

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**İYONİZE RADYASYONA MARUZ BIRAKILAN ARPA (*HORDEUM VULGARE* L.)
KÖK VE SÜRGÜNLERİNE ANTOSİYANİN MUAMELESİNİN FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL DÜZEYDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyolog Nesrin ÇOLAK

HAZİRAN 2013
TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**İYONİZE RADYASYONA MARUZ BIRAKILAN ARPA (*Hordeum vulgare* L.)
KÖK VE SÜRGÜNLERİNE ANTOSİYANİN MUAMELESİNİN FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL DÜZEYDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Biyolog Nesrin ÇOLAK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nce
“YÜKSEK LİSANS (BİYOLOJİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16.05.2013
Tezin Savunma Tarihi : 07.06.2013**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Faik Ahmet AYAZ

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Ana Bilim Dalında

Nesrin ÇOLAK Tarafından Hazırlanan

**İYONİZE RADYASYONA MARUZ BIRAKILAN ARPA (*Hordeum vulgare* L.)
KÖK VE SÜRGÜNLERİNE ANTOSİYANİN MUAMELESİNİN FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL DÜZEYDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25 / 05 / 2013 gün ve 1506 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ahmet ÇOLAK

Üye : Prof. Dr. Hüseyin İNCEER

Üye : Prof. Dr. Faik Ahmet AYZAZ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek konu seçimimde ve çalışmalarımın yürütülmesinde her zaman yol gösteren, yanımda olan, destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Faik Ahmet AYZAZ'a saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum. İyonize radyasyon uygulamalarım için bana Trabzon Kanuni Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümünde çalışma olanağı sağlayan Sayın Uzm. Dr. Ahmet Yaşar ZENGİN'e ve çalışma yapmamda bana yardımcı olan Radyasyon Onkolojisi Bölümü çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarımı yürütebilmem için ortam ve olanak sağlayan Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Asım KADIOĞLU'na, lisans ve yüksek lisans eğitimime katkıda bulunan ve biyoloji alanında yetişmemi sağlayan tüm KTÜ Biyoloji Bölümü hocalarına, laboratuvar imkanlarını ve manevi desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Sema AYZAZ'a ve Sayın Prof. Dr. Hüseyin İNCEER'e, ayrıca manevi desteklerinden dolayı Bitki Fizyolojisi ve Biyokimya Laboratuvarı üyelerine de sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmamda kullandığım arpa tohumlarının temini için Anadolu ve Ege Tarımsal Araştırma Enstitüleri'ne teşekkür ederim. Araştırma görevlisi olarak atanmadan önce yüksek lisans eğitimime maddi destek sağlayan Çaykara ve Dernekpazarı Eğitim Vakfı'na, yüksek lisans eğitimim boyunca 2210-Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında bana sağladıkları burs olanaklarından dolayı TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na teşekkürü borç bilirim. Yüksek lisans hayatım boyunca yaptığım tüm çalışmalara katkıda bulunan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, her an yanımda olan sevgili annem Hülya ŞAHİN'e, sevgili babam Emin ŞAHİN'e, sevgili eşim Davut ÇOLAK'a ve sevgili kardeşlerime tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Nesrin ÇOLAK
Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İyonize Radyasyona Maruz Bırakılan Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Kök ve Sürgünlerine Antosiyanin Muamelesinin Fizyolojik ve Biyokimyasal Düzeyde Etkilerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Faik Ahmet AYZAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuarlarda 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.
16/05/2013

Nesrin ÇOLAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Stres ve Stres Çeşitleri	3
1.3. İyonize Radyasyon.....	6
1.3.1. İyonize Radyasyonun Bitkiler Üzerine Olan Biyolojik Etkisi.....	11
1.4. Antioksidan Savunma Sistemi	13
1.4.1. Antioksidan Enzim Sistemleri	15
1.4.1.1. Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzimi.....	15
1.4.1.2. Guaiakol Peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) Enzimi.....	16
1.4.1.3. Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) Enzimi.....	16
1.4.1.4. Glutasyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) Enzimi	16
1.4.2. Enzimatik Olmayan Antioksidan Sistem.....	17
1.4.2.1. Fenolik Bileşikler.....	17
1.4.2.2. Flavonoidler	18
1.5. Antosiyaninler (Asn).....	19
1.6. <i>Hordeum vulgare</i> L. (Arpa)	23
1.7. Ayı Üzümü (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	23
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	25
2.1. Bitki Materyalinin Sağlanması ve Tohumların Çimlendirilmesi.....	25
2.2. Ayı Üzümü (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.) Meyvelerinden Antosiyanin Özütünün Hazırlanması	25
2.3. Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerine İyonize Radyasyon Uygulanması .	25

2.4.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi	26
2.5.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Çimlenen Arpa Tohumlarında Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi.....	26
2.5.1.	Enzim Özütlerinin Hazırlanması.....	26
2.5.2.	Protein Miktarının Belirlenmesi	26
2.5.2.1.	Protein Özütünün Hazırlanması.....	26
2.5.2.2.	Çözünebilir Protein Tayini.....	27
2.5.3.	Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesinin Belirlenmesi	27
2.5.4.	Peroksidaz Aktivitesinin (POD) Belirlenmesi	28
2.5.5.	Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesinin Belirlenmesi	28
2.5.6.	Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesinin Belirlenmesi.....	28
2.6.	İyonize Radyasyon ve Antosiyanin Uygulanan Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Toplam Fenolik Madde (TFM), Toplam Flavonoid ve Antioksidan Aktivitenin Belirlenmesi	29
2.6.1.	Toplam Fenolik Madde, Toplam Flavonoid Bileşikleri ve Antioksidan Aktivitenin (DPPH) Belirlenmesi İçin Özütlerin Hazırlanması	29
2.6.2.	Toplam Fenolik Madde (TFM) İçeriğinin Belirlenmesi.....	29
2.6.3.	Toplam Flavonoid İçeriğinin Belirlenmesi.....	29
2.6.4.	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) Radikal Temizleme Aktivitesinin Belirlenmesi	29
2.7.	Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Miktarının Belirlenmesi.....	30
2.8.	İstatistiksel Analizler	30
3.	BULGULAR	31
3.1.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgün Uzunluklarına Ait Büyüme Parametreleri	31
3.2.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Arpa Çeşitlerine Ait Antioksidan Enzim Aktiviteleri.....	34
3.2.1.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Guaiakol Peroksidaz (POD) Enzimi Aktivitesine Etkisi	34
3.2.2.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi Aktivitesine Etkisi	35
3.2.3.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Glutasyon Redüktaz (GR) Enzimi Aktivitesine Etkisi	37

3.2.4.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Askorbat Peroksidaz (APX) Enzimi Aktivitesine Etkisi	39
3.3.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Bulunan Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Miktarına Etkisi	40
3.4.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Bulunan Toplam Fenolik Madde (TFM) Miktarı Üzerine Etkisi	42
3.5.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Bulunan Flavonoid Miktarı Üzerine Etkisi	44
3.6.	İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerindeki 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) Radikal Temizleme Aktivitesine Etkisi.....	46
4.	TARTIŞMA	48
5.	SONUÇLAR	58
6.	ÖNERİLER.....	59
7.	KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

İYONİZE RADYASYONA MARUZ BIRAKILAN ARPA (*Hordeum vulgare* L.) KÖK ve SÜRGÜNLERİNE ANTOSİYANİN MUAMELESİNİN FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL DÜZEYDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Nesrin ÇOLAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Faik Ahmet AYZ
2013, 73 Sayfa

Bu çalışmada, arpanın (*Hordeum vulgare* L.; 2n=14) Akhisar-98 ve Erginel-90 çeşitlerinin kök ve sürgünlerinde, antosiyanin (Asn)'in iyonize radyasyon stresi altında büyüme parametreleri, peroksidaz (POD), süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon redüktaz (GR) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi antioksidan enzimlerin aktiviteleri, toplam fenolik madde (TFM), toplam flavonoid ve radikal temizleme aktivitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Asn arpa çeşitlerinde iyonize radyasyonun büyüme parametrelerinde oluşturduğu azalmayı iyileştirmiştir. Erginel ve Akhisar arpa çeşitlerinde iyonize radyasyon uygulaması ile POD enzim aktivitesi azalmış, SOD, GR ve APX enzim aktiviteleri artmıştır. Asn uygulaması ile arpa çeşitlerinde POD enzim aktivitesi artarken, SOD, GR ve APX enzimlerinin aktiviteleri azalmıştır. İyonize radyasyon uygulaması ile her iki arpa çeşidinde toplam flavonoid ve fenolik madde miktarı artmıştır. Asn uygulaması antioksidan aktiviteyi arttırmış ve H₂O₂ miktarını azaltmıştır.

Sonuç olarak iyonize radyasyon ve ekzojenik Asn'in arpa çeşitleri arasında özellikle stres sonrası uygulama ile iyonize radyasyona karşı daha yüksek tolerans kazanıldığı ortaya konulmuştur. Bu sonuçlar, iyonize radyasyon stresine karşı Erginel çeşidinin dirençli, Akhisar çeşidinin ise hassas olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Hordeum vulgare*, Antosiyanin, İyonize radyasyon, Antioksidan enzimler, Fenolik madde, Flavonoid

Master Thesis

SUMMARY

An INVESTIGATION of the PHYSIOLOGICAL and BIOCHEMICAL EFFECTS of ANTHOCYANIN TREATMENT in ROOT and SPROUT of BARLEY (*Hordeum vulgare* L.) EXPOSED to IONIZING IRRADIATION

Nesrin ÇOLAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Biology Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Faik Ahmet AYZAZ
2013, 73 Pages

The effects of anthocyanin (Acy) on growth parameters, antioxidant enzymes including peroxidase (POX), superoxide dismutase (SOD), glutathione reductase (GR) and ascorbate peroxidase (APX), total phenolic content, total flavonoids and radical scavenging activity were investigated in the root and sprout of Akhisar-98 and Erginel-90 cultivars of barley (*Hordeum vulgare* L.; 2n=14) under ionizing radiation stress. Acy alleviated ionizing radiation-induced decreases in growth parameters of barley cultivars. POX activities in Akhisar and Erginel decreased, while SOD, GR and APX activities increased under ionizing radiation stress. Acy treatment caused an increase of POX activity and decrease of SOD, GR and APX in Akhisar and Erginel cultivars. Total phenolic and flavonoid content increased under ionizing-radiation stress. Acy application increased antioxidant activity and reduced H₂O₂ content.

In conclusion, a greater tolerance to ionizing radiation was acquired with the application of Acy, especially after ionizing radiation, in the two barley cultivars exposed to ionizing radiation and exogenic Acy. These findings indicate that Erginel was tolerant of and Akhisar susceptible to ionizing radiation stress.

Key Words: *Hordeum vulgare*, Anthocyanin, Ionizing irradiation, Antioxidant enzymes, Phenolic content, Flavonoid

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Başlıca çevresel stres çeşitleri	5
Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum.....	7
Şekil 1.3. X-ışınlarının indirek hareketinde, fotonların absorpsiyonundan son biyolojik değişimlere kadar olan olaylar zinciri.....	10
Şekil 1.4. İyonize radyasyonun neden olduğu oksidatif stres ile oluşan primer ($\cdot\text{OH}$, $\text{H}\cdot$) ve sekonder (H_2O_2 , $\text{O}_2\cdot^-$) serbest radikaller.....	14
Şekil 1.5. Bitkilerde antosiyanin biyosentezinin metabolik yolu	20
Şekil 1.6. Antosiyanidinlerin kimyasal yapısı	21
Şekil 3.1. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin kök uzunluklarına olan etkisi.....	31
Şekil 3.2. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgün uzunluklarına olan etkisi.....	32
Şekil 3.3. Akhisar arpa çeşidine ait morfolojik görünüm	33
Şekil 3.4. Erginel arpa çeşidine ait morfolojik görünüm.....	33
Şekil 3.5. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerdeki POD enzim aktivitesine etkisi	35
Şekil 3.6. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerdeki POD enzimi aktivitesine etkisi	35
Şekil 3.7. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerdeki SOD enzim aktivitesine etkisi	37
Şekil 3.8. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerdeki SOD enzim aktivitesine etkisi	37
Şekil 3.9. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerdeki GR enzim aktivitesine etkisi.....	38
Şekil 3.10. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerdeki GR enzim aktivitesine etkisi.....	39
Şekil 3.11. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerdeki APX enzim aktivitesine etkisi	40
Şekil 3.12. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerdeki APX enzim aktivitesine etkisi	40
Şekil 3.13. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerdeki H_2O_2 miktarına etkisi	42

Şekil 3.14. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki H ₂ O ₂ miktarına etkisi	42
Şekil 3.15. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki TFM miktarına etkisi	43
Şekil 3.16. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki TFM miktarına etkisi	44
Şekil 3.17. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki toplam flavanoid miktarına etkisi	45
Şekil 3.18. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki toplam flavonoid miktarına etkisi	45
Şekil 3.19. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki DPPH radikal temizleme aktivitesine etkisi	47
Şekil 3.20. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki DPPH radikal temizleme aktivitesine etkisi	47

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bitkilerde yaygın olarak bulunan altı antosiyanidin türü.	22

SEMBOLLER DİZİNİ

ANOVA	: Analysis of Variance
Asn	: Antosiyanin
AsA	: Askorbat
APX	: Askorbat Peroksidaz
CAT	: Katalaz
DHAR	: Dehidroaskorbat Redüktaz
DPPH	: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
EDTA	: Etilendiamintetraasetikası
EURT	: East-Ural radioactive Trace Zone
GIP	: Gama Işınları Patlamaları
GR	: Glutasyon Redüktaz
GSH	: Glutasyon
GSSG	: Yükseltgenmiş Glutasyon
LINAC	: Lineer Hızlandırıcı
MDHAR	: Monoaskorbat Redüktaz
NADPH	: Nikotinamid Adenin Dinükleotid Fosfat
NBT	: Nitro Blue Tetrazolium
POD	: Peroksidaz
PVPP	: Polivinilpolipirrolidon
ROT	: Reaktif Oksijen Türleri
SOD	: Süperoksit Dismutaz
SPSS	: Statistical Package for Social Sciences
TA	: Taze Ağırlık
TCA	: Trikarboksilik Asit Döngüsü

TFM : Toplam Fenolik Madde

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Bitkiler yeryüzünde ilk ortaya çıktığından beri Dünya iklimi sürekli değişmektedir. Tarih boyunca Dünya ısınmakta, soğumakta, daha nemli ya da daha kurak olmakta, CO₂ konsantrasyonu azalmakta ya da artmaktadır. Çevresel koşulların bu şekilde uzun süreli değişmesi iklim değişikliği olarak adlandırılmakta ve son yıllarda Dünya’ımızda yaşanan iklim değişikliği yeryüzünün ortalama sıcaklığının artması şeklinde olmaktadır. Son 50 yıldır yapılan çalışmalarda, 20. yüzyıldan günümüze kadar Dünya’nın ortalama sıcaklığının yaklaşık 1°C arttığı belirtilmektedir. Gerçekleşen bu “Küresel Isınma”nın nedenleri arasında iki teori ön plana çıkmaktadır; 1) 1960’lı yılların başında başlayan “Gama Işınları Patlamaları”nın (GIP) hem Dünya’nın ısınmasına hem de Dünya’nın yüksek derecede radyasyona maruz kalmasına neden olduğu 2) Özellikle Sanayi Devrimi’nden sonra artan CO₂ salınımının oluşturduğu sera etkisinden dolayı Dünya’nın ortalama sıcaklığının arttığı ileri sürülmektedir (Ziska, 2011; Peterson, 2003; Parker, 2004; Smith vd., 2005).

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) normal (optimum) sınırlar içinde olması gerekir. Çevresel faktörlerin herhangi birinin optimum sınırlar dışında olması bitkinin büyümesinde ve veriminde azalmaya neden olmaktadır. Büyüme ve verimde meydana gelen bu azalma durumu “stres” olarak tarif edilmiştir (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 (A°)'den küçük mor ötesi ışınların canlı organizmalar üzerinde tahribat yaptığı bilinmektedir. Stratosferdeki ozon tabakası 2400 A° ve daha küçük ışınları soğurarak, uzaydan gelen, zararlı ışınların büyük bir kısmını dünyamıza geçirmez. Ancak son yıllarda stratosferde bulunan ozon tabakasının kalınlığında meydana gelen incelmeden dolayı canlılar geçmiş yıllara oranla daha fazla

radyasyona maruz kalmaktadırlar (Caldwell vd., 1998). 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 (Örneğin Rusya'da gerçekleşen Çernobil ve Doğu-Ural kazaları, radyoaktif atıklar) 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 hücrel 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, 2002). ROT'ların neden olduğu hasarı azaltmak ya da engellemek için hücreler kapsamlı ve entegre bir endojen savunma sistemine sahiptirler. Peroksidaz (POD), katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi enzimler bitki hücrelerinin enzimatik antioksidan savunma sistemini temsil ederler. POD, CAT, SOD ve askorbat peroksidaz (APX) gibi enzimlerin çeşitli bitkilerde ROT temizleme aktivitelerinin iyonize radyasyon uygulaması ile arttığı belirlenmiştir (Kim vd., 2005; Wada vd., 1998; Zaka vd., 2002). *Nicotiana tabacum* L. ve *Nicotiana debneyi* L. 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). Etkili ve daha az toksik radyoprotektörler için yapılan çalışmalar, besin maddesi olarak alınan bitkilerin doğal bileşiklerine olan ilgiyi arttırmıştır. Besin maddesi olarak alınan bu doğal bitkiler ham olarak ya da bu bitkilerin işlenmiş özütleri, lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu gibi durumlardan dolayı oluşan hücresel hasarı etkin bir şekilde önleyerek antioksidan olarak işlev gördüğünden dolayı çeşitli etkin radyoprotektif bileşikler oluştururlar. Ancak güvenli ve toksik olmayan radyoprotektif bileşikler henüz geliştirilememiştir (Yamini ve Gopal, 2010).

Son yıllarda dikkatler antosiyanin (Asn)'lerin de dahil olduğu fenolik bileşiklerin antioksidan özellikleri üzerinde yoğunlaşmıştır (Kowalczyk vd., 2003). Yapılan çalışmalar ile meyvelerden elde edilen Asn'lerin in vitro olarak antioksidan özellik gösterdikleri belirlenmiştir. Asn'lerin antioksidan özellikleri onların metal iyonlarını şelatlayabilmelerinden, polifenol türevi radikaller için eşleşmemiş elektron delokalize ve stabilize edebilmelerinden ve hidrojen ve elektron donorü olarak yüksek aktiviteye sahip olmalarından kaynaklanmaktadır (Einbond, 2004).

Yerli arpa çeşitleri olan *Hordeum vulgare* L. cv. "Akhisar-98" ve *Hordeum vulgare* L. cv. "Erginel-90" a dışarıdan (ekzojenik) uygulanan Asn'in iyonize radyasyon stresi ve antioksidan enzim sistemler üzerine olan etkisinin araştırılmasını konu alan bu çalışmada peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX), süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon redüktaz (GR) enzimleri, toplam fenolik madde (TFM) toplam flavonoid, antioksidan aktivite ve hidrojen peroksit miktarı araştırılmıştır. Bu çalışmada Asn'lerin çimlenen arpa tohumlarında iyonize radyasyonla ilişkisi araştırılarak, stres hasarından kaynaklanan zararı önlemede veya azaltmada etkili olup olmayacağı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

1.2. Stres ve Stres Çeşitleri

Çevre koşullarının organizmalar üzerindeki etkisi çevresel fizyolojinin önemli bir dalıdır. Ekofizyolojinin bir bölümü olan bu alan "stres fizyolojisi" olarak

adlandırılmaktadır. Stres fizyolojisi, bitkilerin dağılımını ve verimliliğini etkileyen faktörlerin anlaşılmasında önemlidir (Lewitt, 1980; Taiz ve Zaiger, 1991).

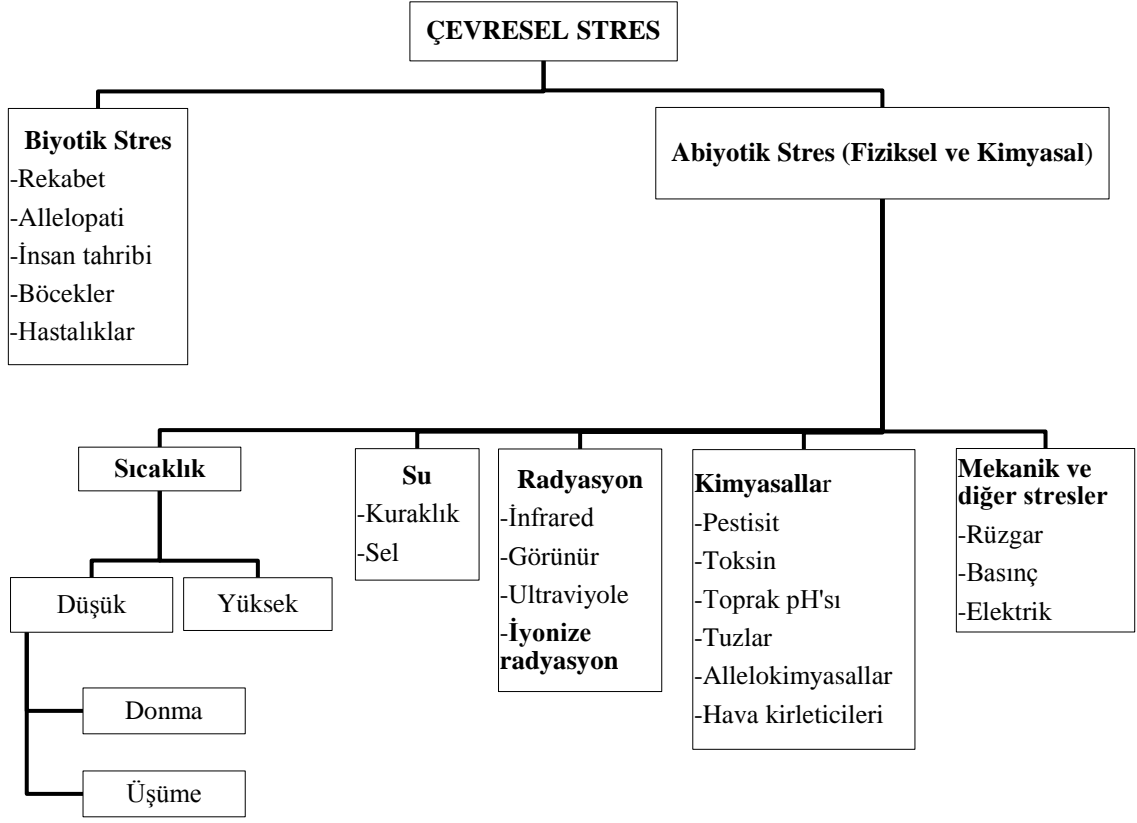
Bitkilerin büyümesini, verimini, üreme kapasitesini veya yaşam süresini olumsuz olarak etkileyen herhangi bir çevresel faktör stres olarak tanımlanmaktadır. Uygun olmayan bu faktörlere karşı canlıların hayatta kalabilmek ve korunmak için gösterdiği dayanma gücüne strese dayanıklılık denilmektedir (Lewitt, 1980).

Levitt (1980)'e göre "biyolojik stres" bitkinin büyüme ve gelişimini azaltan veya artıran çevresel koşullardaki bir değişimdir. Bu durumda organizmanın fonksiyonları normaldir. Organizmanın fonksiyonlarının azalması veya değişmesi ise "biyolojik zorlanma" olarak ifade edilmiştir. Stres altındaki bitkilerin gösterdiği tepkiler bazı durumlarda onlar için bir avantaj sağlayabilir. Örneğin yetersiz ışık durumunda daha uzun fakat zayıf gövde oluşturulması ile bitki ışığa ulaşma şansına sahip olabilir.

Bir bitki strese maruz kalınca üç şekilde zarar ortaya çıkar. 1) İlki olan direkt zararda stres saniye veya dakikalarda ortaya çıkar. Düşük sıcaklıkta bitkide hızlı donmayla ortaya çıkan stres bu tip zarara örnek olarak gösterilebilir. İkincisi indirekt zarardır. Strese uzun süre maruz kalma durumudur ve buna örnek üşüme stresi verilebilir. Üçüncüsü ise sekonder zarardır. Bu tür zarar ikincil bir strese neden olur. Örneğin yüksek sıcaklık bitkiye tek başına zarar vermez; bitkide su kaybına neden olarak kuraklık stresine yol açar. İyonize radyasyon bitki bünyesinde yüksek oranda ROT oluşumuna yol açarak oksidatif stres oluşturur.

Stres faktörlerinin etkisi bu faktörlerin miktarına bağlıdır. Stres etkisi her bitkide gözle görülmeyebilir bazen bitkide stres belirtisi görülmeden bitki strese girmektedir. Ayrıca orta ve kısa süreli streslerde hasar geçici olabilir ve stres koşulları ortadan kalkınca bitki eski haline geri dönebilir. Eğer stres şiddetli ise tohum oluşumu ve çiçeklenme engellenir. Böylece bitkinin yaşaması zorlaşır (Yordanov vd., 2000).

Bitkilerin maruz kaldığı stres abiyotik ve biyotik stres olmak üzere iki kısma ayrılır.



Şekil 1.1. Başlıca çevresel stres çeşitleri (Taiz ve Zaiger, 1991).

Strese dayanıklılık, bitkinin uygun olmayan koşullarda canlı kalabilme ve hayatını devam ettirebilme kapasitesidir. Stres sonucunda bitki metabolizmasını değiştirerek uyum sağlayabilir. Bu olaya aklimasyon (alışma) denir. Böylece bitkiler strese dayanıklı hale gelir. Levitt (1980) strese dayanıklılığı stres sakınması ve stres toleransı olarak ikiye ayırmıştır. Bitki eğer dıştan gelen bir stresi, bünyesinde stres oluşturmadan önleyebiliyorsa, buna stres sakınması denir (Street ve Öpik, 1984). Örneğin bitki terleme yaparak iç sıcaklığını korur ve sıcaklıktan sakınır (Ayaz, 1999). Bitkinin strese dayanabilme yeteneğine ise stres toleransı denir (Street ve Öpik, 1984). Kuraklık toleransına sahip bitkiler protoplazma kuruduğu zaman, protoplazması yeniden su alana kadar hayatsal faaliyetlerine devam etmektedir (Hopkins, 1995).

