



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ZnO NANOPARTİKÜLLERİNİN SOYA BİTKİSİ (*GLYCINE MAX*  
(L.) MERRILL) ÜZERİNDEKİ RADYOBİYOLOJİK ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BURCU AKBAY**

**TEZ DANIŞMANI**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ F. SEVİL YALÇIN**

**ÇANAKKALE – 2023**





T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**ZnO NANOPARTİKÜLLERİNİN SOYA BİTKİSİ (*GLYCINE MAX* (L.)  
MERRILL) ÜZERİNDEKİ RADYOBİYOLOJİK ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Burcu AKBAY

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi F. Sevil YALÇIN

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Koordinasyon Birimince desteklenmiştir.

Proje No: FYL-2022-3972

Çanakkale – 2023



T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Burcu AKBAY tarafından Dr. Öğr. Üyesi F. Sevil YALÇIN yönetiminde hazırlanan ve **31/08/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**ZnO Nanopartiküllerinin Soya Bitkisi (*Glycine Max (L.) Merrill*) Üzerindeki Radyobiyojik Etkisi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**İmza**

Dr. Öğr. Üyesi F. Sevil YALÇIN

.....

(Danışman)

Prof. Dr. Hüseyin AKSOY

.....

Dr. Öğr. Üyesi Bahri İZCİ

.....

Tez No : 10576211

Tez Savunma Tarihi : 31/08/2023

.....

Prof. Dr. AHMET EVREN

ERGİNAL

Enstitü Müdürü

.././20..

## ETİK BEYAN

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

Burcu AKBAY

31/08/2023

## TEŞEKKÜR

Tüm tez sürecim boyunca her zaman yanımda olan, mesleki tecrübeleriyle bana yol gösteren ve rehberlik eden, zorlandığım, yorulduğum ve düştüğüm her an sabırla ve gülyüzüyle beni yeniden ayağa kaldıran ve cesaretlendiren, tünelin sonunda ışık olduğuna her zaman beni inandıran, her daim elimden gelenin en iyisini ortaya koymaya karşı beni teşvik eden ve bana güvenen, mesleki tecrübelerinin yanı sıra hayat tecrübelerinden de ziyadesiyle faydalandığım, kendime daima bir rol-model olarak gördüğüm ve hedeflerini, çalışma ahlakını, disiplinini ve ilkelerini örnek aldığım, maddi-manevi her zaman yanımda olan, çok sevdiğim değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi F. Sevil YALÇIN'a,

Tohumların ışınlanması sürecinde yardımlarını esirgemeyen ve ışınlama süreci boyunca bana destek olan Bursa Ali Osman Sönmez Onkoloji Hastanesi sağlık fizikçisi Hakkıcan ÖZDEN'e,

Nanopartiküllerin homojenizasyonunu sağlamak amacıyla sonikatör cihazını kullanmama izin veren ve laboratuvarlarını bana açan Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK'e, Prof. Dr. Kemal Melih TAŞKIN'a, Arş. Gör. Hakan GÜVEN'e ve homojenizasyon için gerekli olan deiyonize suyu temin etmede bana yardımcı olan Doç. Dr. Didem Giray DİLGİN'e,

Klorofil analizi için spektrofotometre cihazını kullanmama izin veren ve bu süreçte bana yardımcı olan Doç. Dr. Bayram KIZILKAYA'ya ve kuvars küvetlerini benimle paylaşan Doç. Dr. Sefa ACARLI'ya,

Sera kurulumu sırasında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Ertuğrul KANMAZ'a,

Çalışmamın veri analizi kısmında istatistik bilgisiyle bana yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Bahri İZCİ'ye,

Nanopartikül karakterizasyonu analizi süresince bana yardımcı olan ve tüm sorularımı samimiyetle cevaplayan Öğr. Gör. R. Nilay TEZEL'e,

Zeta potansiyeli analizi konusunda bana yardımcı olan Sezgin ÖZKASAPOĞLU'na,

Veri toplama sürecinde bana yardımcı olan ÇOMÜ fen bilgisi öğretmenliği lisans öğrencilerine,

Lisans, yüksek lisans ve tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca bana yol gösteren, rehberlik eden ve bugünlere gelmemde büyük payı ve emeği olan tüm değerli hocalarıma,

Son olarak, beni her zaman destekleyen ve yanımda olan canım aileme ve ailem bildiğim dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Dilerim bu tez çalışması, bilim camiasında küçükte olsa bir boşluğu doldurur ve bu alanda bundan sonra yapılacak olan sonraki çalışmalara bir ışık tutar.

Burcu AKBAY  
Çanakkale, Ağustos 2023

## ÖZET

### ZnO NANOPARTİKÜLLERİNİN SOYA BİTKİSİ (*GLYCINE MAX* (L.) MERRILL) ÜZERİNDEKİ RADYOBİYOLOJİK ETKİSİ

Burcu AKBAY

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi F. Sevil YALÇIN

31/08/2023, 129

Bu çalışmada ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi üzerine X-radyasyonun ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu oluşturduğu etkiler M<sub>1</sub> sera çalışması ile saptanmıştır. ANP 2018 çeşidine ait tohumlar 300 Gy, 400 Gy ve 500 Gy X-radyasyon dozu uygulandıktan sonra 500 mg/L<sup>-1</sup> (NP<sub>1</sub>) ve 2000 mg/L<sup>-1</sup> (NP<sub>2</sub>) ZnO Nano partikül konsantrasyonlarına tabi tutulmuştur.

ZnO nanopartiküllerinin antioksidan özellik göstermeleri ve olası bir oksidatif stres anında hücrenin savunma sistemini harekete geçirerek ortaya çıkabilecek hasarları önlemeleri gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle bu çalışmada ZnO nanopartikülünün soya bitkisinde iyonize edici radyasyona karşı radyoprotektif etkisini incelemek amaçlanmıştır.

