

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**İYONİZE RADYASYON KOŞULLARININ BUĞDAY FİDELERİNDE OLUŞTURDUĞU OKSİDATİF
HASARIN ETKİLERİNİ DIŞTAN SALİSİLİK VE GALLİK ASİT UYGULANMASIYLA
İYİLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rizky FAUZAN

**EKİM 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**İYONİZE RADYASYON KOŞULLARININ BUĞDAY FİDELERİNDE OLUŞTURDUĞU
OKSİDATİF HASARIN ETKİLERİNİ DİŞTAN SALİSİLİK VE GALLİK ASİT
UYGULANMASIYLA İYİLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Rizky FAUZAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"YÜKSEK LİSANS (BİYOLOJİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 /09 /2021

Tezin Savunma Tarihi : 20 /10 /2021

Tez Danışmanı :Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın yürütülmesinde yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ'a saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmalarımın gelişmesi açısından benimle değerli bilgi ve görüşlerini paylaşan tez izleme jüri üyesi hocalarım sayın Prof. Dr. Hüseyin İNCEER ve sayın Prof. Dr. Atalay SÖKMEN'ya şükranlarımı sunarım. Tez çalışmalarımı yürütebilmem için ortam ve olanak sağlayan Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Bilal KUTRUP'a, lisans ve yüksek lisans eğitimime katkıda bulunan ve biyoloji alanında yetişmemi sağlayan tüm KTÜ Biyoloji Bölümü Hocalarıma, ayrıca maddi ve manevi desteklerinden dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ÇOLAK'a, değerli çalışma arkadaşım Dr. Aynur ÇELEBİ'ye, hep yanımda olan değerli arkadaşlarım Siti RAHMAWATİ'ye ve Muhammad AZWAR'a, yaşamım boyunca beni seven, bana inanan, dualarını her zaman kalbimde hissettiğim kıymetli annem ve babam başta olmak üzere tüm kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 7652). Katkılarından dolayı KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP)'ne teşekkür ederim.

Rizky FAUZAN

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İyonize Radyasyon Koşullarının Buğday Fidelerinde Oluşturduğu Oksidatif Hasarın Etkilerini Dıştan Salisilik Ve Gallik Asit Uygulanmasıyla İyileştirilmesinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri laboratuvarında yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20.10.2021

Rizky FAUZAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tahıllar ve Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	4
1.3. İyonize Radyasyon (IR) Stresi	7
1.3.1. İyonize Radyasyon (IR) Stresinin Bitkilerde Oluşturduğu Biyolojik Etkiler	10
1.4. Serbest Radikaller ve Reaktif Oksijen Türleri (ROT)	13
1.5. Reaktif Oksijen Türleri ve Fotosentez	16
1.5.1. Fotosentezde Pigment ve İyonize Radyasyon Stresi	18
1.6. Bitkilerde Antioksidan Savunma Sistemi	19
1.6.1. Enzimatik Antioksidanlar.....	19
1.6.2. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar	20
1.6.2.1. Fenolik Bileşikler	20
1.6.2.2. Fenolik Asitler	21
1.6.2.2.1. Salisilik Asit	21
1.6.2.2.2. Gallik Asit	23
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	26
2.1. Bitki Materyalinin Sağlanması ve Buğday Tohumların Çimlendirilmesi	26
2.2. Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi	28
2.3. Klorofil ve Karotenoid İçeriğinin Belirlenmesi	28
2.4. Klorofil Flouresans Değerlerinin Belirlenmesi	28
2.5. Stoma İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi.....	28

2.6.	Osmotik Potansiyel Değerlerinin Belirlenmesi	29
2.7.	Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi	29
2.8.	Toplam Fenolik Madde (TFM) İçeriğinin Belirlenmesi	30
2.9.	Antioksidan Kapasite Değerlerinin Belirlenmesi	31
2.9.1	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) Radikal Temizleme Aktivitesi.....	31
2.9.2.	Demir İyonu İndirgeyici Güç (FRAP) Analizi.....	31
2.9.3.	Bakır İyonu İndirgeyici Güç (CUPRAC) Analizi	31
2.10.	İstatistiksel Analizler	32
3.	BULGULAR	33
3.1.	İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarına Ait Büyüme Parametrelerine Etkisi.....	33
3.2.	İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Sürgünlerinde Yaprak Ozmotik Potansiyeline (ψ_s) Olan Etkisi	35
3.3.	İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Klorofil ve Karotenoid İçeriğine Etkisi.....	36
3.4.	İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında H_2O_2 İçeriğine Etkisi....	38
3.5.	İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Lipid Peroksidasyonu Üzerine Etkisi.....	39
3.6.	İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Antioksidan Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkisi	40
3.7.	İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Toplam Fenolik Bileşik (TPC) İçeriği ve Antioksidan Kapasite Değerleri Üzerine Etkisi	42
3.8.	İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Morfolojik ve Fotosentetik Parametreler Arasındaki İlişki	43
3.9.	İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Antioksidan Parametreler Arasındaki İlişki.....	45
4.	TARTIŞMA	47

5.	SONUÇLAR	53
6.	ÖNERİLER	54
7.	KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ		



ÖZET

İYONİZE RADYASYON KOŞULLARININ BUĞDAY FİDELERİNDE
OLUŞTURDUĞU OKSİDATİF HASARIN ETKİLERİNİ DIŞTAN SALİSİLİK VE
GALLİK ASİT UYGULANMASIYLA İYİLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Rizky FAUZAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ
2021, 66 sayfa

Bu çalışmada iyonize radyasyon (IR) stresi (100, 200, 300, 400 Gy) koşullarında buğday (*Triticum aestivum* L. 'Gönen 98') fidelerinin yapraklarında oluşan stres hasarının, salisilik asit (SA) ve gallik asit (GaA) uygulamalarıyla iyileştirilmesi, fizyolojik (yaprak boyu, kuru ve taze ağırlık, osmotik potansiyel, vb.) ve biyokimyasal düzeyde araştırılmıştır. Bu amaçla yaprakların fotosentetik parametreleri (klorofil ve karotenoidler, stoma iletkenlik), enzimatik olan (POX, GR, SOD, APX, MDHAR, DHAR) ve olmayan (TFM) antioksidan savunma sistemi bileşenleri, ozmotik potansiyel değerleri belirlenmiştir. SA ve GaA buğday fidelerinde IR'un büyüme ve fotosentetik parametreler ve ozmotik potansiyeli üzerinde oluşturduğu azalmayı iyileştirdiği belirlenmiştir. Stres koşullarında SA ve GaA uygulamaları yapraklarda, TFM içeriğinde ve antioksidan enzim aktivitelerinde azalma sağlamıştır. Bununla birlikte stres etkisi ile artan H₂O₂ ve TBARS içeriklerinde de SA ve GaA uygulamaların azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Büyüme parametreleri ile fotosentetik parametre sonuçlarının, ayrıca antioksidan sistem elemanlarına ait sonuçların birbiri ile ilişkili olduğu kaydedilmiştir. Sonuç olarak dıştan SA ve GaA uygulamaları buğday fidelerinde IR stresi koşullarında bitkiye yüksek tolerans kazandığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Triticum aestivum*, Buğday, Salisilik asit, Gallik asit, İyonize radyasyon stresi, Antioksidan

Master Thesis

SUMMARY

AN INVESTIGATION OF IMPROVING THE EFFECT OF IONIZED RADIATION ON WHEAT SEEDLINGS WITH EXOGENOUS SALICYLIC ACID AND GALLIC ACID APPLICATIONS

Rizky FAUZAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Biology Graduate Program

Supervisor: Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ
2021, 66 pages

This present study was aimed to investigate stress alleviation effect of salicylic acid and gallic acid in leaves of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L. 'Gönen 98') exposed to ionizing radiation (100, 200, 300 400 Gy) stress. In this regard, some physiological (leaf length, fresh and dry weight, osmotic potential, etc.) and biochemical measurements were comparatively conducted in the leaves. Photosynthetic parameters (chlorophyll and carotenoid contents, stomatal conductivity), enzymatic (POX, GR, SOD, APX, MDHAR, DHAR) and non-enzymatic (TPC) antioxidant defense system components, osmotic potential of the leaves of the seedlings were determined for this purpose. Accordingly, SA and GaA treatments alleviated IR-induced decreases in growth and photosynthetic parameters and osmotic potential in the seedlings. In addition, the SA and GaA treatments resulted in decreased TPC content and antioxidant enzymes activities in the leaves, that induced by the IR exposure. Also, notable decreases in H₂O₂ and TBARS contents were determined by the SA and GaA treatments. It was noted that the results of growth and photosynthetic measurements were significantly correlated with the results of antioxidant system components. In conclusion, a stress alleviation effect of exogenous SA and GaA in wheat seedlings exposed to IR stress was determined with high tolerance.

Key Words: *Triticum aestivum*, Wheat, Salicylic Acid, Gallic acid, Ionizing irradiation stress, Antioxidant

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çevresel streslerin genel sınıflandırılması	2
Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum.....	8
Şekil 1.3. ROT'ların oluşma sebepleri ve hasarları	13
Şekil 1.4. Oksijenin suya kadar indirgenmesi	15
Şekil 1.5. Bitkilerde salisilik asit biyosentez ve metabolizması.....	22
Şekil 1.6. Gallik asit biyosentezi	24
Şekil 3.1. Gönen-98 buğday çeşidinin IR, SA ve GaA uygulama gruplarına ait morfolojik görünüm	35
Şekil 3.2. Salisilik asit ve gallik asit uygulamalarının iyonize radyasyon koşullarında buğday fidelerinin yapraklarının ozmotik potansiyel değerlerine olan etkisinin değişimi	38
Şekil 3.3. Salisilik asit ve gallik asit uygulamalarının iyonize radyasyon koşullarında buğday yapraklarının H ₂ O ₂ içeriği üzerine olan etkisi.....	43
Şekil 3.4. Salisilik asit ve gallik asit uygulamalarının iyonize radyasyon koşullarında buğday fidelerinin yapraklarının TBARS eşdeğerliği üzerine olan etkisi	44

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Dünya tahıl üretimi	6
Tablo 1.2. İyonize radyasyon (IR) türleri ve özellikleri	9
Tablo 1.3. Akut ışınlamanın bitkilerin temel morfometrik parametreleri üzerindeki etkileri	12
Tablo 1.4. ROT farklılıkları ve özellikleri	14
Tablo 2.1. Kontrol ve uygulama gruplarına ait uygulama ve zamanlama protokolü	27
Tablo 3.1. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yaprak uzunluğu ve alanı, taze ve kuru ağırlığına olan etkisi	36
Tablo 3.2. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında klorofil ve karotenoid içeriğine, klorofil floresans ve stoma iletkenlik değerlerine etkisi	40
Tablo 3.3. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında antioksidan enzim aktivitelerine etkisi	45
Tablo 3.4. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında PAL aktivitesi, toplam fenolik madde (TFM) içeriği ve antioksidan kapasite (DPPH, FRAP ve CUPRAC)	48
Tablo 3.5. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında morfolojik parametrelerin (1. YU, 2. YU. 1. YA, TTA ve TKA), fotosentetik parametrelerin (K1-a, K1-b, TK1, K1 a/b, TKar, Fv/Fm ve gs), osmotik potansiyel (Ψ_s) değerlerinin Pearson (r) korelasyonları	52
Tablo 3.6. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında TPC, antioksidan kapasite (DPPH, FRAP ve CUPRAC), antioksidan enzim (APX, GR, MDHAR, DHAR, POX ve SOD), H ₂ O ₂ ve TBARS içeriklerinin Pearson (r) korelasyonları	53

SEMBOLLER DİZİNİ

AK	: Antioksidan Kapasite
ANOVA	: Varyans Analizi
AO	: Askorbat Oksidaz
APX	: Askorbat Peroksidaz
AsA	: Askorbik Asit
BSA	: Sığır Serum Albumin
Ca	: Kalsiyum
CAT	: Katalaz
CUPRAC	: Kuprik İyon İndirgeme Antioksidan Kapasite
DHA	: Dehidroaskorbat
DHAR	: Dehidroaskorbat Oksidaz
DPPH	: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
EDTA	: Etilendiamintetraasetikasit
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
FC	: Folin–Ciocalteu
FRAP	: The Ferric Reducing Antioxidant Power
GR	: Glutasyon Redüktaz
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
KA	: Kuru Ağırlık
MDA	: Malondialdehit
MDHAR	: Monodehidroaskorbat Redüktaz
µl	: Mikrolitre
mM	: Milimolar
NaCl	: Sodyum Klorür
NADH	: Nikotinamid Adenin Dinükleotit
NADPH	: Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat
NBT	: Nitro Blue Tetrazolium
PVP	: Polivinilpirolidon
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri
SaA	: Salisilik Asit
SOD	: Süperoksit Dismutaz

SPSS	: Statistical Package for Social Sciences
TA	: Taze Ağırlık
TBA	: Tiobarbitirik Asit
TBARS	: Tiobarbitirik Asit Reaktif Ürünleri
TCA	: Trikarboksilik Asit Döngüsü
TFM	: Toplam Fenolik Madde
TPTZ	: 2,4,6-tripiryidyle-s-triazine
UV	: Ultraviyole
Vis	: Görünür ışık
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü



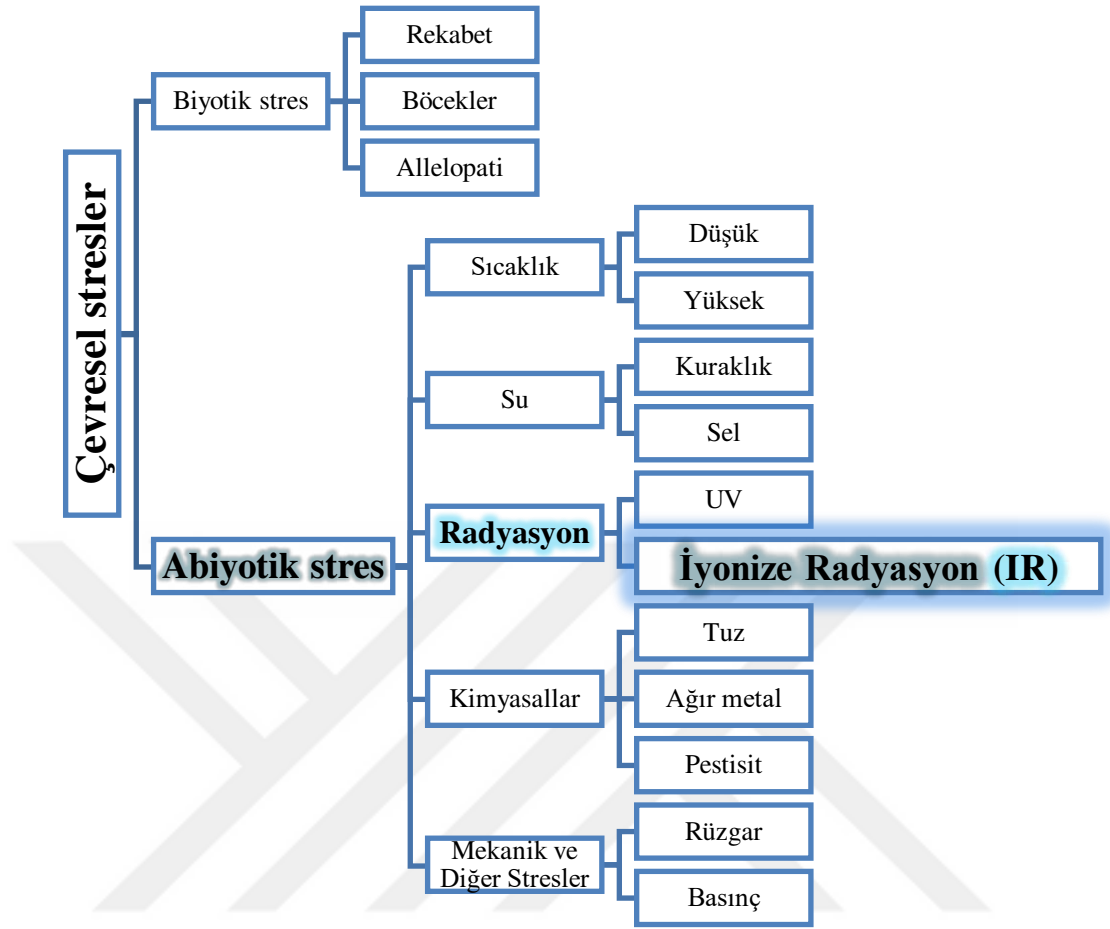
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hayatın sürekliliği için yeterli ve dengeli beslenme önem taşımaktadır. Sağlıklı yaşam için sadece dengeli beslenme yeterli olmayıp, sağlanan gıdanın da kaliteli olmasını gerektirmektedir (Türkeş, 2014; Godfray vd., 2010). Açlık günümüz toplumunun önemli bir sorunu haline gelmiş olup her yıl 800 milyondan fazla insan açlık sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadır (Schmidhuber ve Tubiello, 2007). Bu soruna ek olarak gıda güvenilirliği de günümüzüm küresel sorunlarından biri haline gelmiş durumdadır (Rosegrant ve Cline, 2003; Capone vd., 2014). Gıda güvenilirliği başlıca dört faktörle ele alınmaktadır; (i) yeterli besine ulaşabilme, (ii) geçici ya da sürekli besine ulaşabilme, (iii) bireysel olarak beslemede alınabilecek uygun gıdalar için yeterli kaynaklara erişebilme ve (iv) besin değeri açısından güvenli ve kaliteli gıda bulma (Schmidhuber ve Tubiello, 2007; McKeown vd., 2013; HLPE, 2016).

Bitkiler hayatımızın vazgeçilemez bir parçasıdır. “Gıda” ya da “besin” olarak adlandırdığımız soframızdaki tabağa kadar gelen birçok hammadde ya da işlenmiş ürün için bitkilerden yararlanmaktayız. Bitkiler sahip oldukları yapraklar sayesinde güneş ışınlarını etkili bir şekilde absorbe ederek atmosferden aldıkları CO₂’i fotosentez mekanizması sayesinde ilk besin formu olan şekerlere indirgeyerek ışık enerjisinin kimyasal enerji haline dönüştürmüş olurlar. İşte bitkiler gıdanın ilk kaynağı olduğu için ve insanlığın devamı için gerekliliği ve vazgeçilmezliği anlaşıldığından bilim adamları yüzyıllardır bitkileri en iyi şekilde yetiştirebilmek ve onlardan daha fazla ürün alabilmek için büyümeyi ve onu düzenleyen genetik, çevresel ve hormonal faktörlerle ilişkisini aydınlatmaya çalışmaktadırlar (Taiz ve Zeiger, 2015).

Günümüzde birden fazla çevresel stres tipi tanımlanmış olup her biri kendi içinde ayrı bir çalışma disiplini oluşturmuştur (Şekil 1.1). Bu stres çeşitlerinin bitki üzerindeki etkisi yalnızca tek stres tipi üzerinden gerçekleşmeyip bazen onların birlikte etkileşmesiyle de olmaktadır (örn. sıcak stresi ya da tuz stresi her iki durumda bitki su içeriğini etkileyerek su kıtlığı oluşturabilir). Bu abiyotik streslerden biri olan iyonlaştırıcı/iyonize radyasyon (Şekil 1.1) stresi son yıllardaki küresel ısınmayla birlikte bitkisel üretimi sınırlayabileceği endişesiyle önem arz etmektedir.



Şekil 1.1. Çevresel streslerin genel sınıflandırılması (Taiz ve Zeiger, 2015'den değiştirilerek)

Değişen çevresel koşullar bitkilerin işlev ve yayılmalarında anahtar bir role sahiptir. Bitkilerin büyüebilmeleri ve hayatlarını normal bir şekilde sürdürebilmeleri için genetik ve fizyolojik etkilerin yanında çevresel faktörlerin de (sıcaklık, su, CO₂, ışık gibi) en uygun sınırlar içinde olması gerekir. Çevresel faktörlerin herhangi birinin en uygun sınırlar dışında olması bitkinin büyümesinde ve veriminde azalmaya neden olmaktadır. (Salisbury ve Ross, 1985). Bu çevresel faktörler arasında, radyasyon bitkinin büyümesini moleküler, morfolojik ve fizyolojik düzeyde etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Cucinotta ve Durante, 2006). Yeryüzünde bulunan bütün canlılar hayatları boyunca yaşadıkları çevrede doğal radyasyonun etkisi altındadırlar. Dalga boyu 2800 Angström (Å)'den küçük mor ötesi ışınların canlı organizmalar üzerinde tahribat yaptığı bilinmektedir. Uzun süre radyasyonun etkisi altında büyüyen bitkilerde adaptasyon belirtileri sınırlı olabilir; bazı bitkiler radyasyona karşı daha duyarlıyken bazıları daha duyarsızdır. Bitkilerin radyasyona karşı duyarlılıklarının bitki türünden bağımsız olduğu ancak genç bitkilerin yüksek farklılaşma

oranlarından dolayı diğer bitkilere oranla radyasyona karşı daha hassas oldukları belirlenmiştir. Radyasyonun bu etkileri bitkinin türüne, yaşına, bitki morfolojisine, fizyolojisine ve genom organizasyonuna bağlıdır (Kovalchuk vd., 2003). Aynı türün varyete ve ekotiplerindeki farklı cevaplar onların farklı poliploidi seviyelerine veya farklı genetik organizasyona sahip olmaları ile açıklanmaktadır (Ukai ve Yamashita, 1969; Al-Rubeai ve Godward, 1981).

Kozmik radyasyondan veya doğal olarak oluşan radyonükleidlerden dolayı çevrede var olan radyasyonun yanı sıra (Van der Stricht ve Kirchmann, 2001), insan aktiviteleri de ortamdaki radyasyon seviyesini arttırmaktadır. Çernobil ve EURT (Doğu-Ural Radyoaktif Deneme) alanlarında yapılan çalışmalarda, bu alanlarda yetişen bitkilerde meydana gelen mutasyon oranları ve anormallikler 38 yıl sonra bile kontamine olmamış alanlarda yetişen bitkilere oranla çok daha yüksektir (Real vd., 2004).

Radyasyon iyonize radyasyon ve iyonize olmayan radyasyon (radyo dalgaları, görülebilir ışık gibi) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İyonize radyasyon bir atomu iyonize etmek için yeterli enerjiye sahiptir. İyonize radyasyonun süperoksit radikali (O_2^-), hidroksil radikali (OH^-) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) aşırı üretimi ile oksidatif stresi tetiklediği belirlenmiştir. ROT'lar proteinler, lipitler ve nükleik asitler gibi işlevsel ve yapısal organik moleküllerin hemen hemen hepsi ile reaksiyona girerek hücresel metabolizmanın bozulmasına yol açar (Al-Rumaih ve Al-Rumaih, 2008). İyonize radyasyonun organizmalardaki etkisi düşünüldüğünde, bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar iyonize radyasyonun etkilerine karşı bir korunma sistemine sahip olmalıdırlar (Zaka vd., 2002). ROT'ların neden olduğu hasarı azaltmak ya da engellemek için hücreler kapsamlı ve tümleşik bir endojen savunma sistemine sahiptirler. Peroksidaz (POX), katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi enzimler bitki hücrelerinin enzimatik antioksidan savunma sistemini temsil ederler. Askorbat peroksidaz (APX), POX, CAT, SOD ve gibi enzimlerin çeşitli bitkilerde ROT temizleme aktivitelerinin iyonize radyasyon uygulaması ile arttığı belirlenmiştir (Kim vd., 2005; Wada vd., 1998; Zaka vd., 2002; Colak vd., 2015). *Nicotiana tabacum* ve *Nicotiana debneyi* türlerinde, γ -radyasyon uygulamasına cevap olarak POD aktivitesinin arttığı, *Triticum aestivum* L. türüne yüksek radyasyon uygulamasında bitkinin büyümesi azalırken POD ve CAT enzimlerinin aktivitesinin arttığı rapor edilmiştir (Wada vd., 1998).

Tüm organizmalar oksidatif hasardan korunmak için antioksidan savunma ve tamir mekanizmalarına sahiptirler, ancak bu sistemler hasardan tam olarak korunmaları için yeterli değildir (Simic, 1998). Son yıllarda dikkatler fenolik bileşiklerin antioksidan özellikleri

üzerinde yoğunlaşmıştır (Kowalczyk vd., 2003). Önemli iki fenolik asit olan ve yüksek antioksidan kapasiteye sahip SA ve GaA ile ilgili kuraklık, tuzluluk gibi çevresel stresler ile çok sayıda çalışma yapılmıştır. Dıştan SA uygulamasının çevresel streslere karşı bitki cevabının hafifletilmesi için önemli bir sinyal molekülü olduğu bilinmektedir (Senaratna vd., 2000). SA tuz stresine maruz bırakılmış kabak (*Cucurbita sp.*) (She vd., 2002), mung fasulyesi (*Vigna radiata*) (Nazar vd., 2011), *Arabidopsis thaliana* fideleri (Borsani vd., 2001) ile kadmiyum uygulanmış soya fasulyesi (*Glycine max*) fideleri (Drazic ve Mihailovic, 2005) gibi sayısız bitki türünde birçok farklı abiyotik stres etkilerini hafifletmede önemli rol oynadığı defalarca vurgulanmıştır. Yapılan çalışmalarda GaA'nın O_2^- ve $\cdot OH$ gibi ROT'un süpürebilme kapasitesi belirlenmiş ve güçlü bir antioksidan bileşik olduğu kaydedilmiştir (Kim, 2007; Priscilla ve Prince, 2009). Ayrıca hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda antioksidan enzim aktivitelerine etki ederek radyasyona bağlı lipid peroksidasyonunu önlediği ve karaciğeri sitotoksiteden koruduğu belirlenmiştir (Gandhi ve Nair, 2005). Antioksidan aktivitenin yanında GaA, anti-mutajenik, anti-tümöral ve anti-bakteriyel aktivitelere de sahiptir ve hayvan ve insanlardaki çeşitli tümör hücrelerinin büyümesini inhibe ettiği belirlenmiştir (Yeh ve Yen, 2006).

