti oluşturur. Hemiselülozun modifikasyonu hücre duvarı yeniden yapılanma enzimleri ile duvar uzayabilirliği ve XTH'ler (ksiloglukan endotransglukosilaz/hidrolazlar) hücre duvarının

esnekliği kolaylaştıran hücreyi kontrol etmenin önemli bir yoludur (Ishida ve Yokoyama, 2022). XTH'ler parçalanabilir yada yeniden bağlayabilirler. Bu durumlarda indirgenmeyen ucun başka bir ksiloglukanla indirgenmesi ile kimerik oligomer üretilir ve polimer ksiloglukan moleküllerini oluşur (Park ve Cosgrove, 2015).

2.5.4. Diğer hücre duvarı bileşenlerinden membran fosfolipidleri ve fosfatidilgliserol

Membran fosfolipidlerinin, bitki hücrelerinde yapısal ve sinyal molekülleri olarak görev aldığı ve strese bağlı olarak bitkilerde miktar ve türlerinde değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir (Furt vd., 2011). Tuz stresine bağlı olarak toplam lipit içeriğinde ortaya çıkan bir azalma, zar bütünlüğünün bozulmasına neden olur. Lipit içeriğinde meydana gelen azalma; artan lipoliz ve peroksidasyonun yanı sıra lipit biyosentez yolunda meydana gelen bozulmayla meydana gelir (Guo vd., 2019). Membran lipitlerinin yağ asidi bileşimi, membran akışkanlığını ve geçirgenliğini düzenleme yeteneği nedeniyle tuz stresine cevapta oldukça önemlidir (Tsydendambaev vd., 2013). Tuzluluğa yanıt olarak membran lipitlerinden; iki tabakalı ve iki tabakalı olmayan glikolipidlerin oranındaki değişikliğin oluşmasını sağlar. Membranda meydana gelen fizikokimyasal değişiklikler bitkinin tuz stresine dayanıklılığını etkileyebilir ve membran proteinlerinin özelliklerini, membranların akışkanlığını, geçirgenliğini, sinyal moleküllerinin aktivitesini ve sinyal iletim yollarının etkinleştirilmesinde çok önemli rolleri yer alır (Guo vd., 2019). Gai vd. (2020)'de yaptıkları çalışmada kuraklık stresi altında çay bitkisi (*Camella sinensis*)'ne dışardan uygulanan ABA hormonunun membran lipidlerinde ve flavanoidler meydana gelen bozulmanın ortadan kaldırılmasında etkinlik sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca kuraklık stresi altında soya (*Glycine max*) bitkisinde yapılan çalışmada strese bağlı meydana gelen AOT artışı ile membran lipit metabolizmasında meydana gelen hasarın ortadan kaldırılmasında biyotik ve abiyotik streslere verilen tepkileri etkileyen fitohormon olup; oksin benzer bir etkiye sahip ve öncüsü triptofan olan melatoninin dışardan uygulanmasıyla etkili olmuştur (Li vd., 2019; Zou vd., 2021).

Fosfatidilgliserol (PG), tilakoid membranlarda fotosistem II'nin (PSII) işleminde kritik bir rol oynamaktadırlar. Tuz stresi PG seviyelerinde artışa neden olarak fotosentetik kompleksi korumakta etkindir. Bu durum ATP sentezini ve fotosentetik süreçleri durdurarak PSII'nin işlevini devam ettirmesini sağladığı belirlenir (Guo vd., 2019). Ayrıca kuraklık stresi altında membran stabilitesi ve stres sinyali iletiminde rol oynayan fosfolipidlerin ve glikolipitlerin (fosfatidilik asit, fosfatidilkolin, fosfatidilinositol, fosfatidilgliserol ve digalaktosilgliserol gibi) birikmesine yol açtığı belirlenmiştir (Zhang vd., 2019).

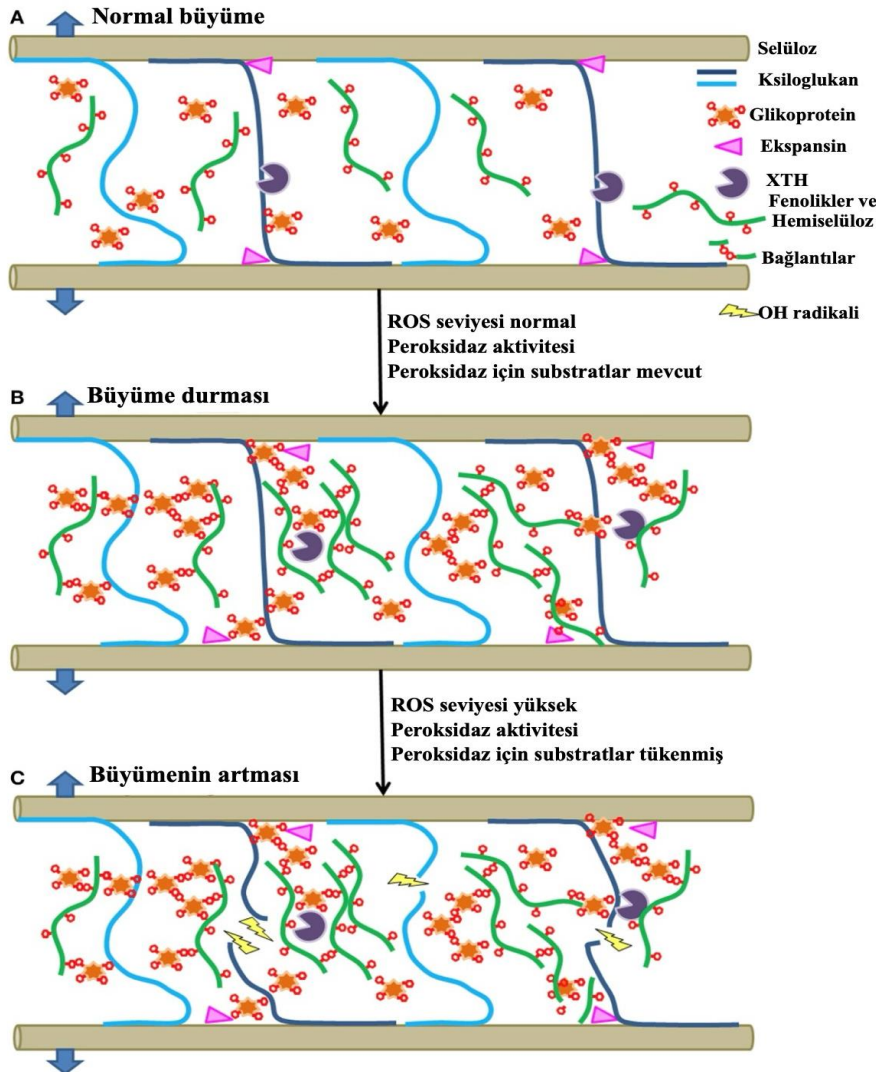
2.5.5. Lignin

Lignin, bitkilerde başta 4-hidroksifenilpropanoidlerin oksidatif bağlanmasından kaynaklanan karmaşık doğal polimer yapılarıdır (Ralpy vd., 2010). Özellikle fenilalanin/tirozin metabolik yolu aracılığı ile üretilen hücrelerdeki en önemli bileşiklerden birini oluşturur (Liu vd., 2018). Bitkilerin özellikle ikincil hücre duvarlarının oluşumu, selüloz ve ligninlerin birikmesi ile tuzluluk ve kuraklık toleransı yakından ilgilidir (Oliveira vd., 2020; Le Gall vd., 2015). Bu nedenle lignin metabolizması, bitki hastalık direnci, böcek direnci, kuraklık toleransı, tuz, ısı, soğuk, ağır metaller ve diğer streslerle karşı etkinliği hücre duvarı ile oldukça ilgilidir (Moura vd., 2010).

Bitkilerin hücre duvarları, dış tehlikelere karşı bariyer görevinde olup; biyotik ve abiyotik stres faktörleri altında aktif oksijen türlerinin ve buna eşlik eden lignin birikiminde artma olmasını sağlar (Liu vd., 2015). Bu nedenle lignin metabolizması, bitki hastalık direnci, böcek direnci, kuraklık, tuz, ısı, ışık, soğuk, ağır metaller ve diğer streslere karşı etkinliği hücre duvarı ile oldukça ilişkilidir (Moura vd., 2010).

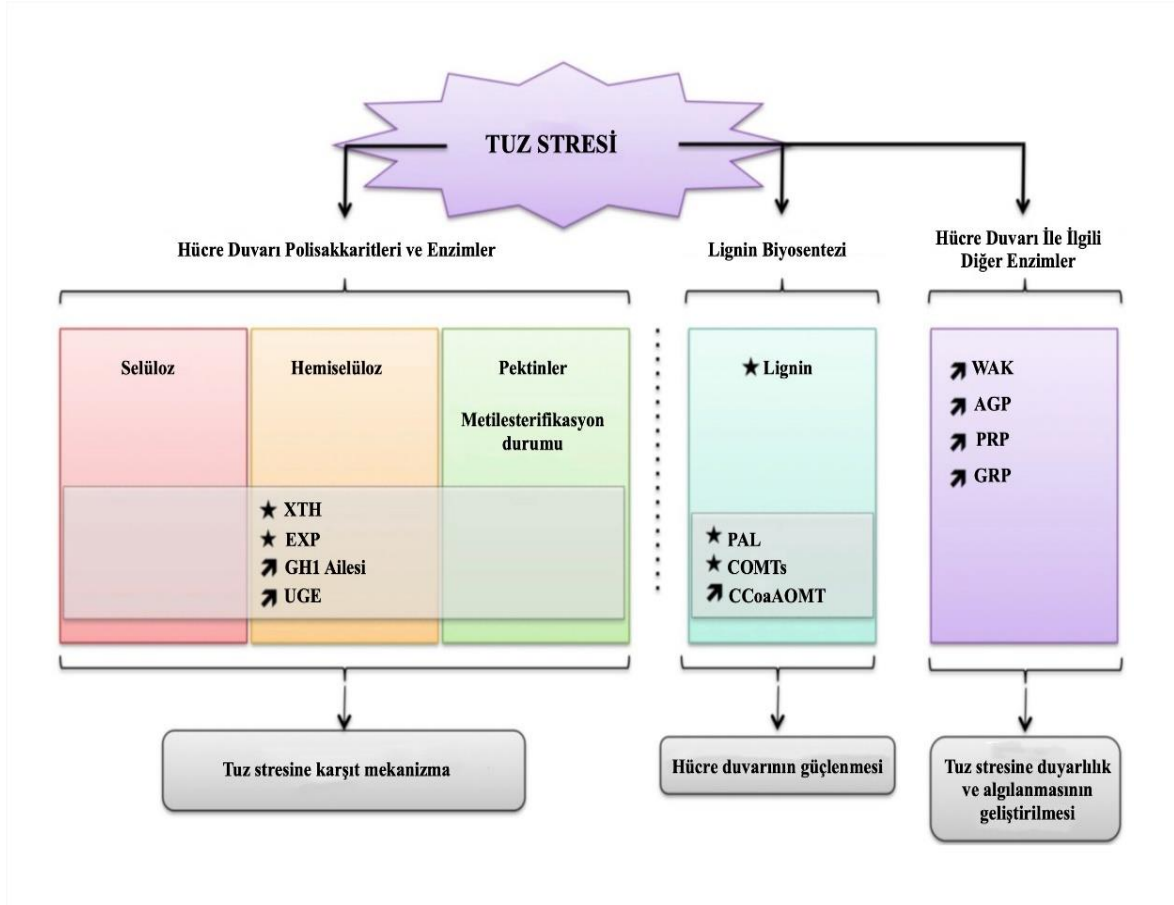
2.5.6. Tuz ve Kuraklık Stresi Esnasında Hücre Duvarı

Bitkide biyolojik membran içeriğinde lipit ve farklı bileşenler yer almaktadır. Bunlar hücresel organeller ve veziküller arasında farklılık göstermektedir (Harayama vd., 2018). Hücre duvarları sadece bitki hücresi ve çevresi arasında uyumun sağlanması için etkin değildir. Aynı zamanda hücrenin işlevsel olarak büyüme ve farklılaşması ile farklı streslerde sinyal oluşturma ve strese yanıt vermede oldukça önemlidir (Hematy vd., 2009). Bunun yanında çevresel streslerin hem birincil hem de ikincil hücre duvarları yapısını ve kompozisyonunu etkilemektedir (Berni vd., 2019). Bitki hücre duvarı, dış tehlikelere karşı bariyer görevinde olup biyotik ve abiyotik stres faktörleri altında reaktif oksijen türlerinin ve buna eşlik eden lignin birikiminde artışın oluşmasını sağlar (Liu vd., 2015). Tuz stresi altındaki bitkilerde ilk etkilenen yapılar plazma membranıdır (Yılmaz vd., 2011). Tuz stresine bağlı olarak plazma membranında geçirgenliğin arttığı, kıvrılmaların meydana geldiği, bağıl su içeriğinin azalmasına ve lignin içeriğinde artışın olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Oliveira vd., 2020). En önemlisi, ikincil hücre duvarlarındaki daha yüksek lignin içeriği, Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının ksilem içine ve sürgünlere girişini sınırlandırarak bariyer görevini görmektedir (Byrt vd., 2018). Bu durum tuz stresi sırasında lignin birikiminin hücre duvarlarının güçlendirilmesi için dinamik bir süreç olduğunu göstermektedir (Vaahtera vd., 2019).



Şekil 2.15. A) Normal koşullarda bitki hücre duvarı, **B)** Stres altındaki bitki gelişiminin durması C) Toleranslı bitkilerde hücre duvarı polimerleri AOT aracılığı ile stres ile başatması (Tenhaken, 2015)

Pektin içeriği genellikle stres koşulları altında bitkilerde değişikliğe uğrar. İki soya fasulyesinin kök hücre duvarı bileşiminin karşılaştırılması tuza toleranslı çeşitlerde çok daha yüksek pektin seviyeleri göstermiş ve tuz stresi koşullarında kök büyümesi için faydalı olduğu bildirilmiştir (An vd., 2014). İki buğday çeşidinde farklı tuz toleransı ile pektinlerden galakturonik asit ve arabinoksilanlardan glukuronik asit farklı şekillerde tepki oluşturduğundan hücre duvarındaki kesin değişikliği henüz belirlenmemiştir (Uddin vd., 2013).



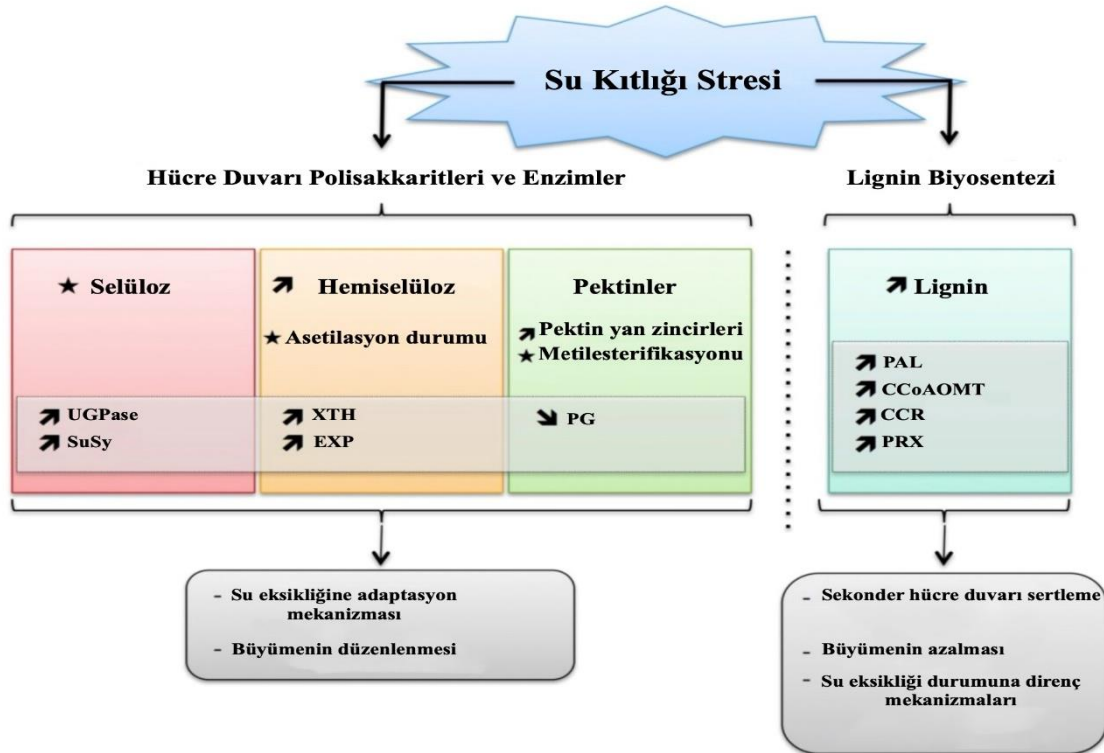
Şekil 2.16. Tuz stresi esnasında hücre duvarı yapısında meydana gelen değişimler (Le Gall vd., 2015'den çevrilmiştir)

Kuraklık stresi altında bitki büyümesi için hücrelerin su alımı sağlanarak turgorlu hale gelmesi ve geri dönüşü olmayan hücre duvarı genişlemesi meydana gelir. Kuraklık veya dehidrasyon su eksikliği, toprak suyu mevcudiyeti ve buharlaşma ile sular arasındaki dengesizlik olarak tanımlanmaktadır. Su stresinin neden olduğu düşük turgor basıncı, hücre uzamasını ve hücre genişlemesini azaltarak büyümeyi sınırlandırır (Tardieu vd., 2014). Su eksikliğine maruz kalan bitkilerde hücre duvarı modifikasyonlarının sonucu olan morfolojik değişiklikleri gösterir. Örneğin siyah ladin (*Picea mariana*) fidanlarında kuraklık stresi hücre duvarı kalınlığında bir azalmaya neden olmuştur. Hücre genişlemesi yalnızca turgor basıncı hücre duvarı veriminden büyük olduğunda meydana gelebilir (Tardieu vd., 2011; Shao vd., 2008). Kış tritikalesinde su eksikliği yaprak kıvrılmasına neden olmuştur ve hücre duvarına bağlı fenoliklerin daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir (Hura vd., 2012).

Kuraklık stresi altında farklı bitki türlerinde de (*Arabidopsis*, tütün, üzüm yaprakları ve buğday köklerinde) selüloz içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Iraki vd., 1989; Bray, 2004). Artan selüloz sentezi, hücre duvarı bütünlüğünün sağlanmasının bir yolu olup; hücre turgor basıncı

korunur, böylece düşük su potansiyel altında sürekli hücre büyümesine izin verilir (Ricardi vd., 2014).

Ayrıca, kuraklık stresi altında pektik polimerlerin biyosentezi toleranslı çeşitte daha azalmış olduğu belirlenmiştir (Piro vd., 2003). Benzer şekilde genç buğday fideleri ile yapılan bir çalışmada kuraklık stresi altında pektin artışının daha fazla olduğu bildirilmiştir (Konno vd., 2008).



Şekil 2.17. Kuraklık stresi esnasında hücre duvarı yapısında meydana gelen değişimler (Le Gall vd., 2015'den çevirilmiştir)

Tuz stresi ve kuraklık stresi altındaki bitkilerin hücre duvarındaki lignin miktarı önemli ölçüde artar (Scavuzzo-Duggan vd., 2021; Chun vd., 2019; Hu vd., 2022). Bitkilerde lignin miktarının iyileştirilmesi tuz ve kuraklık stresi altında, mekanik olarak zenginleştirme hücre duvarı ve zar bütünlüğünde önemli bir rol oynar (Liu vd., 2021; Chun, 2021). Üç farklı buğdayda sıcaklığa ve kuraklığa toleranslarını belirlemek için yapılan çalışmada tüm çeşitlerde hücre duvarı liflerinde arabinoksilan glikanların sayısı artarken; duyarlı hatlarda galakturonik ve glukuronik asit toplamı arttığı, toleranslı hatlarda azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum gelişmiş odunlaşma ile soğuk ve sıcak stresine maruz kalma ile ilişkilidir (Domon vd., 2013). Lignin içeriği bileşiminde ve miktarında değişimler çeşitli stres faktörlerinin etkisine bağlı olarak ortaya çıkmıştır (Moura vd., 2010).

2.6. Soya

Soya bitkisi (*Glycine max*) Magnoliopsida sınıfının Fabaceae (Baklagiller) familyasına aittir (Şekil 2.18). Hem insan gıdası hem de hayvan yemi için ana protein ve yağ kaynağı olarak kullanımı oldukça yaygındır (Hartman vd., 2011). İnsan ve hayvan beslemesine olan katkısının yanı sıra, biyodizel üretimi ve endüstriyel birçok işlem için önemli bir hammaddedir (Phang vd., 2008; Wang vd., 2010). Dünyanın başlıca yemeklik bitkisel yağ ve yüksek proteinli hayvan yemi kaynaklarını oluşturur. (Greenway ve Munns, 1980; Läuchli ,1984).



Şekil 2.18. Soya bitkisi genel görünümü tohum, çimlenme süreçleri, fide görünümü, yetişkin bitki, meyve oluşumu ve tohuma dönüşümü)

Soya yüksek protein ve yağ içeriği açısından baklagillerin içerisinde en önemli bitki türlerinden biridir (Moussa, 2004; Savalia ve Gundalia, 2008). Protein oranı taze tohumlarda % 11-12, yağ oranı % 5-7 civarındadır (Şekil 2.19). Kuru olanlarda ise protein ve yağ oranı sırasıyla % 36-46 ve % 18-24'dür (Çömlekçioğlu, 2009). Soya, vitamin ve omega-3 yağ asitleri yönünden zenginliği de oldukça önemlidir.

Beş bin yıl önce keşfedilen ve halk arasında sarı altın olarak isimlendirilen soya bitkisi Çin'de yaygın olarak yetiştirilmektedir. 1830'lu yıllarda ülkemize getirilen soya bitkisi, en fazla Doğu Akdeniz bölgesinde yetiştirilmektedir.

Adana, Osmaniye illeri ülkemizde yetiştirilen soya miktarının % 85-90 'ını karşılamaktadır (Aktaş, 2013). Soya fasulyesi (*Glycine max*), tuza orta derecede duyarlı bir bitki olarak sınıflandırılır (Katerji vd., 2003). Özellikle erken üreme aşamasında kuraklık stresine, duyarlı

olarak bilinmektedir (Westgate ve Peterson, 1993). Soya üretimi 2022’de 155 bin tondur. 2023 yılında 150 bin ton üretim olup; Adana, Mersin, Kahramanmaraş ilk sıralarda olmuştur.

Soya tohumların çimlenmesi ile gelişimi başlamakta, vejetatif organları fideciğin yaprak ve dallar gibi yapıların meydana getirmesi, çiçeklenmesi ile devam etmekte olan süreç bakla oluşturmaları ve bakla doldurması ile tohumların hasat olgunluğuna gelmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu süreç içerisinde soya, gelişimini ve verimliliğini teşvik eden veya azaltan pek çok faktörler ile karşılaşmaktadır. Bitkinin bu etkenlere tepkisi ve yaşam sürecini devam ettirebilmesi için ihtiyaç duyduğu besin içeriği ile su miktarı içinde bulunduğu gelişim döneminin e bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Çırak ve Esenal, 2005).

Tablo 2.1 Soyada vejetatif (Fehr ve Caviness, 1977) ve generatif gelişim dönemleri (Williams vd. 1999)

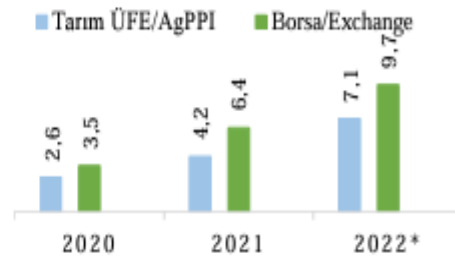
VE	Çimlenme ve çıkış
VC	Kotiledon dönemi
V1	İlk hakiki yaprağın oluşumu
V2	İkinci hakiki yaprağın oluşumu
V3-V5	4-6 boğumlu dönem
V6-Vn	7 ve daha fazla boğumlu dönem
R1	Ana sap üzerindeki herhangi bir boğumda bir çiçek bulunması
R2	Ana sap üzerindeki en üst iki boğumdan birinde çiçek bulunması
R3	Ana sap üzerindeki son dört boğumdan birinde 5 mm uzunluğunda bir bakla bulunması
R4	Ana sap üzerindeki son dört boğumdan birinde 2 cm uzunlukta bir bakla bulunması
R5	Ana sap üzerindeki son dört boğumdan birinde 3 mm uzunlukta bir tohum bulunması
R6	Ana sap üzerindeki son dört boğumdan birinde meyve içini dolduran yeşil tohumlu bakla bulunması
R7	Ana sap üzerinde olgunluk rengini almış bir bakla bulunması
R8	Baklaların % 95’inin olgunluk rengini alması

Türkiye soya üretiminde en büyük paya sahip iller

(2022,%)



Soya fiyatları (TL/kg)



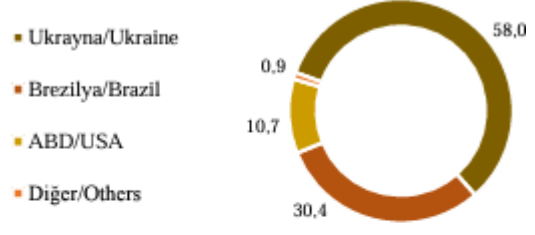
*2022 fiyatları 4 aylıktır.

Şekil 2.19 Tarım ve Orman Bakanlığı; Türkiye’nin en büyük soya üretimine sahip illeri. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr>

Türkiye'nin ülkelere göre soya ihracatı (2022/23, %)
Türkiye's soybean export by countries



Türkiye'nin ülkelere göre soya ithalatı (2022/23, %)
Türkiye's soybean import by countries



*Dış Ticaret verileri 8 aylıktır.

Soya destekleri / Soybean supports and premiums

	2018	2019	2020	2021	2022
Toprak analizi (TL/da) Soil analysis	0,6	0,8	0,8	0,8	0,5
Gübre desteği (TL/da) Fertilizer support	4	4	4	8	21
Mazot desteği (TL/da) Fuel support	19	26	26	30	125
Fark ödeme desteği (TL/kg) Difference payment support	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Şekil 2.20 Tarım ve Orman Bakanlığı; Türkiye'nin ülkelere göre soya ihracatı ve ithalatı.
<https://arastirma.tarimorman.gov.tr>)

Kuraklık ve tuz stresi soya bitki büyümesini ve tarımsal üretimini ciddi şekilde etkileyerek bitkilerin hayatta kalmasını tehdit etmektedir. Soya fasulyesi tuz stresine karşı nispeten hassastır. Soya fasulyesi tuz ve kuraklık stresi altında kök, gövde ve yaprakta meydana gelen bazı anatomik özellikler, klorofil içeriği ve stoma iletkenliğinde azalma, kök: gövde oranında artış gibi önemli değişiklikler meydana geldiği gözlenmiştir (Mabul vd., 2011; Seckin Dinler vd., 2014).

Tuz ve kuraklık koşulları altında dışardan uygulamalar ile (bitki hormonları, iyonlar, osmolitler, sinyal molekülleri, sekonder metabolitler ve nanomateryaller) soya fasulyesinin tuz toleransının arttırılmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Seckin Dinler vd., 2016; Nguyen vd., 2020; Sadak vd., 2020; Sheteiwy vd., 2021).

Ülkemizdeki yaklaşık 100 milyon hektarlık alanın artan tuzluluktan etkilendiği ve durumun daha da kötüleştiği göz önüne alındığında, soyanın tuz toleransını iyileştirmeye yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Kuraklık altında soya fasulyesinin performansını arttırmak için büyüme, verim ve tahıl mikro besin kalitesini arttırmaya çalışmak oldukça önemlidir.

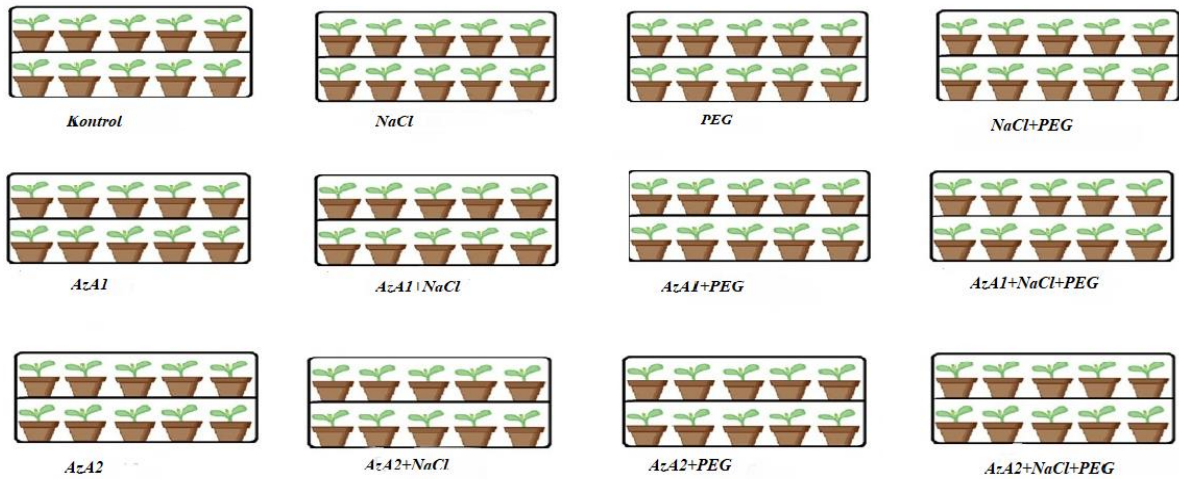
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.1. Ön denemenin kurulması

Çalışma materyali olan Soya (*Glycine max*) Ataem7 çeşidinin belirlenmesinde ve NaCl ve PEG konsantrasyonunun belirlenmesi için ön denemeler yapılmıştır. Ayrıca ikinci bir ön denemede AzA konsantrasyonları (0,8, 10, ve 24 mg l⁻¹)'nın belirlenmesi esnasında Haghighi ve Sheibanirad (2018)'de yaptıkları çalışmadan yararlanılmıştır. Yapılan ön denemeler ile elde edilen sonuçlarla uygulanacak olan AzA (12, 24 ppm) konsantrasyonları belirlenmiştir.

Soyanın, tuz ve kuraklık stresine karşı verdiği tepkiler daha önce yapılmış çalışmalar ile belirlenmiştir (Cetinkaya vd., 2015; Seçkin Dinler vd. 2018; Sarısoy vd., 2018). Proje materyali olarak soya (Ataem7) ve tuz konsantrasyonu olarak 250 mM NaCl yapılan ön denemeler ile tespit edilmiştir. Ön denemeler ile tuz ve kuraklık stresine göstermiş olduğu tepkiler karşılaştırılmıştır. Ayrıca Ataem 7 tohumlarının tazeliğini sağlamak için yeni tohum yetiştirme işlemi yapılmıştır.

3.1.2. Deneme düzeneği:



Şekil 3.1 Deneme düzeneği

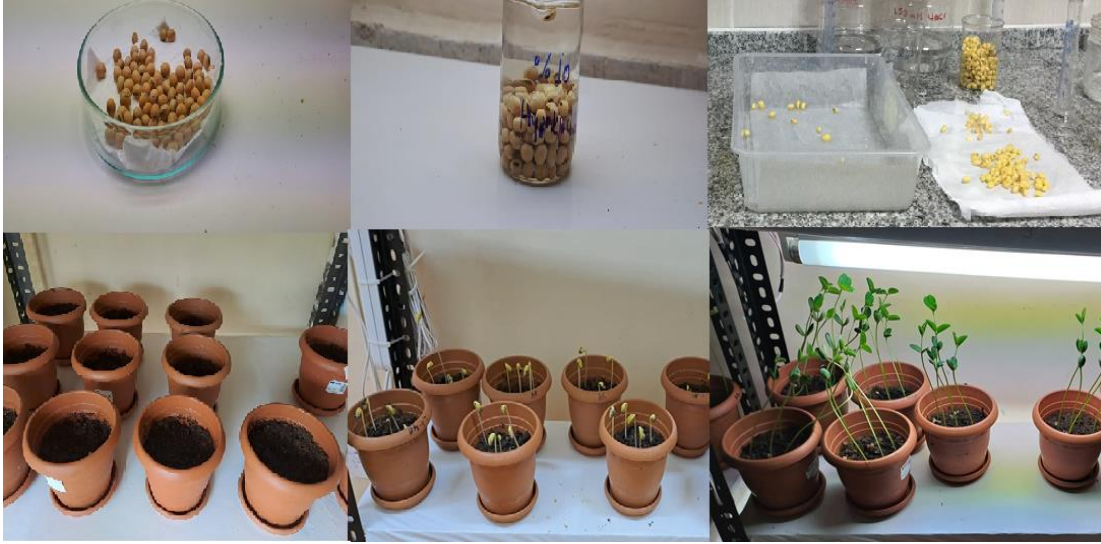
Bitki materyali olarak soya (*Glycine max* L.) Ataem 7 kùltivarına ait tohumlar; Karadeniz tarımsal araştırma Enstitüsü'dan (Samsun) temin edilmiştir.

Deneme düzeneği aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

1. Kontrol
2. AzA 1 (Besin çözeltileri içinde AzA₁ 12ppm)
3. AzA 2 (Besin çözeltileri içinde AzA₂ 24ppm)
4. NaCl (Besin çözeltileri içinde 250 mM)
5. NaCl + AzA₁ 12ppm)
6. NaCl + AzA₂ 24 ppm)
7. Polietilen glikol (Besin çözeltileri içinde % 15 PEG)
8. % 15 PEG + AzA₁ 12ppm
9. % 15 PEG + AzA₂ 24 ppm
10. NaCl+% 15 PEG
11. NaCl +% 15 PEG + AzA₁ 12ppm
12. NaCl+ % 15 PEG + AzA₂ 24 ppm

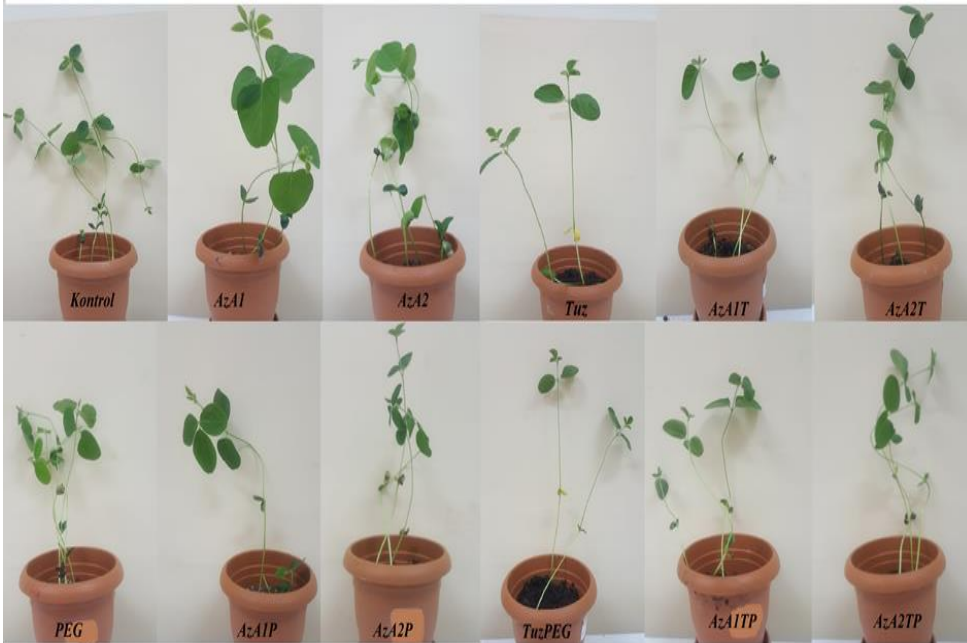
Uygulama aşaması:

- 1) 2 L'lik saksılara toprak ortamına daha önceden steril edilmiş, 5'er adet Ataem 7 soya (*Glycine max*) tohumları 4-5 gün içinde çimlenme gerçekteşmiştir.
- 2) Bitkilerin çimlenene kadar saf su ile sulanmıştır. Çimlenmeyi takiben fide aşamasına gelene kadar 16 saat aydınlık/8 saat karanlık ortamda tam kuvvet Hoagland solusyonu ile sağlanmıştır.
- 3) Uygulamalar için her gruba ait 20 adet bitki seçilmesi ve çalışmanın 3 tekerrürlü yapılmıştır.
- 4) Bitkilere eş zamanlı olarak Hoagland çözeltisi içerisinde çözünmüş NaCl (250 mM), kuraklık stresi (% 15 PEG) uygulaması gerçekteştirilmiştir.
- 5) Bitkilere Hoagland çözeltisi içerisinde çözülmüş AzA ile [(12 ve 24 ppm 5 mM MES (2-N morpholino ethanesulfonicacid) içerisinde çözüldürölerek)] 10 gün boyunca sulanmıştır.
- 6) Stres uygulanan bitkilerden 5. ve 10. gün yaprak örneklerinin alınması ve uygun koşullarda saklanması sağlanmıştır.



Şekil 3.2 Tohumların hazırlanması ve çimlenme

Ana deneme ön denemeden elde edilen veriler doğrultusunda tuz ve kuraklık stresinin oluşturduğu oksidatif hasarı en çok iyileştiren konsantrasyon tespit edilerek belirlenmiştir. Ana denemede çimlenen (VE dönemi) bitkilerin ışıkları açılarak 3 gün süre ile Hoagland ile sulanarak fide aşamasına (VC, V1,V2 dönemleri) (Tablo 2.1) geldiğinde stres uygulamasına başlanmıştır. Besin solüsyonu içinde gerekli uygulama maddeleri çözündürülerek bitkiler bu solüsyonlarlar sulama işlemi 10 gün süre sulama yapılarak 5. ve 10. günlerde hasat işlemi yapılmıştır. Alınan örnekler -80 °C'de analizin gerçekleştirileceği zamana kadar saklanmıştır.



Şekil 3.3 Hasat işlemi öncesi gruplara ait genel bitki görüntüsü

3.2. Fizyolojik Analizler

3.2.1. Büyüme analizleri

Uzunluk ölçümü için tüm gruplardan stres uygulamasının 5. ve 10. günlerinde 6'şar adet bitki örneği alınarak kök ve gövde uzunlukları (cm) ölçülmüştür. Yaş ve Kuru Ağırlık Ölçümü için tüm gruplardan stres uygulamasının 5. ve 10. günlerinde 6'şar adet bitki örneği alınarak kök ve gövde yaş ağırlıkları tartılıp etüvde 72 °C'de kurutularak kuru ağırlıkları (gr) alınmıştır.

3.2.2. Bağlı su içeriğinin ölçülmesi

Bağlı su içeriği Smart ve Bingham (1974) yöntemine göre belirlenmiştir. Stres uygulamasının 5. ve 10. günlerindende bitki örneklerinden 6'şar adet alınan yaprakların yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra 6 saat boyunca dI-H₂O içinde petrilere bekletilerek turgorlu hale gelmeleri sağlanmıştır. 70 °C'de 72 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Bağlı su içerikleri % olarak $(YA-KA)/(TA-KA)*100$ bağıntısına göre hesaplanmıştır.

3.2.3. Bağlı Elektriksel İletkenliğin ölçülmesi

Bağlı elektriksel iletkenlik (BEİ) Singh vd. (2008) metoduna göre yapılmıştır. Yapraklar deiyonize su içine koyularak 30 dakika sallanmıştır. Daha sonra elektriksel iletkenlik için ilk ölçüm (C1) yapılır. Distile su içindeki örnekler su banyosunda 15 dakika kaynatılıp ve soğumaya bırakılmıştır. Sonrasında elektriksel iletkenlik için ikinci ölçüm (C2) yapılmıştır. BEİ hesaplaması için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$BEİ = (C1/C2)*100$$

3.2.4. Yaprak alanının ölçülmesi

Yaprak alanı, CID Bio-Science CI-201 taşınabilir lazer yaprak alan ölçer kullanılarak stres uygulamasının 5. ve 10. gününde 6 tekrarlı olarak ölçülmüştür. Hesaplamalar cihazdaki program tarafından yapılarak ve yaprak alanı mm² olarak hesaplanmıştır.

3.2.5. Klorofil miktarının belirlenmesi

Stres uygulamasının 5. ve 10. gün tüm gruplardan yaprak örnekleri alınıp klorofil miktarı Lichtenthaler ve Wellburn (1983) yöntemine göre tespit edilmiştir.

Elde edilen ekstraktın son hacmi 10 ml olacak şekilde % 80'lik asetonla tamamlanacak ve tüp karıştırıcıda çalkalanmıştır. Thermo Scientific Genesys (10S UV-VIS) spektrofotometre yardımı ile klorofil a 663, klorofil b 645 nm'de okunmuştur. Klorofil a ve klorofil b miktarları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Klorofil a} = 11.75 \cdot A_{662} - 2.35 \cdot A_{645}, \text{Klorofil b} = 18.61 \cdot A_{645} - 3.96 \cdot A_{662}$$

3.2.6. Prolin miktarının belirlenmesi

Serbest prolin miktarı Claussen (2005) yöntemine göre belirlenmiştir. Stres uygulamasının 5. ve 10. gününde tüm gruplardan yaprak örnekleri alınmıştır. Taze bitki yapraklarından 0,5 g tartılmıştır ve % 3 (w/v)'lük 5 ml sülfosalisilik asit ile homojenize edilmiştir. Homojenatlar filtre kağıdı ile süzülür. Daha sonra süpernatantlara 1 ml ninhidrin ve 1 ml glasiyel asetik asit ilave edilerek karıştırılır. Elde edilen karışım 100°C'lik su banyosunda 1 saat bekletilmiştir. Bir saatlik süre sonunda tüpler buzlu su içerisine konulacak ve reaksiyon sonlandırılmıştır. Reaksiyon karışımı 4 ml tolue ile ekstrakte edilecek ve 25-30 saniye tüp karıştırıcıda çalkalanmıştır. Toluen içeren renkli sıvı oda sıcaklığında bekletilecek ve karışımın tolue içeren üst fazı spektrofotometrede 520 nm'de okunmuştur. Bitki dokularındaki prolin miktarı (µmol/g taze ağırlık) kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.7. Lipit peroksidasyonun belirlenmesi

Lipit peroksidasyonun son ürünü olan MDA miktarı, tiobarbiturik reaksiyonunu kullanarak Rao ve Stresty (2000) yöntemine göre belirlenmiştir. Her gruba ait 0,5 g yaprak örnekleri TCA (trikloroasetik asit) eklenerek homojenize edilmiştir. Homojenatlar +4 °C 10.000 g'de 5 dk boyunca santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatantlara TBA (tiobarbitürik asit) ve TCA içeren reaksiyon karışımı pipetlenmiştir. Tüm deney tüpleri 95 °C'de 30 dk ısıtılır. Karışım 10.000 g x 15 dk santrifüjlenecektir. Oluşan süpernatantın 532 ve 600 nm'deki absorpsiyon değerleri okunmuştur. Malondialdehid (MDA) konsantrasyonu, ekstinksiyon katsayısı ($\epsilon=155\text{mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) kullanılarak hesaplanmıştır.