M<sub>1</sub> sera denemesinde ANP 2018 soya çeşidi üzerine ZnO Nanopartikülünün ve radyasyonun bitki çıkış oranı, canlılık indeksi, fide boyu, kök uzunluğu, yaş-kuru ağırlık, Zn miktarı ve klorofil miktarları üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

Muamele edilen tüm tohumlar deneme sandıkları içerisinde torf-perlit karışımı toprağa tesadüfi blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olacak şekilde ekilmiştir. Ekimden bir hafta sonra çıkışlar alınmış, 21 günün sonunda da bitkiler hasat edilerek kök



bitki çıkış oranı, canlılık indeksi, fide boyu, kök uzunluğu, yaş-kuru ağırlık, Zn miktarı ve klorofil miktarları ölçülmüştür.

Sonuç olarak; ANP 2018 soya çeşidinde X-radyasyonuna olan hassasiyetin, ZnO nanopartikülü ile birlikte uygulanması sonucu değiştiği saptanmıştır. Ele alınan soya çeşidinde X-radyasyonu ile ZnO nanopartikülünün birlikte uygulandığı koşullarda ZnO nanopartikülünün, sadece X- radyasyonu uygulamalarında meydana getirdiği olumsuz etkileri azaltıcı yönde bir etkisinin olduğu ve soyanın bitki çıkış oranı, canlılık indeksi, fide boyu, kök uzunluğu, yaş-kuru ağırlık, Zn miktarı ve klorofil miktarları gibi özelliklerinde bu azaltıcı etkinin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** İyonize Edici Radyasyon, Radyoprotektif Nanopartikül, Soya Fasulyesi, ZnO Nanopartikülü

## ABSTRACT

### RADIOBIOLOGICAL EFFECT OF ZnO NANOPARTICLES ON SOYBEAN (*GLYCINE MAX (L.) MERRILL*)

Burcu AKBAY

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Education

Department of Mathematics and Science Education Master's Thesis

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi F. Sevil YALÇIN

31/08/2023, 129

In this study; The effects resulting from the application of X-rays and ZnO nanoparticles (ZnO NP) separately and together on the ANP 2018 soybean variety were determined by the M<sub>1</sub> greenhouse experiment. The seeds of ANP 2018 soybean variety were x-rayed at doses of 300, 400 and 500 Gy, and after the radiation application, the seeds were subjected to 500 mg/L<sup>-1</sup> (NP<sub>1</sub>) and 2000 mg/L<sup>-1</sup> (NP<sub>2</sub>) ZnO nanoparticle applications.

Since ZnO nanoparticles have antioxidant properties and prevent damage that may occur by activating the cell's defense system in the event of a possible oxidative stress, this study aimed to examine the radioprotective effect of ZnO nanoparticle against ionizing radiation in soybean plant.

In the M<sub>1</sub> greenhouse experiment, the effects of the application of ZnO nanoparticle and radiation separately and together on the ANP 2018 soybean cultivar on plant emergence percentage, root length, seedling height, vitality index, fresh-dry weight, amount of zinc and amount of chlorophyll were investigated.

All the treated seeds were planted in the soil mixed with peat-perlite in the experimental boxes in a randomized plot design with three replications. One week after planting, the shoots were taken, and at the end of 21 days, the plants were harvested the root plant exit rate, vitality index, seedling height, root length, seedling height, wet-dry weight, amount of zinc and amount of chlorophyll were measured.

In conclusion; It was determined that the radiation sensitivity caused by X-rays in ANP 2018 soybean cultivar changed with ZnO nanoparticle applications. In the soybean cultivar under consideration, when X-rays and ZnO nanoparticles are applied together, ZnO nanoparticle has a decreasing effect on the negative effects caused by X-rays, and the plant emergence percentage, vitality index, root length, seedling height, fresh-dry weight, amount of zinc and chlorophyll amounts of soybean. It has been revealed that this reducing effect on parameters is statistically significant.

**Keywords:** Ionizing Radiation, Radioprotective Nanoparticle, Soybean, ZnO Nanoparticle



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1.1. Radyasyon ve Sınıflandırılması.....	6
1.2. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	8
1.3. X-Işımları.....	9
1.4. İyonlaştırıcı Radyasyonların Canlıda Oluşturduğu Etkiler.....	10
1.5. İyonize Edici Radyasyon (IR) ve Bitki Etkileşimi.....	11
1.6. Antioksidan Mekanizmalar.....	16
1.7. Tarımda Radyasyon ve Mutasyon Islahı.....	17
1.8. Nanoteknoloji ve Tarım İlişkisi.....	20
1.9. ZnO Nanopartikülü.....	26
1.10. Soya Fasulyesi ( <i>Glycine max</i> (L.) Merr.).....	28
1.11. Problem Durumu.....	31
1.12. Araştırmanın Sınırlılıkları.....	38
1.13. Varsayımlar.....	38
1.14. Tanımlar.....	38

İKİNCİ BÖLÜM  
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1.	İyonize Radyasyonun Bitki Gelişimine Olan Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar .....	40
2.2.	ZnO Nanopartikülü ile Yapılan Çalışmalar.....	43
2.3.	ZnO Nanopartiküllerinin Radyo-Koruyucu Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar	45

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM  
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

3.1.	Bitki Materyalinin Temini .....	49
3.2.	Tohumların Hazırlanması.....	49
3.3.	X-Işını Uygulamaları.....	50
3.3.1.	X-Işını Uygulamaları İçin Tohumların Hazırlanması.....	50
3.3.2.	Optimum X-Işını Dozlarının Belirlenmesi.....	51
3.4.	Nanopartikül Uygulamaları.....	51
3.4.1.	ZnO Nanopartikülü Temini.....	51
3.4.2.	Nano-ZnO'nun Hazırlanması.....	52
3.4.3.	Nano ZnO'nun Karakterizasyonu.....	53
3.4.4.	Nano ZnO'nun Zeta Potansiyeli.....	53
3.4.5.	Optimum ZnO NP Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	54
3.5.	X-Işını ve ZnO NP'nin Kombine Olarak Uygulanması.....	56
3.6.	Veri Toplama Teknikleri ve Yapılacak Analizler.....	56
3.6.1.	Çimlenme Yüzdesi.....	56
3.6.2.	Kök-Gövde Uzunluğu.....	56
3.6.3.	Yaş-Kuru Ağırlık.....	57
3.6.4.	Canlılık İndeksi.....	57
3.6.5.	Toplam Klorofil Miktarı.....	57
3.6.6.	Zn Miktarı.....	58
3.7.	Verilerin Analizi.....	58