Yapılacak olan çalışmada, tohumlara farklı dozlarda (100, 200, 300 ve 400 Gy) gamma ışını uygulanarak oluşturulan IR stresi koşullarında büyütülen yerli Gönen-98 buğday çeşidinde gelişen oksidatif hasarın iyileştirilmesinde, dıştan SA ve GaA uygulamasının etkisi fizyolojik ve biyokimyasal düzeyde araştırılmıştır. Mevcut tezinde morfolojik parametreler, enzimatik olan (POX, SOD, APX, GR, MDHAR ve DHAR) ve olmayan (GSH, TPC, fenolik asit) antioksidan içerikleri, H_2O_2 ve TBARS belirlenmiştir.

1.2. Tahıllar ve Buğday (*Triticum aestivum* L.)

Tahıllar önemli oranlarda içerdikleri besin öğeleri sayesinde toplumun sağlıklı beslenmesinde temel besin kaynağını oluştururlar. Buğday, çeltik, mısır, çavdar ve yulaf gibi tahılların tanelerinden çok çeşitli besin kaynakları türetilmiştir (un, kepek, bulgur, irmik, yarma, gevrek, vb.). Tahıl ve tahıl ürünleri özellikle karbohidratlar (nişasta, lif), vitaminler, mineraller ve diğer besin öğeleri bakımından önemli bir kaynak durumunda olup çeşitler arasında da geniş bir dağılışa sahiptir. Bu grup besinlerin önemli kısmını ise karbohidratlar oluşturduğundan vücudun temel enerji kaynağı olarak kabul edilirler (Lee, 2016). Bunun yanında, tahıllar küçüksenmeyecek miktarda, çeşitli proteinleri de içerirler. Bu proteinlerin kalitesi düşük olmakla birlikte işlevi çok yüksektir (McKeown vd., 2013). Tahıllar, ayrıca

bir miktar yağ da içerirler. Tahıllar vitaminleri bakımından hem kendi içinde ve hem de çeşitler arasında çok seçicilik gösterirler. Örneğin, tahıllarda C ve B12 vitamini dışındaki diğer B grubu vitaminleri (özellikle B1 (tiamin), E, A) bakımından en iyi kaynaktır. Bu vitaminler tahıl tanelerinin çoğunlukla kabuk ve özünde bulunur. Bu nedenle, kabuk ve özünün ayrılması esnasında B1 vitamini başta olmak üzere diğer B grubu vitaminlerde bazı kayıplar söz konusu olabilir. Bu kayıplar beslenmede görülen olası B grubu vitamin yetersizliklerinden dolayı ciddi hastalıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle bu kayıplar dikkate alınarak besin zenginleştirilmesi yaklaşımları küresel bir strateji haline gelmiştir. Sağlıklı beslenme için tam tahıllı besinlerin tercih edilmesi bu nedenlerden dolayı önemlidir (Fardet, 2010; McKeown vd., 2013).

Buğday (*Triticum aestivum* L.), mısır (*Zea mays*) ve çeltik (*Oryza sativa*)ten sonra en çok üretilen üçüncü tahıl bitkisidir. İstatistikler buğdayın tüm tahıl çeşitleri arasından yaklaşık 734,74 milyon ton ile ikinci sırada yer aldığını rapor etmektedir (Tablo 1.1). Türkiyede ortalama 10 milyon ton buğday unu üretilmekte ve kişi başına yıllık un tüketimi 150 kg olup, dünya tüketiminde ikinci sırada yer almaktadır (Elgün vd., 2009). Bununla birlikte, buğday ve çeltik, küresel insan nüfusunun doğrudan kalori alımının büyük kısmını karşılasa da (Dyson, 1999) buğday, ondan elde edilen geniş ürün yelpazesi nedeniyle en önemli gıda maddesi olarak kabul görmektedir. Buğday, genellikle ekmeklik (*Triticum aestivum*), makarnalık (*Triticum durum*) ve bisküvilik (*Triticum compactum*) olarak yetiştirilmektedir (Yüksel vd., 2011).

Tablo 1.1. Dünya tahıl üretimi (FAO, 2018)

Tahıllar	Ülke/ Kıta	Toplam Tahıl Üretimi (milyon ton) (FAO, 2018)
Mısır (<i>Zea mays</i>) (USDA. FAS grain: world market and trade. Ocak 12, 2018)	1. ABD (371 milyon ton) 2. Çin (215 milyon ton) 3. Diğerleri (156,8 milyon ton) 4. Brazil (95 milyon ton) 5. Avrupa Birliği-27 (60,1 milyon ton)	1.099,61
Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.) (2018/19 USDA)	1. Avrupa birliği (149,4 milyon ton) 2. Çin (129 milyon ton) 3. Hindistan (97 milyon ton) 4. Rusya (68,5 milyon ton) 5. Amerika birleşik (49,7 milyon ton)	734,74
Çeltik (<i>Oryza sativa</i>) (2016/17 US Department of Agriculture)	1. Çin (144,95 milyon ton) 2. Hindistan (110,15 milyon ton) 3. Endonezya (36,86 milyon ton) 4. Bangladesh (34,58 milyon ton) 5. Vietnam (27,4 milyon ton)	495,87
Türkiye		
	Buğday	20
	Arpa	7
	Mısır	5,7

Son araştırmalar küresel ısınmaya bağlı olarak tarım alanlarının çölleşmeye ve kuraklığın artmaya başlamasıyla dünya nüfusunun (2050’de 9 milyara ulaşacak) gıda ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayan buğday, mısır ve çeltik gibi tahılların besin değerinin giderek azalabileceğini önemle vurgulamaktadır (Gregory vd., 2005; Capone vd., 2014). Bu durum halen var olan açlık riskini hem daha çok arttıracak ve hem de tarım ülkelerini önümüzdeki 20 yıl içinde daha büyük ekonomik sıkıntıya sürükleyebileceğini göstermektedir. Açlık bir yana, sadece beslenme yetersizliğinden her yıl 63 milyon insan hayatını kaybettiği bildirilmiştir. Çalışmalar yaklaşık 2 milyar insanın demir ve çinko ihtiyacının yüzde 70’ini tahıllarla ve bakliyattan sağladığını rapor etmiştir (Marinangeli vd., 2017).

Tahıl ürünlerindeki besin değeri kaybının hızlanmasına etki eden en önemli faktörlerden birisi atmosferdeki karbondioksit fazlalığından kaynaklanan “sera gazı karbondioksit”in artmasıdır. Karbondioksit, hem küresel ısınmayı hızlandırmakta ve hem de bitkilerin besin depolama kabiliyetini azaltmaktadır. Bu durumda daha sağlıklı olduğu öne sürülen organik gıdalar da küresel ısınmadan olumsuz etkilenecek ve besin değerini kaybedecektir. Araştırmalar 2050 yılına kadar buğdaydaki çinko (Zn), demir (Fe) ve protein oranının yüzde 10’a kadar azalacağını ve bunun özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaşayan

milyarlarca insanda yetersiz beslenmeye yol açacağını rapor etmektedir (Taiz ve Zeigler, 2015; Tkemaladze ve Makhasvili, 2016).

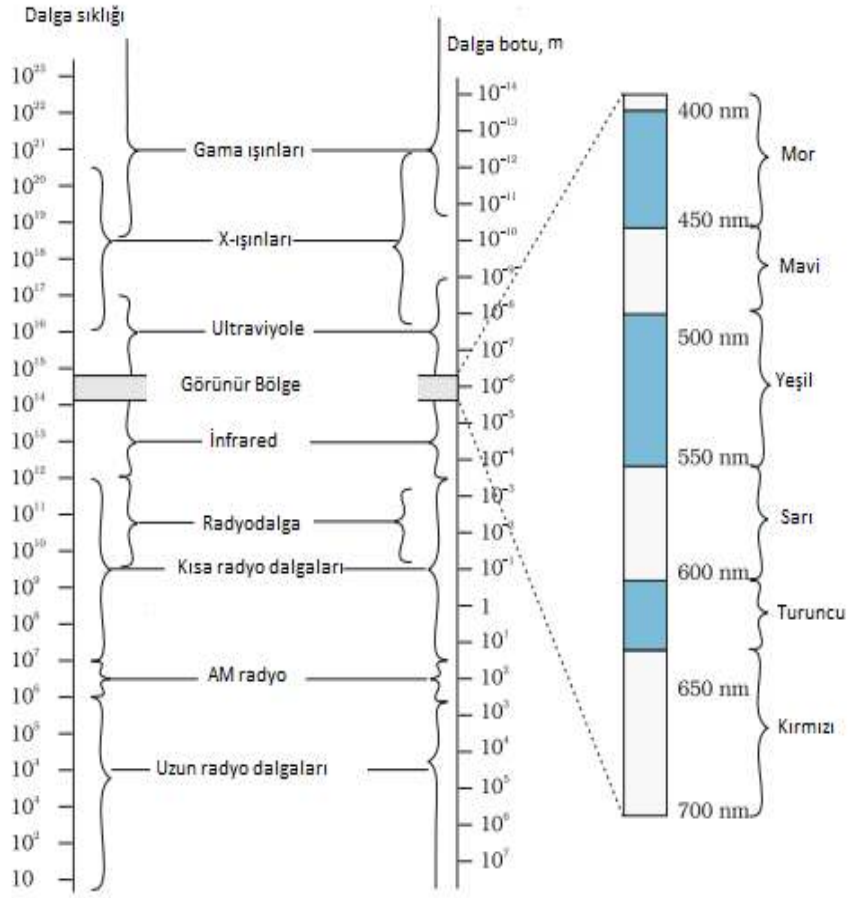
Doğal ve tarımsal koşullarda bitkiler sıklıkla çevresel streslere maruz kalırlar. Bu stresler birkaç dakikalığına olabildiği gibi (örn. hava sıcaklığı) gibi günlerce de sürebilir (örn. toprak su ve mineral içeriği). Toprak ve iklim koşullarının bu şekilde değişiklik göstermesiyle oluşan stres bitki türlerinin dağılışını önemli derecede sınırlandırır. Stres çoğunlukla, bitkinin üzerinde olumsuz etki oluşturan dışsal bir etmen olarak tanımlanmaktadır. Stres kavramı strese tolerans ile yakından ilişkidir. Stres toleransı bitkinin uygunsuz ortam koşulları ile başa çıkma potansiyelidir. Bu nedenle, stresin oluşturduğu zarar bitkilerin çevresel streslere adaptasyonu ve alışma mekanizmalarının altında yatan fizyolojik işlemlerin anlaşması hem tarım hem de çevre açısından büyük önem taşır. Kısacası stres bitki verimliliğini ya da diğer bir ifade ile bitkisel verimi önemli düzeyde etkiler. Bitkisel üretimde önemli olan ve verimliliği dolaysız bir şekilde etkileyen biyolojik kütle birikimi (biyomass) bitkinin büyümesi ile ilişkili olup primer özümleme işlemlerine (CO_2 ve mineral alınması) dayandırılarak ölçülmektedir. Bitkinin maruz kaldığı olumsuz büyüme koşulları (biyotik ve abiyotik) bitkisel üretimi yakından etkiler. Bitkiler bunu geliştirdikleri tolerans mekanizmalarıyla atlatabilirler ya da bu süreçte verimsiz kalabilir, ölebilirler (Taiz ve Zeiger, 2015; Shabala, 2017). Örneğin, bezelye (*Pisum sativum*) ve soya fasulyesi (*Glycine max*) en iyi büyümeyi sırasıyla 20°C ve 30°C 'lik sıcaklıklarda gösterirler. Sıcaklık artıkça, ısı stresinin etkileri bezelyede soya fasulyesinden önce ortaya çıkar. Yani, soya fasulyesinin sıcaklık stresine toleransı daha yüksektir şeklinde kabullenilir (Yordanov vd., 2000; Taiz ve Zeiger, 2015).

1.3. İyonize Radyasyon (IR) Stresi

Herhangi bir kaynak tarafından emilen enerji radyasyon olarak ifade edilir. Radyasyon genel olarak Şekil 1.2'de olduğu gibi şematize edilmekte ve elektromanyetik radyasyon olarak ifade edilmektedir. Elektromanyetik radyasyon dalga boyu ya da dalga sıklığı olmak üzere iki farklı birim ile ifade edilmektedir. Dalga boyu metre, dalga sıklığı ise saniyede gerçekleşen döngü olarak ölçülür.

Şekil 1.2'de yer alan radyasyon tiplerine bakıldığında, radyo dalgalarından gama ışınlarına doğru, dalga boyu kısalır, sıklık ve enerji artar. Artan enerjiyle birlikte ışınların molekülleri iyonize etme durumları da artmaktadır (Goodwin vd., 1970).

Radyo dalgalarının iyonlaştırıcı etkisi bulunmazken, gama ışınları çok yüksek iyonlaştırma enerjisine sahiptir. Radyasyondan gelen enerjiyi soğuran moleküllerde bir, soğurulan enerji sayesinde bir ‘uyarılma’ meydana gelir. Soğurulan enerji yeteri kadar yüksek ise (X-ışınları ya da gama ışınlarının sahip olduğu enerji gibi) atom ya da moleküllerden bir elektron uzaklaşır, bu sürece ‘iyonizasyon’, bu süreci gerçekleştirebilen radyasyona ise ‘İyonize Radyasyon (IR)’ adı verilir (Hall ve Giacci, 2006).



Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum (URL-1’den değiştirilerek)

İyonize radyasyonun en önemli özelliği çok yüksek miktarda enerjiyi (33 eV) aktarabilmesidir ve bu enerji C=C bağının kırılması için gereken enerjiden (4.9 eV) çok daha yüksektir (Hall ve Giacci, 2006).

Tablo 1.2. İyonize radyasyon (IR) türleri ve özellikleri (Gudkov vd., 2019)

İyonlaştırıcı radyasyon türleri	IR çeşitleri	Enerji (keV)	Bağıl Biyolojik Etkinlik	λ (nm)	Keşifçi, keşif yılı
Alfa bozunması	Parçacıklar	2000-11000	20	-	E. Rutherford, 1998
Beta bozunması	Parçacıklar	20-20000	1	-	E. Rutherford, 1998
Gama (γ) ışını	Elektromanyetik dalgalar	5-6000	1	<0,1	P.U. Villard, 1900
X-ışını	Elektromanyetik dalgalar	0,04-12,4	1	0,1-30	W.C. Rontgen, 1995
EUV	Elektromanyetik dalgalar	0,012-0,124	1	10-100	W.N. Bennet, 1934
Proton emisyonu	Parçacıklar	<1500	1-3	-	K. P. Jackson, 1970
Hızlandırılmış parçacıklar	Parçacıklar	<1500	1-10	-	E.O. Lawrence, 1930

Ultraviyole radyasyon, X ve γ -ışınları biyolojik materyaller ile yapılan çalışmalarda kullanılan radyasyon tipleridir. Tablo 1.2’de IR tiplerinin özelliklerini görülmektedir. X ve γ -ışınlarının enerjileri UV ışınlarına göre çok daha yüksek enerjiye sahiptir, dolayısıyla daha yüksek oranda moleküllerde iyonlaşmaya neden olurlar. X ve γ -ışınları birbirlerine yakın özelliklere sahiptirler. X ışınları, bir cihaz tarafından elektronların çok yüksek enerjiye ulaşana kadar hızlandırıldıktan sonra tungsten ya da altından yapılmış bir hedefte aniden durdurularak bir kinetik enerji oluşturulur ve oluşan bu enerjinin bir kısmı X ışınlarına dönüşür. Gama radyasyon ise bir radyoizotoptan yayılır, kararlı olmayan çekirdek kararlı duruma geçebilmek için yüksek enerjili ışınlar yayar. Yeryüzünde kayalarda doğal olarak γ radyasyon bulunur (Hall ve Giacci, 2006; De Micco vd., 2011).

Radyasyon dolaysız ve dolaylı iyonizasyon olarak iki gruba ayrılabilir. Biyolojik sistemler iyonize radyasyona maruz kaldıklarında, enerjinin absorpsiyonu ve biyolojik hasar arasında basamaklar halinde birtakım değişimler oluştururlar. İyonize radyasyon hasarı dolaysız ve dolaylı olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Dolaysız iyonizasyon (hedef doku tarafından doğrudan soğurulma) absorbe edildiği atomik yapıyı bozabilecek yeterli enerjiye sahip olunan partiküller ile gerçekleştirilir. Proton, nötron, α -partiküller, negatif π -mezonlar dolaysız iyonizasyona yol açan partiküllere örnek olarak verilebilir (Smith, 1976; Hall ve Giacci, 2006). Elektromanyetik radyasyon (X ve γ -ışınları) dolaylı iyonizasyona neden

olurlar. Gama ve X radyasyon türleri moleküllerde doğrudan bir kimyasal ya da biyolojik bir hasara neden olmazlar. Bunun yerine soğurulmaları durumunda hızlı hareket eden yüklü partiküller oluşturmak üzere enerjilerini aktarırlar ve bu yüklü parçacıklar hasara neden olur (Esnault vd., 2010; De Micco vd., 2011).

Ancak dolaylı hasarda ilk hedef çoğunlukla su gibi moleküllerdir. Su moleküllerinde oluşan uyarılma ve iyonizasyondan sonra iyonize su molekülleri (H_2O^{+}), hidrojen ($H^{\bullet}$) ve hidroksil ($^{\bullet}OH$) radikalleri oluşur. Oluşan bu radikaller bir dizi reaksiyona, sekonder radikallerin oluşmasına ve sonuç olarak oksidatif stresle birlikte biyolojik hasara neden olur (Lee vd., 2009; Esnault vd., 2010).

Bitkilerin iyonize radyasyon stresine karşı verdikleri cevapları belirli başlıklar altında toplamak ya da maddelendirmek zordur. Çünkü iyonize radyasyon etkisi ve radyasyona karşı bitkilerin verdikleri cevaplar radyasyonun akut ya da sürekli oluşuna göre, doz oranına ve maruz kalma süresine, bitki türüne, varyete veya kültivarına göre, bitkinin gelişim sürecine göre değişiklik göstermektedir (Boyer vd., 2009). Bundan dolayı bitkiler ile yapılan çalışmalarda uygulanan iyonize radyasyon dozu birkaç Grey (Gy)'den birkaç yüz Gy'e kadar değişkenlik göstermektedir (Esnault vd., 2010; Gudkov vd., 2019).

1.3.1. İyonize Radyasyon (IR) Stresinin Bitkilerde Oluşturduğu Biyolojik Etkiler

İyonize radyasyona maruz kalan organizmalarda enerjinin soğurulduğu ilk aşama ile biyolojik hasarın olduğu son aşama arasında farklı bir seri basamak aktive olur. İyonize radyasyonun doğrudan etkisinin ilk hedefi su ve DNA molekülleridir. Enerjinin soğurulması ile primer hedeflerde bir uyarılma ve neticede iyonlaşma oluşur. İyonlaşmanın sonucu reaksiyon birbirine bağlı zincir şeklinde ilerler ve sekonder reaksiyonlar neticesinde hücre için reaktif oksijen türleri (ROT) artar (Esnault vd., 2010).

İyonize radyasyona maruz kalan bitkilerde ROT'nin miktarında genel olarak bir artış gözlenir. Suyun radyolizi sonucu oluşan $^{\bullet}OH$ radikalının ömrü çok kısadır, ancak bu radikal uzun mesafelere kısa sürede taşınabilir ve yüksek düzeyde hücre hasarına hatta ölümüne neden olur. Diğer ROT'lar (H_2O_2 gibi) genel olarak ikincil reaksiyonlar sonucunda oluşurlar. Ayrıca iyonize radyasyon daha az aktif ancak çok daha uzun ömre sahip oksijen türlerinin oluşumuna da neden olur. Bu radikaller hücre ölümüne neden olmazlar ancak genetik anormalliklere yol açarlar (Koyama vd., 1998). İyonize radyasyon etkisi ile ROT'ların miktarının artması hücrede radyasyon stresinden sonra ikincil bir stres olan oksidatif strese

yol açar. Oksidatif stres koşullarında bitkilerin antioksidan savunma sistemleri uyarılır, stres etmenlerine karşı enzimatik olan ve olmayan antioksidanlar hücre ve sistemlerini korumaya çalışır (Esnault vd., 2010).

Akut 1 kGy iyonize radyasyona maruz bırakılan balkabağı yaprak ve petiollerinde (yaprak damarlarında, hücre zarında, orta lamellerde ve parankima hücrelerinde) yüksek oranda H_2O_2 biriktiği, artan peroksidaz antioksidan enzim aktivitesi ile H_2O_2 birikiminin bitki hücreleri tarafından azaltılmaya çalışıldığı belirlenmiştir. Ayrıca peroksidaz enzim aktivitesi artışı sarımsak (*Allium sativum* L, 10 Gy) (Crocı vd., 1991; 1994) ve tatlı patates disklerinde (900 Gy) (Ogawa ve Uritani, 1970) kaydedilmiştir. *Vigna radiata*, *Nicotiana tabacum* ve *Nicotiana debneyi* türlerinde 20-200 Gy iyonize radyasyon uygulaması sonrasında SOD enzim aktivitesinde artış ve düşüşler belirlenmiştir (Roy vd., 2005; Wada vd., 1998). *Capsicum annuum* L. bitkisinde, 2 ve 8 Gy iyonize radyasyona maruz kaldıktan sonra APX ve SOD antioksidan enzim aktivitelerinde artış, GR enzim aktivitesinde ise bir düşüş belirlenmiştir (Kim vd., 2005).

İyonize radyasyonun bitkiler üzerindeki etkileri, maruz kalınan dozla birlikte maruz kalınan süreye göre de (akut ya da kronik) değişmektedir (Tablo 1.3). Zaka ve arkadaşları (2002), Kazakistan nükleer deneme alanlarında yetişen Poaceae ailesine ait yaban tip *Stipa capillata* L. bitkilerini incelediklerinde, bu bitkilerin radyasyona karşı hassasiyetlerinin azaldığını, POD, CAT, SOD ve G₆PDH (glukoz-6 fosfat dehidrogenaz) enzim aktivitelerinin kronik doza maruz kalmayanlarınkine kıyasla daha fazla arttığını belirlemişlerdir. Art arda iki defa iyonize radyasyon uygulaması yapılan *Allium cepa* L. bitkisinde, ikinci uygulama sonrasında birinciye oranla daha az kromozom yapısında kırıklar olduğu Cortes ve arkadaşları (1990) tarafından rapor edilmiştir.

Düşük doz iyonize radyasyon bitkilerde antioksidan sistemi harekete geçirerek, bitkinin farklı stres tiplerine karşı tolerans kazandırabilir. Kuru *Oryza sativa* L. tohumlarına 8 Gy iyonize radyasyon uygulandıktan sonra, aynı tohumların tuz stresine karşı hassasiyet düzeylerinin azaldığı, çimlenme kapasitelerinin arttığı, SOD ve APX aktivitelerinin arttığı saptanmıştır (Beak vd., 2005).