Stres altındaki bitkiler, kendilerini stresten korumak için çeşitli değişiklikler oluştururlar. Solunum hızında, fotosentez hızında ve bazı organik maddelerin miktarında değişiklikler oluşmaktadır (Levitt, 1980).

Son yıllarda iyonize radyasyon gibi çevresel faktörlerin besin bitkilerine ve bitki hücrelerine olan etkisini konu alan çok sayıda çalışma yapılmıştır (Kovács ve Keresztes, 2002). Amaç strese karşı bitkide meydana gelen olayları çözmek ve strese dayanıklı ve daha verimli ürünler geliştirmektir. Açlıkla mücadele eden birçok ülke için strese toleranslı bitki yetiştirmenin önemi çok büyüktür.

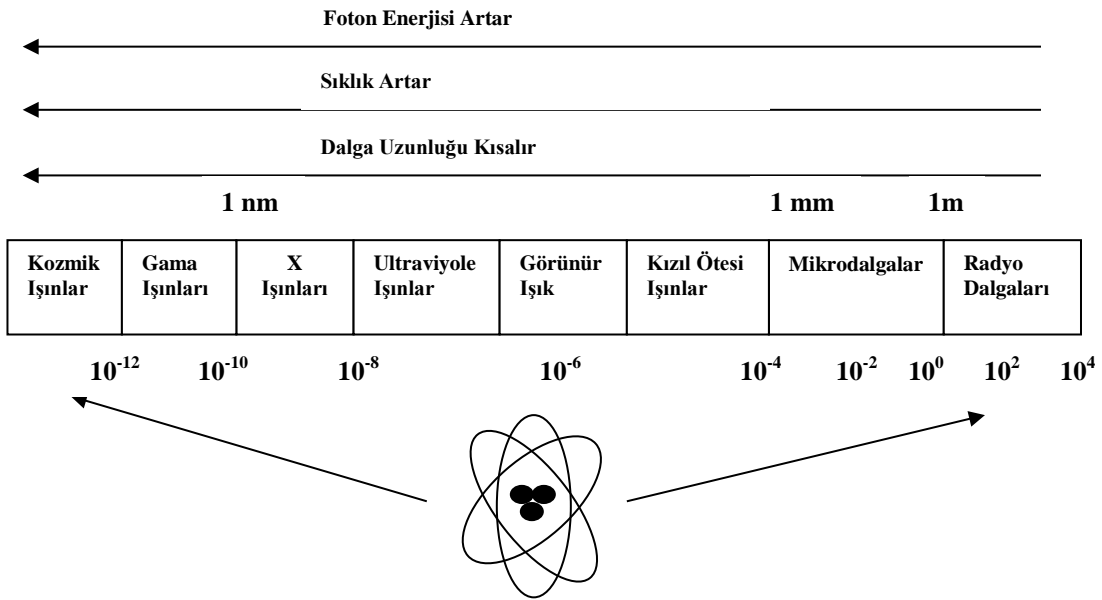
1.3. İyonize Radyasyon

Radyasyondan gelen enerjinin soğurulması biyolojik materyallerde uyarma ya da iyonizasyona yol açar. Elektronun gerçek fırlatılması olmadan bir atom ya da molekülün daha yüksek bir enerji seviyesine bir elektron yükseltmesi uyarılma olarak adlandırılır. Radyasyon bir atom ya da molekülden bir veya daha fazla orbital elektron fırlatacak kadar yeterli enerjiye sahip ise, bu sürece iyonizasyon, bu olayı gerçekleştirebilen radyasyona ise iyonize radyasyon adı verilir. İyonize radyasyonun en önemli özelliği büyük miktarda enerjiyi lokalize olarak serbest bırakmasıdır. İyonizasyon başına harcanan enerji 33 eV'dur, bu enerji güçlü kimyasal bağları kırmak için gerekli enerjiden daha fazladır. Örneğin C=C bağı kırılmak için gerekli enerji 4.9 eV'dur (Goodwin vd., 1970).

İyonize radyasyon elektromanyetik ve partikül olarak sınıflandırılabilir. Partikül radyasyon tipleri elektronlar, protonlar, α -partikülleri, nötronlar, π -mezonlar ve ağır yüklü iyonlardır. Doğada oluşurlar ve deneylerde kullanılırlar. Elektronlar negatif yüklü partiküllerdir. Lineer hızlandırıcı veya betatron gibi cihazlar ile ışık hızına yakın bir hıza daha yüksek enerji seviyesine ulaşmaları için hızlandırılabilirler. Protonlar pozitif yüklü atom altı partiküllerdir ve kütleleri elektronlardan 2000 kat daha büyük olduğundan dolayı sislotron gibi daha pahalı ve kompleks cihazlar ile daha yüksek enerji seviyesi için hızlandırılabilirler. Yeryüzü güneşten gelen protonlara maruz kalır ancak yeryüzünün etrafındaki manyetik alan ve atmosfer sayesinde bu partiküller saptırılır. α -Partikülleri birbiri ile yakın ilişki içinde olan iki proton ve iki nötrondan oluşur. Pozitif yüklüdürler ve bu nedenle protonlar için kullanılan benzer cihazlar ile hızlandırılırlar. Doğada doğal olarak oluşan radyum (Ra) ve uranyum (U) gibi radyonüklidlerin bozunması ile de yayılırlar (Johns ve Cunningham, 1969; Goodwin, 1970). Nötronlar yüksüz partiküllerdir ve kütleleri protonlara benzer. Yüksüz olduklarından dolayı elektron ve protonlar için kullanılan cihazlar ile hızlandırılmazlar (Rossi, 1964).

Elektromanyetik radyasyonun iki formu olan X- ve γ - ışınları yük ya da kütlesi olmayan enerji paketleri (fotonlar) dir. Aynı özelliklere sahiptirler ancak kaynakları farklıdır. X-ışınları çekirdek dışında gerçekleşen süreçlerde (örneğin hızlı hareket eden elektronlar ile oluşan ağır atom bombardımanı) yayılır ancak γ -ışınları radyoaktif atomların bozunması sürecinde çekirdeğin iç kısmından yayılır (IARC, 2000). Biyolojik sistemler ile yapılan deneylerde X- ve γ - ışınları kullanılır. X-ışınları elektronları daha yüksek bir enerji için hızlandıran ve daha sonra onları hedefte aniden durduran bir cihaz tarafından üretilir. Kinetik enerjinin (hareket enerjisi) bir kısmı X-ışınlarına dönüşür. Diğer taraftan γ -ışınları ise radyoaktif izotoplar tarafından yayılırlar. Radyoaktif izotoplar kararlı değildirler ve daha kararlı bir forma ulaşma çabası içinde kararlı olmayan nükleer kırılma ya da bozulma olarak fazlalık enerjilerini serbest bırakırlar. Bu radyoaktif izotoplar tarafından serbest bırakılan fazlalık enerji γ - ışınlarını oluşturur (Beir, 1980).

X-ışınları gibi radyo dalgaları, radar, radyant ısı, görülebilir ışık da elektromanyetik radyasyonun formlarıdır. Tüm elektromanyetik radyasyon formlarının hızları aynıdır, ancak farklı dalga boylarına bundan dolayı farklı sıklığa sahiplerdir (Hall ve Giaccia, 2006).



Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum (Hall ve Giaccia, 2006'dan değiştirilerek)

X-ışınları canlı materyal tarafından absorbe edildiği durumlarda, absorbe edilen enerji doku ve hücrelerde depo edilir. X-ışını demetinde bulunan enerji çok büyük özgül paketler içinde sayısal olarak belirtilir (Hall ve Giaccia, 2006). Her bir özgül paket içinde bulunan enerji kimyasal bağları kırmak ve biyolojik değişimlerle sonuçlanan olaylar zincirini başlatmak için yeterli büyüklüktedir (Kovács ve Keresztes, 2002). İyonize radyasyon ve iyonize olmayan radyasyon arasındaki ciddi farklılık, içerilen toplam enerji değil enerjinin bireysel paketlerinin boyutudur. Örnek olarak 400 rad 67cal ve 0.002°C'ye eşittir (70 kg standart insanlar için). Isı veya mekanik enerji formunda bulunan enerji eşit ve düzenli bir şekilde absorbe edilir. Canlılarda hasar oluşturabilmesi için bu formdaki enerjinin çok daha fazlasına ihtiyaç vardır. X-ışınlarının etkisi özgül enerji paketlerinin büyüklüğü olarak soğurulan (absorbe edilen) toplam enerjinin bir fonksiyonu değildir. Elektromanyetik radyasyonların etkilerinin eğer fotonlar 124 eV'dan daha fazla ise iyonizasyon olduğu düşünülmektedir (Hall ve Giaccia, 2006).

Radyasyon dolaylı ve doğrudan iyonlaştırıcı olarak sınıflandırılabilir. Elektron, proton gibi yüklü partiküllerin hepsi doğrudan iyonlaştırıcıdır. Doğrudan iyonlaştırmak için yeterli kinetik enerjiye sahiplerdir. Doğrudan geçtikleri soğurucu atomik yapıyı bozarlar ve kimyasal ve biyolojik değişimlere neden olurlar (Esnault vd., 2010). Elektromanyetik radyasyon (γ - ve X-ışınları) dolaylı iyonlaştırıcıdır. Kimyasal ve biyolojik hasarı kendileri oluşturmazlar. Onlar geçtikleri materyaller boyunca absorbe edildikleri zaman hızlı hareket eden yüklü partiküllerin oluşumuna neden olurlar ve bu yüklü partiküller biyolojik hasara neden olur. X-ışını fotonlarının soğurulma süreci fotonların enerjisine ve soğurucu materyalin kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Fotonların enerjilerinin soğurulması sürecinde; fotonlar serbest elektron olarak isimlendirilen elektronlar ile etkileşirler ve fotonlar enerjilerinin bir kısmını elektronlara kinetik enerji olarak aktarırlar. Fotonlar ise kalan enerjileri ile orijinal yollarından sapmış olarak yollarına devam ederler (Hall ve Giaccia, 2006).

Radyasyonun herhangi bir formu (X- veya γ -ışınları, yüklü veya yüksüz partiküller) biyolojik materyal tarafından absorbe edilirse, radyasyon hücrelerdeki önemli hedefler ile etkileşime girer. Hedefteki atomlar iyonize olur veya uyarılırlar, böylece biyolojik değişimlere yol açan olaylar zinciri başlar. Bu süreç radyasyonun direk hareketi olarak isimlendirilir. Radyasyon serbest radikaller oluşturmak için hücredeki diğer atom ya da moleküller ile etkileşime de girebilir. En büyük ve en önemli radyasyonun direk hedeflerinden biri tüm organizmalarda ortak olarak bulunan su molekülleridir. Oluşan bu

radikaller önemli hedeflere ulaşmak ve hasar oluşturmak için yeterli uzaklığa dağılılabirler. Bu durum ise radyasyonun indirek hareketi olarak isimlendirilir (Esnault vd., 2010).

Serbest radikaller dış kabuğunda eşleşmemiş orbital elektron bulunduran atom veya moleküllere denir. Orbital elektronlar hem kendi etraflarında hem de atom çekirdeğinin etrafında dönerler. Bu dönüş saat yönünün tersi veya saat yönünde olabilir. Atom veya moleküllerin bir çift elektronu olsa bile elektronlardan biri saat yönünde dönerken diğeri saat yönünün tersi yönde döner. Bu sayede yüksek oranda kimyasal kararlılık sağlanmış olur. Eğer bir atom ya da molekül dış yörüngede tek elektrona sahip ise bu elektronun aksi yönünde dönecek başka bir elektron olmadığından, bu elektron eşleşmemiş elektrondur ve kimyasal olarak yüksek oranda reaktiftir (Herzberg, 1971).

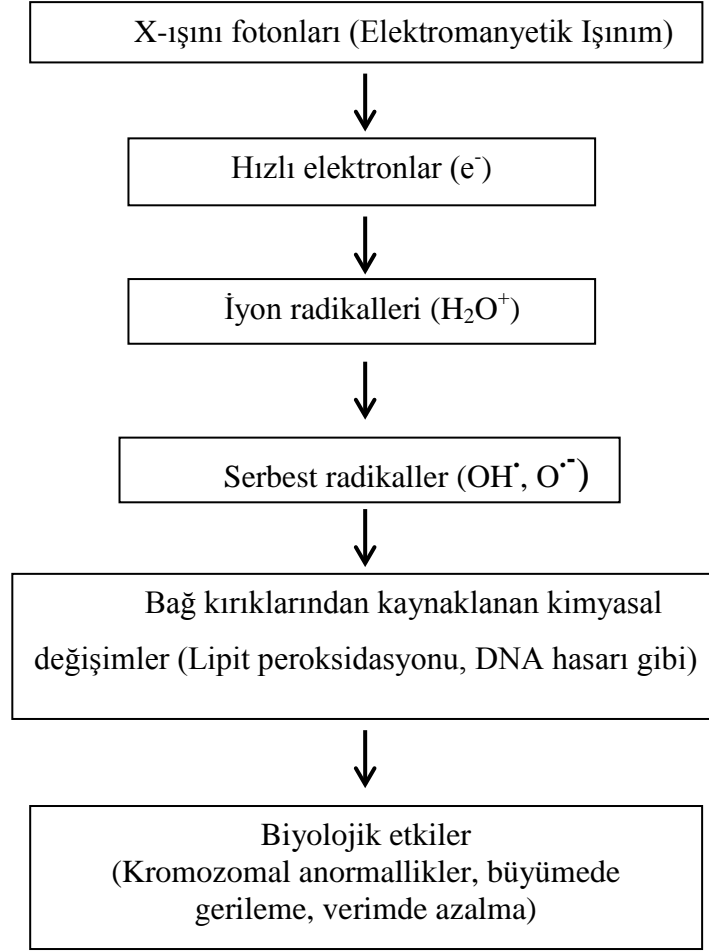
X- veya γ -ışınları su molekülleri ile etkileşime girdikleri zaman su molekülleri iyonize olurlar.



H_2O^+ bir iyon radikalidir. Bir elektron kaybettiğinden dolayı pozitif yüklüdür ve bu nedenle bir iyondur. Dış yörüngesinde eşleşmemiş elektron içerdiğinden dolayı serbest radikaldir ve yüksek oranda reaktiftir. H_2O^+ gibi primer radikal iyonlarının ömrü 10^{-10} saniye kadar kısadır. Yüksüz serbest radikal oluşturmak için bozulurlar. İyon radikalleri yüksek oranda reaktif hidroksil radikalleri oluşturmak için başka bir su molekülü ile etkileşime girerler (Halliwell ve Gutteridge, 1999).



Hidroksil radikalleri hücrede önemli hedeflere ulaşmak için kısa mesafelere dağılılabir. Örneğin DNA çift heliksinin iki katı kadar çapa sahip bir DNA'ya yayılabir. Radyasyonun bu dolaylı hareketi direk hareketinden farklı olarak koruyucu veya duyarlaştırıcılar kullanılarak kimyasal yollarla kolaylıkla modifiye edilebilir (Hall ve Giaccia, 2006).



Şekil 1.3. X-ışınlarının indirek hareketinde, fotonların absorpsiyonundan son biyolojik değişimlere kadar olan olaylar zinciri (Hall ve Giaccia, 2006'dan değiştirilerek)

Bu süreçte ilk iyonizasyon 10^{-15} saniyede gerçekleşir. Oluşan primer radikalın ömrü 10^{-10} saniyedir. OH^{\cdot} radikallerinin ömrü yaklaşık 10^{-9} saniyedir (Hall ve Giaccia, 2006). $\cdot\text{OH}$ radikalleri lipitler, proteinler ve özellikle DNA gibi çeşitli tipteki makromoleküller ile hızlı bir şekilde reaksiyona girebilir. Doz oranına bağlı olarak hasarların bir kısmı tamir edilebilir ve geri kazanılabilir (Esnault vd., 2010). Kimyasal bağların kırılması ile biyolojik etkilerin ifadesi arasındaki süreç kapsadığı sonuca bağlı olarak saatler, günler, aylar, yıllar veya jenerasyonlar olabilir (Hall ve Giaccia, 2006). Radyasyonun sebep olduğu DNA hasarı genellikle dolaylı etki ile meydana gelir (Esnault vd., 2010). Zar kararlılığının bozulması çok önemli olmasına rağmen, radyasyonun sebep

olduğu en önemli hasarın DNA hasarı olduğu düşünölmektedir. Oksidatif saldırı farklı DNA değişimlerine sebep olmaktadır (Roldan-Arjona and Ariza 2009).

Bitkilerde iyonize radyasyon sonrası DNA tamir mekanizması yapılan araştırmalar karşılaştırıldığında henüz iyi anlaşılammıştır. Genellikle bu tip bir hasar tamiri bitki genomunda yabancı dizilerin tümünü düzeltmede benzer ya da eş bir mekanizma gerektirir. (Esnault vd., 2010). İyonize radyasyon teşvikli DNA kırıkları hem genomik hem de kromozomal anormallikler oluşturur ve türler için zararlıdır. DNA'nın genellikle radyasyon zararının primer alanı olduğu düşünölür. Gerçekte, hasar görmüş hücrelerin lezyonlarını düzeltmek amacıyla hücre döngüsü kontrol noktaları vardır, buna rağmen DNA tamirinin hataya yatkın doğası potansiyel olarak kuşaklara aktarılabilecek hatalara sebep olabilir. Böylece bölünmekte olan hücreler radyasyona karşı daha etkili (dramatik) cevap verir. İyonize radyasyonun etkisi ile bitki cevapları arasında mevcut olan verileri karşılaştırmak güçtür. Bunun için, iyonize radyasyon tipi (akut veya kronik), doz oranı veya uygulanan doz, tür/varyete/çeşit gibi fizyolojik parametreler, ışınlama anındaki gelişim aşaması, sonuç olarak da bireyler arası cevap varyasyonları çalışmalar arasında tümüyle farklı olabilir (Boyer vd., 2009; Kim vd., 2009).

İyonize radyasyona maruz kalmış bitkilerde çoğu temel serbest radikallerin seviyesi artar. Suyun radyolizi sonucu oluşan $\cdot\text{OH}$ çok kısa bir ömre sahiptir ancak çok aktiftir ve hücre ölümünün yanında hücre hasarının çeşitli formlarından sorumlu olabilir. H_2O_2 gibi diğer ROT'lar sekonder reaksiyon ile oluşurlar. İyonize radyasyon çeşitli daha uzun ömre sahip daha az aktif radikalleri de artırır. Bu radikaller hücreyi öldürmez ancak genetik anormallikler oluşturur (Koyama vd., 1998). $\cdot\text{OH}$ ve diğer ROT'ların üretimi veya fazla üretimi, POD, APX, SOD ve GR gibi enzimlerin aktivitelerinin , fenolik madde, flavonoid gibi sekonder metabolitlerinin miktarlarının düzenlenmesi ile oksidatif strese karşı savunma sistemi hemen tetiklenir (Esnault vd., 2010).

1.3.1. İyonize Radyasyonun Bitkiler Üzerine Olan Biyolojik Etkisi

Biyolojik organizmalar iyonize radyasyona maruz kaldıklarında, ilk enerji soğurulması ve son biyolojik hasar arasında bir seri basamak aktive olur. Doğrudan etki ile su ve DNA gibi hedeflere etki eder. Primer etkisi ile bu hedeflerde uyarılma ve iyonizasyona yol açar ve H_2O^+ iyonize su molekülleri ve H^+ , $\cdot\text{OH}$ gibi ROT'lar oluşur.

İyonize radyasyonun geçtiği tüm yol boyunca bu iyonizasyon uyarılır. Bu uyarılma sonucu zincir reaksiyonu ilerler ve sekonder reaksiyon sonucu sekonder reaktif oksijen türleri üretilir. En önemli sekonder ROT'lar H_2O_2 ve $O_2^{\cdot-}$ 'dir (Esnault vd., 2010).

Hidroksil iyonu ($\cdot OH$) iyonize radyasyona maruz kalmış bitkilerde suyun radyolizi ile oluşur ve birçok hücre hasarına yol açtığı gibi hücre ölümüne de neden olabilir. İyonize radyasyon daha az aktif ve daha uzun ömürlü radikallerin miktarını da artırabilir. Bu radikaller hücreyi öldürmez ancak genetik anormallikler oluştururlar. $\cdot OH$ ve diğer ROT'ların üretimi ya da aşırı üretimi antioksidan enzimlerinin (POX, SOD, APX, GR, CAT gibi) aktivasyonunun düzenlenmesi ile oksidatif strese karşı savunma sistemini harekete geçirir (Koyama vd., 1998). İyonize radyasyona (1 kGy) maruz bırakılmış kabak (*Cucurbita ficifolia* L.) fidelerinde POD aktivitesinin arttığı ve aksine H_2O_2 miktarının azaldığı rapor edilmiştir (Wi vd., 2007). POD enziminin aktivitesindeki artma ayrıca 10 Gy iyonize radyasyon uygulanan sarımsakta (*Allium sativum* L.) (Crocı vd., 1991; 1994), yüksek doz radyasyon (0,85 ve 1,98 kg^{-1}) uygulanan *Saintpaulia* petiollerinde (Warfield vd., 1975) ve 900 Gy radyasyon uygulanan tatlı patates disklerinde belirlenmiştir (Ogawa ve Uritani, 1970). SOD enzim aktivitesi değişimi 20-200 Gy iyonize radyasyon uygulandıktan sonra *Vigna radiata* L., *Nicotiana tabaccum* L. ve *Nicotiana debneyi* L. türlerinde gözlenmiştir (Roy vd., 2005; Wada vd., 1998). Kim ve arkadaşlarının (2005) yaptıkları çalışmada, *Capsicum annuum* L. bitkisine düşük dozda iyonize radyasyon (2 ve 8 Gy) uygulanması ile bu bitkide APX ve SOD enzimlerinin aktivite seviyelerinin arttığını ve GR enzim aktivitesinin azaldığını rapor etmişlerdir.

Kazakistan gibi nükleer deneme alanlarında yetişen bitkiler radyasyona uzun süre maruz kalmaktadırlar. Bu durumdan dolayı bu alanda yetişen bitkilerin radyasyona karşı hassasiyet düzeylerinin azaldığı Zaka ve arkadaşlarının (2002) yaban tip *Poaceae*, *Stipa capillata* L., ile yaptıkları çalışmada gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonucu POD, CAT, SOD ve G₆PDH (glukoz-6 fosfat dehidrogenaz) enzimlerinin aktiviteleri yeni bir iyonize radyasyona maruz kalma durumunda daha güçlü aktive edildikleri rapor edilmişti. *Allium cepa* L.'ya yapılan ardışık iki ışınlama durumunda, ikinci ışınlama sonrası kromozom kırıklarının sayısının azaldığı tespit edilmiştir (Cortes vd., 1990). Kuru tohumlara 8 Gy iyonize radyasyon uygulanan *Oryza sativa* L. ile yapılan çalışmalarda, iyonize radyasyon uygulaması sonrası tohumların tuz stresine karşı daha dirençli oldukları kaydedilmiştir. İyonize radyasyon uygulaması ile tohumların çimlenme kapasitelerinin arttığı ve SOD ve

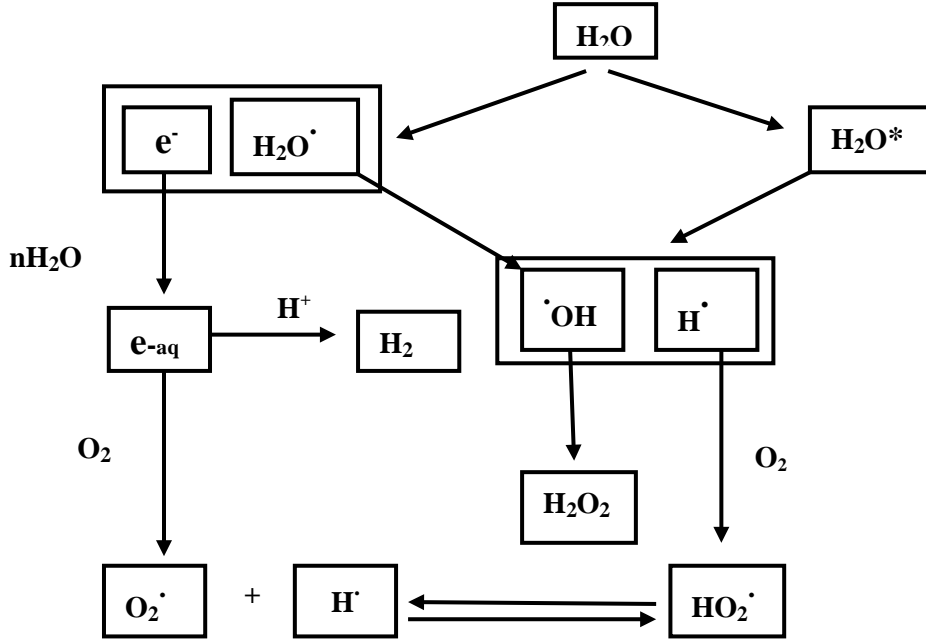
APX aktivitelerinin artması ile çimlenen tohumların tuz stresine karşı daha dirençli oldukları belirtilmiştir (Beak vd., 2005).

İyonize radyasyon ve serbest radikallerin ana hedefi DNA'dır. DNA'da tek ve çift bant kırıkları oluştururlar ve böylece DNA'da değişimlere yol açarlar. Ancak DNA tamir mekanizması çok karmaşık olduğundan tam olarak anlaşılammıştır. *Arabidopsis* ile yapılan çalışmalarda, 100 Gy iyonize radyasyon uygulandıktan sonra bitkide 163 genin uyarıldığı, bu genlerin %17'sinin DNA metabolizması, kromozom yapısı ve hücre döngüsü kontrol noktası, %11'inin ise transkripsiyon faktörleri ile ilgili olduğu ve diğer genlerin ise DNA tamiri ile ilgili olduğu ortaya konulmuştur (Culligan vd., 2006).