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM  
ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1	Soya Tohumlarına Uygulanacak X Radyasyon Dozlarının Belirlenmesi.....	59
4.2.	Soya Tohumlarına Uygulanacak ZnO NP Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	64
4.2.1.	ZnO Nanopartiküllerinin Karakterizasyonunun Belirlenmesi.....	64
4.2.2.	ZnO Nanopartiküllerinin Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi.....	64
4.2.3.	Soya Fasulyesi Tohumlarının Çimlenme Yüzdeleri Üzerine ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi.....	66
4.2.4	Soya Fasulyesi Tohumlarının Ortalama Kök Uzunlukları Üzerine ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi.....	69
4.3.	X-Işını Radyasyonu ve ZnO Nanopartikülünün Bir Arada Uygulanması.....	71
4.3.1.	M <sub>1</sub> Sera Denemesi Sonuçları.....	71
4.3.2	Bitki Çıkış Yüzdelerinin Saptanması.....	71
4.3.3	Canlılık İndekslerinin Saptanması.....	73
4.3.4	Fide Yüksekliğinin Saptanması.....	74
4.3.5	Fide Kök Uzunluğunun Saptanması.....	77
4.3.6	Toplam Klorofil Miktarının Saptanması.....	78
4.3.7	Zn Miktarının Saptanması.....	81
4.3.8.	Yaş-Kuru-Net Ağırlık Değerlerinin Saptanması.....	83

BEŞİNCİ BÖLÜM  
SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1.	ANP 2018 Soya Fasulyesi Çeşidi İçin Optimum X-Işını Dozunun Belirlenmesi..	86
5.2.	ANP 2018 Soya Fasulyesi Çeşidi için Optimum ZnO Nanopartikülünün Belirlenmesi.....	87
5.3.	X-ışını ve ZnO Nanopartikülünün Birlikte Uygulanması.....	88
5.3.1.	Tohum Çimlenme Yüzdesi ve Canlılık İndeksi.....	88
5.3.2.	Kök Uzunluğu-Fide Yüksekliği.....	89
5.3.3.	Zn Miktarı.....	92
5.3.4.	Yaş-Kuru Ağırlık.....	93
5.3.5.	Toplam Klorofil Miktarı.....	94

5.3.6. ZnO Nanopartikülünün Radyo-Koruyucu Etkisi.....	95
KAYNAKÇA .....	99
EKLER.....	I
EK1. Işınlanma Onay Belgesi.....	I
EK2. Sera Kurulumu İzin Belgesi.....	II



## SİMGELER VE KISALTMALAR

mg	Miligram
g	Gram
µg	Mikro Gram
L	Litre
%	Yüzde Oranı
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
RNA	Ribo Nükleik Asit
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
dk.	Dakika
h	Saat
Gy	Gray
V	Hacim
W	Taze Yaprığın Gram Olarak Ağırlığı
K <sub>a</sub>	Klorofil A
K <sub>b</sub>	Klorofil B
K <sub>t</sub>	Toplam Klorofil
D <sub>663</sub>	663 Nanometre Dalga Boyundaki Absorbsiyon Değeri
D <sub>645</sub>	645 Nanometre Dalga Boyundaki Absorbsiyon Değeri
nm	Nanometre
cm	Santimetre
°C	Santigrat Derece
<	Küçük
≥	Büyük Eşit
±	Standart Sapma
vb.	Ve Benzeri
SD	Standart Sapma
NP	Nanopartikül
NP <sub>1</sub>	500 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP ile Muamele Edilmiş Grup
NP <sub>2</sub>	2000 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP ile Muamele Edilmiş Grup
300 Gy+NP <sub>1</sub>	300 Gy X Işını ve 500 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP'nin kombine uygulaması
300 Gy+NP <sub>2</sub>	300 Gy X Işını ve 2000 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP'nin kombine uygulaması