3.3. Aktif Oksijen Türlerinin (AOT) belirlenmesi

3.3.1. Hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarının belirlenmesi

Hidrojen peroksit miktarı Velikova vd. (2000) yöntemine göre Thermo Scientific Genesys (10S UV-VIS) ile belirlenmiştir. Her gruba ait 0,1 g yaprak örneklerine 5 ml TCA

(trikloroasetik asit) eklenerek homojenize edilmiştir. Homojenatlar 15 dk boyunca 12.000 rpm’de santrifüjlenmiştir. 0, 5 ml süpernatantlar alınarak 0, 5 ml tampon (potasyum fosfat 10 mM, pH:7) çözeltisi ve 1 ml KI (potasyum iyodür 1 M) tampon ile karıştırılmıştır. Absorbans değerleri 390 nm’de spektrofotometre yardımı ile ölçülmüştür.

3.3.2. Süperoksit radikal miktarının belirlenmesi

Bu çalışma için 0,5 gr yaprak 2 ml 65 mM soğuk fosfat tamponunda (pH:7,8) homojenize edilir. Homojenat 5000xg’de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 1 ml alınıp üzerine 0,9 ml fosfat tamponu ve 0,1 ml 10 mM hidroksilamin hidroklorit eklenmiştir. Çözelti karıştırılacak ve 20 dk 25°C’de inkübe edilmiştir. Daha sonra karışımdan 1 ml alınıp üzerine 1 ml 17 mM aminobenzene sülfonik asit ve 1 ml 17 mM 1-naftilamin eklenerek 20 dk 25 °C’de inkübe edilecektir. Karışıma 3 ml N-bütül alkol eklendikten sonra spektrofotometrede 530 nm’de ölçülmüştür. Standart grafik için farklı miktardaki NaOH’nın 530 nm’deki absorbans değerleri kullanılmıştır (Ke ve Sun, 2004).

3.3.3. Hidroksil radikal savurma kapasitesinin belirlenmesi

Hidroksil radikali savurma kapasitesi Kim (1997) yöntemine göre UV-VIS spektrofotometre ile belirlenmiştir. Reaksiyon karışımı, 10 mM FeSO₄-7H₂O₂-EDTA çözeltisinden 150 µl, 10 mM 2-deoksiriboz çözeltisinden 150 µl ve 75 µl örnek solusyonundan meydana gelmiştir. 37°C 2 saat inkübasyondan sonra 1 ml % 2,8 trikloroasetik asit ve % 1,0 tiobarbitürik asit solusyonu eklenerek reaksiyon durdurulmuştur. Solusyon 20 dakika boyunca kaynatılıp soğuk su banyosuna alınır. OH⁻ savurma kapasitesi 520 nm’de ölçülmüştür OH⁻ radikal savurma kapasitesi (%) = [(A₀ - A₁)/A₀] × 100 A₀; kontrolün absorbans değeri, A₁; örnek/standart absorbansını gösterir.

3.4. Antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenmesi

3.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1)

SOD enzim aktivitesi Nitro Blue Tetrazolium (NBT) kullanılarak spektrofotometrik olarak Beauchamp ve Fridovich (1971)’e göre belirlenmiştir. 50 mM fosfat tamponu (pH:7, 8), 33 mM NBT, 10 mM L-metionin, 0,66 mM EDTA, Na₂ 0,0033 mM ribofilavin içeren 3 ml reaksiyon karışımı hazırlanmıştır. Süpernatantlar seyreltildikten sonra karışım 10 dk 300 mmol m²s⁻¹ ışık şiddeti altında bekletilerek 560 nm’de verdiği absorbans değerleri okunmuştur. SOD için 1

enzim birimi; ışıkla indirgenmenin % 50 engellenmesine neden olan protein miktarı (mg) olarak tanımlanmıştır.

3.4.2. Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7)

POX enziminin aktivitesi spektrofotometrik olarak Herzog ve Fahimi (1973)'nin metoduna göre belirlenmiştir. Aktivite 465 nm'de 3,3 -diaminobenzidin tetrahidrokloroidin oksidasyonu ile absorbans değerinde meydana gelen artış izlenerek hesaplanmıştır. Polystiren küvetteki reaksiyon karışımı DAB solüsyonu % 0,6'lık H₂O, dI-H₂O ve enzim ekstraktından oluşum sağlanmıştır. Reaksiyon H₂O₂'in ilave edilmesiyle başlatılmış ve 180 sn boyunca absorbans değerindeki artış belirlenmiştir. Spesifik enzim aktivitesi dakikada tüketilen $\mu\text{mol ml}^{-1}$ H₂O₂ olarak ifade edilmiştir.

3.4.3. Askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11)

APX enziminin aktivitesi spektrofotometrik olarak Nakano ve Asada (1981)'nin yöntemi kullanılarak saptanmıştır. Askorbat okside oldukça spektrofotometreden 290 nm'deki absorbans değerlerinde oluşan azalma okunarak hesaplamalar askorbatın ekstinksiyon katsayısı kullanılarak ($2,8 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$) yapılmıştır. Reaksiyon karışımı 50 mM sodyum fosfat tamponu (pH:7), 0,5 mM askorbat, 0, 1 mM EDTA Na₂ ve 1, 2 mM H₂O₂'den oluşmuştur. Askorbatın oksidasyonu, enzim ekstraktının ek ilave edilmesiyle başlatılmıştır ve absorbanstaki düşüş 180 sn boyunca izlenmiştir. 1 birim APX aktivitesi dakikada okside olan 1 mmol ml^{-1} askorbat ifade edilmiştir.

3.4.4. Glutasyon s-transferaz (GST; EC 2.5.1.18)

Glutasyon s-transferaz aktivitesi Habig vd. (1974) yöntemine göre belirlenmiştir. Glutasyon s-transferaz, 1 kloro 2 - 4 dinitrobenzen (CDNB) ile glutasyonun -SH grubu arasındaki tepkimeyi katalizlemiştir. Enzim aktivitesi 340 nm'de GSH ve CDNB kullanılarak dakikada oluşan s-2,4-dinitrofenilglutasyonun 1 mikro molünü katalizleyen enzim miktarının ölçülmesiyle belirlenmiştir. GST aktivitesi, CDNB ekstinksiyon katsayısı ($\epsilon = 9,6 \text{ mmol L}^{-1}\text{cm}^{-1}$) kullanılarak hesaplanmıştır.

3.4.5. Glutasyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2)

Glutasyon redüktaz aktivitesi, 340 nm'deki absorbanstaki düşüş göz önüne alınarak hesaplanır (Foyer ve Halliwell, 1976). NADPH varlığında, okside glutasyon miktarındaki azalma, kuvartz

küvette, köre karşı 180 sn boyunca takip edilmiştir. Hesaplamalar glutatyon redüktaz enziminin ekstinksiyon katsayısı kullanılarak ($6.2 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) yapılmıştır. Spesifik enzim aktivitesi, dakikada indirgenen 1 mmol ml^{-1} GSSG miktarı olarak ifade edilerek hesaplanmıştır.

3.4.6. Katalaz (KAT; EC 1.11.1.6)

Bergmeyer (1970)'in metoduna göre gerçekleştirilir. H_2O_2 'in miktarında oluşan azalma 240 nm 'de gösterdiği maksimum absorbanstaki düşüşle belirlenmiştir. 1 ml 'lik son hacime sahip kuvartz küvetlerdeki reaksiyon karışımı; $0, 1 \text{ mM}$ EDTA, 50 mM Na-fosfat tamponu ($\text{pH}: 7$), $\text{dI-H}_2\text{O}$ ve $\% 0, 3 \text{ H}_2\text{O}_2$ 'den oluşmuştur. Reaksiyon boyunca absorbansta oluşan düşüş 180 sn boyunca takip edilmiştir. KAT aktivitesi dakikada harcanan $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ olarak ifade edilmiştir.

3.4.7. Dehidroaskorbat Reduktaz (DHAR; EC 1.8.5.1)

Nakano ve Asada (1981) yöntemine göre yapılmıştır. $2,5 \text{ mM}$ GSH 0.2 mM DHA ve $0, 1 \text{ mM}$ EDTA 50 mM potasyum fosfat tamponu ($\text{pH}: 7, 0$) içine koyularak karışım elde edilecektir. 265 nm 'de 1 dakika içinde gerçekleşen artış miktarı ölçülerek kaydedilmiştir.

3.4.8. Monodehydroaskorbat redüktaz (MDHAR ; EC 1.6.5.4)

Hossain ve Asada (1984) yöntemine göre spektrofotometrik yöntem ile ölçüm yapılır. $0,2 \text{ gr}$ bitki örnekleri 2 ml homojenizasyon tamponu ile 1 mM askorbat 50 mM potasyum fosfat tamponu ($\text{pH } 7,8$) içine konularak $15,000 \text{ g'de } 4^\circ\text{C'de } 20$ dakika santrifüj işlemi yapılmıştır. Daha sonra 25°C (50 mM Tris-HCl $\text{pH } 7, 6$), $0, 1 \text{ mM}$ NADH, $2, 5 \text{ mM}$ askorbik asit, 1 birim askorbat oksidaz ($0, 14$ unit, $1 \mu\text{M}$ askorbat 1 unite okside edilmiş) ve NADH'daki oksidasyon 340 nm absorbandsaki azalma izlenerek aktivite belirlenir ($6, 2 \text{ mM}\%$ absorbands katsayısı). Toplam protein Bradford'a (1976) göre belirlenmiştir.

3.5. Hücre Duvarı ile ilgili olan analizler

3.5.1. Fenilalanin amonyum liyaz (PAL)

PAL aktivitesi $0,1 \text{ gram}$ yaprak örneği $\% 1$ polivinilprolidone (PVP) ve 1 mM fenilmetilsülfonil (PMSF) $\text{pH}: 6, 5$ olan 50 mM sodyum fosfat tamponu (ekstraksiyon) içine konularak homojenize edilmiştir. Daha sonra homojenat $4^\circ\text{C'de } 25 \text{ dk } 10.000 \text{ g'de}$ santrifüj edilir. Bu homojenattan alınan süpernatant, fenilalanin amonyum liyaz aktivitesinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Fenilalanin amonyum liyaz aktivitesinin belirlenmesi için spektrofotometrik yöntem kullanılmıştır (Pascholati vd., 1986). $100 \mu\text{l}$ enzim ekstraktı ve $1000 \mu\text{l } \% 0, 2$

Fenilalanin solüsyonu ile 37 °C'de bir saat reaksiyona sokulacak ve L- fenilalaninin trans sinamik asite dönüşümü 290 (A 290) nm'de absorbansı okunmuştur. Fenilalanin amonyum liyaz aktivitesi sinamik asidin standardı hazırlanarak belirlenecek ve µmol sinamik asit saat-1 olarak ifade edilmiştir.

3.5.2. Pektinmetilesteraz (PME)

Pektinmetilesteraz enzim aktivitesi Hagermann ve Austin (1986) yöntemine göre yapılır. 1 ml pektin solüsyonu (% 0, 01), 0, 2 ml NaCl (0,15 M), 0, 1 ml bromtimol mavisi solüsyonu (% 0,01), 0, 2 ml distile su ile karışım elde edilmiştir. Elde edilen karışımın üzerine 0,1 ml örnek koyularak spektrofotometrede 620 nm'de 0 ve 3 dk sonra okuma yapılmıştır.

3.5.3. Lignin miktarı

Lignin analizi Moreira-Vilar vd., (2014) yöntemine göre yapılmıştır. 0, 3 gr kuru bitki örneği 50 mm potasyum fosfat tamponu (pH:7,7 ml) ile homojenize edilmiştir. Daha sonra eğer ependorfdaki hazırlanmışsa 11.500 g'de 5 dk, falkon tüplerde hazırlanmışsa 5000 g'de 15 dk santrifüj edilerek süpernatant uzaklaştırılmıştır. Daha sonra sırasıyla 2 defa KP tamponu (ph:7, 7 ml), % 1 lik Triton x100 (KP ile hazırlanır, 7 ml), 2 defa 1M NaCl (pH:7, KP tamponu ile hazırlanır, 7ml), 2 defa dH₂O (7 ml) ile ve 2 defa aseton (5ml) ile yıkanma işlemi yapılmıştır. Her seferinde santrifüj işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem bittikten sonra 60 °C'de 24 saat kurutulur. Kuru pelletler üzerine 1,5 ml 2M HCl ve 0, 3 ml tiyoglikolik asit eklenip; 95 °C 4 saat inkübe edilmiştir. Tüpler buz üzerinde soğutulduktan sonra santrifüj edilmiştir. Daha sonra 3 defa d-H₂O (7ml) ile yıkayıp süpernatant uzaklaştırıldıktan sonra 1 ml 0, 5 m NaOH eklenmiş ve çalkalayıcıda (120 rpm) 30°C'de ertesi güne kadar bekletilmiştir.. İnkübasyon sonrası tüpler 11500 g'de 5 dk santrifüj edilip süpernatant temiz tüplere aktarılmıştır. Kalan pellet üzerine 0,5 ml NaOH eklenerek ve tekrar santrifüj edildikten sonra elde edilen süpernatant bir önceki ile birleştirilmiştir. Daha sonra 300 µl % 32'lik HCl eklenmiş ve 4 saat boyunca 4 °C'de çalkalayıcıda tutulmuştur. İnkübasyon sonunda santrifüj yapıp süpernatant uzaklaştırılmış ve kalan pellet 1ml 0, 5 M NaOH ile çözündürülmüştür. Ligninin miktar tayini, uygun seyreltmeden sonra 280 nm'de absorbans ölçülerek gerçekleştirilir ve mg lignin g⁻¹ yaş ağırlık olarak ifade edilmiştir (Schenk ve Schikora, 2015a).

3.6. Gen İfadelerinin Belirlenmesi

3.6.1. Ksiloglukan endo- β -transglukosilazlar/hidrolaz (*GmXTH3*), Expansin (*GmEXPA2*) ve WAK (*WAKS4*) genlerinin ifadelerinin belirlenmesi

Tuz ve kuraklık stresi koşulları altında soya yapraklarında hücre duvarına lokalize *GmXTH3*, *GmEXPA2* ve *WAKS4* genlerinin 5. ve 10. günlerde ifadesini belirlemek amacıyla RT-qPCR yapılmıştır. RNA izolasyonuna başlamadan önce kullanılacak olan saf su, porselen havanlar, mikrosantrifüj tüpler, pipet uçları, pensler ve diğer tüm malzemeler 2 kere otoklavlanarak steril edilmiştir. Porselen havan ve mikrosantrifüj tüpler kullanılmadan önce DEPC water ile silinerek, sıvı azot ile muamele edilmiştir. RNA izolasyonu, QIAGEN RNeasy Plant Mini Kit kullanılarak yapılmıştır. Bir mikrogram RNA alınarak iScript™ cDNA Synthesis Kit (Biorad) kullanılarak Tablo 3.1’de bileşenler hazırlanarak cDNA sentezi kitinin protokolüne (Tablo 3.1) uygun olarak yapılmıştır.

Tablo 3.1 Ataem 7 çeşidi Soya bitkisi (*Glycine max* L.)’de Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde gen analizlerinde kullanılan c DNA sentezi kitinin protokolü ve kullanılan PCR koşulları

Bileşenler		Reaksiyon hacmi, μ l	
5x iScriptReaksiyon mix		4	
İscript Reverse Traskriptaz		1	
Nükleaz fere su		X	
RNA template (1 μ g)		X	
Total hacim		20	
c DNA sentez için kullanılan PCR koşulları			
Reaksiyon basamağı	Sıcaklık	Süre	
Ön sıcaklık	25	5	
Reverse Transkripsiyon	46	20	
RT inaktivasyon	95	1	
Store	4	süresiz	

RT-qPCR SsoAdvanced™ Universal SYBR® Green Supermix (Biorad) kullanılarak yapılmıştır. 1 μ l cDNA template olarak kullanılmış ve tüm örnekler 3 tekerrürlü olarak hazırlanmıştır. Çalışmada gen ifadesinin belirlenebilmesi için soya actin 1 geni internal kontrol olarak kullanılmıştır. Aktin geni primerleri *GmXTH3*, *GmEXPA2* ve *WAKS4* qPCR primerleri Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.2 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max* L.)’de Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmXTH3*, *GmEXPA2* ve *WAKS4* gen analizlerinde kullanılan QPCR primerleri

Primer adı	Primer dizisi	TM	GC içeriği %	Amplikon büyüklüğü	Phytozome Gen Erişim numarası
Expa2 F	TGCATGTGCGCCTTGATTCT	60.96	50.00	74	Glyma.04G222100
Expa2 R	TCTCAGGTCTAAAGAGAGAAGCC	58.98	47.83		
XTH3 F	ACTACTGCAACGATCTTAAGCGA	66	43	70	Glyma.11G253900
XTH3 R	GGTCTGAAGTCTCAGCGCC	68	63		
WAK F	TGCACCGGTGTTTGGTCAAG	61.38	55	70	Glyma.09G027500
WAK R	CCACTTTATACAACAACCATCGACA	59.59	40		
Actin F:	GGCCGTGATTTAACGGAGTA	64	50	113	NM_001358096.1
Actin R:	TGTCCGTCAGGCAATTCATA	64	45		

cDNA konsantrasyonu ve yapılan RTqPCR çalışmasının güvenilirliğini belirlemek amacıyla PCR standartları oluşturulmuştur. Yapılan tüm QPCR işlemleri üç teknik tekrar ile tekrarlanmıştır. PCR bileşenleri protokolü firmanın önerdiği Tablo 3.3’da gösterildiği gibi yapılmıştır.

Tablo 3.3 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max* L.)’de Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmXTH3*, *GmEXPA2* ve *WAKS4* gen analizlerinde kullanılan QPCR bileşenleri ve uygulanan QPCR koşulları

QPCR sentezi reaksiyon bileşenleri	
Bileşenler	Reaksiyon hacmi (µl)
SsoAdvanced Universal SYBR green süper Mix	10
Forwar Primer (10 uM)	0,5
Reverse Primer (10 uM)	0,5
cDNA	1
Nükelaz free su	8
Total hacim	20

QPCR koşulları (Biorad CFX96)			
Bileşenler	Sıcaklık °C	Süre dakika	Döngü
Polimeraz aktivasyon sıcaklığı	98	30 sn	1
Denatürasyon	98	15 sn	40
Bağlanma/ uzama	60	30 sn	
Melt curve analiz	65-95 (0,5 derece artırılır her 5 döngüde)	--	
Total hacim	4	süresiz	

Gen analizleri için ETKA Biyoteknoloji laboratuvarından hizmet alımı yapılmıştır.

3.7. İstatistiksel Analiz

Çalışmadaki sürekli değişkenler için tanımlayıcı istatistikler; ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum olarak ifade edilmiştir. Parametrik Olmayan İstatistiksel Teknikler"den ikili karşılaştırmalar için "Mann Whitney-U testi" ve çoklu karşılaştırmalar içinde "Kruskal Wallis testi" iki yönlü ANOVA testi uygulanmıştır. Kruskal-Wallis testini takiben, farklı grupları belirlemede ise "Bonferroni düzeltmeli Post-Hoc Testi" kullanılmıştır. Gruplarda ayrı olmak üzere ölçümlerin "5. ve 10. gün periyotları arası" ölçümlerin karşılaştırılmasında ise "Wilcoxon testi" kullanılmıştır. Hesaplamalarda istatistik anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak alınmıştır.

Korelasyon analizinde elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmanın örnek büyüklüğünü hesaplamada, her değişken için Power (Testin Gücü) en az % 80 ve Tip-1 hata % 5 alınarak belirlenmiştir. Çalışmadaki sürekli ölçümlerin normal dağılıp dağılmadığına Shapiro-Wilk ($n < 50$) ve Skewness-Kurtosis testleri ile bakılmış ve ölçümler normal dağıldığından dolayı Parametrik testler uygulanmıştır. Ölçümler arası ilişkiyi belirlemede Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda istatistik anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak alınmış ve analizler için SPSS (IBM SPSS for Windows, ver. 26) istatistik paket programı kullanılmıştır.

İstatistik alaniz için İSTATİSTİK ANALİZ MERKEZİ'nden destek alınmıştır. Ayrıca örneklemelerin hasaslık derecesini daha ayrıntılı göstermek amacıyla Fisher LSD testi tarafımdan yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Büyüme parametreleri sonuçları

4.1.1. Kök ve gövde uzunluklar

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*)'da 10 gün süre ile Azelaik asit uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. gün hasat yapılmış olan bitkilerin kök gövde uzunluklarında (cm) meydana gelen değişimler Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde kök ve gövde uzunluklarında (cm) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

UZUNLUK (cm)				
	5.gün		10. gün	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde
K	16,5	26,8	18,4 ^c	34
A1	22,8	25,2	25,2 ^a	30,6
A2	23	29,2	21,2 ^b	32,8
T	19,8	25,2	14,2 ^b	28,8
T+A1	19	28,3	20,6 ^a	30,6
T+A2	24,8	23,8	20,2	27,2
P	13,6	26	14,6	40
P+A1	17	29,4	25,2	37,2
P+A2	17,4	28	22,2	36,4
T+P	16,6	22,8 ^a	19,8	36,4
T+P+A1	17,6	26,6 ^c	18	29,4
T+P+A2	15	23,2 ^a	19,2	32,6

Çalışmada kök uzunluğunda kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5. günde değişme gözlenmezken, 10. günde % 36, 9 oranında artış olduğu belirlenmiştir. AzA₂ (24ppm) uygulaması ile 5. günde değişmezken, 10. günde % 15, 2 oranında artmıştır. Gövde uzunluğu değerlerinde; AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

Kök ve gövde uzunlukları sonuçlarında; Tuz (250 mM) uygulamasına göre Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde değişimin olmadığı belirlenmiştir. 10. Günde ise Tuz+AzA₁ uygulaması ile % 15.2 oranında artış olduğu istatistik analiz sonucuna göre belirlenmiştir. Ayrıca PEG (% 15) uygulamasına göre; PEG+AzA₁ (12 ppm) ve PEG+AzA₂ (24ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı gözlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre kök uzunluğu değerlerinde; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca gövde uzunluğu; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 16, 6 oranında artmıştır. Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. ve 10. günde ise her iki konsantrasyonda değişmemiştir.

4.1.2. Yaş ve kuru ağırlık

4.1.2.1. Kuru ağırlık

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*)’da 10 gün süre ile Azelaikasit uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10.günde hasat yapılmış olan bitkilerin kuru ağırlıklarda meydana gelen değişimler Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde kök ve gövdelerinde kuru ağırlıklarında (gr) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG.), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)

KURU AĞIRLIK (gr)				
	5. gün		10. gün	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde
K	0,018	0,126	0,02	0,211
A1	0,017	0,147	0,014	0,168
A2	0,016	0,151	0,018	0,177
T	0,013	0,122	0,01	0,146
T+A1	0,017	0,141	0,014	0,15
T+A2	0,019	0,173	0,015	0,208
P	0,013	0,126	0,014	0,193 ^b
P+A1	0,015	0,14	0,019	0,254 ^a
P+A2	0,018	0,158	0,025	0,246
T+P	0,013	0,128	0,019	0,147
T+P+A1	0,018	0,144	0,02	0,173
T+P+A2	0,015	0,138	0,02	0,179

Çalışmada kök ve gövde kuru ağırlıkları sonuçlarında; kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir. Ayrıca Tuz (250 mM) uygulamasına göre Tuz+AzA₁ (12 ppm) ve Tuz+AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile kök ve gövde kuru ağırlıklarında 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı gözlenmiştir.

Kök ve gövde kuru ağırlıkları değerlendirildiğinde; PEG (% 15) uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde değişmezken 10. günde PEG+AzA₂ uygulamalı ile % 37,7 oranında artma olduğu istatistik analiz sonucuna göre belirlenmiştir.

4.1.2.2. Yaş ağırlık

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max* L.)’da 10 gün süre ile Azelaikasıit uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. günde hasat yapılmış olan bitkilerin yaş ağırlıklarda meydana gelen değişimler Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaikasıit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde kök ve gövdelerinde yaş ağırlıklarında (gr) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasıit 12 ppm), A₂ (Azelaikasıit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasıit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasıit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasıit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasıit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasıit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasıit 24 ppm)

YAŞ AĞIRLIK (gr)				
	5.gün		10. gün	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde
K	0,255 ^c	1,266 ^b	0,27	1,635
A1	0,368 ^b	1,508 ^a	0,228	1,309
A2	0,405 ^a	1,745 ^a	0,258	1,764
T	0,356	1,331	0,117	1,174
T+A1	0,304	1,671	0,195	1,309
T+A2	0,426	1,38	0,202	1,402
P	0,214 ^c	1,563	0,163	1,517
P+A1	0,276 ^b	1,578	0,264	1,873
P+A2	0,359 ^a	1,762	0,186	1,882
T+P	0,236 ^b	1,333	0,189	1,461
T+P+A1	0,219 ^c	1,295	0,205	1,669
T+P+A2	0,306 ^a	1,337	0,288	1,502

Kök yaş ağırlığında; kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5. günde % 44, 3 oranında artış olurken; 10. günde değişimin olmadığı gözlenmiştir. AzA₂ (24ppm) uygulaması ile 5. günde % 58, 8 oranında artarken; 10. günde ise değişim olmadığı belirlenmiştir. Diğer yandan gövde yaş ağırlıkları; kontrol grubuna göre AzA₁(12 ppm) uygulaması ile 5. günde % 16 oranında artmış, 10. günde değişimin olmadığı gözlenmiştir. AzA₂ (24ppm) uygulaması ile 5. günde % 37, 8 oranında artarken; 10. günde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir. Kök ve gövde yaş ağırlıkları sonuçlarında; tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı gözlenmiştir.

Kök yaş ağırlığı; PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulamaları ile 5. günde % 28, 9 oranında artarken; 10. günde bu değerde değişimin olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca PEG+AzA₂ uygulaması ise 5. günde % 67,7 oranında artarken; 10. günde değişimin olmadığı belirlenmiştir. Gövde yaş ağırlığı sonuçlarında; PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5 ve 10. günlerde değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

Kök yaş ağırlığı; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulamaları ile 5. günde % 7,2 oranında azalırken; 10. günde ise değişim göstermediği gözlenmiştir. Bununla birlikte Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 29, 6 oranında artarken; 10. günde değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Gövde yaş ağırlığı değerlendirildiğinde; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG (AzA₁ ve AzA₂) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmemiştir.

4.2. Fizyolojik analizler

4.2.1. Bağlı su içeriği (BSİ)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*)’da 10 gün süre ile Azelaikasit uygulamasını takiben 5. ve 10.günde hasatı yapılmış olan bitkilerin bağlı su içeriği (BSİ)’nde meydana gelen değişimler Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

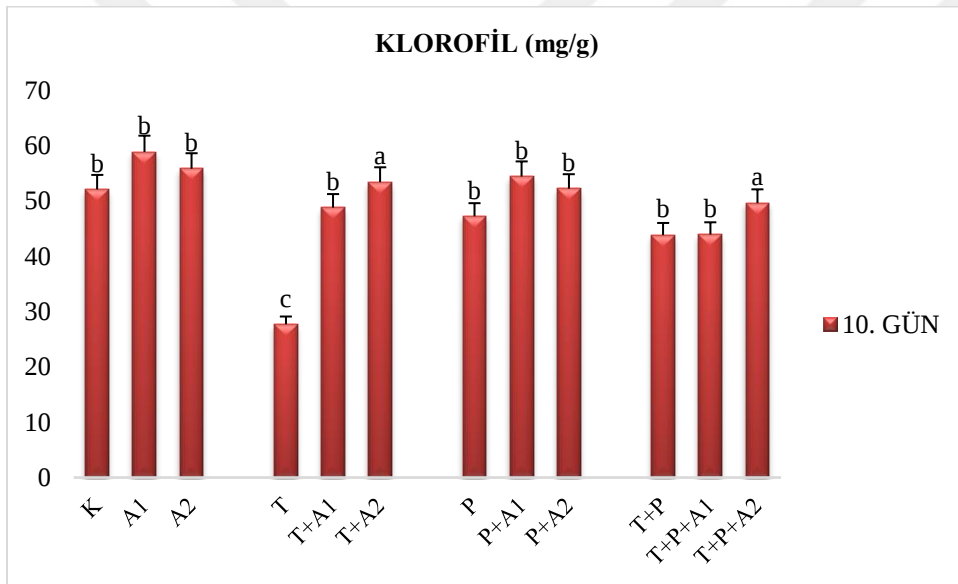
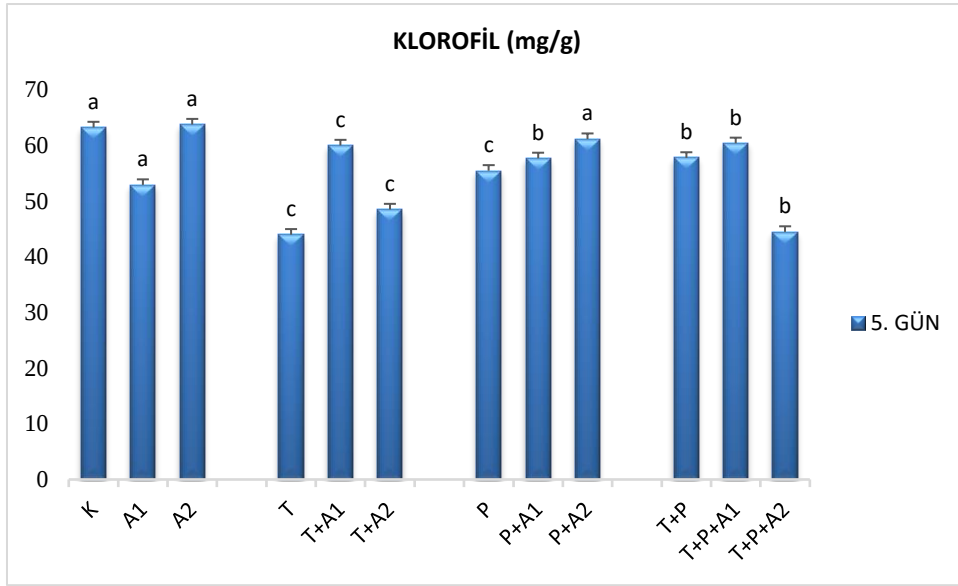
Tablo 4.4 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’de Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde BSİ’nde gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

BAĞIL SU İÇERİĞİ (%)		
	5.gün	10. gün
K	76, 668	85,304
A1	77, 227	81,984
A2	76, 887	86,009
T	69, 442	79,559
T+A1	73, 461	82,263
T+A2	74, 689	86,970
P	72, 638	87, 028
P+A1	78, 151	87, 439
P+A2	70, 519	85, 346
T+P	72, 536	77, 027
T+P+A1	73, 611	84, 843
T+P+A2	75, 162	81, 901

Çalışmada bağıl su içeriğinin; kontrol gruplarına göre AzA₁(12 ppm) ve AzA₂ (24ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişim göstermediği istatistiksel olarak istatistik analiz tespit edilmiştir. Ayrıca Tuz uygulamasına göre 5. ve 10. günlerde her iki konsantrasyonda (Tuz+AzA₁, AzA₂)’da değişimin olmadığı belirlenmiştir. BSİ değeri PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5 ve 10. günlerde değişmemiştir. Ayrıca Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+ PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.

4.2.2. Klorofil miktarı

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max* L.) bitkisine 10 gün süre ile Azelaik asit uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin klorofil miktarında meydana gelen değişimler Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil. 4.1 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max* L.)’de tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10.günde klorofil miktarında gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Klorofil miktarının; kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

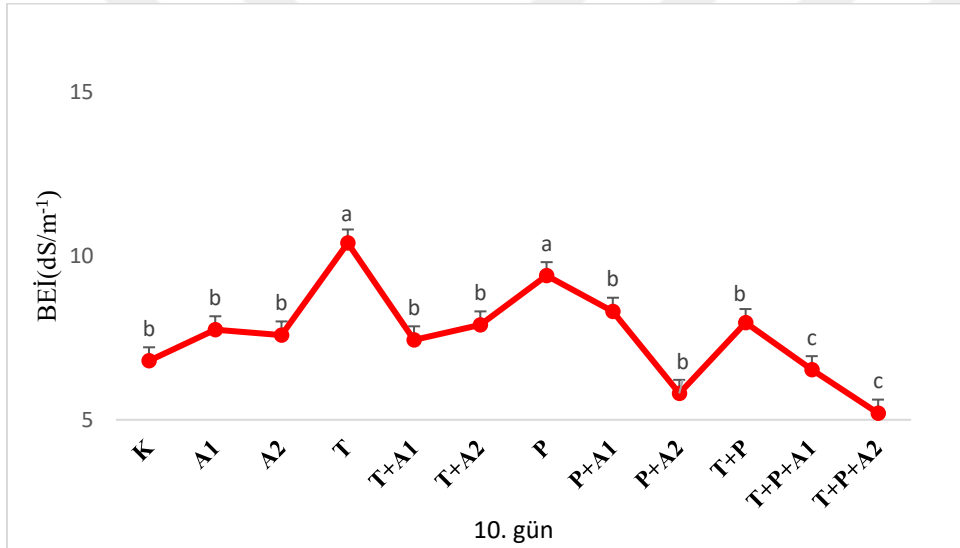
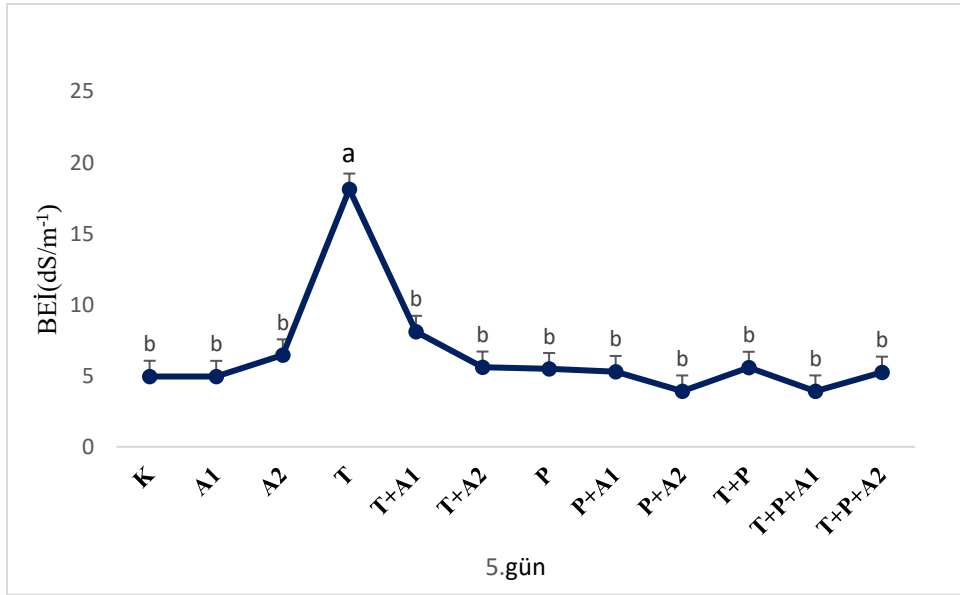
Çalışmada klorofil miktarında; tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişim gözlenmezken; 10. günde % 76 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmezken; 10. günde % 92, 7 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

Klorofil miktarı; PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 4 oranında artarken; 10. günde değişmemiştir. PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 10, 2 oranında artarken; 10. günde ise değişimin olmadığı gözlenmiştir.

Klorofil miktarı; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 4, 5 oranında artarken; 10. günde değişmemiştir. Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmezken; 10. günde % 13, 2 oranında artma olduğu belirlenmiştir.

4.2.3. Bağlı elektriksel iletkenlik (BEİ)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaikasit uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin Bağlı Elektriksel İletkenliklerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Bağlı Elektriksel İletkenlik (BEİ)'te gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

İstatistik analiz sonucuna göre bağıl elektriksel iletkenlikte kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı belirlenmiştir.

Bağıl elektriksel iletkenlikte; Tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 55, 2 oranında azalma, 10. günde de % 28, 4 oranında azalmıştır. Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 69, 1 oranında azalma, 10. günde de % 24 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

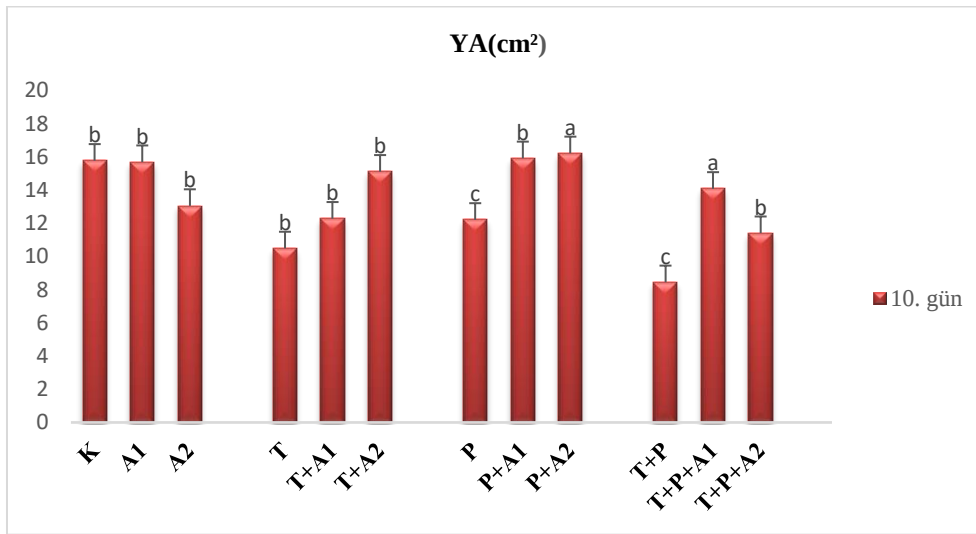
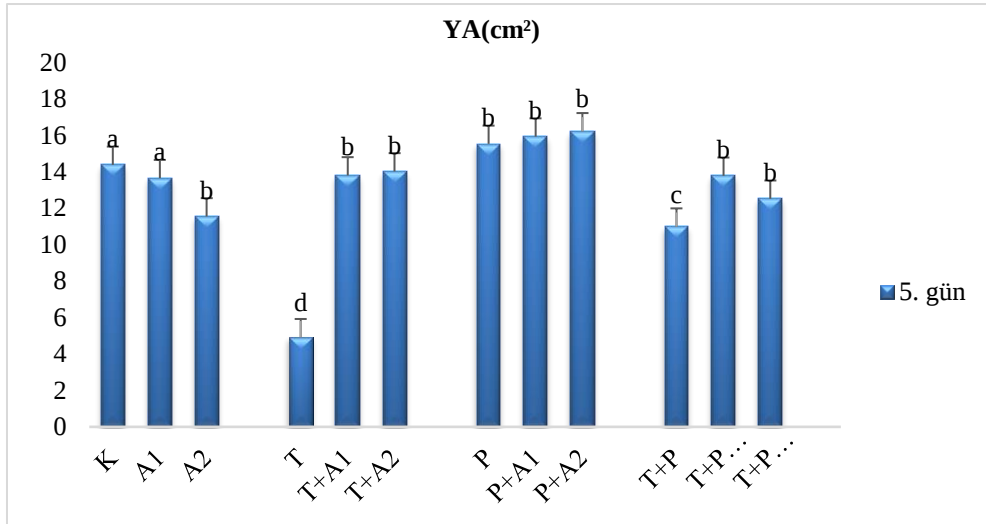
Çalışmada BEİ sonuçlarında PEG uygulamasına göre her iki konsantrasyon da (PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂) 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı gözlenmiştir.

BEİ sonuçları değerlendirildiğinde Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişim gözlenmezken 10. günde % 18 oranında azalmıştır. Ayrıca Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişimin olmadığı, 10. günde ise % 34, 6 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

4.2.4. Yaprak alanı (YA)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaikasit uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yaprak alanında meydana gelen değişimler Şekil 4.3’de gösterilmiştir.





Şekil 4.3 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5 ve 10. günde Yaprak Alanı (YA)’nda (cm²) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Yaprak alanı sonuçlarında kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

Yaprak alanı tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde 2, 8 kat artarken; 10. günde ise değişmemiştir. Ayrıca Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde 2, 8 kat artarken; 10. günde ise değişimin olmadığı belirlenmiştir.

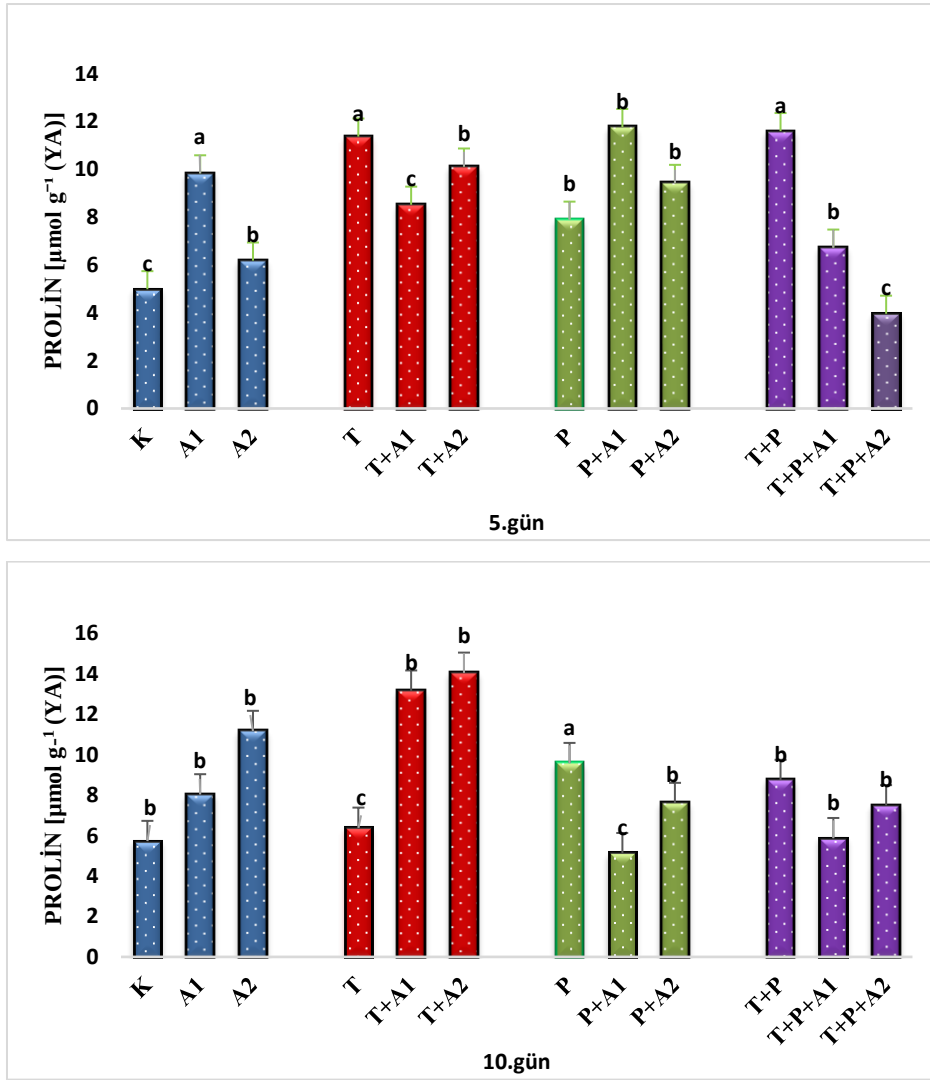
Çalışmada YA sonuçları PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişmezken; 10. günde % 30, 3 artma olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmemiş 10. günde ise % 32, 8 oranında artış olduğu tespit edilmiştir.