İyonize radyasyona maruz kalan bitkilerde meydana gelen fizyolojik değişimler/belirtiler birçok araştırmacı tarafından tanımlanmıştır (Kim vd., 2004; 2005; Kovács ve Keresztes, 2002; Wi vd., 2005). Yüksek veya düşük doz iyonize radyasyona maruz kalan bitkilerde en sık görülen fizyolojik belirtiler çimlenme inhibisyonu ya da teşviki, fide büyümesinin teşviki ya da baskılanmasıdır (Kim vd., 2000; Wi vd., 2005). *Arabidopsis* fideleri ile yapılan çalışmalarda, bitkiye 1 veya 2 Gy iyonize radyasyon uygulandığında fidelerin kontrol grubuna göre daha fazla büyüdüğü, 50 Gy iyonize radyasyon uygulanması durumunda ise büyümenin belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir (Wi vd., 2007).

1.4. Antioksidan Savunma Sistemi

Reaktif oksijen türleri (ROT)'nin üretimi aerobik metabolizmanın kaçınılmaz bir sonucudur. ROT'lar elektron-transfer kimyasal reaksiyonunun bir sonucu olarak veya yüksek enerjiye maruz kalma sonucu moleküler oksijenin adım adım indirgenmesi sonucu oluşan yüksek reaktif ürünlerdir (Halliwell ve Gutteridge, 1999).



Şekil 1.4. İyonize radyasyonun neden olduğu oksidatif stres ile oluşan primer ($\cdot\text{OH}$, $\text{H}\cdot$) ve sekonder (H_2O_2 , $\text{O}_2\cdot$) serbest radikaller (Esnault vd., 2010'dan değiştirilerek)

ROT'lar bitkilerde büyüme, gelişme ve savunma sisteminin anahtar düzenleyicileri olmalarının yanı sıra yüksek seviyelerde buldukları zaman hücrede toksisiteye neden olan oksidatif hasara yol açarlar. (Mittler vd., 2004). Canlı organizmalar hava kirliliği, kuraklık, sıcaklık, ışık yoğunluğu gibi doğal sebeplerden ya da insan aktivitelerinden dolayı farklı tür streslere maruz kalırlar. Stres faktörlerinin genel etkisi bitki dokularındaki reaktif oksijen türlerinin üretimini artırma potansiyelleridir (Arora vd., 2002). Stres boyunca ROT'ların üretiminin artması hücre için lipit peroksidasyonu, protein oksidasyonu, nükleik asit hasarı, enzimatik inhibisyon, programlanmış hücre ölümü (PCD) yolunun aktivasyonu ve en sonunda hücre ölümüne neden olacak bir tehdit oluşturabilir (Mittler, 2002; Pasqualine vd., 2003; Sharma ve Dubey 2005, 2007; Maheshwari ve Dubey 2009). ROT'lar stres cevabında sinyal transdüksiyon yolunda sekonder mesajcı olarak hizmet eden stresin hücrel indikatörleri olarak görülürler (Mittler, 2002). ROT'ların çoklu fonsiyonundan dolayı, herhangi bir oksidatif hasardan kaçınmak ve aynı zamanda onları tamamen elimine etmemek için hücre ROT'ların seviyesini sıkı bir şekilde kontrol etmek zorundadır. Aşırı ROT'ların süpürülmesi veya zehirsizleştirilmesi enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlardan oluşan bir etkin oksidatif sistem tarafından

gerçekleştirilir. Askorbat (AsA), glutatyon (GSH), karotenoidler, tokoferoller ve fenolikler hücrede enzimatik olmayan antioksidanlar olarak işlev yaparlar. Enzimatik antioksidanlar askorbat peroksidaz (APX), monoaskorbat redüktaz (MDHAR), dehidroaskorbat redüktaz (DHAR) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi askorbat-glutatyon (AsA-GSH) döngüsünün enzimleri, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve guaiakol peroksidaz (GPX)'ı içerir (Noctor ve Foyer, 1998). Stres koşulları altında ROT'ların süpürülme ve üretilmeleri arasındaki denge endişe verici olsa da, antioksidanların seviyelerinin düzenlenmesi olumsuz çevre koşullarına dayanmak için önemli bir adaptif cevabı oluşturur (Arora vd., 2002; Noctor vd., 2002). Toksik ROT'ların süpürülmesi için yüksek antioksidan kapasitenin korunması streslere karşı bitki toleransının artması ile ilgili olduğu belirtilmektedir (Agarwal ve Shaheen, 2007).

1.4.1. Antioksidan Enzim Sistemleri

Antioksidan savunma sisteminin enzimatik bileşenleri SOD, CAT, GR ve APX gibi antioksidan enzimlerden oluşur. Bu enzimler hücre oksidatif strese maruz kaldığı zaman birbirleri ile uyum içerisinde strese karşı cevap oluştururlar (Arora vd., 2002).

1.4.1.1. Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzimi

SOD enzimi hücrede ROT'lara karşı ilk savunma hattını oluşturur. Bu enzim hücrenin kloroplast, mitokondri, peroksizom gibi çeşitli bölmelerinden oluşan (Alscher vd., 2002) ve çok reaktif olan $O_2^{\cdot-}$ 'ni O_2 ve H_2O_2 'e nötralize eder ve bu süreç kendiliğinden olan bir dismutasyon reaksiyonundan 10^4 kat daha hızlı gerçekleşir. Bundan dolayı SOD'ın oksidatif strese karşı savunmada merkezi bir role sahip olduğu düşünülmektedir (Sharma vd., 2010). Bitkilerde Cu/Zn-SOD (sitozol, mitokondri ve kloroplastlarda), Mn-SOD (mitokondri ve peroksizomlarda) ve Fe-SOD (kloroplastlarda) olmak üzere üç farklı izoenzimi bulunur (Sharma vd., 2010; Arora vd., 2002).



1.4.1.2. Guaiakol Peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) Enzimi

POD'lar bitkilerde yaygın olarak bulunan ve hem grubu içeren oksidaz grubu enzimlerdir. Hidrojen Peroksit (H_2O_2)'i H_2O ve O_2 'e dönüştürürler. Hidrojen verici olarak genellikle guaiakol kullanırlar ve bu peroksidazlar guaiakol peroksidaz (GPX) olarak isimlendirilirler. GPX izoenzimleri vakuollerde, hücre çeperinde ve sitozolde bulunmaktadır (Sharma, 2010). GPX hücre çeperi lignifikasyondan, IAA bozunmasından, etilen biyosentezinden, yara iyileşmesinden ve patojenlere karşı savunmadan sorumludur (Kobayashi vd., 1996). POD'lar aynı zamanda bitki hücrelerinin antioksidatif cevabında önemli bir role sahiptirler (Siegel ve Siegel, 1986).



1.4.1.3. Askorbat Peroksidaz (APX; EC 1.11.1.11) Enzimi

APX iki molekül askorbat kullanarak H_2O_2 'i iki molekül monodehidroaskorbat (MDHA) ve suya indirger. APX izoenzimleri sitozolde, stromada, tilakoid zarda, mitokondride ve peroksisomlarda bulunur (Sharma vd., 2010).



1.4.1.4. Glutatyon Redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) Enzimi

GR elektron verici olarak NADPH'ı kullanarak yükseltgenmiş glutatyonun (GSSG) indirgenmesi (GSH) reaksiyonunu katalizleyen enzimlerdir (Creissen vd., 1994). Antioksidan özelliğinden dolayı GSH, hücrenin antioksidan kapasitesinin devamlılığı için önem teşkil eder. GR, diğer antioksidan enzimlerle birlikte H_2O_2 'in süpürülmesinde görev almakta ve oksidatif strese karşı bitkinin dayanıklılığının artmasını sağlar (Sairam vd.,

1997) NADPH'ın kullanılması sonucunda CO₂ fiksasyonu azaldığı zaman, GR NADPH/NADP⁺ oranını ayarlamaya yardımcı olmaktadır. Bu özelliğinden dolayı, ROT'ların süpürülmesinde önemli rol oynadığı kaydedilmiştir (Creissen vd., 1996).



1.4.2. Enzimatik Olmayan Antioksidan Sistem

Askorbat, glutatyon, tokoferoller ve karotenoidler gibi iyi bilinen enzimatik olmayan antioksidanların yanı sıra son çalışmalar etkin antioksidanlar olarak fenolik asitler, fenilpropanoidler ve flavonoidler gibi fenolik bileşiklerin etkin rolleri vurgulanmaya başlanmıştır (Sharma vd., 2010).

1.4.2.1. Fenolik Bileşikler

Sekonder metabolitler bitkilerde geniş ve çeşitli ürün yelpazesinde üretilen ve bitkinin temel yaşamsal işlevleri ile doğrudan ilişkisi olmayan, buna karşılık en az bitkinin yaşamsal işlevleri ile doğrudan ilişkili primer metabolitler (protein, lipit, karbonhidrat gibi) kadar önemli olan bileşiklerdir (Dickschat, 2011). Sekonder metabolitler azot içerenler (Alkoloidler, Proteinik yapıda olmayan aminoasitler, Aminler, Siyanogenik glikozitler, Glikosinolatlar, Alkamidler, Lektinler, Peptidler ve Polipeptidler) ve azot içermeyenler (Terpenoidler (Monoterpenler, Sesquiterpenler, Diterpenler, Triterpenler, Steroidler, Saponinler, Tetraterpenler), Fenolik Bileşikler (Flavonoidler, Taninler, Fenilpropanoidler, Lignin, Kumarinler, Lignanlar) olmak üzere iki ana gruptan oluşur. Fenolik maddeler/bileşikler bitkilerde hem normal gelişim boyunca (Harborne, 1982; Pridham, 1960) hem de enfeksiyon, yaralanma ve radyasyon gibi stres koşullarında sentezlenen sekonder metabolitlerdir (Beckman, 2000; Nicholson ve Hammerschmidt, 1992). Karakteristik özellikleri kimyasal yapılarında bir veya daha fazla hidroksil grubu (-OH) bağlı olan en az bir aromatik halka (C₆) bulundurmalarıdır (Sakihama vd., 2002). Bitki fenolikleri genel olarak basit fenolikler, fenolik asitler, kumarinler, flavonoidler, stilbenler, hidrolizlenebilir ve kondense taninler, lignanlar ve ligninlerden oluşur. Bitkilerde

fenolikler, fitoaleksın, tozlaştırıcılar için ilgi çekici, antioksidan, UV ışığına karşı koruyucu ajan olarak görev yapar ayrıca bitki pigmentasyonuna katkıda bulunur. Fenolikler gıdalara acılık, burukluk, renk ve koku sağlamanın yanı sıra besinlerin oksidatif kararlılığına katkıda bulunurlar (Shahidi ve Naczk, 2004).

Fenoliklerin bitkilerin doku, hücre ve hücre altı yapılarındaki dağılışı tekdüze değildir. Çözünmeyen fenolikler hücre çeperinde bulunurken çözünebilir fenolikler hücre vakuollerinde bulunur (Pridham, 1960; Beckman, 2000; Towers, 1964; Wink, 1997).

Tahıllarda fenolik asitler ve flavonoidler serbest ve bağılı formlarda bulunur. Fenolik asit ve flavonoidler tahıllarda en yüksek alevron tabakasında bulunur ayrıca embriyo ve tohum kabuğunda da bulunur (Shirley, 1998).

Arpa fenolikleri tirozin, tiramin ve onun türevlerini, fenolik asitleri, fenolik asit ester ve glikozitlerini, antosiyaninleri, proantosiyaninleri, lignan ve lignin ile ilgili maddeleri içerir (Briggs, 1978; Salomonsson vd., 1980; Yu vd., 2001). Fenolik asitler çoğunlukla tanelerin dış tabakasında (alevron, perikarp ve kabuk gibi) bulunur (Hernanz vd., 2001; Nordkvist vd., 1984).

1.4.2.2. Flavonoidler

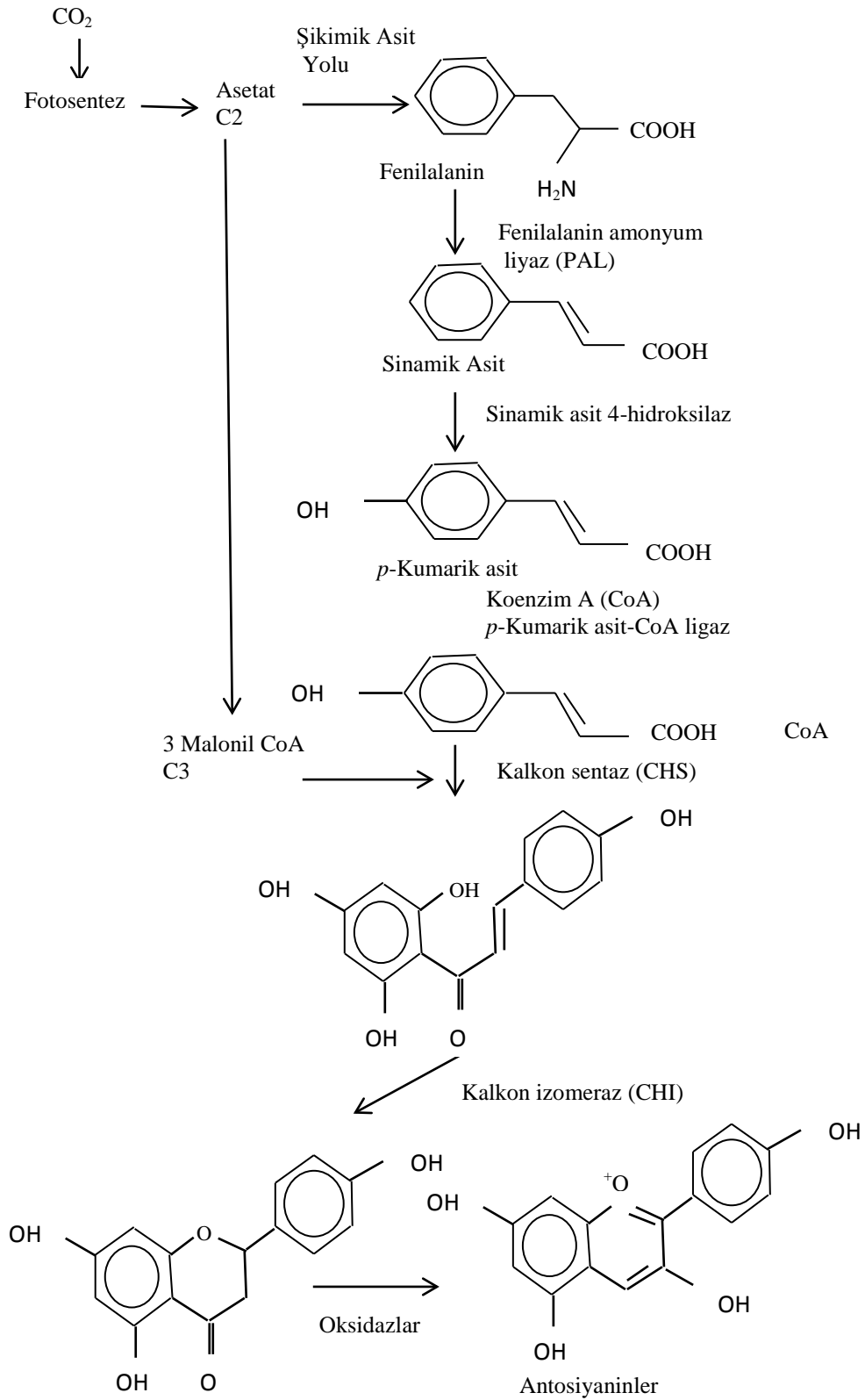
Flavonoidler fenolik bileşiklerin geniş bir alt grubudur. Şimdiye kadar 6,500'den fazla flavonoid türevi tanımlanmıştır. Hücre sitozolünde sentez edilirler. Son ürünler hidrofilik ise vakuollerde, lipofilik ise epidermal hücrelerde biriktirilir veya kökler aracılığı ile dış ortama verilirler. Flavonoidlerin sentezindeki anahtar öncü maddeler fenilalanin ve malonil-CoA'dır. Fenilalanin şikimat yolu ile, malonil-CoA ise trikarboksilik asit döngüsü (TCA) ile üretilirler (Samanta vd., 2011).

Flavonoidler bitkinin yaşaması için zorunlu değildir, ancak biyolojik olarak aktiflerdir. Bitkileri çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı korurlar ve bitki ve çevresi arasındaki ilişkiyi düzenlemede önemli role sahiplerdir (Pourcel vd., 2007). Sinyal molekülü olarak işlev görürler (Peer ve Murphy, 2006), fitoaleksınler, zehirsizleştirme ajanı, sporları çimlendirmede teşvik edici, kuraklık direncini arttırıcı, UV-filtre edici, tozlaştırıcıları teşvik edici ve allelokimyasal ajanları olarak görev yaparlar, tohum çimlenmesinde önemli aktivitelere sahiptirler (Shirley, 1998; Samanta vd., 2011). Ayrıca bitki hormonu olan oksinin taşınmasında da etkin role sahip oldukları rapor edilmiştir (Buer vd., 2010).

Flavonoidlerin biyolojik etkileri onların kimyasal yapılarına bağlıdır. Kimyasal yapıları onların C2 pozisyonundaki hidroksil grubuna C2=C3 çift bağına, 4-karbonil grubuna ve B halkasının yapısal biçimine bağlıdır (Pietta, 2000). Flavonoidler kimyasal yapılarına göre 1)Flavonoller (örneğin kuersetin), 2)Flavanoller (örneğin kateşin) ve 3)Antosiyaninler olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Robards vd., 1999).

1.5. Antosiyaninler (Asn)

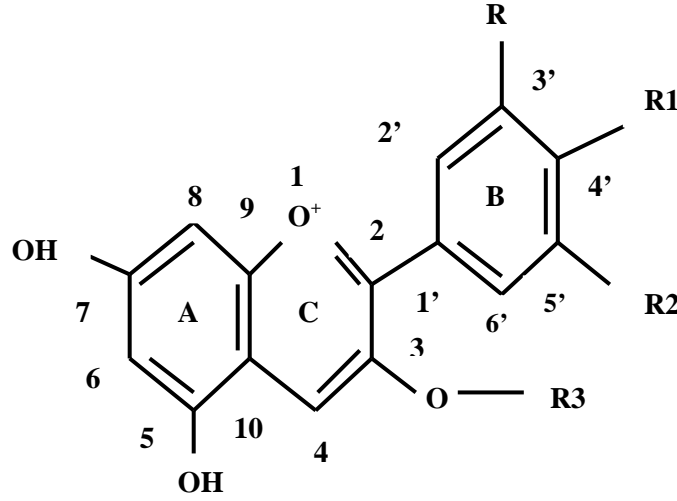
Doğal olarak meyve ve sebzelerde bulunan Asn'ler (Yunanca; antos=çiçek, kyanos=mavi) şikimik asit yoluyla flavonoidlerden türevlenirler ve flavonoidlerin çok geniş ve yaygın bir grubunu oluştururlar (Pazmiño-Durán vd., 2001). Şekil 1.6 genel bir antosiyanin biyosentez yolunu göstermektedir.



Şekil 1.5. Bitkilerde antosiyanin biyosentezinin metabolik yolu (Sullivan, J., 1998)

Üzüm (*Vitis vinifera*), yaban mersini (*Vaccinium sp.*), mısır (*Zea mays*) ve mor lahana (*Brassica oleracea* var. *Ruber*) gibi meyve ve sebzelerin parlak kırmızı, mavi ve mor renklerinden sorumludurlar. Renkler şelatlanmış metal iyonlarının varlığına ve pH'a bağlıdır. Suda çözünebilirler ve hücre vakuollerinde biriktirilirler (Harborne ve Grayer, 1988). Diğer flavonoidlerden farklı olarak asidik çözeltilerde pozitif yüklüdürler (Mazza, 1995).

Antosiyanidinler oksijen içeren heterosiklik bir halka (C), bu halkaya bağlı bir aromatik halka (A) ve C halkasına karbon-karbon (C-C) bağıyla bağlı üçüncü bir aromatik halkadan (B) oluşur. Bu yapı aglikon formudur ve aglikon yapı şeker eklentisi içerirse glikon yapı yani antosiyaninler meydana gelir. Şimdiye kadar beş yüzden fazla antosiyanin çeşidi ve yirmi üçten fazla antosiyanidin çeşidi rapor edilmiştir (Kong vd., 2003; Castañeda-Ovando vd., 2009) ancak antosiyanidinlerin yalnızca 6 türü (Dp, Pt, Cy, Pg, Pn, Mv) bitkilerde yaygın olarak bulunur (Şekil 1.6 ve Tablo 1.1) (Clifford, 2000).



Şekil 1.6. Antosiyanidinlerin kimyasal yapısı (Hou vd., 2004)

Tablo 1.1. Bitkilerde yaygın olarak bulunan altı antosiyanidin

Antosiyanidinler	R	R2
Delfinidin (Dp)	OH	OH
Petunidin (Pt)	OCH ₃	H
Siyanidin (Cy)	OH	H
Pelargonidin (Pg)	H	H
Peonidin (Pn)	OCH ₃	H
Malvidin (Mv)	OCH ₃	OCH

Bu altı antosiyanidinlerin bitkilerdeki genel dağılımı; Cy %50, Dp %12, Pg %12, Pn %12, Pt %7 ve Mv %7'dir. Doğada daha yaygın glikozit türevleri 3-monosid, 3-biosid ve 3,5- ve 3,7-diglikozittir. 3-glikozit türevlerinin varlığı 3,5-diglikozit türevlerinden 2,5 kat daha sık bulunur ve doğada en çok bulunan antosiyanin Cy-3-glikozittir (Kong vd., 2003).

Antosiyaninlerin yapılarındaki farklılıklar 1) aglikon iskeletinde bulunan hidroksil ve metoksil eklentilerinin sayısı ve pozisyonu 2) antosiyanidin iskeletine bağlı şeker eklentilerinin pozisyonu ve sayısı 3) bu grupların açılması ile meydana gelmektedir (Şekil 1.6 ve 1.7) (Lea, 1988).

Antosiyaninlerin kimyasal yapıları sayesinde birçok aktif madde ile reaksiyona girebilirler. Yapılan çeşitli çalışmalar antosiyaninlerin antioksidan özelliklerini doğrulamaktadır. Antosiyaninler fenolik yapıları sayesinde O₂⁻, H₂O₂ ve OH⁻ gibi ROT'ları temizleyebilme yeteneğine sahiptirler (Wang ve Jiao, 2000). Özellikle C halkasındaki 3. karbon atomuna ve B halkasındaki 3' ve 4'. karbon atomlarına bağlı hidroksil grupları sayesinde antioksidan özellik gösterirler. Ayrıca C halkasında bulunan hidroksil grupları sayesinde antosiyaninler şelasyon sağlarlar. Aromatik hidroksi asitlerin şeker eklentileri ile açılması sayesinde antioksidan özellikleri artmaktadır (Seeram ve Nair, 2002). Antosiyaninler ile vitamin E (α -tokoferol), vitamin C (askorbik asit) ve β -karoten gibi yaygın olarak bilinen antioksidan bileşikler karşılaştırıldığında antosiyaninlerin daha yüksek antioksidan özellik gösterdikleri belirlenmiştir (Kowalczyk vd., 2003).

1.6. *Hordeum vulgare* L. (Arpa)

İnsan beslenmesinde çok önemli bir yere sahip olan tahıl grubu arasında yer alan arpa neolitik dönemden itibaren insan tarafından önemli bir besin kaynağı olarak tüketilmiştir. Ancak bugün daha çok hayvan yemi ve bira yapımında kullanılmaktadır. Asya ve kuzey Afrika'daki bazı kültürlerde arpanın gıda sektöründeki yeri eski çağlardan beri değişmese de 1980'li yıllarda Avrupa ve Amerika'da besin değerinin yeniden anlaşılmasıyla gıda sektöründe tekrar yer almaya başlamıştır. Bugün dünyada ekimi yapılan arpanın % 65'i hayvan yemi olarak, % 33'ü maltlık olarak bira ve viski yapımı ile biyodizel üretiminde, % 2'si de insan besini olarak gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Ülkemizde ise tüketimin % 90'ı hayvan yemi olarak, kalan kısmı maltlık olarak bira sanayinde ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır (Baik ve Ullrich, 2008; Schulte vd., 2009; Pourkheirandish ve Komatsuda, 2007; Forster vd., 2000; Cho ve Dreher, 2001).

Poaceae (Gramineae) familyasına ait olan arpa (129 milyon ton), dünyada ekimi yapılan ürünler arasında kuru madde üretiminde mısır (604 milyon ton), buğday (549 milyon ton), pirinç (424 milyon ton) ve soya fasulyesinden (175 milyon ton) sonra beşinci sırada bulunmakta ve şeker kamışı (92 milyon ton), patates (60 milyon ton) ve darı (50 milyon ton) gibi pek çok önemli tarım ürününden önce gelmektedir (FAO, 2007). Ülkemizde arpa (%26) buğdaydan (%67,5) sonra üretimde ikinci sırada yer almaktadır ve 2008 verilerine göre yıllık üretimi yaklaşık 6 milyon tondur (TUİK, 2008).

Hemen her koşula kolaylıkla adapte olmakla beraber dondurucu soğuk ve aşırı sıcaklık arpanın yaşamı için risk faktörleridir. Sıcaklığı 0°C'nin altına düşmeyen ve 18-20°C'nin üzerine çıkmayan, nispi nemi %70-80 olan yerler arpanın yetişmesi için çok uygun yerlerdir. Arpa geniş toprak çeşitliliğine de sahiptir ve diğer bir serin iklim tahılı olan buğdaya göre kuru, tuzlu ve fakir topraklara daha toleranttır (Baik ve Ullrich, 2008; Percival, 1921).