400 Gy+NP <sub>1</sub>	400 Gy X Işını ve 500 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP'nin kombine uygulaması
400 Gy+NP <sub>2</sub>	400 Gy X Işını ve 2000 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP'nin kombine uygulaması
500 Gy+NP <sub>1</sub>	500 Gy X Işını ve 500 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP'nin kombine uygulaması
500 Gy+NP <sub>2</sub>	500 Gy X Işını ve 2000 mg/L <sup>-1</sup> ZnO NP'nin kombine uygulaması
ENM	Mühendislik Nanomalzemeleri
0D	Sıfır Boyutlu Nanomalzemeler
1D	Tek Boyutlu Nanomalzemeler
IR	İyonize Edici Radyasyon
ZnO	Çinko Oksit
Zn	Çinko
CuO	Bakır Oksit
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bizmut (III) Oksit
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Demir (II, III) Oksit
CaCO <sub>3</sub>	Kalsiyum Karbonat
CeO <sub>2</sub>	Seryum Dioksit
UV	Ultraviyole
ISS	Uluslararası Uzay İstasyonu
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (ABD)
GCR	Galaktik Kozmik Radyasyon
LD <sub>50</sub>	Yarısını Öldürücü Doz
GR <sub>50</sub>	Büyümeyi Yarıya İndiren Doz
AGS	Adrenogenital Sendrom
Mn	Mangan
MeV	Milyon Elektrovolt
NiO	Nikel (II) Oksit
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskobu
ÇOMÜ	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
ÇOBİLTUM	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama Merkezi
TENMAK	Türkiye Enerji Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo No</b>	<b>Tablo Adı</b>	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 1</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarının Çimlenme Yüzdeleri Üzerine X-Işınlarının Etkisi.....	59
<b>Tablo 2</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarından Yetiştirilen Fidelerin Fide Yüksekliği Üzerine X-Işınlarının Etkisi.....	60
<b>Tablo 3</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarının Çimlenme Yüzdeleri Üzerine ZnO Nanopartikülünün Etkisi.....	66
<b>Tablo 4</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarının Kök Uzunluğu Üzerine ZnO Nanopartikülünün Etkisi.....	69
<b>Tablo 5</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Bitki Çıkış Yüzdeleri Üzerine Etkisi.....	70
<b>Tablo 6</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Fidelerin Canlılık İndeksleri Üzerine Etkisi.....	71
<b>Tablo 7</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Fide Yükseklikleri Üzerine Etkisi.....	73
<b>Tablo 8</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Kök Uzunluğu Üzerine Etkisi.....	77
<b>Tablo 9</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının $K_a$ , $K_b$ ve $K_t$ Üzerine Etkisi.....	79
<b>Tablo 10</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Zn Miktarı Üzerine Etkisi.....	81
<b>Tablo 11</b>	Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Yaş-Kuru ve Net Ağırlık Üzerine Etkisi.....	83

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Radyasyon Kaynakları ve Yüzdeleri.....	6
Şekil 2	İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	7
Şekil 3	Alfa, Beta, Gama, X ve Nötron Işınlarnın Kâğıt, Plastik, Kurşun ve Beton Levhalardaki Giricilikleri.....	7
Şekil 4	Elektromanyetik Tayf/Spektrum.....	8
Şekil 5	Gama ve X-Işınlarnın Meydana Geliş Şekilleri.....	9
Şekil 6	X-Işınlarnın Meydana Gelmesi.....	10
Şekil 7	İyonize Radyasyonun Canlıda Oluşturduğu Etki Basamakları.....	11
Şekil 8	Düşük Dozlarda IR'ye Maruz Kalmış Bitkide Tepki Mekanizması.....	13
Şekil 9	Radyasyonun Doğrudan ve Dolaylı Etki Mekanizması.....	13
Şekil 10	İyonlaştırıcı Radyasyonun Doğrudan ve Dolaylı Etki Mekanizması.....	14
Şekil 11	Serbest Radikallerin ve ROS'un Oluşmasıyla Sonuçlanan IR Destekli Su Radyoliz Adımlarını Temsil Eden Şema.....	15
Şekil 12	Nanomalzemeler.....	21
Şekil 13	Tarımda Nanoteknolojinin Potansiyel Faydaları.....	22
Şekil 14	Çeşitli Tohum Hazırlama Yöntemleri.....	23
Şekil 15	Nano-Priming ve Tohum Astarlamanın Çimlenme Aşamaları Üzerindeki Karşılaştırmalı Etkisi.....	24
Şekil 16	Tohumda Nano-Priming Uygulamasının Birincil ve İkincil Metabolizma Üzerindeki Etki Mekanizması.....	24
Şekil 17	Nanopartiküllerin Etki Mekanizmasında Tohum Anatomisinin Rolü.....	26

<b>Şekil 18</b>	ZnO Nanopartiküllerinin Bitkilerdeki Rolü.....	28
<b>Şekil 19</b>	Soya Fasulyesi ve Sistematikteki Yeri.....	29
<b>Şekil 20</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumları.....	29
<b>Şekil 21</b>	Soya Fasulyesi Fidesi .....	29
<b>Şekil 22</b>	Soya Fasulyesinin Mor Çiçeği.....	29
<b>Şekil 23</b>	Soya Kökündeki Nodüller.....	30
<b>Şekil 24</b>	Olgun Soya Fasulyesi Tohumu.....	30
<b>Şekil 25</b>	Nodül Oluşumu.....	30
<b>Şekil 26</b>	Manyetik Karıştırıcıda Karıştırılan Tohumlar.....	49
<b>Şekil 27</b>	Linac Cihazı.....	50
<b>Şekil 28</b>	Işınlama İçin Paketlenen Tohumlar.....	50
<b>Şekil 29</b>	ÇOMÜ Eğitim Fakültesi Bahçesine Kurulan Sera.....	51
<b>Şekil 30</b>	Sera İçerisinde Yetiştirilen Soya Fasulyeleri.....	51
<b>Şekil 31</b>	Sonikatörde Karıştırılan Nanopartiküller.....	52
<b>Şekil 32</b>	Farklı Konsantrasyonlardaki Zno Nanopartikülleri İçerisinde Beklemeye Bırakılan Tohumlar.....	52
<b>Şekil 33</b>	Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM).....	53
<b>Şekil 34</b>	Malvern-Zetasizer Nano ZSP Marka Zeta Potansiyeli Ölçüm Cihazı.....	54