Tablo 1.3. Akut ışınlamanın bitkilerin temel morfometrik parametreleri üzerindeki etkileri (Gudkov vd., 2019)

Bitki	Düşük dozlar	Orta dozlar	Yüksek dozlar
<i>Lathyrus chrysanthus</i> Boiss (tohum)		↑sürgün uzunluğu ↑kök uzunluğu (ışınlamadan sonra zamana bağlı) ↑ağırlık ↑/↓sürgün uzunluğu ↑/↓kök uzunluğu	↑/↓sürgün uzunluğu ↑/↓kök uzunluğu (ışınlamadan sonra zamana bağlı) ↓ağırlık ↓sürgün uzunluğu ↓kök uzunluğu
<i>Pigeon pea</i> (L.) Millsp. (tohum)			↓sürgün uzunluğu ↓kök uzunluğu
<i>Capsicum annuum</i> L. (tohum)	↑sürgün uzunluğu ↑yaprak alanı		
<i>Zea mays</i> L. (tohum)			↓sürgün uzunluğu ↓kök uzunluğu
<i>Vigna sinensis</i> (L.) Walp. (Tohum)		↑sürgün uzunluğu ↑kök uzunluğu ↑yaprak alanı ↑ağırlık	
<i>Arabidopsis thaliana</i> L. (tohum)		↑Ağırlık ↑Kök uzunluğu	↓Ağırlık ↓Kök uzunluğu
<i>Glycine max</i> L. Merrill (tohum)			↓Bitki uzunluğu
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (tohum)	↑Yaprak alanı	↑Yaprak ağırlığı Yaprak alanı	↓Yaprak alanı
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp. (tohum)	↑Bitki ağırlığı	↓Bitki ağırlığı	
<i>Triticum</i> sp. (tohum)	↑Bitki ağırlığı ↑Yaprak alanı	↑Bitki ağırlığı ↑Yaprak alanı	
<i>Allium sativum</i> L.		↓Yaprak uzunluğu	↓Yaprak uzunluğu
<i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf (vejetatif safha)		↓Bitki uzunluğu ↑Bitki uzunluğu	↓Bitki uzunluğu
<i>Helianthus annuus</i> L. (vejetatif safha)		↓Bitki ağırlığı	
<i>Arabidopsis thaliana</i> L. (vejetatif safha)	↑Kök ağırlığı		
<i>Vicia faba</i> L. (vejetatif safha)		↓Kök uzunluğu	

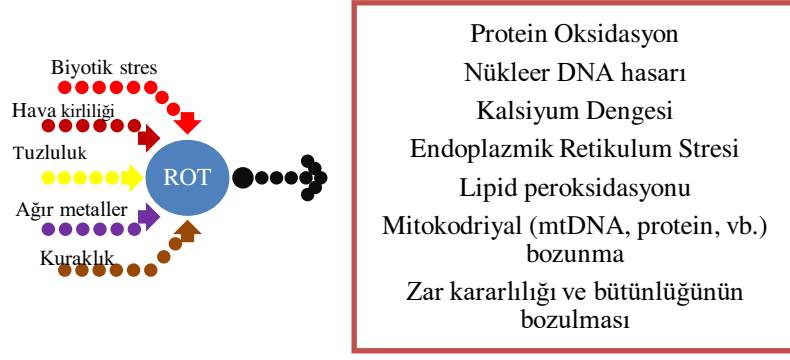
İyonize radyasyonun dolaysız ve dolaylı etkilerinin ana hedefi su ve DNA'dır. Genomik DNA ne kadar büyükse iyonize radyasyonun DNA üzerinde hasar oluşturma ihtimali o kadar artar. İyonize radyasyon DNA da tek veya çift bant kırıkları oluşturarak DNA hasarına yol açar (Culligan vd., 2006). Üreme hücrelerinde meydana gelen DNA hasarları sonucu oluşabilecek mutasyonlar sonraki nesillere aktarılacaktır. Hücreler oluşan

DNA hasarına karşı çok karmaşık olan ve henüz tam anlaşılamayan tamir mekanizmasına sahiptir. Ancak iyonize radyasyon dozuna ve süresine bağlı olarak oluşan her DNA hasarı hücre tarafından tamir edilemez ve oluşan hasar bitkinin fizyolojisine de yansır (Roldan-Arjona ve Ariza, 2009; Esnault vd., 2010). *Arabidopsis thaliana* bitkisinde 100 Gy iyonize radyasyon uygulaması sonrasında 163 genin uygulama ile uyarıldığı, uyarılan genlerin %17'sinin hücre döngüsü, kromozom yapısı, %11'inin transkripsiyon faktörleri ile ilgili olduğu ve kalan genlerin de DNA tamiri ile ilgili olduğu Culligan ve arkadaşları (2006) tarafından rapor edilmiştir.

İyonize radyasyona maruz kalan bitkilerde oluşan DNA hasarı, artan ROT miktarı ve biyokimyasal değişimlerin ardından birçok fizyolojik değişim de oluşturur. Düşük doz iyonize (1-2 Gy gibi) radyasyon inhibitör etkinin tam aksine bazı fidelerde büyümeyi teşvik edebilir. Ancak yüksek doz iyonize radyasyon çimlenme ve büyüme inhibisyonuna, hücre çeperi hasarına, hücre genişlemesine, turgor artış ya da düşüşüne, hatta ölüme yol açar (Wi vd., 2005; De Micco vd., 2014).

1.4. Serbest Radikaller ve Reaktif Oksijen Türleri (ROT)

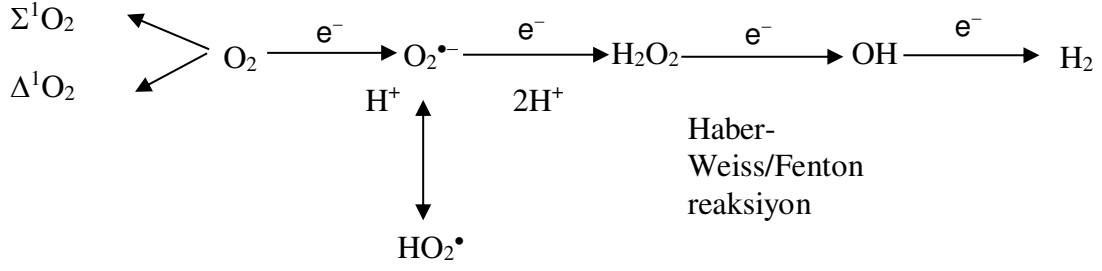
Anaeroblar dışındaki canlılar için oksijen çok önemli bir elementtir. Canlılar kendi metabolizmalarında oksijeni oksidatif birçok tepkimelerde kullanırlar. Bu tepkimelerin doğal sonucu olarak reaktif oksijen türleri (ROT) oluşur. Bunun yanında biyotik ve abiyotik faktörlerin (stres faktörleri) neden olduğu olumsuz koşullar da canlılarda ROT üretimini uyarır (Şekil 1.3). Her iki durumda bitkiler sahip oldukları bir takım enzimatik (SOD, POD, CAT, APX vb.) ve enzimatik olmayan (α -tokoferol, askorbik asit, karotenoid, fenolikler, flavonoid vb.) antioksidan savunma sistemleriyle oluşan radikallerin temizlenmesini sağlayarak etkisiz hale getirirler (Tablo 1.4.) (Aruoma ve Halliwell, 1991; De Micco vd., 2011).



Şekil 1.3. ROT'ların oluşma sebepleri ve hasarları (Tkemaladze ve Makhasvili, 2016'den uyarlanmıştır).

Reaktif oksijen türleri (ROT), moleküler oksijenden daha reaktiftir. Genel olarak O_2^- , H_2O_2 , $OH^\bullet$ ve 1O_2 bilinen en aktif ROT'lardır. Bunların hepsi yüksek seviye ulaştığında DNA, protein ve lipidlerin zarın yapısını bozarak hücreleri parçalanmasına neden olur. Ancak, düşük düzeylerde ise, sinyal molekülü olarak işlev görürler (Desikan vd., 2005). Fotosentetik organizmalarda ROT istenmeyen radikal türleri olarak tanımlanır (Halliwell, 2006).

Birkaç bitki hücre organeli (mitokondri, peroksizom ve kloroplast gibi) aerobik metabolizmaları esnasında ROT'ni üretebilmektedir. Son çalışmalar, apoplastın da ROT üretiminde rolü olduğunu rapor etmektedir (Jubany-Marí vd., 2009; Roychoudhury vd., 2012). Biyolojik sistemlerde üretilen en önemli radikaller, oksijenden oluşan radikallerdir. Aerob organizmalar moleküler oksijeni fotosentez ya da solunum gibi metabolik olaylar sonucunda suya indirger (Şekil 2.3). Bu indirgenme esnasında oldukça reaktif olan oksijen türleri oluşmaktadır (Halliwell ve Gutteridge, 2007; Del Río, 2015). Singlet oksijen Σ^1O_2 ve Δ^1O_2 olmak üzere ikiye parçalanır. Bu parçalanma ürünleri, oksijenin elektronlarından birinin enerji alarak kendi devrinin tersi yönünde olan başka bir orbitale geçmesiyle oluşur (Imlay, 2013; Schnell and St Clair, 2014).



Şekil 1.4. Oksijenin suya kadar indirgenmesi (Gill ve Tuteja, 2010'dan uyarlanmıştır).

Tablo 1.4. ROT farklılıkları ve özellikleri (Das ve Roychoudhury, 2014'den uyarlanmıştır)

Reaktif Oksijen Türleri (ROT)					
Radikaller	Oluşma Tepkimesi		Kaynak	Temizleme (süpürme)	
Süperoksit (O ₂ ^{•-})	$\text{O}^{\bullet-2} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow {}^1\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$ $2\text{O}^{\bullet-2} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}_2\text{Fe}^{3+}$ $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \text{OH}^{\bullet}$		Hücre zarı, kloroplast, mitokondri	SOD	
Hidroksil (•OH)	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}^{\bullet-2} \rightarrow \text{OH}^- + \text{O}_2 + \text{OH}^{\bullet}$		Hücre zarı, kloroplast, mitokondri	Flavonoid ve Prolin	
Radikal olmayanlar					
Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂)	$2\text{O}^{\bullet-2} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$		Hücre zarı, kloroplast, mitokondri, peroksizom	CAT, POX ve Flavonoid	
Singlet oksijen (¹ O ₂)	${}^3\text{Chl} + {}^3\text{O}_2 \rightarrow \text{Chl} + {}^1\text{O}_2$		Hücre zarı, kloroplast, mitokondri	karotenoidler ve α – Tokoferol	
Farklı abiyotik stres koşullarında farklı buğday genotiplerinde ve farklı doku tiplerinde antioksidan enzim değişikliklerinin bir özeti (Caverzan vd., 2016)					
Abiyotik stres	SOD	CAT	APX	POX	GR
Kuraklık	-	↑	↑	↑	↑
		↑			
	↓	-	-	↓	
Tuzluk		↑	↑	↑	
		↑	↓	↓	
	↑	↑			↓
	↑	↑			↑
Düşük sıcaklık	↑	-	↑	↑	↑
	↑	↑	↑	↑	
Yüksek sıcaklık	↑↓	↓		↓	↑↓
	↑	↑	↑		↑
	↑			↑	
	↑	↑		↑	
UV-B	↑			↑	
	↑	↑		-	
	↓	↓		↓	↑
Azalma (↓), Yükselme (↑), değişmemiş (-)					

Reaktif oksijen türleri sadece stres koşullarında oluşturulmazlar. Normal büyüme ve gelişme olaylarının başlatılması ve sürdürülmesi için gerekli sinyal moleküller oldukları (örn. hormonal sinyaller-ABA, oksin ve Me-JA-, stoma kapanması, kök büyümesi, vb.) ve patojen saldırılarına karşı geliştirilen savunma mekanizmasına da katıldıkları belirtilmiştir (Smirnoff, 2008). Tütün bitkisi hücrelerinde savunma yanıtları sırasında fitoaleksinin birikimi için süperoksit radikalinin, *Arabidopsis thaliana* bitkisinde kök büyümesinin uyarılması için hidroksil radikalının ve soya fasulyesinde hücre ölümünün başlatılması içinse süperoksit (H_2O_2 değil) radikalının gerekli olduğu artık bilinmektedir (Smirnoff, 2008). Son zamanlarda reaktif oksijen türlerinin abiyotik streslerde bitkilerde hızlı sistemik sinyalleşmeyi, hücre kalsiyum içeriğini ve elektrik potansiyelini (yayılan dalga olarak) iki katına çıkararak başlattığı ifade edilmektedir (Smirnoff, 2008). Bitki sistemlerinde kalsiyum ikincil mesajcı rolündedir ve sitozolun kalsiyum derişimi arttığında bazı sinyallerin aktifleştigi (ör. protein kinazlar, fosfatazlar ve onlara ait downstream gen ifadeleri) tespit edilmiştir (Choudhury vd., 2017). Yapılan çalışmalar ROT ile kalsiyum akışının birbiriyle ilişkili olduğunu göstermiştir (Choudhury vd., 2017). Örneğin konak hücrelerde, H_2O_2 varlığında zar kalsiyum akışının stoma açılıp-kapanmasını stomayı kapama yönünde kontrol ettiği ortaya konulmuştur (Choudhury vd., 2017).

Bir bitkinin yetiştiği alanda/tarlada maksimum sağlamlılığını sürdürmesi için, yapraklar dahil olmak üzere tüm organlarının abiyotik strese cevabının uyumlu bir şekilde olması gerekir. Bitki boyunca bu koordinasyonun sağlanması ancak ROT üretimi sinyalinin eş zamanlı olarak yayılan bir dalga hareketiyle sağlanabildiği belirtilmiştir (Choudhury vd., 2017). Örneğin, sıcaklık stresi koşullarında, ROT üretiminin sistemik olarak yapraklardaki ABA işleviyle koordineli olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır (Choudhury vd., 2017).

1.5. Reaktif Oksijen Türleri ve Fotosentez

Fotosistem II (PS II), suyun O_2 'ye ışık-sürümlü oksidasyonu ve plastokinon (PQ)'un plastokinol (PQH_2)'e indirgenmesini katalizleyen tilakoid zara gömülü bir su-plastokinon oksidoredüktazdır. Bu reaksiyonda, D1 proteininin klorofil monomeri (Chl_{D1}) ve feofittin ($Pheo_{D1}$) arasındaki primer yük ayrımı, zayıf bağlanmış klorofil dimer P_{D1} ve $^1(Chl_{D1}^{*+} Pheo_{D1}^{*-})$ radikal çiftini oluşturan P_{D2} 'nin oksidasyonu ile hızlı bir şekilde kararlı duruma gelir. $^1(P680^{*+} Pheo_{D1}^{*+})$ radikal çifti, $Pheo_{D1}$ 'den QA^{*-} 'yı oluşturan sıkı bağlı plastokinon QA 'ya ve Yz^{*-} 'yi oluşturan redoks aktif tirozin kalıntısı D1:161Y (Yz)'den $P680^{*+}$ 'e olan

eletron aktılmasıyla dengede tutulur. $QA^{\bullet}$ 'dan zayıfça bağlanan plastokinon Q_B 'ye ve Mn_4O_5Ca kümesinden proton-eşli elektron taşınması yoluyla $YZ^{\bullet}$ indirgenmesinin elektron taşınması Q_B ve Mn_4O_5Ca kümesi için indirgenme ve yükseltgenmesi eşdeğerliği sağlar. Q_B bölgesinde iki indirgeme eşdeğeri sağlandığında, ortamın protonlaşması kanallar yoluyla PQ havuzuna salınan plastokinol (PQH_2)'ları oluşturur. Mn_4O_5Ca kümesinde dört yükseltgeyici (oksitleyici) eşdeğerin oluşması, kanallardan lümene doğru iki H_2O ila O_2 'nin dört elektronlu yükseltgenmesine neden olur (Pospíšil, 2016).

Hem enerji transferi hem de elektron taşınması içeren ışıkla çalışan işlemlere reaktif oksijen reaktif (ROT) oluşumu eşlik eder. Enerji transferinde, tekli oksijen (1O_2), üçlü klorofilden O_2 'ye enerji transferi ile gerçekleşir. Elektron taşınımında ROT, ardışık tek-elektron O_2 indirgemesi ve PSII elektron alıcısı ve donör taraflarında H_2O 'nun iki-elektron oksidasyonu ile oluşturulur. O_2 'nin bir elektron indirgenmesi, kendiliğinden veya enzimatik olarak hidrojen peroksit (H_2O_2) ayrılan ve sonrasında Fenton reaksiyonu ile hidroksil radikaline ($OH^{\bullet}$)'e indirgenen süperoksit anyon radikalini ($O_2^{\bullet-}$) oluşturur. Suyun iki elektron oksidasyonu, sırayla $O_2^{\bullet-}$ ve $OH^{\bullet}$ 'ne yükseltgenen ve indirgenen H_2O_2 'i oluşturur. Abiyotik ve biyotik stres kaynaklı ROT'ların elimine edilmesi enzimatik olan ve enzimatik olmayan süpürebilmeyle sağlanır. Böylece, ROT'ların kontrol düzeyi çok çeşitli abiyotik (yüksek ışık, yüksek ve düşük sıcaklıklar, UV-radyasyonu ve kuraklık gibi olumsuz çevresel koşullar) ve biyotik (herbivorlar ve virüs, bakteri ve mantar gibi patojenlerle) streslerde başarılmış olur (Pospíšil, 2016).

İlmlı stres koşullarında, temizleme sistemi ROT düzeyini düşük tuttuğunda, ROT'lar, bir aklımasyon tepkisi ve programlanmış hücre ölümü sağlayan sinyal molekülleri olarak işlev görürler. ROT'ların yüksek ışık ve yüksek sıcaklık koşullarında kloroplasttan nükleusa uzanan hücre içi sinyalleşme yolağında çok önemli bir rol oynadığı rapor edilmiştir. (Gudkov vd., 2019) Ancak, ROT'ların proteinlere ve lipidlere karşı olan yüksek aktivitesi nedeniyle, ROT difüzyonu sınırlı kalır. Bu durum ROT'ların kloroplasttan nükleusa sinyal iletmesini iyi yönetmediğini göstermektedir. Protein oksidasyonu ve lipid peroksidasyonu ürünlerinin aktarılabilir sinyaller olarak işlev görebileceği düşünülmektedir. Enerji transferi (1O_2) ve elektron taşınmasıyla (H_2O_2) oluşturulan ROT'ların eş zamanlı olarak üretildiği düşünülse bile, sinyal yollarındaki hareketlerinin engelleme olasılığı yine de var gibi gözükmektedir. H_2O_2 'in *Arabidopsis thaliana* bitkisinin flu mutantındaki 1O_2 sinyal yollarını antagonize ettiği gösterilmiştir (Pospíšil, 2016).

1.5.1. Fotosentezde Pigment ve İyonize Radyasyon Stresi

İyonize radyasyonun (IR), klorofilin organeli olan kloroplasta diğer organellerden daha hassas olduğu rapor edilmiştir. Bitkiler düşük IR dozlarına maruz kaldığında klorofil sayısı değişmez veya artar. Doz arttıkça klorofil sayısı ve karetenoid içeriğe de düşecektir. Klorofil sayısının azalmasının nedeni IR kaynaklı gen ekspresyonunun baskılanmasından kaynaklanır. Bazı kaynaklarda ışınlamanın ardından klorofil *a/b* oranında artış olduğu gösterilmektedir. Klorofil *b* sentezinin iyonize radyasyona karşı daha dirençli olduğu bilinmektedir. Örneğin, *Arabidopsis thaliana* bitkisinde yüksek IR dozuna bağlı olarak klorofil enzimlerini sentezde (glutamil tRNA reduktaz ve NADPH-protoklorofil-oksireduktaz A/B) artış görülmektedir. Karetenoid üretimi sadece koruma amaçlı değil, düzeltme mekanizmasında da rol oynamaktadır. Ksantofil döngüsünde violaksantin ve zeaksantin arasında IR'den dolayı sayısızca zarar görülmektedir. Işınlamadan sonra zeaksantin yükselişi ışık enerjisinin yayılmasını kolaylaştırır. Ayrıca daha yüksek dozlara maruz kaldığı zaman, CO₂ alınmasının inhibisyonuna neden olur (Gudkov vd., 2019).

Marul bitkisi, IR'in düşük dozlarına (2-30 Gy arasında) maruz bırakıldığında klorofil *a/b* ve karetenoid içeriğinin artış gösterdiği aksine yüksek dozlarında (70 Gy'den fazla) ise azalma gösterdiği rapor edilmiştir (Gudkov vd., 2019). Hong ve arkadaşları (2018), 100 ile 300 Gy arasında değişen akut gama dozları ile ışınlanan tohumların fotosentetik pigment içeriğinde artış kaydettiler. Genellikle yüksek doz gama ışınlaması, fotosentetik kapasite kaybıyla birlikte klorofil biyosentezinin bozulmasına dolayısıyla fotosentezde belirgin bir azalmaya neden olur (Gudkov vd., 2019).

Gama radyasyonu, birçok mahsul türünün kalitatif ve kantitatif karakterlerini geliştirmek için mahsul mutasyonu yetiştirme programlarında kullanılmaktadır. Gama ışınları, kullanılabilirliği ve penetrasyon kapasitesi nedeniyle diğer iyonlaştırıcı radyasyon türlerine kıyasla daha ekonomik ve etkili bir araç olarak önerilmektedir. Genel olarak, iyonlaşma ile üretilen serbest radikallerin bitki çimlenmesi, büyümesi, morfolojisi ve verimi üzerine olumsuz etkileri olabilir. Ek olarak, yüksek dozda gama ışıması ile tetiklenen stres sinyalleri ve tepkilerinin bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerinde zararlı etkileri vardır. Bununla birlikte, bazı durumlarda düşük seviyelerde iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmanın, hormesis olarak adlandırılan bitki büyümesi üzerinde faydalı bir etkisi olduğu da rapor edilmektedir (Gudkov vd., 2019).

1.6. Bitkilerde Antioksidan Savunma Sistemi

1.6.1. Enzimatik Antioksidanlar

Süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) oksijenli solunum (aerobik) yapan tüm canlılarda bulunur. Singlet oksijen ($O_2^{\cdot-}$), O_2 ve H_2O_2 'ya bu enzimle dönüştürülür (bk. Tablo 2.4). Böylece oksidatif strese ilk savunma hattı oluşturulmuş olur. Süperoksit dismutaz antioksidan savunma sisteminde hücreyi savunmada merkezi bir role sahiptir. Bu enzim metaloenzimler grubuna dahil olup Cu/Zn-SOD, Mn-SOD ve Fe-SOD olmak üzere üç izoenzimle temsil edilmektedir. Bunlardan Cu/Zn-SOD mitokondri ve kloroplastlar'da, Mn-SOD mitokondri ve peroksizomlar'da, Fe-SOD ise yoğun bir şekilde kloroplastlar'da bulunur (Smirnov ve Arnaud, 2019).

Peroksidazlar (POX; EC 1.11.1.7) bitkilerde büyüme ve gelişme sırasında birçok önemli işlevleri yerine getirirler. Örneğin, H_2O_2 'in etkisizleştirilmesi (detoksifikasyonu), oksin (IAA)'in parçalanması, yaraların iyileşmesi, etilen biyosentezi, hücre uzaması ve genişlemesi, çeper ligninleşmesi, organogenez ve morfogenez gibi ve birçok fizyolojik ve biyokimyasal işlevlerden sorumludur. Bu enzim grubu aynı zamanda abiyotik ve biyotik streslere maruz kalan bitki hücrelerinde antioksidan savunma sistemini destekler. Peroksidazlar indirgeyici substrat olarak guaiakolü (o-metoksifenol) kullanılırsa guaiakol peroksidaz (GPOX)'lar olarak adlandırılırlar. Peroksidazlar hücrede genellikle sitozol, hücre çeperi ve apoplastik alanda daha çok bulunmaktadır (Sharma vd., 2010).

Katalaz enzimi (CAT; EC 1.11.1.6) de H_2O_2 'i H_2O ve O_2 'e parçalar. Dolayısıyla oksijenli solunum yapan tüm canlılarda bulunur. Katalaz, yapısında bir hem grubu içeren tetramerik yapıya sahip bir enzimdir. Hem abiyotik ve hem de biyotik stres koşulları katalaz aktivitesinde gen ifade ve aktivite düzeyinde artışlar sağlar. Mitokondri'de ETS süreci, glioksizomlarda yağ asitlerinin β -oksidasyonu ve fotosolunum (fotorespirasyon) potansiyel H_2O_2 kaynağıdır. Bu nedenle hücrede oluşan H_2O_2 'in dönüşümünde hücresel indirgeme eşdeğerliklerini tüketmediğinden CAT, hücreler enerji açısından strese girdiklerinde hızlıca oluşan H_2O_2 'i etkin bir şekilde dönüştürebilir (Scandalios vd., 1997).

Askorbat peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) yüksek bitkilerde, klorofitlerde, kırmızı alglerde ve birçok protista üyelerinde bulunan sınıf I hemoperoksidazlardır. Kloroplastlar'da askorbat-glutatyon (AsA-GSH) döngüsü H_2O_2 'i indirgeyen temel indirgeme sistemidir. İki molekül askorbik asiti (AsA) kullanarak H_2O_2 'i iki molekül monodehidroaskorbat

(MDHA)'a ve H_2O 'ya indirgeyen APX, AsA-GSH döngüsünün anahtar enzimlerinden biridir (Sharma vd., 2010). AsA-GSH döngüsü kloroplastlarla birlikte sitozol, mitokondri ve peroksizomlarda da ROT'ların süpürülmesinde görev alır. Çevresel stres koşullarına yanıt olarak APX aktivitesi genel olarak CAT, SOD ve glutatyon redüktaz (GR) gibi diğer antioksidan enzim aktiviteleriyle birlikte artış gösterdiği rapor edilmiştir (Caverzan vd, 2012).

Glutatyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) oksidatif stres koşullarının oluşturduğu hasara karşı hücreyi korunmada esaslı bir role sahiptir. Aynı zamanda GR, AsA-GSH döngüsünün de diğer bir önemli enzimidir. Bu enzim e^- verici olarak NADPH'ı kullanır ve yükseltgenmiş glutatyonun (GSSG) indirgenmiş glutatyona (GSH) dönüşümünü katalizler. Ayrıca e^- verici olarak NADPH'ın kullanılması, CO_2 fiksasyonunun azalması durumunda NADPH/NADP⁺ oranının ayarlanmasında katkısı olduğu önemle vurgulanmaktadır (Creissen vd., 1996). İyonize radyasyon gibi şiddeti yüksek streslerin birincil etkilerinin neden olduğu oksidatif hasardan korunmada GSH'ın devamlılığı önemlidir (Sairam vd., 1997).

Monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR; EC 1.6.5.4) oksidoredüktaz sınıfı bir enzimdir. Bu enzim de AsA-GSH döngüsüne ait önemli enzimlerden biridir. Kloroplast, sitozol, mitokondri, glioksizom ve yaprak peroksizomları bu enzimi kullanır. Aynı şekilde GR'de olduğu gibi bu enzim de e^- vericisi olarak NAD(P)H'ı kullanır. Kloroplastlarda iki önemli görevi bulunmaktadır; (I) MDHA'tan indirgenmiş askorbatın yeniden oluşumu, (II) MDHA yokluğunda dioksijenin süperoksit radikallerine indirgenmesine aracılık etmektir (Leterrier vd., 2005).

Monomerik tiyol enzim olan dehidroaskorbat redüktaz (DHAR; EC 1.8.5.1), indirgeyici substrat olarak GSH'ı kullanır ve dehidroaskorbat (DHA)'ın AsA'a indirgenmesini katalizler. Bitkilerde stres cevabında AsA-GSH döngüsüne ait bir enzim olarak önemli bir yeri vardır (Sharma ve Dubey, 2005; 2007).

1.6.2. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar

1.6.2.1. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, bitkilerde pentoz fosfat, şikimat ve fenilpropanoid yollarından türevlenen, hem normal gelişim boyunca hem de enfeksiyon, yaralanma ve radyasyon gibi stres koşullarında geniş ve çeşitli ürün yelpazesinde üretilen sekonder metabolitlerdir. En yaygın fitokimyasal gruplardan biri olan bu bileşikler, bitkilerde morfolojik, fizyolojik ve

biyokimyasal açıdan önem taşımaktadırlar. Meyve ve sebzelerin renk ve duyuşal özelliklerine katkıda bulunmanın yanı sıra besinlerin oksidatif kararlılığını korumasına da katkıda bulunurlar (Shahidi ve Naczki, 2004). Ayrıca fenolik bileşikler, anti-allerjik, anti-arterojenik, anti-inflamatuvar, anti-mikrobiyal, antioksidan, anti-trombotik, kardiyoprotektif ve vazodilatör etkiler gibi geniş bir fizyolojik özellik sergilemektedirler. Bu özelliklerinden dolayı, gıdalarda fenolik bileşiklerin tanımlanması ve miktarının belirlenmesi, gıdanın antioksidan fonksiyonu, gıda kalitesi ve potansiyel sağlık yararları ile ilgili bilgi sağlayabilir (Balasundaram vd., 2006).

Fenolik bileşikler, doğrudan bir aromatik hidrokarbon (C₆) grubuna bağlı hidroksil grubu (-OH) içeren bir kimyasal bileşik sınıfıdır ve basit fenolik moleküllerden yüksek derecede polimerize bileşiklere kadar değişiklik gösterirler. Sahip oldukları fenol gruplarının sayısına göre sınıflandırılırlar ve genel olarak fenolik bileşikler, basit fenolikler, fenolik asitler, kumarinler, flavonoidler, stilbenler, hidrolizlenebilir ve kondense taninler, lignanlar ve ligninlerden oluşur. Aromatik halka ile -OH grubuna ait oksijen (O) arasındaki bağın güçlü, O ile H arasındaki bağın zayıf olmasından dolayı, fenolik bileşikler asidik özellik gösterirler. Fenolik gruplardan birine veya daha fazlasına bağlı mono- ve polisakaritler ile eşlenikler halinde bulunabilir ve esterler ve metil esterler gibi fonksiyonel türevler oluşabilir (Balasundaram vd., 2006).

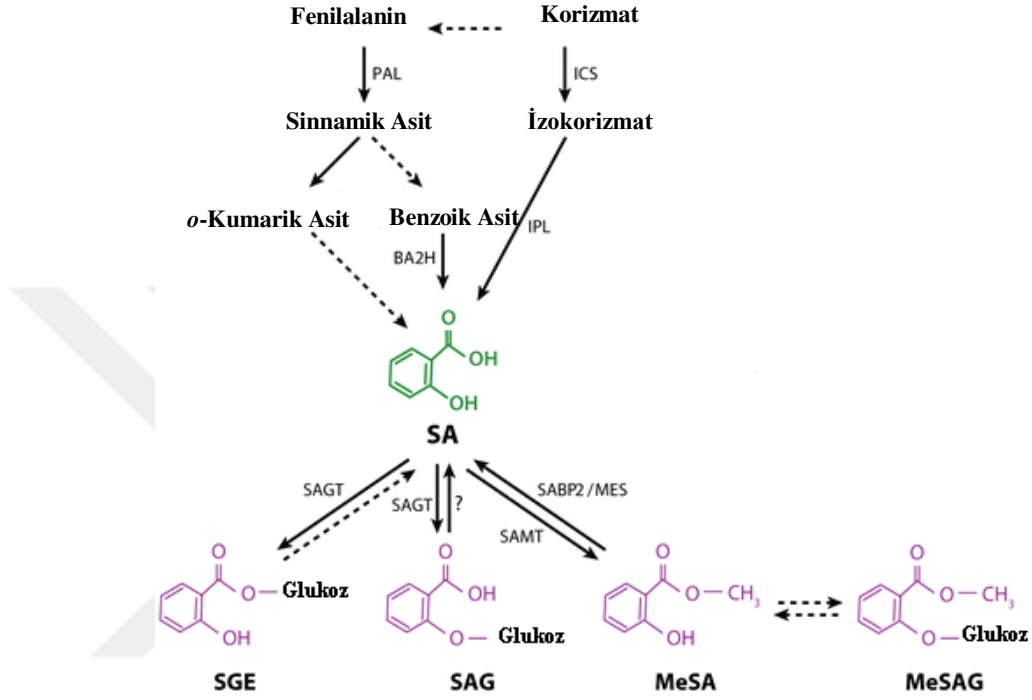
1.6.2.2. Fenolik Asitler

Fenolkarboksilik asit diğer adıyla fenolik grubunun alt sınıfıdır. En önemli iki grubu; hidroksibenzoik asit ve hidroksisünamik asittir. Fenolik asitlerin temel iskelet yapısı aynıdır, fakat aromatik halkaya bağlı -OH grubunun sayı ve konumuna göre birbirinden farklı oluşur (Taiz ve Zeigler, 2015). Gallik asit ve salisilik asit hidroksibenzoik asit grubuna ait önemli fenolik asitlerdir (Goleniowski vd., 2013).

1.6.2.2.1. Salisilik Asit

Salisilik asit (SA), bitki tarafından üretilen genel bir fenolik bileşiktir ve fenolik bileşiklerin sentezinin gerçekleştiği şikimik asit yolunda ara bir ürün olan sünamik asidin doğal bir türevidir. Bitkilerde SA oluşumu için muhtemel iki yol bulunmaktadır. İlkinde sünamik asidin zincir kısmındaki dekarboksilasyonla benzoik asit oluşmakta ve C2 pozisyonundaki hidroksilasyonla SA sentezlenmektedir. İkincisinde ise sünamik asidin

hidroksilasilasyonu ile *o*-kumarik asit ve daha sonra dekarboksilasyonla SA oluşmaktadır. Bu iki yolun yanı sıra, üçüncü bir yol olarak, daha önceleri bakterilerde tanımlanan korismik ve izokorismik asit yoluyla şikimik asitten SA'nın sentezlendiği bir yolun varlığı bitkilerin kloroplastlarında belirlenmiştir (Wildermuth vd., 2001) (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Bitkilerde salisilik asit biyosentez ve metabolizması (Chen vd., 2009'dan değiştirilerek)

Salisilik asit, bitki büyüme düzenleyicileri olarak bilinen fitohormonlar kategorisi içerisine dahil edilmiştir (Raskin, 1992). Transgenik bitkilerde SA metabolizması ve sentezi ile ilişkili yapılan çalışmalar, SA'nın stres belirtilerinin gelişimi ve aşırı duyarlı yanıt (HR) benzeri hücre ölümünde gerekli olduğunu gösterir (Horváth vd., 2007). Ekzojenik SA uygulaması, bitkide patojenik ilişki (PR) genlerinin ifade edilmesini sağlar (Malamy vd., 1990); bunun takibinde de sistemik kazanılmış direnç (SAR) gelişir (Yalpani vd., 1993). Dıştan bitkiye uygulanan SA'nın çevresel streslere karşı bitki cevabının hafifletilmesi için önemli bir sinyal molekül olduğu bilinmektedir (Raskin, 1992; Senaratna vd., 2000). Salisilik asit ve diğer salisilatlar grubu bileşikler çiçeklenmeyi uyarma, termojeniteye (ısı üretimi) neden olma, etilen biyosentezini engelleme, yapraklarda ve epidermiste transpirasyonu azaltma, ABA-teşvikli stoma kapanmasını tersine çevirme, mısır fidelerinde antosiyanin üretimini uyarma, baklagillerde simbiyotik azot

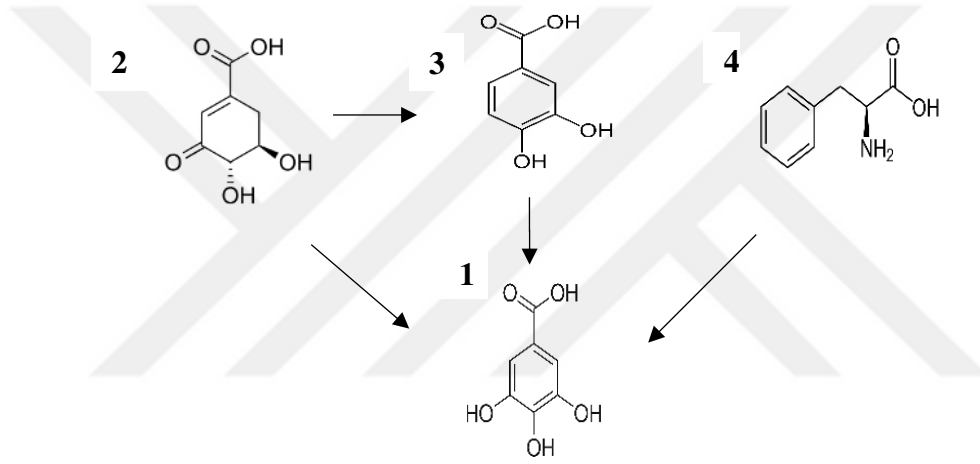
fiksasyonunda etkili olan kök-nödül oluşumunu arttırma, *in vivo*'da nitrat redüktazın aktivitesini arttırma ve vegetatif gelişmeyi hızlandırma gibi pek çok fizyolojik süreçte görev alırlar (Özeker, 2005).

Salisilik asit, bitkilerde çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal fonksiyonlara etki eden, önemli bir sinyal molekül olarak davranan ve biyotik ve abiyotik strese karşılık bitkinin göstereceği dirençte çeşitli etkilere sahip olan bir bitki hormonu olarak kabul edilir (Arfan vd., 2007). SA'nın fotosentetik pigmentler ve antioksidan enzim işlevleriyle abiyotik stresin şiddetli etkilerini iyileştirdiği pek çok çalışmada belirtilmiştir (Larkindale ve Knight, 2002). Fakat *Zea mays* L. bitkisine yapılan SA uygulamasının kuraklık toleransını baskıladığının (Németh vd., 2002), *Arabidopsis thaliana* bitkisinde yapılan SA muamelesi ile 5°C'in altında bitki yaşayamazken, SA birikimi yapamayan NahG bitkilerinin bu koşullarda yaşayabildiklerinin (Scott vd., 2004), yüksek konsantrasyondaki SA'nın *Arabidopsis thaliana* bitkisinde NaCl tarafından oksidatif hasarı arttırdığı ve NahG bitkilerinin NaCl uygulamasına çok dayanıklı olduğunun (Borsani vd., 2001) bilinmesi SA'nın bitki türü ve uygulanan konsantrasyona bağlı olabilecek şekilde teşvik edilen stres toleransında karşı etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Bu bilgilere ilaveten, SA'nın stres toleransındaki etkisi ile alakalı çalışmalar da mevcuttur. Kadmiyum (Cd) stresi altındaki *Lolium perenne* L. bitkisinin SA ile muamelesi, büyümede artışa sebep olurken kök/gövde arasındaki Cd taşınımını azaltarak hem kök hem de gövdede antioksidan enzim aktivitesini arttırmıştır, sonuçta Cd'un toksik etkisi azalmıştır (Wang vd., 2013). SA uygulaması ile limon otu (*Cymbopogon flexuosus* Steud. Wats.) olarak bilinen aromatik bir çim bitkisinde artan tuz seviyesi büyümeyi inhibe edip elektrolit sızıntı, prolin miktarı ve fosfoenol pirüvat karboksilaz enzim aktivitesini aşırı şekilde arttırırken dıştan uygulanan SA tuzluluk stresinin oluşturduğu istenmeyen etkilerle mücadele etmiştir (Idrees vd., 2012).

1.6.2.2.2. Gallik Asit

Gallik asit (3,4,5-trihidroksibenzoik asit) bitkilerde en yaygın bulunan fenolik bileşiklerden biridir. Örneğin, fındık, üzüm, kiraz, yaban mersini, nar, bal, yeşilçay ve şarapta yüksek miktarda belirlenmiştir. Gallik asidin, antialerjik, antienflamatuvar, antiviral, antifungal, antimikrobiyal, antimutagenik, antikarsinogenik, kardiyoprotektif ve nöroprotektif faaliyetler dahil olmak üzere insan sağlığı üzerinde sayısız yararlı etkisi olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, gallik asidin güçlü bir antioksidan olduğu ve oksidatif strese karşı iyi bir koruyucu olduğu da rapor edilmiştir (Marino vd., 2014).

Bazı çalışmalardan GaA (**1**) sentezi için iki potansiyel yolu bulunmaktadır (Şekil 1.6). Fenilalaninden (**4**) veya şikimik asitten türeyen bir ara maddeden, yani 3-dehidrosikikattan (3-DHS) (**2**) oluşturulabilmektedir. Bununla birlikte, GaA'nın karboksilik grubunun fenilalanin yan zincirinden ziyade shikiminin karboksilik grubuna biyosentetik olarak eşdeğer olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, GaA'nın bir 3-DSH'den ya doğrudan dehidrojenasyonla ya da bir ara madde olarak protokateşik asit (**3**) yoluyla oluşturulmasını gerektirir (Şekil 2.6). Werner ve arkadaşları (2004), ^{13}C işaretli glukoz ve oksijen izotop oranı kütle spektrometrisi ile retrobiosentetik NMR çalışmaları kullanarak, GaA'nın temel olarak 3-DHS'nin doğrudan dehidrojenasyonu ile sentezlendiğini göstermiştir (Badhani vd., 2015).



Şekil 1.6. Gallik asit biyosentezi (Badhani vd., 2015)

Gallik asit hidroksil, singlet oksijen, alkil peroksil, peroksil ve uzun ömürlü mutajenik radikaller gibi çeşitli serbest radikalleri temizleyebilir. Kısacası, GaA'nın ROT temizleyicisi olması, metallerle şelasyon yapması, lipid peroksidasyonunu engellemesi, hücre sinyal yollarını işletebilmesi ve apoptozisi uyarması gibi önemli işlevlerde rolü olduğu birkaç çalışmada rapor edilmiştir (Morino vd., 2014; Yildiztugay vd., 2017; Samad vd., 2019). Gallik asit, hem hayvan hem de bitkilerde herhangi strese karşı dirençlilik artışı gösterir (Marino vd., 2014). Soya fasulye yapraklarında ekzojenik gallik asit uygulaması yapıldıktan sonra su durumunu koruduğu ve fotosentetik kapasiteyi soğuk stresine dirençlilikte artırdığı gösterilmiştir (Yildiztugay vd., 2017), *Oryza sativa*'da tuz ve ozmotik streslerin birlikte gösterdikleri şiddetli etkileri iyileştirdiği rapor edilmiştir (Ozfidan-Konakci vd., 2015).

Hızlı nüfus artışı, ekonomik gelişme ve uluslararası ekonomik entegrasyon dünyanın her bölgesinde kaynak kullanımını yoğunlaştırmıştır. 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşması beklenen insan nüfusunu beslemek ve enerji sağlamak için mevcut kullanılabilir tarım alanlarından daha fazla verim sağlanması ve olumsuz çevresel etkilerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Hem stres hem de normal koşullar altında mahsul performansını artıran transgenlerin uygulanması uzun ve pahalı bir işlemdir. Bu nedenle bitkilere kolaylıkla ve daha az maliyetle uygulanabilen, ürün kaybını azaltıp verimi arttıran ve bu sırada insan sağlığı açısından güvenli olan SA ve GaA gibi antioksidan özelliğe sahip biyoaktif kimyasalların bitkilere uygulanması, artan insan nüfusuna gıda sağlamada büyük bir katkı sağlayacaktır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Bitki Materyalinin Sağlanması ve Buğday Tohumların Çimlendirilmesi

Tez kapsamında kullanılan ‘Gönen-98’ ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) çeşidi Alfa Tohum Şirketi (Balıkesir)’nden temin edildi. Buğday tohumlar aşağıda verilen deney deneme deseninde belirtilen (Tablo 2.1) dozlarda (Gy) için ışınlamak üzere Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)’na gönderildi. Buğday fidelerine uygulanacak olan ışınlama dozları 100, 200, 300 ve 400 Gy olacak şekilde Colak vd. (2015)’ne göre seçilmiştir. Kuru tohumlar 6 saat saf su ile imbibe edildikten sonra Hoagland (Hoagland ve Arnon, 1950) çözeltisinde ekim yapıldı ve 2 gün süre ile karanlık bir ortamda (22°C sıcaklık ve %65 nem) çimlendirildi. Üçüncü günün sonunda çimlenmiş buğday tohumları kontrol ve uygulama gruplarına ayrılarak öncesinde ön deneme çalışmaları ile uygulama derişimleri belirlenen salisilik asit (SA) ve gallik asit (GaA) ile muamele edildi. Hoagland ortamı üç günde bir değiştirilecek şekilde örnekler 5 gün boyunca 16 saat ışıık (25°C ve %65 nem) ve 8 saat karanlık (20°C sıcaklık ve %70 nem) fotoperiyodunda bitki yetiştirme kabininde (BINDER KBWF 720, Germany) yetiştirildi.

Dokuz günün sonunda örnekler hasat edildi ve sıvı azottan geçirilerek -80°C’de analizler yapılncaya kadar saklandı. Örneklerden kök ve sürgün boy ölçümü, kök ve sürgün yaş ağırlık ve kuru ağırlık, klorofil analizleri ve çeşitli enzim ölçümleri yapıldıktan mevcut tez kapsamında kullanılacak ışınlama dozlarının seçimi aşağıdaki gibi belirlendi. Tez kapsamında çalışılacak gruplar Tablo 2.1’de olduğı gibi belirlendi.

Tablo 2.1. Kontrol ve uygulama gruplarına ait uygulama ve zamanlama protokolü

Uygulama	0. gün/çimlenme	1. gün/karanlık	2. gün	3. gün/ışık	4. gün	5. gün*	6. gün	7. gün	8. gün	9. gün
Kontrol	Distile su	Hoagland	Hoagland	Hoagland	Hoagland	Hoagland	Hoagland	Hoagland	Hoagland	Hasat işlemi
100 Gy (Gy1)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
200 Gy (Gy 2)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
300 Gy (Gy 3)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
400 Gy (Gy 4)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
SA	" "	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
100 Gy (Gy 1 + SA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
200 Gy (Gy 2 + SA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
300 Gy (Gy 3 + SA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
400 Gy (Gy 4 + SA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
GaA	" "	GaA	GaA	GaA	GaA	GaA	GaA	GaA	GaA	GaA
100 Gy (Gy 1 + GaA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
200 Gy (Gy 2 + GaA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
300 Gy (Gy 3 + GaA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
400 Gy (Gy 4 + GaA)	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "

*hoagland çözeltilerinin yenilenmesi

2.2. Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi

Dokuz gün sonunda örnekler hızlı bir şekilde yetiştirme ortamından alınıp kökler saf su ile yıkandıktan sonra 1. ve 2. yaprak uzunlukları ayrı ayrı ölçüldü. Toplam yaş yaprak ağırlıkları belirlendikten sonra yapraklar 65°C'de 3 gün süreyle kurutuldu ve toplam kuru yaprak ağırlığı belirlendi.

2.3. Klorofil ve Karotenoid İçeriğinin Belirlenmesi

Toplam klorofil miktarı Arnon (1949) ve toplam karotenoid miktarı ise Jaspars (1965)'a göre belirlendi. 0,1 g bitki örneği %80 aseton ile homojenize edildikten sonra 5000 rpm'de santrifüjlendi. Elde edilen süpernatant 663, 645 ve 450 nm'lerde spektrofotometrede (Thermo e-201) ölçülerek aşağıda verilen formüller yardımı ile klorofil-a (Kl-a), klorofil-b (Kl-b), toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarı belirlendi.

$$\text{Klorofil-a} = (\Delta A_{663} \times 12,7) - (\Delta A_{645} \times 2,69)$$

$$\text{Klorofil-b} = (\Delta A_{645} \times 22,9) - (\Delta A_{663} \times 4,68)$$

$$\text{Toplam Klorofil} = (20,2 \times A_{645}) + (8,02 \times A_{663})$$

$$\text{Toplam Karotenoid} = (\Delta A_{450} \times 4,07) - [(0,0435 \times \text{Kl-a}) + (0,3367 \times \text{Kl-b})]$$

2.4. Klorofil Flouresans Değerlerinin Belirlenmesi

Yaprak klorofil flouresans değerleri ticari olarak geliştirilmiş bir fluorometre sistemi ile PSII'nin maksimum kuantum etkinliği (Fv/Fm) Genty ve arkadaşları (1989)'nın belirlediği metoda göre belirlendi. Böylece IR uygulamasının PSII'nin fotokimyasal etkinliğini nasıl değiştirildiği konusunda değerlendirmeler yapıldı.

2.5. Stoma İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

Stomal iletkenlik (portatif) porometre (Delta-T Devices model AP4, UK) stomal iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Stomal iletkenlik değerleri mmol m⁻²s⁻¹ olarak ifade edildi.

2.6. Osmotik Potansiyel Değerlerinin Belirlenmesi

Osmotik potansiyel değerlerinin belirlenebilmesi için her bir uygulama grubundan yeterli miktarda yaş yaprak homojenize edilerek 500 µL yaprak sıvısı elde edildi. Elde edilen sıvı Knauer K-7400 cihazı ile ölçülerek dokuların osmotik potansiyel değerleri belirlendi ve sonuçlar MPa olarak ifade edildi.

2.7. Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

Sıvı azottan geçirilip -80°C’de saklanan örneklerden 0,5 g alınarak %2 polyvinylpyrrolidone (PVPP) ve 1 mM EDTA içeren 50 mM K-fosfat tamponu ile (PH: 7,0) ile homojenize edildi. APX ekstraksiyonu için 2 mM askorbat içeren tampon kullanıldı. Homojen hale gelen örnekler +4°C 15,000 rpm’de 20 dakika santrifüjlendi. Santrifüj sonrası elde edilen süpernatantlar POX, SOD, APX, GR ve MDHAR enzim aktivite analizlerinde kullanıldı.

Guaiakol bağımlı peroksidaz (POX) aktivitesi Mika ve Lüthje (2003)’nin yöntemine göre belirlendi. Enzim aktivitesi, 25 mM sodyum asetat (pH 5,0) tamponu, 10 mM guaiakol ve 10 mM H₂O₂ içeren 1 ml’lik reaksiyon karışımının 470 nm’de 1 dk süre ile absorbanstaki artışın kaydedilmesiyle belirlendi. Aktivite sonuçları, 26,6 mM⁻¹ cm⁻¹ epsilon katsayısının kullanılmasıyla hesaplandı ve özgül enzim aktivitesi dakikada tüketilen µmol mL⁻¹ H₂O₂ olarak ifade edildi.