1.7. Ayı Üzümü (*Vaccinium myrtillus* L.)

Vaccinium sp. Ericaceae familyasına ait bir bitki olup Türkçede "ayı üzümü" olarak bilinir (Güner vd., 2012). Ilıman iklimlere adapte olmuş *Vaccinium* sp. bitkisinin meyveleri

üzümsüdür. Türkiye’de doğal olarak yetişen ayı üzümü türleri *Vaccinium arctostaphylos*, *Vaccinium myrtillos*, *Vaccinium uliginosum* ve *Vaccinium vitis-idea*’dır (Cüce vd., 2013). Dünyada Bluberry olarak bilinen ayı üzümü ilk olarak 1906 yılında Amerika’da kültüre alınmıştır (Çelik vd., 2012) ve tıbbi bitki olarak değerlendirilen ayı üzümünün ticari üretimine Türkiye’de 2000’li yıllarda başlanmıştır. Ayı üzümünün üretimi 2009 verilerine göre Türkiye’de 60 tona ulaşmışken Dünya da toplam 311.959 tondur (Çelik, 2008).

Antioksidan ve fenolik içeriği yüksek olduğu bilinen ayı üzümünün kalp sağlığını koruma, mide ve bağırsak rahatsızlıklarını giderme, romatizmal hastalıklar ile ağız içi yaralarını iyileştirme, beyin fonksiyonlarını düzene sokma ve hafıza kayıplarını engelleme gibi insan sağlığı açısından birçok faydası olduğu bilinmektedir. Taze meyve ve sebzeler arasında antioksidan kapasitesi en yüksek meyvenin ayı üzümü olduğu tespit edilmiştir. Yüksek oranda fenolik bileşik içermekle beraber temel bileşenlerinin antosiyanin olduğu bilinmektedir. Ayı üzümü meyvelerinde renk maddelerinin birikmesi ile antioksidan kapasitenin, fenolik madde ve antosiyanin miktarının arttığı ve ayrıca ayı üzümü çeşitlerinin antioksidan içeriği ile antosiyanin veya toplam fenolik madde miktarı arasında lineer bir ilişkinin olduğu saptanmıştır (Çelik vd., 2012).

Ayı üzümü meyvelerinde en az beş farklı antosiyanidin bulunmaktadır. Türkiyede on farklı populasyondan toplanmış ve tezimizde ham antosiyanin özütü olarak kullandığımız *Vaccinium myrtillos* L. meyveleri delfinidin, siyanidin, petunidin, peonidin ve malvidin antosiyanidinlerini içermektedir. Bahsedilen antosiyanidinlerin meyvelerdeki içeriklerine bakıldığında en yüksek miktarda siyanidin ve delfinidin antosiyanidinlerinin olduğu tespit edilmiştir (sırasıyla 879, 905, 379, 183 ve 306 mg/100g kuru ağırlık) (Primetta vd., 2013)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Bitki Materyalinin Sağlanması ve Tohumların Çimlendirilmesi

Hordeum vulgare L.'nin Erginel-90 çeşidine ait tohumlar Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden ve Akhisar-98 çeşidine ait tohumlar Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Tohumlar öncelikle çamaşır suyu (%5 sodyum hipoklorid) ile 15 dakika sterilize edildi ve saf su ile iyice yıkandı. Daha sonra tohumlar nemli iki kurutma kağıdı arasında petrilere yerleştirildi ve 22°C ve %70 nem içeren kontrollü şartlarda üç gün karanlığa maruz bırakılarak çimlenmeleri sağlandı. Üçüncü günün sonunda deney 5 parametrelili olarak düzenlendi; I: Kontrol; II: 50 µM Asn; III: İyonize radyasyon (10 Gy); IV: İyonize radyasyon > 50 µM Asn; V: 50 µM Asn> İyonize radyasyon. Beşinci gün sonunda morfolojik ölçümler için her bir çeşide ait 30 örneğin kök ve sürgünlerin boyları ölçülerek fotoğraflandı. Fotoğraflamanın ardından örnekler kök ve sürgünleri ayrı ayrı olmak üzere hasat edilerek -80°C'de saklandı.

2.2. Ayı Üzümü (*Vaccinium myrtillus* L.) Meyvelerinden Antosiyanin Özütünün Hazırlanması

Asn ekstraları Giusti vd. (1999)'ye göre biraz değiştirilerek yapıldı. *Vaccinium myrtillus* meyveleri sıvı azot ile muameleden sonra havanda tohumlar zedelenmeden 30 ml su ile homojenize edildi. Özütler 7000 g'de 20 dk ve +4°C'de santrifüj edildi. Katı-faz ekstraksiyonu C-18 Max minikolon (500 mg/3ml; GRACE) kullanılarak Giusti vd. (1999)'ne göre yapıldı. Asidik metanol ile elue edilen antosiyanin fraksiyonu rotary evaporatörde metanolü su fazı kalana kadar uçuruldu. Bu faz liyofilizatörde tamamen kurutuldu ve kuru örnekler kullanılmak üzere -20°C'de saklandı.

2.3. Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerine İyonize Radyasyon Uygulanması

Karanlıkta çimlendirilen 4 günlük arpa çeşitlerinin 1)İyonize radyasyon (10 Gy), 2) İyonize radyasyon > 50 µM Asn, 3)50 µM Asn> İyonize radyasyon grupları, lineer hızlandırıcı (LINAC) kullanılarak (Trabzon Kanuni Eğitim ve Araştırma Hastanesi,

Radyasyon Onkolojisi) 10 Gy (285 MV/dk) dozunda iyonize radyasyona maruz bırakılmıştır.

2.4. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Büyüme Parametrelerinin Belirlenmesi

Beşinci günün sonunda ayrı ayrı çimlendirilmiş olan arpa çeşitlerinin her bir parametresi için 30'ar bitki örneği seçilerek kök ve sürgün boyları ölçülmüştür.

2.5. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

2.5.1. Enzim Özütlerinin Hazırlanması

Arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerinden alınan örnekler sıvı azot yardımıyla havanda toz haline getirildi. %1 (w/v) polivinilpolipirolidon (PVPP) ve 1 mM etilendiamintetraasetikasit (EDTA) içeren 50 mM fosfat tamponu (pH 7,0) ile homojenize edildi. APX ekstraksiyonu için 2 mM askorbat içeren tampon kullanıldı. Elde edilen özüt +4°C'de 20.000 rpm'de 20 dk santrifüj edildi. Santrifüj sonunda oluşan üst kısım enzim aktivitelerinin ölçülmesinde kullanıldı.

2.5.2. Protein Miktarının Belirlenmesi

2.5.2.1. Protein Özütünün Hazırlanması

Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerinden 0,5 g alınarak 4 ml fosfat tamponu (pH 7) ile homojenize edildi. Homojenat +4 °C 10000 rpm'de 15 dk. santrifüj edildi. Bu işlemlerden sonra elde edilen süpernatant protein miktarı tayini için kullanıldı.

2.5.2.2. Çözünabilir Protein Tayini

Çözünabilir protein tayini Bradford (1976) metoduyla yapıldı. Protein tayini için 100 ml' sine 0,01 µg protein ihtiva eden standart BSA (Bovin Serum Albumin) çözeltisinden tüplere 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 ve 1,6 ml alındı. 0,05 M fosfat tamponu ile tüm tüplerin hacmi 2 ml'ye tamamlandı. Tüpler vortekse karıştırıldı. Daha sonra 595 nm'de köre karşı absorbans değerleri okundu. Kör olarak 2 ml tampon ve 1,5 ml boya çözeltisi kullanıldı. 595 nm'de okunan absorbanslara karşılık gelen µg protein değerleri belirlendi.

Numunedeki çözünabilir protein miktarını belirlemek için hazırlanan protein özütünden 0,1 ml alınarak üzerine 0,05 M fosfat tamponu ilave edildi ve 1,5 ml Coomassie reaktifi kullanılarak vortekste karıştırıldı. Daha sonra 595 nm' de spektrofotometrede absorbansları ölçüldü. Numunedeki protein miktarları mg protein/g taze ağırlık olarak ifade edildi.

2.5.3. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesinin Belirlenmesi

SOD aktivitesi Beauchamp ve Fridovich (1971) metodunun Dhindsa ve Matowe (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 3ml'lik küvete ilave edildi. Riboflavin en son koyuldu 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.

2.5.4. Peroksidaz Aktivitesinin (POD) Belirlenmesi

Guaiakol bağımlı peroksidaz 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 spesifik enzim aktivitesi mg protein başına dakikada tüketilen µmol mL⁻¹ H₂O₂ olarak ifade edildi.

2.5.5. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesinin Belirlenmesi

APX aktivitesinin tayini Nakano ve Asada (1981)'ya göre yapıldı. Reaksiyon karışımı 50 mM sodyum fosfat tamponu (pH 7,0), 250 µM askorbat, 5 mM H₂O₂ ve enzim özütünden ibarettir. Askorbatın oksidasyonu ile beraber 290 nm'de 3 dk boyunca absorbansta meydana gelen düşüş izlenmektedir. 1 ünite APX aktivitesi, dakikada okside olan 1 mmol mL⁻¹ askorbat olarak ifade edildi. Sonuçlar mg protein başına enzim ünitesi olarak verilmiştir.

2.5.6. Glutatyon Redüktaz (GR) Aktivitesinin Belirlenmesi

GR aktivitesi Foyer ve Halliwell (1976)'nin metoduna göre 340 nm'de absorbanstaki düşüşün kaydedilmesi ile belirlendi. Enzim aktivitesi tayini için 50 mM NADPH, 0,5 mM EDTA ve enzim özütü içeren reaksiyon karışımındaki GSSG miktarındaki azalmanın 3 dk. süre ile ölçülmesi sonucu belirlendi. Enzim aktivitesi, dakikada indirgenen 1 mmol mL⁻¹ GSSG miktarı olarak ifade edildi. Sonuçlar mg protein başına enzim ünitesi olarak verilmiştir.

2.6. İyonize Radyasyon ve Antosiyanin Uygulanan Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Toplam Fenolik Madde (TFM), Toplam Flavonoid ve Antioksidan Aktivitenin Belirlenmesi

2.6.1. Toplam Fenolik Madde, Toplam Flavonoid Bileşikleri ve Antioksidan Aktivitenin (DPPH) Belirlenmesi İçin Özütlerin Hazırlanması

1 gram yaş örnek %80 metanol içerisinde 5 dk kaynatıldı. Örnekler havanda ezilerek homojen hale getirildi ve 10.000 g'de 15 dk oda sıcaklığında santrifüj edildi. Santrifüj sonunda üst kısımlar alındı ve örnekler ölçüm yapılana kadar -20°C'de saklandı.

2.6.2. Toplam Fenolik Madde (TFM) İçeriğinin Belirlenmesi

Toplam fenolik madde (TFM) içeriği Slinkard and Singleton (1977) metodunun modifiye edilmesi ile Folin-Ciocalteu (FC) reaktifi kullanılarak belirlendi. 500 µl örnek üzerine 500 µl saf su, 100 µl FC ve 2 ml sodyum karbonat (Na₂CO₃) eklendi ve hazırlanan karışım UV spektrofotometrede 750 nm'de ölçüldü ve toplam fenolik madde 100 gr meyvedeki mg gallik asit olarak ifade edildi.

2.6.3. Toplam Flavonoid İçeriğinin Belirlenmesi

Toplam flavonoid içerik Huang vd. (2004) metodunun modifiye edilmesi ile belirlendi. 500 µl örnek üzerine 500 µl %2'lik AlCl₃ eklendi. Karışım 415 nm'de ölçüldü. Toplam flavonoid 100 gr meyvede mg kuersetin olarak ifade edildi.

2.6.4. 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) Radikal Temizleme Aktivitesinin Belirlenmesi

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

2.7. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Miktarının Belirlenmesi

H₂O₂ içeriğinin belirlenmesi Liu vd. (2000)'nin metoduna göre yapılmıştır. 1'er gram yaş örnek %5 trikloroasetik asit içerisinde homojenize edildikten sonra 10.000 g'de +4°C'de santrifüj edildi. 1 ml özüt üzerine 0.5 ml %0.1 TiCl₄ ilave edildi ve 410 nm'de reaksiyon karışımının absorbans değeri ölçüldü. Sonuçlar µmol/g H₂O₂ olarak ifade edildi.

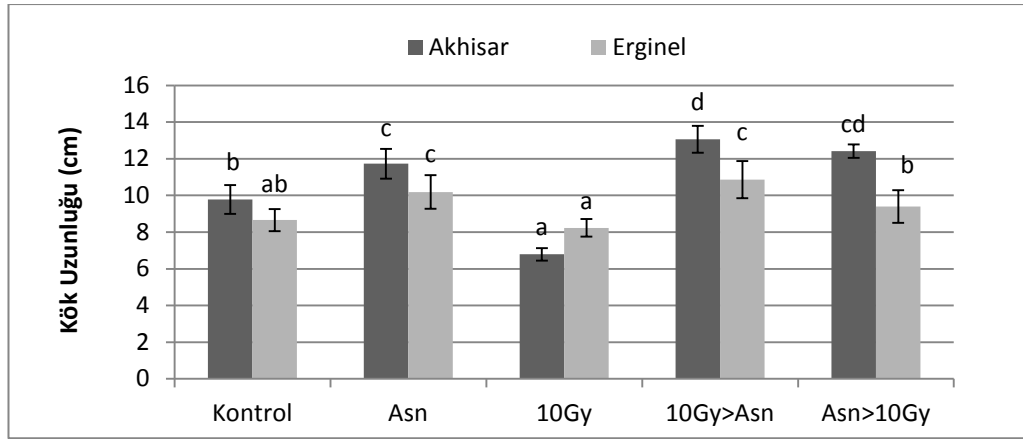
2.8. İstatistiksel Analizler

Bütün denemeler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirildi. Analizlerin sonucunda elde edilen veriler Statistical Package for Social Sciences (SPSS for Windows 10.0) paket programı içerisinde yer alan Tek-Yönlü Varyans Analizi (One-way ANOVA) ile analiz edilerek, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortalamalar arasındaki farklar P<0,005 önemli olarak tespit edilmiştir.

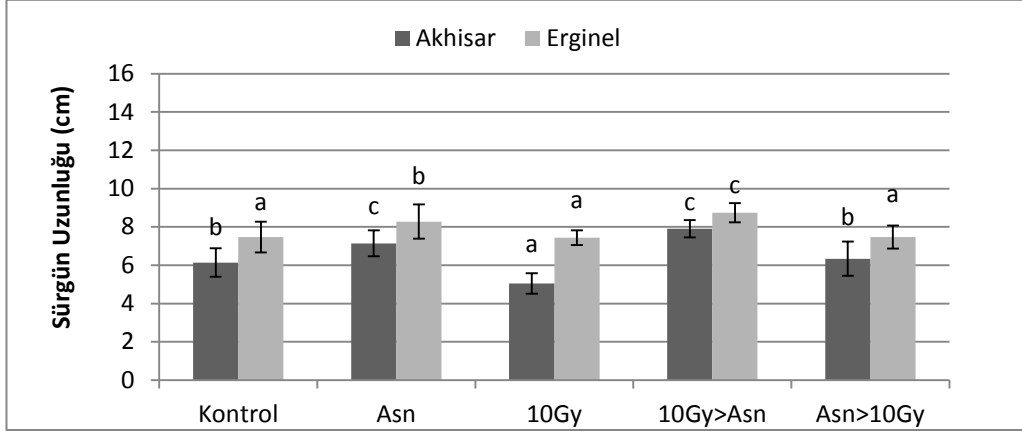
3. BULGULAR

3.1. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgün Uzunluklarına Ait Büyüme Parametreleri

İyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgün uzunlukları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Arpa çeşitlerinin bu uygulamalara ait morfolojik görünümleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.1. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin kök uzunluklarına olan etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P < 0,05$; $n=3$)



Şekil 3.2. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgün uzunluklarına olan etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)

Her iki arpa çeşidi iyonize radyasyona maruz bırakıldığında, Akhisar-98 çeşidinde kök ve sürgün uzunluklarında istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) derecede azalma belirlenmiştir. Akhisar çeşidinin kök uzunluğunda kontrol grubuna göre %31 ($9,8 \text{ cm} > 6,8 \text{ cm}$) ve sürgün uzunluğunda ise %18 ($6,1 \text{ cm} > 5,1 \text{ cm}$) oranında bir azalma kaydedilirken Erginel çeşidinin kök ve sürgün uzunluklarında ise kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) azalma kaydedilmemiştir (kontrol grubuna göre kök uzunluğunda %4 ve sürgün uzunluğunda %1 azalma). Elde edilen bu sonuçlar (Şekil 3.1 ve 3.2), köklerin 10 Gy dozundaki iyonize radyasyondan sürgünlere oranla daha fazla etkilendiğini göstermiştir.

İyonize radyasyon sonrası Asn uygulamalarında ($10 \text{ Gy}>\text{Asn}$) her iki arpa çeşidinin kök ve sürgün uzunluklarında önemli ($P<0,05$) değişimler belirlendi. Elde edilen verilere göre Akhisar çeşidinin kök ve sürgün uzunluklarında sırasıyla %34 ($9,8 \text{ cm} > 13,1 \text{ cm}$) ve %29 ($6,1 \text{ cm} > 7,9 \text{ cm}$), Erginel çeşidinin kök ve sürgün uzunluklarında sırasıyla %26 ($8,7 \text{ cm} > 10,9 \text{ cm}$) ve %17 ($7,5 \text{ cm} > 8,7$) oranında artma kaydedilmiştir (Şekil 3.1 ve 3.2).

Asn ön muamelesinde ($\text{Asn}>10 \text{ Gy}$) ise kontrol grubuna göre Akhisar çeşidinin kök uzunluğunda %27 ($12,4 \text{ cm}$) ve Erginel çeşidinin kök uzunluğunda %8 ($9,4 \text{ cm}$) artış belirlendi. Ancak her iki çeşidin sürgün uzunluklarında kontrol gruplarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark ($P<0,05$) bulunmamıştır (Şekil 3.1 ve 3.2).



Şekil 3.3. Akhisar arpa çeşidine ait morfolojik görünüm. Şekiller soldan sağa: 1) Kontrol, 2) Asn, 3) 10 Gy, 4) 10 Gy>Asn, 5) Asn>10 Gy. Ölçek = 5 cm.



Şekil 3.4. Erginel arpa çeşidine ait morfolojik görünüm. Şekiller soldan sağa: 1) Kontrol, 2) Asn, 3) 10 Gy, 4) 10 Gy>Asn, 5) Asn>10 Gy. Ölçek = 5 cm.

3.2. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulanan Arpa Çeşitlerine Ait Antioksidan Enzim Aktiviteleri

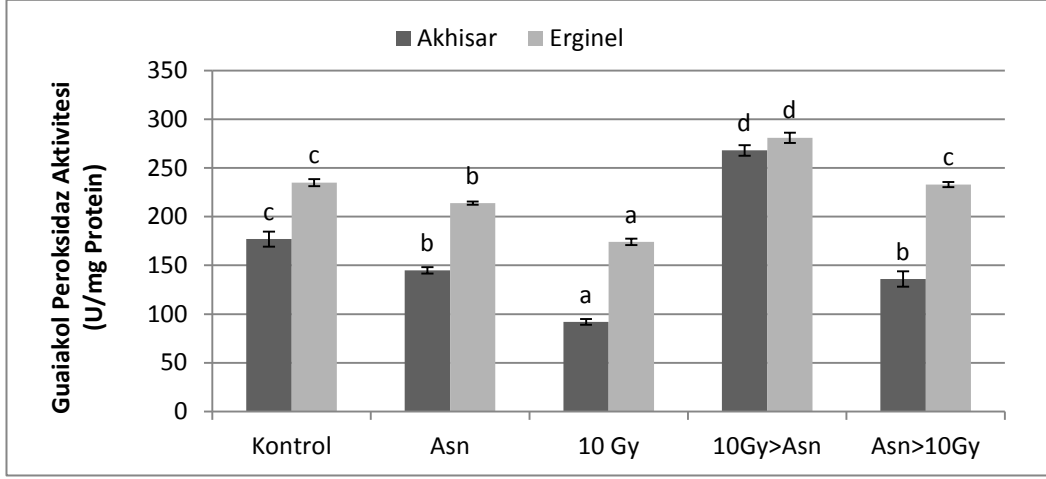
3.2.1. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Guaiakol Peroksidaz (POD) Enzimi Aktivitesine Etkisi

İyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 µM) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerindeki POD enzim aktivitesindeki değişimler Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.

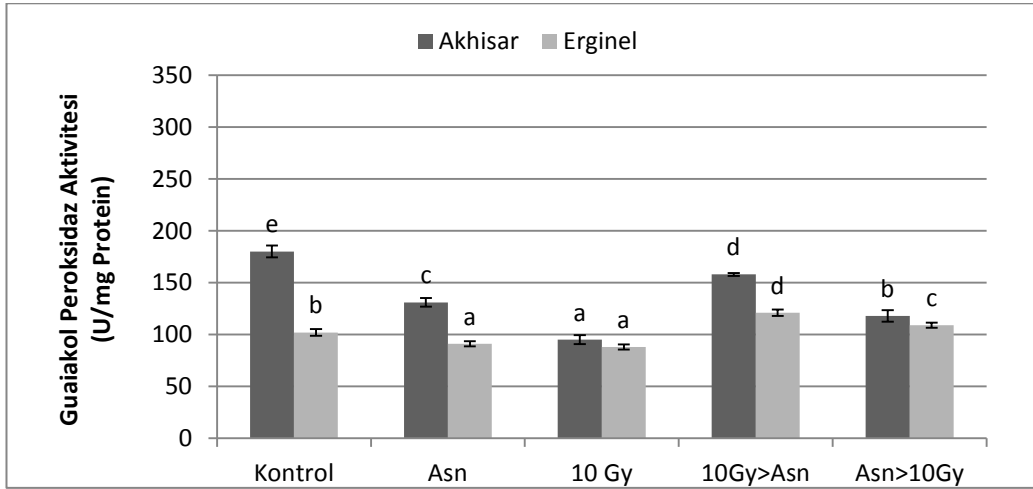
Her iki arpa çeşidinin kök ve sürgünlerinde iyonize radyasyon uygulaması ile POD enzimi aktivitesinde kontrol grubuna göre belirgin derecede azalma tespit edilmiştir. Akhisar'ın kök ve sürgünlerinde sırasıyla %48 (177 U/mg protein > 92 U/mg protein) ve %47 (180 U/mg protein > 95 U/mg protein), Erginel'in kök ve sürgünlerinde sırasıyla %26 (235 U/mg protein > 174 U/mg protein) ve %14 (102 U/mg protein > 88 U/mg protein) oranında azalma kaydedildi. Erginel'in kök ve sürgünlerindeki POD enzimi aktivitesi Akhisar'a göre daha fazla bulunmuş olup iyonize radyasyon uygulamasından daha az etkilenmiştir.

Asn ön muamelesinde (Asn>10 Gy) Akhisar çeşidinin sürgün ve köklerindeki POD enzimi aktivitesinde kontrol grubuna (sırasıyla 180 U/mg protein ve 177 U/mg protein) göre azalma (sırasıyla 118 U/mg protein ve 136 U/mg protein) belirlenirken, Erginel sürgünleri POD enzimi aktivitesinde Akhisar'dan farklı olarak kontrol grubuna (102 U/mg protein) göre %7 (110 U/mg protein) oranında artma belirlenmiştir. Ancak Erginel köklerindeki POD enzimi aktivitesinde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) bir fark belirlenmemiştir (Şekil 3.5 ve 3.6).

İyonize radyasyon sonrası Asn uygulamalarında (10 Gy>Asn) her iki arpa çeşidinin köklerinde POD enzimi aktivitesinde önemli artış (Akhisar için %51 ve Erginel için %20) belirlenmiştir. Akhisar çeşidinin sürgünlerindeki aktivite köklerdeki aktivitenin aksine %12 azalma gösterirken Erginel çeşidinin sürgünlerindeki POD enzimi aktivitesindeki artma kontrol grubuna göre %19 olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.5 ve 3.6).



Şekil 3.5 İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki POD enzim aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)



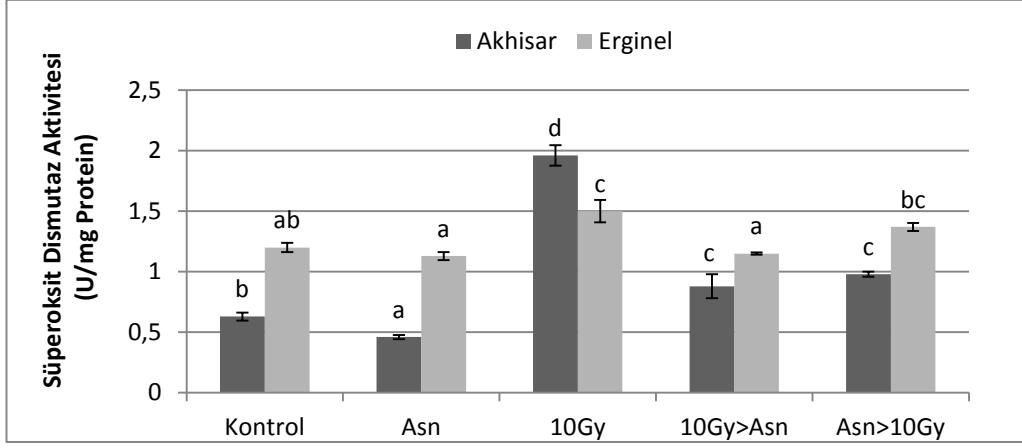
Şekil 3.6. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki POD enzimi aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)

3.2.2. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi Aktivitesine Etkisi

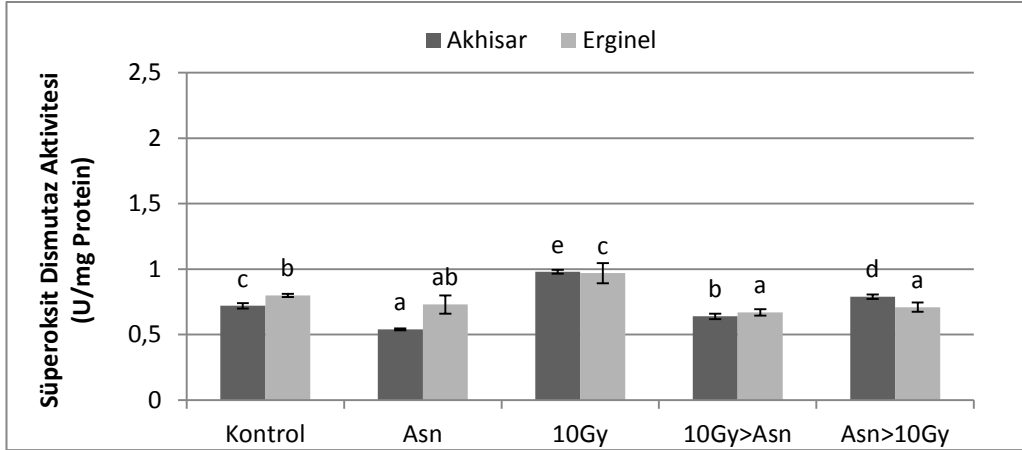
İyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerindeki SOD enzim aktivitesindeki değişimler Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiştir.