<b>Şekil 35</b>	Petri Kaplarına İçerisine Ekimi Yapılan Soya Fasulyesi Tohumlarının Genel Görüntüsü.....	55
<b>Şekil 36</b>	Petri Kabına Ekimi Yapılan Soya Fasulyesi Tohumlarının Üstten Görüntüsü.....	55
<b>Şekil 37</b>	Binoküler Stereo Mikroskop Altında İncelemelerin Yapılması.....	55
<b>Şekil 38</b>	Binoküler Stereo Mikroskop Altında İncelemelerin Yapılması.....	55
<b>Şekil 39</b>	Spektrofotometre Cihazı ve Kuvars Küvet.....	58
<b>Şekil 40</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarının Çimlenme Yüzdeleri Üzerine X-Işınlarının Etkisi.....	60
<b>Şekil 41</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarının Fide Yükseklikleri Üzerine X-Işınlarının Etkisi.....	61
<b>Şekil 42</b>	Farklı Dozlarda Uygulanan X-Işınlarının Fide Yüksekliğinde Meydana Getirdiği Farklılıklar.....	61
<b>Şekil 43</b>	ANP 2018 Soya Çeşidinde Fide Yüksekliği Üzerine X-Radyasyonun Etkisi.....	62
<b>Şekil 44</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesinin Fide Yükseklikleri ile X-Işınları Arasındaki İlişki.....	62
<b>Şekil 45</b>	Farklı Dozlarda Uygulanan X-Işınlarının ANP 2018 Soya Fasulyesinde Meydana Getirdiği Morfolojik Farklılıklar.....	63
<b>Şekil 46</b>	Dört Farklı Konsantrasyondaki ZnO Süspansiyonunun Dağılım ve Dispersiyonunun TEM Mikrografı.....	64
<b>Şekil 47</b>	Dört Farklı Konsantrasyondaki ZnO Süspansiyonunun Zeta Potansiyeli Değerleri.....	65
<b>Şekil 48</b>	96. Saaatin Sonunda ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarının Çimlenme Yüzdesinde ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi.....	67

<b>Şekil 49</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarının Çimlenme Yüzdesi Üzerine ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi.....	67
<b>Şekil 50</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarının Kök Uzunlukları Üzerine ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi.....	70
<b>Şekil 51</b>	96. Saaatin Sonunda ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarının Kök Uzunluklarında ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi.....	70
<b>Şekil 52</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Bitki Çıkış Yüzdeleri Üzerine Etkisi .....	72
<b>Şekil 53</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Fide Canlılık İndeksleri Üzerine Etkisi .....	74
<b>Şekil 54</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Fide Yükseklikleri Üzerine Etkisi .....	75
<b>Şekil 55</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Fide Yükseklikleri Üzerine Etkisi .....	76
<b>Şekil 56</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Kök Uzunlukları Üzerine Etkisi .....	78
<b>Şekil 57</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Klorofil Miktarları Üzerine Etkisi .....	80
<b>Şekil 58</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Zn Miktarı Üzerine Etkisi .....	82
<b>Şekil 59</b>	ANP 2018 Soya Fasulyesi Tohumlarında X-Işınlarının ve ZnO Nanopartikülünün Ayrı Ayrı ve Birlikte Uygulanmasının Yaş-Kuru-Net Ağırlık Üzerine Etkisi .....	85

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

Nanopartikül (NP) kullanımının yirmi birinci yüzyılın başında farklı tarım alanlarında birçok avantaja sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Rajput vd., 2021). Günümüzde yaşanan kuraklık, tuzluluk, iklim değişiklikleri vb. gibi faktörler nedeniyle, gelecekte dünya çapında olası bir besin krizi yaşanabileceği öngörülmekte ve nanopartiküllerin bu kapsamda sürdürülebilirlik ve verimliliği sağlamada, abiyotik ve biyotik streslerle mücadele etmede etkili bir yöntem olabileceği düşünülmektedir (Fincheira vd., 2020; Usman vd., 2020).

Nano endüstri, esas olarak kozmetik endüstrisinde (Carrouel vd., 2020), tıpta (Anselmo ve Mitragotri, 2019), gıdalarda ve güneş pillerinde (Shende vd., 2021) büyük ölçüde çinko bazlı nanopartiküller şeklinde kullanılmaktadır.

Bitkilerde verim özellikleri, proteinler, karbonhidratlar, enerji metabolizması ve klorofil üretimi üzerinde önemli rol oynayan mikroelement çinkodur. Ayrıca nano boyuttaki çinko'nun aksiyon hızları daha yüksektir. Çinko iyonları birçok enzimin ve bitkinin aktiviteleri için önemlidir, ayrıca çinko klorofil biyosentezi için gereklidir ve bu da verime katkıda bulunur (Rahmani vd., 2016).

ZnO-Nanopartikülünün (ZnO-NP) kullanımının bitki gelişimi üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri kullanılan konsantrasyona bağlıdır (Faizan vd., 2020; Rajput vd., 2021). Yapılan araştırma bulguları, çeşitli bitki türlerinin nano ölçekli materyale farklı tepkiler verdiğini göstermektedir (Aly vd., 2023; Giri ve Kumarai, 2023).

Nanopartiküller, yüksek alan/hacim oranı, yüksek antimikrobiyal aktivite, yüksek fotokatalitik reaktivite ve daha düşük bir erime noktası gibi özel fizikokimyasal özelliklere sahip olan ve 100 nm'den daha küçük olan küçük boyutlarıyla doğrudan bağlantılı olan atomik veya moleküler topluluklardır (Zhang vd., 2019). Bitkiler, küçük boyutları nedeniyle nanopartikül formundaki kimyasal maddeleri emebilmektedir (Shende vd., 2021). Hem pozitif hem de negatif morfo-fizyolojik değişikliklere neden olan nanopartiküller ile bitki hücresi arasındaki etkileşim, kimyasalların bileşimine, boyutlarına, şekillerine, yüzey

kaplamasına, reaktivitesine, konsantrasyonlarına ve nanopartiküllerin uygulanma şeklinin yanı sıra bitkinin genotip, yaş ve gelişim aşamalarına da bağlıdır (Rajput vd., 2021; Torabian vd., 2016).

Soya (*Glycine max* L.) bitkisi, tek yıllık bitkiler arasında dünya bitkisel yağ üretim ve tüketiminde birinci sırada yer alan önemli bir yağ bitkisidir. Soya aynı zamanda bir baklagil bitkisi olduğu için kendinden sonra kullanılacak bitkiler için toprağa azot bağlamaktadır. Bu yüzden iyi bir münavebe bitkisi olarak kabul edilmektedir. Soya bitkisinin tohumlarında ortalama %36-40 protein, %18-24 yağ (Omega-3 ve benzeri yağ asitleri), B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, K ve Zn, Fe ve Ca elementleri, %27 karbonhidrat ve %18 madensel maddeler bulunmaktadır. Ayrıca soya küspesi hayvan beslenmesinde yem olarak kullanılmakta ve buna ek olarak gıda endüstrisinde (bisküvi, çikolata, hazır çorba vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır (Özcan, 2022).