Süperoksit Dismutaz (SOD) aktivitesi Beauchamp ve Fridovich (1971) metodunun Dhindsa ve Mattowe (1981) tarafından geliştirilen yöntem ile belirlendi. Aktivite indikatör olarak kullanılan nitro blue tetrazolium (NBT)’ un süperoksit radikalleri ile mavi renkli bir formazona indirgenmesi reaksiyonun SOD enzimi tarafından engellenmesinin ölçülmesiyle tayin edildi. Bu reaksiyonun %50’sinin inhibisyonuna uygun süpernatant hacmi 1 enzim ünitesi olarak kabul edildi. Aktivite tayini için 50 mM fosfat tamponu (pH 7), 0,1 mM EDTA, 13 mM metionin, 75 µM NBT ve 2 µM riboflavin içeren karışıma 50 µl enzim özütü 3 ml’lik küvete ilave edildi. Riboflavin en son koyulacak ve küvet 16 W lamba altına yerleştirilerek reaksiyon başlatıldı. Işık kaynağı 15 dakika sonra uzaklaştırılarak reaksiyon sonlandırıldı. Oluşan reaksiyon ürünü 560 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçüldü. SOD aktivitesi enzim özütündeki 1 mg protein başına ünite enzim olarak ifade edildi.

Glutasyon redüktaz (GR) enzim aktivitesi Foyer ve Halliwell (1976)'e göre 340 nm'de absorbanstaki düşüşün kaydedilmesiyle belirlendi. Enzim aktivitesi tayini için 50 mM Tris-HCl tamponu (PH 7,8), 1 mM yükseltgenmiş glutasyon (GSSG), 0,25 mM NADPH, 0,5 mM EDTA ve enzim özütü içeren reaksiyon karışımındaki GSSG miktarındaki azalmanın 3 dakika boyunca ölçülmesi sonucu belirlendi. Enzim aktivitesi dakikada indirgenen 1 mmol mL-1 GSSG miktarı olarak ifade edildi.

Askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesinin belirlenmesi için taze 0,5 g yaprak numuneleri 50 mM fosfat tamponu, 1 mM EDTA, 5 mM askorbik asit ve %2 PVPP içeren tampon içerisinde homojenize edildikten sonra 15,000 rpm'de 20 dk santrifüjlendi. Elde edilen süpernatant APX enzim aktivitesi belirlemekte kullanıldı. APX enzim aktivitesinin tayini Nakano ve Asada (1981)'ya göre gerçekleştirildi. Reaksiyon karışımı 50 mM sodyum fosfat tamponu (PH 7,0), 250 µM askorbat, 5 mM H₂O₂ ve 25 µl enzim özütünden oluşacak ve 290 nm'de 3 dk boyunca ölçüldü. Sonuçlar mg protein başına enzim ünitesi olarak verildi.

Monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR) enzim aktivitesi Hossain vd. (1984)'ne göre ölçüldü. Enzim aktivitesi 50 mM potasyum fosfat tamponu (PH 7,8), 150 µM NADH, 50 µM ASC ve 100 µl enzim ekstratı içeren 1 ml reaksiyon karışımının 340 nm'de ölçülmesi ile belirlendi. Sonuçlar g taze ağırlık başına enzim ünitesi olarak verildi.

Dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) enzim aktivitesinin belirlenmesi için 0,5 gr örnekler 50 mM Tris-HCl (PH7,4), 100 mM NaCl, 2 mM EDTA ve 1mM MgCl₂ içeren ekstraksiyon tamponu içerisinde homojenize edildikten sonra 15,000 rpm'de 15 dk santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatant DHAR enzim aktivitesinin belirlenmesinde kullanıldı. DHAR aktivitesi Hossain ve Asada (1984)'nın tanımladığı metoda göre yapıldı. Enzim aktivitesi 50 mM potasyum fosfat tamponu (PH 6,5), 0,5 mM DHA, 1 mM GSH ve 100 µl enzim özütü içeren reaksiyon karışımı ile belirlendi. Aktivite 265 nm'deki aktivite artışına bağlı olarak belirlendi ve sonuçlar g taze ağırlık başına verildi.

2.8. Toplam Fenolik Madde (TFM) İçeriğinin Belirlenmesi

1 gram yaş yaprak örneği %80 metanol içerisinde 5 dakika kaynatılmıştır. Homojen haline getirilen örnekler 10,000 rpm'de 15 dk. oda sıcaklığında santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatant toplam fenolik madde tayininde kullanılmıştır. Toplam fenolik madde içeriği Slinkard ve Singleton (1977) metodunun modifiye edilmesi ile Folin-Ciocalteu (FC) reaktifi kullanılarak belirlenmiştir. 500 µl örnek üzerine 500 µl saf su, 100 µl FC ve 1900 µl

sodyum bikarbonat (Na_2CO_3) eklendi ve hazırlanan karışım UV spektrofotometrede 750 nm’de ölçüldü ve toplam fenolik madde miktarı 100 gr yaprakta bulunan galik asit olarak ifade edildi.

2.9. Antioksidan Kapasite Değerlerinin Belirlenmesi

2.9.1. 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) Radikal Temizleme Aktivitesi

DPPH Radikal temizleme aktivitesi Blois (1958)’in metoduna göre belirlendi. 500 μl örnek üzerine saf metanol ile taze olarak hazırlandı. 1 ml DPPH çözeltisi eklendi ve karışım yarım saat karanlıkta bekletildi. Reaksiyon karışımı 520 nm’de ölçüldü ve içerik μmol Trolox/g olarak ifade edildi.

2.9.2. Demir İyonu İndirgeyici Güç (FRAP) Analizi

FRAP analizleri Benzie ve Strain (1996)’nin metodunun modifiye edilmesi ile belirlendi. 10:1:1 oranında 300 mM asetat tamponu (PH 3,6), 10 mM TPTZ (2,4,6-tripiryidyle-s-triazine) ve 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ içeren stok solüsyon hazırlandı ve kullanılmadan önce sıcaklığı 37°C’ye ayarlandı. 150 μl örnek ekstratı ile 2850 μl reaksiyon solüsyonu karıştırıldı ve 30 dk karanlıkta bekletildi. Reaksiyon sonucu oluşan mor renkli ferrous tripyridyletriazine kompleksi 593 nm’de ölçülerek (Thermo, evolution 201, England) sonuçlar μM askorbik asit g^{-1} olarak ifade edildi.

2.9.3. Bakır İyonu İndirgeyici Güç (CUPRAC) Analizi

CUPRAC belirlenmesi için 1 ml ekstre üzerine 1 ml 10 mM CuCl_2 , 7,5 mM neocuproine ve 1M amonyum asetat tamponu (pH 7,0) eklendi ve son hacim deiyonize su ile 4 ml’ye tamamlandı. Reaksiyon karışımı oda sıcaklığında 30 dk bekletildikten sonra spektrofotometre ile sonuçlar 450 nm’de köre karşı okutularak kaydedildi. Standart olarak Trolox kullanıldı (Apak vd., 2004).

2.10. İstatistiksel Analizler

Bütün analizler üç ($n = 3$) tekerrürlü olarak yapıldı. Sonuçlar aritmetik ortalama $\pm$ standart hata olarak verildi. Veriler Statistical Package for Social Sciences (SPSS Statistics Ver. 22.0, Chicago, USA) paket programında yer alan tek-yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) ile analiz edildi. Duncan çoklu aralık testi ile ortalamalar arasındaki farklar $P < 0,05$ önem seviyesinde karşılaştırıldı.



3. BULGULAR

3.1. İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarına Ait Büyüme Parametrelerine Etkisi

İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 μ M) ve GaA (100 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fideleri (Şekil 3.1)'nin yaprak uzunluğu ve alanı, taze ve kuru ağırlık değerleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.



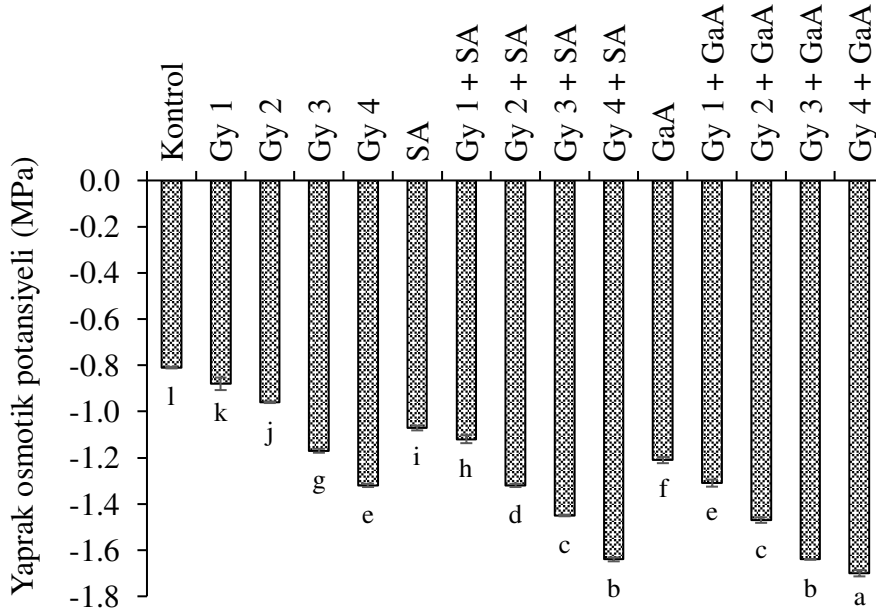
Şekil 3.1. Gönen-98 buğday çeşidinin IR, SA ve GaA uygulama gruplarına ait morfolojik görünüm. Gruplar (soldan sağa): 1- Kontrol, 2- SA, 3- GaA, 4- 100 Gy, 5- 200 Gy, 6- 300 Gy, 7- 400 Gy, 8- 100 Gy + SA, 9- 200 Gy + SA, 10- 300 Gy + SA, 11- 400 Gy + SA, 12- 100 Gy + GaA, 13- 200 Gy + GaA, 14- 300 Gy + GaA, 15- 400 Gy + GaA

Tablo 3.1. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yaprak uzunluğu ve alanı, taze ve kuru ağırlığına olan etkisi. Her değer ortalama $\pm$ standard hata olarak belirtilmiştir (n = 4). Karşılaştırma için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Her kolon kendi içinde karşılaştırılmıştır ve aynı harf ile gösterilen değerler arasında P<0,05 seviyesinde fark yoktur.

Uygulamalar	1. yaprak uzunluk (cm)	2. yaprak uzunluk (cm)	1. yaprak alanı (mm ²)	Toplam taze ağırlık (mg)	Toplam kuru ağırlık (mg)
Kontrol	21,01 $\pm$ 0,77 ⁱ	10,55 $\pm$ 0,49 ^{jk}	478,86 $\pm$ 36,40 ⁱ	187,50 $\pm$ 9,82 ^h	19,66 $\pm$ 0,56 ^g
Gy 1	19,66 $\pm$ 0,34 ^h	9,21 $\pm$ 0,04 ^g	396,07 $\pm$ 22,18 ^g	170,85 $\pm$ 6,74 ^g	18,07 $\pm$ 1,02 ^f
Gy 2	16,20 $\pm$ 0,35 ^f	8,54 $\pm$ 0,23 ^f	166,50 $\pm$ 8,12 ^{de}	134,10 $\pm$ 1,09 ^e	16,19 $\pm$ 1,02 ^e
Gy 3	11,28 $\pm$ 0,25 ^c	6,72 $\pm$ 0,17 ^d	104,41 $\pm$ 8,10 ^c	87,04 $\pm$ 1,96 ^c	12,59 $\pm$ 0,59 ^c
Gy 4	4,12 $\pm$ 0,21 ^a	0,08 $\pm$ 0,01 ^a	32,86 $\pm$ 1,14 ^a	33,76 $\pm$ 1,18 ^a	6,60 $\pm$ 1,67 ^a
SA	22,01 $\pm$ 0,68 ^{ij}	10,44 $\pm$ 0,32 ^{jk}	594,42 $\pm$ 16,07 ^j	186,91 $\pm$ 14,73 ^h	20,81 $\pm$ 0,89 ^g
Gy 1 + SA	21,09 $\pm$ 0,48 ⁱ	10,30 $\pm$ 0,43 ^{ij}	445,70 $\pm$ 6,93 ^h	184,09 $\pm$ 5,70 ^h	19,47 $\pm$ 0,56 ^g
Gy 2 + SA	17,24 $\pm$ 0,18 ^g	9,51 $\pm$ 0,20 ^{gh}	195,03 $\pm$ 15,18 ^{ef}	149,12 $\pm$ 4,93 ^f	18,09 $\pm$ 0,73 ^f
Gy 3 + SA	12,43 $\pm$ 0,64 ^d	7,88 $\pm$ 0,28 ^e	150,93 $\pm$ 5,73 ^d	98,30 $\pm$ 3,14 ^c	13,27 $\pm$ 0,13 ^d
Gy 4 + SA	6,36 $\pm$ 0,36 ^b	2,64 $\pm$ 0,39 ^b	50,45 $\pm$ 5,43 ^{ab}	49,51 $\pm$ 4,25 ^b	9,98 $\pm$ 0,75 ^b
GaA	22,23 $\pm$ 0,50 ^j	10,82 $\pm$ 0,39 ^k	589,46 $\pm$ 29,67 ^j	206,99 $\pm$ 6,86 ⁱ	21,21 $\pm$ 0,99 ^g
Gy 1 + GaA	20,98 $\pm$ 0,53 ⁱ	10,26 $\pm$ 0,22 ^{ij}	468,91 $\pm$ 14,39 ^{hi}	191,24 $\pm$ 3,26 ^h	20,71 $\pm$ 1,37 ^g
Gy 2 + GaA	18,10 $\pm$ 1,36 ^g	9,90 $\pm$ 0,07 ^{hi}	199,76 $\pm$ 15,41 ^f	160,82 $\pm$ 7,84 ^g	18,47 $\pm$ 0,87 ^f
Gy 3 + GaA	14,61 $\pm$ 0,62 ^e	8,24 $\pm$ 0,03 ^{ef}	148,47 $\pm$ 28,27 ^d	115,01 $\pm$ 10,16 ^d	14,55 $\pm$ 1,32 ^d
Gy 4 + GaA	6,84 $\pm$ 0,44 ^b	3,75 $\pm$ 0,23 ^c	67,83 $\pm$ 10,61 ^b	59,79 $\pm$ 3,67 ^b	10,03 $\pm$ 0,83 ^b

Gallik asit ve salisilik asit uygulanan grubundaki bitkilerin 1. ve 2. yaprak uzunluğu kontrol ve stres gruplarına kıyasla (21,01 cm) istatistiksel olarak önemli derecede ($P < 0,05$) artış (ortalama 1,11 cm) göstermiştir. Aynı gruplarda taze ve kuru ağırlık değerleri de uzunluk değerlerine benzer şekilde artmış ve en fazla artışın ise gallik asit uygulanan kontrol grubunda (sırasıyla 206,99 ve 21,21 mg) olduğu belirlenmiştir. İyonize radyasyon sonrası GaA ve SA uygulamalarında yaprak alanında da istatistiksel olarak önemli derecede ($P < 0,05$) artış (ortalama 105 mm²) belirlenmiştir.

3.2. İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Sürgünlerinde Yaprak Ozmotik Potansiyeline (Ψ_s) Olan Etkisi



Şekil 3.2. Salisilik asit ve gallik asit uygulamalarının iyonize radyasyon koşullarında buğday fidelerinin yapraklarının ozmotik potansiyel değerlerine olan etkisinin değişimi. Her dikey çubuk ortalama $\pm$ standard hata (SE) olarak belirtilmiştir ($n = 4$). Karşılaştırma için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında $P < 0,05$ seviyesinde fark yoktur. MPa; Megapaskal

Artan IR dozuna bağlı olarak yaprak ozmotik potansiyelinde (Ψ_s) istatistiki olarak önemli ($P < 0,05$) bir azalma sağlamıştır ($\Psi_s -0,88 \rightarrow -1,32$ MPa). Aynı koşullarda IR sonrasında SA ($\Psi_s -1,07$) ve GaA ($\Psi_s -1,21$) uygulanmış fidelerin yapraklarında ozmotik

potansiyel kontrol fidelerininkine kıyasla önemli derecede azalma göstermiştir (Ψ_{π} -1,12 – -1,64 ve -1,31 – -1,70 MPa, sırasıyla) (Şekil 3.2).

3.3. İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Klorofil ve Karotenoid İçeriğine Etkisi

İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 μ M) ve GaA (100 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında klorofil ve karotenoid içeriğindeki değişimler Tablo 3.2’de verilmiştir. Gama ışınlarının dozuna bağlı olarak klorofil içeriğinde bir azalma görülmüştür. Kontrol grubuna ait fidelerde kl *a* miktarı 60,25 mg 100 g⁻¹ olarak belirlendi. SA uygulaması ile kl *a* 64,48 mg 100 g⁻¹’a ve GaA uygulanması ile kl *a* 63,51 mg 100 g⁻¹ olduğu ve kontrol grubuna kıyasla arttığı gösterilmiştir. IR sonrası uygulanan SA ve GaA etkisi ile doz artışıyla ters orantılı olarak azalan klorofil ve karotenoid içeriklerinin arttığı, 100 ve 200 Gy + SA ve GaA gruplarında içeriklerin hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol grubuna yaklaştığı tespit edilmiştir.

İyonize radyasyon koşullarında SA (100 μ M) ve GaA (100 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında klorofil floresans değişimleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Kontrol grubuna ait fidelerle kıyaslandığında artan IR dozuna bağlı olarak Fv/Fm değerleri giderek azalmıştır. Hem SA hem de GaA uygulamalarında artan IR dozuna bağlı olarak Fv/Fm değerlerinde stres gruplarına kıyasla istatistiki olarak önemli (P <0,05) artışlar belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre SA uygulaması GaA uygulamasına kıyasla daha etkili olduğu gösterilmiştir.

Tablo 3.2. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 μ M) ve GaA (100 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında klorofil ve karotenoid içeriğine, klorofil floresans ve stoma iletkenlik değerlerine etkisi. Her değer ortalama $\pm$ standart hata olarak belirtilmiştir (n = 4). Karşılaştırma için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Her kolon kendi içinde karşılaştırılmıştır ve aynı harf ile gösterilen değerler arasında P < 0,05 seviyesinde fark yoktur.

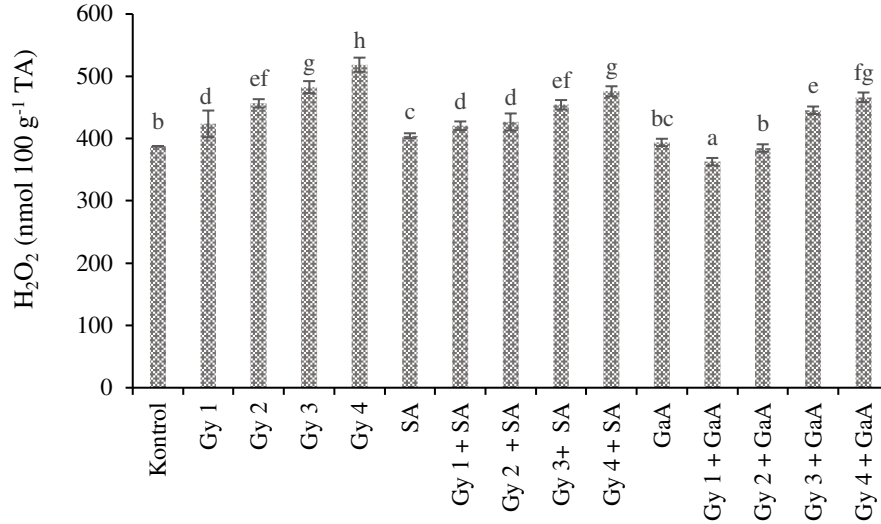
Uygulamalar	KI-a*	KI-b*	TKI*	KI a/b	TKar*	Fv/Fm	g _s **
Kontrol	60,25 $\pm$ 2,90 ^{ij}	19,28 $\pm$ 0,65 ^{ij}	79,51 $\pm$ 0,75 ^j	3,12 $\pm$ 0,09 ^{ef}	12,58 $\pm$ 0,49 ^g	0,823 $\pm$ 0,020 ^g	1,63 $\pm$ 0,07 ^f
Gy 1	45,94 $\pm$ 1,23 ^f	16,46 $\pm$ 0,38 ^{fg}	62,38 $\pm$ 2,99 ^g	2,79 $\pm$ 0,01 ^{cd}	10,43 $\pm$ 0,26 ^f	0,822 $\pm$ 0,001 ^{de}	1,56 $\pm$ 0,07 ^f
Gy 2	38,83 $\pm$ 1,24 ^e	14,16 $\pm$ 0,78 ^e	52,31 $\pm$ 2,41 ^e	2,74 $\pm$ 0,03 ^{cd}	6,28 $\pm$ 0,80 ^d	0,817 $\pm$ 0,002 ^{bc}	1,00 $\pm$ 0,06 ^d
Gy 3	23,65 $\pm$ 1,61 ^c	10,59 $\pm$ 0,72 ^c	34,89 $\pm$ 1,05 ^c	2,24 $\pm$ 0,26 ^b	4,79 $\pm$ 0,27 ^c	0,816 $\pm$ 0,001 ^{bc}	0,85 $\pm$ 0,06 ^{abc}
Gy 4	3,66 $\pm$ 0,53 ^a	2,16 $\pm$ 0,08 ^a	5,88 $\pm$ 0,13 ^a	1,70 $\pm$ 0,25 ^a	0,39 $\pm$ 0,11 ^a	0,804 $\pm$ 0,004 ^a	0,69 $\pm$ 0,16 ^a
SA	64,48 $\pm$ 3,61 ^j	19,65 $\pm$ 1,26 ^{ij}	84,78 $\pm$ 0,96 ^l	3,28 $\pm$ 0,08 ^f	12,09 $\pm$ 0,79 ^g	0,826 $\pm$ 0,001 ^{fg}	1,65 $\pm$ 0,13 ^f
Gy 1 + SA	61,64 $\pm$ 3,94 ^j	19,68 $\pm$ 0,90 ^{ij}	81,63 $\pm$ 1,56 ^{jk}	3,13 $\pm$ 0,07 ^{ef}	13,17 $\pm$ 0,77 ^g	0,818 $\pm$ 0,002 ^{cd}	1,66 $\pm$ 0,21 ^f
Gy 2 + SA	50,94 $\pm$ 2,97 ^g	17,75 $\pm$ 0,47 ^{gh}	68,67 $\pm$ 1,10 ^h	2,87 $\pm$ 0,07 ^{cde}	9,20 $\pm$ 0,43 ^e	0,823 $\pm$ 0,001 ^{ef}	1,23 $\pm$ 0,11 ^e
Gy 3 + SA	33,35 $\pm$ 2,80 ^d	12,76 $\pm$ 0,63 ^d	46,10 $\pm$ 1,34 ^d	2,62 $\pm$ 0,10 ^c	6,19 $\pm$ 0,78 ^d	0,818 $\pm$ 0,007 ^{cd}	0,92 $\pm$ 0,06 ^{cd}
Gy 4 + SA	24,31 $\pm$ 3,91 ^c	10,77 $\pm$ 0,61 ^c	35,07 $\pm$ 0,81 ^c	2,25 $\pm$ 0,29 ^d	3,83 $\pm$ 0,76 ^c	0,815 $\pm$ 0,002 ^{bc}	0,78 $\pm$ 0,05 ^{ab}
GaA	63,51 $\pm$ 3,44 ^j	20,40 $\pm$ 0,69 ^j	83,89 $\pm$ 2,09 ^{kl}	3,13 $\pm$ 0,09 ^{ef}	12,81 $\pm$ 0,62 ^g	0,825 $\pm$ 0,002 ^{efg}	1,71 $\pm$ 0,05 ^{ab}
Gy 1 + GaA	56,83 $\pm$ 2,16 ^{hi}	18,60 $\pm$ 0,65 ^{hi}	75,41 $\pm$ 0,85 ⁱ	3,05 $\pm$ 0,06 ^{ef}	12,26 $\pm$ 1,15 ^g	0,823 $\pm$ 0,001 ^{ef}	1,61 $\pm$ 0,07 ^f
Gy 2 + GaA	52,90 $\pm$ 0,45 ^{gh}	17,42 $\pm$ 1,14 ^{gh}	69,64 $\pm$ 1,31 ^h	3,00 $\pm$ 0,03 ^{de}	9,20 $\pm$ 0,40 ^e	0,824 $\pm$ 0,001 ^{ef}	1,29 $\pm$ 0,04 ^e
Gy 3 + GaA	40,18 $\pm$ 1,15 ^e	14,87 $\pm$ 0,68 ^{ef}	55,04 $\pm$ 1,65 ^f	2,71 $\pm$ 0,19 ^c	6,67 $\pm$ 0,78 ^d	0,817 $\pm$ 0,001 ^{bc}	1,01 $\pm$ 0,18 ^d
Gy 4 + GaA	18,38 $\pm$ 1,75 ^b	9,02 $\pm$ 0,96 ^b	27,39 $\pm$ 1,24 ^b	2,04 $\pm$ 0,15 ^b	2,44 $\pm$ 0,39 ^b	0,813 $\pm$ 0,002 ^b	0,98 $\pm$ 0,12 ^d

* mg/100 g taze ağırlık, ** (mmol m⁻²s⁻¹)

3.4. İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında H_2O_2 İçeriğine Etkisi

Artan gama radyasyon (100 – 400 Gy) koşullarında büyütülen buğday fidelerinde SA ve GaA uygulamalarının bitkinin yapraklarında H_2O_2 içeriğinde meydana getirdiği değişimler Şekil 3.3’ de verilmiştir.