YA değerleri incelendiğinde; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişmezken; 10. günde % 66, 6 oranında artma olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmezken; 10. günde % 35 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

4.3. Aktif oksijen türleri (AOT)

4.3.1. Prolin miktarı

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaikasit uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında prolin miktarında meydana gelen değişimler Şekil 4.4’de gösterilmiştir



Şekil 4.4 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde prolin miktarında (nmol/g⁻¹ YA) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Prolin miktarı kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5. günde 1,9 kat artarken, 10. günde değişmemiştir. AzA₂ (24 ppm) uygulaması ile 5. günde 1, 2 kat artarken, 10. günde ise değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

Prolin miktarı sonuçları tuz uygulanan gruplara göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde 1, 3 kat azalırken; 10. günde 2, 2 kat artmıştır. Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde 1, 1 kat azalırken, 10. günde 2, 3 kat arttığı tespit edilmiştir.

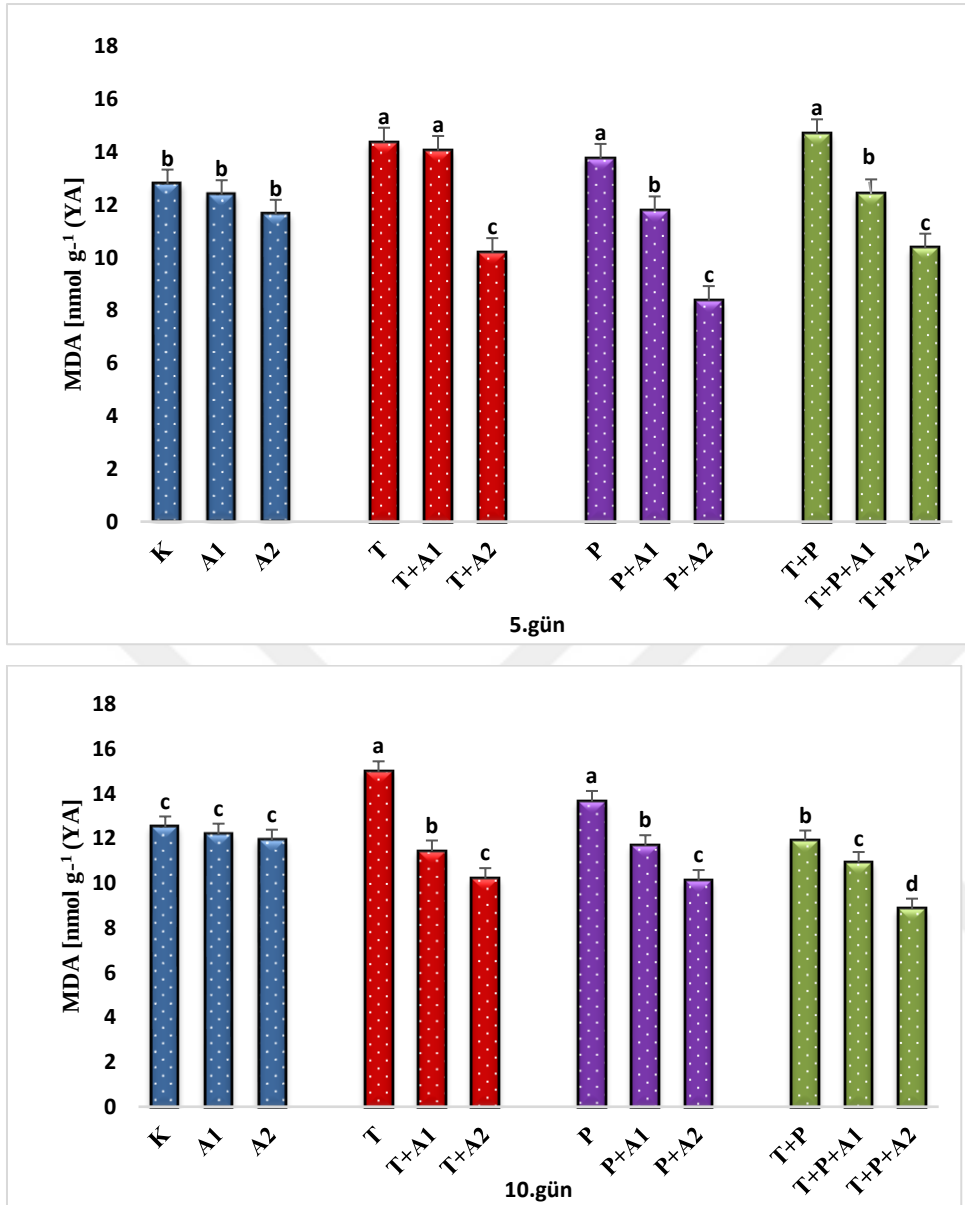
Elde edilen sonuçlara göre prolin miktarıPEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişmezken, 10. günde 1, 8 kat azalmıştır. Ayrıca PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmezken; 10. günde 1, 2 kat azalma olduğu belirlenmiştir.

Prolin miktarında Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde 1,73 kat azalma olmuştur. Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde 2, 9 kat azalırken, 10. günde her iki uygulama (Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+PEG+AzA₂) ile değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

4.3.2. Lipit peroksidasyon (MDA) miktarı

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında lipit peroksidasyon ürünü (malondialdehid)' da meydana gelen değişimler şekil 4.5'de gösterilmiştir





Şekil 4.5 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm) + PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Malondialdehid (MDA) miktarında (nmol/g⁻¹ YA) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A1 (Azelaik asit 12 ppm), A2 (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A1 (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A2 (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A1 (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A2 (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A1 (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A2 (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde malondialdehid miktarının kontrol uygulamasına göre AzA (12, 24 ppm) uygulamaları 5. ve 10. günlerde değişmediği istatistik analiz sonucuna göre belirlenmiştir.

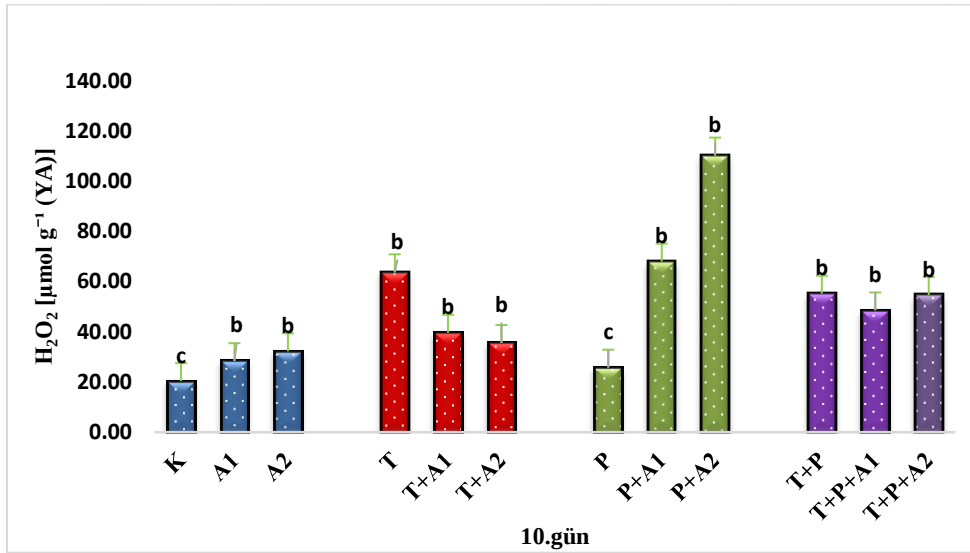
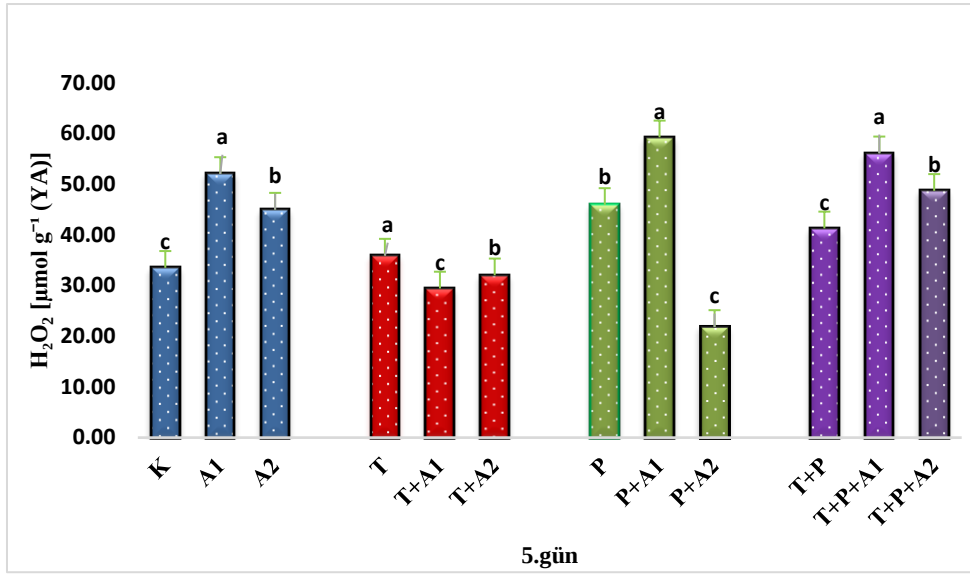
MDA miktarı tuz uygulamasına (250 mM) göre Tuz+AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5.günde değişmezken; 10. günde % 23, 6 oranında azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca Tuz+AzA₂ (24ppm) uygulaması ile 5. günde % 29, 10. günde % 31, 9 oranında azalmış olduğu tespit edilmiştir.

MDA miktarının PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. ve 10. günlerde sırasıyla % 14, 4 ve 14, 5 oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 39, 1 oranında azalırken; 10. günde % 25, 9 oranında azaltmıştır.

MDA miktarı; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. ve 10. günde sırasıyla % 15, 5 ve 8, 08 oranlarında azalma gözlenmiştir. Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 29, 4 oranında azalmış, bu oran 10. günde ise % 25, 9'dur.

4.3.3. Hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarı

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max* L.) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. gün hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarın da meydana gelen değişimler Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil. 4.6 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Hidrojen Peroksit (H₂O₂) miktarında (nmol/g⁻¹ YA) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Çalışmada H₂O₂ miktarında kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5. günde % 57.5 oranında artma, 10. günde % 40 oranında artmıştır. AzA₂ (24 ppm) uygulaması ile 5. günde % 34.3 oranında artmış, 10. günde ise % 58, 2 oranında artma olduğu istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

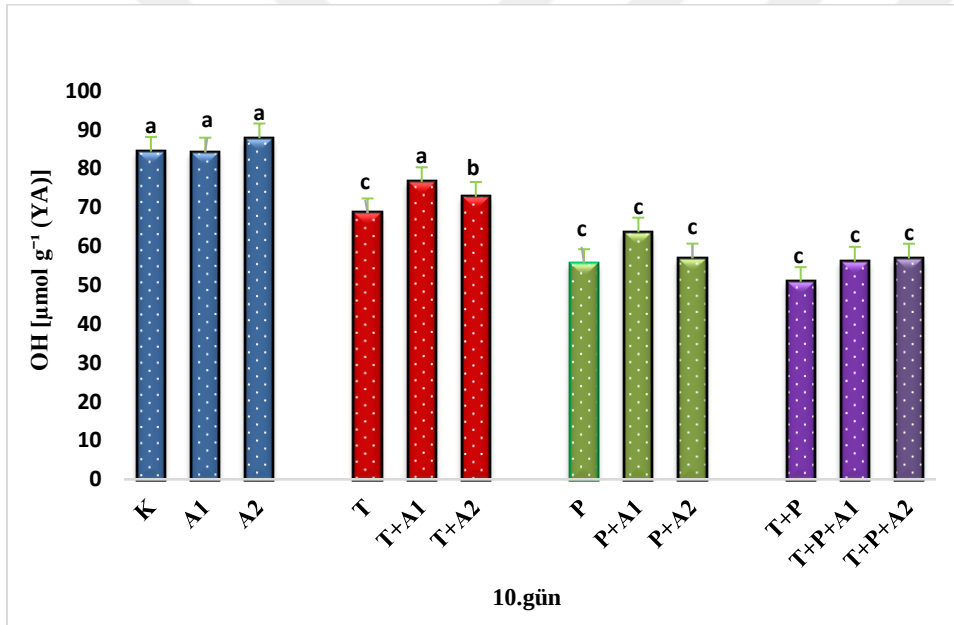
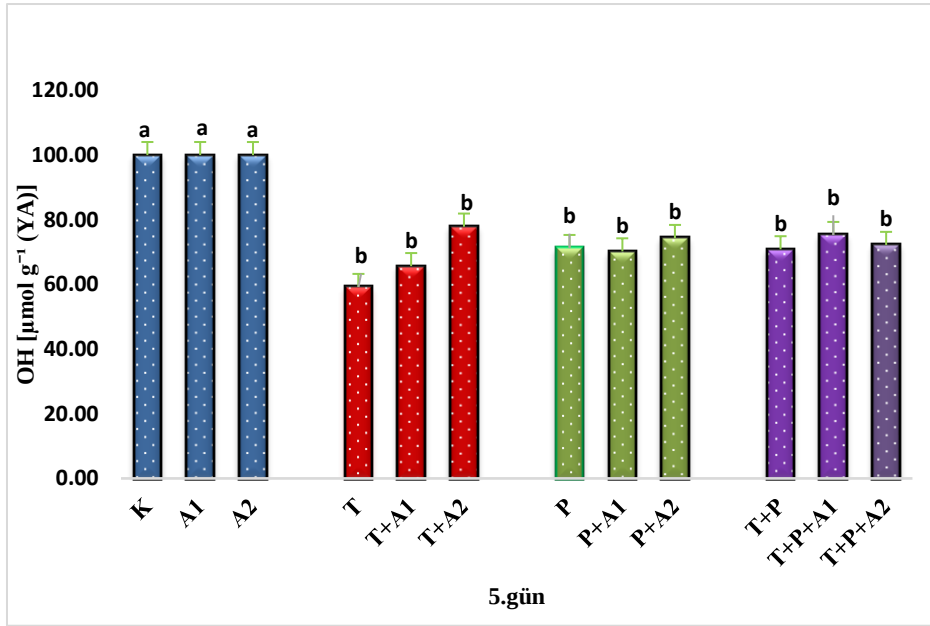
Ayrıca H₂O₂ miktarı; tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 18 oranında azalırken; 10. günde ise değişmemiştir. Diğer yandan Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 10, 3 oranında azalırken, 10. günde değişimin olmadığı gözlenmiştir.

H₂O₂ miktarı sonuçları incelendiğinde; PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde 1, 3 kat artmış, 10. günde ise 2, 7 kat artma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde 2,1 kat azalırken; 10. günde ise 4,4 kat artma olduğu belirlenmiştir. H₂O₂ miktarının; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 36 oranında artarken, 10. günde değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 17, 9 oranında artarken; 10. günde değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

4.3.4. Hidroksil radikal (OH[·]) savurma kapasitesi

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında hidroksil radikal savurma kapasitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.7’de gösterilmiştir.





Şekil 4.7 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250mM)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Hidroksil Radikal savurma Kapasitesi (OH[•])'nde (%) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

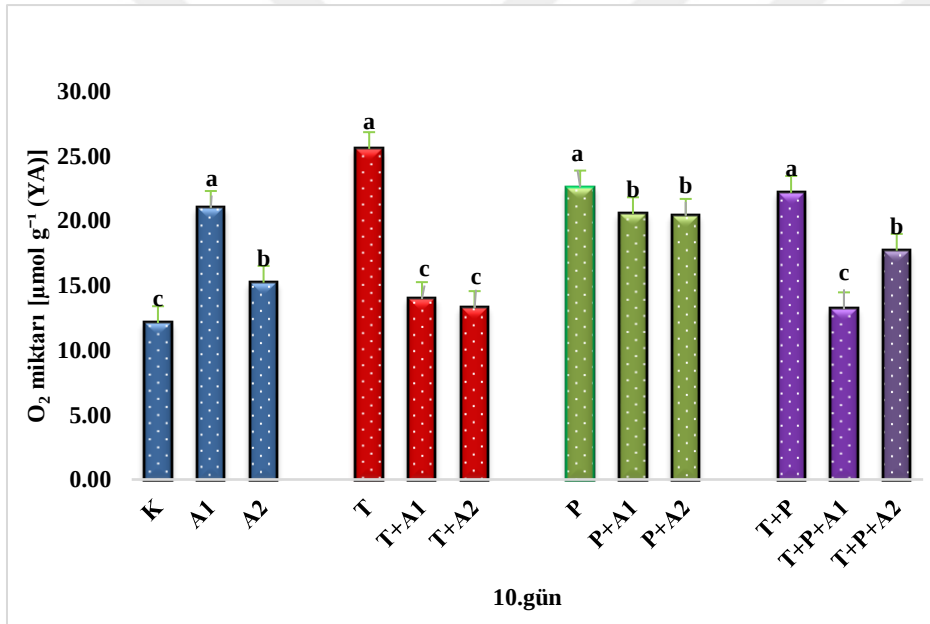
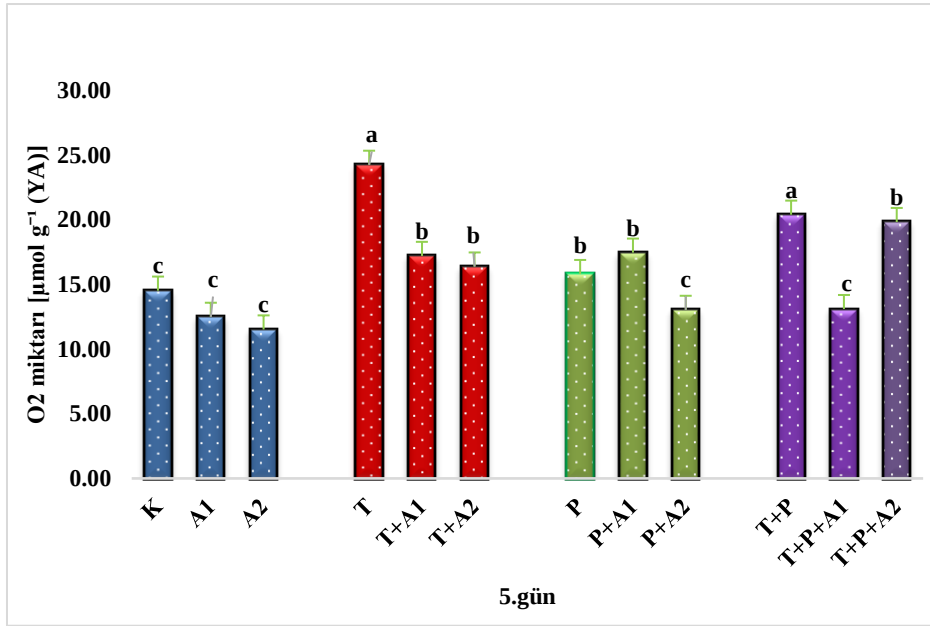
Çalışmada hidroksil radikal savurma kapasitesi değerleri incelendiğinde kontrol gruplarına göre AzA (12, 24 ppm) uygulaması ile 5 ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir. OH[•] savurma kapasitesinin; tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişmediği, 10. günde ise % 11, 7 oranında arttığı gözlenmiştir. Ayrıca Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmezken; 10. günde % 6, 1 oranında artma olduğu tespit edilmiştir. PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile

5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+ PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı belirlenmiştir.

4.3.5. Süperoksit radikal (O₂⁻) miktarı

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında Süperoksit Radikal miktarı (O₂⁻)’da meydana gelen değişimler Şekil 4.8’de gösterilmiştir.





Şekil 4.8 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Süperoksit Radikal ($O_2^{\cdot-}$) ($\mu\text{mol/g}^{-1}$ YA) Miktarında gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)

Çalışmada süperoksit radikal ($O_2^{\cdot-}$) miktarında; kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5. günde % 13, 9 oranında azalma, 10. günde ise 1, 7 kat artma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca AzA₂ (24 ppm) uygulaması ile 5. günde % 20, 6 oranında azalmış, 10. günde % 22 oranında azalma olduğu istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

O_2^- miktarı sonuçları incelendiğinde Tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 29 oranında azaldığı, 10. günde % 45, 3 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 32, 4 azalma, 10. günde ise % 48, 1 oranında azalmış olduğu tespit edilmiştir.

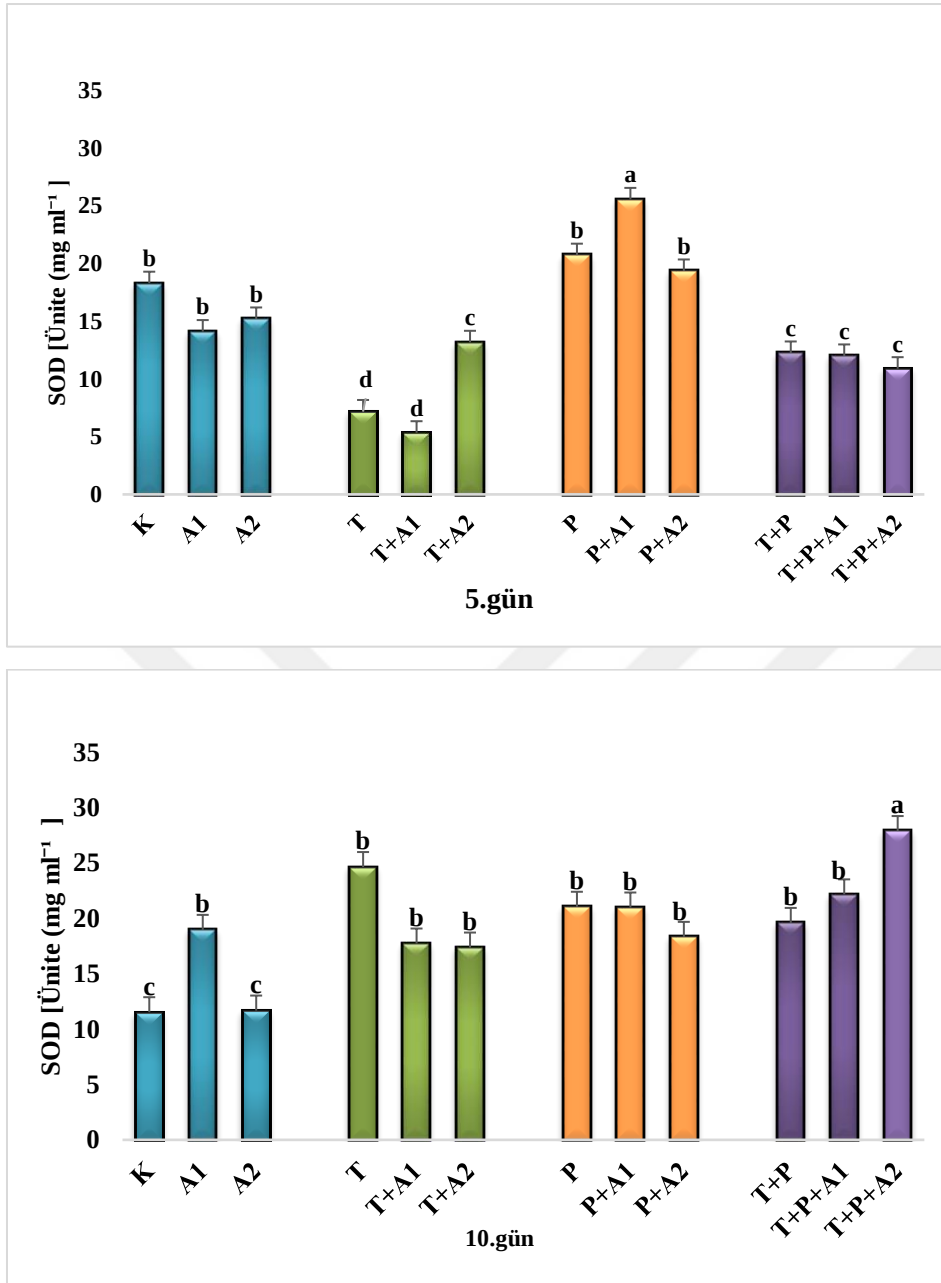
Çalışmada O_2^- miktarı PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 10, 4 oranında artarken; 10. günde % 9, 13 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 17, 5 oranında azalmış, 10. günde ise % 9, 7 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre O_2^- miktarında; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 35, 2 oranında azalma, 10. günde ise % 40, 5 oranında azalmıştır. Ayrıca Tuz+ PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 2, 02 oranında azalmış; 10. günde ise % 20, 1 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

4.4. Antioksidan enzimler

4.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaikasıit uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında SOD enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde SOD enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Çalışmada SOD enzim aktivitesi AzA₁(12 ppm) uygulaması ile kontrol gruplarına göre 5. günde değişmezken, 10. günde ise % 64,4 oranında artmıştır. AzA₂ (24 ppm) uygulaması ile 5. ve 10. günde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

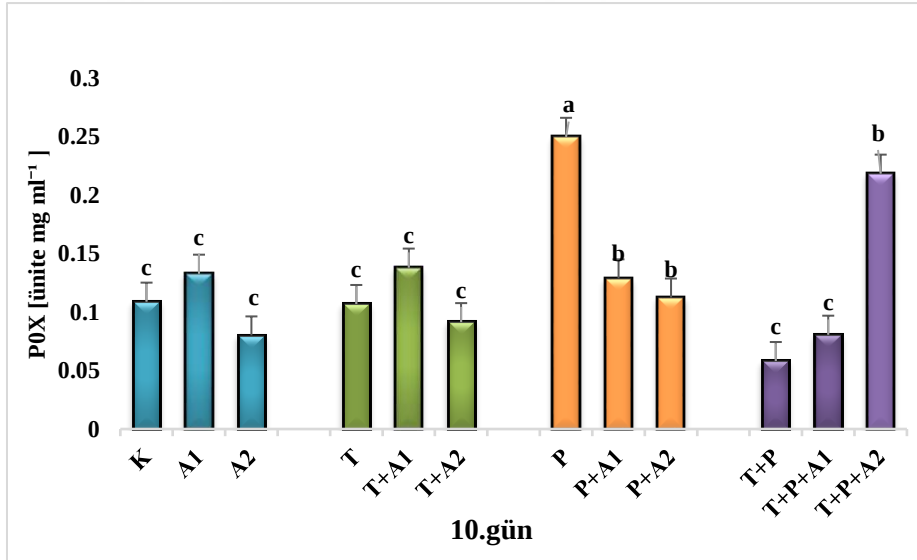
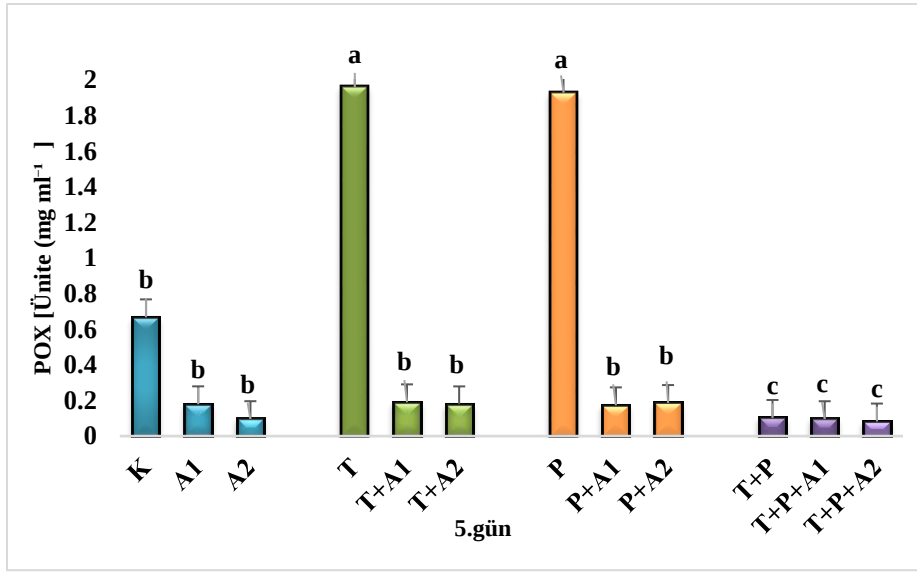
SOD enzim aktivitesi tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. ve 10. günde değişmemiştir. Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 83,2 oranında artarken, 10. günde değişmemiş olduğu belirlenmiştir.

SOD enzim aktivitesi PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 23,3 oranında artarken, 10. günde ise değişmemiştir. Ayrıca PEG+AzA₂ uygulaması ise 5 ve 10. günde değişim gözlenmemiştir.

SOD enzim aktivitesinin Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+ PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde değişmediği Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 10. günde % 42,3 oranında atmış olduğu tespit edilmiştir.

4.4.2. Peroksidaz (POX)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında POX enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.10'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*'de Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. Günde POX enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)

POX enzim aktivitesi sonuçlarında kontrol gruplarına göre AzA (12 ve 24 ppm) uygulamaları ile 5 ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre POX enzim aktivitesi Tuz gruplarına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde 10, 32 kat azalırken; 10. günde değişmemiştir. Ayrıca Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde 11, 5 kat azalırken; 10. günde değişmemiş olduğu tespit edilmiştir.

POX enzim aktivitesinde PEG+AzA₁ uygulaması PEG uygulamasına göre 5. günde % 91 oranında azalma, 10. günde % 50 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber

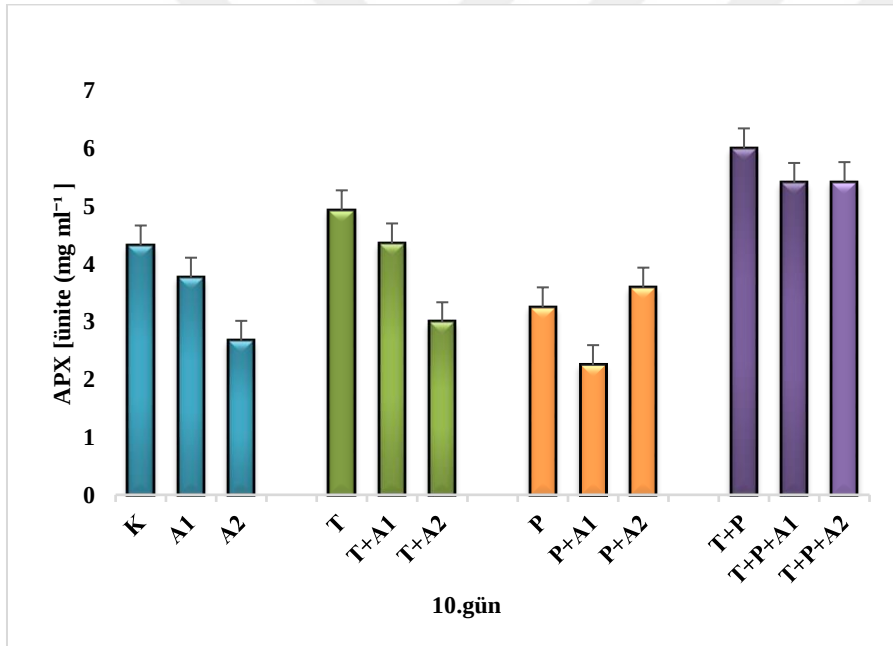
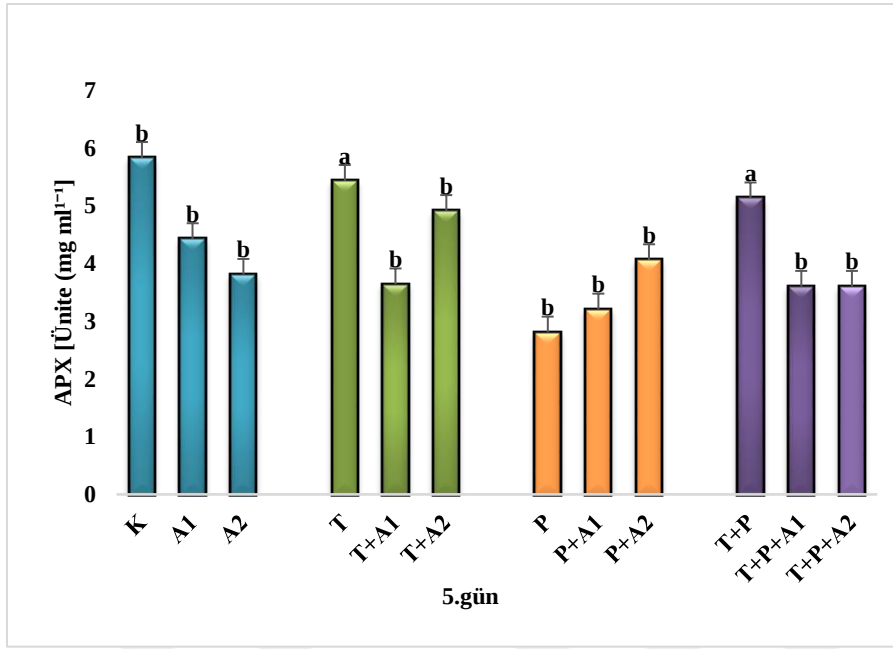
PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 90, 6 oranında azalma, 10. günde % 54, 1 oranında azalma olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada POX enzim aktivitesi Tuz+PEG gruplarına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. ve 10. günlerde değişmemiştir. Diğer yandan Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmezken 10. günde 4, 2 kat artış tespit edilmiştir.

4.4.3. Askorbat peroksidaz (APX)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max* L.) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında APX enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.11’de gösterilmiştir.





Şekil 4.11 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250Mm)+ PEG (% 15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde APX enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).

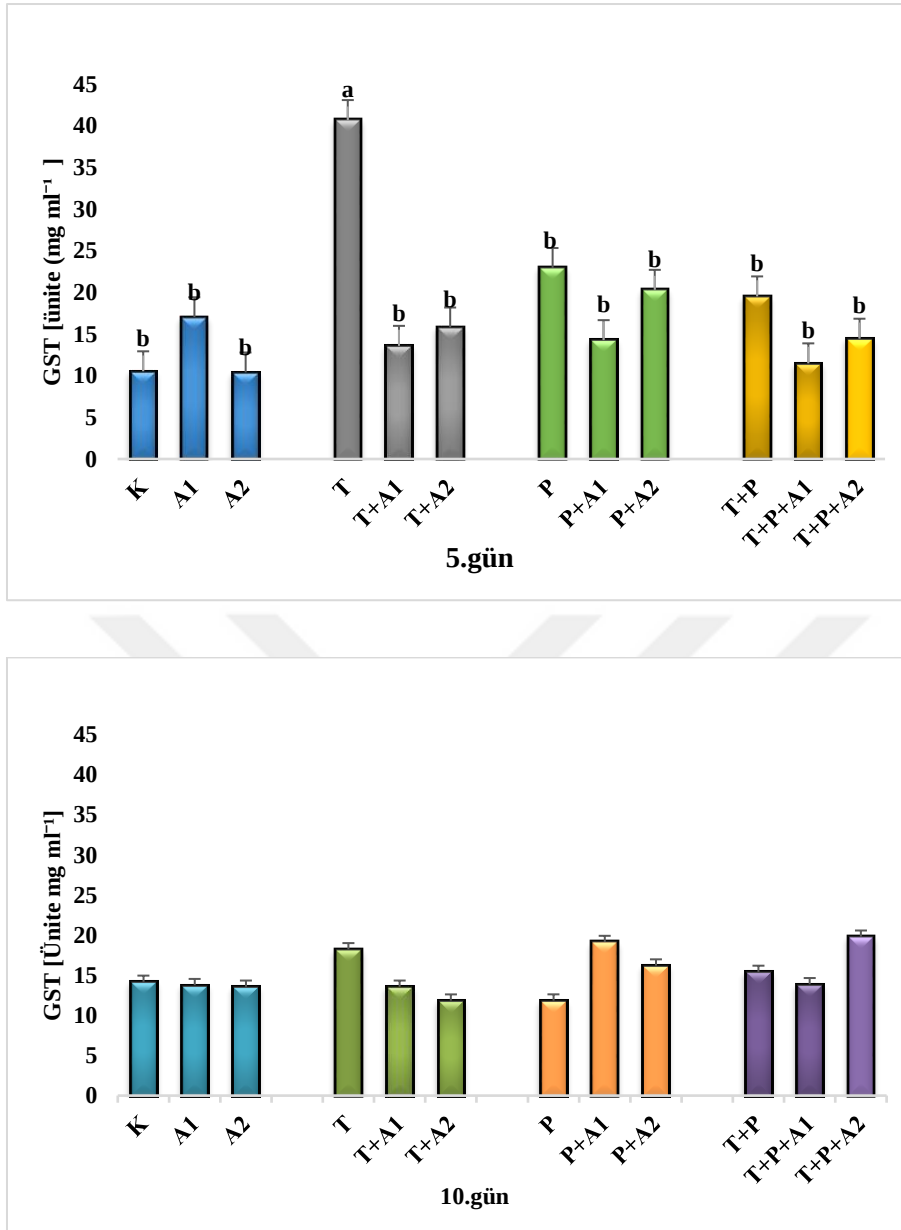
Çalışmada APX enzim aktivitesinde; kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

APX enzim aktivitesi sonuçlarında tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 32, 9 oranında azalma gözlenirken, 10. günde değişmemiştir. Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 9 oranında azalırken; 10. günde değişimin olmadığı gözlenmiştir. Diğer yandan PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişim olmadığı tespit edilmiştir.

APX enzim aktivitesi sonuçları değerlendirildiğinde Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile Tuz+PEG uygulamasına göre, 5. günde % 30 oranında azalırken; 10. günde değişmemiştir. Bununla birlikte Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 30 oranında azalma, 10. günde ise değişimin olmadığı belirlenmiştir.

4.4.4. Glutasyon -s transferaz (GST)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaikasit uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında GST enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde GST enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)

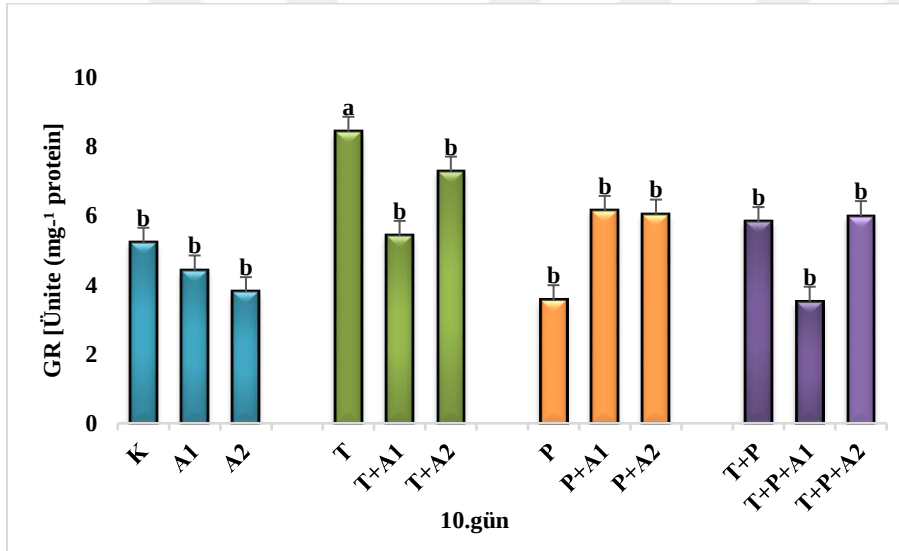
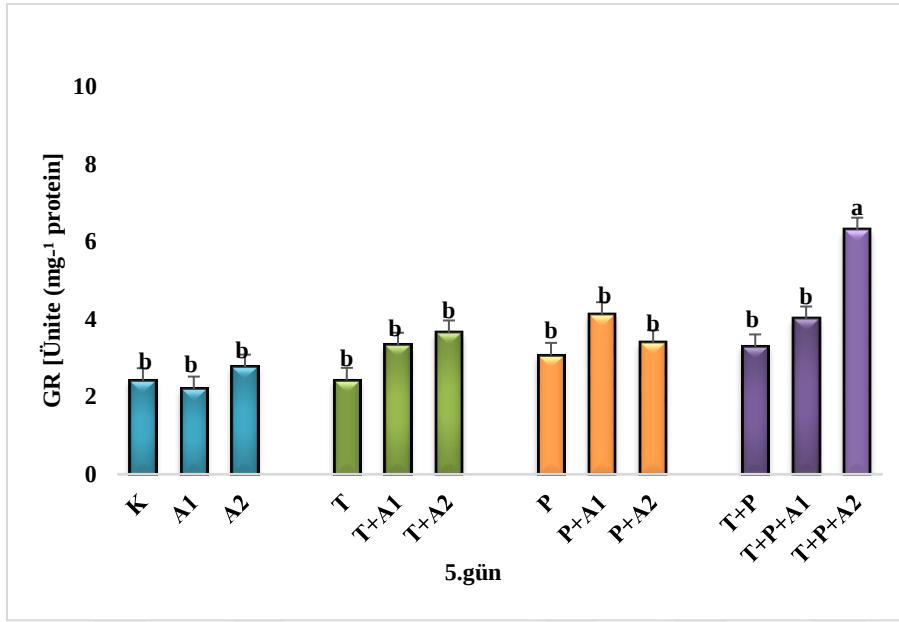
GST enzim aktivitesinde kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına tespit edilmiştir. Ayrıca Tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde % 66, 6 oranında azalırken; 10. günde değişmemiştir. Bununla birlikte tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 61, 2 oranında azalma, 10. günde ise değişimin olmadığı belirlenmiştir.