İyonize edici radyasyon, bitkisel üretimde istenilen miktarda üretim artışını sağlayabilmek, yüksek verim potansiyeline sahip, yetiştirme şartlarına uyum gösteren, kalite özellikleri yönünden iyi, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı yeni çeşitlerin elde edilmesinde, üretimdeki çeşitlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasında kullanılan mutasyon ıslah çalışmalarının yanı sıra, bitkilerde koruma sürelerini artırmak veya patojen yayılmasını azaltmak için bazı tarım ürünlerini sterilize etmek için kullanılır. Ancak iyonize edici radyasyonun bitki büyümesini etkilediği ve bitki dokularında sitolojik, genetik, fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. Bu değişiklikler doz yoğunluğunun düşük veya yüksek olmasına bağlıdır (Aly vd., 2021a; Aly vd., 2019b; El-Beltagi vd., 2022).

Bilindiği üzere elektromanyetik tabiatlı iyonlaştırıcı radyasyonlar, en etkili radyasyondur çünkü bu ışınlar yüksek enerji düzeyine sahiptir ve nüfuz edicilikleri fazladır dolayısıyla; bu ışınlara çevresel maruziyet, yüksek derecede biyolojik hasara neden olmaktadır (Reisz vd., 2014).

İyonlaştırıcı radyasyon bitkilerin yaşamsal aktivitelerinin tamamına yakını etkileyerek onların DNA'larını hedef alır ve antioksidan savunma sistemleri gibi birçok değişkenleri üzerinde farklılıklara neden olur (Esnault vd., 2010).



İyonize edici radyasyonun hücredeki su atomları veya DNA molekülleri ile etkileşim moduna dayalı olarak bitki hücrelerinde çeşitli biyolojik etkileri bulunmaktadır. Güçlü bir ajan olarak nitelendirilen bu ışınlar, DNA üzerindeki doğrudan ve/veya dolaylı etki yoluyla serbest radikallerin, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi ile oksidatif stresi indükleyerek hücresel DNA ile etkileşime girerek DNA'ya zarar verirler, hücrelerde çeşitli lezyonlara ve DNA kırılmalarına neden olurlar (Reisz vd., 2014). Sözü edilen bu radyolitik ROS, oldukça reaktif olup, DNA ve RNA gibi hücresel makromoleküllerde baz silinmesi, pirimidin dimerleri, çapraz bağlar, iplik kopmaları, baz modifikasyonu, moleküler değişiklikler ve mitoz sırasında kromozomların yanlış ayrılmasına neden olur (Nurmansyah vd., 2018).

O halde iyonize edici radyasyonla ışınlama sonucunu takiben bitki ıslahçıları ve genetikçileri ilgilendiren üç sonuç ortaya çıkmaktadır. Bunlar; fizyolojik zarar, gen mutasyonları ve kromozom mutasyonlarıdır.

Birincisi ön etki (fizyolojik zarar), diğerleri ise, kalıtsal değişiklik yani mutasyonlardır. Fizyolojik zarar, mutasyon uygulamasını takip eden birinci generasyonda ( $M_1$ ) ortaya çıkar. Fizyolojik zarar etkisi, hücre bölünmesinin engellenmesi, büyüme hızının ve davranışının değişimi ve dokuların yeniden düzenlenmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Fizyolojik zarar oranının belirlenmesinde, vejetatif gelişim, köklenme durumu ve bitkilerin hayatta kalma oranı dikkate alınır. Kromozom mutasyonları,  $M_1$  veya sonraki generasyonlarda belirlenebilirken, gen mutasyonları çoğunlukla resesif olduğundan, değişik fenotiplerin ve gen mutasyonlarının ortaya çıkması,  $M_1$  generasyonunda gerçekleşmekte ve kalıcı mutasyonların gelecek generasyonlara aktarılması mümkün olmaktadır (Donini, 1982).

Dolayısıyla bitkileri iyonize edici radyasyondan korumanın önemi oldukça büyüktür. Bu kapsamda, olası radyasyon hasarlarını en aza indirgemede, toksik etki göstermeyen radyo koruyucu (radyoprotektif) kullanılması ve bu amaçla çeşitli araştırmaların yapılmaya başlanması, radyo koruyucu etki gösteren nanopartiküllere olan ilginin giderek artmasına neden olmuştur (Mohamed vd., 2019) çünkü; iyonize edici radyasyona maruz kalan bir hücrenin bu stres durumuna göstermiş olduğu koruyucu tepki mekanizması yetersizdir.

Dolayısıyla nanopartiküller, olası stres faktörleriyle karşılaşan bitkisel materyallerin savunma sistemlerini harekete geçirmede ve iyileştirmede önemli bir role ve öneme sahiptir.

Son zamanlarda, nanopartiküllerin tarım alanlarındaki olası uygulamaları, fizikokimyasal, optik ve elektriksel birtakım özelliklere sahip olmaları, benzersiz biyoaktif olmaları, yüksek reaktiviteleri ve küçük boyutlarının yanı sıra yüksek özgül alana ve yüksek yüzey enerjisine sahip olmaları gibi nedenlerle araştırmacıların dikkatini çekmeye başlamıştır. (Veronica vd., 2015). Sözü edilen bu nanopartiküllerin biyolojik etkisi, muhtemelen hedef bitki dokusuna ve giriş yoluna bağlıdır. Baazaoui vd., (2020)'na göre bitkilerin nanopartiküllerle olan etkileşimleri büyük ölçüde bitki çeşidi, nanopartikül boyutu ve özellikleri ve bitki-nanopartikül iletim yolu ile yakından ilişkilidir.