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi IR stresi koşullarında buğday yapraklarında H_2O_2 içeriğinin 423,63 – 518,59 nmol 100 g⁻¹ TA arasında değiştiği ve tüm gama ışını uygulama gruplarında kontrol grubuna kıyasla (387,58 nmol 100 g⁻¹) istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P<0,05$) arttığı belirlenmiştir. Yapraklarda SA ve GaA uygulamaları H_2O_2 içeriğinde yalnızca IR uygulamalarına kıyasla azalmaya neden olduğu belirlenmiştir.

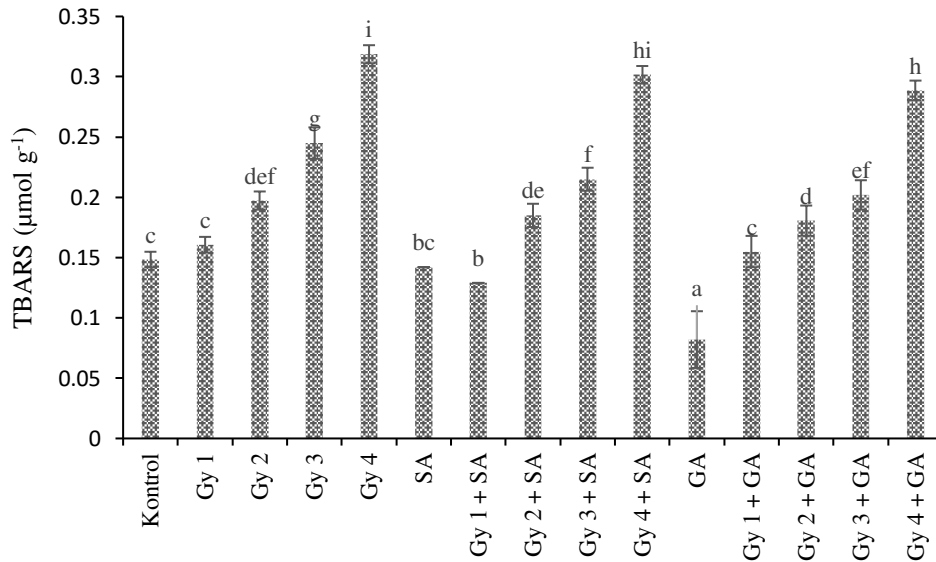


Şekil 3.3. Salisilik asit ve gallik asit uygulamalarının iyonize radyasyon koşullarında buğday yapraklarının H_2O_2 içeriği üzerine olan etkisi. Her dikey çubuk ortalama $\pm$ standart hata (SEM) olarak belirtilmiştir ($n = 3$). Karşılaştırma için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında $P<0,05$ seviyesinde fark yoktur.

3.5. İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Lipid Peroksidasyonu Üzerine Etkisi

İyonize radyasyon, SA ve GA uygulamalarının buğday fidelerinin yapraklarında TBARS eşdeğerliği üzerine olan etkisi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

İyonize radyasyonun lipid peroksidasyonunu artırdığı, bu artışın gama ışını dozuna bağlı olarak istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Ancak, 100 Gy IR kontrol grubuna göre lipid peroksidasyonunda önemli ($P<0,05$) bir artışa neden olmamıştır. SA ve GA uygulamalarının lipid peroksidasyonunda kontrol ve IR gruplarına kıyasla istatistiksel olarak önemli derecede azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Salisilik asit ve gallik asit uygulamalarının iyonize radyasyon koşullarında buğday fidelerinin yapraklarının TBARS eşdeğerliği üzerine olan etkisi. Her dikey çubuk ortalama $\pm$ standart hata (SEM) olarak belirtilmiştir ($n = 3$). Karşılaştırma için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında $P<0,05$ seviyesinde fark yoktur.

3.6. İyonize Radyasyon Koşullarında Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Antioksidan Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkisi

Gamma ışınlamasına (100 – 400 Gy) maruz bırakılan buğday tohumlarında ekim sonrası SA ve GaA uygulamalarının yapraklardaki askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), monodehidroaskorbat peroksidaz (MDHAR), dehidroaskorbat peroksidaz (DHAR), guaoikal peroksidaz (POX) ve süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktiviteleri üzerine etkisi Tablo 3.3'te verilmiştir.

Bu çalışmada, antioksidan enzim aktivitelerinin genel olarak artan gamma ışınlamasına bağlı olarak (100 → 400 Gy) önemli seviyede ($P < 0,05$) arttığı tespit edilmiştir. İyonize radyasyon stresine maruz kalan fidelerde herhangi bir uygulamanın yapılmadığı kontrol grubuna kıyasla enzim aktivitelerinde artış sağlanmıştır. Bu artışların; APX'te 1,2 – 2,02, GR'de 0 – 1,3, MDHAR'da 1,39 – 1,87, DHAR'da 1,06 – 1,68, POX'de 1,16 – 3,32 ve SOD'da 1,14 – 1,43 kat olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, SA ve GaA uygulaması yapılmayan kontrol gruplarıyla ve yalnızca IR uygulamasının yapıldığı gruplarla kıyaslandığında, SA ve GaA uygulamalarının antioksidan enzim aktivitelerini teşvik ettiği tespit edilmiştir.

Tablo 3.3. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 μ M) ve GaA (100 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında antioksidan enzim aktivitelerine etkisi. Her değer ortalama $\pm$ standard hata olarak belirtilmiştir (n = 4). Karşılaştırma için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Her kolon kendi içinde karşılaştırılmıştır ve aynı harf ile gösterilen değerler arasında P<0,05 seviyesinde fark yoktur.

Uygulamalar	APX	GR	MDHAR	DHAR	POX	SOD
Kontrol	14,07 $\pm$ 0,04 ^a	15,23 $\pm$ 0,65 ^b	0,79 $\pm$ 0,2 ^a	0,82 $\pm$ 0,07 ^a	38,17 $\pm$ 0,47 ^a	42,03 $\pm$ 2,85 ^a
Gy 1	17,05 $\pm$ 0,75 ^b	15,23 $\pm$ 0,24 ^b	0,84 $\pm$ 0,03 ^a	1,14 $\pm$ 0,04 ^c	44,36 $\pm$ 1,55 ^b	47,98 $\pm$ 1,61 ^b
Gy 2	18,58 $\pm$ 0,99 ^{bc}	16,38 $\pm$ 0,30 ^c	0,96 $\pm$ 0,05 ^b	1,22 $\pm$ 0,03 ^{cd}	49,40 $\pm$ 1,23 ^c	51,81 $\pm$ 0,24 ^{cd}
Gy 3	20,94 $\pm$ 0,50 ^{cd}	17,56 $\pm$ 0,76 ^d	1,17 $\pm$ 0,05 ^d	1,34 $\pm$ 0,04 ^e	65,09 $\pm$ 4,15 ^d	55,95 $\pm$ 2,29 ^{efg}
Gy 4	28,38 $\pm$ 0,58 ^h	19,88 $\pm$ 0,61 ^{ef}	1,33 $\pm$ 0,10 ^e	1,53 $\pm$ 0,03 ^{gh}	126,74 $\pm$ 0,50 ^h	60,21 $\pm$ 1,44 ^{hi}
SA	32,0 $\pm$ 2,22 ⁱ	14,42 $\pm$ 0,18 ^{ab}	1,02 $\pm$ 0,01 ^{cd}	1,03 $\pm$ 0,04 ^b	42,53 $\pm$ 1,03 ^{ab}	49,74 $\pm$ 1,15 ^{bc}
Gy 1 + SA	26,67 $\pm$ 1,25 ^{gh}	15,08 $\pm$ 1,00 ^b	1,13 $\pm$ 0,13 ^d	1,13 $\pm$ 0,06 ^c	69,87 $\pm$ 2,44 ^e	54,64 $\pm$ 1,56 ^{defg}
Gy 2 + SA	27,02 $\pm$ 2,99 ^{gh}	17,68 $\pm$ 0,35 ^d	1,43 $\pm$ 0,04 ^{ef}	1,23 $\pm$ 0,03 ^{de}	64,46 $\pm$ 1,00 ^d	56,97 $\pm$ 1,64 ^{fgh}
Gy 3 + SA	29,24 $\pm$ 1,19 ^h	19,52 $\pm$ 0,43 ^e	1,70 $\pm$ 0,07 ^h	1,46 $\pm$ 0,01 ^{fg}	75,03 $\pm$ 1,63 ^f	61,25 $\pm$ 0,81 ⁱ
Gy 4 + SA	31,26 $\pm$ 2,05 ⁱ	20,52 $\pm$ 0,52 ^{ef}	2,03 $\pm$ 0,01 ⁱ	1,89 $\pm$ 0,10 ^j	79,87 $\pm$ 2,05 ^h	53,02 $\pm$ 2,09 ^{cde}
GaA	25,52 $\pm$ 2,29 ^{fg}	13,51 $\pm$ 1,66 ^a	0,99 $\pm$ 0,05 ^{bc}	0,87 $\pm$ 0,02 ^a	41,45 $\pm$ 2,18 ^{ab}	43,18 $\pm$ 1,45 ^a
Gy 1 + GaA	22,41 $\pm$ 2,31 ^{de}	17,41 $\pm$ 0,36 ^{cd}	1,13 $\pm$ 0,09 ^d	1,20 $\pm$ 0,02 ^{cd}	80,31 $\pm$ 5,54 ^g	53,43 $\pm$ 2,49 ^{cdef}
Gy 2 + GaA	23,18 $\pm$ 0,42 ^{def}	18,11 $\pm$ 1,22 ^d	1,37 $\pm$ 0,10 ^e	1,43 $\pm$ 0,06 ^f	60,78 $\pm$ 0,47 ^d	57,30 $\pm$ 1,42 ^{gh}
Gy 3 + GaA	23,64 $\pm$ 0,41 ^{ef}	20,26 $\pm$ 0,58 ^{ef}	1,53 $\pm$ 0,03 ^{fg}	1,57 $\pm$ 0,04 ^h	80,89 $\pm$ 1,42 ^g	61,86 $\pm$ 2,83 ⁱ
Gy 4 + GaA	27,13 $\pm$ 2,78 ^{gh}	20,98 $\pm$ 0,06 ^f	1,63 $\pm$ 0,04 ^{gh}	1,74 $\pm$ 0,06 ⁱ	146,23 $\pm$ 6,10 ⁱ	41,81 $\pm$ 4,02 ^a

3.7. İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Toplam Fenolik Bileşik (TPC) İçeriği ve Antioksidan Kapasite Değerleri Üzerine Etkisi

İyonize radyasyon (100 – 400 Gy), SA ve GaA uygulamalarına maruz bırakılan Gönen 98 buğday çeşidine ait yapraklarda farklı yöntemler ile belirlenen toplam fenolik madde (TFM) içeriği ve antioksidan kapasite (AK) (DPPH, FRAP ve CUPRAC) değerleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Çalışmada gama ışınlamasına maruz bırakılan buğday fidelerinin yapraklarında TFM içeriği kontrol grubuna kıyasla (56,75 mg GaA 100 g⁻¹) istatistiksel olarak önemli (P <0,05) düzeyde artış gösterdiği belirlenmiştir. Toplam fenolik madde içeriğinin IR gruplarında 55,23 – 71,97 mg GaA 100 g⁻¹ arasında olduğu ve en yüksek artışın 400 Gy uygulanan grupta olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, IR uygulanan gruplarda SA ve GaA uygulamasının yapılması ile TFM içeriğinin genel olarak yalnızca IR uygulanan gruplara kıyasla arttığı, ancak Gy 3 + GaA ve Gy 4 + GaA gruplarında IR gruplarına kıyasla istatistiksel olarak önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir. SA uygulama gruplarında 63,81 – 81,27, GaA uygulama gruplarında 63,51 – 71,54 mg GaA 100 g⁻¹ TA arasında olduğu kaydedilmiştir.

Buğday fidelerine ait yapraklarda AK değerlerinin IR uygulamaları ile kontrol grubuna kıyasla (DPPH 1,25, FRAP 2,02 ve CUPRAC 1,45 µmol Trolox g⁻¹) arttığı tespit edilmiştir. IR+SA ve GaA uygulama gruplarında AK değerleri TFM içeriğine paralel şekilde yalnızca IR uygulama gruplarına kıyasla arttığı belirlenmiştir.

Tablo 3.4. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 μ M) ve GaA (100 μ M) uygulamalarının buğday fidelerinin yapraklarında toplam fenolik madde (TFM) içeriği ve antioksidan kapasite (DPPH, FRAP ve CUPRAC) değerlerine etkisi. Her değer ortalama $\pm$ standard hata olarak belirtilmiştir (n = 4). Karşılaştırma için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) kullanılmıştır. Her kolon kendi içinde karşılaştırılmıştır ve aynı harf ile gösterilen değerler arasında $P < 0,05$ seviyesinde fark yoktur.

Uygulamalar	TFM*	DPPH**	FRAP**	CUPRAC**
Kontrol	56,75 $\pm$ 0,83 ^a	1,25 $\pm$ 0,03 ^a	2,02 $\pm$ 0,13 ^a	1,45 $\pm$ 0,06 ^a
Gy 1	55,23 $\pm$ 0,22 ^a	1,32 $\pm$ 0,06 ^b	2,21 $\pm$ 0,06 ^{ab}	1,53 $\pm$ 0,05 ^{ab}
Gy 2	64,15 $\pm$ 0,05 ^b	1,47 $\pm$ 0,03 ^d	2,00 $\pm$ 0,01 ^a	1,70 $\pm$ 0,02 ^{bc}
Gy 3	68,77 $\pm$ 0,73 ^d	1,59 $\pm$ 0,03 ^{efg}	2,80 $\pm$ 0,06 ^{de}	2,04 $\pm$ 0,20 ^e
Gy 4	71,97 $\pm$ 1,59 ^e	1,66 $\pm$ 0,01 ^{gh}	3,23 $\pm$ 0,05 ^f	2,33 $\pm$ 0,06 ^f
SA	63,81 $\pm$ 0,88 ^b	1,40 $\pm$ 0,08 ^c	2,28 $\pm$ 0,08 ^{ab}	1,66 $\pm$ 0,03 ^b
Gy 1 + SA	66,15 $\pm$ 0,49 ^c	1,50 $\pm$ 0,01 ^d	2,70 $\pm$ 0,26 ^{cd}	1,85 $\pm$ 0,16 ^{cd}
Gy 2 + SA	68,79 $\pm$ 0,51 ^d	1,58 $\pm$ 0,06 ^{ef}	3,01 $\pm$ 0,09 ^{ef}	2,05 $\pm$ 0,02 ^e
Gy 3 + SA	74,41 $\pm$ 1,83 ^f	1,69 $\pm$ 0,09 ^h	3,57 $\pm$ 0,04 ^g	2,31 $\pm$ 0,13 ^f
Gy 4 + SA	81,27 $\pm$ 1,64 ^g	1,82 $\pm$ 0,04 ⁱ	3,54 $\pm$ 0,56 ^g	2,36 $\pm$ 0,04 ^f
GaA	63,51 $\pm$ 1,13 ^b	1,48 $\pm$ 0,01 ^d	2,31 $\pm$ 0,08 ^{ab}	1,66 $\pm$ 0,13 ^b
Gy 1 + GaA	66,67 $\pm$ 1,18 ^c	1,54 $\pm$ 0,01 ^{de}	2,86 $\pm$ 0,08 ^{de}	1,90 $\pm$ 0,04 ^{de}
Gy 2 + GaA	67,83 $\pm$ 0,50 ^{cd}	1,58 $\pm$ 0,02 ^{ef}	2,46 $\pm$ 0,05 ^{bc}	2,00 $\pm$ 0,17 ^{de}
Gy 3 + GaA	69,23 $\pm$ 0,59 ^d	1,60 $\pm$ 0,03 ^{efg}	3,03 $\pm$ 0,03 ^{ef}	2,07 $\pm$ 0,07 ^e
Gy 4 + GaA	71,54 $\pm$ 0,75 ^e	1,65 $\pm$ 0,03 ^{fgh}	3,19 $\pm$ 0,05 ^f	2,39 $\pm$ 0,09 ^f

* mg GaA 100 g⁻¹ TA ** μ mol Trolox g⁻¹ TA

3.8. İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Morfolojik ve Fotosentetik Parametreler Arasındaki İlişki

Buğday fidelerinin yapraklarında IR, SA ve GaA uygulamalarıyla değişen morfolojik parametrelerin (1. Yaprak uzunluğu, 2. Yaprak genişliği, 1.yaprak alanı, toplam taze ağırlık ve toplam kuru ağırlık), fotosentetik parametrelerin (Kl-a, Kl-b, TKl, Kl a/b, TKar, Fv/Fm ve g_s), osmotik potansiyel (ψ_s) değerleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır (Tablo 3.5). Buna göre buğday fidelerinin yapraklarına ait sonuçlar birbirleri ile istatistiki olarak ilişkilendirildiğinde, morfolojik ve fotosentetik parametrelerin birbiri ile yüksek düzeyde ilişkili olduğu (0,751 – 0,999) belirlenmiştir.

Tablo 3.5 İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 μ M) ve GaA (100 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında morfolojik parametrelerin (1. YU, 2. YU, 1. YA, TTA ve TKA), fotosentetik parametrelerin (Kl-a, Kl-b, TKl, Kl a/b, TKar, Fv/Fm ve g_s), osmotik potansiyel (Ψ_s) değerlerinin Pearson (r) korelasyonları

	2. YU	1. YA	TTA	TKA	Kl-a	Kl-b	TKl	Kl a/b	TKar	Fv/Fm	g_s	Ψ_s
1. YU	0,961**	0,891**	0,994**	0,990**	0,969**	0,952**	0,968**	0,965**	0,972**	0,879**	0,925**	0,601*
2. YU	1	0,769**	0,941**	0,959**	0,938**	0,953**	0,943**	0,943**	0,955**	0,917**	0,905**	0,821**
YA	-	1	0,908**	0,878**	0,876**	0,825**	0,870**	0,839**	0,920**	0,751**	0,957**	0,597*
TTA	-	-	1	0,990**	0,967**	0,946**	0,964**	0,952**	0,977**	0,872**	0,948**	0,588*
	-	-	-	1	0,981**	0,970**	0,980**	0,972**	0,971**	0,917**	0,921**	0,535*
Kl-a	-	-	-	-	1	0,986**	0,999**	0,990**	0,977**	0,907**	0,916**	0,463
Kl-b	-	-	-	-	-	1	0,991**	0,980**	0,960**	0,932**	0,882**	0,418
TKl	-	-	-	-	-	-	1	0,989**	0,977**	0,914**	0,913**	0,456
Kl a/b	-	-	-	-	-	-	-	1	0,956**	0,911**	0,871**	0,463
TKar	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,865**	0,957**	0,546*
Fv/Fm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,793**	0,362
g_s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,554*
Ψ_s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

* Korelasyon $P < 0.05$ seviyesinde önemli

** Korelasyon $P < 0.01$ seviyesinde önemli

3.9. İyonize Radyasyon Koşullarında Uygulanan Salisilik Asit (SA) ve Gallik Asit (GaA) Uygulamalarının Buğday Fidelerinin Yapraklarında Antioksidan Parametreler Arasındaki İlişki

Buğday fidelerinin yapraklarında IR, SA ve GaA uygulamalarıyla değişen antioksidan enzim (APX, GR, MDHAR, DHAR, POX, SOD), antioksidan bileşik (TFM), antioksidan kapasite (DPPH, FRAP ve CUPRAC), H_2O_2 ve TBARS değerleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır (Tablo 3.6).

TFM içeriğinin H_2O_2 (0,799) ve TBARS (0,793) içerikleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca GR (0,644), DHAR (0,528), POX (0,571) enzimleri ile de sırasıyla 0,05 ve 0,01 seviyesinde önemli korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. TBARS eşdeğerliğinin APX ve SOD enzimleri hariç tüm antioksidan içerik (0,644 – 0,878) ve H_2O_2 (0,841) içeriği ile yüksek düzeyde ilişkili olduğu kaydedilmiştir.

Tablo 3.6. İyonize radyasyon (100, 200, 300 ve 400 Gy) koşullarında SA (100 µM) ve GaA (100 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış buğday fidelerinin yapraklarında TPC, PAL, antioksidan kapasite (DPPH, FRAP ve CUPRAC), glutatyon (GSH ve GSSG), antioksidan enzim (APX, GR, MDHAR, DHAR, POX ve SOD), H₂O₂ ve TBARS içeriklerinin Pearson (*r*) korelasyonları

	TFM	DPPH	FRAP	CUPRAC	APX	GR	MDHAR	DHAR	SOD	POX	H ₂ O ₂	TBARS
TFM	1	0,976**	0,886**	0,919**	0,213	0,644**	0,270	0,528*	0,228	0,571*	0,799**	0,793**
DPPH	-	1	0,893**	0,942**	0,157	0,694**	0,325	0,569*	0,223	0,550*	0,752**	0,790**
FRAP	-	-	1	0,930**	0,234	0,769**	0,419	0,756**	0,301	0,671**	0,791**	0,858**
CUPRAC	-	-	-	1	0,183	0,763**	0,417	0,712**	0,212	0,634*	0,810**	0,878**
APX	-	-	-	-	1	0,387	0,725**	0,482	0,326	0,492	0,326	0,326
GR	-	-	-	-	-	1	0,785**	0,923**	0,457	0,717**	0,613*	0,866**
MDHAR	-	-	-	-	-	-	1	0,802**	0,331	0,651**	0,353	0,602*
DHAR	-	-	-	-	-	-	-	1	0,352	0,775**	0,638*	0,850**
SOD	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,022	0,402	0,325
POX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,542*	0,787**
H ₂ O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,841**
TBARS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

* Korelasyon P < 0.05 seviyesinde önemli

** Korelasyon P < 0.01 seviyesinde önemli

4. TARTIŞMA

Dünyamızın nüfusu son yapılan istatistiklere göre yılda yaklaşık 100 milyon artmaktadır. Bu artışa doğum oranları ile birlikte ortalama insan ömrünün uzaması da katkıda bulunmaktadır. Nüfus artış hızına paralel olarak gıda talebi de giderek artmaktadır. Son on yılda gıda talebi %20 artarken gıda üretimi %8 artmıştır (Alexandrostos, 1995). Dünya sağlık örgütü (WHO)'nün değerlendirmelerine göre dünyanın çeşitli bölgelerinde milyonlarca insan yetersiz beslenmekte, milyonlarcası ise yeterli gıda almasına rağmen vitamin ve mineral bakımından dengesiz ve yetersiz beslenen “gizli açlık” ile mücadele etmektedir. Küreselleşme ile birlikte gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler gelişmiş ülkelere gittikçe artan oranda bağımlı hale gelmekte ve zaten var olan gelir dağılımı eşitsizliği de yıldan yıla artmaktadır (Aktaş, 2006). Küresel ısınma ile birlikte artan kuraklık, gelişen sanayi ile birlikte artan çevre kirliliği gibi, bitkiler üzerinde stres oluşturan koşullardan dolayı tarımsal alanlar gittikçe azalmakta ve birim alan başına düşen verimle birlikte ürün kalite ve miktarı da düşmektedir. Bu durum açlık ve yoksulluğun tüm dünyada dramatik bir şekilde artışına neden olmaktadır (Kaur vd., 2015; Schmidhuber ve Tubiello 2007). Bu nedenlerden dolayı tarımda verimi artırabilmek için kısa süreli ve tekrarlı çözümler yerine, uzun vadeli, yalnızca birim alan başına düşen verimin yanında besin kalitesinin de dikkate alındığı yeni çözüm yöntemleri geliştirilmelidir.

Yapılan çalışmalar son yıllarda yaşanan en önemli çevresel problemlerden birinin artan radyasyon oranı olduğunu göstermektedir. Radyasyon artışı doğal olarak maruz kalınan kozmik radyasyonun yanı sıra sivil ve askeri nükleer çalışmalar sırasında yaşanan kazalardan da kaynaklanmaktadır. (Zaka vd., 2004). Ancak iyonize radyasyonun insan ve hayvanlara olan etkisini anlamak kadar doğal bitki populasyonları ve özellikle asıl geçim kaynağı tarım olan bölgelerdeki tarım ürünlerine olan etkisini anlamak da önemlidir (Zaka vd., 2002).