Akhisar arpa çeşidinin köklerinin SOD aktivitesinde iyonize radyasyon uygulaması ile (10 Gy) kontrol grubuna göre üç katından daha fazla artış (0,63 U/mg protein > 1,96 U/mg protein) belirlendi. Akhisar çeşidinin köklerinde ise antosiyanin ön muamelesi ile %56 (0,98 U/mg protein) ve iyonize radyasyon sonrası antosiyanin uygulaması ile %40 (0,88 U/mg protein) aktivite artışı kaydedilmiştir. Erginel çeşidi köklerinde SOD aktivitesi Akhisar çeşidi köklerine göre iyonize radyasyon uygulamasından daha az etkilenmiş ve SOD aktivitesinde %25 artış tespit edilmiştir (1,2 U/mg protein > 1,5 U/mg protein). Erginel köklerinin SOD aktivitesinde antosiyanin ön muamelesi ve radyasyon sonrası antosiyanin uygulamaları ile kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) artma belirlenmiştir (sırasıyla %15 ve %25) (Şekil 3.7).

Erginel arpa çeşidi sürgünlerinin SOD aktivitesi Asn ön muamelesi ve iyonize radyasyon sonrası Asn uygulaması ile köklerin aktivitesinden farklı değişimler göstermiştir. Sürgünlerdeki aktivitede sırasıyla %11 (0,8 U/mg protein > 0,7 U/mg protein) ve %16 (0,8 U/mg protein > 0,67 U/mg protein) azalma kaydedilmiştir. İyonize radyasyon uygulamasında ise Erginel çeşidine ait sürgünlerde SOD aktivitesinde köklerine benzer bir artış (0,17 U/mg protein artış) tespit edilmiştir. Akhisar çeşidinin sürgünlerinin SOD aktivitesinde iyonize radyasyon uygulaması ile %36 (0,26 U/mg protein artış) artış belirlenirken iyonize radyasyon sonrası Asn uygulaması ile %11 (0,08 U/mg protein azalma) azalma belirlenmiştir. SOD aktivitesi Asn ön muamelesi ile Akhisar çeşidine ait sürgünlerde kontrol grubuna göre %11 (0,07 U/mg protein artış) artış göstermiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki SOD enzim aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)



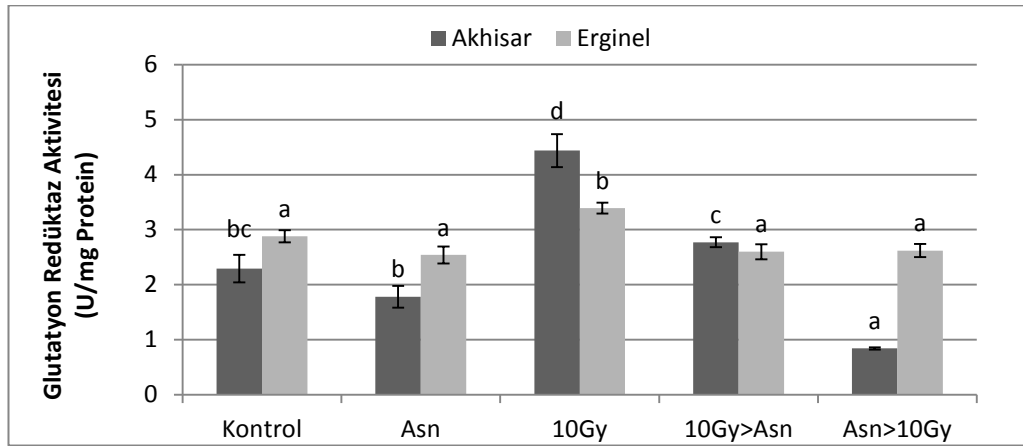
Şekil 3.8. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki SOD enzim aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)

3.2.3. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Glutasyon Redüktaz (GR) Enzimi Aktivitesine Etkisi

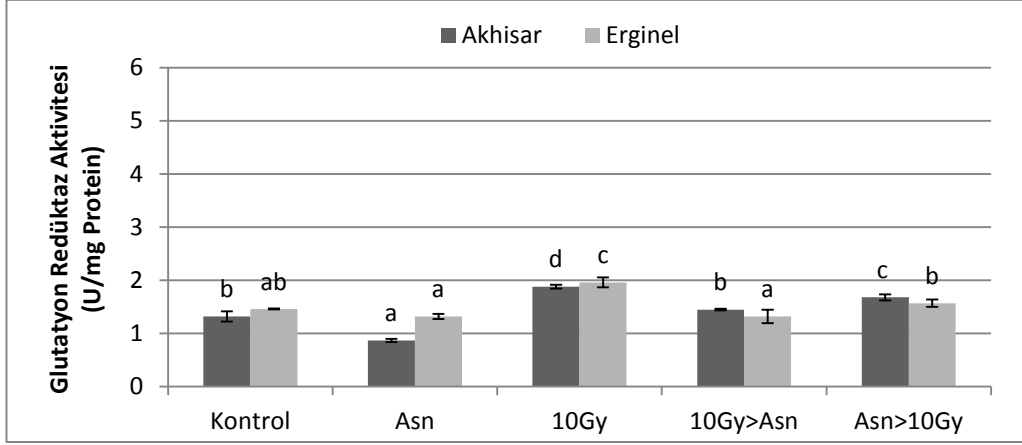
İyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerindeki GR enzim aktivitesindeki değişimler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir.

Erginel çeşidine ait sürgünlerde iyonize radyasyon uygulaması ile GR enzim aktivitesinin kontrol grubuna göre %34 (1,46 U/mg protein > 1,96 U/mg protein) arttığı, ancak iyonize radyasyon sonrası Asn uygulamasında ise %10 (0,14 U/mg protein'lik azalma) azaldığı kaydedilmiştir. İyonize radyasyon öncesi Asn uygulanan grupta ise GR enzim aktivitesinin kontrol grubuna göre %8 (0,11 U/mg protein'lik artış) arttığı kaydedilmiştir. Akhisar arpa çeşidinin sürgünlerinde ise Asn uygulanmayan radyasyon grubunda GR aktivitesi kontrole göre %45 (1,32 U/mg protein > 1,88 U/mg protein), iyonize radyasyon öncesi Asn uygulanan grupta ise %27 (0,36 U/mg protein'lik artış) arttığı belirlenmiştir. İyonize radyasyon sonrası Asn uygulanan grupta aktivite Erginel'den farklı olarak %10 (0,13 U/mg protein'lik artış) arttığı tespit edilmiştir (Şekil 3.10).

Çimlenen Akhisar arpa çeşidinin köklerinde iyonize radyasyon uygulaması sonrasında GR aktivitesi kontrol grubuna göre yaklaşık 2 kat (2,29 U/mg protein > 4,44 U/mg protein) , Erginel çeşidinde ise %18 (2,88 U/mg protein > 3,39 U/mg protein) artmıştır. GR aktivitesi Asn>10 Gy grubunda Akhisar'da %60 (1,45 U/mg protein'lik azalma) azalırken, 10 Gy>Asn grubunda %21 (0,48 U/mg protein'lik artış) artmıştır. Erginel köklerinde ise iyonize radyasyon öncesi ve sonrası Asn uygulanan gruplarda GR aktivitesinde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bir fark ($P<0,05$) bulunmamıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki GR enzim aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)



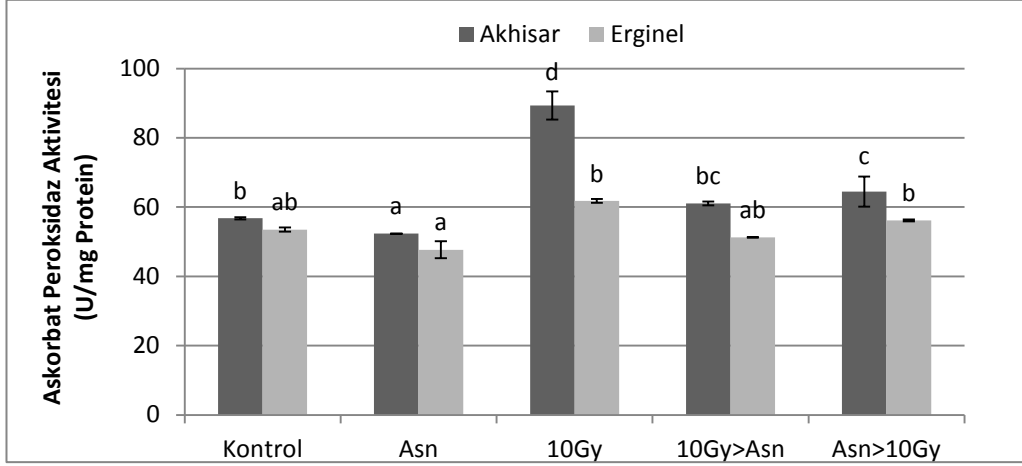
Şekil 3.10. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki GR enzim aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)

3.2.4. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Askorbat Peroksidaz (APX) Enzimi Aktivitesine Etkisi

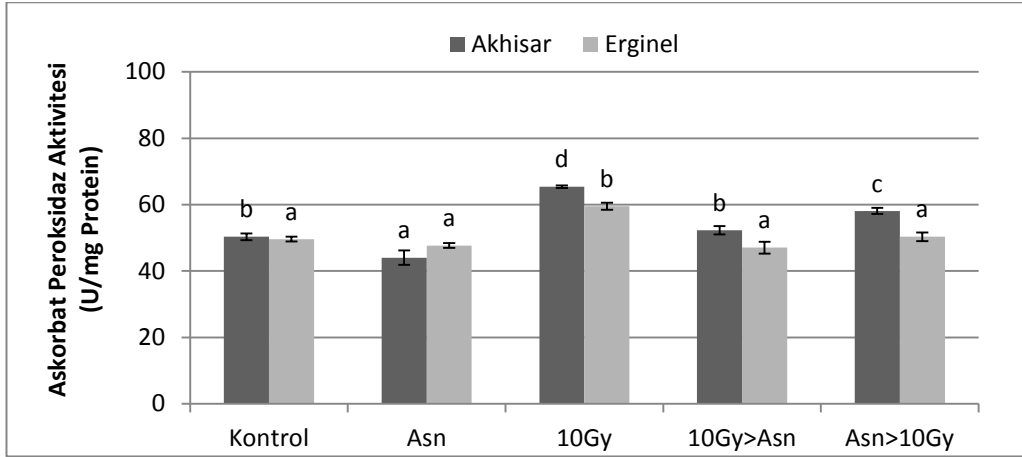
İyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerindeki APX enzim aktivitesindeki değişimler Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

APX enzim aktivitesi, Akhisar çeşidine ait köklerde iyonize radyasyon uygulaması ile kontrole göre %57 (56,8 U/mg protein > 89,3 U/mg protein) artış ve Erginel çeşidi köklerinde %16 (53,5 U/mg protein > 61,8 U/mg protein) artış belirlenmiştir. Asn>10 Gy grubunda APX aktivitesi Akhisar çeşidine ait köklerde %14 (7,8 U/mg protein’lik artma) ve Erginel çeşidi köklerinde ise %6 (3 U/mg protein’lik artma) artmıştır. 10 Gy>Asn grubunda ise Akhisar çeşidinde %8 (4,3 U/mg protein’lik artma) artış bulunurken, Erginel çeşidinde ise kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bir fark ($P<0,05$) bulunamamıştır (Şekil 3.11).

Erginel ve Akhisar arpa çeşitlerinin sürgünlerinde APX aktivitesinde iyonize radyasyon uygulaması ile sırasıyla %20 (49,6 U/mg protein > 59,6 U/mg protein) ve %30 (50,4 U/mg protein > 65,4 U/mg protein) artış kaydedildi. Ancak her iki arpa çeşidinin iyonize radyasyon öncesi ve sonrası Asn uygulanan gruplarında, Asn’nin APX aktivitesine etkisinin çok düşük olduğu belirlendi ve istatistiksel olarak önemli bir fark ($P<0,05$) kaydedilmedi.



Şekil 3.11. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki APX enzim aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)



Şekil 3.12. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki APX enzim aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)

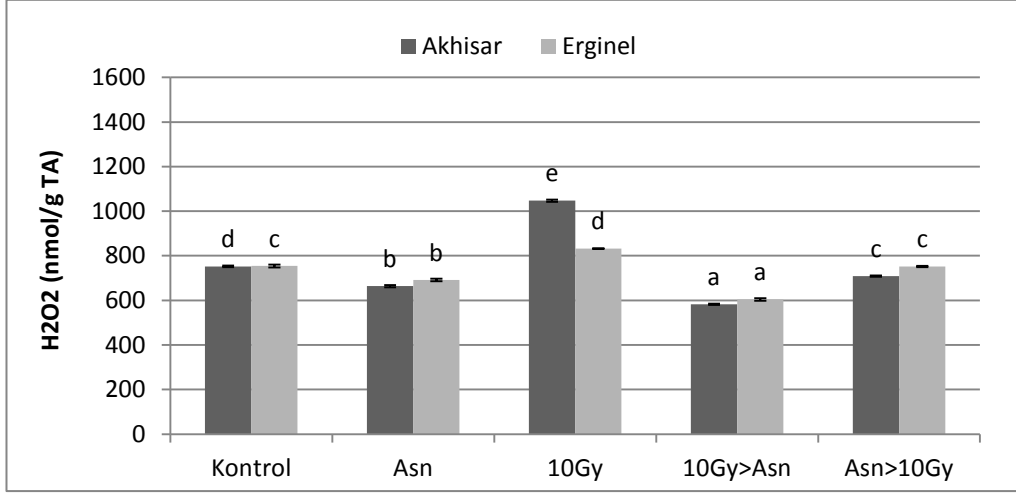
3.3. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Bulunan Hidrojen Peroksit (H_2O_2) Miktarına Etkisi

İyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerinde bulunan hidrojen peroksit miktarındaki değişimler Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir.

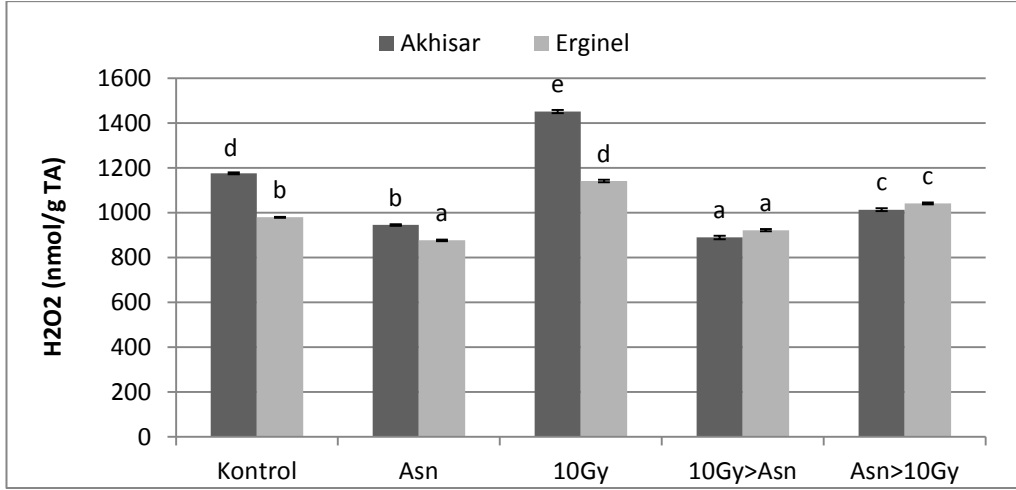
Yapılan bu çalışmada iyonize radyasyon uygulamasının her iki arpa çeşidinin kök ve sürgünlerindeki hidrojen peroksit miktarını arttırdığı ancak iyonize radyasyon öncesi ve sonrası uygulanan Asn iyonize radyasyon etkisi ile artan hidrojen peroksit miktarını azalttığı belirlenmiştir. İyonize radyasyon öncesi ve sonrası uygulanan Asn karşılaştırıldığında iyonize radyasyon sonrası uygulanan Asn'in hidrojen peroksit miktarını azaltmada iyonize radyasyon öncesi uygulanan Asn'den daha etkili olduğu kaydedildi.

Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin köklerindeki H_2O_2 miktarına bakıldığında, Asn uygulanmayan gruplarda iyonize radyasyon uygulamasının H_2O_2 miktarını kontrol grubuna göre sırasıyla %39 (752 nmol/g > 1047 nmol/g) ve %10 (754 nmol/g > 832 nmol/g) arttırdığı kaydedilmiştir. İyonize radyasyon sonrası Asn uygulanması ile H_2O_2 miktarı kontrole göre Akhisar'da %23 (170 nmol/g azalma) ve Erginel'de ise %20 (150 nmol/g azalma) azalmıştır. İyonize radyasyon öncesi Asn uygulanan gruplarda ise miktar Akhisar'da %6 (43 nmol/g azalma) azalmıştır. Erginel'de bu gruptaki H_2O_2 miktarında kontrole göre istatistiksel olarak önemli bir fark ($P<0,05$) bulunmamıştır. Ancak Asn uygulanmayan radyasyon grubu ile karşılaştırıldığında $Asn>10$ Gy grubundaki H_2O_2 miktarı %10 azalmıştır (Şekil 3.13).

Erginel arpa çeşidinin sürgünlerinde H_2O_2 miktarı, kontrol grubuna göre yalnız iyonize radyasyon uygulaması ile %17 (980 nmol/g > 1142 nmol/g) artarken $Asn>10$ Gy grubunda %6 (62 nmol/g artış) artmıştır. Ancak bu grupta H_2O_2 miktarı Asn uygulanmayan iyonize radyasyon grubuna göre %9 daha azdır. İyonize radyasyon sonrası Asn uygulanan grupta ise kontrole göre %6 (57 nmol/g azalma) azalma kaydedildi. Akhisar sürgünlerinde H_2O_2 miktarı kontrol grubuna göre $Asn>10$ Gy ve 10 Gy $>$ Asn gruplarında sırasıyla %14 (1176 nmol/g > 1014 nmol/g) ve %24 (286 nmol/g azalma) azalırken Asn uygulanmayan iyonize radyasyon grubunda %25 (276 nmol/g artış) artmıştır (Şekil 3,14).



Şekil 3.13. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki H_2O_2 miktarına etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P < 0,05$; $n=3$). TA; Taze Ağırlık



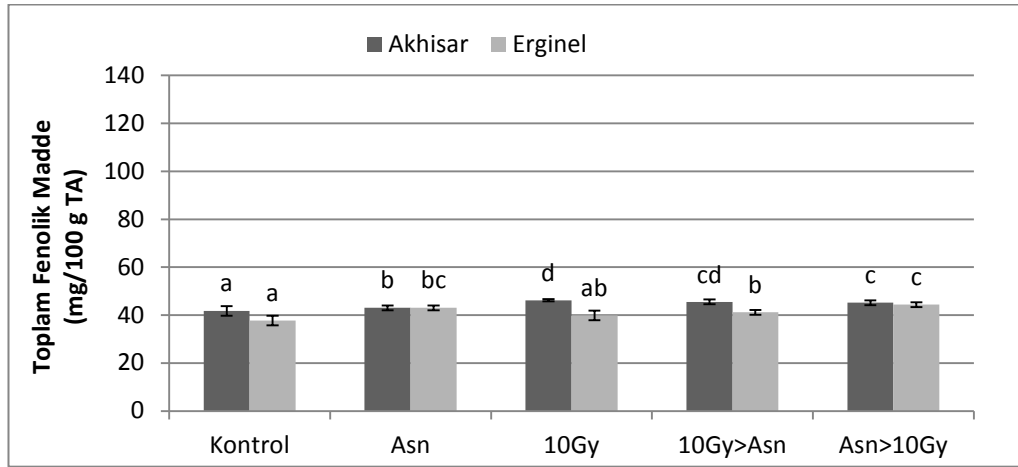
Şekil 3.14. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki H_2O_2 miktarına etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P < 0,05$; $n=3$). TA: Taze Ağırlık

3.4. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Bulunan Toplam Fenolik Madde (TFM) Miktarı Üzerine Etkisi

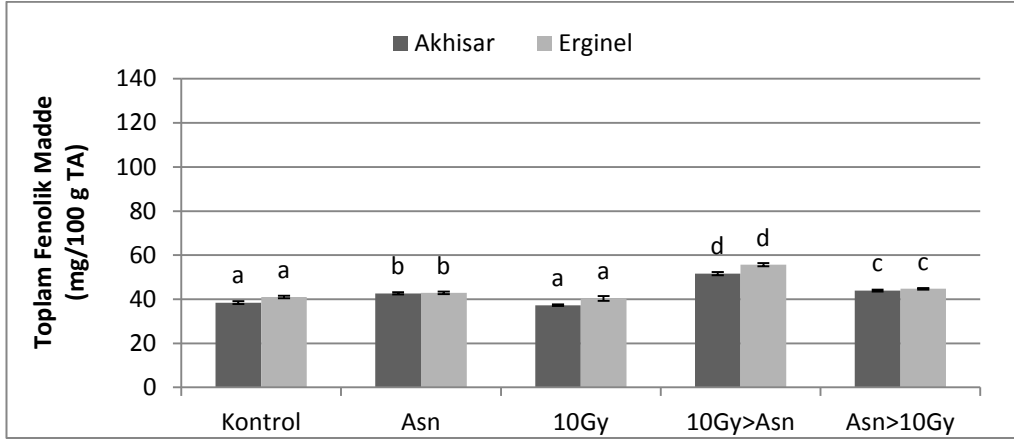
Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da iyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerindeki TFM miktarındaki değişimler gösterilmektedir.

Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin TFM miktarı karşılaştırıldığında Erginel çeşidinin köklerindeki TFM miktarı Akhisar çeşidinin köklerindeki TFM miktarına oranla daha yüksek bulundu. Çalışmamızda iyonize radyasyonun her iki arpa çeşidinin köklerindeki TFM miktarının istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) derecede artışına sebep olduğu tespit edilmiştir (Akhisar ve Erginel sırasıyla 10,2 mg/100 g ve 10,6 mg/100g TA). Miktar çimlenen Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin 10 Gy>Asn grubunda sırasıyla %21 ve %12 (76 mg/100 g > 86,2 mg/100 g ve 90 mg/100 g > 100,4 mg/100 g) , Asn>10 Gy grubunda sırasıyla %20 ve %21 (kontrolde göre 15,5 mg/100 g ve 19,2 mg/100 g artış) artmıştır (Şekil 3.15).

Yalnız iyonize radyasyon uygulanan gruplarda TFM miktarda kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) bir değişim kaydedilmedi. TFM miktarı Akhisar ve Erginel çeşidine ait sürgünlerde Asn>10 Gy grubunda sırasıyla %14 (5,5 mg/100 g artış) ve %9 (3,7 mg/100 g artış), 10 Gy>Asn grubunda ise sırasıyla %34 (13,2 mg/100 g artış) %35 (14,6 mg/100 g artış) artış tespit edilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki TFM miktarına etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$). TA: Taze Ağırlık



Şekil 3.16. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki TFM miktarına etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P < 0,05$; $n=3$)

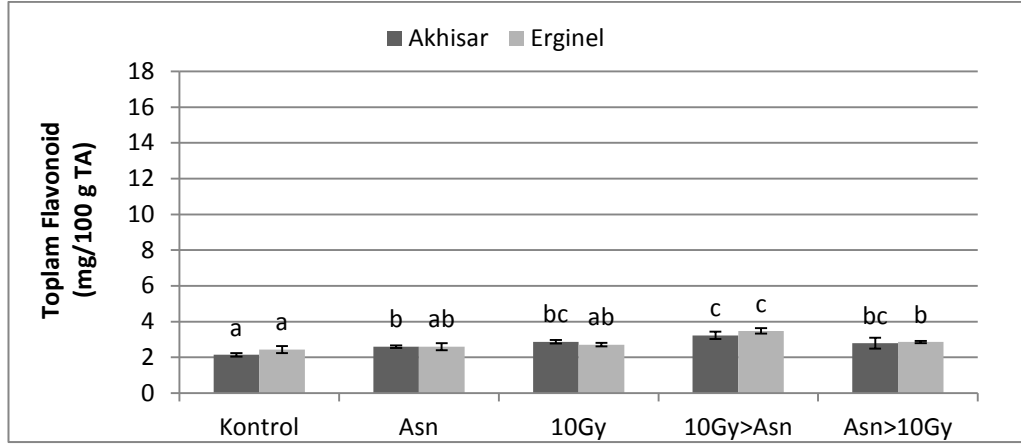
3.5. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerinde Bulunan Flavonoid Miktarı Üzerine Etkisi

İyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 μ M) uygulamalarına maruz bırakılmış Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerine ait toplam flavonoid miktarındaki değişimler Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verilmiştir.