Bu bağlamda ZnO nanoparçacıkları (nano-ZnO), mükemmel biyoyumlulukları, ekonomik olmaları ve düşük toksisiteleri nedeniyle biyolojik uygulamalarda en popüler metal oksit nanoparçacıklardan biri haline gelmiştir (Jiang vd., 2018). Diğer metal oksit NP'leri ile karşılaştırıldığında, nispeten ucuz ve nispeten daha az toksik özelliğe sahip nano-ZnO, biyolojik sistemlerde serbest radikal süpürücüler ve antioksidanlar olarak mükemmel bir potansiyele sahiptirler (Siddiqi ve Husen, 2017).

Tüm bunlara ek olarak son zamanlarda yapılan çalışmalar, seryum oksit nanoparçacıkları, çinko oksit (ZnO) NP'ler, karbon NP'ler vb. gibi çeşitli nanoparçacıkların antioksidan özelliklere sahip olmaları ve oksidatif DNA hasarına karşı hücrel savunmada anahtar rol oynamaları gibi nedenlerle radyo koruyucu etkisinin olduğunu ortaya koymuştur. (Karami vd., 2018; Wang vd., 2016;).

Ayrıca, radyo koruyucu özelliğe sahip nanopartiküllerin tıpta, özellikle onkoloji alanında radyoterapide kullanımına dair yapılan çalışmaların sayısı (Rageh ve El-Gebaly, 2018; Wu vd., 2020) giderek artmaya başlamış ve bu alanda yapılan her çalışma diğer araştırmacılar için de ilgi çekici bir hale gelmeye başlamıştır.

Nanopartiküllerin, radyo koruyucu özelliklerinin araştırılmasına dair çeşitli çalışmalar mevcuttur ancak var olan bu çalışmalar, ağırlıklı olarak tıpta ve özellikle onkoloji

alanında yapılan çalışmalardır. Yapılan literatür taramaları sonucu radyo koruyucu etki gösterme potansiyeline sahip olduğu düşünölen nanopartiköllerin bitkisel materyallerde de aynı koruyucu etkiyi gösterip gösteremeyeceğine dayalı çalışmalarda yetersiz olduğu düşünölmektedir.

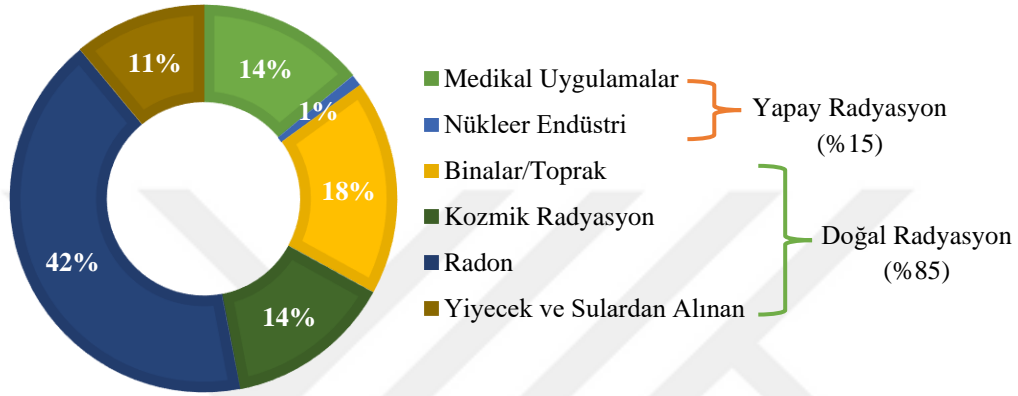
Bunlara ek olarak, nanopartiköllerin tarımsal alanda özellikle bitki verimini artırmada ve bitkileri herbisit vb. gibi çeşitli patojenlere karşı korumada çevreye ve bitkilere zararlı kimyasal kullanımına farklı bir çözüm yolu olması (Wang vd., 2016) vb. gibi faydalı özelliklerinin yanı sıra radyo koruyucu olarak da kullanılabilme potansiyeline sahip olup olmadığı da tam olarak bilinmemektedir. Bu bağlamda, yapılan bu çalışmayla birlikte radyo koruyucu nanopartiköller kapsamında yeni bir çalışma alana sunulmuş olacaktır.

Dolayısıyla tüm bunlardan hareketle, X radyasyonu ile ışınlanmış soya tohumlarının çekirdek DNA'sının X radyasyonu tarafından indüklenen hasarlardan korunmasında nano-ZnO'nun radyo-koruyucu kapasitesinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmanın, nanopartiköllerin tıp alanı dışında bitkisel materyaller üzerinde de radyo koruyucu özellik gösterip göstermediğini ortaya koyan sınırlı sayıdaki çalışmalardan biri olacağı düşünölmektedir.

Ayrıca literatür incelendiğinde, bitkisel materyaller üzerinde çeşitli stres faktörlerine karşı nanopartiköllerin etkisi incelenmiş ancak X radyasyon stresine karşı nanopartiköllerin etkisinin incelendiği çalışmalarda oldukça az sayıda olduğu görölmüştür. Özellikle yurt içi alan çalışmalarda, bu kapsamda bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu kapsamda yapılan bu tez çalışmayla birlikte, bu konu alanındaki bu eksiklik giderilecek ve bundan sonra bu doğrultuda yapılacak olan diğer çalışmalarda ışık tutulacaktır.

## 1.1. Radyasyon ve Sınıflandırılması

Radyasyon; kararsız bir çekirdeğin fazla enerjisinin, kararlılığı sağlamak için parçacıklar veya dalgalar aracılığıyla serbest bırakıldığı bir enerji yayım sürecidir (Çimen vd., 2017; Sürücü ve Subaşı, 2021). Hem doğal hem de antropojenik (yapay) radyasyon kaynakları mevcuttur (Şekil 1).