GST enzim aktivitesi sonuçları değerlendirildiğinde PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişim tespit edilmemiştir.

4.4.5. Glutasyon redüktaz (GR)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında GR enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.13’de gösterilmiştir.





Şekil 4.13 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde GR enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

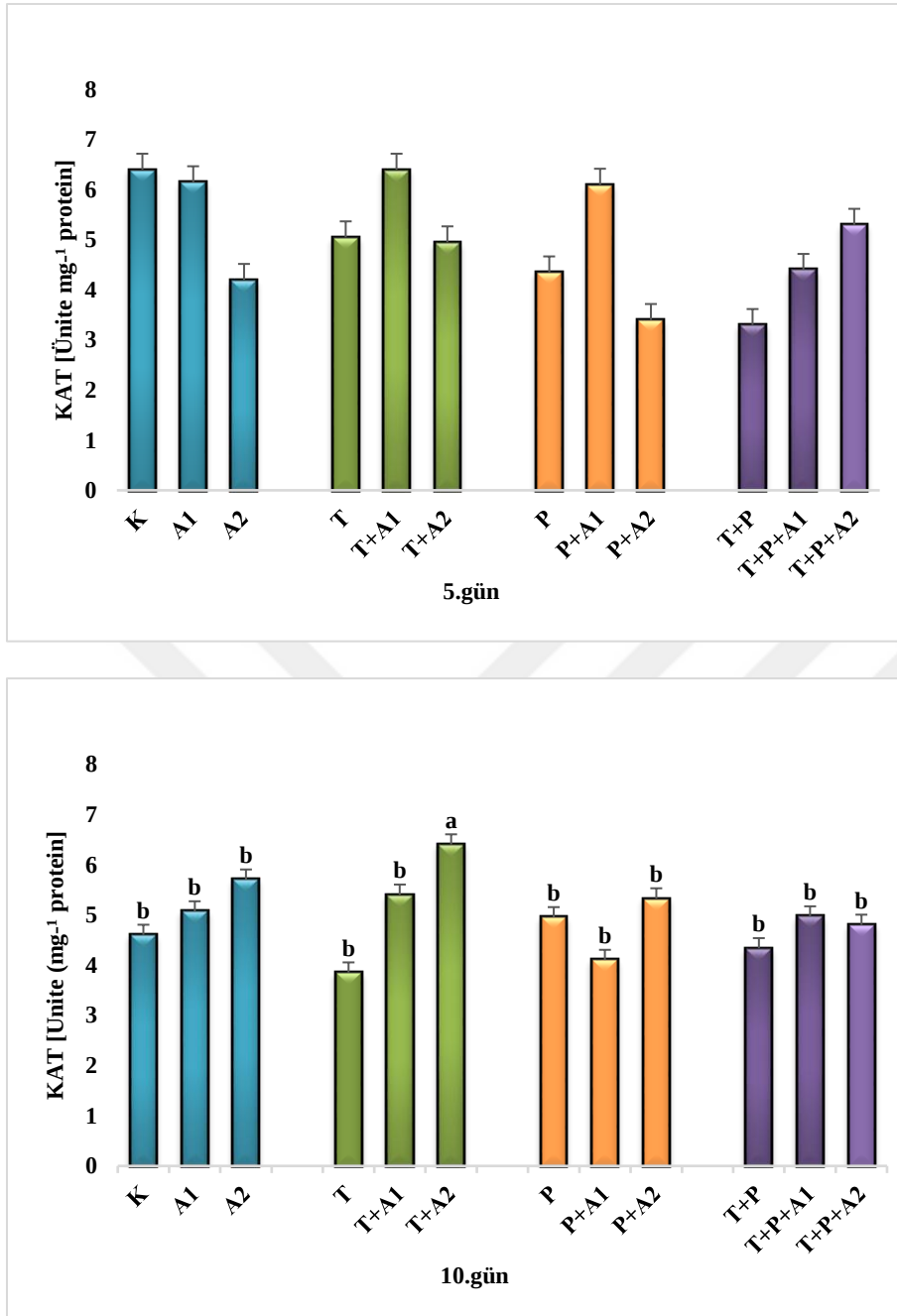
Elde edilen sonuçlara göre GR enzim aktivitesinde kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir. Benzer şekilde Tuz gruplarına göre Tuz+AzA₁ ile Tuz+AzA₂ uygulamaları ve PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde değişimin olmadığı tespit edilmiştir. 10. günde ise Tuz gruplarına göre Tuz+AzA₂ uygulaması ile % 14 oranında azalma olduğu istatistik analiz sonucuna göre belirlenmiştir.

GR enzim aktivitesinde sonuçları değerlendirildiğinde Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. ve 10. günlerde değişim gözlenmezken; Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde % 92 oranında artmıştır. 10. günde ise her iki uygulama (Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+ PEG+AzA₂) ile de değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

4.4.6. Katalaz (KAT)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında KAT enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.14’de gösterilmiştir.





Şekil 4.14 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250Mm)+ PEG (% 15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde KAT enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

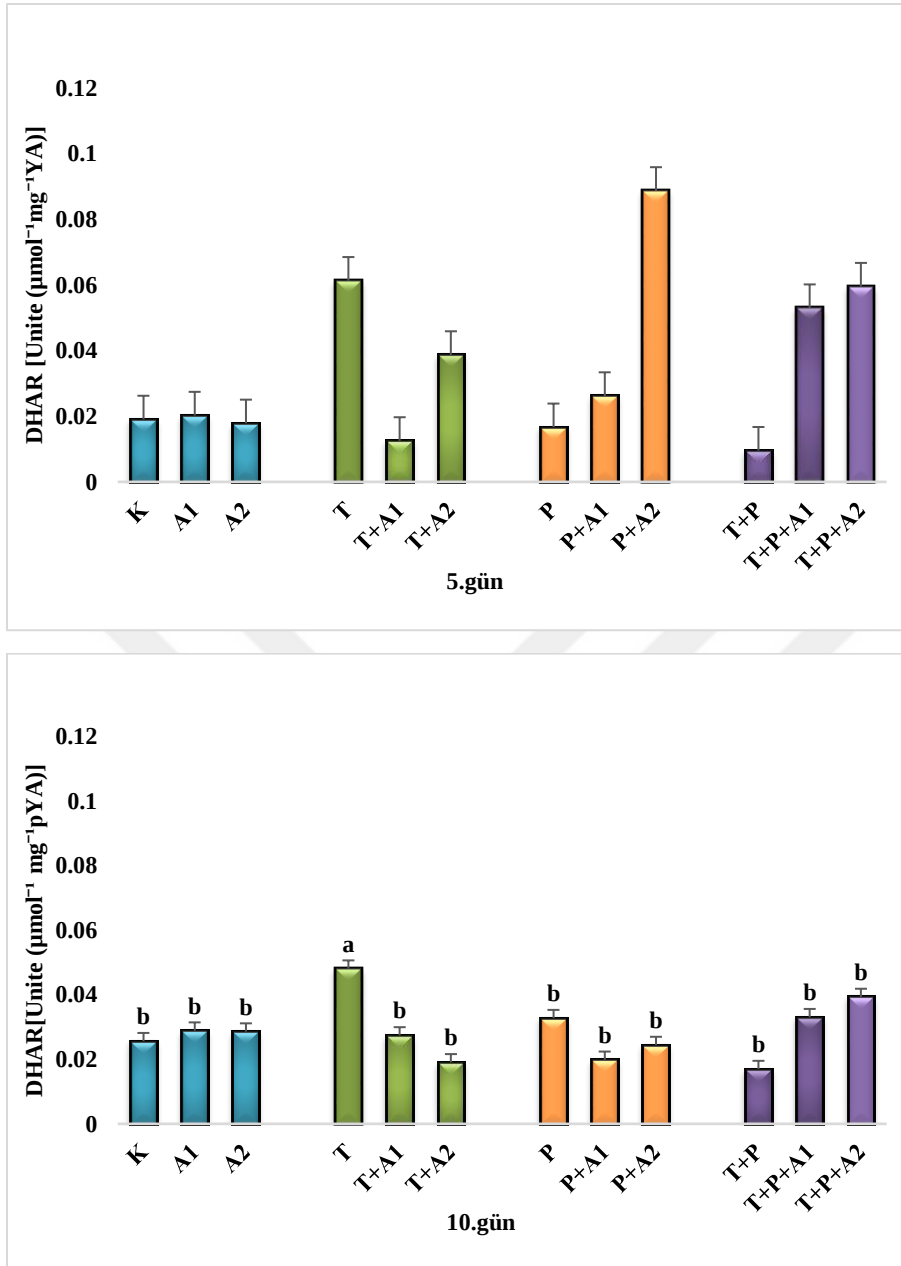
Çalışmada KAT enzim aktivitesi sonuçlarında kontrol grupuna göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir. Ayrıca tuz uygulamasına göre ise Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde değişimin olmadığı 10. günde ise % 61 oranında artış olduğu istatistik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

KAT enzim aktivite sonuçları değerlendirildiğinde PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

4.4.7. Dehidroaskorbat redüktaz (DHAR)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaikasit uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında DHAR enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.15’de gösterilmiştir.





Şekil 4.15 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max* L.)’de Tuz (250 mM)+ PEG (%15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde DHAR enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm).

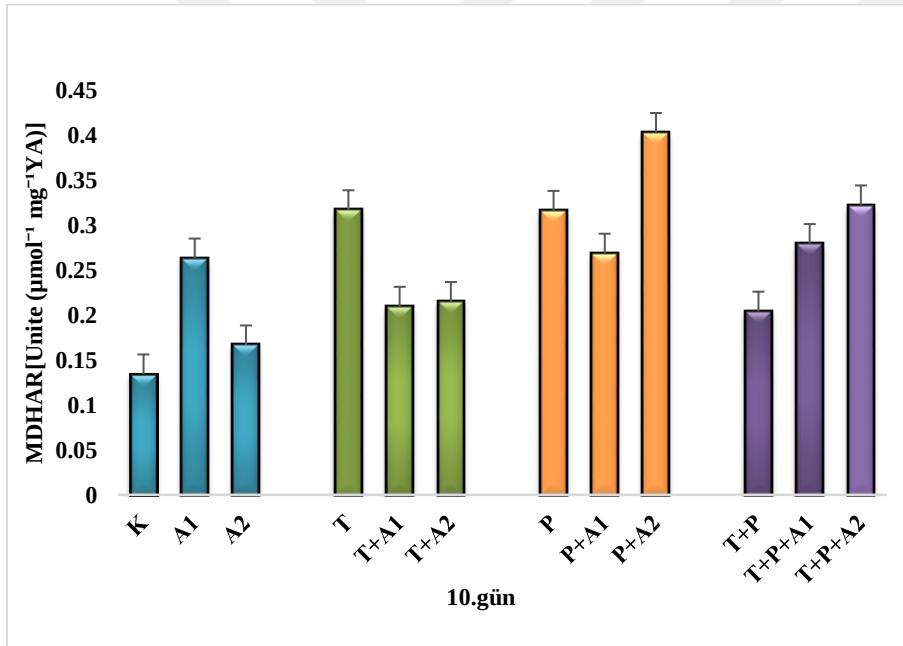
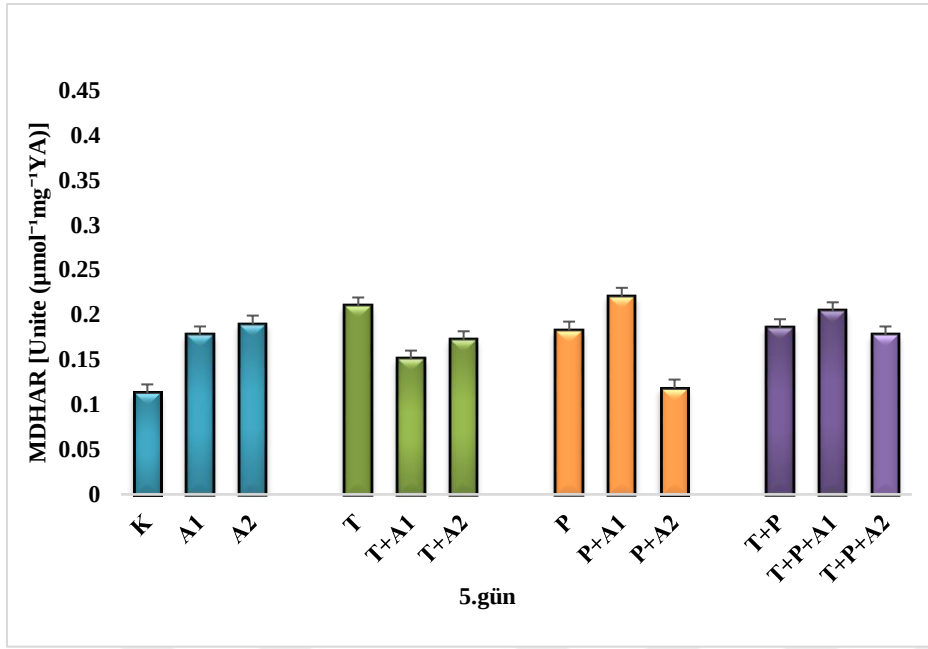
Çalışma sonuçlarımıza göre DHAR enzim aktivitesinde kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile Tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde değişim gözlenmezken 10. günde % 33 oranında azalma olduğu istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

DHAR enzim aktivitesinde PEG gruplarına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile Tuz+PEG gruplarına göre Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+ PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5 ve 10. günlerde de değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

4.4.8. Monodehidroaskorbat reduktaz (MDHAR)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında MDHAR enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.16'de gösterilmiştir.





Şekil 4.16 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde MDHAR enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Çalışmada MDHAR enzim aktivite sonuçları incelendiğinde; kontrol gruplarına göre AzA₁(12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile Tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde istatistiksel anlamda değişimin olmadığı gözlenmiştir.

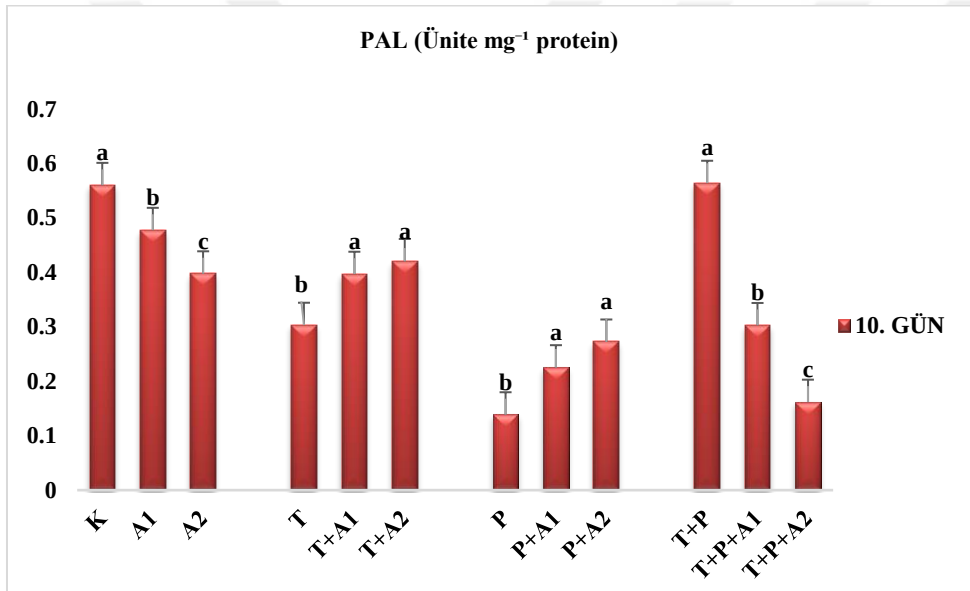
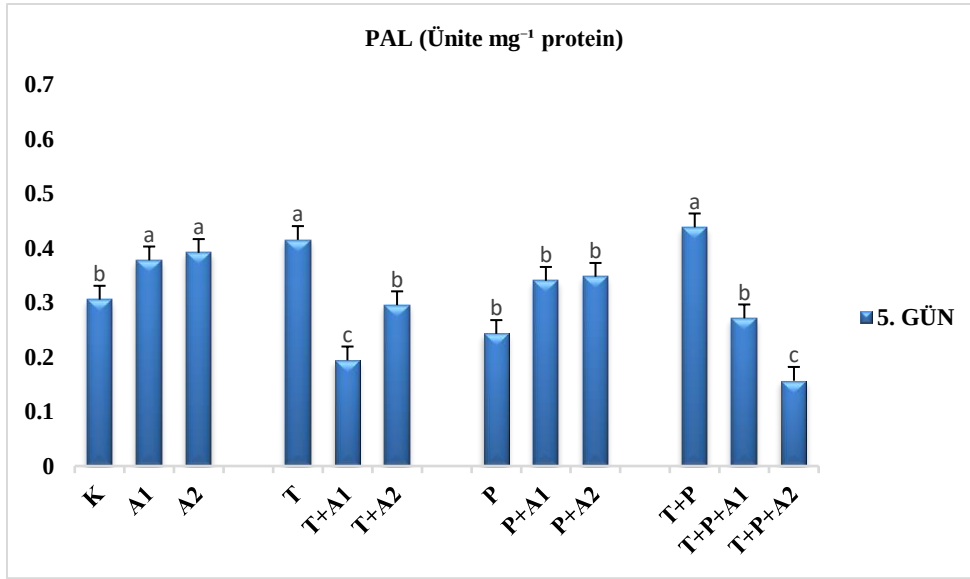
Analiz sonuçlarımıza göre MDHAR enzim aktivesinde; PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile Tuz+PEG uygulamasına göre, Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+PEG+AzA₂ uygulamaları 5. ve 10. günlerde istatistiksel anlamda değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

4.5. Hücre duvarı antioksidan enzimler

4.5.1. Fenilalaninamonyum ligaz (PAL)

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaik asit uygulaması yapılmıştır. Uygulamayı takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında PAL enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.17’de gösterilmiştir.





Şekil 4.17 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde PAL enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)

İstatistik analiz sonuçlarına göre PAL enzim aktivitesi kontrol gruplarına göre AzA₁(12 ppm) uygulaması ile 5. günde % 26,2 oranında artarken; 10. günde ise % 14, 6 oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan AzA₂ (24ppm) uygulaması ile 5. günde % 28, 2 oranında artarken; 10. günde ise % 29, 3 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

PAL enzim aktivitesinin; tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde %53 oranında azalırken; 10. günde % 33 oranında arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte Tuz+AzA₂

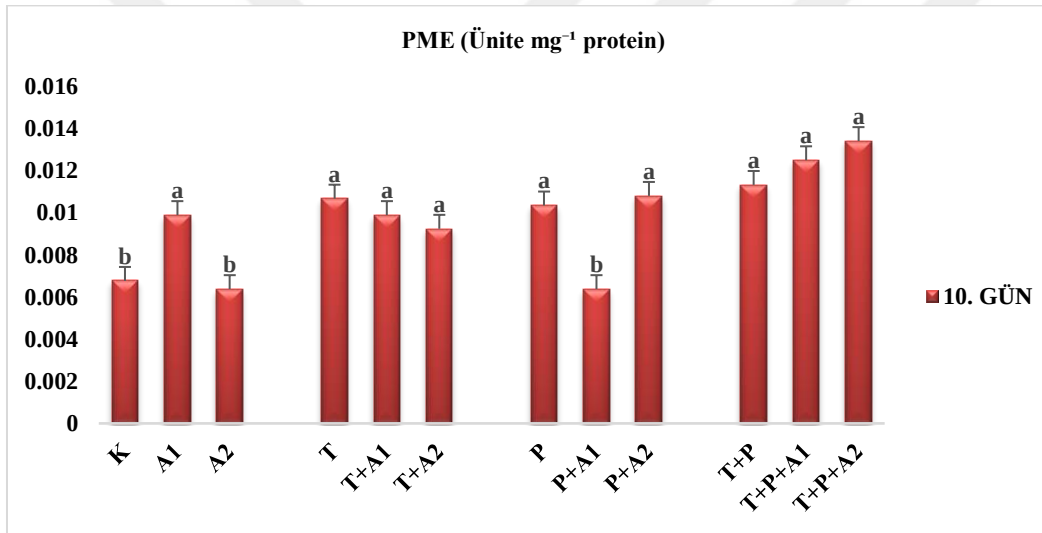
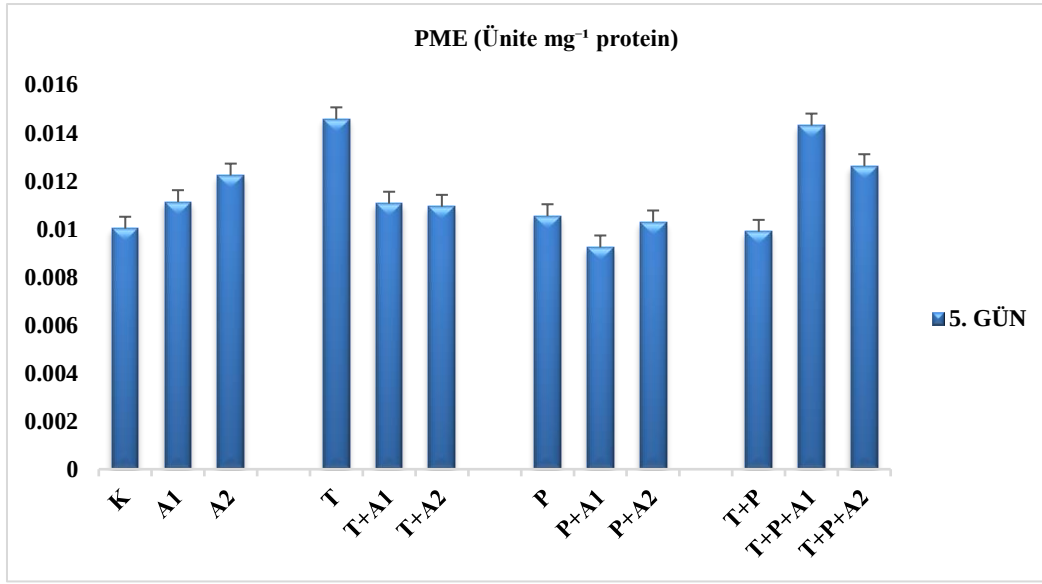
uygulamasý ile 5. günde % 29 oranýnda azalma, 10. günde ise % 39,6 oranýnda artma olduđu belirlenmiřtir.

PAL enzim aktivesi sonuçlarında PEG uygulamasýna göre PEG+AzA₁ ve PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde deėiřim gözlenmezken, 10. günde 1, 6 kat artma olduđu belirlenmiřtir. Ayrıca PEG+AzA₂ uygulamasý ile 5. günde deėiřim gözlenmezken, 10. günde ise % 1, 9 kat azalma olduđu tespit edilmiřtir.

Analiz sonularýmýza göre PAL enzim aktivitesinde Tuz+PEG uygulamasýna göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulamasý ile 5. günde % 38, 8 oranýnda artma, 10. günde ise % 47, 9 oranýnda artýř olduđu belirlenmiřtir. Tuz+PEG+AzA₂ uygulamasý ile 5. günde 2, 8 kat artarken 10. günde de 3, 5 kat artýř olduđu belirlenmiřtir.

4.5.2. Pektinmetilesteraz (PME)

Tuz ve kuraklık stresi altýndaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasýnı takiben 5. ve 10. günde hasatý yapılmýř olan bitkilerin yapraklarında PME enzim aktivitesinde meydana gelen deėiřimler řekil 4.18’de gösterilmiřtir.



Şekil 4.18 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5 ve 10. günde PME enzim aktivitesinde (Ünite mg⁻¹ protein) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Pektinmetilesteraz (PME) enzim aktivitesi sonuçları kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) ve AzA₂ (24 ppm) uygulamaları ile 5. günde değişmezken 10. günde AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 1, 4 kat artma, AzA₂ (24 ppm) uygulaması ile değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

Çalışmada PME enzim aktivitesi Tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları ile 5 ve 10. günlerde istatistiksel anlamda değişmemiştir. Ayrıca PEG uygulamasına

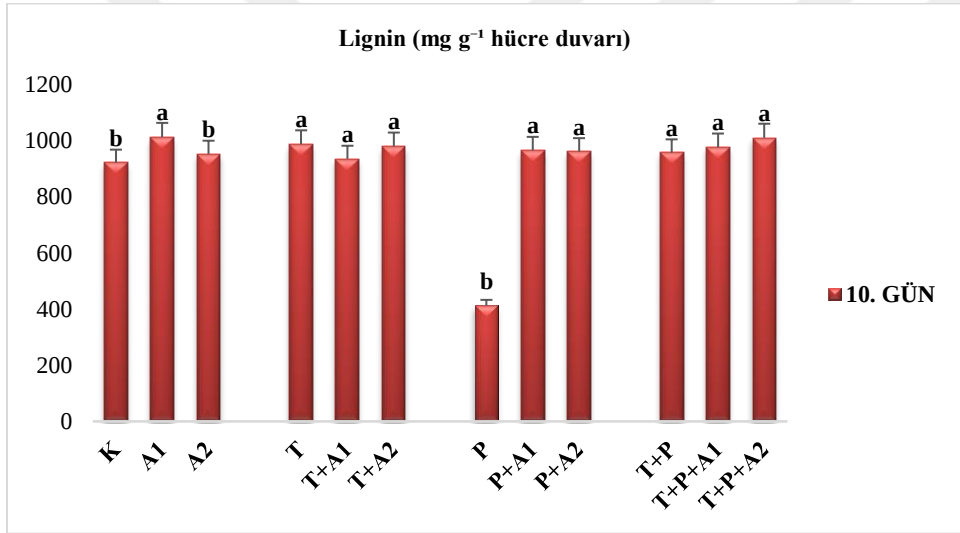
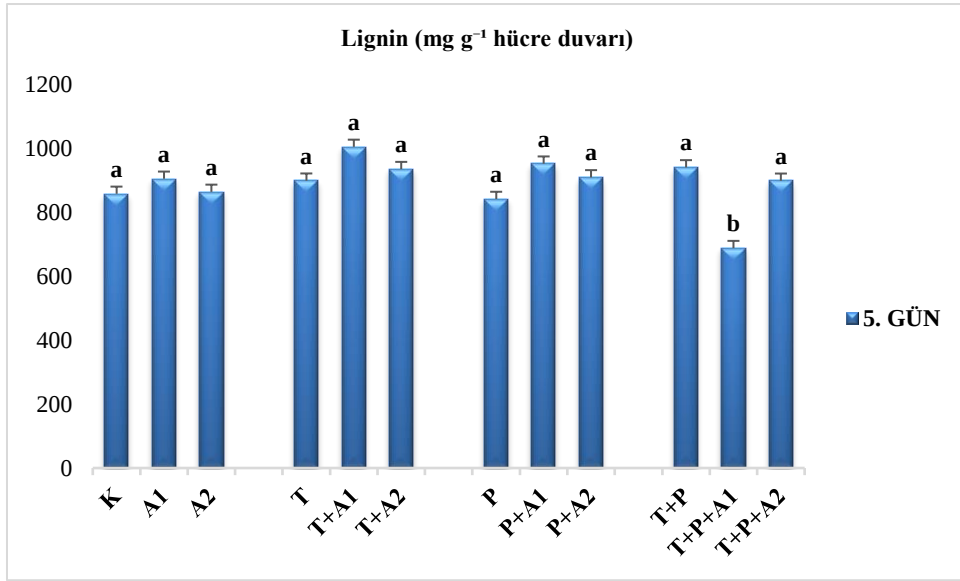
göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişmemiş, 10. günde ise 1, 6 kat azalma olduğu belirlenmiştir. PEG+AzA₂ uygulaması ile 5 ve 10. günlerde değişimin olmadığı gözlenmiştir.

Diğer yandan PME enzim aktivitesinin Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁(12 ppm) ve Tuz+PEG+AzA₂ (24ppm) uygulamaları ile 5. ve 10. günlerde değişmediği istatistiksel olarak belirlenmiştir.

4.5.3. Lignin miktarı

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaik asit uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında Lignin miktarında meydana gelen değişimler Şekil 4.19’de gösterilmiştir.





Şekil 4.19 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde Lignin miktarında (mg g⁻¹ hücre duvarı) gözlenen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Çalışma sonuçlarımıza göre lignin miktarında kontrol grubuna göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5. günde değişim gözlenmezken, 10. günde % 9, 8 oranında artma olmuştur. AzA₂ (24 ppm) uygulaması ile 5 ve 10. günlerde değişimin olmadığı istatistik analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir. Ayrıca tuz uygulamasına göre ise Tuz+AzA₁ ve Tuz+AzA₂ uygulamaları 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı belirlenmiştir.

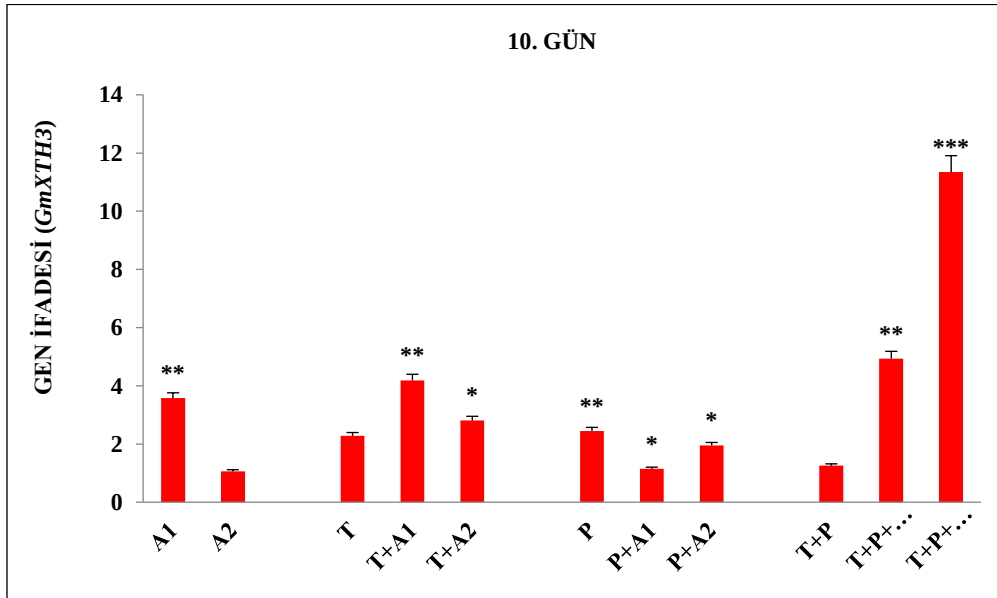
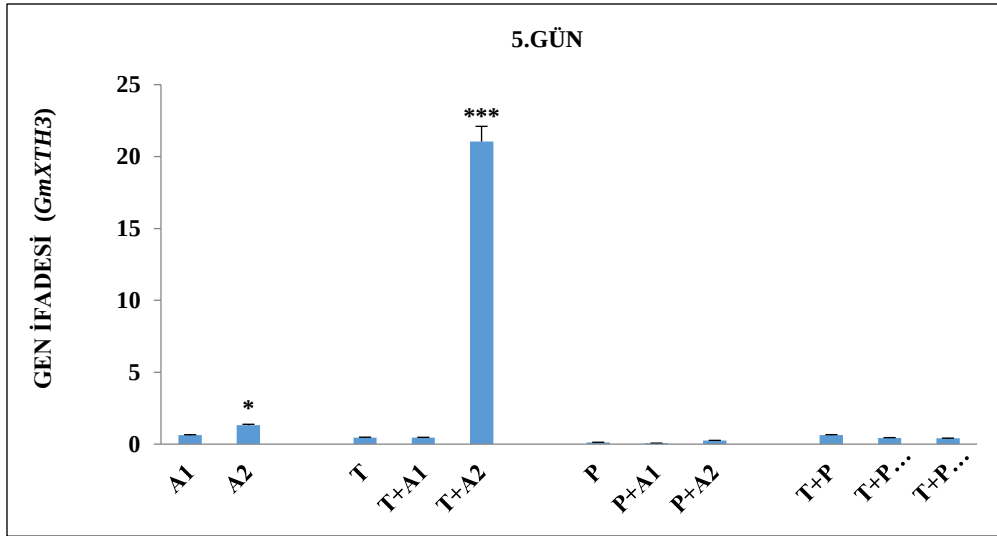
Çalışmada lignin miktarı değerlendirildiğinde PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde değişim gözlenmezken, 10. günde 11, 7 kat artmıştır. PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişim gözlenmezken, 10. günde 11, 6 kat artma olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre lignin miktarında Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde 1.3 kat azalma, 10. günde ise değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Diğer yandan Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. ve 10. günlerde değişimin olmadığı belirlenmiştir.

4.6.. Hücre duvarı gen ifadelerinin belirlenmesi

4.6.1. Ksiloglukan endotransglukosilaz/hidrolazlar (*GmXTH3*) gen ifadesi

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile Azelaik asit uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında *GmXTH3* gen ifadesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)'nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmXTH3* gen ifadesinde meydana gelen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaikasit 12 ppm), A₂ (Azelaikasit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaikasit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaikasit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaikasit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaikasit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaikasit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaikasit 24 ppm)

Çalışmada *GmXTH3* geni 5. Günde kontrole göre AzA₂(24ppm) uygulaması ile 1,3 kat artma gösterirken; 10. günde ise AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 3, 5 kat, AzA₂ (24 ppm) uygulaması ile 1 kat artma göstermiştir.

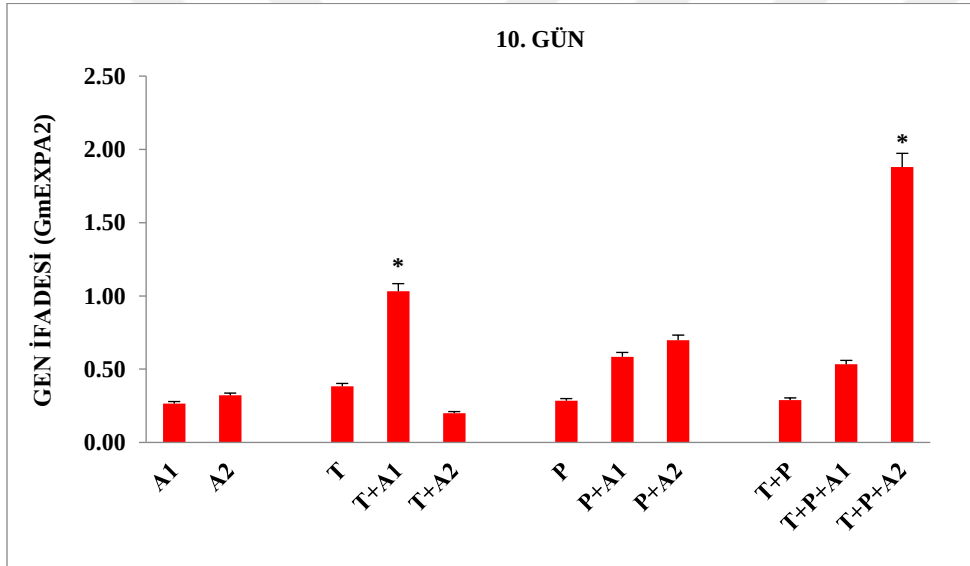
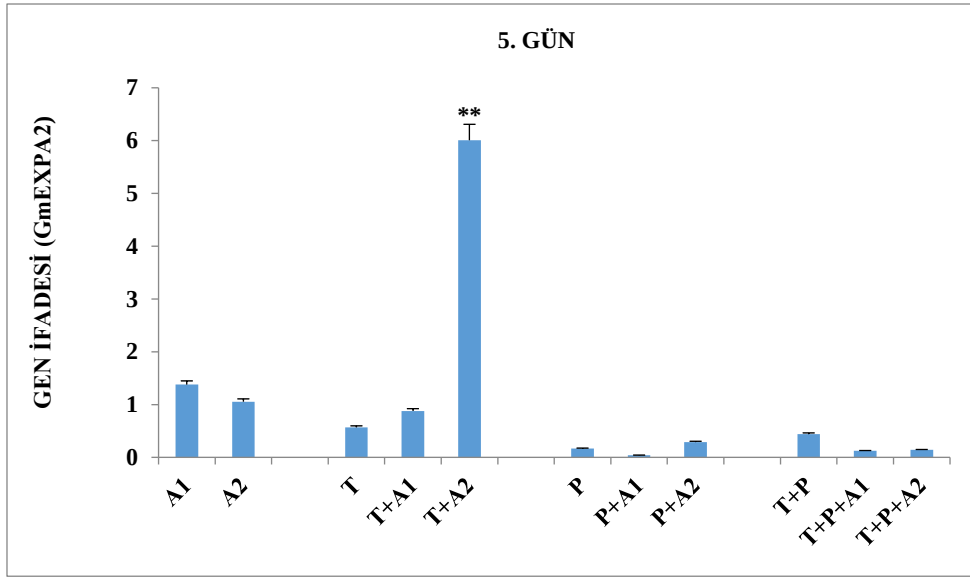
Tuz uygulamasına göre *GmXTH3* geni 5. günde T+AzA₂ uygulaması ile 45 kat artma olduğu tespit edilmiştir. 10. günde ise T+AzA₁ uygulaması ile 1, 85 kat artarken; T+AzA₂ uygulaması ile 1, 2 kat artış göstermiştir.

Analiz sonuçlarına göre PEG uygulamasına göre *GmXTH3* gen ifadesi 5. Günde değişim gözlenmezken; 10. günde P+AzA₁ uygulaması ile 2, 14 kat azalma olduğu tespit edilmiştir. P+AzA₂ uygulaması ile 1,25 kat azalma olduğunu göstermiştir.

Çalışmada *GmXTH3* gen ifadesinin; Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ ve Tuz+PEG+AzA₂ uygulamaları ile 5. günde değişmezken; 10. günde Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 3, 94 kat, Tuz+ PEG+AzA₂ uygulaması ile 9, 15 kat atmış olduğu tespit edilmiştir.

4.6.2 Expansin (*GmEXPA2*) geninin ifadesinin belirlenmesi:

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında *GmEXPA2* gen ifadesinde 5. ve 10. günlerde meydana gelen değişimler Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azelaik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmEXPA2* gen ifadesinde meydana gelen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

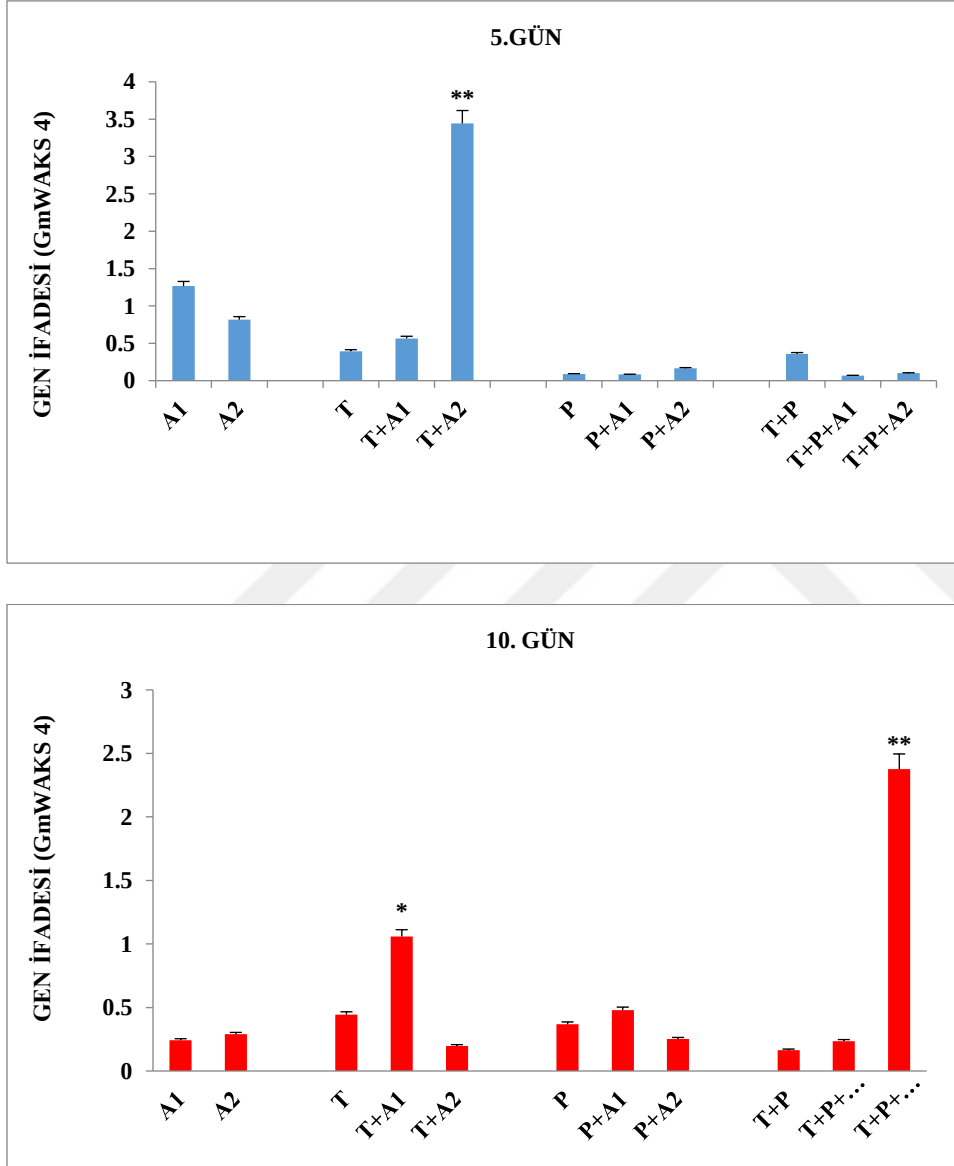
Çalışmada *GmEXPA2* gen ifadesi tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₂ uygulaması ile 10, 6 kat artma göstermiştir. Tuz+AzA₁ uygulaması ile 10. günde 2, 7 kat artma olduğu belirlenmiştir.

PEG uygulamasına göre *GmEXPA2* gen ifadesi her iki konsantrasyonda da 5. ve 10. günde ise değişmemiştir.

Analiz sonuçlarımıza göre *GmEXPA2* geninin ifadesi Tuz+PEG uygulamasına göre 5. günde her iki konsantrasyonda değişim gözlenmezken, 10. günde Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 6, 5 kat atmış olduğu tespit edilmiştir.