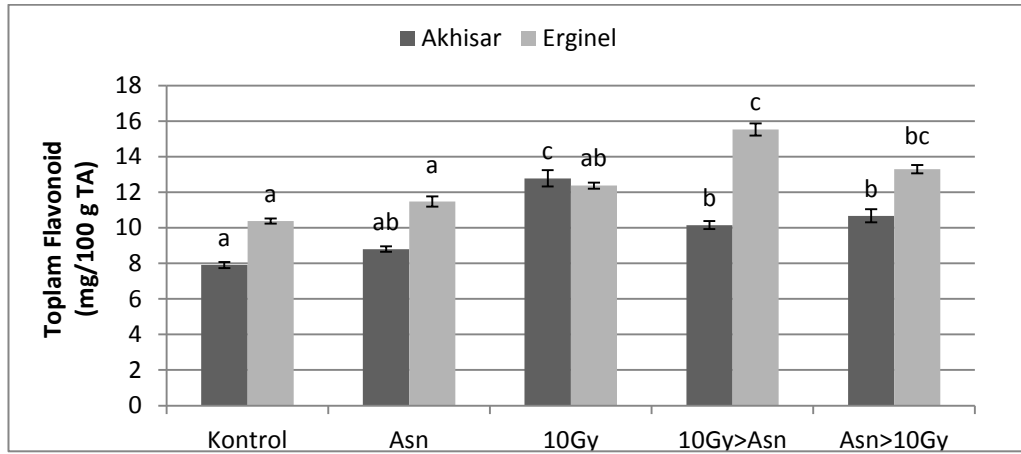
Her iki arpa çeşidinin sürgünlerine ait toplam flavonoid miktarı köklerde bulunan miktar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Akhisar çeşidinin kökleri iyonize radyasyon uygulamasından Erginel çeşidinin köklerinden daha fazla etkilenmiş ve flavonoid miktarının köklerde kontrol grubuna göre sırasıyla %34 (2,1 mg/100 g > 2,9 mg/100 g) ve %12 (2,4 mg/100 g > 2,7 mg/100 g) arttığı kaydedilmiştir. İyonize radyasyon öncesi ve sonrası Asn uygulanan gruplarda flavonoid miktarı Akhisar çeşidi köklerinde sırasıyla %31 ve %51 (0,65 mg/100 g ve 1,09 mg/100 g artış), Erginel çeşidi köklerinde ise sırasıyla %18 ve %43 (0,43 mg/100 g ve 1,05 mg/100 g artış) arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.17).

Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki toplam flavonoid miktarı 10 Gy iyonize radyasyon uygulaması ile kontrol grubuna göre sırasıyla %62 (7,9 mg/100 g > 12,78 mg/100 g) ve %19 (10,38 mg/100 g > 12,4 mg/100 g) artmıştır. Akhisar çeşidinde toplam flavonoid miktarında kontrol grubuna göre iyonize radyasyon öncesi Asn uygulanan grupta %36 (2,8 mg/100 g artış) ve iyonize radyasyon sonrası Asn uygulanan grupta ise %28 (2,24 mg/100 g artış) artış kaydedilmiştir. Erginel’de ise miktarın aynı

gruplarda sırasıyla %28 ve %50 (2,91 mg/100 g ve 5,14 mg/100 g artış) arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.17. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki toplam flavanoid miktarına etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)



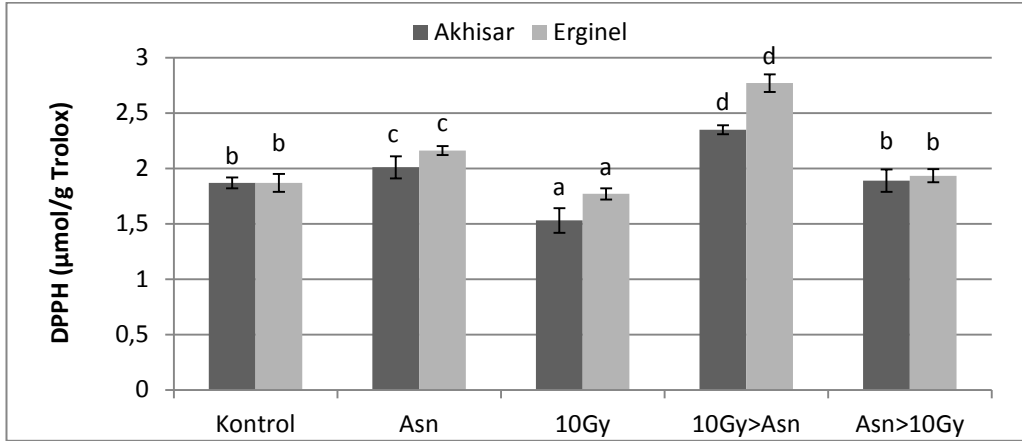
Şekil 3.18. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki toplam flavanoid miktarına etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)

3.6. İyonize Radyasyon ve Asn Uygulamalarının Arpa Çeşitlerinin Kök ve Sürgünlerindeki 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) Radikal Temizleme Aktivitesine Etkisi

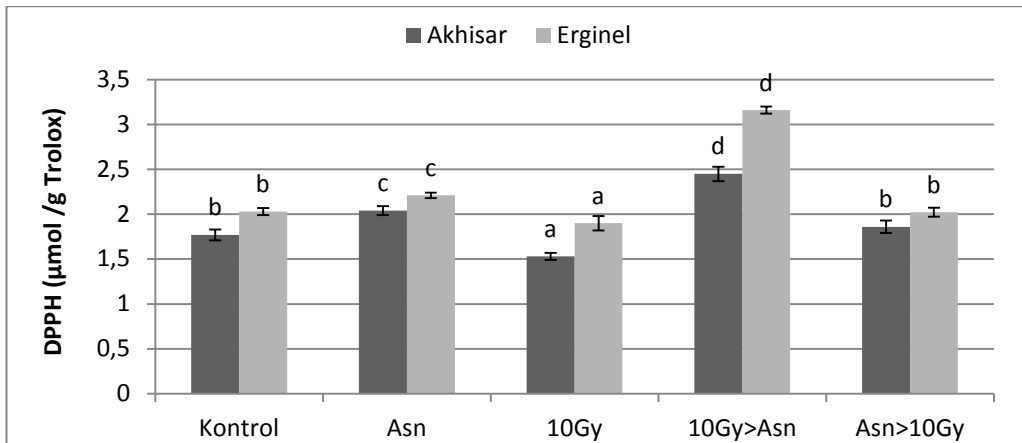
Akhisar-98 ve Erginel-90 arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerine iyonize radyasyon (10 Gy) ve Asn (50 μ M) uygulaması sonrası antioksidan aktivitede meydana gelen değişimler Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de verilmiştir.

Arpa çeşitlerinde antioksidan aktivitenin nasıl bir değişim gösterdiği incelendiğinde, her iki arpa çeşidine ait köklerdeki DPPH radikal temizleme aktivitesinin sürgünlerdeki aktiviteye göre 10 Gy iyonize radyasyondan daha fazla etkilendiği belirlenmiştir. Akhisar çeşidinin köklerindeki aktivite iyonize radyasyon uygulaması ile kontrole göre %18 (1,87 μ mol/g Trolox > 1,53 μ mol/g Trolox) azalmış ancak 10 Gy>Asn grubunda Asn uygulaması ile iyonize radyasyonun etkisi azalmış ve antioksidan aktivite kontrol grubuna göre %26 (0,48 μ mol/g Trolox artış) artmıştır. Asn>10 Gy grubunda ise aktivitede kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bir fark ($P<0,05$) belirlenemedi. Ancak 10 Gy grubuna göre aktivite bu grupta %24 daha yüksektir. Erginel çeşidine ait köklerde aktivite Akhisar çeşidine ait köklerdeki aktiviteden daha az etkilendiği ve Asn uygulanmayan iyonize radyasyon grubunda kontrole göre %7 (0,11 μ mol/g Trolox azalma) azaldığı, iyonize radyasyon sonrası Asn uygulanan grupta ise %48 (0,9 μ mol/g Trolox artış) arttığı kaydedilmiştir. İyonize radyasyon öncesi Asn uygulanan grupta ise aktivitede kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bir fark ($P<0,05$) belirlenemedi ancak 10 Gy grubuna göre aktivite %10 fazla olduğu tespit edildi (Şekil 3.19).

10 Gy grubunda Erginel sürgünlerinin DPPH radikal temizleme aktivitesinin Akhisar sürgünlerine göre (%14 azaldı) iyonize radyasyondan daha az etkilendiği ve kontrol grubuna göre %6 (2,03 μ mol/g Trolox > 1,9 μ mol/g Trolox) azaldığı belirlendi. Erginel çeşidinin sürgünlerinde iyonize radyasyon öncesi Asn uygulanan gruplarda ise aktivitede kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) bir değişim belirlenemedi. Ancak aynı çeşitte iyonize radyasyon sonrası Asn uygulanan grupta ise aktivitede %56 (2,03 μ mol/g Trolox > 3,16 μ mol/g Trolox) artış belirlendi. Daha önce yapılan çalışmalar sonucu strese daha hassas olduğu belirlenen Akhisar sürgünlerinde ise iyonize radyasyon sonrası Asn uygulanan gruplarda kontrole göre aktivitenin %38 (0,68 μ mol/g Trolox artış) arttığı kaydedildi. Ancak iyonize radyasyon öncesi Asn uygulaması ile kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) bir değişim tespit edilmedi (Şekil 3.20).



Şekil 3.19. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin köklerindeki DPPH radikal temizleme aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)



Şekil 3.20. İyonize radyasyon ve Asn uygulamalarının arpa çeşitlerinin sürgünlerindeki DPPH radikal temizleme aktivitesine etkisi. Her değer ortalama \pm standart hata olarak gösterildi ($P<0,05$; $n=3$)

4. TARTIŞMA

Dünyamızın nüfusu son yapılan istatistiklere göre yılda yaklaşık 100 milyon artmaktadır. Doğum oranının artışıyla beraber ortalama ömür yükselmesi de söz konusu nüfus artışına önemli ölçüde katkı yapmaktadır. Dünyada gıda talebi de her yıl %2 artmakta ve bu artan talebin %1,8'i nüfus artışından, %0,2'si ise artan gelir sonucu oluşan yeni talepten kaynaklanmaktadır. Son on yılda gıda talebi %20 artarken gıda üretimi %8 artmıştır. 2050 yılında oluşacak dünya nüfusunun gıda gereksinimi, mevcut gıda üretiminin iki kat artması sonucu karşılanabilecektir (Alexandrostos, 1995). Tarımsal üretimin gıda talebinin gerisinde kalmasının sebepleri; I) Sanayileşme, kentleşme ve çevresel faktörlerin etkisiyle mevcut dünya tarım alanlarının azalması, II) Yenilenebilir enerji kaynağı gereksinimin, tarım alanları ve üretimin, gıda yerine yakıt merkezli planlanması ve üretim azalmaları ile fiyat artışlarına neden olmakta, III) Küresel ısınma ve iklim değişikliği, sel ve kuraklıklara neden olmakta ve tarımsal üretimde en büyük sorunu oluşturmaktadır (Eruysal, 2012). Yapılan çalışmalar önümüzdeki yıllarda "gıda"nın dünyada ekonomik dengeleri değiştireceğini göstermektedir. İnsan nüfusunun geleceği adına gıda üretimi, gıda araştırmaları ve gıda teknolojileri temel ve öncelikli yatırım alanları olmalıdır.

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. Çevrede var olan radyasyon nispeten düşüktür, bu nedenle düşük doz radyasyonun biyolojik organizmalara olan etkisini anlamak önemlidir. İyonize radyasyonun organizmalar üzerindeki etkisini anlamak için çoğunlukla fare gibi hayvanlara dıştan radyasyon uygulanmış ya da Çernobil gibi nükleer kazalardan etkilenen insanlar incelenmiştir (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).

İnsan beslenmesinde çok önemli bir yere sahip olması, milyonlarca üreticinin yıllık gelirini sağlayan en önemli kaynak olması ve çok sayıdaki sanayi kuruluşunun ana hammaddeğini oluşturması gibi özellikleri göz önüne alındığında tahıllar, özellikle ekmek ve makarna yapımında kullanılan ve küresel tüketimde ilk sırada yer alan arpa ve buğday,

dünyadaki besin kaynaklarının merkezinde yer almaktadırlar. Bundan dolayı dünya çapında besin kaynaklarını geliştirmek veya iyileştirmek için yapılan çalışmaların başlıca kahramanları tahıllardır. Dünyada artık ekim alanları son sınırına yaklaştığı için ekim alanlarını genişleterek üretim artışını sağlamak olanaksız hale gelmiştir. Tarım ürünlerinde üretimi artırmanın en etkili yolu verimin yükseltilmesidir. Tahıllar arasında hem insan hem de hayvan besini olarak kullanılabilmesinden ve alternatif besin kaynağı olabileceğinden dolayı arpa, tarım ve hayvancılık alanında önemli işlevlere sahiptir (Baik ve Ullrich, 2008).

Antosiyaninler tahıllarda, meyve ve sebzelerde baskın olarak bulunan sekonder metabolitlerin alt grubu olan flavonoidlerin geniş bir üyesini oluşturur. Bitkiler gelişimleri boyunca ya da stres durumlarında strese karşı direnci artırmak için dokularında Asn gibi sekonder metabolitleri biriktirirler (Heloir vd., 1998; Kerstetter ve Poetig, 1998; Poetig, 2003). Gıdalarda doğal antioksidan ve renklendirici olarak bulunan Asn'ler son yirmi yılda güvenli ve potansiyel besin olmalarından ve ayrıca tedavi edici etkilerinden dolayı büyük ilgi çekmektedirler (Espin vd., 2000). Yapılan çeşitli çalışmalar meyve ve sebzelerde bulunan Asn'lerin bitkileri hasar verici ve sürekli maruz kalınan hastalıklara karşı korumaya katkıda bulunduğunu göstermiştir (Heinonen vd., 1998; Record vd., 2001). Literatürde bitkilere ekzojenik olarak Asn uygulamalarına nadir olarak rastlanmaktadır. *Litchi chinensis* Sonn. bitkisinden elde edilen Asn ile yapılan çalışmada ekzojen olarak uygulanan Asn'in aynı bitkideki POD aktivitesini azalttığı tespit edilmiştir (Zhang vd., 2005). Asn'lerin antioksidan etkisi kolon, endotel, karaciğer, meme, lösemik hücre ve keratinosit gibi hücreleri içeren hücre kültürlerinde in vitro olarak gösterilmiştir. Bu çalışmalarda hücre kültürlerine uygulanan Asn'lerin antitoksik ve antikarsinojenik etkileri sınırladığı rapor edilmiştir. Asn'ler bu etkilerini de hücre kültürlerinde direk olarak reaktif oksijen türlerini temizleyerek ve hücrelerin oksijen radikallerini absorblama kapasitesini arttırarak gösterdiği tespit edilmiştir. (Wang ve Stoner, 2008). İyonize radyasyon canlılarda iyonizasyona yol açtığından ve iyonizasyon sonucu yüksek oranda ROT oluşumu ile canlılarda hasar oluşturduğundan, bitkilere uygulanan Asn ile iyonize radyasyon arasındaki ilişkinin açığa kavuşması önem arz etmektedir.

Mevcut çalışmamızda *Hordeum vulgare*'ye ait iki farklı arpa çeşidinin iyonize radyasyona karşı gösterdikleri duyarlılığın seviyesi, iyonize radyasyona karşı verilen yanıt karşılık Asn'lerin rolü ve antioksidan sistem incelenerek aydınlatılmaya çalışılmıştır. Çeşitli bitkiler ile yapılan çalışmalarda, farklı ploidi seviyelerindeki türler çeşitli biyotik ve abiyotik stres tiplerine karşı farklı cevaplar verdiği rapor edilmiştir (Li vd., 1996;

Pustovoitova vd., 1996; Saleh vd., 2008). Bu çalışmada kullanılan Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin daha önce yapılan sitogenetik analizler sonucu diploid olduğu belirlenmiş ve yine aynı çalışmada her iki arpa çeşidine tuz stresi uygulanmış ve Erginel çeşidinin tuz stresine karşı dirençli olduğu ve Akhisar çeşidinin ise hassas olduğu belirlenmiştir (Torun, 2012). Yapılan bu çalışma sonuçlarına göre arpa çeşitlerine iyonize radyasyon ve Asn uygulanması sonucunda meydana gelebilecek olan duyarlılık farklı ploidi seviyelerinden kaynaklanmamaktadır, aynı zamanda çalışmamızda kullanacağımız dirençli ve hassas arpa seçimlerinde daha önce yapılmış bu çalışma öncü olmuştur.

İyonize radyasyonun organizmalar üzerindeki biyolojik etkisini, hücrelerdeki atom ya da özellikle su gibi moleküller ile etkileşime girmesi sonucu serbest radikaller oluşturarak göstermektedir. Bu radikaller bitki hücrelerinin bileşenlerine zarar verebilir veya bu bileşenleri değiştirebilir, iyonize radyasyon dozuna bağlı olarak bitkilerin biyokimyasalarını, anatomi, fizyoloji ve morfolojilerini etkiler (Ashraf vd., 2003). İyonize radyasyona maruz kalan bitkiler incelendiğinde en sık gözlenen biyolojik cevap bitki büyümesinin azalması ya da büyüme inhibisyonudur (Kim vd., 2000; Wi vd., 2007). 10 Gy iyonize radyasyonun çimlenen arpa tohumlarının morfolojilerine olan etkisine bakıldığında Akhisar arpa çeşidinde sürgün uzunluğunda %18 ve kök uzunluğunda %31 azalma belirlenmiştir. Bu sonuca göre Akhisar çeşidi iyonize radyasyona maruz kaldığı zaman Erginel çeşidine göre daha yüksek büyüme inhibisyonu gösterdiği dolayısıyla bu sonuçlara göre Akhisar çeşidinin Erginel arpa çeşidine göre iyonize radyasyonun etkilerine karşı daha hassas olduğu belirlenmiştir. Akhisar ve Erginel arpa çeşitleri tuz stresine maruz kaldıklarında Akhisar çeşidinin Erginel çeşidine göre tuz stresine karşı daha hassas olduğu ve daha yüksek büyüme inhibisyonu gösterdiği ortaya konulmuştur (Torun, 2012). İyonize radyasyona maruz kalan bitkilerde büyüme inhibisyonu gözlenebileceği 10 Gy iyonize radyasyon uygulanan çimlenen bezelye tohumlarında gözlenmiş ve çimlenen bezelye tohumlarının kök ve sürgünlerinin toplam uzunluğunda %19 azalma rapor edilmiştir (Zaka vd., 2004).

Çalışmamızda Asn yokluğunda, sadece iyonize radyasyon uygulanan çimlenen arpa tohumlarına ait büyüme parametrelerinde önemli düşüşler belirlenmiştir. Asn uygulaması ile arpa çeşitleri arasında farklı etkiler gözlenirse de, her iki arpa çeşidinde de iyonize radyasyonun zarar verici etkilerini hafifletmektedir. Landry ve arkadaşlarının (1995) yaptığı çalışmada Asn'lerin bu çalışmada olduğu gibi solar radyasyonun zarar verici etkisini azalttığı kaydedilmiştir. Ayrıca Asn'lerin olumsuz çevre koşulları altında bitki

büyümesi üzerine olan etkisi ile ilişkili yapılan çalışmada, Asn'lerin olumsuz çevre koşullarının bitki üzerindeki etkisini hafifletmede doğrudan veya dolaylı etkisinin olduğu kaydedilmiştir. Streslerin bitkiler üzerindeki etkisini hafifletmede Asn'lerin rolünü açıklamaya yönelik yapılan çalışmada, Asn üretim yolunda mutant *Arabidopsis* bitkisinin mutant olmayanlara göre UV-B'ye karşı daha hassas olduğu rapor edilmektedir (Li vd., 1993; Philpott vd., 2004).

İyonize radyasyon bitkilerde ROT'ların oluşumuna bağlı olarak oksidatif stres oluşturur. Oksidatif strese maruz kalan bitkilerde, iyonize radyasyonun dozuna bağlı olarak morfolojik, fizyolojik, anatomik ve biyokimyasal değişimler ortaya çıkar. Bu değişimler bitkilerin hücresel yapılarına, hücrelerde bulunan fenolik bileşiklere, hücrelerdeki antioksidatif sistemin düzenlenmesine ve fotosentezin değişimine bağlı olarak çeşitlenebilir (Kim vd., 2004; Kovacs ve Keresztes, 2002; Wi vd., 2005). Suyun radyolizi ile oluşan H₂O₂ gibi serbest radikaller hücrelerin normal büyüme koşulları altında oluşan normal metabolitlerdir ve hücreler için toksik değildir. Ancak iyonize radyasyon ve diğer çevresel stresler altında hücrelerdeki bu radikallerin miktarı artar ve hücre hasara ve hücre ölümüne neden olurlar. Genel olarak ROT'lar özellikle H₂O₂ bitki hücrelerini çevresel streslerden korumak amacıyla sinyal basamaklarının bir parçası olarak işlev görürler. Çevresel stresler ROT'ların oluşumu ve antioksidan aktivite arasındaki dengeyi bozar (Al Rumaih, ve Al Rumaih, 2008). Yapılan çalışmalarda da gösterildiği gibi çevresel stresler sonucu oluşan oksidatif stresin üstesinden gelebilmek için antioksidan mekanizma teşvik edilir (Arora vd., 2002). Antioksidan mekanizma hücre hasarına bağlı olarak aktif hale gelen peroksidaz (POD), süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon redüktaz (GR) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi antioksidan enzimlerden ve askorbat, glutatyon ve fenolik maddeler gibi enzimatik olmayan antioksidan bileşiklerden oluşmaktadır (Dubner vd., 1995; Halliwell, 1974). Blokhina ve arkadaşlarının (2003) yaptığı çalışma stres altındaki canlılarda oluşan toksik ROT'ların seviyesinin azalmasında ve canlıların stresin olumsuz etkilerinden korunmasında seviyesi artan POD, SOD ve GR antioksidan enzimlerinin etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca iyonize radyasyon uygulanan bitkilerde iyonize radyasyonun etkilerine karşı SOD, CAT, GR ve APX enzimlerinin savunma mekanizmasını sürdürdükleri yapılan çeşitli çalışmalar ile gösterilmiştir (Kim vd., 2004; Zaka vd., 2002; Sharabas vd., 1988; Sah vd., 1996). Çalışmamızda iyonize radyasyon uygulanan çimlenen arpa çeşitlerinin hem sürgün hem de köklerinde antioksidan enzim aktivitelerinde istatistiksel olarak önemli (P<0,05) değişimler kaydedilmiştir ve Asn'in

iyonize radyasyon uygulaması ile teşvik edilen enzim aktiviteleri üzerine olan etkileri belirlenmiştir.

POD enzimi bitki hücrelerinde solunum, fotosentez ve terleme gibi farklı fizyolojik olaylarda, ligninleşme ve fenol oksidasyonu gibi reaksiyonlarda rol alır. Organizmaların değişen durumlarına göre POD enziminin kompozisyonu ve aktivitesi değişir ve stres indikatörü ya da işaretçisi olarak kabul edilirler (Kok, 2011). POD bitki hücrelerinden iyonize radyasyon gibi stres koşulları altında teşvik edilen H_2O_2 gibi toksik oksijen türlerini uzaklaştıran en önemli antioksidan enzimlerinden biridir (Willekens, 1995). Çalışmamızda Asn olmadan yalnızca iyonize radyasyon uygulanan çimlenen her iki arpa çeşidinin hem kök hem de sürgünlerinde POD enziminin aktivitesinde önemli düşüşler belirlenmiştir. Bizim çalışmamıza benzer olarak Constantinovici ve arkadaşlarının (2009) elma ile yaptıkları çalışmada artan radyasyon dozuna bağlı olarak peroksidaz aktivitesinde düşüşler belirlemişlerdir. POD aktivitesindeki bu düşüş iyonize radyasyon dozuna bağlı olarak enzimlerin konformasyonel yapısında oluşan değişim sonrası oluşan enzimik yapı düzensizliğine bağlanmaktadır. Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerindeki POD aktivitesi karşılaştırıldığında, iyonize radyasyon uygulaması ile Akhisar çeşidinin hem kök hem de sürgünlerindeki aktivite Erginel çeşidine göre daha fazla düşmüştür. Elde edilen bu sonuçlara göre Akhisar çeşidinin oksidatif stres azalmasının Erginel çeşidindeki kadar olmadığı tespit edilmiştir. Wada ve arkadaşlarının (1998) iyonize radyasyon uyguladıkları iki tütün (*Nicotiana tabacum* L. ve *Nicotiana debneyi* L.) türü ile yaptıkları çalışmada, iyonize radyasyona cevap olarak artan toksik H_2O_2 radikalini hücreden uzaklaştırmada özellikle POD antioksidan enzim aktivitesinin etkili olduğu gösterilmiştir. Aynı şekilde POD aktivitesinin iyonize radyasyon uygulanan iki tütün türü arasında strese olan duyarlılık farklarının olduğu kaydedilmiştir. İyonize radyasyonun POD aktivitesini teşvik ettiği *Datura innoxia* L. kallus (Jain vd., 1990), sarımsak (*Allium sativum* L.) (Crocchi vd., 1991) ve şeker kamışı (Singh vd., 1993) ile yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir.

Çalışmamızda, hem kök hem de sürgünde ölçümü yapılan POD, SOD, GR ve APX antioksidan enzim aktivitelerinin Erginel çeşidinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca her iki arpa çeşidinde ölçülen antioksidan enzim aktiviteleri içerisinde istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) ölçüde yüksek olan aktivitelerin POD ve APX enzimlerine ait olduğu kaydedildi. Benzer sonuçlar iyonize radyasyon hassasiyeti farklı olan iki tütün türünde rapor edilmiştir (Wada vd., 1998). Her iki çeşidin kök ve sürgünlerinde POD enzimi hariç ölçülen diğer antioksidan enzimlerin iyonize radyasyon uygulaması ile

aktivitelerinin artma durumu, oksidatif strese karşı bitkinin kendini korumasında etkili olduklarının bir göstergesi olduğu düşünülmektedir. APX özellikle kloroplast ve sitozolde aktivite gösterdiği bilinmektedir (Arora vd., 2002). Ancak son yapılan çalışmalar mitokondride de bulunduğunu ortaya koymuştur (Gomez vd., 1999). Çalışmamızda ölçümü yapılan diğer antioksidan enzim çeşitlerine göre APX aktivitesinde iyonize radyasyon uygulaması ile kontrol grubuna göre daha yüksek aktivite artışı kaydedilmiştir. Bu sonuç APX aktivitesinin çimlenen arpa çeşitlerinde H₂O₂'in zararlı etkilerinin hafifletilmesinde diğer enzimlere göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Yapılan birçok çalışmada kuraklık, sıcaklık ve UV radyasyon gibi çeşitli abiyotik streslere maruz kalan bitkilerde, artan APX aktivitesinin bitkiyi streslerin olumsuz etkilerine karşı korumada etkili olduğu rapor edilmiştir (Sharma vd., 2010; Sharma ve Dubey, 2005; 2007; Kumutha vd., 2009; Locato vd., 2009; Maheshwari ve Dubey, 2009). Ayrıca yaban tip ile karşılaştırıldığında ozon hasarına karşı yüksek oranda hassas olan APX-antisens transgenik tütün bitkisi ile yapılan çalışmada APX aktivitesinin stres savunmasındaki önemi gösterilmektedir (Orvar ve Ellis, 1997). Bununla birlikte İyonize radyasyon uygulanan *Arabidopsis*, *Stipa capillata*, *Trigonella stellata* ve bezelye (*Pisum sativum*) bitkilerinde artan APX aktivitesinin bitkiyi oksidatif hasara karşı koruduğu kaydedilmiştir (Karpinski vd., 1997; Zaka vd., 2002; Al-Rumaih ve Al-Rumaih, 2008).