Yenilebilir tohum olan tahılların tüm dünya çapında buğday, arpa, mısır, çavdar, yulaf, trikale gibi çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Tahıllar gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde en temel besin kaynağıdır. Tahıl ve tahıl ürünleri, E vitamini, bazı B vitaminleri, magnezyum ve çinko gibi birçok mikronutrient içeren önemli bir enerji, karbohidrat, protein ve lif kaynağıdır. Ayrıca çeşitli biyoaktif bileşikler içerdiklerinden dolayı birçok açıdan insan sağlığına faydalıdır. Buğday dünyada en çok yetiştirilen tahıllar arasında listenin başında

yer almaktadır. Buğday un, bulgur, kuskus, kırık buğday, nişasta gibi birçok gıdanın üretiminde kullanılır. Bu nedenlerden ve ayrıca kolay ve hızlı yetişmesinden dolayı buğday stres çalışmaları ve besin içeriği gibi farklı fizyolojik ve biyokimyasal çalışmalarda dünya çapında başrollerde görev almaktadır (McKevith, 2004).

Biyotik ve abiyotik stres cevaplarında genellikle bitkilerde fenolik bileşikler gibi sekonder metabolitlerin sentezi artar. Fenolik bileşikler bitkiye tuz, kuraklık, ağır metal gibi streslere karşı tolerans kazandırır (Ancillotti vd., 2015; Smirnov vd., 2015; Wang vd., 2019). Antioksidan özelliğe sahip fenolik bileşikler serbest radikalleri süpürebilir ve hücre membranının oksidasyonunu azaltabilir, böylece oksidatif stresi olumsuz etkilerinden bitkiyi korumuş olurlar (Schroeter vd., 2002). Endojen fenolik bileşiklerin bitkileri çeşitli streslere karşı koruma mekanizması uzun yıllar boyunca çalışılmıştır. Son yıllarda ise bu fenolik bileşiklerin stres koşullarında ekzojen yani dıştan uygulanması durumunda bitkiye kazandırdığı tolerans hakkında çalışmalar yapılmaktadır. SA ve GaA doza ve bitki türüne bağlı olarak stres koşullarında bitkilere tolerans kazandırabilir (Khan vd., 2015; Singh vd., 2017). Endojen fenolik bileşiklerde olduğu gibi, ekzojen uygulanan SA ve GaA serbest radikalleri temizleyerek, şaperonlar, ısı şok proteinleri, antioksidan genlerinin düzenlenmesini teşvik ederek stres toleransı kazanmasında bitkiye yardımcı olurlar (Jumali vd., 2011; Khan vd., 2015; Singh vd., 2017). Soğuk, tuz ve kuraklık (Borsani vd., 2001; Németh vd., 2002; Scott vd., 2004; Yildiztugay vd., 2017; Ozfidan-Konakci vd., 2015; 2019), gibi stres koşullarında, SA ve GaA uygulamalarının meydana getirdiği fizyolojik ve biyokimyasal değişimler ile bitkiye kazandırdığı tolerans çalışılmış, ancak γ -radyasyon stresi koşullarında SA uygulamasının bitkilerde meydana getireceği değişimler hakkında, literatürde herhangi bir çalışma yer almamaktadır.

Bitkilerde gelişim süreci bitkisel yapıların oluşmaya başlaması, büyüme ve olgunlaşmayı kapsayan uzun ve geniş bir süreci kapsamaktadır. Bu süreç boyunca meydana gelebilecek çevresel etkenler gelişim sürecini olumlu ya da olumsuz yönde etkiler ve sonuç olarak tarımsal ürünlerde de verim de değişime neden olur (Jan vd., 2012). Bitkilerin maruz kaldıkları gama radyasyonun bitkilerde düşük dozlarda büyüme ve gelişimi teşvik ettiği, yüksek dozlarda ise doz oranına bağlı olarak ölüme kadar gidebilecek olumsuz etkilere neden olduğu yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir (Dishlers ve Rashals, 1977; Zaka vd., 2002; Maity vd., 2005; Melki ve Dahmani 2009). Yapılan çalışmalar ile “tohumlara tarla ekimden önce IR uygulaması ile verimin değişmesi” fikri geliştirildi (Jan vd., 2012). Ancak geliştirilen bu fikir açısından tüm bitkilerde bir genelleme yapılamamakla birlikte, IR etkisi

bitki türüne, bitkilerin gelişim aşamasına ve çevresel faktörlere göre değiştiğinden dolayı “düşük doz IR’nun büyümeyi teşvik edici” etkisi günümüzde hala tartışmalıdır (Miller ve Miller, 1987). Morfolojik, yapısal ve fonksiyonel değişimler, IR’nun dozuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Maruz kalınan doza bağlı olarak değişen morfolojik belirtilerin başında, çimlenme oranında ve fide boyunda azalma gelmektedir (Wi vd., 2005). Mevcut çalışmada, 100-400 Gy IR stresine maruz bırakılan buğday tohumları, dokuz gün süre ile yetiştirildikten sonra IR doz artışına paralel olarak morfolojik parametrelerde hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol grubuna kıyasla (yaprak boyu, alanı, yaş ve kuru ağırlıkları) azalma kaydedilmiştir (Tablo 3.1). Radyasyona maruz kalındıktan sonra meydana gelen büyüme inhibisyonu tohumlarda; 1) tüm genomun hasar almasıyla, 2) genomun hücre döngüsü ile ilgili kısmının hasar alması ile 3) genomun oksin hormonunun sentezinden sorumlu kısmının hasar alması ile meydana geldiği tahmin edilmektedir (Momiya vd., 1999; Jan vd., 2012). Benzer şekilde, Borzouei vd. (2010) 100, 200, 300 ve 400 Gy gama radyasyon uyguladıkları buğday tohumlarında çimlenme yüzdesinde, fidelerin boy ve yaş ağırlıklarında istatistiksel olarak anlamlı düşüş tespit etmişlerdir (Tablo 3.1). Yüksek antioksidan aktiviteye sahip GaA’nın ve aynı zamanda bitkisel bir hormon ve sinyal bileşiği olan SA’nın buğday fidelerinde IR etkisini azaltarak büyüme inhibisyonunda indirmeye neden olduğu, buğday fidelerine IR stresine karşı tolerans kazandırdığı çalışmamızda belirlenmiştir. Her iki fenolik bileşik de tuz, kuraklık, soğuk gibi stres koşullarında dıştan büyüme ortamına eklendiklerinde çalışmamızın morfolojik parametre sonuçlarına benzer etkiler göstermiştir (Ozfidan-Konakci vd., 2015; Fayed ve Bazaid, 2014).

Fotosentez yalnızca bitkiler için değil aynı zamanda tüm yeryüzü için önemli bir süreç olduğundan dolayı, IR’nun fotosentez üzerine olan etkisi de ayrıntılı olarak çalışılmıştır. IR stresinin fotosentetik pigmentlere olan etkisi, stresin fotosentetik süreci nasıl etkilediğine dair önemli ipuçları sağlamaktadır (Gudkov vd., 2019). IR fotosentetik pigmentlerde doza bağlı olarak hem pigment içeriğinde hem de pigmentlerin oranında değişimlere neden olur. Yüksek IR dozlarına maruz kalan fotosentetik dokularda hem klorofil hem de karotenoid içeriklerinde düşüş olduğu farklı bitkilerde gösterilmiştir (Jia ve Li, 2008; Goh vd., 2014; Hong vd., 2014). Mevcut çalışmamızda 100 – 400 Gy arasında gama radyasyon uygulanan tohumlardan yetiştirilen buğday fidelerinde, doz artışına paralel olarak, klorofil ve karotenoid içeriklerinde, Kl a/b ve Fw/Fm oranında ayrıca stoma iletkenlik değerlerinde istatistiksel olarak önemli azalma tespit edilmiştir (Tablo 3.2). Pigment içeriğindeki azalmaya üç durum neden olmaktadır; 1- IR’nun pigment sentezinden sorumlu genlere direkt

etki etmesi ve genlerin tamir edilemez şekilde hasar alması 2- ikincil stres olarak adlandırılan oksidatif stresten dolayı artan ROS'ların etkisi ile pigmentlerin oksidasyonu 3- stres etkisi ile kloroplastların boyutunda ve sayısında meydana gelen azalma (Gudkov vd., 2019). Bu tez çalışmasında IR stres etkisi ile düşen fotosentetik parametre değerleri, dıştan uygulanan SA ve GaA artmıştır. Dıştan uygulanan SA ve GaA'nın su, sıcaklık, tuz ve kuraklık gibi stres koşullarında, fotosentez verimini gösteren parametreler olan fotosentetik pigment içeriklerinde, klorofil floresans ve stoma iletkenlik değerlerinde stres gruplarına kıyasla arttırdığı çeşitli bitkiler ile yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir (Nazar vd., 2011; 2015; Singh vd., 2017; Ozfidan-Konakci, 2019). Bitkilerde önemli bir sinyal bileşiği olan SA stres koşullarında;

- i- N ve S alımı ve bu minerallerin yapraklara taşınımını artırarak
- ii- nitrat redüktaz ve ATP-sülfürilaz enzim aktivitelerini artırarak
- iii- antioksidan kapasitesi sayesinde ve glutatyon gibi antioksidan bileşiklerin içeriklerini ve enzim aktiviteleri artırarak ROS içeriğini düşürmek suretiyle pigmentlerin ve tilakoid zarların oksidasyonunu azaltarak
- iv- etilen sentezini azaltarak
- v- klorofil içeriğinin artışı teşvik ederek fotosentetik verimi arttırdığı varsayılmaktadır.

Benzer şekilde stres etkisi ile azalan prolin içeriğini de artırdığı ve bu artışın osmotik potansiyel ve fotosentetik verim ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Nazar vd., 2015).

Oksijen zengin ortamlarda yaşayan aerobik organizmalar, normal metabolizma süreçlerinde ROS üretirler. Ancak fotosentetik organizmalar, metabolik süreçler boyunca hayvanlara kıyasla çok daha yüksek seviyede ROS üretirler. Birçok biyotik ve abiyotik stres koşullarında, bitkilerde oluşan ROS seviyesi artar ve ikincil stres olan oksidatif stres oluşur (Gudkov vd., 2019). Bitkiler ROS üretimini azaltan, ROS tüketimini hızlandıran ve oksidatif stres nedeniyle hasar gören hücresel yapıları düzelten antioksidan sisteme sahiptir (Kreslavskii vd., 2012). Bitkisel antioksidanlar enzimatik olan ve olmayan olarak iki kısma ayrılır. Enzimatik antioksidanlara örnek olarak APX, GR, POX, CAT, SOD, MDHAR ve DHAR enzimleri ve bu enzimlerin izoformları verilebilir (Noctor vd., 2018). Fenolik bileşikler (flavonoidler, fenolik asitler, kumarinler) ana bitkisel antioksidan bileşiklerdir. Karotenoidler, tokoferol ve glutatyon da bitkisel antioksidan bileşikler arasında yer almaktadır (Foyer ve Noctor, 2011). İyonize radyasyona maruz kalan bitkilerde, IR ROS üretim ve tüketimi arasındaki dengeyi bozduğundan dolayı, maruz kalınan doza paralel olarak ROS içeriği artar (Gudkov vd., 2019). Tüm ROS'lar süreleri değişmekle birlikte kısa

ömürlü bileşiklerdir, akut radyasyona maruz kalan fide ya da tohumlarda, ROS içeriği günlerce ya da haftalarca artmaya devam eder (Macovei vd., 2014; Qi vd., 2015). Gama radyasyonu (100 – 400 Gy dozlarında) uygulanan buğday tohumları, 9 gün süre ile yetiştirildikten sonra fidelerin yapraklarında H_2O_2 içeriğinin stres gruplarında artan doza paralel olarak arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu içeriğin artışıyla birlikte lipid peroksidasyonunun da arttığı (Şekil 3.4) ancak SA ve GaA antioksidan bileşik uygulamaları ile içeriklerin (H_2O_2 ve TBARS) birbirine uygun şekilde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 3.3).

İyonize radyasyon stres etkisi ile oluşan oksidatif stres hasarı antioksidan enzimlerin de yardımı ile azaltılmaktadır. İyonize radyasyona maruz kalan bitkilerde antioksidan enzim aktiviteleri genel olarak artma eğilimi göstermektedir (Gudkov vd., 2019). Örneğin 10 – 120 Gy IR ile sarımsak başlarında (Kebeish vd., 2015), 5-20 Gy IR ile biberiye kalluslarında (El-Beltagi vd., 2011), 150 – 200 Gy IR ile fasülye tohumlarında (Stoeva ve Bineva, 2001) SOD, APX, CAT, GR, POX enzim aktivitelerinde artış gözlenmiştir. Ayrıca 25 – 200 Gy IR uygulanan çeltik bitkisi tohumlarından elde edilen fidelerde de doz artışına (25 – 200 Gy) paralel olarak APX ve GR enzim aktivitelerinde artma kaydedilmiştir (Macovei vd., 2014). Çalışmamızda yer alan APX, GR, MDHAR, DHAR, POX ve SOD enzim aktiviteleri de literatüre uygun olarak 100 – 400 Gy IR uygulama gruplarında kontrol grubuna kıyasla artma göstermiştir (Tablo 3.3). SA ve GaA antioksidan bileşik uygulamalarında ise aktiviteler de genel olarak istatistiksel olarak anlamlı azalma gözlenmiştir. IR sonrası antioksidan enzim aktivitelerinde gözlenen değişimlerin nedenlerinden biri gen kodlarının ifadelerinde meydana gelen değişimlerdir (Gudkov vd., 2019). IR-bağımlı antioksidan enzim aktivitelerindeki değişimler aynı zamanda IR dozuna, bitki türüne ve bitkinin gelişim aşamasına da bağlı olarak değişmektedir (Gudkov vd., 2019).

IR stresi bitkilerde antioksidan enzim aktivite değişimlerinin yanında indirgeyici bileşiklerin (glutasyon, askorbat, fenolik bileşikler gibi) de içeriklerinde birtakım değişimlere yol açmaktadır (Foyer vd Noctor, 2011; Vardhan ve Shukla, 2017). IR stres etkisi ile toplam antioksidan bileşik havuzu günlerce hatta haftalarca artmaya devam edebilir (Fan vd., 2014). Ayrıca bileşiklerin redoks oranlarında oksitlenmiş formlara doğru bir kayma meydana gelir (Biermans vd., 2015). Mevcut projede buğday fidelerinin yapraklarında radyasyon sonrasında TFM içeriğinde artış belirlenmiştir. Fidelere SA ve GaA fenolik bileşiklerin dıştan uygulanması ile IR stresinin olumsuz etkilerinin azaldığı, antioksidan bileşik içeriğinin ve enzim aktivitelerinin düştüğü gösterilmiştir. Antioksidan bileşik ve enzim aktivite sonuçları (GR, MDHAR, DHAR ve POX), birer stres göstergesi olan H_2O_2

ve TBARS içerikleri ile de korelasyon göstermektedir (Tablo 3.6). Antioksidan bileşiklerin içeriklerindeki bu artış, gen düzenlenmesi ile sentez artışından kaynaklanabilmektedir (Hong vd., 2014; Gudkov vd., 2019). Ancak aynı zamanda stres etkisi ile polifenolik bileşiklerin monomerlerine ayrılması ile de fenolik içerikte artış olmaktadır (Vardhan ve Shukla, 2017). Antioksidan bileşiklerdeki artışlar bitki türüne ve kısmına bağlı olarak ancak belirli dozlardaki IR ile olmakta, çok yüksek dozda IR uygulanması ile hem bileşiklerin yapısı zarar görmekte hem de gen ifadeleri baskılanmakta, dolayısıyla içeriklerde azalma meydana gelmektedir. Böylece bitki stresin olumsuz etkileri ile olan savaşı kaybeder (Jan vd., 2012; De Micco vd., 2014).



5. SONUÇLAR

- 1- Gama ışınlamasının (100 – 400 Gy) artan dozlarına bağılı olarak buğday fidelerinin yapraklarında belirlenen morfolojik ölçümlerde (boy, alan, taze ve kuru ağırlık) belirgin azalmalara neden olmuştur. Ancak, SA ve GaA uygulamaları IR stresinin yol açtığı morfolojik parametrelerdeki azalmaları ters yönde teşvik etmiş, fidelerin stres toleransını artırarak iyonize radyasyonun fidelerin morfolojisi üzerine olan olumsuz etkilerinin azaltmıştır.
- 2- Buğday fidelerinin toleransının SA ve GaA uygulamaları ile artması sayesinde, stres etkisi ile azalan fotosentetik parametreler (kl içeriğı, Fv/Fm ve stoma iletkenlik) artmıştır.
- 3- H₂O₂ içeriğı ve TBARS IR stres etkisiyle artarken, SA ve GaA uygulamalarıyla azalmıştır.
- 4- Çalışılan antioksidan enzim aktiviteleri IR dozuna paralel olarak artmış, SA ve GaA uygulamalarıyla azalmıştır.
- 5- SA ve GaA uygulamaları, IR stresi ile artan TFM içeriğini azaltmış ve antioksidan kapasite değerleri de TFM içeriğine paralel olarak değişmiştir.
- 6- Bazı enzimleri hariç antioksidan içerik ve enzim aktivitelerinin birbiri ile ve ayrıca H₂O₂ içeriğı ve TBARS eşderliğı ile de yüksek derecede ilişkilidir.

6. ÖNERİLER

Tüm dünyada bitkiler elverişsiz çevre koşullarından dolayı olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Bu olumsuz çevre koşullarına daha dayanıklı bitkiler yetiştirmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çevresel stres faktörleri arasında IR stresinin bitkilerin büyümesini moleküler, morfolojik ve fizyolojik seviyede etkileyen en önemli faktörlerden biridir. İyonize radyasyonun bitkiler üzerine olan etkilerini araştırmak amacıyla çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır, ancak mevcut bilgilerimize göre bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ile ilgili literatürde fazla çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamızda iyonize radyasyon (gama ışınlaması) uygulanmış buğday tohumları 24 saat süreyle çimlendirildikten sonra 8 gün süre ile SA ve GaA uygulanmıştır ve IR'nin olumsuz etkilerinin iyileştirilmesinde ne derecede etkili oldukları incelenmiştir. Buğday fidelerinde SA ve GaA uygulamaları ile olumlu sonuçlar elde edildiğinden, yapılacak çalışmalarda farklı fenolik asit çeşitleri kullanılabilir ve stres etkilerinin iyileştirilmesinde fenolik asit türleri arasında bir fark olup olmadığı araştırılabilir. Ayrıca SA ve GaA uygulamaları ile oluşan olumlu etkilerin daha uzun ya da kısa stres sürelerinde devam edip etmeyeceği belirlenebilir. Bitkilerdeki antioksidan sistemler daha geniş incelenebilir ve antioksidan sistemleri kodlayan transkriptlerin ifadeleri araştırılabilir. İyonize radyasyonun bitkilerde ikinci ve daha sonraki nesillere etkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar SA ve GaA'nın ikinci ve daha sonraki nesillerde IR'nin olumsuz etkilerini azaltmada etkili olup olmadığının araştırılabileceğini düşündürmektedir. İyonize radyasyon stresine maruz bırakılmış gruplarda SA ve GaA uygulamalarının bitkilerin meyve ve dane verimi üzerinde etkilerinin olup olmadığı da araştırılabilir. Çalışmamızda SA ve GaA'nın yapraklara püskürtülmesi (foliar) ile uygulanarak da büyüme ortamına eklenerek kaydedilen sonuçların elde edilip edilemeyeceği belirlenebilir.

7. KAYNAKLAR

- Aktaş, E., 2006. Globalisation, Poverty and Genetically Modified Agricultural Product, VII. National Congress of Agricultural Economics, University of Akdeniz, 2, 614-620.
- Alexandrostopoulos, N., 1995. World Agriculture: Towards 2010, An FAO Study. FAO and John Wiley and Sons, Chichester.
- Al-Rubeai, M. A. F., ve Godward, M. B. E. 1981. Genetic control of radiosensitivity in *Phaseolus vulgaris* L., Journal of Experimental Botany, 21, 211-216.
- Al-Rumaih, M. M., ve Al-Rumaih, M. M. 2008. Influence of ionizing radiation on antioxidant enzymes in three species of *Trigonella*, American Journal of Environmental Sciences, 4,2, 151-156.
- Ancillotti, C., Bogani, P., Biricolti, S., Calistri, E., Checchini, L., Ciofi, L., Gonnelli, C., ve Del Bubba, M. 2015. Changes in polyphenol and sugar concentrations in wild type and genetically modified *Nicotiana langsdorffii* Weinmann in response to water and heat stress, Plant Physiology and Biochemistry, 97, 52–61.
- Apak, R., Güclu, K., Özyürek, M. ve Karademir, S., E., 2004. Novel Total Antioxidant Capacity Index for Dietary Polyphenols and Vitamins C and E, Using Their Cupric Ion Reducing Capability in the Presence of Neocuproine: CUPRAC Method, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 26, 7970–7981.
- Arfan, M., Habib, A., ve Ashraf, M. 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress?, Journal of Plant Physiology, 164,6, 685-694.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiology, 24,1-15.
- Badhani, B., Sharma, N., ve Kakkar, R. 2015. Gallic acid: a versatile antioxidant with promising therapeutic and industrial applications, Rsc Advances, 5,35, 27540-27557.
- Balasundram, N., Sundram, K., ve Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by products antioxidant activity, occurrence, and potential uses, Food Chemistry, 99, 191-203.
- Beak, M. H., Chung, B. Y., ve Kim, J. S. 2005. Alleviation of salt stress by low dose γ -irradiation in rice, Biology of Plants, 49, 273-276.
- Beauchamp, C., ve Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels, Analytical Biochemistry, 44 ,1, 276-87.
- Benzie, I. F. F., ve Strain, J. J. 1996. Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay, Analytical Biochemistry, 239, 1, 70-76.

- Biermans, G., Horemans, N., Vanhoudt, N., Vandenhove, H., Saenen, E., Van Hees, M., Wannijn, J., Vangronsveld, J., ve Cuypers, A. 2015. Biological effects of alpha-radiation exposure by ^{241}Am in *Arabidopsis thaliana* seedlings are determined both by dose rate and ^{241}Am distribution, Journal of Environmental Radioactivity, 149, 51-63.
- Blois, M., S. 1958. Antioxidant determinations by the use of stable free radical, Nature, 181, 1199–1200.
- Borsani, O., Valpuesta, V., ve Botella, M. A. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings, Plant Physiology, 126,3, 1024-1030.
- Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H., Naseriyan, B., ve Majdabad, A. 2010. Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings, Pakistan journal of Botany, 42,4, 2281–2290.
- Boyer, V., Vichot, L., Fromm, M., Losset, Y., Tatin-Froux, F., Guetat, P., ve Badot, P. M. 2009. Tritium in plants: A recent of current knowledge, Environmental and Experimental Botany, 67, 34-51.
- Capone, R., El Bilali, H., Debs, P., Cardone, G., ve Driouech, N. 2014. Mediterranean food consumption patterns sustainability: setting up a common ground for future research and action, American Journal Nutrition and Food Science, 1, 37-52.
- Caverzan, A., Passaia, G., Rosa, S., B., Riberio, C., W., Lazzarotto, F., ve Margis-Pinheiro, M. 2012. Plant responses to stress: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection, Genetics and Molecular Biology, 35,4, 1011-1019.
- Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai, Z., ve Fan, B. 2009. Biosynthesis of salicylic acid in plants, Plant Signaling & Behavior, 4,6, 493-496.
- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., ve Mittler, R. 2017. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination, The Plant Journal, 90,5, 856-867.
- Colak, N., Zengin, A. Y., ve Ayaz, F. A. 2015. The effect of anthocyanin-rich bilberry extract on the antioxidant system in roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under ionizing radiation, Acta Physiologiae Plantarum, 37,9, 187.
- Cortes, F., Dominguez, I., Mateos, S., Pinero, J., ve Mateos, J. C. 1990. Evidence for an adaptive response to radiation damage in plant cells conditioned with X-rays or incorporated tritium, International Journal of Radiation Biology, 57, 537-541.
- Creissen, G. P., Broadbent, P., Stevens, R., Wellburn, A. R., ve Mullineaux, P. M. 1996. Manipulation of glutathione metabolism in transgenic plants, Journal of Biochemistry, 24, 465-472.
- Croci, C. A., Arguello, J. A., Curvetto, N. R., ve Orioli, G. A. 1991. Changes in peroxidases associated with radiation-induced sprout inhibition in garlic (*Allium sativum* L.), International Journal of Radiation Biology, 59, 551-557.