4.6.3. WAKS4 (*GmWAKS 4*) geninin ifadesinin belirlenmesi:

Tuz ve kuraklık stresi altındaki soya (*Glycine max*) bitkisine 10 gün süre ile AzA uygulamasını takiben 5. ve 10. günde hasatı yapılmış olan bitkilerin yapraklarında *GmWAKS4* gen ifadesinde 5. ve 10. günlerde meydana gelen değişimler Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 Ataem 7 çeşidi soya bitkisi (*Glycine max*)’nde Tuz (250 mM)+ PEG (% 15) stresi altında Azaleik asit (12, 24 ppm) uygulamasını takiben 5. ve 10. günde *GmWAKS4* gen ifadesinde meydana gelen değişimler. Gruplar: K (Kontrol), A₁ (Azelaik asit 12 ppm), A₂ (Azelaik asit 24 ppm), T (NaCl 250 mM), T+A₁ (NaCl+Azelaik asit 12 ppm), T+A₂ (NaCl+Azelaik asit 24 ppm), P (% 15 PEG; Polietilen glikol), P+A₁ (PEG+Azelaik asit 12 ppm), P+A₂ (PEG+Azelaik asit 24 ppm), T+P (NaCl+PEG), T+P+A₁ (NaCl+PEG+Azelaik asit 12 ppm), T+P+A₂ (NaCl+PEG+Azelaik asit 24 ppm)

Çalışmada *GmWAKS4* gen ifadesi tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde 8, 7 kat artma 10. günde ise Tuz+AzA₂ uygulaması ile 2, 3 kat artma olduğu belirlenmiştir.

PEG uygulamasına göre *GmWAKS4* gen ifadesinde 5. ve 10. günde değişim gözlenmemiştir.

GmWAKS4 gen ifadesi Tuz+PEG uygulamasına göre 5. günde değişmediği; 10. günde ise Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 14, 4 kat atmış olduğu tespit edilmiştir.



5. TARTIŞMA

Bitkilerde stres faktörlerine bağlı olarak ortaya çıkan aktif oksijen türlerinin üretimi ve bitkinin antioksidan savunma sistemi arasındaki dengenin sağlanması oldukça önemlidir. Bu sağlandığı sürece strese bağlı herhangi bir hasar meydana gelmezken dengenin bozulması durumunda bitkinin büyüme ve gelişimi olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu durum tarımsal faaliyetleri doğrudan tehdit eden çok önemli bir sorundur. Bitkinin hayatta kalabilmesi için çevresel streslere karşı toleransın artırılması gerekmektedir. Bu amaçla çalışmada, soya bitkisine yapılan AzA uygulamasına ait büyüme parametreleri, AOT, antioksidan enzim aktiviteleri, hücre duvarı enzim ve gen ifadeleri ile ilgili meydana gelen değişimler analiz edilmiştir.

5.1. Büyüme parametreleri

5.1.1. Kök ve gövde uzunluklar

Bitkilerde fizyolojik parametrelerden olan kök ve gövde uzunluklarında stres faktörlerinin şiddet ve süresine bağlı olarak birtakım olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Çalışma materyalimiz olan soya Ataem7 çeşidinde kök uzunlukları kontrol gruplarına göre AzA uygulaması ile 5. günde değişmezken 10. günde artmıştır (Tablo 4.1). Stres faktörleri altında değişimin olmadığı gözlenmiştir. Gövde uzunluğunda ise değişime neden olmaması benzer şekildedir. Cecchini vd. (2019) yaptıkları çalışmada *Arabidopsis*'te AzA'nın köklere direk uygulanması kök gelişimini engellerken hastalık (*Pseudomonas syringae*) direncini arttırdığı belirlenmiştir. Fakat AzA *azl* ve *earl1* genlerinden yoksun olan *Arabidopsis*'e AzA uygulaması kök yanal gelişiminde artışa sebep olup hastalık direncini arttırmadığı gözlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak uygulanan AzA'nın stres faktörleri altında 5. günlerde kök uzunluğunu arttırmadan yapısal dayanıklılık sağladığı söylenebilir. 10. günde ise kök uzunluğunda meydana gelen artışın, uygulanan AzA'nın etkine bağlı olarak meydana geldiği söylenebilir.

Bu sonuçları destekler nitelikte, AzA'nın hücre duvarı lipid metabolizmasında lipid değişimi, taşınımı ve membran stabilitesini sağlayarak kökte yapısal değişikliklere neden olduğu daha önce yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Cecchini vd., 2015; Bouain vd., 2018; Vellosillo vd., 2007).

Çalışmada, AzA uygulamasının kökten gövdeye taşınımını sağlayarak sinyal oluşturabileceği ve membranda strese bağlı hasar oluşumunu bu şekilde engellemiş olabileceği önerilebilir. Bitkilerin büyüme ve gelişmesini etkileyen abiyotik stres faktörlerinden en önemlileri tuzluluk

ve kuraklık stresidir (Guo, 2018). Tuzluluk, su eksikliğine, beslenme dengesizliğine ve iyon toksisitesine neden olarak bitki büyümesini engeller (Safdar vd., 2019). Bununla birlikte, Costa-Gutierrez vd. (2020) yaptıkları çalışmada, tuz stresinin soya kök uzunluğunu azalttığını ortaya koymuşlardır.

Çalışmada; gövde uzunluğu tuz ve kuraklık stresine bağlı olarak kontrole göre 5. günde azalırken 10. günde değişmemiştir (Tablo 4.1). Buna paralel olarak Bakhshandeh vd. (2023) yaptıkları çalışmada, soyada tuz ve kuraklık stresi altında kök gelişiminin olumsuz yönde etkilendiğini belirlemişlerdir. Ayrıca gövde uzunluğu AzA uygulaması ile 5. günde artarken, 10. günde değişmemiştir. Çalışmamıza benzer şekilde kuraklık stresi altında dışardan mineral besin elementi ve hormon (mısırdaki foliar fosfor, brokolide; melatonin, kayısıda; NO ve silikon) uygulamaları ile azalan yaprak alanı ve gövde uzunluğunu iyileştirdiği belirlenmiştir (Ahmed vd., 2017; Li vd., 2018; Bakır vd., 2022). Elde edilen sonuçlara göre, AzA uygulamasının stres süresine bağlı olarak 5. günde bitki büyüme gelişimi için gerekli olan su ve mineral besin maddelerin alınımı konusunda etkili olduğu söylenebilir.

5.1.2. Yaş ve kuru ağırlık

Kök ve gövde kuru ve yaş ağırlık sonuçları incelendiğinde, AzA uygulamasının tüm günlerde (5. ve 10. gün) kuru ağırlıkları değiştirmezken yaş ağırlıkları arttırdığı tespit edilmiştir (Tablo 4.2 ve Tablo 4.3). Cecchini vd. (2019)'da yaptıkları bir çalışmada, AzA'nın dışardan köklere uygulanması ile köklerde yenilenmeyi sağlarken bitkinin diğer kısımlarında sinyal oluşturarak etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, soya köklerine uygulanan AzA'nın köklerde uzunluk artışından daha çok bazı gruplarda ağırlık artışına bunuda kuru madde artışını değiştirmeden su alınımını arttırarak yaş ağırlık artışına etki ederek sağladığını düşünmekteyiz.

Çeşitli abiyotik streslerden etkilenen bir diğer parametre de bitkilerdeki kuru ve yaş ağırlık artışının azalmasıdır (Sharma vd., 2018). Bitki organları, bitki büyüme düzenlemesindeki değişiklikler yoluyla abiyotik streslere yanıt verirler. Çalışmada, tuz stresi altında bazı uygulama gruplarında kök gövde yaş ve kuru ağırlıklarında değişimin gözlenmemesinin uygulanan tuz konsantrasyonu ile ilgili olabileceği kanısındayız.

Tuz stresi altında AzA uygulaması, kök kuru ve yaş ağırlıklarını yapılan soya bitkisinde değiştirmemiştir. Çalışmada PEG uygulaması ile ise kök yaş ağırlıklarında 5. günde meydana gelen azalma, AzA uygulaması ile artışa neden olurken, 10. günde ise herhangi bir değişimin gözlenmemesi dikkat çekicidir.

Gövde kuru ve yaş ağırlıkları incelendiğinde, AzA uygulaması ile tuz ve kuraklık stresi birlikte uygulanan soya gövdesinde bu değerlerin arttığı tespit edilmiştir (Tablo 4.3, 4). Çalışma sonuçlarımıza benzer şekilde, arpa bitkisinde tuz stresine bağlı gövde yaş ağırlığında meydana gelen azalma tohumdan yapılan AzA uygulaması ile artmıştır (Cetinkaya ve Seckin Dinler 2024, yayınlanmamış). Bu sonuçlar incelendiğinde, dışarıdan uygulanan azelaik asitin kök ve gövdede farklı etkiler oluşturup özellikle kök yaş ağırlığında içsel uyarıcı mekanizmalar ile topraktan su ve suda erimiş besin maddelerinin alınımını arttırarak sağladığı söylenebilir. Buna paralel olarak ozmolitlere (bitki su dengesinin düzenlenmesinde etkili olan aminoasitler) benzer şekilde SAR mekanizmasında sinyal iletimi esnasında AzA ile birlikte etkinlik sağladığı bilinen pipetik asitin (Hartmann vd., 2017; Kesh vd., 2022) tuz stresi altında bitki su dengesini koruyarak bitki gelişimine destek sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, soya bitkisinde tuz stresi SAR'nın uyarılmasında hareketli sinyal molekülü (Chaturved vd., 2012) olan diterpen yapısında olup SA biyosentezine katılan DA (dehidroabiyotik asit)'nin uygulaması ile kök yaş ve kuru ağırlıklarında artışa neden olduğu ortaya konmuştur (Taşcı ve Dinler, 2020).

5.2. Fizyolojik analizler

5.2.1. Bağlı su içeriği (BSİ)

Topraklardaki kullanılabilir su miktarının azalması bitkilerin gelişim aşamalarında hücre büyümesinin zarar görmesi ve sürgün gelişiminin engellenmesi ile sonuçlanır (Bakır vd., 2022). Bitkilerde abiyotik stresler hücre bütünlüğünü bozar ve buna bağlı membran hasarı, klorofil bozulması ve AOT'ların birikmesi nedeniyle elektrolit sızıntısı gibi birçok stres hasarının meydana geldiği ortaya konmuştur (Mahajan ve Tuteja, 2005; Sinha vd., 2011; Atkinson ve Urwin, 2012). Büyüme parametrelerindeki azalma hücre uzamasını ve gelişimini engelleyen bitki hücre turgorundaki azalma ile ilişkili olabilir (Abd Elbar vd., 2019).

Bitkilerde tuz stresinin oluşturduğu ozmotik strese bağlı fizyolojik kuraklık meydana gelmektedir (Tuteja, 2007). Böylece oluşan AOT'leri membran hasarına ve ozmotik basıncın artması ile bitkinin su durumunun bozulmasına, stresin süresi ve şiddetine bağlı bağlı su içeriğinin olumsuz etkilenmesine neden olduğu söylenebilir.

Çalışmada kontrole kıyasla tüm günlerde (5. ve 10. gün) AzA uygulaması ile BSİ değişmezken; tuz ve PEG uygulanan gruplarda kontrole göre azalmıştır (Tablo 4.4). Buna paralel olarak, soya bitkisinde tuz ve kuraklık stresine bağlı olarak bağlı su içeriğinde azalma olduğu birçok çalışma ile tespit edilmiştir (Mohamed vd., 2017; Bai vd., 2019; Ma vd., 2020; Ayvaci vd., 2023).

Stres altında yapılan AzA uygulaması ile bağıl su içeriğinde artış olmasına rağmen bu artış istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu sonuçlar yaş ağırlıklarda ve gövdede meydana gelen uzunluk artışları ile desteklenir niteliktedir. Benzer şekilde Haghghi ve Sheibanirad (2018) yaptıkları bir çalışmada, AzA uygulamasına bağıl olarak tuz stresi altında ozmotik su dengesinin korunduğunu bildirmişlerdir. Buna paralel olarak kavunda (*Cucumis melo* L.) stres koşulları altında SAR mekanizmasında etkinliği bilinen MeSA ve MeJA uygulamasının bağıl su içeriğini arttırdığı bildirilmiştir (Ghanbari vd., 2018).

5.2.2 Klorofil miktarı

Bitkilerde dayanıklılık mekanizmalarının artırılması; tuzluluğa ve su eksikliği ile ortaya çıkan iyon toksisitesi ile başa çıkmak için fizyolojik ve biyokimyasal cevapların geliştirilmesinde koruyucu sistemler geliştirmiştir. Bu sistemler sayesinde klorofil sentezini veya ozmolitlerin birikimini ve antioksidan sistemlerin uyarılması ile stresin neden olduğu oksidatif hasar seviyesinin azaltılmasında önemli bir rol oynamıştır (Niu vd., 2016).

Çalışmada, kontrole kıyasla toplam klorofil miktarı AzA uygulaması ile değişmezken; NaCl uygulaması ile azalmıştır (Şekil 4.1). Fakat AzA'nın tuz koşulları altında uygulanması NaCl uygulanan gruba kıyasla klorofil miktarını 5. günde değiştirmezken 10. günde iyileşmeye neden olduğu tespit edilmiştir. Bilindiği üzere patojen enfeksiyona bağıl olarak SAR mekanizmasının uyarılmasında MeSA (Metil salisilat) tarafından uzun mesafeli sinyal iletimde, salisilik asit (SA) oluşturmak üzere dimetile edilebilen ve distal dokuda SA'nın yeni sentezini uyaran floem kaynaklı bir mobil sinyal molekülü tarafından gerçekleşmektedir (Gondor vd., 2022).

Monika Grzeszczuk vd. (2018) kırmızı adaçayı (*Salvia coccinea*) bitkisinde yaptıkları çalışmada, dışardan uygulanan SA'nın klorofil miktarı ile yaş ve kuru ağırlıklarda artışa neden olduğu bildirilmiştir. Ayrıca kokulu menekşe (*Viola odorata* L.)'de tuz stresi altında dışardan uygulanan MeSA ve prolinin besin elementi alınımını arttırarak vegetatif büyüme, kök ve yaprak gelişiminde olumlu etki sağladığı bildirilmiştir (Shahin vd., 2021).

Benzer şekilde, tuz stresine bağıl olarak soya yapraklarında azalan klorofil miktarının, DA (dehidroabiotikası; diterper yapısında olup, SAR mekanizmasının uyarılmasında sinyal olarak hareket eder ve SA biyosentezinde etkinliği bilinir) uygulaması ile iyileştiği gözlenmiştir (Taşcı ve Dinler, 2020). Elde edilen veriler doğrultusunda çalışmada soya yapraklarında tuz stresi altında Na⁺ iyonlarının oluşturduğu hasarı iyileştirmede dışardan uygulanan AzA'nın prolin miktarında artışa neden olarak kloroplastlar üzerine koruyuculuk sağladığı söylenebilir.

Böylece uygulanan AzA'nın fotosentez mekanizmasına destek sağlayarak klorofil miktarını arttırdığı şeklinde yorumlayabiliriz.

Kuraklık stresi bitkilerdeki su dengesinin bozulmasına neden olup; fotosentetik pigmentleri olumsuz etkileyerek terlemeyi azaltır ve dolayısıyla bitkide verimin düşmesine neden olur (Hussain vd., 2018; Zhang vd., 2020). Yapılan bir çalışmada, kuraklık stresi altında buğdayda arjinin (L–arginin olarak adlandırılır ve canlı hücrelerdeki fonksiyonel olarak çeşitli sinyal moleküllerinin biyosenteziyle bağlantılıdır (Hamid vd., 2019) uygulamasının, antioksidan aktiviteyi ve karotenoidleri arttırarak büyüme parametrelerini geliştirdiği tespit edilmiştir (Hussein vd., 2022).

Elde edilen sonuçlara bağlı olarak klorofil içeriğinde birlikte uygulama (tuz ve kuraklık stresi) altında AzA uygulaması ile 5. günde değişim gözlenmezken 10. günde AzA₂ uygulaması ile artış gözlenmiştir (Şekil 4.1). Klorofil miktarındaki bu artış; uygulanan AzA'nın konsantrasyon miktarı ve uygulama süresine bağlı olarak stres koşulları altında koruyuculuk sağladığı söylenebilir. Ayrıca soya bitkisinde dışardan uygulanan AzA'nın, patojen enfeksiyona (*Phakopsora pachyrhizi*) bağlı meydana gelen AOT'ların azaltılmasında antioksidan özellik göstererek; fotosentez mekanizmasında (klorozis ve nekroz dokuları) iyileşme ve toplam klorofil (a-b ve karotenoid) miktarını arttırarak sağladığı tespit edilmiştir (Rodrigues vd., 2023).

5.2.3. Bağlı elektriksel iletkenlik (BEİ)

Bitki köklerinde ozmotik potansiyel iyonik dengesi ve diğer gerekli mineral elementlerin hücrelerde alınmasını sağlar. Bunun bitkinin diğer kısımlarına iletilmesi için gerekli taşınım mekanizmaları ve diğer bitki süreçlerinin işlevselliğinin sağlanabilmesi açısından bitkide elektriksel iletkenlik oldukça önemlidir. Bitki köklerinde besin elementlerinin fonksiyonlarını gerçekleştirmek için hücrelere taşınım ve alınması Na^+/K^+ oranı düşük, ozmotik potansiyel ve iyonik dengesizlikleri mevcut ise engellenmektedir (Arif vd., 2020).

Çalışmada BEİ kontrole göre AzA uygulamasının bitkide herhangi bir olumsuz etki yapmayarak değişime neden olmadığı söylenebilir. Bunu destekler nitelikte soyada normal koşullarda püskürtülen AzA'nın herhangi bir değişime neden olmadığı bildirilmiştir (Rodrigues vd., 2023). Tuz stresi altında AzA uygulaması yalnız tuz uygulamasına kıyasla bağlı elektriksel iletkenliği 5. ve 10. günlerde azalmaya neden olmuştur (Şekil 4.2). Buna paralel olarak tuzun bitki bünyesine alınmaması, rizosfer tabakasında tuz konsantrasyonunun yüksek olması, bitki kökleri aracılığı ile belirli iyonlar için (Na^+ , Cl^-) geçirgenlik özelliğinin daha düşük olması ile

sağlanır (Mokrani vd., 2020). Çalışmada elde edilen sonuçlara bağlı olarak dışardan uyguladığımız AzA'nın membranın geçirgen özelliğini ve Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarını kökte tutulumunu sağlayarak iyileştirici etki gösterdiği söylenebilir.

Çalışma sonuçlarımız incelendiğinde BEİ'te 5. günde PEG uygulaması ile kontrole göre artış gözlenmiştir (Şekil 4.2). Benzer şekilde Hussein vd. (2022)'de buğdayda (*Triticum aestivum* L.) ve Noman vd.(2019) soyada yaptıkları çalışmalarda kuraklık stresine bağlı BEİ değerlerinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca 10. günde ise stresin süresine bağlı olarak artan BEİ değerinin; AzA uygulaması ile kontrol grubuna yakın bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir.

Benzer şekilde bağıl elektriksel iletkenlik tuz ve kuraklık stresine göre birlikte (Tuz+PEG+AzA) uygulama ile 5. günde değişim gözlenmezken 10. günde her iki konsantrasyonda da meydana gelen azalma kontrolün altında değerler göstermiştir. AzA'e benzer şekilde bitki patojen saldırısında savunma sisteminde hızla sentezlenen ve etkinlik sağlayan hekzanoik asit (Bektas ve Eulgem, 2014) uygulaması ile kavun (*Cucumis melon*) bitkisinde hücre duvarı kallos birikimini arttırarak oksidatif hasarın azaltılması sağlandığı bildirilmiştir (Fernández-Crespo vd., 2017).

Bu sonuçlara bağlı olarak tuz ve kuraklık stresi altında AzA uygulaması ile hücre duvarı lipid metabolizmasında iyileşme sağlayarak; elektriksel iletkenliğin azalmasına neden olduğu söylenebilir. Bu iyileşme klorofil miktarında meydana gelen artış ile de uyum içerisinde.

5.2.4. Yaprak alanı (YA)

Bitkilerin büyüme gelişmesi için yapraklar oldukça önemli fonksiyonlara sahiptir. Fotosentez faaliyetlerinin gerçekleştiği en önemli bitki organlarından biri olup; yaprak alanı, fotosentez kapasitesi ve bitki büyüme oranının bir göstergesidir. Yaprak yüzey alanının ölçülmesi yapraklardan ısı ve kütle transferinin, ışık ve besin maddeleri, bitki-toprak-su ilişkilerinin belirlenmesi açısından gereklidir (Mohsenin, 1980). Yaprak alanı evapotranspirasyon oranı ya da ürün veriminin belirlenmesinde kullanılan en önemli fizyolojik parametrelerden biridir (Kaçar vd., 2006; Doğan vd., 2018). Bitki büyüme ve gelişmesini gözlemlemek için yaprak alanı ölçümü tarımsal ve biyolojik araştırmalarda oldukça önemli olup; uzunluk ve genişlik oranlamasına göre hesaplanmaktadır (Diao vd., 2009; Giuffrida vd., 2011).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yaprak alanı; tuz uygulamalarına göre Tuz+AzA uygulamaları ile 5. günde iyileşmeye neden olurken, 10. günde değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.3). Çalışmamızı destekler nitelikte, SAR mekanizmasında etkinliği bilinen G3P yapısında yer

alan gliserol (Eastmond, 2004) dışardan uygulandığında tuz stresine bağlı yaprak alanında meydana gelen azalmayı iyileştirdiği gözlenmiştir. Bu iyileşme Na^+ iyonu ile diğer elementler arasında iyon dengesini düzenleyerek sağladığı bildirilmiştir (Raoufi vd., 2020). Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, 10. günde bitkinin ağırlık artışının devam etmesi, besin maddelerinin alınımları ve taşınımı ile bitkinin yaprak alanından çok diğer kısımlarının gelişimi için etkinlik sağladığı söylenebilir (Tablo 4.2). Ayrıca Tuz ve PEG uygulamalarına göre, PEG+AzA ve Tuz+PEG+AzA uygulamaları ile 5. günde değişim gözlenmezken, 10. günde artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3). Daha önce yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde abiyotik stres faktörlerine bağlı AOT oluşumu; yaprak alanında azalma, turgor kaybı, fotosentez oranındaki azalma, sitoplazmik membran hasarı ve hücre genişlemesinin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir (Wang vd., 2021). Bu durum AzA uygulaması ile stres koşulları altında AOT'lardaki azalma ve klorofil miktarında meydana gelen artış ile yaprak alanında artışa neden olduğunu destekler niteliktedir.

Ayrıca Ayvacı vd. (2023) yaptıkları çalışmada soya da tuz stresi altında dışardan uygulanan PBZ (paklobutrazol)'un membran geçirgenliğinde stabilizasyonu sağlayarak (Pal vd., 2016), AzA benzeri etki yaparak madde alışverişinin düzenlenmesi ile yaş ağırlıkta artma ve yaprak alanında genişlemeye neden olduğu belirlenmiştir.

5.3. Aktif Oksijen Türleri (AOT)

Tuzluluğun, hücreler arası seviyedeki bitkilerde oksidatif stres yarattığı iyi bilinmektedir (Hernández vd., 2000; Mittova vd., 2003, 2004; Flowers ve Colmer, 2015). Farklı çalışmalar, tuz stresinin, lipid peroksidasyonu ve bazı oksidatif stres parametrelerindeki artışlarla ilişkili olan kloroplastlar, mitokondri ve apoplastik alan dahil olmak üzere farklı hücre bölmelerinde, süperoksit radikallerinin (O_2^-) ve hidrojen peroksitin (H_2O_2) birikmesine neden olduğunu bildirmiştir (Mittova vd., 2002; Acosta-Motos vd., 2016).

5.3.1. Prolin miktarı

Bitkilerde ozmotik ayarlama; stoma açılma işlemi, hücreler arasındaki su hareketini etkileyen (Acosta-Motos vd., 2017), karbonhidratlar (sukroz, sorbitol, mannitol, gliserol), (Hare vd., 1999), azot bileşikleri (prolin, betain, glisin) (Kinnersley vd., 2000) ve organik asitler (malat ve oksalat), organik osmolitler arasında prolin en önemli çözümlilerdendir (Tang vd., 2015). Prolin ozmoprotektanlardan biri olup bitki dokularındaki su dengesinin sağlanmasında; strese bağlı su tutunum ve eksiklik durumunda tampon görevini üstlenir (Mousa vd., 2008). Ayrıca stres

toleransı arttırmak için element toksisitesi ve çözünürlerin birikimi mekanizmalar arasındadır (Türkan ve Demiral, 2009).

Prolin miktarı sonuçları incelendiğinde; kontrol gruplarına göre AzA uygulaması ile artış gözlenmiştir. Pitzschke vd. (2016) yaptıkları çalışmada, *AZI1* proteininin hidroksiprolin açısından zengin bir glikoprotein olduğu, MAPK aracılığı ile hidroksiprolin kalıntılarında bulunan O-glikozilasyonun yanı sıra ek modifikasyonlar sağladığı bildirilmiştir. Bu durumun uygulanan AzA'nın etkisiyle prolin miktarında artışa neden olduğu söylenebilir. Ayrıca prolin miktarı tuz uygulanan gruplara göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde azalırken; 10. günde artışa neden olmuştur (Şekil 4.4).

Elde edilen sonuçlara göre prolin miktarı, PEG uygulamasına göre PEG+AzA uygulaması ile 5. günde değişmezken, 10. günde azalmıştır. Benzer şekilde; Kılınçoğlu vd. (2020) yaptıkları çalışmada pamuk (*Gossypium hirsutum*) bitkisinde kuraklık stresi altında prolin uygulaması ile bozulan protein mekanizmasında iyileşmeye neden olduğu belirlenmiştir.

Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde azalma, 10. günde değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Daha önceki yapılmış olan birçok çalışmada abiyotik stres faktörlerinden özellikle tuz stresi altında çözünebilir şekerler, aminoasitler, prolin ve proteinlerde artış olduğu belirlenmiştir (Hildebrandt vd., 2018). Fakat buğdayda (*Triticum aestivum*) dışardan uygulanan prolin içsel prolin miktarında azalmaya neden olarak strese tolerans sağlamada etkinlik sağladığı bildirilmiştir (Rady vd., 2019). Bu sonuçlara bağlı olarak artan prolin miktarının sahip olduğu su dengesini sağlama özelliğinden dolayı ve dehidrasyon sırasında biyolojik makromoleküllerin yapısını korumak için moleküler bir şaperon olarak işlev görmektedir. Böylece çevresel streslere bitki toleransı sağladığı bildirilmiştir (Tang vd., 2018; Ashraf vd., 2017). Çalışma sonuçlarımızda stres koşulları altında AzA uygulaması ile prolin miktarında meydana gelen azalmanın, AzA'nın prolin miktarını arttırmaya ihtiyaç duymadan kendisi su dengesini koruyarak bunu sağladığı söylenebilir (Şekil 4.4). Bu durum MDA miktarında meydana gelen azalma ile desteklenir niteliktedir (Şekil 4.5)

5.3.2. Lipit peroksidasyonu (MDA)

Bitkilerde stres faktörleri lipidlerin perokside olmasına bağlı olarak membran hasarında artış, oluşan serbest radikallerin bitki hücrelerinde malondialdehit miktarındaki artışı başlatmasıyla meydana gelir (Thompson vd., 1987; Amirjani, 2012). Oksidatif stresin bir sonucu olarak gerçekleşen lipid peroksidasyonu; membran akışkanlığı, iyon taşınması, enzim aktivitelerinin bozulması gibi biyolojik membranlarda değişiklikler sonucunda hücre ölümleri gerçekleşir

(Sharma vd., 2012). MDA artışı normal şartlarda doğal bir metabolik işlem olup, membran yapısı ve fonksiyonundaki AOT'ların etkisi ile membranda meydana gelen lipid peroksidasyonunu göstermektedir (Blokina vd., 2003).

MDA miktarı sonuçlarında tuz uygulamasına (250 mM) göre Tuz+AzA uygulaması azalmış olması, AzA etkisi ile sağlanmıştır (Şekil 4.5). Benzer şekilde DA (dehidroabiyotik asit) uygulaması ile soyada tuz stresi altında azalma gözlenmiştir (Taşcı ve Dinler, 2020).

MDA miktarının; PEG uygulamasına göre PEG+AzA uygulaması ile 5. ve 10. günde azalma olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan darıda (*Sorghum bicolor*) kuraklık stresi altında bitkilerde PİP (pipekolik asit) ile yapılan ön uygulama kontrole kıyasla BEİ ve MDA içeriği arttığı belirlenmiştir (Caddell vd., 2023). Bu durum artan CO₂ asimilasyonu, fotosistem aktiviteleri, antioksidan enzim aktiviteleri, askorbat ve glutatyon içeriği, AOT'larda azalma, lipid peroksidasyonu ve protein oksidasyonu ile ilişkilendirilmiştir (Wang 2021).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. ve 10. günde değişmezken, Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde azalmış, 10. günde ise değişimin olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.5). Bu sonuçlara bağlı olarak; tuz ve kuraklık stresi altında AzA uygulaması ile MDA miktarında meydana gelen azalmada biyolojik membranlardan özellikle kloroplastta koruyuculuk rolünü AzA aracılığı ile sağladığını gösterir niteliktedir. Bu koruyuculuk rolünü membran hasarını oluşturan lipidlerin oksidasyonunu engelleyerek ve H₂O₂ ile O₂⁻ miktarında azalmaya neden olarak sağladığı söylenebilir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.8). Ayrıca membran stabilitesini gösteren BEİ'te meydana gelen azalmada bunu destekler niteliktedir (Şekil 4.2).

5.3.3. Hidrojen peroksit (H₂O₂) ve süperoksit radikal (O₂⁻) miktarı

AOT'leri, O₂'nin O₂⁻ veya H₂O₂'ye indirgendiği birçok reaksiyon yoluyla bitkilerde oluşturulabilir. O₂⁻ SOD enzimi ile H₂O₂'ye indirgenebilmektedir (Foyer, 2018). O₂⁻ yoluyla üretimin yanı sıra H₂O₂, peroksizomlarda bulunan gliko oksidaz (GOX) gibi çeşitli oksidazların iki elektron indirgenmesiyle üretilir (Foyer ve Noctor, 2016). H₂O₂, membranlardaki akuaporinlerden ve hücre içindeki daha uzun mesafelere yayılabilen tek AOT olduğundan ve diğer AOT'lar ile karşılaştırıldığında kısmen daha sabit ve belirli biyolojik aktivitelerde etkileri olan bir sinyal molekülü olarak işlev görmektedir (Zaefyzadeh vd., 2009). Aynı zamanda H₂O₂, düşük konsantrasyonlarda çeşitli çevresel streslere karşı toleransı uyarmada etkinlik sağlarken, yüksek konsantrasyonlarda toksik etkilere sahiptir (Mittler ve Zilinskas, 1991). Kloroplast,

mitokondri, endoplazmik retikulum ve plazma membranının elektron taşıma reaksiyonları, yağ asidinin β -oksidasyonu ve fotorespirasyon, bitki hücrelerinde H_2O_2 oluşum kaynaklarıdır (Mittler ve Zilinskas, 1991).

Sonuçlar incelendiğinde H_2O_2 miktarı kontrol gruplarına göre AzA uygulaması ile artarken, süperoksit radikal ($O_2^{\cdot-}$) miktarında azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6, 8). Bu sonuçlar uygulanan AzA konsantrasyonlarının bitkide stres oluşturmadığını kanıtlar niteliktedir. Çalışmada H_2O_2 ve $O_2^{\cdot-}$ miktarında, tuz uygulamasına göre Tuz+AzA uygulaması ile azalma olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde tuz stresi altında dışardan uygulanan prolinin (Rejab vd., 2014; Mansour vd., 2017) AOT'larda azalmaya neden olarak iyileşme sağladığı bildirilmiştir.

Çalışmada AzA uygulaması H_2O_2 miktarı PEG uygulamasına göre PEG+AzA uygulaması ile meydana gelen artış, Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile 5. günde artarken, 10. günde değişmemiştir (Şekil 4.6). $O_2^{\cdot-}$ miktarı ise PEG+AzA ve Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile azalırken; H_2O_2 miktarı PEG+AzA₂ uygulaması ile artmıştır. Çalışmadan farklı olarak Rodrigues vd. (2023) yaptıkları çalışmada soya bitkisinde biyotik (*Phakopsora pachyrhizi*) stres altında dışarıdan uygulanan AzA ve hekzanoik asitin SAR mekanizmasında stres faktörlerine bağlı oluşan AOT'lardan $O_2^{\cdot-}$ ve H_2O_2 miktarında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Bunun yanında Taşcı ve Dinler (2020)'de yaptıkları çalışmada, soya (*Glycine max* L.) bitkisinde tuz stresi altında DA uygulaması ile süperoksit radikali ve hidrojen peroksit miktarlarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir.

5.3.4. Hidroksil radikal ($OH^{\cdot-}$) savurma kapasitesi

Hidroksil radikali ($OH^{\cdot-}$) hücredeki en reaktif oksidanlardandır. Pigmentler, proteinler, lipidler ve DNA gibi tüm biyomoleküller ve hemen hemen tüm hücre bileşenleri ile potansiyel olarak reaksiyona girebilir (Halliwell, 1999). Aşırı miktarda üretildiğinde ise hücrelerin ölümüne sebep olabilir. Hidroksil radikali H_2O_2 ve $O_2^{\cdot-}$ anyonunun metal iyonları varlığında Haber-Weiss (Cu^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3}) veya Fenton (Fe^{+2} ve diğer geçiş metalleri; Cu, Zn, Mn, Cr, Co, Ni, Mo) reaksiyonu ile oluşur (Smirnoff, 1998). $OH^{\cdot-}$ savurma kapasitesinin, tuz uygulamasına göre Tuz+AzA uygulaması ile 5. günde değişmediği, 10. günde arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.7). Çalışmayı destekler nitelikte soya bitkisinde tuz stresi altında diterpen yapısında olan DA uygulaması ile $OH^{\cdot-}$ savurma kapasitesinde artış olduğu bildirilmiştir (Taşcı vd., 2020). PEG ve Tuz+PEG uygulamasına göre PEG+AzA ve Tuz+ PEG+AzA uygulamaları değişimin olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak uygulanan AzA'nın antioksidan enzim aktivite artışına

ihtiyaç duymadan kendi koruyuculuk rolünü üstlenerek (MDA, H_2O_2 ile $O_2^{\cdot-}$) miktarında azalma sağladığı söylenebilir (Şekil 4.5,6,8).

Çalışma sonuçlarından elde edilen verilere bağlı olarak fizyolojik parametrelerde genel olarak; uygulanan AzA konsantrasyon (12, 24 ppm)'un fizyolojik parametrelerden daha çok AOT'larda azalma, prolin ve klorofil miktarında artma, MDA miktarında azalma sağlayarak biyokimyasal sonuçları etkilediği kanısındayız. H_2O_2 miktarında meydana gelen artma bazı enzim aktivitelerinde uyarma ya neden olurken bazı durumlarda stresin varlığını gösterir nitelik taşımaktadır. Ayrıca AzA uygulaması ile meydana gelen MDA miktarındaki azalma BEİ'te azalma ve YA artma ile desteklenir niteliktedir. Stres koşulları altında enzim aktivitelerini farklı şekilde etkileyerek iyileşme sağladığı söylenebilir.

5. 4. Antioksidan enzimler

Bitkilerde stres faktörlerine bağlı olarak bünyelerinde meydana gelen hasarın ortadan kaldırılmasında çeşitli enzimler farklı substratları kullanmaktadırlar. Antioksidan enzimler farklı antioksidan özellikte olup, AOT'ların oluşum sürecinin farklı aşamalarında bitkilerin stresle başa çıkmasına yardımcı olurlar (Rajput vd., 2021). Bu enzimlerden SOD (Süperoksit dismutaz) enzimi, süperoksit radikalinin H_2O_2 'e dönüşümünde görevlidir. Meydana gelen H_2O_2 'in ortadan kaldırılmasında ilk etkin olan enzim KAT (Katalaz)'dır. Bununla birlikte, askorbatın yeniden oluşumunda MDHA (monodehidroaskorbat) substrat olarak kullanan MDHAR (Monodehidroaskorbatredüktaz) ve DHA (Dehidroaskorbat) substrat olarak kullanan DHAR (Dehidroaskorbatredüktaz) enzimleri etkindir. GSH (glutasyon) döngüsünde; GR (Glutasyon redüktaz) enziminin aktive edilmesinde GSSG (oksideglutasyon) substrat olarak kullanılırken; tekrar DHAR enziminin aktivite edilmesi GSH (redükteglutasyon) aracılığı ile sağlanmış olur. Bunun yanı sıra, GST (Glutation-s-transferaz) enzimi GSH'ı substrat olarak kullanarak AOT'ların temizlenmesinde görevlidir (Hasanuzaman vd., 2020).

5.4.1. Süperoksit dismutaz (SOD)

SOD (EC1.15.1.1), AOT'lerini savurma sistemlerinde ilk adım olarak, iki molekül oksijen ve hidrojen peroksiti katalize eder (Fridovich, 1975). SOD enzimi metal kofaktörlerine göre mitokondride Cu/FeSOD, kloroplastta Cu/MnSOD, sitozolde Cu/ZnSOD şeklinde bulunurlar (Bowler vd., 1992). Çalışmada, SOD enzim aktivitesi; kontrole göre AzA₁ uygulaması ile 10. günde artış göstermiştir (Şekil 4.8). Bu artışın stres uygulamasından bağımsız AzA

uygulamasına bağı uyurıcı etki yaptığı söylenebilir. O_2^- radikal miktarındaki artış gözlenirken, MDA miktarında değışimin olmaması bu sonucu destekler niteliktedir.

SOD enzim aktivitesinde 5. günde tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₂ uygulaması ile artış tespit edilirken, MDA, H₂O₂ ve O_2^- miktarlarında azalmaya neden olduğı belirlenmiştir (Şekil 4.4.5, Şekil 4.4.6, Şekil 4.4.8). 10. günde ise değışimin gözlenmemesi, MDA ve O_2^- radikal miktarında meydana gelen azalma ile bitkide korumayı AzA uygulaması bağı sağladığı söylenebilir. Çalışma sonuçlarına benzer şekilde domates bitkisine biyotik stres (erken başak yanığı) altında uygulanan ve savunma tepkilerini tetikleyebilen bir karboksilik asit olan hekzanoik asitin ile SOD enzim aktivitesinde artış olduğı belirlenmiştir (Rabiei vd., 2022).

PEG uygulamasına göre PEG+AzA uygulaması ile 5. günde H₂O₂ miktarında meydana gelen artışın sinyal oluşturduğı tespit edilmiştir. SOD enzim aktivitesindeki artma ile H₂O₂ miktarındaki artma paralellik gösterdiği belirlenmiştir. 10. günde ise değışimin gözlenmemesi, AzA'nın koruyucuk rolünü üstlenerek MDA ve O_2^- miktarında azalmaya neden olarak sağladığı söylenebilir. Wang vd. (2021) domateste (*Solanum lycopersicum* L. Mill.) yaptıkları çalışmada kuraklık stresi altında pipekolik uygulaması ile SOD enzim aktivitesinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

SOD aktivitesinin, Tuz+PEG uygulamasına göre, Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile artış sağladığı H₂O₂ ve O_2^- miktarlarında meydana gelen azalma ile desteklenir niteliktedir. Ayrıca SOD aktivitesi Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 10. günde en fazla artış göstermiştir. Bu durum SOD enzim aktivitesindeki artma ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir. 10. günde ise değışimin gözlenmemesi AzA'nın koruyucuk rolünü üstlenerek MDA ve O_2^- miktarında azalmaya neden olarak sağladığı söylenebilir. Wang vd. (2021) domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkisinde yaptıkları çalışmada kuraklık stresi altında pipekolik uygulaması ile SOD enzim aktivitesinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

5.4.2. Peroksidaz (POX)

Hücre duvarına lokalize olup etkinliğı daha önce tespit edilmiş en önemli antioksidan enzimlerden biri olan POX aktivitesi H₂O₂ 'nin H₂O ve O₂ ye parçalamasını sağlar. İki önemli göreve sahiptir: 1) hücre içi oksidasyonun azalması 2) bitki hücre duvarı lignifikasyonu ile ilişkilidir (Passardi vd., 2005; Li vd., 2019).

Çalışmada POX aktivitesi tuz gruplarına göre Tuz+AzA uygulaması ile 5. günde azalırken, 10. günde değışmemiştir (Şekil 4.10). Tuz stresine bağı olarak, H₂O₂ ve MDA miktarındaki artış

ile POX enzim aktivitesinde artarken AzA uygulaması ile enzim aktivitesine ihtiyaç duymadan kendisi koruyuculuk görevini üstlenerek POX enzim aktivitesinde azalma gösterdiği söylenebilir. Bu sonuçları destekler nitelikte Ceccini vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Arabidopsis'te biyotik stres (*P. syringae*) altında uygulanan AzA'nın lipid metabolizması üzerine etki ederek SAR mekanizmasını uyardığı belirlenmiştir. Çalışmada tuz stresi koşulları altında hücre duvarı lipid metabolizmasının düzenlenmesinde ve H₂O₂ miktarında meydana gelen azalmada POX enzim aktivitesine ihtiyaç duymadan bu korumanın AzA uygulaması ile sağlandığı söylenebilir (Şekil 4.6).

PEG uygulaması ile POX enzim aktivitesinde artış gözlenirken, PEG+AzA uygulaması ile dikkate değer şekilde azalma olduğu tespit edilmiştir. POX enzim aktivitesindeki azalmaya rağmen yaprak alanında ve klorofil miktarında artış olup, prolin miktarı ve AOT'larda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun 5. günde SOD ve CAT enzimi ile sağlanırken, 10. günde ise enzim aktivitesine ihtiyaç duymadan uygulanan AzA'nın etkisi ile iyileşmeye neden olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Tuz+PEG gruplarına göre Tuz+PEG+AzA uygulaması ile POX enzim aktivitesinde 10. günde artışa neden olmuştur (Şekil 4.10). Bu sonuçlara bağlı olarak; BEİ ve lipid peroksidasyon ürünü olan MDA miktarındaki azalma ile desteklenir niteliktedir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.5). Çalışma sonuçlarımızı destekler nitelikte biyotik (küf; *Botrytis cinerea*) stres altında 2 farklı üzüm çeşidinde (Crimson ve Magenta) dışardan uygulanan MeSA (metilsalisilat) AOT'larda azalmaya ve POX enzim aktivitesinde artışa neden olduğu bildirilmiştir (García-Pasto vd., 2020b). Elde edilen sonuçlara bağlı olarak çalışmada 5. günde koruma SOD ve GR enzimi ile sağlanırken 10. günde tuz ve kuraklık altında AzA uygulaması ile POX enzim aktivitesini uyararak koruma sağladığı söylenebilir.