GR antioksidan enzimi de kloroplastta bulunan ve bitkileri oksidatif hasara karşı koruyan önemli bir enzimdir. Yükseltgenmiş glutatyonun NADPH bağımlı indirgenmesinden sorumludur. Çalışmamızda her iki çeşidin kök ve sürgünlerinde iyonize radyasyon uygulaması ile GR enzim aktivitesinde artış kaydedilmiştir. APX ve GR enzim aktivitelerinde çimlenen Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinin kök ve sürgünlerindeki artma durumu askorbat-glutatyon döngüsünün ROS temizlemesinde etkili olduğunu göstermektedir. Çeşitli bitkilerle yapılan çalışmalarda abiyotik stres varlığında GR aktivitesinin söz konusu bitkilerde arttığı belirtilmektedir (Rao vd., 1996; Hernandez vd., 2001; Sharma ve Dubey, 2005;2007; Kumutha vd., 2009; Locato vd., 2009; Maheshwari ve Dubey, 2009). Ayrıca Kim ve arkadaşlarının (2004) düşük doz iyonize radyasyon uyguladıkları kırmızıbiber (*Capsicum annuum* L.) ile yaptıkları çalışmada bizim çalışmamıza benzer olarak SOD ve GR enzim aktivitelerinde artış belirlemişlerdir. Bununla birlikte iyonize radyasyon uygulanan çeşitli bitkilerle yapılan analiz sonuçlarında da benzer bulgular elde edilmiştir (Al-Rumaih ve Al-Rumaih, 2008; Zaka vd., 2002).

Çalışmamızda elde edilen bulgularda iyonize radyasyon öncesi ya da sonrası Asn uygulanan çimlenen her iki arpa tohumlarında Asn'in, Asn uygulanmayıp yalnızca iyonize radyasyon uygulaması yapılan gruba kıyasla POD aktivitesini önemli ölçüde ($P<0,05$) teşvik ettiği saptandı. Buna ilaveten iyonize radyasyon sonrası 24 saat Asn muamelesi yapılan grupta Akhisar çeşidinde, 24 saat ön Asn muamelesi yapılan grupta ise Erginel çeşidinde POD aktivitesinde daha fazla artış kaydedilmiştir. Asn muamelesi ile gözlenen aktivite artışı her iki vejetatif organda da kaydedilmiştir. Bizim çalışmamızın sonuçlarına benzer olarak Zhang ve arkadaşlarının (2005) yaptığı çalışmada yalnız Asn muamelesinin POD aktivitesini azalttığı kaydedilmiştir. Ayrıca *Gazania splendens* bitkisinde Asn içeriği yüksek olan yapraklarda POD aktivitesinin Asn miktarının az olduğu yapraklara oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir (Cevahir vd., 2004). POD aktivitesinin aksine Asn'in her iki uygulaması ile Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinde yalnızca iyonize radyasyon uygulanan gruba göre SOD, GR ve APX enzim aktivitelerinde azalma gözlenmiştir. Antioksidan enzim aktivitelerinde oluşan bu azalma durumu iyonize radyasyona hassas olan Akhisar arpa çeşidinde daha fazla olduğu ve ayrıca her iki arpa çeşidinde köklerdeki aktivitenin sürgünlerdeki aktiviteden daha fazla azaldığı belirlenmiştir. Asn uygulamalı grupların kendi aralarındaki bulgulara bakıldığında çeşitli streslere ve iyonize radyasyona daha hassas olduğu belirlenen Akhisar çeşidinde hem kök hem de sürgünde her iki Asn uygulamasının SOD aktivitesini diğer enzimlere göre daha fazla azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca iyonize radyasyon sonrası Asn uygulanan gruplardaki SOD ve APX enzimlerinin aktivitelerinin ön Asn muamelesi yapılan gruplara göre daha fazla azaldığı, fakat Akhisar köklerindeki GR aktivitesinin ön Asn muamelesi ile diğer Asn muamelesine göre daha fazla azaldığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar diğer flavonoid türleri gibi Asn'lerin de direk olarak H_2O_2 gibi moleküler aktif oksijen türlerini temizleme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir (Gould vd., 2002; Radovanović ve Radovanović, 2010; Einbond vd., 2004). Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgularda Asn'lerin arpa çeşitlerindeki antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri, iyonize radyasyon ile oluşan hasara karşı bitkinin toleransının artmasını sağlayan antioksidan cevabın teşvik edilmesi ve Asn'lerin sahip olduğu antioksidan özellik ile ilişkilidir. *Phaseolus vulgaris* L. tohumlarından elde edilen üç farklı Asn, UV-B'ye maruz bırakılmış rat liposomal sistemine uygulanmış ve elde edilen her bir Asn'in UV-B ışınlanması sonucu oluşan lipid peroksidasyonunu azalttığı kaydedilmiştir. Bunun sonucunda Asn hücreyi oksidatif hasara karşı koruduğu belirtilmektedir (Tsuda vd., 1996).

Ayrıca insanlar üzerinde yapılan çalışmalar da günlük olarak tüketilen Asn'lerin kırmızı kan hücrelerini serbest radikallere ve oksidatif strese karşı korumada etkili olduğu rapor edilmiştir (Youdim vd., 2000).

Fenolik bileşikler bitkilerin savunma mekanizmasında yer alan ve biyotik ve abiyotik streslere karşı bitkide stres cevabı oluşturabilen antioksidan özelliğe sahip sekonder metabolitlerdir (Lachman vd., 2005; Rohman vd., 2010). Fenolik bileşiklerin antioksidan özellikleri onların indirgenme-yükseltgenme (redoks) özelliklerinden kaynaklanmaktadır. (Rohman vd., 2010). Arpa tanelerinde bulunan fenolik bileşiklerin antioksidan aktivite gösterdikleri ve çeşitli streslere karşı bitki savunmasında önemli rol oynadıkları çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir (Lachman vd., 2005). Çalışmamızda elde edilen verilere göre her iki arpa çeşidinin köklerinde bulunan TFM miktarının sürgünlerdekinden daha fazla olduğu bulunmuştur. Yalnızca iyonize radyasyon uygulanan her iki arpa çeşidinin köklerinde bulunan TFM miktarında kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) düzeyde artış belirlenmiştir. İyonize radyasyon uygulanan bitkilerde TFM'de ki artma ya da azalma durumu uygulanan radyasyon miktarına, bitki çeşidine ve uygulanan vejetatif kısma göre değişmektedir. 5 kGy iyonize radyasyon uygulanan Polygona Multiflora Radix bitkisinde bulunan TFM miktarında kontrol bitkisine göre artış gözlenirken, uygulanan 10 kGy iyonize radyasyon ile madde miktarında azalma kaydedilmiştir (Chiang vd., 2011). Yapılan farklı çalışmalarda da iyonize radyasyon uygulaması sonucu TFM miktarında artışlar rapor edilmiştir (Behgar vd., 2011; Gumus vd., 2011). Mevcut çalışmamızda kullandığımız her iki arpa çeşidinde bulunan ve fenolik bir bileşik olan flavonoid miktarına bakıldığında Erginel çeşidinde bulunan miktar Akhisar çeşidindekinden daha yüksektir ve her iki arpa çeşidinin sürgünlerinde bulunan flavonoid miktarı köklerde bulunandan daha fazladır. Lachman ve arkadaşları (2005)'da benzer sonuçlar elde etmişlerdir. İyonize radyasyon uygulaması sonucunda ise her iki arpa çeşidinin flavonoid miktarında artış kaydedilmiştir. Literatürde de bizim çalışmamızın sonuçlarına benzer sonuçlar yer almaktadır (Gumus vd., 2011; Moghaddam vd., 2011).

Fenolik bileşiklerin antioksidan olarak hareket edebildikleri daha önceki yıllarda yapılan çalışmalar ile kanıtlamıştır. Fenolik hidroksil grupları iyi bir hidrojen vericidir: hidrojen verici antioksidanlar sonlandırma reaksiyonuyla reaktif nitrojen ve oksijen türleri ile reaksiyona girebilirler ve sonuç olarak yeni radikal oluşum döngüsü kırılır. Oluşan ilk radikaller ile antioksidanların reaksiyona girmesi sonucu antioksidanların radikal bir formu oluşur ve meydana gelen bu radikal form oluşan ilk radikalden çok daha büyük bir

kimyasal kararlılığa sahiptir (Heim vd., 2002; Payá vd., 1992; Choi vd., 2002; Parr ve Bolwell, 2002). Çalışmamızda çimlenen arpa tohumlarındaki antioksidan aktiviteyi belirlemek için DPPH radikali kullanılmıştır. DPPH radikalinin temizlenme (süpürülme) derecesinin ölçülmesi bitki örneklerinin hidrojen atomu veya elektron verme yeteneklerinin belirlenmesine imkan sağlar. Flavonoid ve fenolik bileşikler gibi hidrojen verici gruplara sahip antioksidan maddeler sayesinde radikal olan DPPH radikal olmayan DPPH-H formuna dönüşür. Ayrıca bitkilerde bulunan antioksidan aktivite flavonoid ve fenolik bileşiklerle sınırlı değildir. Aktivite uçucu yağlar, karotenoidler ve vitaminler gibi farklı sekonder metabolitlerden de kaynaklanır (Javamardi vd., 2003). Çalışmamızda Akhisar ve Erginel çeşitlerine ait köklerde DPPH radikal temizleme aktivitesine bakıldığında iyonize radyasyon uygulaması sonrası aktivitede kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) derecede azalma belirlenmiştir. Her iki arpa çeşidinin köklerine ait aktivitede belirlenen azalma durumu iki çeşidin sürgünlerinde de tespit edilmiştir.

Diğer flavonoidler de olduğu gibi Asn'ler hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit (O_2^-) ve hidroksil (OH^-) gibi aktif oksijen türlerini direk olarak temizleyebilirler (Gould vd., 2002). Çalışmamızda iyonize radyasyon ve diğer streslere karşı hassas olduğunu bildiğimiz Akhisar arpa çeşidinde iyonize radyasyon uygulaması ile H_2O_2 miktarında Erginel çeşidine göre daha fazla artış belirlenmiş ve bu artış her iki vejetatif organda da kaydedilmiştir. Her iki arpa çeşidinde iyonize radyasyon uygulaması ile artan H_2O_2 miktarında, iyonize radyasyon öncesi ve sonrası uygulanan Asn ile istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) derecede düşüş kaydedilmiştir. Ayrıca 10 Gy>Asn grubunda bulunan H_2O_2 miktarında Asn>10 Gy grubunda bulunan miktardan daha fazla düşüş gözlenmiştir. Bu sonuç bize her iki arpa çeşidinde bulunan H_2O_2 'in temizlenmesinde iyonize radyasyon sonrası uygulanan Asn'in öncesinde uygulanandan daha fazla etkili olduğunu göstermektedir. Antioksidan aktivitenin de aynı grupta diğer gruba oranla daha yüksek olması bu sonuçları desteklemektedir. Asn'lerin direk olarak ROT temizleme aktivitesi çeşitli hayvan hücre kültürleri ile yapılan çalışmalarda hücre kültürlerine in vitro olarak uygulanan Asn'in hücre kültürlerinde bulunan ROT'ları direk olarak temizlemesi ve hücrelerin oksijen radikallerini emici gücünü artırması sonucu hücrelerin kültür sistemindeki toksik etkilerden zarar görmesini sınırlayarak etkisini gösterdiği kaydedilmiştir (Wang ve Stoner, 2008).

Büyüme ortamlarında sürekli olarak biyotik ve abiyotik streslere maruz kalan bitkiler, çeşidine ve şiddetine göre maruz kaldıkları streslerden olumsuz etkilenirler. Özellikle de esas geçim kaynağı tarım olan ülkelerde stres sonucu oluşan ürün kaybı yetiştiricilerin en önemli problemlerini oluşturmaktadır. Bitkiler maruz kaldıkları stres ortamlarında hayatta kalabilmek için çok yönlü tolerans mekanizmaları geliştirirler. Tez çalışmamızda iyonize radyasyon uygulanmış iki arpa çeşidinin hem kök hem de sürgünlerine Asn uygulamasının antioksidan savunma sistemine olumlu etkilerinin olduğu ve bu etkiyi stres sonrası uygulamalarla daha etkili olarak gösterdiği ortaya konuldu.

5. SONUÇLAR

1) İyonize radyasyon uygulaması ile her iki arpa çeşidinin kök ve sürgün boylarında azalma gözlenmiştir. Ancak, iyonize radyasyon öncesi ve sonrası Asn (antosiyanın) uygulanan gruplarda her iki arpa çeşidine ait kök ve sürgün uzunluklarındaki azalma durumunu tersine çevirebildiği saptanmıştır.

2) Çimlendirilen arpa çeşitlerinde her iki vejetatif organ göz önüne alındığında iyonize radyasyon uygulaması ile oluşan oksidatif strese karşı APX, SOD, GR enzim aktivitelerinde artış kaydedilmiş ve oluşan ROT'ların temizlenmesinde Asn'lerin etkin oldukları tespit edilmiştir.

3) Asn uygulanan gruplarda hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarında belirgin azalma belirlenmiştir ve bunun paralelinde ölçümü yapılan antioksidan enzim aktivitelerinde de düşüş kaydedilmiştir.

4) Akhisar ve Erginel arpa çeşitlerinde iyonize radyasyon uygulaması ile toplam flavonoid ve fenolik madde miktarında artış kaydedilmiştir. Antioksidan aktivitede ise düşüş belirlenmiştir.

5) İyonize radyasyon öncesi ve sonrası dış (ekzojenik) Asn uygulaması ile her iki arpa çeşidinin kök ve sürgünlerinde antioksidan aktivitede artma ve iyonize radyasyonun artışının neden olduğu H_2O_2 miktarında ise azalma belirlenmiştir.

6) Çalışmamızda iyonize radyasyonun ve dış Asn uygulamasının arpa çeşitleri arasında önemli fizyolojik ve biyokimyasal olarak değişimlere sebep olduğu belirlenmiştir. Tüm bulgular değerlendirildiğinde bu değişimlerin en olumluları iyonize radyasyon uygulaması ardından 24 saatlik Asn muamelesi ile olabildiği ortaya konulmuştur.

7) İyonize radyasyon ve Asn uygulama sonuçları göz önüne alındığında tuz stresinde olduğu gibi iyonize radyasyonun etkilerine karşı Erginel arpa çeşidinin Akhisar çeşidine göre daha dirençli (duyarsız) olduğu ortaya belirlenmiştir.

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 iyonize radyasyon bitkilerin büyümesini moleküler, morfolojik ve fizyolojik seviyede etkileyen en önemli faktörlerden biridir. İyonize radyasyonun bitkiler üzerine olan etkilerini araştırmak amacıyla çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır, ancak mevcut bilgilerimize göre bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ile ilgili literatürde fazla çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamızda iyonize radyasyon uygulanmış streslere karşı hassasiyet seviyeleri farklı olan iki farklı arpa çeşidine (Akhisar ve Erginel arpa çeşitleri) 24 saat süre ile Asn uygulanmıştır ve iyonize radyasyonun olumsuz etkilerinin hafifletilmesinde ne derecede etkili olduğu incelenmiştir. Arpa çeşitlerine total Asn uygulaması ile olumlu sonuçlar elde edildiğinden, yapılacak çalışmalarda farklı Asn çeşitleri kullanılabilir ve stres etkilerinin hafifletilmesinde Asn çeşitleri arasında bir fark olup olmadığı araştırılabilir. Ayrıca Asn uygulaması ile oluşan olumlu etkilerin daha uzun ya da kısa stres sürelerinde devam edip etmeyeceği belirlenebilir. Asn uygulanmış 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 Asn'in ikinci ve daha sonraki nesillerde iyonize radyasyonun olumsuz etkilerini azaltmada etkili olup olmadığını araştırılabileceğini düşündürmektedir. İyonize radyasyon stresine maruz bırakılmış gruplarda Asn uygulaması ile arpa boylarında oluşabilecek azalma durumu tersine çevrilmiştir. Bundan dolayı Asn uygulamasının bitkilerin meyve ve dane verimi üzerinde etkisinin olup olmadığı da araştırılabilir. Çalışmamızda Asn çimlenme ortamına uygulanmıştır ve çimlenme ürünlerinde stres etkilerinin azaltılmasında olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Aynı sonuçların Asn'in yapraklara püskürtülmesi ile uygulanarak elde edilip edilemeyeceği belirlenebilir.

Çalışmamız tüm canlılar için çok önemli olan ve doğada bol miktarda bulunan Asn'lerin iyonize radyasyon stresi altında iki arpa çeşidi üzerinde meydana gelen olumlu etkileri incelenmiş ve iyonize radyasyonun olumsuz etkileri dikkate alındığında Erginel çeşidinin Akhisar'a göre tercih edilebilir ürün olduğunu göstermiştir.

7. KAYNAKLAR

- Agarwal, S. ve Shaheen, R., 2007. Stimulation of Antioxidant System and Lipid Peroxidation by Abiotic Stresses in Leaves of *Momordica charantia*, Brazilian Journal of Plant Physiology, 19, 149-161.
- 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.
- Alscher, R., G., Erturk, N. ve Heath, L., S., 2002. Role of Superoxide Dismutases (SODs) in Controlling Oxidative Stress in Plants, The Journal of Experimental Botany, 53, 1331-1341.
- Anderson, M., D., Prasad, T., K. ve Stewart, C., R., 1995. Changes in Isozyme Profiles of Catalase, Peroxidase, and Glutathione Reductase during Acclimation to Chilling in Mesocotyls of Maize Seedlings, Plant Physiology, 109, 1247-1257.
- Arora, A., Sairam, R., K. ve Srivastava, G., C., 2002. Oxidative Stress and Antioxidative System in Plants, Current Science, 10, 1227-1238.
- Ashraf, M., Cheema, A., A., Rashid, M. ve Qamar, Z., 2003. Effect of Gamma Rays on M1 Generation in Basmati Rice, Pakistan Journal of Botany, 35, 5, 791-795.
- Ayaz, F., A., 1999. Mısır (*Zea mays* L.) Fidelerinin Düşük ve Yüksek Sıcaklığa Adaptasyonunda Büyüme Düzenleyici Maddelerin Rolü, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baik, B., K., ve Ullrich, S., E., 2008. Barley for Food: Characteristics, Improvement, and Renewed Interest, Journal of Cereal Science, 48, 233-242.
- Beak, M., H., Chung, B., Y. ve Kim, J., S., 2005. Alleviation of Salt Stress by Low Dose γ -Irradiation in Rice, Biyoloji 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, 276-287.
- Beckman, C., H., 2000. Phenolic-Storing Cells: Keys to Programmed Cell Death and Periderm Formation in Wilt Disease Resistance and in General Defence Responses in Plants? Physiological and Molecular Plant Pathology, 57, 101-110.

- Behgar, M., Ghasemi, S., Naserian, A., Borzoie, A. ve Fatollahi, H., 2011. Gamma Radiation Effects on Phenolics, Antioxidants Activity and *in vitro* Disegtion of Pistachio (*Pistachia vera*) Hull, Radiation Physics and Chemistry, 80, 963-967.
- Beir, V., 1980. Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Washington, DC: National Academy Press.
- Blois, M., S., 1958. Antioxidant Determinations by the Use of Stable Free Radical, Nature, 181, 1199-1200.
- Blokhina, O., Virolaineu, E. ve Fagerstedt, K., 2003. Antioxidant Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stres, Annals of Botany, 91, 179-194.
- Boyer, V., Vichot, L., Fromm, M., Losset, Y., Tatin-Froux, F., Guétat, P. ve Badot P., M., 2009. Tritium in Plants: a Recent of Current Knowledge, Environmental and Experimental Botany, 67, 34-51.
- Bradford, M., M., 1976. A Rapid and Sensitive Method Fort He Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein- Dye Binding. Analitical Biochemistry, 72,248-254.
- Briggs, D., E., 1978. Barley, Chapman and Hall, New York, NY.
- Buer, C., S., Imin, N. ve Djordjevic, M., A., 2010. Flavonoids: New Roles for Old Molecules. Journal of Integrative Plant Biology, 52, 1, 98-111.
- Cadwell, M., M., Bjorn, L., O., Bomman, J., F., Flint, S., D., Kulandaivelu G., Teramura, A., H. ve Tevini, M., 1998. Effect of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Terrestrial Ecosystem. Journal of Photochemistry and Photobiology 46, 40-52.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, M., Páez-Hernandez, M., E., Rodriguez, J., A. ve Galán-Vida, C., A., 2009. Chemical studies of anthocyanins: A Review, Food Chemistry, 113, 859-871.
- Cevahir, G., Yentür, S., Yazgan, M., Ünal, M. ve Yilmazer, N., 2004. Peroxidase Activity in Relation to Anthocyanin and Chlorophyll Content in Juvenile and Adult Leaves of “mini-star” *Gazania splendens*, Pakistan Journal of Botany, 36, 3, 603-609.
- Chiang, Y., C., Huang, G., J., Ho, Y., L., Hsieh, P., C., Chung, H., P., Chou, F., I. ve Chang, Y., S., 2011. Influence of Gamma Irradiation on Microbial Load and Antioxidative Characteristic of *Polygoni Multiflori Radix*, Process Biochemistry, 46, 777-782.
- Choi, H., R., Choi, J., S., Han, Y., N., Bae, S., J. ve Chung, H., Y., 2002. Peroxynitrite scavenging activity of herb extracts, Phytother Research, 16, 364-367.
- Cho, S. ve Dreher, M., 2001. Handbook of Dietary Fiber, CRC, New York, 082-4789-601.
- Clifford, M., N., 2000. Anthocyanins - Nature, Ocuurence and Dietary Burden, Journal of the Science of Food and Agriculture, 80, 7, 1063-1072.

- Constantinovici, M., Oancea, D. ve Zaharescu, T., 2009. Gamma Irradiation Effect on the Enzymatic Activities of Horseradish and Apple Peroxidases, Radiation Physics and Chemistry, 78, 33-36.
- 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., Kular, B., Reynolds, H., Welburn, A., R., ve Mullineaux, P., M., 1994. Manipulation of Glutathione Reductase in Transgenic Plants: Implications for Plant Responses to Environmental Stress, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 102, 167-175.
- Creissen, G., P., Broadbent, P., Stevens, R., Wellburn, A., R. ve Mullineaux, P., M., 1996. Manipulation of Glutathione Metabolism in Transgenic Plants, J. Biochem., 24, 465-472.
- Croci, C., A., Arguello, J., A., Curvetto, N., R. ve Orioli, G., A., 1991. Vhanges 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.
- Cüce, M., Bektaş, E. ve Sökmen, A., 2013. Micropropagation of *Vaccinium arctostaphylos* L. via Lateral-bud Culture, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 37, 40-44.
- Çelik H., Özgen, M. ve Saraçoğlu, O., 2012. Organik ve Standart Olarak Yetiştirilen Bazı Yüksek Boylu Maviyemiş (*Vaccinium corymbosum* L.) Çeşitlerinin Fitokimyasal İçerikleri ile Antioksidan Kapasitelerinin Karşılaştırılması, Tarım Bilgileri Dergisi, 18, 167-176.
- Çelik, H., 2008. Maviyemiş (Yabanmersini-Likapa) Yetiştiriciliği El Kitabı, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi “Artvin’de Yabanmersini (Likapa) Yetiştiriciliği Eğitim Projesi”, 63.
- 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.

- Dickschat, J., S., 2011. Biosynthesis and Function of Secondary Metabolites, Beilstein Journal of Organic Chemistry, 7, 1620-1621.
- Dubner, D., Giscone, P., Jaitovich, I. ve Perez, M., 1995. Free Radicals Productions and Estimation of Axidative Stress Related to Gamma Irradiation, Biological Trace Element Research, 47, 265-270.
- Einbond, L., S., Reynertson, K., A., Luo, X., D., Basile, M., J. ve Kenelly, E., J., 2004. Anthocyanin Antioxidants from Edible Fruits, Food Chemistry, 84, 23-28.
- Eruysal, E., 2012. EMTİA Piyasalarında Güncel Gelişmeler. Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü.
- Esnault, M-A., Legue, F., ve Chenal, C., 2010. Ionizing Radiation: Advances in Plant Response. Environmental and Experimental Botany, 68, 231-237.
- Espin, J., C., Soler-Rivas, C., Wichers, J., H. ve Garcia-Viguera, C., 2000. Anthocyanin-Based Natural Colorants: A New Source of Antiradical Activity for Foodstuff, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 1588-1592.
- FAO, <http://www.fao.org>. 18 Haziran 2007.
- Forster, B., P., Ellis, R., P., Thomas, W., T., B., Newton, A., C., Tuberosa, R., This, D., El-Enein, R., A., Bahri, M., H. ve Ben Salem, M., 2000. The Development and Application of Molecular Markers for Abiotic Stress Tolerance In Barley, Journal of Experimental Botany, 51,342, 19-27.
- 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, 21-25.
- Giusti, M., M., Rodriguez-Saona, L., E. ve Wrolstad, R., E., 1999. Molar Absorptivity and Color Characteristics of Acylated and non-Acylated Pelargonidin-Based Anthocyanins, Journal Agriculture Food Chemistry, 47, 4631-4637.
- Gomez, J., M., Hernandez, J., A., Jimenez, A., del Rio, L., A. ve Sevilla, F., 1999. Differential Response of Antioxidative Enzymes of Chloroplasts and Mitochondria to Long-Term NaCl Stress of Pea Plants, Free Radical Research, 31,11-18.
- Goodwin P., N., Quimby, E., H. ve Morgan, R., H., 1970. Physical Foundations of Radiology, New York, Harper & Row.
- Gould, K., S., Mckelvie, J. ve Markham, K., R., 2002. Do Anthocyanins function as antioxidants in leaves? Imaging of H₂O₂ in red and green leaves after mechanical injury, Plant, Cell and Environment, 25, 1261-1269.
- Gumus, T., Albayrak, S., Sagdic, O. ve Arici, M., 2011. Effect of Gamma Irradiation on Total Phenolic Contents and Antioxidant Activities of *Satureja hortensis*, *Thymus vulgaris*, and *Thymbra spicata* from Turkey, International Journal of Food Properties, 14, 830-839.

- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. ve Babaç, M., T., (edlr.), 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.
- Hall, E., J. ve Giaccia, A., J., 2006. Radiobiology for the Radiologist, Sixth Edition, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Halliwell, B. ve Gutteridge, M., Cc., 1999. Free Radicals in Medicine and Biology, Oxford University Press, Oxford, UK, 3rd edition.
- Halliwell, B., 1974. Superoxide Dismutase, Catalase and Glutathione Peroxidase: Solutions to the Problem of Lung with Oxygen, New Phytologist, 73, 1075-1086.
- Harborne, J., B. ve Grayer, R., J., 1988. The Anthocyanins, in: Harborne, J., B., (Ed.), The Flavonoids, Chapman and Hall, London, pp. 1-20.
- Harborne, J., B., 1982. Introduction to Ecological Biochemistry, second ed., Academic Press, New York, NY.
- Heim, K., E., Tagliaferro, A., R. ve Bobilya, D., J., 2002. Flavonoid Antioxidants: Chemistry, Metabolism and Structure-Activity Relationships, The Journal of Nutritional Biochemistry, 13, 572-584.
- Heinonen, I., M., Meyer, A., S. ve Frankel, E., N., 1998. Antioxidant Activity of Berry Phenolics on Human Low-Density Lipoprotein Oxidation, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46, 10, 4107-4112.
- Heloir, M., C., Fournioux, C., Barbier, M., Jeandet P. ve Bessis, R., 1998. Endogenous Polyamines Concentrations in Juvenile, Adult and Micropropagated Grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir), Vitis, 37, 1, 61-62.
- Hernanz, D., Nunez, V., Sancho, AI., Faulds, C., B., Williamson, G., Bartolome, B. ve Gomez-Cordoves, C., 2001. Hydroxycinnamic Acids and Ferulic Acid Dehydrodimers in Barley and Processed Barley, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, 10, 4884-4888.
- Hernandez, J., A., Ferrer, M., A., Jimenez, A., Barcelo, A., R. ve Sevilla, F., 2001. Antioxidant Systems and O_2^-/H_2O_2 Production in the Apoplast of Pea Leaves, Its Relation with Salt-Induced Necrotic Lesions in Minor Veins, Plant Physiology, 127, 817-831.
- Herzberg, G., 1971. The Spectra and Structures of Simple Free Radicals: an Introduction to Molecular Spectroscopy, Ithaca, Cornell University Press.
- Hopkins, W., G., 1995. Introduction to Plant Physiology, The University of Western Ontario, John Wiley & Sons Inc., 423-443.
- Hou, D., X., Kai, K., Li, J., J., Lin, S., Terahara, N., Wakamatsu, M., Fujii, M., Young, M., R. ve Colburn, N., 2004. Anthocyanidins Inhibit Activator Protein 1 Activity and Cell Transformation: Structure-Activity Relationship and Molecular Mechanisms, Carcinogenesis, 25, 29-36.

- Huang, D., J., Lin, C., D., Chen, H., J. ve Lin, Y., H., 2004. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Sweet Potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam 'Tainong 57'] Constituents, Botanical Bulletin of Academia Sinica, 45, 179-86.
- IARC 2000. Ionizing Radiation, Part 1:X- and Gamma radiation, and Neutrons. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 75. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.
- Jain, P., K., Macherchandani, N., Chowdhury, V., K. ve Jain, S., 1990. Radiation-Induced Organogenesis and Isozyme Patterns in Long-Term Callus Culture of *Datura-innoxia* Callus, Annals of Botany, 65, 659-663.
- Javanmardi, J., Stunhnoff, C., Locke, E. ve Vivanco, J., M., 2003. Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Iranian Ocimum Accession, Food Chemistry, 83, 547-550.
- Johns, H., E. ve Cunningham, J., R., 1969. The Physics of Radiology. Springfield, IL, Charles C Thomas.
- Karpinski, S., Escobar, C., Karpinski, B., Crellissen, G. ve Mullineaux, P., M., 1997. Photosynthetic Elektron Transport Regulates the Expression of Cytosolic Ascorbate Peroxidase Genes in *Arabidopsis* during Excess Ligth Stress, Plant Cell, 9, 4, 627-640.
- Kerstetter, R., A. ve Poetig, R., S., 1998. The Specification of Leaf Identity during Shoot Development, Annual Review of Cell and Developmental Biology, 14, 373-398.
- Khan, W., Prithiviraj, B. ve Smith, D., L., 2003. Photosynthetic Responses of Corn and Soybean to Foliar Application of Salicylates, Journal of Plant Physiology, 160, 485-492.
- Kim, J., H., Beak, M., H., Chung, B., Y., Wi, S., G. ve Kim, J., S., 2004. Alteration in the Photosynthetic Pigments and Antioxidant Machinerries of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seedling from Gamma-Irradiated Seeds, Journal of Plant Biology, 47, 314-321.
- 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, J., H., Lee, M., H., Moon, Y., R., Kim, J., S., Wi, S., G., Kim, T., H. ve Chung, B., Y., 2009. Characterization of Metabolic Disturbances Closely Linked to the Delayed Senescence of *Arabidopsis* Leaves after γ -irradiation, Environmental and Experimental Botany, 67, 363-371.
- Kim, J., S., Lee, E., K., Back, M., H., Kim, D., H. ve Lee, Y., B., 2000. Influence of low Dose γ -Radiation on the Physiology of Germinative Seed of Vegetable Crops, Korean Journal of Environmental Agriculture, 19, 58-61.
- Kobayashi, K., Kumazawa, Y., Miwia, K. ve Yamanaka, S., 1996. ϵ -(γ -Glutamyl) Lysine Cross-Links of Spore Coat Proteins and Transglutaminase Activity in *Bacillus subtilis*, FEMS Microbiology Letters, 144, 157-160.

- Kok, D., 2011. Involvement of Peroxidase Activity in Various Sensitivity to Gamma Irradiation in Scion of Cabernet Sauvignon and Merlot cvs (*Vitis vinifera* L.), Journal of Food, Agriculture & Environment, 9, 2, 392-396.
- Kong, J., M., Chia, L., S., Goh, N., K., Chia, T., F. ve Brouillard, R., 2003. Analysis and Biological Activities of Anthocyanins, Phytochemistry, 64, 5, 923-933.
- Kovacs, E. ve Keresztes, A., 2002. Effect of Gamma and UV-B/C Radiation on Plant Cell, Micron, 33, 199-210.
- Kovalchuk, O., Burke, P., Arkhipov, A., Kuchma, N., James, S., J., Kovalchuk, I. ve Pogribny, N., 2003. Genome hypermethylation in *Pinus sylvestris* 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 Which Cause Mutation and Transformation. Mutatiton Research / Fundamental and Molecular Mechanism of Mutagenesis, 421, 45-54.
- Kumutha, D., Ezhilmathi, K., Sairam, R., K., Srivastava, G., C., Deshmukh, P., S., ve Meena, R., C., 2009. Waterlogging Induced Oxidative Stress and Antioxidant Activity in Pigeonpea Genotypes, Biology of Plants, 53, 75-84.
- Lachman, J., Dudjak, J., Miholová, D., Kolihová, D. ve Pivec, V., 2005. Effect of Cadmium on Flavonoid Content in Young Barley (*Hordeum sativum* L.) Plants, Plant, Soil and Environment, 51, 11, 513-516.
- Landry, L., G., Chapple, C., C., S. ve Last, R., L., 1995. Arabidopsis Mutants Lacking Phenolic Sunscreens Exhibit Enhanced Ultraviolet-B Injury and Oxidative Damage, Plant Physiology, 109, 1159-1166
- Lea, A., G., H., 1988. HPLC in Food Analysis, Academic Press, London.
- Lewitt, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation Salt and Other Stresses, 2, 25-228, Academic Press, New York.
- 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, 548-551.
- Li, J., Y., Oulee, T., M., Raba, R., Amundson, R., G. ve Last, R., L., 1993. Arabidopsis Flavonoid Mutants are Hypersensitive to UV-B Irradiation The Plant Cell, 5, 171-179.
- Li, W., L., Berlyn, G., P. ve Ashton, M. S., 1996. Polyploids and Their Structural and Physiological Characteristics Relative to Water Deficit in *Betula papyrifera* (Betulaceae), American Journal of Botany, 83, 15-20.

- Locato, V., de Pinto, M., C. ve De Gara, L., 2009. Different Involvement of the Mitochondrial, Plastidial and Cytosolic Ascorbate-Glutathione Redox Enzymes in Heat Shock Responses, Physiologia Plantarum, 135, 296-306.
- Maheshwari, R. ve Dubey, R., S., 2009. Nickel-Induced Oxidative Stress and the Role of Antioxidant Defence in Rice Seedlings, Plant Growth Regulation, 59, 37-49.
- Mazza, G., 1995. Anthocyanins in Grapes and Grape Products, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 35, 341-371.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. ve Van Breusegem, F., 2004. Reactive Oxygen Gene Network of Plants, Trends Plant in Science, 9, 490-498.
- Mittler, R., 2002. Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance. Trends Plant Science 7, 405-10.
- Moghaddam, S., S., Jaafar, H., Ibrahim, R., Rahmat, A., Aziz, M., A. ve Philip, E., 2011. Effects of Acute Gamma Irradiation on Physiological Traits and Flavonoid Accumulation of *Centella asiatica*, Molecules, 16, 4994-5007.
- Nakano, Y. ve Asada, K., 1981. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate Specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts, Plant and Cell Physiology, 22, 867-880.
- Nicholson, R. ve Hammerschmidt, R., 1992. Phenolic compounds and their role in disease resistance, Annual Review Phytopathology, 30, 369-389.
- Noctor, G. ve Foyer, C., 1998. Ascorbate and Glutathione: Keeping Active Oxygen under Control. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49, 249-279.
- Noctor, G., Veljovic-Jovanovic, S., Driscoll, S., Novitskaya, L. ve Foyer, C., H., 2002. Drought and Oxidative Load in the Leaves of C₃ Plants: A Predominant Role for Photorespiration, Annals of Botany, 89, 841-850.
- Nordkvist, E., Salomonsson, A., C. ve Aman, P., 1984. Distribution of Insoluble Bound Phenolic Acids in Barley Grain, Journal of the Science of Food and Agriculture, 35, 657-661.
- Ogawa, M. ve Uritani, J., 1970. Effect of Gamma Radiation in Peroxidase Development in Sweet Potatoes Disks, Radiation Research, 41, 342-351.
- Orvar, B., L. ve Ellis, B., E., 1997. Transgenic Tobacco Plants Expressing Antisense RNA for Cytosolic Ascorbate Peroxidase Show Increased Susceptibility to Ozone Injury, The Plant Journal, 11, 1297-1305.
- Parr, A., J. ve Bolwell, J., P., 2002. Phenols in the Plant and in Man. The Potential for Possible Nutritional Enhancement of the Diet by Modifying the Phenols Content or Profile, Journal of the Science of Food and Agriculture, 80, 985-1012.
- Parker, D., E., 2004. Large-Scale Warming is not Urban, Nature, 432, 290-291.

- Pasqualini, S., Piccioni, C., Reale, L., Elderli, L., Della Torre, G. ve Ferranti, F., 2003. Ozone-Induced Cell Death in Bel W3 Plants: The Role of Programmed Cell Death in Lesion Formation, Plant Physiology, 133, 1122-1234.
- Payá, M., Halliwell, B. ve Houtl, J., R., S., 1992. Interactions of a Series of Coumarins with Reactive Oxygen Species. Scavenging of Superoxide, Hypochlorous Acid and Hydroxyl Radical, Biochemical Pharmacology, 44, 205-214.
- Pazmiño-Durán, A., E., Giusti, M., M., Wrolstad, R., E. ve Glória, B., A., 2001. Anthocyanins from *Oxalis Triangularis* as Potential Food Colorants, Food Chemistry, 75, 2, 211-216.
- Peer, W., A. ve Murphy, A., S., 2006. Flavonoids as Signal Molecules: Targets of Flavonoid Action. In Peer, W., A., ve Murphy, A., S., (eds.), *The Science of Flavonoids*. Springer, New York, 239-268.
- Percival, J., 1921. *The Wheat Plant*, Duckwprth Publishers, London.
- Peterson, T., 2003. Assesment of Urban Versus Rural in situ Surface Temperatures in Contiguous United States: No Difference Found, Journal of Climate, 16, 18, 2941–2959.
- Philpott, M., Gould, K., S., Lim, C. ve Ferguson, L., R., 2004. In situ and in vitro Antioxidant Activity of Sweet Potato Anthocyanins, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 1511–1513
- Pietta, P., G., 2000. Flavonoids as Antioxidants, Journal of Natural Products, 63, 1035-1042.
- Poetig, R., S., 2003. Phase Change and Regulation of Developmental Timing in Plants, Science, 301, 5631, 334-336.
- Pourcel, L., Routaboul, J., M., Cheynier, V., Lepiniec, L. ve Debeaujon, I., 2007. Flavonoid Oxidation in Plants: from Biochemical Properties to Physiological Functions, Trends in Plant Science, 12, 1, 29-36.
- Pourkheirandish, M. ve Komatsuda, T., 2007. The Importance of Barley Genetics and Domestication in a Global Perspective, Annals of Botany, 100, 7, 999-1008.
- Pridham, J., B., 1960. *Phenolics in Plants in Health and Disease*, Pergamon Press, New York, NY.
- Primetta, A., K., Jaakola, L., Ayaz, F., A., Inceer, H. ve Riihinen, K., R., 2013. Anthocyanin Fingerprinting for Authenticity Studies of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.), Food Control, 30, 662-667.
- Pustovoitova, T., N., Eremin, G., V., Rassvetaeva, E., G., Zhdanova, N., E. ve Zholkevich, V., N., 1996. Drough Resistance, Recovery Capacity and Phytohormone Content in Polyploid Plum Leaves, Russian Journal of Plant Physiology, 43, 232-235.
- Radovanović, B. ve Radovanović, A., 2010. Free Radical Scavenging Activity and Anthocyanin Profile of Cabernet Sauvignon Wines from the Balkan Region, Molecules, 15, 4213-4226.

- Rao, M., V., Paliyath, G. ve Ormrod, D., P., 1996. Ultraviolet-B and Ozone-Induced Biochemical Changes in Enzymes of *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiology, 110, 125-136.
- 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, A123-A137.
- Record, I., R., Dreosti, I., E. ve Micinerney, J., K., 2001. Changes in Plasma Antioxidant Status Following Consumption of Diets High or Low in Fruit and Vegetables or Following Dietary Supplementation with an Antioxidant Mixture, British Journal of Nutrition, 85, 4, 459-464.
- Rice-Evans, C., Miller, N., J. ve Paganga, G., 1997. Antioxidant Properties of Phenolic Compounds, Trends in Plant Science, 2, 152-159.
- Robards, K., Prenzler, P., D., Tucker, G., Swatsitang, P. ve William, G., 1999. Phenolic Compounds and Their Role in Oxidative Processes in Fruits, Food Chemistry, 66, 401-436.
- Rohman, A., Riyanto, S., Yuniarti, N., Saputra, W., R., Utami, R. ve Mulatsih, W., 2010. Antioxidant Activity, Total Phenolic, and Total Flavonoid of Extracts and Fractions of Red Fruit (*Pandanus conoideus* Lam), International Food Research Journal, 17, 97-106.
- Roldan-Arjona, T. ve Ariza, R., R., 2009. Repair and Tolerance of Oxidative DNA Damage in Plant, Mutation Research / Reviews in Mutation Research, 681, 169-179.
- Rossi, H., H., 1964. Neutron and Heavy Particle Dosimetry. In Reed GW (ed): Radiation Dosimetry: Proceedings of the International School of Physics, New York, Academic Press, 98-107
- 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.
- Sah, N.K., Pramanik, S. ve Raychandhuri, S., S., 1996. Peroxidase Changes in Barley Induced by Ionizing and Thermal Radiation, International Journal of Radiation Biology, 69, 1, 107-111.
- 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.
- Sakihama, Y., Cohen, M., F., Grace, S., C. ve Yamasaki, H., 2002. Plant Phenolic Antioxidant and Prooxidant Activities: Phenolics-Induced Oxidative Damage Mediated by Metals in Plants, Toxicology, 177, 67-80.

- Saleh, B., Allario T., Dambier, D., Ollitrault, P. ve Morillon, R., 2008. Tetraploid *Citrus* Rootstocks are More Tolerant to Salt Stress than Diploid, Comptes Rendus Biologies, 331, 703-710.
- Salisbury, F. B. ve Ross, C. W., 1985. *Plant Physiology*, Wadsworth Publishing Co., Belmont, California. 450 p.
- Salomonsson, A., C., Theander, O. ve Aman, P., 1980. Composition of Normal and High-Lysine Barleys, Swedish Journal of Agricultural Research, 10, 11-16.
- Samanta, A., Das, G. ve Das, S., K., 2011. Roles of Flavonoid in Plants, International Journal of Pharmacy and Pharmaceutial Sciences, 6, 1.
- Schulte, D., Close, T., J., Graner, A., Langridge, P., Matsumoto, T., Muehlbauer, G., Sato, K., Schulman, A., H., Waugh, R., Wise, R., P. ve Stein, N., 2009. The International Barley Sequencing Consortium—At the Treshold of Efficient Access to the Barley Genome, Plant Physiology, 149, 142-147.
- Seeram, N., P. ve Nair, M., G., 2002. Inhibition of Lipid Peroxidation and Structure-Activity-Related Studies of the Dietary Constituents Anthocyanins, Anthocyanidins, and Catechins, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 5308-5312.
- Shahidi, F. ve Naczk, M., 2004. *Phenolics in Food and Nutraceuticals,: Sources, Applications and Health Effects*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sharabash, M., T., M., Gaweesh, S., S., M., Orabi, I., O., A. ve Hammad, A., H., A., 1988. Physiological Response of Wheat, Maize and Cotton to Gamma Irradiation, Proc. 4th conf. Nuclear Science and Application, II (P-3.2.213), 478-482.
- Sharma, P., Jha, A., B. ve Dubey, R., S., 2010. *Handbook of Plant and Crop Stress*, third ed., CRC Press, Editor(s): Mohammad Pessaraki, University of Arizona, Tucson, USA, 1245 p.
- Sharma, P. ve Dubey, R., S., 2005. Drought Induces Oxidative Stress and Enhances the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Seedlings, Plant Growth Regulation, 46, 209-221.
- 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.
- Shirley, B., W., 1998. Flavonoids in Seeds and Grains: Physiological Function, Agronomic Importance and the Genetics of Biosynthesis, Seed Science Research, 8, 415-422.
- Siegel, B., Z. ve Siegel, S., M., 1986. Differential Substrate Specificity Among Peroxidases: A Functional View of Phyletic Relations, In *Molecular and Physiological Aspects of Plant Peroxidases*, 131-142, Geneva, Switzerland: Univ. of Geneva.

- Simic, M., G., 1998. Mechanisms of Inhibition of Free-Radical Processed in Mutagenesis and Carcinogenesis, Mutation Research, 202, 377-386.
- Singh, P., K., Chandra, P., Singh, J. ve Singh, D., N., 1993. Effect of Gamma-Ray on Physio-biochemical Parameters of Sugar-Cane, Journal of Nuclear Agriculture and Biology, 22, 65-69.
- Slinkard, K. ve Singleton, V., L., 1977. Total Phenol Analyses: Automation and Comparison with Manual Methods, American Journal of Enology Viticulture, 28, 49-55.
- Smith, T., M., Peterson, T., C., Lawrimore, J., H. ve Reynolds, R., W., 2005. New Surface Temperature Analyses for Climate Monitoring, Geophysical Research Letters, 32, L14712.
- Street, H., L. ve Öpik, H., 1984. The Physiology of Flowering Plants: Their Growth and Development Third Edition, Baltimore.
- Sullivan, J., 1998. "Anthocyanin", Carnivorous Plant Newsletter (CPN) September.
- Taiz, L. ve Zeiger, E., 1991. Plant Physiology, Redwood City: B. Cummings, 565.
- Torun H., 2012. Tuz Stresine Maruz Bırakılan Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Çeşitlerinde Salisilik Asit Muamelesinin İçsel Fitohormonlar Düzeyinde Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Towers, G., H., N., in: Harborne, J., B., (Ed.), 1964. Biochemistry of Phenolics Compounds, Academic Press, London, UK, 249-294.
- Tsuda, T., Shiga, K., Ohshima, K., Kawakishi, S. ve Osawa, T., 1996. Inhibition of Lipid Peroxidation and the Active Oxygen Radical Scavenging Effect of Anthocyanin Pigments Isolated from *Phaseolus vulgaris* L., Biochemical Pharmacology, 52, 1033-1039.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu Verileri, T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, http://www.tarim.gov.tr/Ekutuphane,Tarim_Sektoru_Tarimsal.html?LanguageID=1 16 Mayıs 2011
- 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.
- Valentão , P., Fernandes, E., Carvalho, F., Andrade, P., B., Seabra, R., M. ve Bastos, M., L., 2003. Hydroxyl Radical and Hypochlorous Acid Scavenging Activity of Small Centaury (*Centaureum erythraea*) infusion. A comperative study with green tea (*Camellia sinensis*), Phytomedicine, 10, 517-522.
- Van der Stricht, E. ve Kirchmann, R., 2001. Radioecology: Radioactivity & Ecosystems. International Union of Radioecology, Liège, Belgium.

- 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, L., S. ve Stoner, G., D., 2008. Anthocyanins and their role in cancer prevention. Cancer Letters, 269, 281-290.
- Wang, S., Y. ve Jiao, H., 2000. Scavenging Capacity of Berry Crops on Superoxide Radicals, Hydrogen Peroxide, Hydroxyl Radicals, and Singlet Oxygen, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 5677-5684.
- Warfield, D., L., Nilan, R., A. ve Witters, R., E., 1975. The Effect of Ethylene and Ionizing Radiation on *Saintpaulia* Peroxidase Activity, Radiation Botany, 15, 423-429.
- Willekens, H., Inze, D., Van Montagu, M. ve Van Camp, W., 1995. Catalases in Plants. Molecular Breeding, 1, 207-228.
- Wink, M. 1997. Compartmentation of Secondary Metabolites and Xenobiotics in Plant Vacuoles, Advances in Botanical Research, 25, 141-169.
- Wi, S., G., Chung, B., Y., Kim, J., H., Baek, M., H., Yang, D., H., Lee, J., W. and Kim, J., S., 2005. Ultrastructural Changes of Cell Organelles in Arabidopsis Stem after Gamma Irradiation, Journal of Plant Biology, 48, 2, 195-200.
- Wi, S., G., Chung, B., Y., Kim, J., S., Kim, J., H., Beak, M., H., Lee, J., W. ve Kim, Y., S., 2007. Effects of Gamma Irradiation on Morphological Changes and Biological Responses in Plants, Micron, 38, 553-564.
- Yamini, K. ve Gobal, V., 2010. Natural Radioprotective Agents Aganist Ionizing Radiation, International Journal of PharmTech Research, Vol.2 No.2 pp, 1421-1426.
- Yordanov, I., Velikova, V. ve Tsonev, T., 2000. Plant Responses to Drought, Acclimation ans Stress Tolerance, Photosynthetica, 38, 171-186.
- Yoshida, S., Tamaoki, M., Shikano, T., Nakajima, N., Ogawa, D., Ioki, M., Aono, M., Kubo, A., Kamada, H., Inoue, Y. ve Saji, H., 2006. Cytosolic Dehydroascorbate Reductase is Important for Ozone Tolerance in *Arabidopsis thaliana*, Plant Cell Physioogy, 47, 304-308.
- Youdim, K., A., Shukitt-Hale, B., MacKinnon, S., Kalt, W. ve Joseph, J. A., 2000. Polyphenolics Enhance Red Blood Cell Resistance to Oxidative Stress: In vitro and in vivo, Biochimica et Biophysica Acta, 1523, 117-122.
- Yu, J., Vasathan, T. ve Temelli, F., 2001. Analysis of phenolic acids in barley by high-performance liquid chromatography, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, 4352-4358.
- 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.
- Zaka, R., Vandescateele, C., M. ve Misset, M., T., 2002. Effects of Low Chronic Doses of Ionizing Radiation on Antioxidant Enzymes and G₆PDH Activities an *Stipa capillata* (Poaceae), Journal of Experimental Botany, 53, 1979-1987.
- Zhang, Z., Pang, X., Xuwu, D., Ji, Z. ve Jiang, Y., 2005. Role of Peroxidase in Anthocyanin Degredation in Litchi Fruit Pericarp, Food Chemistry, 90, 47-52.
- Ziska, L., H. ve Dukes, J. 2011. Weed Biology and Climate Change, Wiley-Blackwell.

ÖZGEÇMİŞ

03.05.1984 tarihinde Trabzon'un Çaykara ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Trabzon Şehit Yüzbaşı Cengiz Topel İlköğretim Okulu'nda, orta ve lise öğrenimini Trabzon İmam Hatip Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında KTÜ, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve Çaykara ve Dernekpazarı Eğitim Vakfı bursunu kazandı. 2010 yılında KTÜ, Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aynı yıl 2210-Tübitak Yurt İçi Yüksek Lisans Bursu'nu kazandı. 2011 yılında KTÜ, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü'ne ÖYP araştırma görevlisi olarak atandı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.