- Croci, C. A., Arguello, J. A., ve Orioli, G. A. 1994. Biochemical changes in garlic (*Allium sativum* L.) during storage following gamma-irradiation, International Journal of Radiation Biology, 65, 263-266.
- Cucinotta, F. A., ve Durante, M. 2006. Cancer risk from exposure to galactic cosmic rays: implications for space exploration by human beings, Lancet Oncology, 7,5, 431-435.
- Culligan, K. M., Robertson, C. E., Foreman, J., Doerner, P., ve Britt, A. B. 2006. ATR and ATM play both distinct and additive roles in response to ionizing radiation, The Plant Journal, 148, 947-961.
- Das, K., ve Roychoudhury, A. 2014. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants, Frontiers in Environmental Science, 2, 53.
- De Micco, V., Arena, C., ve Aronne, G. 2014. Anatomical alterations of *Phaseolus vulgaris* L. mature leaves irradiated with X-rays, Plant Biology, 16, 187-193.
- De Micco, V., Arena, C., Pignalosa, D., ve Durante, M. 2011. Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants, Radiation and Environmental Biophysics, 50.1, 1-19.
- Del Río, L. A. 2015. ROS and RNS in plant physiology: an overview, Journal of Experimental Botany, 66,10, 2827-2837.
- Desikan, R., Hancock, J. T., Bright, J., Harrison, J., Weir, I., Hooley, R., ve Neill, S. J. 2005. A role for ETR1 in hydrogen peroxide signaling in stomatal guard cells, Plant Physiology, 137, 831-834.
- Dhindsa, R. S., ve Mattowe, W. 1981. Drought tolerance in two mosses: correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation, Journal of Experimental Botany, 32, 79-91.
- Dishlers, V. Y., ve Rashals, I. D. 1977. The influence of gamma or neutron radiation on the changes of plant productivity in populations of *Arabidopsis thaliana* in eight generations, *Arabidopsis* Information Service, 14, 58-61.
- Drazic, G., ve Mihailovic, N., 2005. Modification of cadmium toxicity in soybean seedlings by salicylic acid, Plant Science, 168, 511-517.
- Dubey R. S., ve Singh A. K. 1999. Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolising enzymes en rice plants, Biologia Plantarum, 42, 233-239.
- Dyson, T., 1999. World food trends and prospects to 2025, Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96, 11, 5929-5936.
- El-Beltagi, H. S., Ahmed, O. K., ve El-Desouky, W., 2011. Effect of low doses γ -irradiation on oxidative stress and secondary metabolites production of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) callus culture, Radiation Physics and Chemistry, 80,9, 968-976.

- Elgün, A., Türker, S., ve Bilgiçli, N., 2009. Tahıl Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği, Konya.
- Esnault, M. A., Legue, F., ve Chenal, C., 2010. Ionizing radiation: advances in plant response, Environmental and Experimental Botany, 68, 231-237.
- Fan, J., Shi, M., Huang, J. Z., Xu, J., Wang, Z. D., ve Guo, D. P. 2014. Regulation of photosynthetic performance and antioxidant capacity by ^{60}Co γ -irradiation in *Zizania latifolia* plants, Journal of Environmental Radioactivity, 129, 33-42.
- FAO, 2018. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> 07 Nisan 2018
- Fardet, A. 2010. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?, Nutrition Research Reviews, 23,1, 65-134.
- Fayez, K. A., ve Bazaid, S. A. 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13,1, 45-55.
- Foyer, C. H., ve Halliwell, B. 1976. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism, Planta, 133, 21–5.
- Foyer, C. H., ve Noctor, G., 2011. Ascorbate and glutathione: the heart of the redox hub, Plant Physiology, 155, 2–18.
- Foyer, C. H., Theodoulou, F. L., ve Delrot, S. 2001. The functions of intercellular and intracellular glutathione transport systems, Trends in Plant Science, 6, 486-492.
- Gandhi, N. M., ve Nair, C. K. K. 2005. Protection of DNA and membrane from gamma radiation induced damage by gallic acid, Molecular and Cellular Biochemistry, 278,1-2, 111-117.
- Genty, B., Briantais, J. M., ve Baker, N. R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence, Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 990,1, 87-92.
- Gill, S. S., ve Tuteja, N. 2010. Polyamines and abiotic stress tolerance in plants, Plant Signaling & Behavior, 5,1, 26-33.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrance, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., ve Toulmin, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people, Science, 32, 5967, 812-818.
- Goh, E. J., Kim, J. B., Kim, W. J., Ha, B. K., Kim, S. H., Kang, S. Y., Seo, Y. W., ve Kim, D. S. 2014. Physiological changes and anti-oxidative responses of *Arabidopsis* plants after acute and chronic gamma-irradiation, Radiation and Environmental Biophysics, 53, 677–693.
- Goleniowski, M., Bonfill, M., Cusido, R., ve Palazón, J. 2013. Phenolic acids, Natural Products, 1951-1973.

- Goodwin, P. N., Quimby, E. H., ve Morgan, R. H. 1970. Physical Foundations of Radiology, New York, Harper & Row.
- Gregory, P. J., Ingram, J. S., ve Brklacich, M. 2005. Climate change and food security. Philosophical transactions of the royal society B, Biological Sciences, 360, 1463, 2139-2148.
- Gudkov, S. V., Grinberg, M. A., Sukhov, V., ve Vodeneev, V. 2019. Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants, Journal of Environmental Radioactivity, 202, 8-24.
- Hall, E. J., ve Giacci, A. J. 2006. Dose-response relationships for model normal tissues, Radiobiology for the Radiologist, 5, 317-318.
- Halliwell, B. 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life, Plant Physiology, 141,2, 312-322.
- Halliwell, B., ve Gutteridge, J. M. C. 2007. Free radicals in biology and medicine (5.Basım), Oxford University Press, USA.
- HLPE., 2016, Sustainable Agricultural Development for Food Security and Nutrition: What Roles for Livestock?, A Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, ROME, ITALY.
- Hoagland, D. R., ve Arnon, D. I. 1950. The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil, California Agricultural Experiment Station, 347 (2nd edit).
- Hong, M. J., Kim, D. Y., Ahn, J. W., Kang, S. Y., Seo, Y. W., ve Kim, J. B. 2018. Comparison of radiosensitivity response to acute and chronic gamma irradiation in colored wheat, Genetics and Molecular Biology, 41,3, 611-623.
- Hong, M. J., Kim, J. B., Yoon, Y. H., Kim, S. H., Ahn, J. W., Jeong, I. Y., Kang, S. Y., Seo, Y. W., ve Kim, D. S. 2014. The effects of chronic gamma irradiation on oxidative stress response and the expression of anthocyanin biosynthesis-related genes in wheat (*Triticum aestivum*), International Journal of Radiation Biology, 90, 1218-1228.
- Horváth, E., Szalai, G., ve Janda, T. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling, Journal of Plant Growth Regulation, 26,3, 290-300.
- Hossain, M. A., ve Asada, K., 1984. Purification of dehydroascorbate reductase from spinach and its characterization as a thiol enzyme, Plant Cell Physiology, 25, 85-92.
- Hossain, M. A., Nakano, Y., ve Asada, K. 1984. Monodehydroascorbate reductase in spinach chloroplasts and its participation in regeneration of ascorbate for scavenging hydrogen peroxide, Plant Cell Physiology, 25, 385-95.
- Idrees, M., Naeem, M., Khan, M. N., Aftab, T., ve Khan, M. M. A. 2012. Alleviation of salt stress in lemongrass by salicylic acid, Protoplasma, 249,3, 709-720.

- Imlay, J. A. 2013. The molecular mechanisms and physiological consequences of oxidative stress lessons from a model bacterium, Nature Reviews Microbiology, 11,7, 443-454.
- Jan, S., Parween, T., ve Siddiqi, T. O. 2012. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products, Environmental Reviews, 20,1, 17-39.
- Jaspars, E. M. J. 1965. Pigmentation of *Tobacco* crown gall tissues cultured *in vitro* dependence of the composition of the medium, Physiologia Plantarum, 18,4, 933-940.
- Jia, C. F., ve Li, A. L. 2008. Effect of gamma radiation on mutant induction of *Fagopyrum dibotrys* Hara, Photosynthetica, 46, 363–369.
- Jubany-Marí, T., Munné-Bosch, S., López-Carbonell, M., ve Alegre, L. 2009. Hydrogen peroxide is involved in the acclimation of the mediterranean shrub, *Cistus albidus* L., to summer drought, Journal of Experimental Botany, 60,1, 107-120.
- Jumali S. S., Said I. M., Ismail I., ve Zainal Z. 2011. Genes induced by high concentration of salicylic acid in '*Mitragyna speciosa*', Australian Journal of Crop Science, 5, 296–303.
- Kaur, P. R., Bhardwaj, R., ve Sirhindi, G. 2015. Castasterone regulated polyphenolic metabolism and photosynthetic system in *Brassica juncea* plants under copper stress, Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 4,4, 282-289.
- Kebeish, R., Deef, H., ve El-Bialy, N. 2015. Effects of gamma radiation on growth, oxidative stress, antioxidant system, and alliin producing gene transcripts in *Allium sativum*, International Journal of Research Studies in Biosciences, 3, 161–174.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., ve Khan, N. A. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants, Frontiers in Plant Science, 6, 462.
- Kim, J. H., Chung, B. Y., Kim, J. S., ve Wi, S. G. 2005. Effects of in planta gama-irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper, Journal of Plant Biology, 48, 47-56.
- Kim, Y. J. 2007. Antimelanogenic and antioxidant properties of gallic acid, Biological and Pharmaceutical Bulletin, 30,6, 1052-1055.
- Kovalchuk, O., Burke, P., Arkhipov, A., Kuchma, N., James, S., J., Kovalchuk, I., ve Pogribny, N., 2003. Genome hypermethylation in *Pinus silvestris* of Chernobyl-a mechanism for radiation adaptation?, Mutation Research, 529, 13-20.
- Kowalczyk, E., Krzesiński, P., Kura, M., Szmigiel, B., ve Blaszczyk, J. 2003. Anthocyanins in medicine, Polish Journal of Pharmacology, 55, 699-702.
- Koyama, S., Kodama, S., Suzuki, K., Matsumoto, T., Miyazaki, T., ve Wanatabe, M. 1998. Radiation-induced long-lived radicals wich cause mutation and transformation,

- Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 421, 45-54.
- Kreslavskii, V., Los, D., Allakhverdiev, S., ve Kuznetsov, V. 2012. Signaling role of reactive oxygen species in plants under stress, Russian Journal of Plant Physiology, 59, 141–154
- Larkindale, J., ve Knight, M. R. 2002. Protection against heat stress-induced oxidative damage in *Arabidopsis* involves calcium, abscisic acid, ethylene, and salicylic acid, Plant Physiology, 128,2, 682-695.
- Lee, M. H., Moon, Y. R., Chung, B. Y., Kim, J. S., Lee, K. S., Cho, J. Y., ve Kim, J. H., 2009. Paractical use of chemical probes for reactive oxygen species produced in biological systems by γ -irradiation, Radiation Physycis and Chemistry, 78, 1006-1010.
- Lee, N. Y. 2016. Effects of blends of low-protein winter wheat flour and barley byproducts on quality changes in noodles, Preventive Nutrition and Food Science, 21,4, 361.
- Leterrier, M., Corpas, F. J., Barroso, J. B., Sandalio, L. M., ve Del Río, L. A. 2005. Peroxisomal monodehydroascorbate reductase, genomic clone characterization and functional analysis under heavy metal stress conditions, Plant Physiology, 138, 2111-2113.
- Liu, J. Lu, B., ve Xun, A. L. 2000. An improved method for the determination of hydrogen peroxide in leaves, Progress in Biochemistry and Biophysics, 27, 548–51.
- Macovei, A., Garg, B., Raikwar, S., Balestrazzi, A., Carbonera, D., Buttafava, A., Bremont, J. F., Gill, S. S., ve Tuteja, N. 2014. Synergistic exposure of rice seeds to different doses of gamma-ray and salinity stress resulted in increased antioxidant enzyme activities and gene-specific modulation of TC-NER pathway, BioMed Research International, 676934.
- Maity J. P., Mishra A., Chakraborty A., Saha A., Santra S. C., ve Chanda S. 2005. Modulation of some quantittative and qualitative characteristics in rice (*Oeryza sativa* L.) and mung (*Phaseolus mungo* L.) by ionizing radiation Radiat, Radiation Physics and Chemistry, 74,5, 391-394.
- Malamy, J., Carr, J. P., Klessig, D. F., ve Raskin, I. 1990. Salicylic acid: a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection, Science, 250,4983, 1002-1004.
- Marinangeli, C. P., Curran, J., Barr, S. I., Slavin, J., Puri, S., Swaminathan, S., Tapsell, L., ve Patterson, C. A. 2017. Enhancing nutrition with pulses: defining a recommended serving size for adults, Nutrition Reviews, 75,12, 990-1006.
- Marino, T., Galano, A., ve Russo, N. 2014. Radical scavenging ability of gallic acid toward OH and OOH radicals. Reaction mechanism and rate constants from the density functional theory, The Journal of Physical Chemistry B, 118,35, 10380-10389.

- McKeown, N. M., Jacques, P. F., Seal, C. J., de Vries, J., Jonnalagadda, S. S., Clemens, R., Webb, D., Murphy, L. A., van Klinken, J. W., Topping, D., Murray, R., Degeneffe, D., ve Marquart, L. F. 2013. Whole grains and health: from theory to practice—highlights of the Grains for Health Foundation's Whole Grains Summit 2012, The Journal of Nutrition, 143,5, 744S-758S.
- McKevith, B. 2004. Nutritional aspects of cereals, British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin, 29, 111–142.
- Melki, M., ve Dahmani, T. H. 2009. Gamma irradiation effects on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under various conditions, Pakistan Journal of Biological Sciences, 12,23, 1531.
- Mika, A., ve L  thje, S. 2003. Properties of guaiacol peroxidase activities isolated from corn root plasma membranes, Plant Physiology, 132,1489-1498.
- Miller, M. W., ve Miller, W. M. 1987. Radiation hormesis in plants, Health Physics, 52,5, 607-616.
- Momiyama, M., Koshiba, T., Furukawa, K., Kamiya, Y., ve Sat  , M. 1999. Effects of γ -irradiation on elongation and indole-3-acetic acid level of maize (*Zea mays*) coleoptiles, Environmental and Experimental Botany, 41,2, 131–143.
- Nakano, Y., ve Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts, Plant Cell Physiology, 22, 867–80.
- Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S., ve Khan, N., A. 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars, Journal of Plant Physiology, 168, 807-815.
- Nazar, R., Umar, S., ve Khan, N. A. 2015. Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress, Plant Signaling & Behavior, 10,3, 1003751.
- Németh, M., Janda, T., Hovarth, E., Paldi, E., ve Szali, G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize, Plant Science, 162, 569–574.
- Noctor, G., Reichheld, J. P., ve Foyer, C. H. 2018. ROS-related redox regulation and signaling in plants, Seminars in Cell and Developmental Biology, 80, 3–12.
- Ogawa, M., ve Uritani, J. 1970. Effect of gamma radiation in peroxidase development in sweet potatoes disks, Radiation Research, 41, 342-351.
- Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., ve Kucukoduk, M. 2015. Protective roles of exogenously applied gallic acid in *Oryza sativa* subjected to salt and osmotic stresses: effects on the total antioxidant capacity, Plant Growth Regulation, 75,1, 219–234.

- Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Yildiztugay, A., ve Kucukoduk, M. 2019. Cold stress in soybean (*Glycine max* L.) roots: exogenous gallic acid promotes water status and increases antioxidant activities, Botanica Serbica, 43,1, 59-71.
- Özeker, E. 2005. Salisilik asit ve bitkiler üzerindeki etkileri, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42,1, 213-223.
- Pospíšil, P. 2016. Production of reactive oxygen species by photosystem II as a response to light and temperature stress, Frontiers in Plant Science, 7, 1950.
- Prado, F. E., Boero, C., Gallardo, M., ve González, J. A. 2000. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds, Botanical Bulletin Academia Sinica Taipei, 41, 27-34.
- Priscilla, D. H., ve Prince, P. S. M. 2009. Cardioprotective effect of gallic acid on cardiac troponin-T, cardiac marker enzymes, lipid peroxidation products and antioxidants in experimentally induced myocardial infarction in Wistar rats, Chemico-Biological Interactions, 179,2-3, 118-124.
- Qi, W., Zhang, L., Feng, W., Xu, H., Wang, L., ve Jiao, Z. 2015. ROS and ABA signaling are involved in the growth stimulation induced by low-dose gamma irradiation in *Arabidopsis* seedling, Applied Biochemistry And Biotechnology, 175,3, 1490-1506.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants, Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular, 43, 439-463.
- Real, A., Bergman, S. S., Knowles, J. S., Woodhead, D. S., ve Zinger, I. 2004. Effects of ionising radiation exposure on plants, fish, and mammals: relevant data for environmental radiation protection, Journal of Radiological Protection, 24, 123-137.
- Roldan-Arjona, T., ve Ariza, R. R. 2009. Repair and tolerance of oxidative DNA damage in plants, Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 681, 169-179.
- Rosegrant, M. W., ve Cline, S. A. 2003. Global food security: challenges and policies, Science, 302,5652, 1917-1919.
- Roy, S., Begum, Y., Chakraborty, A., ve Sen Raychaudhuri, S. 2005. Radiation induced phenotypic alterations in relation to isozymes and RAPD markers in *Vigna radiata* L. Wilczek, International Journal of Radiation Biology, 82, 823-832.
- Roychoudhury, A., Basu, S., ve Sengupta, D. N. 2012. Antioxidants and stress-related metabolites in the seedlings of two indica rice varieties exposed to cadmium chloride toxicity, Acta Physiologiae Plantarum, 34, 835-847.
- Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., ve Shukla, D. S. 1997. Increased antioxidant enzyme activity in response to drought and temperature stress related with stress tolerance in wheat genotypes, Abstract: National Seminar (ISSP), IARI, New Delhi, 69.
- Salisbury, F. B., ve Ross, C. W. 1985. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Co. Belmont, California, pp. 450

- Samad, N., Jabeen, S., Imran, I., Zulfiqar, I., ve Bilal, K. 2019. Protective effect of gallic acid against arsenic-induced anxiety-/depression-like behaviors and memory impairment in male rats, Metabolic Brain Disease, 34,4, 1091-1102.
- Scandalios, J. G., Guan, L., ve Polidoros, A. N. 1997. Catalases in plants: genestructure, properties, regulation and expression. Editor: Scandalios, J. G. Oxidative stress and the molecular biology of antioxidants defenses, New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 343–406.
- Schmidhuber, J., ve Tubiello, F. N. 2007. Global food security under climate change, Proceedings of the National Academy of Sciences, 104,50, 19703–19708.
- Schnell, D. M., ve St Clair, D. 2014. Redox pioneer: Professor Joe M. McCord, Antioxidants & Redox Signaling, 20,1, 183–188.
- Schroeter, H., Boyd, C., Spencer, J. P., Williams, R. J., Cadenas, E., ve Rice-Evans, C. 2002, MAPK signaling in neurodegeneration: Influences of flavonoids and of nitric oxide, Neurobiology of Aging, 23,5, 861–880.
- Scott, I. M., Clarke, S. M., Wood, J. E., ve Mur, L. A. 2004. Salicylate accumulation inhibits growth at chilling temperature in *Arabidopsis*, Plant Physiology, 135,2, 1040-1049.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., ve Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants, Plant Growth Regulation, 30, 157–161
- Shabala, S. 2017. Plant stress physiology (2. Edition), India: Cabi.
- Shahidi, F., ve Naczki, M. 2004. Phenolics in Food and Nutraceuticals. Boca Raton: CRC Press.
- Sharma, P., ve Dubey, R. S. 2005. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant, Journal of Plant Physiology, 162, 854-864.
- Sharma, P., ve Dubey, R. S. 2007. Involvement of oxidative stress and role of ontioxidative defense system in growing rice seedling exposed to toxic levels of aluminium, Plant Cell Reports, 26, 2027-2038.
- Sharma, P., Jha, A. B., ve Dubey, R. S. 2010. Handbook of Plant and Crop Stress. Editor: Pessarakli, M. University of Arizona, Tucson, USA.
- She, X. P., He, J. J., Zhang, J., ve Zuo, Q. C. 2002. Mitigative effect of salicylic acid on salt stress-induced growth inhibition in cucumber seedling, Acta Botanica Boreali, 22, 401-405.
- Simic, M.G. 1998. Mechanisms of inhibition of free-radical processed in mutagenesis and carcinogenesis, Mutatation Research, 202, 377-386.

- Singh, A., Gupta, R., ve Pandey, R. 2017. Exogenous application of rutin and gallic acid regulate antioxidants and alleviate reactive oxygen generation in *Oryza sativa* L., Physiology and Molecular Biology of Plants, 23,2, 301-309.
- Slinkard, K., ve Singleton, V. L. 1977. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods, American Journal of Enology and Viticulture, 28, 49–55.
- Smirnoff, N. (Ed.). 2008. Antioxidants and reactive oxygen species in plants, John Wiley & Sons.
- Smirnoff, N., ve Arnaud, D. 2019. Hydrogen peroxide metabolism and functions in plants, New Phytologist, 221,3, 1197-1214.
- Smirnov, O. E., Kosyan, A. M., Kosyk, O. I., ve Taran, N. Y. 2015, Response of phenolic metabolism induced by aluminium toxicity in *Fagopyrum esculentum* Moench. plants, The Ukrainian Biochemical Journal, 87,6, 129–135.
- Smith, V. P. 1976. Radiation Particle Therapy, Philadelphia, American College of Radiology.
- Stoeva, N., ve Bineva, Z. 2001. Physiological response of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to gamma-irradiation treatment. I. Growth, photosynthesis rate and contents of plastid pigments, Journal of Environmental Protection and Ecology, 2 ,2, 299-303.
- Taiz, L., ve Zeiger, E. 2015. Plant Physiology (3. Basım). Editör: Türkan, I. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Tkemaladze, G. S., ve Makhashvili, K. A. 2016 Climate changes and photosynthesis, Annals of Agrarian Science, 14,2, 119-126.
- Türkeş, M. 2014. İklim değişikliğinin tarımsal gıda güvenliğine etkileri, Türk Tarım–Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2,2, 71-85.
- Ukai, Y., ve Yamashita, A. 1969. Varietal differences in radiosensitivity with special reference to different aspects with sifferent crops, Gamma Field Symposium, 8, 69-81.
- URL-1, <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html/> 02 Mart 2019.
- Van der Stricht, E., ve Kirchmann, R., 2001. Radioecology: Radioactivity & Ecosystems. International Union of Radioecology, Liège, Belgium.
- Vardhan, P. V., ve Shukla, L. I., 2017. Gamma irradiation of medicinally important plants and the enhancement of secondary metabolite production, International Journal of Radiation Biology, 93,9, 967–979.
- Wada, H., Koshiba, T., Matsui, T., ve Sato, M. 1998. Involvement of peroxidase in differential sensitivity to γ -radiation in seedling of two *Nicotiana* species, Plant Science, 132, 109-119.

- Wang, J., Yuan, B., ve Huang, B. 2019. Differential heat-induced changes in phenolic acids associated with genotypic variations in heat tolerance for hard fescue, Crop Science, 59,2, 667–674.
- Wang, X., Sager, R., Cui, W., Zhang, C., Lu, H., ve Lee, J. Y. 2013. Salicylic acid regulates plasmodesmata closure during innate immune responses in *Arabidopsis*, The Plant Cell, 25,6, 2315-2329.
- Werner, R. A., Rossmann, A., Schwarz, C., Bacher, A., Schmidt, H. L., ve Eisenreich, W. 2004. Biosynthesis of gallic acid in *Rhus typhina*: discrimination between alternative pathways from natural oxygen isotope abundance, Phytochemistry, 65,20, 2809-2813.
- Wi, S. G., Chung, B. Y., Kim, J. H., Baek, M. H., Yang, D. H., Lee, J. W., ve Kim, J. S. 2005. Ultrastructural changes of cell organelles in *Arabidopsis* stem after gamma irradiation, Journal of Plant Biology, 48,2, 195-200.
- Wildermuth, M. C., Dewdney, J., Wu, G., ve Ausubel, F. M. 2001. Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defence, Nature, 414,6863, 562-565.
- Yalpani, N., León, J., Lawton, M. A., ve Raskin, I. 1993. Pathway of salicylic acid biosynthesis in healthy and virus-inoculated tobacco, Plant physiology, 103,2, 315-321.
- Yeh, C. T., ve Yen, G. C. 2006. Induction of hepatic antioxidant enzymes by phenolic acids in rats is accompanied by increased levels of multidrug resistance–associated protein 3 mRNA expression, The Journal of nutrition, 136,1, 11-15.
- Yildiztugay, E., Ozfidan-Konakci, C., ve Kucukoduk, M. 2017. Improvement of cold stress resistance via free radical scavenging ability and promoted water status and photosynthetic capacity of gallic acid in soybean leaves, Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 17,2,366–384
- Yordanov, I., Velikova, V., ve Tsonev, T. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance, Photosynthetica, 38, 171-186
- Yüksel, F., Koyuncu, M., ve Abdulhavit, S. 2011. Makarnalık Buğday (*Triticum durum*) Kalitesi, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 4,2, 25-31.
- Zaka, R., Chenal, C., ve Misset, M. T. 2002. Study of external low irradiation dose effects on induction of chromosome aberrations in *Pisum sativum* root tip meristem, Mutation Research, 517, 87-99.
- Zaka, R., Chenal, C., ve Misset, M. T. 2004. Effects of low doses of short-term gamma irradiation on growth and development through two generations of *Pisum sativum*, Science of the Total Environment, 320, 121-129.

ÖZGEÇMİŞ

2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Yüksek lisans öğrenimine 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda başladı. Yabancı dili İngilizcedir.