5.4.3. Askorbat-glutasyon döngüsü enzimleri

5.4.3.1. Askorbat peroksidaz (APX)

Askorbat peroksidaz (APX) enzimi, H₂O₂'nin askorbat-glutasyon döngüsünün ilk adımında etkin olan enzimatik antioksidanlardan biridir. Bu enzimin elektron vericisi olarak substrat olan askorbatı kullanarak H₂O₂ detoksifikasyonunda rol oynadığı bildirilmiştir (Noctor vd., 2018). Sonuçlar incelendiğinde, 5. günde tuz uygulamasına göre, Tuz+AzA uygulaması ile APX enzim aktivitesinde azalma gözlenmiştir. Ayrıca Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA uygulaması ile 5. günde azalma olduğu gözlenirken, 10. günde stres koşulları altında AzA

uygulamasý ile APX enzim aktivitesinde herhangi bir değişim gözlenmemiştir (şekil 4.11). Çalışma sonuçlarında benzer şekilde biyotik (*Alternaria solani*) stres altında domates (*Solanum lycopersicum*) yapılan çalışmada uygulanan hekzanoik asitin APX enzim aktivitesinde artışa neden olmadan koruma sağlandığı bildirilmiştir (Rabiei vd., 2022). Bu sonuçlara göre, çalışmada tuz ve AzA konsantrasyonuna bağlı olarak, aynı zamanda uygulamanın süresi ve soya bitkinin tolerans mekanizmasına göre antioksidan enzim aktivitelerinin farklılık gösterdiği söylenebilir.

5.4.3.2. Glutasyon -s transferaz (GST)

GSH protein tiyol gruplarını koruyan (H_2O_2) ve OH^- ile doğrudan reaksiyona giren ve Glutasyon-s-transferaz (GST), glutasyon peroksidaz (GPX), dehidroaskorbik asit redüktaz (DHAR) gibi glutasyona bağımlı enzimler için substrat olarak görev alan bir disülfid indirgeyicidir.

Glutasyon-s-transferaz enzimi bitki büyüme gelişmesini ve strese cevap oluşumunda etkinliği olan enzim ailesinden biridir. Bu aile esas olarak bitkilerde glutasyonun (γ -Glu-Cys-Gly) çeşitli hidrofobik, elektrofilik, ksenobiyotik bileşikler ve redoks tamponlama çözeltisine konjuge hale getirilerek s-glutasyonil (R-SG) ürünler üretilmesi için detoksifikasyon yolu olarak kullanılır (Marrs vd., 1996). Daha önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalarda tau sınıfı GST'lerin oksidatif hasara, kimyasal toksisite ve fiziksel stres ajanlarına karşı rolleri ortaya konmuştur (Galli vd., 2009; Skopelitis vd., 2017). Glutasyon-s-transferaz enziminin bilinen rollerinin yanında hormonlar ile etkileşimde olduğu da kanıtlanmıştır.

Çalışmada GST aktivitesi, kontrole göre tek başına AzA uygulaması ile değişime neden olmazken tuz uygulaması ile artış göstermiştir (şekil 4.12). Taşcı vd. (2020) yaptıkları çalışmada, tuz stresinin soya (*Glycine max* L.) bitkisinde AOT ve MDA miktarındaki artış ile bağlantılı olarak GST enzim aktivitesini uyardığını belirlemişlerdir. Çalışmada tuz uygulamasına göre birlikte (Tuz+AzA₁) uygulama ile GST enzim aktivitesinde 5. günde azalma gözlemlenirken, 10. günde ise değişimin olmadığı belirlenmiştir. Böylece tuz stresi altında GST enzim aktivite artışına ihtiyaç duymadan uygulanan AzA ile iyileşme sağlandığı söylenebilir. H_2O_2 miktarında meydana gelen azalma bunu destekler niteliktedir (şekil 4.6).

5.4.3.3. Glutasyon redüktaz (GR)

GR (EC.1.6.4.2), düşük molekül ağırlıklı tiyol bileşiği olup; Askorbat-Glutasyon döngüsünün son enzimidir ve GSH olarak birçok bitkide bulunur (Kunert ve Foyer, 1993). GR, glutasyon

disülfürü (GSSG) indirgenmiş glutatyona (GSH) indirgemek için NADPH'yi indirgeyici olarak kullanır ve üretilen fazla AOT'ları temizlemek için bitki dokularında meydana gelir (Velloso vd., 2010; Chaki vd., 2020; Dumanović vd., 2021; Khan vd., 2023). Glutasyon olarak enzimlerin tiyol gruplarını korumuştur. Direk antioksidan enzim görevinde, okside olmuş askorbik asitin (AsA) geri dönüşümünde, O_2^- ve OH^- ile reaksiyona girerek indirgeyici olarak görev alır. Halliwell-Asada yolunun son adımını katalizleyen GR aktivitesi kloroplastlardaki CO_2 tutucu enzim aktivitelerini sağlayarak, askorbat üretimi için gereklidir (Azevedo-Neto vd., 2006). GR enzim aktivite sonuçları değerlendirildiğinde diğer tüm uygulamalarda değişim gözlenmezken yalnız Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde artışın olması dikkat çekicidir (Şekil 4.13).

5.4.4. Katalaz (KAT)

Antioksidan enzimler, serbest oksijen radikallerinin hücrede oluşturduğu zararı etkisiz hale getirmek için koruyucudurlar. Bu enzimlerden KAT (EC.1.11.1.6.) enzimi bitki hücrelerinde peroksizomlar tarafından AOT'nin etkisiz hale getirilmesinde görevlidirler. KAT enzimi ile çeşitli peroksidazlar, H_2O_2 'nin parçalanmasını katalizlemektedir (Parida ve Das, 2005).

KAT aktivitesi istatistiksel analiz sonuçlarına göre değişimin olmadığı gözlenmesine rağmen; tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ 5. günde ve Tuz+AzA₂ uygulaması ise 10. günde artışa neden olmuştur (Şekil 4.14). Kaya vd. (2014) mısırdaki (*Zea mays* L.) yaptıkları çalışmada tuz stresi altında dışardan uygulanan gliserol'ün (Gliserol 3 Fosfatı katalizleyerek SAR mekanizmasının uyarılmasında etkinliği bilinen) prolin miktarı ve KAT enzim aktivitesinde artışa neden olduğu belirlenmiştir.

KAT enzim aktivite sonuçları değerlendirildiğinde, PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile istatistik analiz sonuçlarına göre artış olduğu gösterilmiştir. Buradaki aktivite artışının H_2O_2 miktarındaki artış ile sağlandığı söylenebilir (Şekil 4.6). Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA uygulaması ile değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Buradaki korumayı diğer enzim (SOD ve POX) aktiviteleri üzerine AzA uygulaması ile uyarıcı etki sağlayarak koruma sağladığı söylenebilir (Şekil 4.9, 10).

Genel olarak enzim aktivitelerinde, stresin süresine bağlı olarak bitkinin tolerans mekanizmasına göre enzim aktivitelerinin farklı şekilde etkilendiği söylenebilir. Bu durum soya bitkisini tuz ve kuraklık streslerinde 5. ve 10. günlerde farklı şekilde etkilemiştir. Çalışmada 5. günde Tuz+PEG+AzA₁ uygulamasında SOD enzim aktivitesi etkinlik sağlarken; Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile CAT, GST, GR enzim aktiviteleri arasında farklılık

oluşturmuştur. 10. günde Tuz+PEG+AzA₁ uygulaması ile SOD, CAT ve POX enzim aktiviteleri etkin iken Tuz+PEG+AzA₂'de GST, POX ve SOD enzim aktiviteleri etkin olmuştur. Ayrıca AzA uygulaması konsantrasyon farklılıklarına göre bazı enzim aktivitelerinde (SOD, APX, GR) uyarıcı rolü ile aktiviteyi arttırmasının yanında kendisi koruyuculuk rolü sağlayarak aktivitenin azalmasına (POX, GST) neden olmuştur.

Enzim aktiviteleri ve büyüme parametreleri eşleştirildiğinde, AzA'nın iyileştirici etkisi olduğu söylenebilir. Fizyolojik parametrelerde en etkin konsantrasyonun AzA₁ uygulaması olduğu, biyokimyasal parametrelerde ise AzA₂ olduğu söylenebilir.

5.5. Hücre duvarı antioksidan enzimleri

Bitkide stres koşulları altında hücre duvarı etkilenmektedir. Abiyotik ve biyotik strese maruz kalan bitkiler, birçok düzeyde olumsuz koşullara tepki verirken hücre duvarı yapısı da farklı şekillerde tepki meydana getirirler. Biyokimyasal düzeyde Aktif Oksijen Türleri (AOT) ve peroksidazların anahtar rol oynadığı bilinmektedir.

Ayrıca hücre duvarındaki yapı bileşenlerinde sertleşme ve fenolik bileşikler ile glikoproteinlerin çapraz bağlanmasını sağlar. Stresin süresinin artmasına bağlı AOT seviyeleri artışı fazla olursa OH⁻ radikalleri oluşumu ile ksiloglukanı değiştiren enzimler ve hücre duvarı gevşemesi, stresli organların daha fazla büyümesini sağlar. Stres koşulları altında hücre duvarı ile ilgili enzim aktivitelerinde birçok değişim meydana gelmektedir. Bunun yanında AOT oluşumu ile hücre duvarı yeniden modelleme enzimleri için transkripsiyonel değişiklikler ile ilgili gen düzeyinde de değişimlerin olduğu belirlenmiştir.

5.5.1. Fenilalanin amonyum liyaz (PAL)

Fenilalanin amonyum liyaz (PAL) enzimi (EC 4.3.1.24) fenolik maddelerin sentezinde lignifikasyonda anahtar rol oynamaktadır. PAL, Fenilalaninin transsinamata deaminasyonunu katalize eder. Bitkilerde strese maruz kalma durumunda stres göstergesi olarak kabul edilen PAL fenilpropanoid yoldaki enzimatik aktiviteler yoluyla patojenlere karşı SA'ya bağlı savunma sinyalinin pozitif düzenleyicileridir (Shine vd., 2016; Zhang vd., 2017; Islam vd., 2017). İstatistiksel analiz sonuçlarına göre PAL aktivitesi, kontrol gruplarına göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile 5. günde artarken, 10. günde azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın uygulanan AzA'nın sinyal görevi üstlenerek PAL enzim aktivite artışına neden olduğu

önerilebilir. Bu sonucu destekler nitelikte bitkilerde stressiz ve stresli koşullar altında PAL enzimi ile ilgili gen ifadelerinde artma gözlenmiştir (Waqas vd., 2019).

Çalışmada, tuz stresi altında PAL enzim aktivitesi kontrole göre artış göstermiştir (Şekil 4.17). Sonuçlarda benzer şekilde daha önce soya bitkisine yapılmış olan bir çok çalışmada tuz stresi altında PAL enzim aktivitesinde artış olduğu belirlenmiştir (Yin vd., 2022; Zhao vd., 2021). Yalnız tuz uygulamasına göre Tuz+AzA uygulaması ile PAL aktivitesi 5. günde azalırken 10. günde arttığı belirlenmiştir. Meydana gelen bu azalma tuz stresi altında hücre duvarında PAL artışına bağlı lignin bağlantısından farklı olarak; enzim aktivitesine ihtiyaç duymadan uygulanan AzA'nın koruyuculuk sağladığı söylenebilir. Ayrıca çalışma sonuçlarımızda BEİ'de azalma ve BSI'de artışın gözlenmesi bunu destekler niteliktedir (Şekil 4.4; Tablo 4.2). Literatür incelendiğinde, AzA uygulamasının PAL aktivitesinin üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak, tuz stresi altında aspir (*Carthamus tinctoria* L.) ve buğdayda (*Triticum aestivum* L.) dışardan uygulanan SA'nın fenil propanoid yolu etkileyerek PAL enzimi ile ilgili gen ifadelerini arttırdığı bildirilmiştir (Deng vd., 2017; Shaki vd., 2018). Ayrıca bitki savunma tepkilerini tetikleyebilen bir karboksilik asit olan hekzanoik asitin biyotik (*Alteria solani*) stres altında domatesta PAL enzimi ile ilgili genlerde artışına neden olduğu tespit edilmiştir (Rabiei vd., 2020). Bu sebeple uygulanan AzA'nın içsel SA birikimini uyararak bu enzimi aktive etmiş olabileceğini düşünmekteyiz.

PAL aktivite sonuçlarında PEG uygulamasına göre PEG+AzA uygulaması ile artma olduğu belirlenmiştir. Çalışmamıza paralel olarak kuraklık stresi altında soyada dışardan uygulanan SA'nın, PAL enzimi ile ilgili (*GmPAL1* ve *GmICS1*) genlerin ifade artışına neden olarak kuraklık stresine tolerasyon sağlamada etkin olduğu bildirilmiştir (La vd., 2023).

Çalışmada PAL enzim aktivitesinde kontrole göre Tuz+PEG uygulaması ile artış olurken, Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA uygulaması ile azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17). Shine vd. (2016) yaptıkları çalışmada, stres koşulları altında PAL enzim aktivitesinin azalması; SA sentezinin durmasına ve patojen direncinin ortadan kalkmasına yol açtığı belirlenmiştir. Çalışmadan farklı olarak soya (*Glycine max*. L.)'da tuz stresi altında IAA ve PBZ birlikte uygulama ile PAL aktivitesi artarken yalnız IAA veya yalnız PBZ uygulandığında PAL enzim aktivitesi değişmemiştir (Ayvacı vd., 2023). Sonuçlarda tuz ve kuraklığın oluşturduğu hasarın iyileştirilmesinde AzA uygulaması ile PAL aktivitesini arttırmadan membran stabilitesinin sağlanması ile BEİ, MDA miktarında azalma ile YA artışına bağlı olarak sağladığı şeklinde yorumlanabilir (Şekil 4.2; Şekil 4.5; Şekil 4.3).

5.5.2. Pektinmetilesteraz (PME)

Pektinmetilesteraz (PME) (EC 3.1.1.11), hücre duvarındaki pektinlerin metilester gruplarının hidrolizini katalize eder. Pektinmetilesteraz veya "pektinesteraz", karboksil grupları oluşturmak için pektinin metil esterlenmiş galakturonik asit kalıntılarının deesterifikasyonunu katalize eden hidrolitik bir enzimdir ve hücre duvarındaki metanol ve hidrojen iyonlarını serbest bırakır (Castillejo vd., 2004). PME aktivitesinin polen tüpünün uzaması, hipokotil büyümesi ve meyve olgunlaşması ile bağlantılı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yüksek PME aktivitesinin hücre duvarının gevşemesine neden olduğunu belirlenmiştir. Xue vd. (2020) yaptıkları çalışmada düşük PME aktivitesinin bitkilerde hücre duvarı yapısında sertliğin artması eğiliminde olduğunu sunmuştur.

Çalışmada PME enzim aktivitesi 5. günde her iki konsantrasyonda da tüm uygulama gruplarında değişime neden olmamıştır. Diğer yandan PME aktivitesi sonuçları; kontrol gruplarına göre 10. günde AzA₁ (12 ppm) uygulaması ile artışa neden olduğu söylenebilir.

Çalışmada 10. günde PME aktivitesi kontrole göre tuz uygulaması ile artma göstermiştir (Şekil 4.18). Sonuçlarımıza benzer şekilde tuz stresi altında soyada (*Glycine max*. L.), kanolada (*Brassica napus*) PME aktivitesinin artma olduğu belirlenmiştir (Ayvacı vd., 2023; Zhou vd., 2023). Daha önce yapılmış olan çalışmalarda PME'nin yüksek tuzluluk altında gevşek bağlı dimetil esterifikasyonunu tetiklediği ve pektinlerin hücre genişlemesini engellediği belirlenmiştir (Yan vd., 2018). Bizim çalışmada tuz uygulamasına göre Tuz+AzA uygulaması ile PME aktivitesi değişmemiştir.

Çalışmada kontrol grubuna göre, PEG uygulaması ile 10. günde PME enzim aktivitesinde artma olduğu gözlenmiştir. Pal vd. (2016) yaptıkları çalışmada kuraklık stresi altında domateste *SIPME* genlerinin ifadelerinde artışa neden olduğu bildirilmiştir. Bunun yanında çalışmada PEG uygulamasına göre PEG+AzA₁ uygulaması ile 10. günde 1.6 kat azalma olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar kontrole göre AzA₁ konsantrasyonundaki artış ile eşleştirildiğinde; uygulanan AzA'nın normal koşullarda uyarıcı etki yaparken PEG uygulaması ile PME aktivitesini azaltması dikkat çekicidir.

Diğer yandan PME enzim aktivitesinin Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA uygulaması ile değişmediği belirlenmiştir (Şekil 4.18). BEİ ve MDA içeriğinde meydana gelen azalma ile YA genişlemesinde meydana gelen artma eşleştirildiğinde hücre membran

genişlemesinin kontrolü uygulanan AzA ile sağlandığı şeklinde yorumlanabilir (Şekil 4.2; Şekil 4.5; Şekil 4.3.).

5.5.3. Lignin miktarı

Lignin, hücre duvarının karmaşık bir fenolik polimeridir ve en çok bulunan ikinci organik maddedir. Lignin miktarında kontrol grubuna göre AzA₁ (12 ppm) uygulaması 10. günde artma olmuştur. Lignin miktarında meydana gelen artmada POX enzim aktivitesinde meydana gelen artma ile ilişkili olduğu, bu durumun POX enziminin diğer bir görevi olan hücre duvarına lokalize AOT'ların temizlenmesinde ve lignifikasyona neden olduğu bildirilmiştir (Passardi vd., 2005). Ayrıca stres koşulları altında dışardan yapılan uygulamalar POX aktivite artışı ile lignifikasyonu arttırdığı bildirilmiştir (Shankar vd., 2017).

Çalışmada lignin miktarı tuz uygulamasına göre, Tuz+AzA uygulaması ile değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.13). Çalışmadan farklı şekilde Lin ve Kao (2001)'de yaptıkları çalışmada artan NaCl konsantrasyonları çeltikte (*Oryza sativa*) kökündeki lignin içeriğini azaltmıştır. Ayrıca Ayvaci vd. (2023) yaptıkları çalışmada soyada farklı konsantrasyonlarda tuz (200 ve 300 mM NaCl) uygulaması altında IAA uygulaması ile lignin miktarının arttığı (300 Mm NaCl) belirlenmiştir.

PEG uygulamasına göre PEG+AzA uygulaması ile 10. günde artma olduğu gözlenmiştir. Bu durum kuraklık stresi altında dışardan uygulanan AzA'nın hücre duvarı lignifikasyonu arttırarak kuraklığa bağlı su kaybını önlemek amaçlı hücre duvarı permabilitesini engellediği söylenebilir. BEİ miktarında meydana gelen azalma bunu destekler niteliktedir.

Elde edilen sonuçlara göre lignin miktarında Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA uygulaması ile 5. günde azalma, 10. günde ise değişimin olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Çalışmaya benzer şekilde Taşcı ve Dinler (2020) yaptıkları çalışmada soyada tuz stresi altında ön uygulama yapılan DA'nın lignifikasyonu arttırarak stres koşulları altında hücre duvarı yapısının kararlılığını sağlanmış olabileceğini bildirmişlerdir. Buna bağlı olarak, AzA uygulamasının tuz ve kuraklık stresinin oluşturduğu olumsuz etkilere karşı hücre duvarının kararlılığının sağlanmasında ve lipit transfer proteinleri aracılığı ile madde alışverişinin devamlılığını sağlayarak koruyuculuk rolünü üstlendiği düşüncesindeyiz.

5.6. Gen ifadeleri

5.6.1. XTH -Ksiloglukan endotransglukosilaz/hidrolazlar (*GmXTH3*) geni

Ksiloglukanlar (XTH), (ksiloglukan endotransglukosilaz/hidrolazlar) hücre uzaması sırasında selüloz mikrofibrillerinin bağlanmasıyla hücre duvarının güçlendirilmesinde rol oynarlar. Ksiloglukan, hücre uzaması sırasında selüloz mikrofibrillerinin bağlanması yoluyla hücre duvarının güçlendirilmesinde rol alırken, ksilan hücre duvarı yapısını oluşturulması sırasında polisakkaritlerin çapraz bağlanmasına katılır. Hemiselülozların hücre duvarı yeniden modelleme enzimleri tarafından modifikasyonu, hücre duvarı uzayabilirliğini kontrol eder (Ishida and Yokoyama, 2022).

XTH'ler ksiloglukanları bölebilir ve/veya yeniden bağlayabilir ve bu durum ksiloglukanların indirgeyici ucunun başka bir ksiloglukanın indirgeyici olmayan ucuna bağlanmasına yol açar, böylece kimerik oligomer veya polimer ksiloglukan molekülleri üretilir (Park ve Cosgrove, 2015). Çalışmalar, XTH'nin ksilan zincirinin katalitik etkisi ile bitki hücre duvarının sürekliliğini değiştirmek, ayarlamak için kesildiğini ve selüloz, ksilan iskeletini değiştirmek ve yeniden yapılandırmak için yeniden bağlanmasını sağlamıştır. Bu da bitkinin büyüme gelişmesini ve strese cevap oluşturmasını sağlamıştır (Rose vd., 2002; Miedes vd., 2014). XTH'lardan, soya fasulyesinde 61 tane *GmXTH* tanımlanmış ve üç alt gruba ayrılmıştır. Bu genlerin stres tepkileri nedeniyle Arabidopsis'te *AtXTH31* geni soya fasulyesinde aşırı ifadesi ile yüksek çimlenme oranı, büyüme aşamalarında kök ile hipokotillerin uzunluklarında artış ve tüm streslere karşı tolerans sağlamada çok etkin oldukları ortaya çıkmıştır (Song vd., 2018).

XTH homologları, tuz stresine farklı tepki verirler. Bazılarında gen ifadeleri artarken, bazılarında azalma veya değişme görülmemiş olduğu bildirilmiştir (Dabravolski ve Isayenkov, 2023). Çalışmada tuz uygulamasına göre T+AzA₂ uygulaması ile *GmXTH3* gen ifadesi 5 ve 10. günlerde artış göstermiştir (Şekil 4.20). Buna bağlı olarak AzA uygulaması ile tuz stresine bağlı BEİ ve MDA miktarında azalma ve YA değerlerinde artma ile *GmXTH3* gen ifadesindeki artışın hücre duvarı stabilitesini sağlamasının yanında hücre uzamasına etki ederek büyümeyi desteklediği söylenebilir.

Ayrıca *GmXTH3* gen ifadesinde kontrol gruplarına göre PEG uygulaması ile artış gösterirken PEG uygulamasına göre PEG+AzA uygulaması ile 5. günde değişim gözlenmemiş, 10. günde ise her iki konsantrasyonda da azalma olduğu gözlenmiştir. *GmXTH3* gen ifadesindeki meydana gelen bu azalma; PAL enzim aktivitesinde ve lignin miktarında artış ile uyumludur (Şekil 4.17,19). Çalışmada benzer şekilde Zhang vd., (2022) yaptıkları çalışmada, kuraklık

stresi (PEG) altında soyada *GmXTH3* gen ifadesinin artışı ile MDA miktarında ve POX ile SOD enzim aktivitesinde artış olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.5,9, 10).

GmXTH3 gen ifadesinin Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmezken 10. günde artma olduğu tespit edilmiştir. Cho vd. (2006, 2013) yaptıkları çalışmalarda, *CaXTH3* genlerinin biberde tuz ve kuraklık stresi altında strese tolerans sağlamada artışa neden olarak olduğu bildirilmiştir. Ayrıca deniz börülcesinde (*Salicornia europaea* L.) tuz ve kuraklık stresi altında *SeXTH3* gen ifadesinin arttığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, Dabravolski ve Isayenkov (2023) yaptıkları çalışmada, bitkilerde spesifik PME veya XTH genlerinin aşırı ifadesi veya yıkılması ile kuraklık ve tuz toleransını kolaylaştırıp biyokütle birikimi ve verimi arttırarak büyüme sağladığı bildirilmiştir.

5.6.2. Expansin (*GmEXPA2*) geninin ifadesi

Expansinler (EXP) bitki hücre duvarlarını gevşeterek hücre büyümesine ve çeşitli abiyotik streslere neden olmaktadır. Bitki ekspansin üst ailesi dört alt aile içerir: α -ekspansin (EXPA), β -ekspansin (EXPB), ekspansin benzeri A (EXLA), ekspansin benzeri B (EXLB) gruplandırılmış ve 241 ekspansin geni tanımlanmıştır. Ekspansin proteinleri normal olarak iki alandan oluşan 250-275 amino asit kalıntısı içerir: 120 ila 135 amino asit kalıntısına sahip N-terminal alanı I ve 90 ila 120 amino asit içeren C-terminal alanı II. N-terminalinde 20-30 amino asit kalıntısından oluşan bir sinyal peptidi mevcuttur (Han vd., 2019). Bitkide ekspansin genlerinin ifadesi belirgin doku özgüllüğüne sahiptir (Cho ve Kende, 2010). Fonksiyonel çalışmalar, ekspansinlerin bitki büyümesi (Choi vd., 2003), kök tüylerinin büyümesi (Lee vd., 2003), yaprak büyümesi (Pien vd., 2001) gibi birçok gelişimsel süreçte yer aldığını göstermiştir. Ekspansin genleri çeşitli çevresel faktörler altında oksidatif stres (Lin vd., 2005), tuz stresi (Chen vd., 2017) ve kuraklık stresi (Chen vd., 2016) altında ifadede artma olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada, *GmEXPA2* gen ifadesinde, tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21). Çalışma sonuçlarında benzer şekilde birçok buğday çeşidinde ekspansin geninin yüksek tuz stresi altında ifadesinin arttığı ve bu genlerin hücre içi Na⁺ ve K⁺ dengesinin korunmasında önemli bir rol oynadığı gözlenmiştir (Han vd., 2019). Çalışmada, *GmEXPA2* gen ifadesinde meydana gelen bu artış, AzA'nın SOD ve POX enzimleri üzerine uyarıcı etki sağlayarak hücre gelişimi ve membran stabilitesi üzerine etkinlik gösterdiği söylenebilir (Şekil 4.9,10).

GmEXPA2 geninin ifadesi; Tuz+PEG uygulamasına göre 5. günde değişim gözlenmezken 10. günde Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 6,5 kat artmış olduğu tespit edilmiştir. Ortamdaki yüksek NaCl seviyeleri, hücre zarının iyon seçiciliğini etkiler ve sonuçta bitki dokularındaki Na⁺/K⁺ dengesini etkileyebilir. Bitki köklerinin büyümesi, stresli ortamlarda suyu emme yeteneğini artırır. Ekspansin geninin ifade artışı bitki hücrelerinde çözünebilir şeker ve prolin içeriğini arttırarak hücre su potansiyelini dengeleyip stres hasarlarını azaltmıştır (Chen vd., 2017). Buğdayda ekspansin genlerinin ifadesi, antioksidanla ilişkili bazı genlerin ifadesini arttırarak düzenlemeyi destekleyebilir ve AOT birikimini azaltabilir (Lin vd., 2005). Ayrıca tuz ve kuraklık stresi altında Arabidopsis'te hücre duvarı gevşetici bir protein olan *RhEXPA4* geninin ifade artışı; bitki hücre genişlemesini değiştirerek abiyotik strese tolerans sağlamıştır (Lü vd., 2013). Böylece stres koşulları altında gen ifadelerinde meydana gelen artış ile antioksidan enzimleri uyararak AOT'ların zararını engelleyebileceği söylenebilir.

5.6.3. WAKS4 (*GmWAK-S4*) geninin ifadesi

Bir transmembran protein sınıfı olan reseptör benzeri kinaz (RLK'ler) hücre zarı üzerinde bulunur. RLK'ler birçok bitkide bulunan geniş bir gen ailesidir (Yu vd., 2022). WAK'lar, patojen tarafından enfeksiyona yanıt olarak üretilen hücre duvarındaki oligo galakturonik asitler (OG'ler), pektin ve pektin fragmanları için reseptörlerdir (Kohorn ve Kohorn, 2012). Duvarla ilişkili kinazlar (WAK'lar), Ser/Thr kinaz alanı ve bir epidermal büyüme faktörü (EGF) benzeri alan içeren bir proteini kodlayan genlerdir (Verica ve He, 2002). WAK'lar, bitkinin gelişimsel süreçlerinde hücre dışı matrisi ile hücre içi bölmeleri arasında bağlantıyı sağlar. Stres tepkisinde özellikle biyotik stres altında *WAK1*'in gen ifadelerinde MeJA ve SA tarafından uyarıldığı bildirilmiştir (Li vd., 2008). *WAK1*'in sistemik kazanılmış direnç sırasında da uyarıldığı tespit edilmiştir (Maleck vd., 2000). WAK'ların rolü hücre genişlemesi sırasında *WAK4* gen ifadesinde azalma hücre uzamasını azalttığını bildirmektedir (Lally vd., 2001). Arabidopsis'te *AtWAKL4* gen ifadesinde meydana gelen azalma Na⁺, K⁺, Cu⁺² ve Zn⁺² elementlerine karşı daha aşırı duyarlı bitkilerin üretilmesini sağlamıştır (Hou vd., 2005). Soyada biyotik stres altında yapılan bir çalışmada, SA'ya bağlı *GmWAK1* gen ifadesinde meydana gelen artışın PAL, POX ve SOD enzim aktivitelerinde artış sağlayarak; oksidatif stresin neden olduğu hasarı iyileştirmede olumlu bir rol oynadığı gözlenmiştir (Zhao vd., 2023). WAK'lar hücre duvarındaki pektin ile ilişkilidir ve hem gelişim sırasında hücre genişlemesi hem de strese yanıtı aracılık edilmesi açısından oldukça önemlidirler (Kanneganti ve Gupta, 2011; Wang vd., 2012; Delteil vd., 2016).

Çalışmada, *GmWAKS4* gen ifadesinde tuz uygulamasına göre Tuz+AzA₁ uygulaması ile 5. günde 8,7 kat artarken, 10. günde ise Tuz+AzA₂ uygulaması ile 2,3 kat artma olduğu belirlenmiştir. Bu durum AzA'nın mineral alımını destekleyerek yaprak alanında artış olması ile uyum içindedir (Şekil 4.3). Domatesteki *WAK1* geninin yaprakta Na⁺ birikimini düzenleyerek ve yüksek tuz koşullarında kaynak-havuz dengesini değiştirdiği bildirilmiştir (Meco vd., 2020). WAK'lar yalnızca bitki büyümesi ve gelişmesinin yanında abiyotik streslere karşı cevapta önemli rollere sahip protein kinazlardır (Bot vd., 2019; Meco vd., 2020). Tuz stresi koşulları altında Arabidopsis'te izole edilen pirinçte *OsWAK112* geni aşırı ifadesinin H₂O₂ birikimine neden olarak bitki hücrelerine zarar verip bitkinin büyüme ve gelişmesinin azaltmasına neden olduğu bildirilmiştir (Lin vd., 2021).

Çalışmada, *GmWAKS4* gen ifadesi Tuz+PEG uygulamasına göre Tuz+PEG+AzA₂ uygulaması ile 5. günde değişmediği 10. günde ise 14, 4 kat atmış olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.22). Arabidopsis'te *AtWAKL10* geninin ifade artışı kuraklık stresini olumsuz yönde etkilerken; tuz stresinde ise olumlu yönde düzenleme sağladığı bildirilmiştir (Bot vd., 2019). Tuz stresi altında domates bitkisinde *SlWAK1* gen ifadesinde artış kökten gövdeye mineral madde taşınımını artırırken *slwak1* mutantı ile yapraktan köke şeker taşınımını artarak kök gelişimi engellendiği ve su dengesinin bozulduğu bildirilmiştir (Meco vd., 2020).

Elde edilen sonuçlara bağlı olarak tuz stresi altında AzA uygulaması ile *GmXTH3*, *GmWAKS4* ve *GmEXPA2* gen ifadelerinde artış meydana gelmiştir. Bu sonuçlar PAL, SOD ile POX aktivitelerinde artış ve PME enzim aktivitesinde ise değişimin olmaması ile uyum içindedir. Bu nedenle uygulanan AzA'nın tuz stresi altında ilgili gen ifadeleri üzerine uyarıcı etki yaparak koruma sağladığı söylenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarına bağlı olarak, farklı konsantrasyonlarda dışarıdan uygulanan AzA soya bitkisinde herhangi bir olumsuz etki göstermemesinin yanında fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler analizlerde iyileşmeye neden olmuştur. Uygulanan AzA ile stres koşulları altında gen ifade artışı ile mineral madde alımı destekleyerek klorofil miktarında artışa neden olduğu şeklinde yorumlanabilir. Böylece AzA'nın fotosentez oranını arttırarak bitki gelişimini desteklediği söylenebilir. YA alanında meydana gelen artış ile BEİ'te meydana gelen azalma ve büyüme parametrelerinde istatistiksel olarak anlamsız olsada iyileşmenin gözlenmesi AzA uygulaması ile sağlandığı şeklinde yorumlanabilir. Bunun yanında özellikle fizyolojik parametrelerde en etkin konsantrasyonun AzA₁, biyokimyasal parametrelerde en etkin konsantrasyon AzA₂ olduğu söylenebilir.

Soya bitkisini tuz ve kuraklık streslerinde uygulama süresinin (5 ve 10. gün) yanında konsantrasyon (12, 24 ppm) farklılıklarının bazı enzim aktivitelerinde (SOD, APX, GR) uyarıcı etki meydana getirirken, bazı enzim aktivite artışına ihtiyaç duymadan kendisi koruyuculuk rolü üstlendiği söylenebilir. Enzim aktiviteleri ve büyüme parametreleri eşleştirildiğinde AzA'nın iyileştirici etkisi olduğu söylenebilir. PEG uygulaması altında AzA uygulaması ile POX ve PME enzim aktivitesinde azalma ile PAL enzim aktivitesinde artışın gözlenmesi, AzA uygulaması ile hücre membranında stabilizasyonun sağlanmasına neden olarak iyileşme sağladığı söylenebilir.

Uygulanan AzA'nın hücre gelişimi ve uzama üzerine etkisi ve hücre duvarının kararlılığının sağlanması ile meydana geldiği söylenebilir. AOT'a bağlı oluşan hasarın önlenmesinde, AzA uygulaması ile hücre duvarı ile ilgili enzimler ve gen ifadeleri üzerine uyarıcı etki yapıp madde alınımı ve taşınımını sağlayarak desteklediği söylenebilir. YA artış gözlenirken BEİ ve MDA miktarındaki azalma AzA uygulaması ile hücre duvarı stabilizasyonunun sağlandığını gösterir niteliktedir.

AOT'a bağlı oluşan hasarın önlenmesinde, AzA uygulaması ile ya enzimler üzerine yada gen ifadeleri üzerine uyarıcı etki yaparak madde alınımı ve taşınımını arttırdığı şeklinde yorumlanabilir. Bunun yanında çalışmada, uygulanan AzA'nın stres koşulları altında hücre gelişimi ve uzaması üzerine etki ederek hücre duvarı stabilitesini kendi koruyuculuk özelliği ile de sağladığı düşünülebilir.

Elde edilen sonuçların AzA'nın hücre duvarı üzerindeki koruyucu etkisi ile ilgili olarak literatürdeki eksikliği gidereceğini düşünmekteyiz. Ayrıca AzA sinyal mekanizması ile ilgili gerek bitkisel hormonlarla ilişkisi gerekse diğer savunma mekanizmaları üzerine etkisi ile ilgili daha ayrıntılı araştırmalar yapılması gerektiği düşüncesindeyiz.



KAYNAKLAR

- Ádám, A. L., Nagy, Z. Á., Kátay, G., Mergenthaler, E., & Viczián, O. (2018). Signals of systemic immunity in plants: progress and open questions. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 1146. <https://doi.org/10.3390/ijms19041146>
- Abd Elbar, O. H., Farag, R. E., & Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.10.001>
- Abdelaal, K. A., EL-Maghraby, L. M., Elansary, H., Hafez, Y. M., Ibrahim, E. I., El-Banna, M., ... & Elkelish, A. (2020). Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. *Agronomy*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010026>
- Abobatta, W. F. (2020). Plant responses and tolerance to combined salt and drought stress. *Salt and Drought Stress Tolerance in Plants: Signaling Networks and Adaptive Mechanisms*, 17-52.
- Acosta-Motos, J. R., & PedroDiaz-Vivancos, M. (2016). Responses to Salt Stress.,
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Ádám, A. L., Nagy, Z. Á., Kátay, G., Mergenthaler, E., & Viczián, O. (2018). Signals of systemic immunity in plants: progress and open questions. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 1146. <https://doi.org/10.3390/ijms19041146>
- Aguilar-Velazquez, B., Rosas-Quijano, R., Vazquez-Ovando, A., Salvador-Figueroa, M., Adriano-Anaya, L., & Galvez-Lopez, D. (2021). CpXTH2 and CpXTH5 genes are expressed during fruit development and ripening in *Carica papaya* L. *FRUITS*, 76(1), 3-10. <https://doi.org/10.17660/th2021/76.1.1>
- Ahmad, R., Hussain, S., Anjum, M. A., Khalid, M. F., Saqib, M., Zakir, I., ... & Ahmad, S. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in plants under salt stress. *Plant abiotic stress tolerance: Agronomic, molecular and biotechnological approaches*, 191-205. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_8
- Ahmed, Z., Waraich, E. A., Ahmad, R., & Shahbaz, M. (2017). Morpho-physiological and Biochemical Responses of Camelina (*Camelina sativa* crantz) Genotypes under Drought Stress. *International Journal of Agriculture & Biology*, 19(1). DOI: 10.17957/IJAB/15.0141
- Akhoundnejad, Y., & Dasgan, H. Y. (2020). Photosynthesis, transpiration, stomatal conductance of some melon (*Cucumis melo* L.) genotypes under different drought stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(12), 10974-10979.
- Akhoundnejad, Y., & Daşgan, H. Y. (2019). Effect of different irrigation levels on physiological performance of some drought tolerant melon (*Cucumis melo* L.) genotypes. *Applied Ecology and Environmental Research*. https://doi.org/10.15666/aeer/1704_999710012
- Aktaş, H., & Kılıç, P. (2013). Effect of salt treatments on seed germination and sprout quality in vegetable soybean sprout growing (*Glycine max* L.). *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences*, 23(3), 236-241.
- AL-Aloosy, Y. A. M., AL-Tameemi, A. J., & Jumaa, S. S. (2019). The role of enzymatic and non-enzymatic antioxidants in facing the environmental stresses on plant: a review. *Plant Arch*, 19(1), 1057-1060.
- Ami, K., Planchais, S., Cabassa, C., Guivarc'h, A., Very, A. A., Khelifi, M., ... & Carol, P. (2020). Different proline responses of two Algerian durum wheat cultivars to in vitro salt stress. *Acta physiologiae plantarum*, 42, 1-16.
- Amirjani, M. (2012). Effects of cadmium on wheat growth and some physiological factors. *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, 2(1), 50-58.
- An, P., Li, X., Zheng, Y., Eneji, A. E., & Inanaga, S. (2014). Calcium effects on root cell wall composition and ion contents in two soybean cultivars under salinity stress. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(4), 733-740. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-291>
- An, P., Li, X., Zheng, Y., Matsuura, A., Abe, J., Eneji, A. E., ... & Inanaga, S. (2014). Effects of NaCl on root growth and cell wall composition of two soya bean cultivars with contrasting salt

- tolerance. *Journal of agronomy and crop science*, 200(3), 212-218. <https://doi.org/10.1111/jac.12060>
- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Asada, K. (1996). Radical production and scavenging in the chloroplasts. In *Photosynthesis and the Environment* (pp. 123-150). Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/0-306-48135-9>
- Asada, K. (2006). Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant physiology*, 141(2), 391-396. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082040>
- Ashraf, M. A., Akbar, A., Askari, S. H., Iqbal, M., Rasheed, R., & Hussain, I. (2018). Recent advances in abiotic stress tolerance of plants through chemical priming: an overview. *Advances in seed priming*, 51-79. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_4
- Atkinson, N. J., Lilley, C. J., & Urwin, P. E. (2013). Identification of genes involved in the response of *Arabidopsis* to simultaneous biotic and abiotic stresses. *Plant physiology*, 162(4), 2028-2041. <https://doi.org/10.1104/pp.113.222372>
- Ayvaci, U., Koc, F. N., Cetinkaya, H., & Seckin Dinler, B. (2023). Treatment with auxin and paclobutrazol mediates ROS regulation, antioxidant defence system and cell wall response in salt treated soybean. *Brazilian Journal of Botany*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s40415-023-00922-8>
- Azelaic acid (2011). American Chemical Society. <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/a/azelaic-acid.html>
- Bai, X., Dai, L., Sun, H., Chen, M., & Sun, Y. (2019). Effects of moderate soil salinity on osmotic adjustment and energy strategy in soybean under drought stress. *Plant physiology and biochemistry*, 139, 307-313.; <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.029>
- Bakhshandeh, E., Gholamhosseini, M., Yaghoubian, Y., & Pirdashti, H. (2020). Plant growth promoting microorganisms can improve germination, seedling growth and potassium uptake of soybean under drought and salt stress. *Plant Growth Regulation*, 90, 123-136. <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00556-5>
- Bakır, A. G., Bolat, I., Korkmaz, K., Hasan, M. M., & Kaya, O. (2022). Exogenous nitric oxide and silicon applications alleviate water stress in apricots. *Life*, 12(9), 1454. <https://doi.org/10.3390/life12091454>
- Beauchamp C, Fridovich I (1971) Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Annual Biochemistry* 44:276-287. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8)
- Bektas Y, Eulgem T (2014) Synthetic plant defense elicitors. *Front Plant Sci* 5: 804 <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00804>
- Bergmeyer HU (1970) Measurement of catalase activity. *Biochemistry Z* 327:255
- Berni, R., Luyckx, M., Xu, X., Legay, S., Sergeant, K., Hausman, J. F., ... & Guerriero, G. (2019). Reactive oxygen species and heavy metal stress in plants: Impact on the cell wall and secondary metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.017>
- Bigeard, J., Colcombet, J., & Hirt, H. (2015). Signaling mechanisms in pattern-triggered immunity (PTI). *Molecular plant*, 8(4), 521-539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molp.2014.12.022>
- Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany*, 91(2), 179-194. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf118>
- Bot, P., Mun, B. G., Imran, Q. M., Hussain, A., Lee, S. U., Loake, G., et al. (2019). Differential expression of *AtWAKL10* in response to nitric oxide suggests a putative role in biotic and abiotic stress responses. *Peer J*. 7:e7383. doi: 10.7717/peerj.7383

- Bouain, N., Satbhai, S. B., Korte, A., Saenchai, C., Desbrosses, G., Berthomieu, P., ... & Rouached, H. (2018). Natural allelic variation of the *AZI1* gene controls root growth under zinc-limiting condition. *PLoS Genetics*, 14(4), e1007304. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007304>
- Bowler, C., Montagu, M. V., & Inze, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual review of plant biology*, 43(1), 83-116. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.000503>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Bray, E.A. (2004). Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany* 55, 2331–2341. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh270>
- Byrt, C. S., Munns, R., Burton, R. A., Gilliam, M., & Wege, S. (2018). Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. *Plant science*, 269, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.12.012>
- Caddell, D. F., Pettinga, D., Louie, K., Bowen, B. P., Sievert, J. A., Hollingsworth, J., ... & Coleman-Derr, D. (2023). Drought shifts sorghum root metabolite and microbiome profiles and enriches for pipecolic acid. *Phytobiomes Journal*, 7(4), 449-463. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-02-23-0011-R>
- Carella, P., Isaacs, M., & Cameron, R. K. (2015). Plasmodesmata-located protein overexpression negatively impacts the manifestation of systemic acquired resistance and the long-distance movement of Defective in Induced Resistance1 in *Arabidopsis*. *Plant Biology*, 17(2), 395-401. <https://doi.org/10.1111/plb.12234>
- Castillejo C, de la Fuente JI, Iannetta P, Botella MÁ, Valpuesta V (2004) Pectin esterase gene family in strawberry fruit: study of FaPE1, a ripening-specific isoform. *J Exp Bot* 55:909–918. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh102>
- Cecchini, N. M., Roychoudhry, S., Speed, D. J., Steffes, K., Tambe, A., Zodrow, K., ... & Greenberg, J. T. (2019). Underground azelaic acid–conferred resistance to *Pseudomonas syringae* in *Arabidopsis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 32(1), 86-94. <https://doi.org/10.1094/MPMI-07-18-0185-R>
- Cecchini, N. M., Steffes, K., Schläppi, M. R., Gifford, A. N., & Greenberg, J. T. (2015). *Arabidopsis* AZI1 family proteins mediate signal mobilization for systemic defence priming. *Nature communications*, 6(1), 7658. <https://doi.org/10.1038/ncomms8658>
- Cesarino, I. (2019). Structural features and regulation of lignin deposited upon biotic and abiotic stresses. *Current opinion in biotechnology*, 56, 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.12.012>
- Cetinkaya, H., DINLER, B. S., & Tasci, E. (2014). Investigation of comparative regulation on antioxidant enzyme system under copper treatment and drought stress in maize (*Zea mays* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(2), 363-371. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha4229632>
- Chaki, M., Begara-Morales, J. C., & Barroso, J. B. (2020). Oxidative stress in plants. *Antioxidants*, 9(6), 481. <https://doi.org/10.3390/antiox9060481>
- Chanda, B., Xia, Y. E., Mandal, M. K., Yu, K., Sekine, K. T., Gao, Q. M., ... & Kachroo, P. (2011). Glycerol-3-phosphate is a critical mobile inducer of systemic immunity in plants. *Nature genetics*, 43(5), 421-427. <https://doi.org/10.1038/ng.798>
- Chaturvedi, R., Venables, B., Petros, R. A., Nalam, V., Li, M., Wang, X., ... & Shah, J. (2012). An abietane diterpenoid is a potent activator of systemic acquired resistance. *The Plant Journal*, 71(1), 161-172. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2012.04981.x>
- Chaturvedi, R., Venables, B., Petros, R. A., Nalam, V., Li, M., Wang, X., ... & Shah, J. (2012). An abietane diterpenoid is a potent activator of systemic acquired resistance. *The Plant Journal*, 71(1), 161-172. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2012.04981.x>
- Chaturvedi, R., Venables, B., Petros, R. A., Nalam, V., Li, M., Wang, X., ... & Shah, J. (2012). An abietane diterpenoid is a potent activator of systemic acquired resistance. *The Plant Journal*, 71(1), 161-172. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2012.04981.x>
- Chen Y, Han Y, Kong X, Ren Y, Wang W. (2017). Ectopic expression of wheat expansin gene TaEXPA2 improved the salt tolerance of transgenic tobacco by regulating Na⁺/K⁺ and antioxidant competence. *Physiol Plant*;159:161–77. <https://doi.org/10.1111/ppl.12492>

- Chen Y, Han Y, Meng Z, Zhou S, Kong X, Wang W. (2016). Overexpression of the wheat expansin gene TaEXPA2 improved seed production and drought tolerance in transgenic tobacco plants. *PLoS One*.;11:e0153494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153494>
- Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., ... & Liu, Z. (2022). Humic acid modulates growth, photosynthesis, hormone and osmolytes system of maize under drought conditions. *Agricultural Water Management*, 263, 107447. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107447>
- Chen, Y. C., Holmes, E. C., Rajniak, J., Kim, J. G., Tang, S., Fischer, C. R., ... & Sattely, E. S. (2018). N-hydroxy-pipecolic acid is a mobile metabolite that induces systemic disease resistance in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(21), E4920-E4929. <https://doi.org/10.1073/pnas.1805291115>
- Cheng, Z., Zhang, X., Yao, W., Gao, Y., Zhao, K., Guo, Q., ... & Jiang, T. (2021). Genome-wide identification and expression analysis of the xyloglucan endotransglucosylase/hydrolase gene family in poplar. *BMC genomics*, 22, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-08134-8>
- Cho HT, Kende H. (2010). Tissue localization of expansins in deepwater rice. *Plant Journal*.;15:805–12. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1998.00258.x>
- Cho, H. T., & Kende, H. (1997). Expression of expansin genes is correlated with growth in deepwater rice. *The Plant Cell*, 9(9), 1661-1671. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.9.1661>
- Choi D, Lee Y, Cho HT, Kende H. (2003). Regulation of expansin gene expression affects growth and development in transgenic rice plants. *Plant Cell*.;15:1386–98. <https://doi.org/10.1105/tpc.011965>
- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 90(5), 856-867. <https://doi.org/10.1111/tpj.13299>
- Chun, H. J., Baek, D., Cho, H. M., Lee, S. H., Jin, B. J., Yun, D. J., ... & Kim, M. C. (2019). Lignin biosynthesis genes play critical roles in the adaptation of Arabidopsis plants to high-salt stress. *Plant signaling & behavior*, 14(8), 1625697. <https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1625697>
- Chun, H. J., Lim, L. H., Cheong, M. S., Baek, D., Park, M. S., Cho, H. M., ... & Kim, M. C. (2021). Arabidopsis CCoAOMT1 plays a role in drought stress response via ROS-and ABA-dependent manners. *Plants*, 10(5), 831. <https://doi.org/10.3390/plants10050831>
- Claussen, W. (2005). Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant science*, 168(1), 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.039>
- Clemens, S. (2001). Bitki metal toleransı ve homeostazın moleküler mekanizmaları. *Planta*, 212, 475-486. <https://doi.org/10.1007/s004250000458>
- Corwin, D. L. An Alternative Approach for Plant Salt Tolerance Studies Using Apparent Soil Electrical Conductivity Directed Soil Sampling. Available at SSRN 4230979. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4230979>
- Cosgrove, D. J. (2000). Loosening of plant cell walls by expansins. *Nature*, 407(6802), 321-326. <https://doi.org/10.1038/35030000>
- Costa-Gutierrez, S. B., Lami, M. J., Santo, M. C. C. D., Zenoff, A. M., Vincent, P. A., Molina-Henares, M. A., ... & de Cristóbal, R. E. (2020). Plant growth promotion by *Pseudomonas putida* KT2440 under saline stress: role of eptA. *Applied microbiology and biotechnology*, 104, 4577-4592. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10516-z>
- Cruz de Carvalho, M. H. (2008). Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. *Plant signaling & behavior*, 3(3), 156-165. <https://doi.org/10.4161/psb.3.3.5536>
- Çırak, C. ve Esendal, E. (2005). Soyada bitki gelişim dönemleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(2), 57-65.
- Çömlekçiöğlu, N. (2009). Cultivation of vegetable Soybean (*Glycine Max* (L.) Merrill.) as second crop under Harran Plain conditions. *Journal of the Faculty of Agriculture of Harran University (Turkey)*. DOI: 10.5897/AJB10.2237
- Dabravolski, S. A., & Isayenkov, S. V. (2023). The regulation of plant cell wall organisation under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1118313. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118313>
- Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2016). Drought effects on root and tuber production: A meta-analysis. *Agricultural water management*, 176, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.019>

- de Azevedo Neto, A. D., Prisco, J. T., Enéas-Filho, J., de Abreu, C. E. B., & Gomes-Filho, E. (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 56(1), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.008>
- Decreux, A. ve Messiaen, J. (2005). Duvarla ilişkili kinaz WAK1, kalsiyumun neden olduğu bir konformasyonda hücre duvarı pektinleri ile etkileşime girer. *Bitki ve Hücre Fizyolojisi*, 46 (2), 268-278.
- Delaplace, P., Rojas-Beltran, J., Frettinger, P., Du Jardin, P., & Fauconnier, M. L. (2008). Oxylinin profile and antioxidant status of potato tubers during extended storage at room temperature. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(12), 1077-1084. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.09.001>
- Demidchik, V. (2015). Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and experimental botany*, 109, 212-228. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021>
- Deng, Y., & Lu, S. (2017). Biosynthesis and regulation of phenylpropanoids in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36(4), 257-290. <https://doi.org/10.1080/07352689.2017.1402852>
- Diao, J., Lei, X., Hong, L., Rong, J., & Shi, Q. (2009, November). Estimating single leaf area of *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) using leaf length and width. In 2009 Third International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications (pp. 53-57). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PMA.2009.66>
- Ding, P., Rekhter, D., Ding, Y., Feussner, K., Busta, L., Haroth, S., Xu, S.; Li, X., Jetter, R., & Feussner, I. (2016). Characterization of a Pipecolic Acid Biosynthesis Pathway Required for Systemic Acquired Resistance. *Plant Cell*, 28, 2603–2615. <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00486>
- Dinler, B. S., Antoniou, C., & Fotopoulos, V. (2014). Interplay between GST and nitric oxide in the early response of soybean (*Glycine max* L.) plants to salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 171(18), 1740-1747. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.07.026>
- Dinler BS, Gunduzer E, Tekinay T (2016) Pre-treatment of fulvic acid plays a stimulant role in protection of soybean (*Glycine max* L.) leaves against heat and salt stress. *Acta Biol Crac Ser Bot* 58(1) <http://dx.doi.org/10.1515/abcsb-2016-000>
- Dogan, A., Uyak, C., Keskin, N., Akcay, A., Sensoy, R. I. G., & Ercisli, S. (2018). Grapevine leaf area measurements by using pixel values. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 71(6), 772-779.
- Doğru, A. (2021). Effects of heat stress on photosystem II activity and antioxidant enzymes in two maize cultivars. *Planta*, 253, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03611-6>
- Domon, J. M., Baldwin, L., Acket, S., Caudeville, E., Arnoult, S., Zub, H., ... & Rayon, C. (2013). Cell wall compositional modifications of *Miscanthus* ecotypes in response to cold acclimation. *Phytochemistry*, 85, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.09.001>
- Dumanović, J., Nepovimova, E., Natić, M., Kuća, K., & Jačević, V. (2021). The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: A concise overview. *Frontiers in plant science*, 11, 552969. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.552969>
- Eastmond, P. J. (2004). Glycerol-insensitive *Arabidopsis* mutants: *gli1* seedlings lack glycerol kinase, accumulate glycerol and are more resistant to abiotic stress. *The Plant Journal*, 37(4), 617-625. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2003.01989.x>
- Eastmond, P. J. (2007). Monodehydroascorbate Reductase4 is required for seed storage oil hydrolysis and postgerminative growth in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 19(4), 1376-1387. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.043992>
- Eklöf, J. M., & Brumer, H. (2010). The XTH gene family: an update on enzyme structure, function, and phylogeny in xyloglucan remodeling. *Plant Physiology*, 153(2), 456-466. <https://doi.org/10.1104/pp.110.156844>
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., ... & Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*, 1147. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- Farnese, F. S., Menezes-Silva, P. E., Gusman, G. S., & Oliveira, J. A. (2016). When bad guys become good ones: the key role of reactive oxygen species and nitric oxide in the plant responses to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 471. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00471>

- Fehr, W. R., and C. E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn., Iowa Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. 80.
- Fernández-Crespo, E., Navarro, J. A., Serra-Soriano, M., Finiti, I., García-Agustín, P., Pallás, V., & González-Bosch, C. (2017). Hexanoic acid treatment prevents systemic MNSV movement in *Cucumis melo* plants by priming callose deposition correlating SA and OPDA accumulation. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1793. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01793>
- Ferreres, F., Figueiredo, R., Bettencourt, S., Carqueijeiro, I., Oliveira, J., Gil-Izquierdo, A., ... & Sottomayor, M. (2011). Identification of phenolic compounds in isolated vacuoles of the medicinal plant *Catharanthus roseus* and their interaction with vacuolar class III peroxidase: an H₂O₂ affair?. *Journal of experimental botany*, 62(8), 2841-2854. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq458>
- Filek, M., Walas, S., Mrowiec, H., Rudolphy-Skórska, E., Sieprawska, A., & Biesaga-Kościelniak, J. (2012). Membrane permeability and micro-and macroelement accumulation in spring wheat cultivars during the short-term effect of salinity-and PEG-induced water stress. *Acta physiologiae plantarum*, 34, 985-995. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0895-5>
- Flowers, T. J., Munns, R., & Colmer, T. D. (2015). Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of botany*, 115(3), 419-431. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu217>
- Foyer C.H., Halliwell B. (1976) The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta* 133:21–25. <https://doi.org/10.1007/BF00386001>
- Foyer, C. H. (2018). Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. *Environmental and experimental botany*, 154, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.003>
- Foyer, C. H., & Noctor, G. (2016). Stress-triggered redox signalling: what's in pROSpect?. *Plant, cell & environment*, 39(5), 951-964. <https://doi.org/10.1111/pce.12621>
- Foyer, C. H., Lelandais, M., & Kunert, K. J. (1994). Photooxidative stress in plants. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb03042.x>
- Fridovich, I. (1975). Superoxide dismutases. *Annual review of biochemistry*, 44(1), 147-159. <https://doi.org/10.1146/annurev.bi.44.070175.001051>
- Furt, F., Simon-Plas, F., & Mongrand, S. (2011). Lipids of the plant plasma membrane. *The plant plasma membrane*, 3-30. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13431-9_1
- Gai, Z., Wang, Y. U., Ding, Y., Qian, W., Qiu, C., Xie, H., ... & Ding, Z. (2020). Exogenous abscisic acid induces the lipid and flavonoid metabolism of tea plants under drought stress. *Scientific reports*, 10(1), 12275. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69080-1>
- Gall, H. L., Philippe, F., Domon, J. M., Gillet, F., Pelloux, J., & Rayon, C. (2015). Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants*, 4(1), 112-166. doi: 10.3390/plants4010112
- Galli, F., Piroddi, M., Bartolini, D., Ciffolilli, S., Buoncristiani, E., Ricci, G., & Buoncristiani, U. (2014). Blood thiol status and erythrocyte glutathione-S-transferase in chronic kidney disease patients on treatment with frequent (daily) hemodialysis. *Free radical research*, 48(3), 273-281. <https://doi.org/10.3109/10715762.2013.861901>
- Gallina, G., Alfageme, E. R., Biasi, P., & García-Serna, J. (2018). Hydrothermal extraction of hemicellulose: from lab to pilot scale. *Bioresource technology*, 247, 980-991. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.155>
- Gao, Q. M., Kachroo, A., & Kachroo, P. (2014). Chemical inducers of systemic immunity in plants. *Journal of experimental botany*, 65(7), 1849-1855. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru010>
- García-Pastor, M. E., Giménez, M. J., Zapata, P. J., Guillén, F., Valverde, J. M., Serrano, M., & Valero, D. (2020). Preharvest application of methyl salicylate, acetyl salicylic acid and salicylic acid alleviated disease caused by *Botrytis cinerea* through stimulation of antioxidant system in table grapes. *International Journal of Food Microbiology*, 334, 108807. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108807>
- Ghanbari, F., & Sayyari, M. (2018). Controlled drought stress affects the chilling-hardening capacity of tomato seedlings as indicated by changes in phenol metabolisms, antioxidant enzymes activity, osmolytes concentration and abscisic acid accumulation. *Scientia Horticulturae*, 229, 167-174 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.009>

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Giuffrida, F., Roupahel, Y., Toscano, S., Scuderi, D., Romano, D., Rivera, C. M., ... & Leonardi, C. (2011). A simple model for nondestructive leaf area estimation in bedding plants. *Photosynthetica*, 49, 380-388. <https://doi.org/10.1007/s11099-011-0041-z>
- Gladala-Kostarz, A., Doonan, J. H., & Bosch, M. (2020). Mechanical stimulation in *Brachypodium distachyon*: Implications for fitness, productivity, and cell wall properties. *Plant, cell & environment*, 43(5), 1314-1330 <https://doi.org/10.1111/pce.13724>
- Goellner, M. (2001). Molecular analysis of cellulolytic enzymes in plant-nematode interactions. North Carolina State University.
- Gogoi, A. and Tripathi, B. (2019). 42% India's Land Area Under Drought, Worsening Farm Distress in Election Year [Online]. Available: <https://www.indiaspend.com/42-indias-land-area-under-drought-worsening-farm-distress-in-election-year/>. Indiaspent [April 3, 2019]
- Gondor, O. K., Pál, M., Janda, T., & Szalai, G. (2022). The role of methyl salicylate in plant growth under stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 153809. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153809>
- Greenway, H. and Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31 : 149 – 190 <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001053>
- Grzeszczuk, M., Salachna, P., & Meller, E. (2018). Changes in photosynthetic pigments, total phenolic content, and antioxidant activity of *Salvia coccinea* Buc'hoz Ex Etl. induced by exogenous salicylic acid and soil salinity. *Molecules*, 23(6), 1296. <https://doi.org/10.3390/molecules23061296>
- Guo, Q., Liu, L., & Barkla, B. J. (2019). Membrane lipid remodeling in response to salinity. *International journal of molecular sciences*, 20(17), 4264. <https://doi.org/10.3390/ijms20174264>
- Guo, Y. Y., Yu, H. Y., Yang, M. M., Kong, D. S., & Zhang, Y. J. (2018). Effect of drought stress on lipid peroxidation, osmotic adjustment and antioxidant enzyme activity of leaves and roots of *Lycium ruthenicum* Murr. seedling. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65, 244-250. <https://doi.org/10.1134/S1021443718020127>
- Habig WH, Pabst MJ, Jakoby WB (1974) Glutathione S-transferases: the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *Journal of Biology Chemistry* 249:7130–7139. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)42083-8](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)42083-8)
- Hagerman AE, Austin PJ (1986) Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 34:440–444. <https://doi.org/10.1021/jf00069a015>
- Hagerman, A. E., & Austin, P. J. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34(3), 440-444. <https://doi.org/10.1021/jf00069a015>
- Haghighi, M., & Sheibanirad, A. (2018). Evaluating of Azealic Acid on Tomato Vegetative and Photosynthetic Parameters under Salinity Stress. *Journal Of Horticultural Science*, 32(2), 287-300. doi:10.22067/JHORTS4.V32I2.64405
- Halliwell, B. (1999). Antioxidant defence mechanisms: from the beginning to the end (of the beginning). *Free radical research*, 31(4), 261-272. <https://doi.org/10.1080/10715769900300841>
- Hamann, T. (2012). Plant cell wall integrity maintenance as an essential component of biotic stress response mechanisms. *Frontiers in plant science*, 3, 77. <https://doi.org/10.3389/fpls.2012.00077>
- Hamid, Z. H., Amer, M., & Wahab, A. (2019). Effect of arginine on growth and yield of tomato plant (*Lycopersicon esculentum*) under drought stress. *Plant Arch*, 19, 4441-4444.
- Han, Z., Liu, Y., Deng, X., Liu, D., Liu, Y., Hu, Y., & Yan, Y. (2019). Genome-wide identification and expression analysis of expansin gene family in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC* <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5455-1>
- Hao, S., Wang, Y., Yan, Y., Liu, Y., Wang, J., & Chen, S. (2021). A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. *Horticulturae*, 7(6), 132. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7060132>
- Harayama, T., & Riezman, H. (2018). Understanding the diversity of membrane lipid composition. *Nature reviews Molecular cell biology*, 19(5), 281-296. <https://doi.org/10.1038/nrm.2017.138>

- Hare, P.D., Cress W.A., Van Staden, J. (1998). Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environ* 21:535-553. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1998.00309.x>
- Hartman, G. L., West, E. D., & Herman, T. K. (2011). Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, 3, 5-17. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x>
- Hartmann, M., & Zeier, J. (2018). l-lysine metabolism to N-hydroxyproline: an integral immune-activating pathway in plants. *The Plant Journal*, 96(1), 5-21. <https://doi.org/10.1111/tpj.14037>
- Hartmann, M., Kim, D., Bernsdorff, F., Ajami-Rashidi, Z., Scholten, N., Schreiber, S., ... & Zeier, J. (2017). Biochemical principles and functional aspects of proline biosynthesis in plant immunity. *Plant physiology*, 174(1), 124-153. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00222>
- Hasanuzzaman, M., & Tanveer, M. (Eds.). (2020). *Salt and drought stress tolerance in plants: signaling networks and adaptive mechanisms*. Springer Nature.
- Hasanuzzaman, M., Alam, M. M., Rahman, A., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2014). Exogenous proline and glycine betaine mediated upregulation of antioxidant defense and glyoxalase systems provides better protection against salt-induced oxidative stress in two rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *BioMed Research International*, <https://doi.org/10.1155/2014/757219>
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Parvin, K., Bhuiyan, T. F., Anee, T. I., Nahar, K., ... & Fujita, M. (2020). Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: A review of recent experimental evidence. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(22), 8695. <https://doi.org/10.3390/ijms21228695>
- Hasanuzzaman, M., Mahmud, J. A., Anee, T. I., Nahar, K., & Islam, M. T. (2018). Drought stress tolerance in wheat: Omics approaches in understanding and enhancing antioxidant defense. *Abiotic stress-mediated sensing and signaling in plants: an omics perspective*, 267-307. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7479-0_10
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., Ahmad, P., Chandna, R., Prasad, M. N. V., & Ozturk, M. (2013). Enhancing plant productivity under salt stress: relevance of poly-omics. *Salt stress in plants: signalling, omics and adaptations*, 113-156.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Hossain, M. S., Anee, T. I., Parvin, K., & Fujita, M. (2017). Nitric oxide pretreatment enhances antioxidant defense and glyoxalase systems to confer PEG-induced oxidative stress in rapeseed. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 323-331. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1362052>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Rahman, A., Mahmud, J. A., Alharby, H. F., & Fujita, M. (2018). Exogenous glutathione attenuates lead-induced oxidative stress in wheat by improving antioxidant defense and physiological mechanisms. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 203-212. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1458913>
- Hasanuzzaman, M., Shabala, L., Brodribb, T. J., Zhou, M., & Shabala, S. (2019). Understanding physiological and morphological traits contributing to drought tolerance in barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(2), 129-140. <https://doi.org/10.1111/jac.12307>
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1), 463-499.
- Hassan, A., Amjad, S. F., Saleem, M. H., Yasmin, H., Imran, M., Riaz, M., ... & Alyemeni, M. N. (2021). Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4276-4290. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.045>
- He, Z. H., He, D., & Kohorn, B. D. (1998). Requirement for the induced expression of a cell wall associated receptor kinase for survival during the pathogen response. *The Plant Journal*, 14(1), 55-63. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1998.00092.x>
- He, ZH, Fujiki, M. ve Kohorn, BD (1996). Hücre duvarı ile ilişkili, reseptör benzeri bir protein kinaz. *Biyolojik Kimya Dergisi*, 271 (33), 19789-19793.
- Heikal, Y. M., El-Esawi, M. A., El-Ballat, E. M., & Abdel-Aziz, H. M. (2023). Applications of nanoparticles for mitigating salinity and drought stress in plants: An overview on the physiological, biochemical and molecular genetic aspects. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 51(3), 297-327. <https://doi.org/10.1080/01140671.2021.2016870>

- Hématy, K., Cherk, C., & Somerville, S. (2009). Host–pathogen warfare at the plant cell wall. *Current opinion in plant biology*, 12(4), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.06.007>
- Hernandez, J. A., Jiménez, A., Mullineaux, P., & Sevilla, F. (2000). Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant, cell & environment*, 23(8), 853–862. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00602.x>
- Herzog V, Fahimi HD (1973) A new sensitive colorimetric assay for peroxidase using 3, 3'-diaminobenzidine as hydrogen donor. *Annual Biochemistry* 55:554–562. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(73\)90144-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(73)90144-9)
- Hildebrandt, T. M. (2018). Synthesis versus degradation: directions of amino acid metabolism during Arabidopsis abiotic stress response. *Plant molecular biology*, 98, 121–135. <https://doi.org/10.1007/s11103-018-0767-0>
- Hossain MA, Asada K (1984) Inactivation of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts on dark addition of hydrogen peroxide: its protection by ascorbate. *Plant Cell Physiology* 25:1285–1295 <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076837>
- Hossain, M. S., & Dietz, K. J. (2016). Tuning of redox regulatory mechanisms, reactive oxygen species and redox homeostasis under salinity stress. *Frontiers in plant science*, 7, 548. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00548>
- Hou, X., Tong, H., Selby, J., DeWitt, J., Peng, X., & He, Z. H. (2005). Involvement of a cell wall-associated kinase, WAKL4, in Arabidopsis mineral responses. *Plant physiology*, 139(4), 1704–1716. <https://doi.org/10.1104/pp.105.066910>
- Hu, X., Zhang, G., Hamaker, B. R., & Miao, M. (2022). The contribution of intact structure and food processing to functionality of plant cell wall-derived dietary fiber. *Food Hydrocolloids*, 127, 107511. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107511>
- Hura, T.; Hura, K.; Dziurka, K.; Ostrowska, A.; Bączek-Kwinta, R.; Grzesiak, M. (2012). An increase in the content of cell wall-bound phenolics correlates with the productivity of triticale under soil drought. *J. Plant Physiol.* 169, 1728–1736. 50. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.07.012>
- Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018). Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in plant science*, 9, 393. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00393>
- Hussain, S., Zhang, J. H., Zhong, C., Zhu, L. F., Cao, X. C., Yu, S. M., ... & Jin, Q. Y. (2017). Effects of salt stress on rice growth, development characteristics, and the regulating ways: A review. *Journal of integrative agriculture*, 16(11), 2357–2374. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61608-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61608-8)
- Hussain, T., Hussain, N., Tahir, M., Raina, A., Ikram, S., Maqbool, S., ... & Duangpan, S. (2022). Impacts of drought stress on water use efficiency and grain productivity of rice and utilization of genotypic variability to combat climate change. *Agronomy*, 12(10), 2518. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102518>
- Iqbal, A., Dong, Q., Wang, X., Gui, H., Zhang, H., Zhang, X., & Song, M. (2020). High nitrogen enhance drought tolerance in cotton through antioxidant enzymatic activities, nitrogen metabolism and osmotic adjustment. *Plants*, 9(2), 178. <https://doi.org/10.3390/plants9020178>
- Iraki, N.M.; Bressan, R.A.; Hasegawa, P.M.; Carpita, N.C. Alteration of the physical and chemical structure of the primary cell wall of growth-limited plant cells adapted to osmotic stress. *Plant Physiol.* 1989, 91, 39–47. <https://doi.org/10.1104/pp.91.1.39>
- Ishida, K., & Yokoyama, R. (2022). Reconsidering the function of the xyloglucan endotransglucosylase/hydrolase family. *Journal of Plant Research*, 135(2), 145–156. <https://doi.org/10.1007/s10265-021-01361-w>
- Javaid, T., Farooq, M. A., Akhtar, J., Saqib, Z. A., & Anwar-ul-Haq, M. (2019). Silicon nutrition improves growth of salt-stressed wheat by modulating flows and partitioning of Na⁺, Cl[−] and mineral ions. *Plant physiology and biochemistry*, 141, 291–299. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.06.010>
- Johnson, R., & Puthur, J. T. (2021). Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant physiology and biochemistry*, 162, 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034>

- José-Estanyol, M., Gomis-Rüth, F. X., & Puigdomènech, P. (2004). The eight-cysteine motif, a versatile structure in plant proteins. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42(5), 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.03.009>
- Jovanović V., S., Kukavica, B., Vidović, M., Morina, F., & Menckhoff, L. (2018). Class III peroxidases: functions, localization and redox regulation of isoenzymes. *Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants*, 269-300. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_13
- Jung, H. W., Tschaplinski, T. J., Wang, L., Glazebrook, J., & Greenberg, J. T. (2009). Priming in systemic plant immunity. *Science*, 324(5923), 89-91. DOI: 10.1126/science.1170025
- Kacar, Y. A., Byrne, P. F., & Teixeira da Silva, J. A. (2006). Molecular markers in plant tissue culture. *Floriculture, ornamental and plant biotechnology: advances and topical issues*, 2, 444-449.
- Kamran, M., Parveen, A., Ahmar, S., Malik, Z., Hussain, S., Chattha, M. S., ... & Chen, J. T. (2019). An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. *International journal of molecular sciences*, 21(1), 148. <https://doi.org/10.3390/ijms21010148>
- Kapoor, D., Sharma, R., Handa, N., Kaur, H., Rattan, A., Yadav, P., ... & Bhardwaj, R. (2015). Redox homeostasis in plants under abiotic stress: role of electron carriers, energy metabolism mediators and proteinaceous thiols. *Frontiers in Environmental Science*, 3, 13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00013>
- Katerji, N., Rana, G., & Mastrorilli, M. (2010). Modelling of actual evapotranspiration in open top chambers (OTC) at daily and seasonal scale: multi-annual validation on soybean in contrasted conditions of water stress and air ozone concentration. *European journal of agronomy*, 33(3), 218-230. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.06.001>
- Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Tuna, A. L., Polat, T., & Aydemir, S. (2015). Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. *Acta physiologiae plantarum*, 37, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1741-3>
- Ke D, Sun G (2004) The effect of reactive oxygen species on ethylene production induced by osmotic stress in etiolated mungbean seedling. *Plant Growth Regulation* 44(3):199–206 <https://doi.org/10.1007/s10725-004-5575-7>
- Kesh, H., Devi, S., Kumar, N., Kumar, A., Kumar, A., Dhansu, P., ... & Mann, A. (2022). Insights into physiological, biochemical and molecular responses in wheat under salt stress. *Wheat*. DOI: 10.5772/intechopen.102740
- Kesten, C., Wallmann, A., Schneider, R., McFarlane, H. E., Diehl, A., Khan, G. A., ... & Persson, S. (2019). The companion of cellulose synthase 1 confers salt tolerance through a Tau-like mechanism in plants. *Nature Communications*, 10(1), 857. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08780-3>
- Khan, I., Raza, M. A., Awan, S. A., Shah, G. A., Rizwan, M., Ali, B., ... & Huang, L. (2020). Amelioration of salt induced toxicity in pearl millet by seed priming with silver nanoparticles (AgNPs): The oxidative damage, antioxidant enzymes and ions uptake are major determinants of salt tolerant capacity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.09.018>
- Khan, M. N. (2023). Melatonin regulates mitochondrial enzymes and ascorbate–glutathione system during plant responses to drought stress through involving endogenous calcium. *South African Journal of Botany*, 162, 622-632. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.09.032>
- Khodayari, A., Thielemans, W., Hirn, U., Van Vuure, A. W., & Seveno, D. (2021). Cellulose-hemicellulose interactions-a nanoscale view. *Carbohydrate Polymers*, 270, 118364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118364>
- Kılınçoğlu, N., Cevheri, C. İ., Cevheri, C., & Nahya, H. Y. (2021). Effects of exogenous glycine betaine application on some physiological and biochemical properties of cotton (*G. hirsutum* L.) plants grown in different drought levels. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(4), 689-700. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2021.4.30>
- Kibria, M. G., & Hoque, M. A. (2019). A review on plant responses to soil salinity and amelioration strategies. *Open Journal of Soil Science*, 9(11), 219. <https://doi.org/10.4236/ojss.2019.911013>

- Kim, J. W., & Minamikawa, T. (1997). Hydroxyl radical-scavenging effects of spices and scavengers from brown mustard (*Brassica nigra*). *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 61(1), 118-123. <https://doi.org/10.1271/bbb.61.118>
- Kim, S. G., Lee, J. S., Bae, H. H., Kim, J. T., Son, B. Y., Kim, S. L., ... & Jeon, W. T. (2019). Physiological and proteomic analyses of Korean F1 maize (*Zea mays* L.) hybrids under water-deficit stress during flowering. *Applied Biological Chemistry*, 62, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0438-0>
- Kim, T. J., & Lim, G. H. (2023). Salicylic acid and mobile regulators of systemic immunity in plants: transport and metabolism. *Plants*, 12(5), 1013. <https://doi.org/10.3390/plants12051013>
- Kinnersley, A. M., & Turano, F. J. (2000). Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 19(6), 479-509. <https://doi.org/10.1080/07352680091139277>
- Kirecci, O. A. (2018). The effects of salt stress, SNP, ABA, IAA and GA applications on antioxidant enzyme activities in *Helianthus annuus* L. *Fresenius Environ. Bull*, 27(5), 3783-3788.
- Konno, H., Yamasaki, Y., Sugimoto, M., & Takeda, K. (2008). Differential changes in cell wall matrix polysaccharides and glycoside-hydrolyzing enzymes in developing wheat seedlings differing in drought tolerance. *Journal of plant physiology*, 165(7), 745-754. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.07.007>
- La, V. H., Tran, D. H., Han, V. C., Nguyen, T. D., Duong, V. C., Nguyen, V. H., ... & Ngo, X. B. (2023). Drought stress-responsive abscisic acid and salicylic acid crosstalk with the phenylpropanoid pathway in soybean seeds. *Physiologia Plantarum*, 175(5), e14050. <https://doi.org/10.1111/ppl.14050>
- Labudda, M., Dziurka, K., Fidler, J., Gietler, M., Rybarczyk-Płóńska, A., Nykiel, M., ... & Muszyńska, E. (2022). The alleviation of metal stress nuisance for plants—a review of promising solutions in the face of environmental challenges. *Plants*, 11(19), 2544. <https://doi.org/10.3390/plants11192544>
- Lally, D., Ingmire, P., Tong, H. Y., & He, Z. H. (2001). Antisense expression of a cell wall-associated protein kinase, WAK4, inhibits cell elongation and alters morphology. *The Plant Cell*, 13(6), 1317-1332. <https://doi.org/10.1105/TPC.010075>
- Läuchli, A. (1984). Salt exclusion: An adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. In *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*, Edited by: Staples, R.C. and Toenniessen, G.H. 171 – 187. New York, NY : Wiley Interscience. <https://doi.org/10.1007/BF00012001>
- Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., & Dietz, K. J. (2019). The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*, 8(4), 94. <https://doi.org/10.3390/antiox8040094>
- Le Gall, H., Philippe, F., Domon, J. M., Gillet, F., Pelloux, J., & Rayon, C. (2015). Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants*, 4(1), 112. doi: 10.3390/plants4010112
- Lee DK, Ahn JH, Song SK, Choi YD, Lee JS. (2003). Expression of an expansin gene correlated with root elongation in soybean. *Plant Physiology*;131:985. <https://doi.org/10.1104/pp.009902>
- Lee, H. W., & Kim, J. (2013). Expansin17 up-regulated by LBD18/ASL20 promotes lateral root formation during the auxin response. *Plant and Cell Physiology*, 54(10), 1600-1611. <https://doi.org/10.1093/pcp/pct105>
- Leucci, M.R., Lenucci, M.S., Piro, G., & Dalessandro, G. (2008). Water stress and cell wall polysaccharides in the apical root zone of wheat cultivars varying in drought tolerance. *Journal of plant physiology*, 165(11), 1168-1180. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.09.006>
- Li Z.C, Cosgrove DJ. (1993). An oat coleoptile wall protein that induces wall extension in vitro and that is antigenically related to a similar protein from cucumber hypocotyls. *Planta*;191:349–56. <https://doi.org/10.1007/BF00195692>
- Li, H., Zhou, S. Y., Zhao, W. S., Su, S. C., & Peng, Y. L. (2009). A novel wall-associated receptor-like protein kinase gene, OsWAK1, plays important roles in rice blast disease resistance. *Plant molecular biology*, 69, 337-346. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9430-5>
- Li, L., Gu, W., Li, J., Li, C., Xie, T., Qu, D., ... & Wei, S. (2018). Exogenously applied spermidine alleviates photosynthetic inhibition under drought stress in maize (*Zea mays* L.) seedlings associated with changes in endogenous polyamines and phytohormones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129, 35-55. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.017>

- Liang, W., Ma, X., Wan, P., & Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and biophysical research communications*, 495(1), 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043>
- Lichtenthaler, H. K., Burgstahler, R., Buschmann, C., Meier, D., Prenzel, U., & Schönthal, A. (1983). Effect of high light and high light stress on composition, function and structure of the photosynthetic apparatus. In *Effects of Stress on Photosynthesis: Proceedings of a conference held at the 'Limburgs Universitair Centrum' Diepenbeek, Belgium, 22–27 August 1982* (pp. 353-370). Springer Netherlands.
- Liepmann, A. H., Wightman, R., Geshi, N., Turner, S. R., & Scheller, H. V. (2010). Arabidopsis—a powerful model system for plant cell wall research. *The Plant Journal*, 61(6), 1107-1121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04161.x>
- Lim, G. H., Liu, H., Yu, K., Liu, R., Shine, M. B., Fernandez, J., ... & Kachroo, P. (2020). The plant cuticle regulates apoplastic transport of salicylic acid during systemic acquired resistance. *Science Advances*, 6(19), eaaz0478.
- Lim, G.-H.; Shine, M.; de Lorenzo, L.; Yu, K.; Cui, W.; Navarre, D.; Hunt, A.G.; Lee, J.-Y.; Kachroo, A.; Kachroo, P. (2016). Plasmodesmata localizing proteins regulate transport and signaling during systemic acquired immunity in plants. *Cell Host Microbe* 19, 541–549. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chom.2016.03.006>
- Lin Z, Ni Z, Zhang Y, Yao Y, Wu H, Sun Q. (2005). Isolation and characterization of 18 genes encoding alpha- and beta-expansins in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Mol Genet Genomic*;274:548–56. <https://doi.org/10.1007/s00438-005-0029-0>
- Lin, C. C., & Kao, C. H. (2001). Abscissic acid induced changes in cell wall peroxidase activity and hydrogen peroxide level in roots of rice seedlings. *Plant Science*, 160(2), 323-329. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00396-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00396-4)
- Lin, W., Wang, Y., Liu, X., Shang, J. X., & Zhao, L. (2021). OsWAK112, a wall-associated kinase, negatively regulates salt stress responses by inhibiting ethylene production. *Frontiers in Plant Science*, 12, 751965. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.751965>
- Liu, B., Liu, J., Yu, J., Wang, Z., Sun, Y., Li, S., ... & Wang, J. P. (2021). Transcriptional reprogramming of xylem cell wall biosynthesis in tension wood. *Plant Physiology*, 186(1), 250-269. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab038>
- Liu, Q., Zheng, L., He, F., Zhao, F. J., Shen, Z., & Zheng, L. (2015). Transcriptional and physiological analyses identify a regulatory role for hydrogen peroxide in the lignin biosynthesis of copper-stressed rice roots. *Plant and Soil*, 387, 323-336. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2290-7>
- Liu, S., Huang, Y., Xu, H., Zhao, M., Xu, Q., & Li, F. (2018). Genetic enhancement of lodging resistance in rice due to the key cell wall polymer lignin, which affects stem characteristics. *Breeding Science*, 68(5), 508-515. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.18050>
- Loix, C., Huybrechts, M., Vangronsveld, J., Gielen, M., Keunen, E., & Cuypers, A. (2017). Reciprocal interactions between cadmium-induced cell wall responses and oxidative stress in plants. *Frontiers in plant science*, 8, 1867. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01867>
- Loix, C., Huybrechts, M., Vangronsveld, J., Gielen, M., Keunen, E., & Cuypers, A. (2017). Reciprocal interactions between cadmium-induced cell wall responses and oxidative stress in plants. *Frontiers in plant science*, 8, 1867. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01867>
- Lou, Y., Guan, R., Sun, M., Han, F., He, W., Wang, H., ... & Zhuge, Y. (2018). Spermidine application alleviates salinity damage to antioxidant enzyme activity and gene expression in alfalfa. *Ecotoxicology*, 27, 1323-1330. <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1984-7>
- Ma, Y., Dias, M. C., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 591911; <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911>
- Mahajan, M. M., Goyal, E., Singh, A. K., Gaikwad, K., & Kanika, K. (2020). Shedding light on response of *Triticum aestivum* cv. Kharchia Local roots to long-term salinity stress through transcriptome profiling. *Plant Growth Regulation*, 90, 369-381. <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00565-4>
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, 444(2), 139-158. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.10.018>

- Makbul, S., Güler, N.S., Durmuş, N., & Güven, S. (2011). Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stress. *Turkish Journal of Botany*, 35(4), 369-377. Doi:10.3906/bot-1002-7
- Maldonado, A. M., Doerner, P., Dixon, R. A., Lamb, C. J., & Cameron, R. K. (2002). A putative lipid transfer protein involved in systemic resistance signalling in *Arabidopsis*. *Nature*, 419(6905), 399-403. <https://doi.org/10.1038/nature00962>
- Manosalva, P. M., Park, S. W., Forouhar, F., Tong, L., Fry, W. E., & Klessig, D. F. (2010). Methyl esterase 1 (StMES1) is required for systemic acquired resistance in potato. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 23(9), 1151-1163. <https://doi.org/10.1094/MPMI-23-9-1151>
- Mansour, M.M.F., & Ali, E.F. (2017). Evaluation of proline functions in saline conditions. *Phytochemistry*, 140, 52-68. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.04.016>
- Marrs, K. A. (1996). The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants. *Annual review of plant biology*, 47(1), 127-158. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.47.1.127>
- Mauch-Mani, B., Baccelli, I., Luna, E., & Flors, V. (2017). Defense priming: an adaptive part of induced resistance. *Annual review of plant biology*, 68, 485-512 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-041132>
- Mcqueen-Mason S, Cosgrove DJ. Two endogenous proteins that induce cell wall extension in plants. *Plant Cell*. 1992;4:1425-33. <https://doi.org/10.1105/tpc.4.11.1425>
- Meco, V., Egea, I., Ortiz-Atienza, A., Drevensek, S., Esch, E., Yuste-Lisbona, F. J., (2020). The salt sensitivity induced by disruption of cell wall-associated kinase 1 (*SlWAK1*) tomato gene is linked to altered osmotic and metabolic homeostasis. *Int. J. Mol. Sci.* 21:6308. doi: 10.3390/ijms21176308
- Mehla, N., Sindhi, V., Josula, D., Bisht, P., & Wani, S. H. (2017). An introduction to antioxidants and their roles in plant stress tolerance. *Reactive oxygen species and antioxidant Systems in Plants: role and regulation under abiotic stress*, 1-23. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5254-5_1
- Micheli, F. (2001). Pectin methylesterases: cell wall enzymes with important roles in plant physiology. *Trends in plant science*, 6(9), 414-419. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)02045-3](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02045-3)
- Miedes, E., Vanholme, R., Boerjan, W., & Molina, A. (2014). The role of the secondary cell wall in plant resistance to pathogens. *Frontiers in plant science*, 5, 358. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00358>
- Miller, G. A. D., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. U. L. T. A. N., & Mittler, R. O. N. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, cell & environment*, 33(4), 453-467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, cell & environment*, 33(4), 453-467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>
- Mittler, R., & Zilinskas, B. A. (1991). Purification and characterization of pea cytosolic ascorbate peroxidase. *Plant Physiology*, 97(3), 962-968. <https://doi.org/10.1104/pp.97.3.962>
- Mittler, R., & Zilinskas, B. A. (2004). Activated oxygen species in multiple stress situations and protective systems. In *Molecular ecotoxicology of plants* (pp. 51-73). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08818-0_3
- Mittova, V., Guy, M., Tal, M., & Volokita, M. (2002). Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: increased activities of antioxidant enzymes in root plastids. *Free radical research*, 36(2), 195-202. <https://doi.org/10.1080/10715760290006402>
- Mittova, V., Guy, M., Tal, M., & Volokita, M. (2004). Salinity up-regulates the antioxidative system in root mitochondria and peroxisomes of the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. *Journal of experimental botany*, 55(399), 1105-1113. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh113>
- Mittova, V., Tal, M., Volokita, M., & Guy, M. (2003). Up-regulation of the leaf mitochondrial and peroxisomal antioxidative systems in response to salt-induced oxidative stress in the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. *Plant, Cell & Environment*, 26(6), 845-856. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01016.x>

- Mohamed, H. I., El-Shazly, H. H., & Badr, A. (2020). Role of salicylic acid in biotic and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture: Volume 1*, 533-554. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_23
- Mohsenin, N. N. (1970). Physical properties of plant and animal materials Gordon and Breach.
- Mokrani, S., Nabti, E. H., & Cruz, C. (2020). Current advances in plant growth promoting bacteria alleviating salt stress for sustainable agriculture. *Applied Sciences*, 10(20), 7025. <https://doi.org/10.3390/app10207025>
- Møhlhøj, M., Pagant, S., & Höfte, H. (2002). Towards understanding the role of membrane-bound endo- β -1, 4-glucanases in cellulose biosynthesis. *Plant and Cell Physiology*, 43(12), 1399-1406. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcf163>
- Moons, A. (2005). Regulatory and functional interactions of plant growth regulators and plant glutathione S-transferases (GSTs). *Vitamins & hormones*, 72, 155-202.
- Moradi, M., Razavi, F., Rabiei, V., Soleimani Aghdam, M., & Salehi, L. (2020). Effects of Gamma-aminobutyric Acid Treatment on Postharvest Chilling Injury on Tomato Fruit. *Journal Of Horticultural Science*, 34(2), 221-230. doi: 10.22067/JHORTS4.V34I2.78718
- Moreira-Vilar, F. C., Siqueira-Soares, R. D. C., Finger-Teixeira, A., Oliveira, D. M. D., Ferro, A. P., da Rocha, G. J., ... & Ferrarese-Filho, O. (2014). The acetyl bromide method is faster, simpler and presents best recovery of lignin in different herbaceous tissues than Klason and thioglycolic acid methods. *PloS one*, 9(10), e110000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110000>
- Morris, E. R., & Walker, J. C. (2003). Receptor-like protein kinases: the keys to response. *Current opinion in plant biology*, 6(4), 339-342. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00055-4)
- Mota, T. R., Oliveira, D. M., Morais, G. R., Marchiosi, R., Buckeridge, M. S., Ferrarese-Filho, O., & dos Santos, W. D. (2019). Hydrogen peroxide-acetic acid pretreatment increases the saccharification and enzyme adsorption on lignocellulose. *Industrial Crops and Products*, 140, 111657. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111657>
- Moura, J. C. M. S., Bonine, C. A. V., de Oliveira Fernandes Viana, J., Dornelas, M. C., & Mazzafera, P. (2010). Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52(4), 360-376. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.00892.x>
- Moussa, H. R. (2004). Amelioration of salinity-induced metabolic changes in soybean by weed exudates. *Int J Agri Biol*, 6(3), 499-503.
- Moussa, H. R., & Abdel-Aziz, S. M. (2008). Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crop Science*, 1(1), 31-
- Muchate, N. S., Nikalje, G. C., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P., & Nikam, T. D. (2016). Physiological responses of the halophyte *Sesuvium portulacastrum* to salt stress and their relevance for saline soil bio-reclamation. *Flora*, 224, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.07.009>
- Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, A., & Kumar, P. (2010). Comparative study of the effects of salinity on plant growth, nodulation, and legheamoglobin content in kabuli and desi cultivars of *Cicer arietinum* (L.). *Atlas Journal of Biology*, 1(1), 1-4. <https://doi.org/10.5147/ajb.v1i1.1>
- Mukhtarova, L. S., Mukhitova, F. K., Gogolev, Y. V., & Grechkin, A. N. (2011). Hydroperoxide lyase cascade in pea seedlings: Non-volatile oxylipins and their age and stress dependent alterations. *Phytochemistry*, 72(4-5), 356-364. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.013>
- Munir, N., Khilji, S. A., Shabir, M., & Sajid, Z. A. (2021). Exogenous application of ascorbic acid enhances the antimicrobial and antioxidant potential of *Ocimum sanctum* L. grown under salt stress. *Journal of Food Quality*, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/4977410>
- Mushtaq, Z., Faizan, S., & Gulzar, B. (2020). Salt stress, its impacts on plants and the strategies plants are employing against it: A review. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 8(3), 81-91. DOI: 10.7324/JABB.2020.80315
- Nakano Y, Asada K (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology* 22:867–880 <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- Návarová, H., Bernsdorff, F., Döring, A. C., & Zeier, J. (2012). Pipecolic acid, an endogenous mediator of defense amplification and priming, is a critical regulator of inducible plant immunity. *The Plant Cell*, 24(12), 5123-5141. <https://doi.org/10.1105/tpc.112.103564>

- Niu, J. H., Ahmad Anjum, S., Wang, R., Li, J. H., Liu, M. R., Song, J. X., ... & Zong, X. F. (2016). Exogenous application of brassinolide can alter morphological and physiological traits of *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev under room and high temperatures. *Chilean journal of agricultural research*, 76(1), 27-33. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392016000100004>
- Ning H, Yuan J, Dong Q, Li W, Xue H, Wang Y, Li WX, et al (2018) Identification of QTLs related to the vertical distribution and seed-set of pod number in soybean [*Glycine max* (L.) Merri]. *PLoS One* 13(4):e0195830 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195830>
- Noctor, G., Reichheld, J. P., & Foyer, C. H. (2018). ROS-related redox regulation and signaling in plants. In *Seminars in cell & developmental biology* (Vol. 80, pp. 3-12). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.07.013>
- Noman, M., Jameel, A., Qiang, W. D., Ahmad, N., Liu, W. C., Wang, F. W., & Li, H. Y. (2019). Overexpression of *GmCAMTA12* enhanced drought tolerance in *Arabidopsis* and soybean. *International journal of molecular sciences*, 20(19), 4849. <https://doi.org/10.3390/ijms20194849>
- Ohmiya, Y., Samejima, M., Shiroishi, M., Amano, Y., Kanda, T., Sakai, F., & Hayashi, T. (2000). Evidence that endo-1, 4- β -glucanases act on cellulose in suspension-cultured poplar cells. *The Plant Journal*, 24(2), 147-158. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113x.2000.00860.x>
- Oliveira, D. M., Mota, T. R., Salatta, F. V., Sinzker, R. C., Končítiková, R., Kopečný, D., ... & Dos Santos, W. D. (2020). Cell wall remodeling under salt stress: Insights into changes in polysaccharides, feruloylation, lignification, and phenolic metabolism in maize. *Plant, cell & environment*, 43(9), 2172-2191. <https://doi.org/10.1111/pce.13805>
- O'Neill, M. A., & York, W. S. (2018). The composition and structure of plant primary cell walls. *Annual Plant Reviews online*, 1-54.
- Pal, R. S., Vandana, A. K., & Agrawal, S. (2016). Purification and characterization of pectin methylesterase from kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. Hayward). *International Food Research Journal*, 23(1), 161.
- Pal, S., Zhao, J., Khan, A., Yadav, N. S., Batushansky, A., Barak, S., ... & Rachmilevitch, S. (2016). Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. *Scientific reports*, 6(1), 39321. <https://doi.org/10.1038/srep39321>
- Pal, S., Zhao, J., Khan, A., Yadav, N. S., Batushansky, A., Barak, S., ... & Rachmilevitch, S. (2016). Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. *Scientific reports*, 6(1), 39321. <https://doi.org/10.1038/srep39321>
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- Parida, A. K., & Jha, B. (2010). Antioxidative defense potential to salinity in the euhalophyte *Salicornia brachiata*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, 137-148. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-91290>
- Park, A. R., Cho, S. K., Yun, U. J., Jin, M. Y., Lee, S. H., Sachetto-Martins, G., & Park, O. K. (2001). Interaction of the *Arabidopsis* receptor protein kinase WAK1 with a glycine-rich protein, AtGRP-3. *Journal of Biological Chemistry*, 276(28), 26688-26693.
- Park, Y. B., Cosgrove, D. J. (2015). Xyloglucan and its interactions with other components of the growing cell wall. *Plant Cell Physiol.* 56, 180–194. doi: 10.1093/pcp/pcu204 <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu204>
- Parker, J. (Ed.). (2009). *Annual Plant Reviews, Molecular Aspects of Plant Disease Resistance*. John Wiley & Sons.
- Pascholati SF, Nicholson RL, Butler LG (1986) Phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin accumulation in wounded maize mesocotyls. *Journal of Phytopathol* 115:165–172. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1986.tb00874.x>
- Passardi, F., Cosio, C., Penel, C., & Dunand, C. (2005). Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. *Plant cell reports*, 24, 255-265. <https://doi.org/10.1007/s00299-005-0972-6>
- Pelloux, J., Rusterucci, C., & Mellerowicz, E. J. (2007). New insights into pectin methylesterase structure and function. *Trends in plant science*, 12(6), 267-277. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.04.001>

- Phang, T. H., Shao, G., & Lam, H. M. (2008). Salt tolerance in soybean. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1196-1212. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00760.x>
- Pien, S., Wyrzykowska, J., McQueen-Mason, S., Smart, C., & Fleming, A. (2001). Local expression of expansin induces the entire process of leaf development and modifies leaf shape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, <https://doi.org/10.1073/pnas.191380498>
- Piro, G., Leucci, M. R., Waldron, K., & Dalessandro, G. (2003). Exposure to water stress causes changes in the biosynthesis of cell wall polysaccharides in roots of wheat cultivars varying in drought tolerance. *Plant Science*, 165(3), 559-569. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00215-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00215-2)
- Pitzschke, A. (2013). Agrobacterium infection and plant defense—transformation success hangs by a thread. *Frontiers in plant science*, 4, 519. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00519>
- Pitzschke, A., Datta, S., & Persak, H. (2014). Salt stress in Arabidopsis: lipid transfer protein AZI1 and its control by mitogen-activated protein kinase MPK3. *Molecular plant*, 7(4), 722-738. doi:10.1093/mp/sst157 <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00519>
- Pitzschke, A., Xue, H., Persak, H., Datta, S., & Seifert, G. J. (2016). Post-translational modification and secretion of azelaic acid induced 1 (AZI1), a hybrid proline-rich protein from Arabidopsis. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(1), 85. <https://doi.org/10.3390/ijms17010085>
- Rabiei, J., Khademi, M. S., Bagherpour, S., Ebadi, N., Karimi, A., & Ostad-Ali-Askari, K. (2022). Investigation of fire risk zones using heat–humidity time series data and vegetation. *Applied Water Science*, 12(9), 216. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01742-z>
- Rabiei, Z., Hosseini, S., Dehestani, A., Pirdashti, H., & Beiki, F. (2022). Exogenous hexanoic acid induced primary defense responses in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants infected with *Alternaria solani*. *Scientia Horticulturae*, 295, 110841. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110841>
- Rady, M. M., Elrys, A. S., El-Maati, M. F. A., & Desoky, E. S. M. (2019). Interplaying roles of silicon and proline effectively improve salt and cadmium stress tolerance in *Phaseolus vulgaris* plant. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 558-568. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.025>
- Rahman, M. M., Rahman, M. A., Miah, M. G., Saha, S. R., Karim, M. A., & Mostofa, M. G. (2017). Mechanistic insight into salt tolerance of *Acacia auriculiformis*: the importance of ion selectivity, osmoprotection, tissue tolerance, and Na⁺ exclusion. *Frontiers in plant science*, 8, 155. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00155>
- Rajput, V. D., Harish, Singh, R. K., Verma, K. K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F. R., ... & Mandzhieva, S. (2021). Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology*, 10(4), 267 <https://doi.org/10.3390/biology10040267>
- Ralph, J. (2010). Hydroxycinnamates in lignification. *Phytochemistry Reviews*, 9, 65-83. <https://doi.org/10.1007/s11101-009-9141-9>
- Ralph, J., Lapierre, C., & Boerjan, W. (2019). Lignin structure and its engineering. *Current opinion in biotechnology*, 56, 240-249. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.019>
- Rao, K. M., & Sresty, T. V. S. (2000). Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant science*, 157(1), 113-128. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00273-9](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00273-9)
- Raoufi, A., Rahemi, M., & Akbari, M. (2020). Glycerol foliar application improves salt tolerance in three pistachio rootstocks. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(6), 426-437. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.07.003>
- Raza, A., Ashraf, F., Zou, X., Zhang, X., & Tosif, H. (2020). Plant adaptation and tolerance to environmental stresses: mechanisms and perspectives. *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses*, 117-145.
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613-620.
- Ricardi, M.M.; Gonzalez, R.M.; Zhong, S.; Dominguez, P.G.; Duffy, T.; Turjanski, P.G.; Salter, J.D.S.; Allewa, K.; Carrari, F.; Giovannoni, J.J. (2014). Genome-wide data (ChIP-seq) enabled identification of cell wall-related and aquaporin genes as targets of tomato ASR1, a drought stress-responsive transcription factor. *BMC Plant Biol.* 14, 29. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-29>

- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J. and Paganga, G. (1997) Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci.* 2, 152-159. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01018-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2)
- Riedlmeier, M., Ghirardo, A., Wenig, M., Knappe, C., Koch, K., Georgii, E., ... & Vlot, A. C. (2017). Monoterpenes support systemic acquired resistance within and between plants. *The Plant Cell*, 29(6), 1440-1459. <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00898>
- Rodrigues de Queiroz, A., Hines, C., Brown, J., Sahay, S., Vijayan, J., Stone, J. M., ... & Roston, R. L. (2023). The effects of exogenously applied antioxidants on plant growth and resilience. *Phytochemistry Reviews*, 22(2), 407-447. <https://doi.org/10.1007/s11101-023-09862-3>
- Rodrigues, F. C. T., Silveira, P. R., Cacique, I. S., Oliveira, L. M., & Rodrigues, F. A. (2023). Azelaic and hexanoic acids-inducing resistance in soybean against *Phakopsora pachyrhizi* infection. *Plant Pathology* <https://doi.org/10.1111/ppa.13731>
- Rose, J. K., Braam, J., Fry, S. C., & Nishitani, K. (2002). The XTH family of enzymes involved in xyloglucan endotransglucosylation and endohydrolysis: current perspectives and a new unifying nomenclature. *Plant and cell physiology*, 43(12), 1421-1435. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcf171>
- Sadak MS, El-Hameid A, Asmaa R, Zaki FS, Dawood MG, El-Awadi, ME (2020) Physiological and biochemical responses of soybean (*Glycine max* L.) to cysteine application under sea salt stress. *Bull Natl Res Cent* 44(1):1-10 <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0259-7>
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., ... & Sarwar, M. I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth. *Nat. Sci.* 17(1), 34-40. doi:10.7537/marsnsj170119.06
- Sahoo S, Awasthi JP, Sunkar R, Panda SK (2017) Determining glutathione levels in plants. In: Sunkar R (ed) *Plant stress tolerance*. Humana Press, New York, pp 273–277. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7136-7_16
- Salim N, Raza A (2020) Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. *J Plant Nutr* 43:297–315. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907>
- Sampedro, J., Guttman, M., Li, L. C., & Cosgrove, D. J. (2015). Evolutionary divergence of β -expansin structure and function in grasses parallels emergence of distinctive primary cell wall traits. *The Plant Journal*, 81(1), 108-120. <https://doi.org/10.1111/tpj.12715>
- Sánchez-Rodríguez, E., del Mar Rubio-Wilhelmi, M., Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2012). Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stress. *Plant Science*, 188, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.12.019>
- Shankar, S., Singh, S., Shikha, Mishra, A., & Ram, S. (2019). Strategic role of fungal laccases in biodegradation of lignin. *Mycodegradation of Lignocelluloses*, 119-135.
- Sarisoy, U., Dinler, B. S., & Tasci, E. (2018). The effects of NPR1 dependent salicylic acid change in increasing salt tolerance of soybean leaves by acclimation. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2), 356-364. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha46211016>
- Savalia, S. G., & Gundalia, J. D. (2008). Soil-site suitability evaluation for soybean in Southern Saurashtra region of Gujarat. *Legume Research-An International Journal*, 31(1), 1-7.
- Scavuzzo-Duggan, T., Varoquaux, N., Madera, M., Vogel, J. P., Dahlberg, J., Hutmacher, R., ... & Scheller, H. V. (2021). Cell wall compositions of *Sorghum bicolor* leaves and roots remain relatively constant under drought conditions. *Frontiers in Plant Science*, 12, 747225. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.747225>
- Scheller, H. V., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annual review of plant biology*, 61, 263-289. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315>
- Schenk, S. T., & Schikora, A. (2015). Lignin extraction and quantification, a tool to monitor defense reaction at the plant cell wall level. *Bio-protocol*, 5(6), e1430-e1430. DOI: 10.21769/BioProtoc.1430
- Schroeter H., Boyd C., Spencer J.P., Williams R.J., Cadenas E., Rice-Evans C. (2002). MAPK signaling in neurodegeneration: influences of flavonoids and of nitric oxide. *Neurobiology of Aging*, 23: 861-880. [https://doi.org/10.1016/S0197-4580\(02\)00075-1](https://doi.org/10.1016/S0197-4580(02)00075-1)
- Sheteiwy MS, Abd Elgawad H, Xiong YC, Macovei A, Brestic M, Skalicky M, El-Sawah AM (2021) Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. *Physiol Plant*, 172(4):2153-2169 <https://doi.org/10.1111/ppl.13454>

- Seckin-Dinler, B., Tasci, E., Sarisoy, U., & Gul, V. (2018). The cooperation between methyl jasmonate and salicylic acid to protect soybean (*Glycine max* L.) from salinity. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(3), 1618-1626.
- Seckin Dinler, B., Cetinkaya, H., & Secgin, Z. (2023). The regulation of glutathione s-transferases by gibberellic acid application in salt treated maize leaves. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 29(1), 69-85. [https://doi.org/10.1016/S0083-6729\(05\)72005-7](https://doi.org/10.1016/S0083-6729(05)72005-7)
- Seifert, G. J., & Blaukopf, C. (2010). Irritable walls: the plant extracellular matrix and signaling. *Plant physiology*, 153(2), 467-478. <https://doi.org/10.1104/pp.110.153940>
- Sénéchal, F., Graff, L., Surcouf, O., Marcelo, P., Rayon, C., Bouton, S., Mareck, A., Mouille, G., Stintzi, A., Höfte, H., Lerouge, P., Schaller, A., & Pelloux, J. (2014). Arabidopsis Pectin methylesterase17 is co-expressed with and processed by SBT3. 5, a subtilisin-like serine protease. *Annals of Botany*, 114(6), 1161-1175. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu035>
- Sénéchal, F., Wattier, C., Rustérucci, C., & Pelloux, J. (2014). Homogalacturonan-modifying enzymes: structure, expression, and roles in plants. *Journal of experimental botany*, 65(18), 5125-5160. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru272>
- Shah, J., Chaturvedi, R., Chowdhury, Z., Venables, B., & Petros, R. A. (2014). Signaling by small metabolites in systemic acquired resistance. *The Plant Journal*, 79(4), 645-658. <https://doi.org/10.1111/tpj.12464>
- Shahin, A. (2021). Effect of Proline, Methyl Salicylate, and Magnetic Field in the Salinity of Vegetative, Flowering Growth, Chemical Composition and Oil Content on *Viola odorata*, Linn. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 59(5), 573-582. DOI: 10.21608/assjm.2021.195390
- Shaki, F., Maboud, H. E., & Niknam, V. (2018). Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), by salicylic acid. *Current Plant Biology*, 13, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.04.001>
- Shao, H.-B.; Chu, L.-Y.; Jaleel, C.A.; Zhao, C.-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biol.*, 331, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- Sharma, M., Gupta, S. K., Majumder, B., Maurya, V. K., Deebe, F., Alam, A., & Pandey, V. (2018). Proteomics unravel the regulating role of salicylic acid in soybean under yield limiting drought stress. *Plant physiology and biochemistry*, 130, 529-541. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.001>
- 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*, <https://doi.org/10.1155/2012/217037>
- Shields, A., Shivnauth, V., & Castroverde, C. D. M. (2022). Salicylic acid and N-hydroxypipicolinic acid at the fulcrum of the plant immunity-growth equilibrium. *Frontiers in Plant Science*, 13, 841688. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.841688>
- Shimizu Y, Aotsuka S, Hasegawa O, Kawada T, Sakuno T, Sakai F, Hayashi T. (1997). Changes in levels of mRNAs for cell wall-related enzymes in growing cotton fiber Cells. *Plant Cell Physiol.*;38:375–8. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029178>
- Shin, Y. K., Yum, H., Kim, E. S., Cho, H., Gothandam, K. M., Hyun, J., & Chung, Y. Y. (2006). BcXTH1, a *Brassica campestris* homologue of Arabidopsis XTH9, is associated with cell expansion. *Planta*, 224, 32-41. <https://doi.org/10.1007/s00425-005-0189-5>
- Shine, M. B., Yang, J. W., El-Habbak, M., Nagyabhyru, P., Fu, D. Q., Navarre, D., ... & Kachroo, A. (2016). Cooperative functioning between phenylalanine ammonia lyase and isochorismate synthase activities contributes to salicylic acid biosynthesis in soybean. *New Phytologist*, 212(3), 627-636. <https://doi.org/10.1111/nph.14078>
- Shiu, S. H., & Bleecker, A. B. (2001). Receptor-like kinases from Arabidopsis form a monophyletic gene family related to animal receptor kinases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(19), 10763-10768. <https://doi.org/10.1073/pnas.181141598>
- Singh, A. K., Mondal, G. C., Kumar, S., Singh, T. B., Tewary, B. K., & Sinha, A. (2008). Major ion chemistry, weathering processes and water quality assessment in upper catchment of Damodar River basin, India. *Environmental geology*, 54(4), 745-758. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0860-1>

- Sinha, A. K., Jaggi, M., Raghuram, B., & Tuteja, N. (2011). Mitogen-activated protein kinase signaling in plants under abiotic stress. *Plant signaling & behavior*, 6(2), 196-203. <https://doi.org/10.4161/psb.6.2.14701>
- Skopelitis, D. S., Benkovics, A. H., Husbands, A. Y., & Timmermans, M. C. (2017). Boundary formation through a direct threshold-based readout of mobile small RNA gradients. *Developmental cell*, 43(3), 265-273. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.devcel.2017.10.003>
- Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant physiology*, 53(2), 258-260. <https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258>
- Smirnoff, N. (1998). Plant resistance to environmental stress. *Current opinion in Biotechnology*, 9(2), 214-219. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(98\)80118-3](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(98)80118-3)
- Song, L., Valliyodan, B., Prince, S., Wan, J., & Nguyen, H. T. (2018). Characterization of the XTH gene family: new insight to the roles in soybean flooding tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(9), 2705 <https://doi.org/10.3390/ijms19092705>
- Sun, W. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate drought stress in C3 (*Leymus chinensis*) and C4 (*Hemarthria altissima*) grasses via altering antioxidant enzyme activities and photosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 499. <https://doi.org/10.1007/s00299-005-0972-6>
- Tang, J., Xu, H., Wang, C., Wang, Y., Li, B., & Cao, L. (2016). Effect of cadmium stress on root growth and organic acids and amino acid secretion of three rice varieties. *J. Hunan Agric. Univ*, 42, 118-124.
- Tang, X., Mu, X., Shao, H., Wang, H., & Brestic, M. (2015). Global plant-responding mechanisms to salt stress: physiological and molecular levels and implications in biotechnology. *Critical reviews in biotechnology*, 35(4), 425-437. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.889080>
- Tardieu, F., Parent, B., Caldeira, C. F., & Welcker, C. (2014). Genetic and physiological controls of growth under water deficit. *Plant physiology*, 164(4), 1628-1635. <https://doi.org/10.1104/pp.113.233353>
- Tardieu, F.; Parent, B.; Caldeira, C.F.; Welcker, C. (2014). Genetic and physiological controls of growth under water deficit. *Plant Physiol.* 164, 1628–1635. <https://doi.org/10.1104/pp.113.233353>
- Tardieu, F.O.; Granier, C.; Muller, B. (2011). Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator? *Curr. Opin. Plant Biol.* 14, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.02.002>
- Tarım ve Orman Bakanlığı <https://arastirma.tarimorman.gov.tr> > Belgeler Soya Tüp Haziran 2023-TEPGE.pdf
- Tasci, E., & Dinler, B. S. (2020). Dehydroabietic acid mediated *WRKY71* gene expressions and reactive oxygen species regulation in soybean under salinity. *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*, 62(1). doi: 10.24425/abcsb.2020.131664
- Tenhaken, R. (2015). Cell wall remodeling under abiotic stress. *Frontiers in plant science*, 5, 771.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). The plant cell wall. In *Molecular Biology of the Cell*. 4th edition. Garland Science. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00771>
- Thompson, J. E., Legge, R. L., & Barber, R. F. (1987). The role of free radicals in senescence and wounding. *New Phytologist*, 105(3), 317-344. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb00871.x>
- Tsydendambaev, V. D., Ivanova, T. V., Khalilova, L. A., Kurkova, E. B., Myasoedov, N. A., & Balnokin, Y. V. (2013). Fatty acid composition of lipids in vegetative organs of the halophyte *Suaeda altissima* under different levels of salinity. *Russian journal of plant physiology*, 60, 661-671. <https://doi.org/10.1134/S1021443713050142>
- Tuteja, N., Gill, S. S., & Tuteja, R. (2011). Plant responses to abiotic stresses: shedding light on salt, drought, cold and heavy metal stress. *Omics and plant abiotic stress tolerance*, 1, 39-64.
- Türkan, I., & Demiral, T. (2009). Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.05.008>
- Uddin, M. N., Hanstein, S., Leubner, R., & Schubert, S. (2013). Leaf cell-wall components as influenced in the first phase of salt stress in three maize (*Zea mays* L.) hybrids differing in salt resistance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, <https://doi.org/10.1111/jac.12031>

- Vaahtera, L., Schulz, J., & Hamann, T. (2019). Cell wall integrity maintenance during plant development and interaction with the environment. *Nature plants*, 5(9), 924-932. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0502-0>
- Vanholme, R., De Meester, B., Ralph, J., & Boerjan, W. (2019). Lignin biosynthesis and its integration into metabolism. *Current opinion in biotechnology*, 56, 230-239. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.018>
- Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J., & Boerjan, W. (2010). Lignin biosynthesis and structure. *Plant physiology*, 153(3), 895-905. <https://doi.org/10.1104/pp.110.155119>
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. J. P. S. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant science*, 151(1), 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Vellosillo, T., Martínez, M., Lopez, M. A., Vicente, J., Cascon, T., Dolan, L., ... & Castresana, C. (2007). Oxylipins produced by the 9-lipoxygenase pathway in *Arabidopsis* regulate lateral root development and defense responses through a specific signaling cascade. *The Plant Cell*, 19(3), 831-846. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.046052>
- Vellosillo, T., Vicente, J., Kulasekaran, S., Hamberg, M., & Castresana, C. (2010). Emerging complexity in reactive oxygen species production and signaling during the response of plants to pathogens. *Plant Physiology*, 154(2), 444-448. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161273>
- Verica, J.A., Chae, L., Tong, H., Ingmire, P., & He, Z.H. (2003). Tissue-specific and developmentally regulated expression of a cluster of tandemly arrayed cell wall-associated kinase-like kinase genes in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 133(4), 1732-1746. doi: 10.1104/pp.103.028530
- Wagner, T. A., & Kohorn, B. D. (2001). Wall-associated kinases are expressed throughout plant development and are required for cell expansion. *The Plant Cell*, 13(2), 303-318. <https://doi.org/10.1105/tpc.13.2.303>
- Wang, B., Wang, C., Xue, R., Liu, M., Xu, G., & Li, Z. (2021). Earthworm and arbuscular mycorrhizal fungi improve plant hormones and antioxidant enzymes to alleviate simulated acid rain stress. *Research square* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-438862/v1>
- Wang, S., Liang, D., Li, C., Hao, Y., Ma, F., & Shu, H. (2012). Influence of drought stress on the cellular ultrastructure and antioxidant system in leaves of drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.10.014>
- Wang, T., McFarlane, H. E., & Persson, S. (2016). The impact of abiotic factors on cellulose synthesis. *Journal of experimental botany*, 67(2), 543-552. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv488>
- Wang, Y., Reiter, R. J., & Chan, Z. (2018). Phytomelatonin: a universal abiotic stress regulator. *Journal of Experimental Botany*, 69(5), 963-974. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx473>
- Wang, Z., Hong, Y., Li, Y., Shi, H., Yao, J., Liu, X., ... & Zhu, J. K. (2021). Natural variations in S1SOS1 contribute to the loss of salt tolerance during tomato domestication. *Plant Biotechnology Journal*, 19(1), 20. doi: 10.1111/pbi.13443
- Wang, Z., Libault, M., Joshi, T., Valliyodan, B., Nguyen, H. T., Xu, D., ... & Cheng, J. (2010). SoyDB: a knowledge database of soybean transcription factors. *BMC Plant Biology*, 10, 1-12. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-14>
- Waqas, M., Yaning, C., Iqbal, H., Shareef, M., ur Rehman, H., Iqbal, S., & Mahmood, S. (2019). Soil drenching of paclobutrazol: an efficient way to improve quinoa performance under salinity. *Physiologia plantarum*, 165(2), 219-231. <https://doi.org/10.1111/ppl.12820>
- Waszczak, C., Carmody, M., & Kangasjärvi, J. (2018). Reactive oxygen species in plant signaling. *Annual review of plant biology*, 69, 209-236. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040322>
- Wen, P. F., Chen, J. Y., Wan, S. B., Kong, W. F., Zhang, P., Wang, W., ... & Huang, W. D. (2008). Salicylic acid activates phenylalanine ammonia-lyase in grape berry in response to high temperature stress. *Plant Growth Regulation*, 55, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9250-7>
- Westgate, M. E., & Peterson, C. M. (1993). Flower and pod development in water-deficient soybeans. (*Glycine max* L. Merr.). *Journal of Experimental Botany*, 44(1), 109-117. <https://doi.org/10.1093/jxb/44.1.109>

- Wilson, R. F. (2008). Soybean: market driven research needs. In Genetics and genomics of soybean (pp. 3-15). New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-72299-3_1
- Williams, D. A., Berglund, D. R., Endres, G. J., 1999. Soybean Growth and Management Quick Guide. North Dakota State University Extension Service. <https://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/rowcrops/a1174>.
- Winter, P. S., Bowman, C. E., Villani, P. J., Dolan, T. E., & Hauck, N. R. (2014). Systemic acquired resistance in moss: Further evidence for conserved defense mechanisms in plants. *PloS One*, 9(7), e101880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101880>
- Wittek, F., Hoffmann, T., Kanawati, B., Bichlmeier, M., Knappe, C., Wenig, M., ... & Vlot, A. C. (2014). Arabidopsis Enhanced disease susceptibility1 promotes systemic acquired resistance via azelaic acid and its precursor 9-oxo nonanoic acid. *Journal of experimental botany*, 65(20), 5919-5931. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru331>
- Wu, H. C., & Jinn, T. L. (2010). Heat shock-triggered Ca²⁺ mobilization accompanied by pectin methylesterase activity and cytosolic Ca²⁺ oscillation are crucial for plant thermotolerance. *Plant signaling & behavior*, 5(10), 1252-1256. <https://doi.org/10.4161/psb.5.10.12607>
- Wubben, M. J. E., Jin, J., & Baum, T. J. (2008). Cyst nematode parasitism of *Arabidopsis thaliana* is inhibited by salicylic acid (SA) and elicits uncoupled SA-independent pathogenesis-related gene expression in roots. *Molecular plant-microbe interactions*, 21(4), 424-432. <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-4-0424>
- Xiong, L., Schumaker, K. S., & Zhu, J. K. (2002). Cell signaling during cold, drought, and salt stress. *The plant cell*, 14(suppl_1), S165-S183. <https://doi.org/10.1105/tpc.000596>
- Xu ZY, Zhang X, Schläppi M, Xu ZQ (2011) Cold-inducible expression of *AZI1* and its function in improvement of freezing tolerance of *Arabidopsis thaliana* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Plant Physiology*. 168:1576–1587 <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.01.023>
- Xue, C., Guan, S. C., Chen, J. Q., Wen, C. J., Cai, J. F., & Chen, X. (2020). Genome wide identification and functional characterization of strawberry pectin methylesterases related to fruit softening. *BMC plant biology*, 20(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2225-9>
- Yan, L., Riaz, M., Wu, X., Du, C., Liu, Y., & Jiang, C. (2018). Ameliorative effects of boron on aluminum induced variations of cell wall cellulose and pectin components in trifoliate orange (*Poncirus trifoliate* L.) rootstock. *Environmental pollution*, 240, 764-774. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.022>
- Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Unraveling salt stress signaling in plants. *Journal of integrative plant biology*, 60(9), 796-804. <https://doi.org/10.1111/jipb.12689>
- Yılmaz, D. D., & Parlak, K. U. (2011). Changes in proline accumulation and antioxidative enzyme activities in *Groenlandia densa* under cadmium stress. *Ecological Indicators*, 11(2), 417-423. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.012>
- Yin, Y., Tian, X., He, X., Yang, J., Yang, Z., & Fang, W. (2022). Exogenous melatonin stimulated isoflavone biosynthesis in NaCl-stressed germinating soybean (*Glycine max* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 185, 123-131.; Zhao vd., 2021). <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.05.033>
- Yu, K., Soares, J. M., Mandal, M. K., Wang, C., Chanda, B., Gifford, A. N., ... & Kachroo, P. (2013). A feedback regulatory loop between G3P and lipid transfer proteins *DIR1* and *AZI1* mediates azelaic-acid-induced systemic immunity. *Cell Reports*, 3(4), 1266-1278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.celrep.2013.03.030>
- Yu, L., Yoshimi, Y., Cresswell, R., Wightman, R., Lyczakowski, J. J., Wilson, L. F., ... & Dupree, P. (2022). Eudicot primary cell wall glucomannan is related in synthesis, structure, and function to xyloglucan. *The Plant Cell*, 34(11), 4600-4622. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac238>
- Yu, Y., Gui, Y., Li, Z., Jiang, C., Guo, J., & Niu, D. (2022). Induced systemic resistance for improving plant immunity by beneficial microbes. *Plants*, 11(3), 386. <https://doi.org/10.3390/plants11030386>
- Zabalza, A., Gálvez, L., Marino, D., Royuela, M., Arrese-Igor, C., & González, E. M. (2008). The application of ascorbate or its immediate precursor, galactono-1, 4-lactone, does not affect the response of nitrogen-fixing pea nodules to water stress. *Journal of plant physiology*, 165(8), 805-812. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.08.005>

- Zaefyzadeh, M., Quliyev, R. A., Babayeva, S., & Abbasov, M. A. (2009). The effect of the interaction between genotypes and drought stress on the superoxide dismutase and chlorophyll content in durum wheat landraces. *Turkish Journal of biology*, 33(1), 1-7. <https://doi.org/10.3906/biy-0801-12>
- Zahra, N., Al Hinai, M. S., Hafeez, M. B., Rehman, A., Wahid, A., Siddique, K. H., & Farooq, M. (2022). Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*, 178, 55-69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.003>
- Zhang, C., Wang, X., Zhang, F., Dong, L., Wu, J., Cheng, Q., ... & Zhang, S. (2017). Phenylalanine ammonia-lyase2. 1 contributes to the soybean response towards *Phytophthora sojae* infection. *Scientific reports*, 7(1), 7242. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07832-2>
- Zhang, R., Qin, X., Kong, F., Chen, P., & Pan, G. (2019). Improving cellular uptake of therapeutic entities through interaction with components of cell membrane. *Drug Delivery*, 26(1), 328-342. <https://doi.org/10.1080/10717544.2019.1582730>
- Zhang, Y. N., Wang, T., Ou, S. Y., Li, F. J., Huang, L. Y., Mai, C. S., & Wang, J. X. (2022). Identification and assessment of the role of soybean low phosphate-responsive Xyloglucan endotransglycosylases/hydrolases genes in root growth. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 28(7), 1167-1181. DOI: 10.11674/zwyf.2021562
- Zhang, Y., Li, Y., Hassan, M. J., Li, Z., & Peng, Y. (2020). Indole-3-acetic acid improves drought tolerance of white clover via activating auxin, abscisic acid and jasmonic acid related genes and inhibiting senescence genes. *BMC plant biology*, 20(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02354-y>
- Zhang, Z., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., & Xu, K. (2020). The effectiveness of grafting to improve drought tolerance in tomato. *Plant growth regulation*, 91, 157-167. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00596-2>
- Zhao, M., Li, N., Chen, S., Wu, J., He, S., Zhao, Y., ... & Zhang, S. (2023). *GmWAK1*, Novel Wall-Associated Protein Kinase, Positively Regulates Response of Soybean to *Phytophthora sojae* Infection. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 798. <https://doi.org/10.3390/ijms24010798>
- Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 4609. <https://doi.org/10.3390/ijms22094609>
- Zhou, T., Wu, P. J., Chen, J. F., Du, X. Q., Feng, Y. N., Yue, C. P., ... & Hua, Y. P. (2023). A key role of pectin demethylation-mediated cell wall Na⁺ retention in regulating differential salt stress resistance in allotetraploid rapeseed genotypes. *bioRxiv*, 2023-09. <https://doi.org/10.1101/2023.09.09.556983>
- Zlatev, Z., & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 57-72. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.v24i1.10599>
- Zoeller, M., Stingl, N., Krischke, M., Fekete, A., Waller, F., Berger, S., & Mueller, M. J. (2012). Lipid profiling of the Arabidopsis hypersensitive response reveals specific lipid peroxidation and fragmentation processes: biogenesis of pimelic and azelaic acid. *Plant Physiology*, 160(1), 365-378. <https://doi.org/10.1104/pp.112.202846>
- Zou, J., Yu, H., Yu, Q., Jin, X., Cao, L., Wang, M., ... & Zhang, Y. (2021). Physiological and UPLC-MS/MS widely targeted metabolites mechanisms of alleviation of drought stress-induced soybean growth inhibition by melatonin. *Industrial Crops and Products*, 163, 113323. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113323>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hatice ÇETİNKAYA

Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Anadolu Sağlık Meslek Lisesi Ayancık, 1998

Lisans : Fen Edebiyat Fakültesi Sinop Üniversitesi, 2011

Yüksek Lisans : Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Sinop Üniversitesi, 2015

Mesleki Deneyim

İş Yeri : 500 Evler Hayat Hastanesi İstanbul, 1998-2001

İş Yeri : İstanbul Tıp Fakültesi İstanbul Üniversitesi, 2001-2008

İş Yeri : Sinop Üniversitesi, 2008-

Yayın Listesi :

Yüksek lisans tez: Kuraklığa duyarlı ve toleranslı mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde kuraklık stresi altında yapılan bakır uygulamalarının oluşturduğu oksidatif hasar ve savunma cevaplarının araştırılması

Projeler: 1. Ön azelaik asit uygulamasının tuz stresi altındaki arpa bitkisinde oluşturduğu fizyolojik ve biyokimyasal etkilerin araştırılması-2023-BAP (Devam ediyor)

2. Glutasyon-s-transferaz enziminin tuz stresine maruz kalmış mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde giberellik asit hormonuna bağlı değişiminin incelenmesi-2021-BAP

3. Ön fulvik asit uygulamasının tuzluluk ve sıcaklık stresi altında soya yaprakları üzerindeki etkisinin araştırılması-2014 TUBİTAK 1002

Makaleler:

1. Treatment with auxin and paclobutrazol mediates ROS regulation, antioxidant defence system and cell wall response in salt treated soybean
2. Comparative analysis of biochemical content, antimicrobial and antioxidant activities of *Hypericum perforatum* L. species is grown in türkiye
- 3.The regulation of glutathione s-transferases by gibberellic acid application in salt treated maize leaves
4. Bitkilerde tuz stresinin etkileri, savunma cevapları ve sinyal iletim yolu
5. Paclobutrazol dependent salt tolerance is related to *CLC1* and *NHX1* gene expression in soybean plants
6. Simultaneous treatment of different gibberellic acid doses induces ion accumulation and response mechanisms to salt damage in maize roots
7. Bitkilerde hücre duvarı mekanizmasında strese bağlı meydana gelen savunma cevapları
8. Paclobutrazol induced non-enzymatic antioxidants and polyamine levels in soybean plants grown under salinity stress
9. Doğanın insanlığa sunduğu tıbbi bitkiler, kekik bitkisinin tıbbi ve aromatik açıdan önemi
10. The effects of pretreatment of giberellic acid alpha tocopherol and ascorbic acid on germination in maize seeds
11. Degerli besın kaynagı olan bitkisel yağların onemi, 25-40
12. Bitkilerde giberellik asit hormonunun sentezi, sinyal iletimi ve tuz stresi altındaki etkileri
- 13.The biosynthesis, signal transduction and effects of gibberellic acid hormone under salt stress in plants.

14. Investigation of Comparative Regulation on Antioxidant Enzyme System under Copper Treatment and Drought Stress in Maize (*Zea mays* L.)
15. Regulation of Glutathione s-transferase enzyme activity with salt pre-treatment under heat stress in maize leaves
16. Effects of titanium dioxide nanoparticles against salt and heat stress in safflower cultivars
17. An overview on azelaic acid: Biosynthesis, signalling and the action under stress conditions in plants.