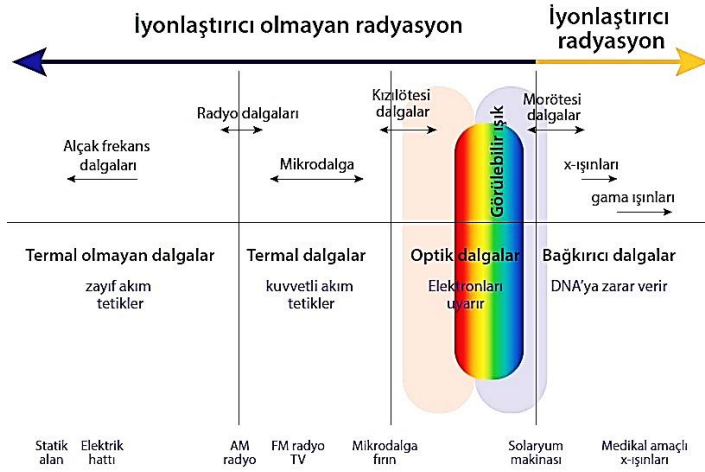


Şekil 1. Radyasyon kaynakları ve yüzdeleri

([www.afad.gov.tr](http://www.afad.gov.tr)'den düzenlenmiştir).

Radyasyon, elektromanyetik (dalga tipi) ve partiküler (parçacık tipi) olarak iki temel sınıfa ayrılır. Görünen ışık, kızılötesi, ultraviyole ışınlar, X-ışınları ve gama ışınları elektromanyetik radyasyonları; elektronlar, pozitronlar, protonlar ve nötronlar ise partiküler radyasyonları oluştururlar (Kumar ve Pandey, 2019).

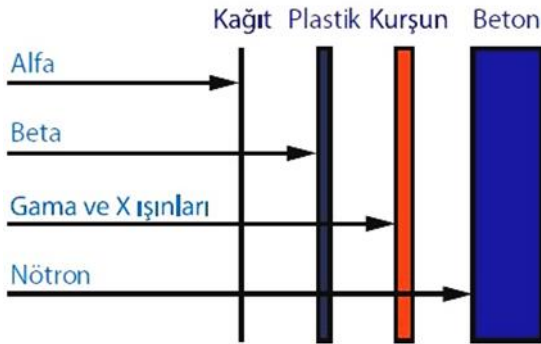
Partiküler ve elektromanyetik radyasyonlar maddede iyonlaşma oluşturup oluşturmamalarına göre ikiye ayrılırlar. İyonlaşma, bir atomdan elektronun kopması olayıdır. Bu olaya neden olan radyasyon tipine iyonlaştırıcı radyasyon denir. X-ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınları iyonlaştırıcı tipte elektromanyetik radyasyonlardır. Aynı zamanda yüksek kinetik enerjiye sahip parçacık tipi (beta parçacıkları, alfa parçacıkları ve nötronlar) radyasyonlar da iyonlaştırma özelliğine sahiptirler (Daşdağ, 2010; Krane, 1987) (Şekil 2).



Şekil 2. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon

([www.afad.gov.tr](http://www.afad.gov.tr))

İyonlaştırıcı radyasyon; kozmik ışınlar, X ışınları ve gama ışınları dahil olmak üzere potansiyel zararlı etkileri olan, yüksek bir frekansa ve enerjiye sahip radyasyon çeşididir (Hosoda ve ark, 2021; Wang vd., 2020). Bu radyasyonlar organizmalar üzerinde öldürücü etkiler yarattığından, bu farklı radyasyon biçimlerinin nüfuz etme güçleri/giricilikleri önemli ölçüde değişir (Şekil 3).

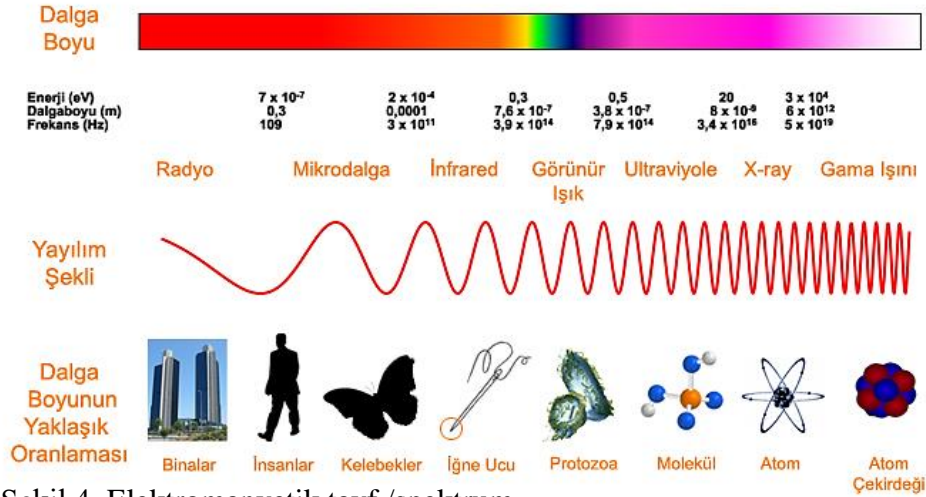


Şekil 3. Alfa, beta, gama, x ve nötron ışınlarının kâğıt, plastik, kurşun ve beton levhalardaki giricilikleri

([www.afad.gov.tr](http://www.afad.gov.tr))

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ise; düşük frekans ve enerji ile karakterize edilir ve kızılötesi, radyo dalgaları, ultraviyole dalgaları, mikrodalgalar vb. dahil olmak üzere

doğrudan zararlı etkilere sahip olmayan radyasyon çeşidi olarak tanımlanır (McColl vd., 2015) (Şekil 4).



Şekil 4. Elektromanyetik tayf /spektrum

([www.evrimagaci.org](http://www.evrimagaci.org))

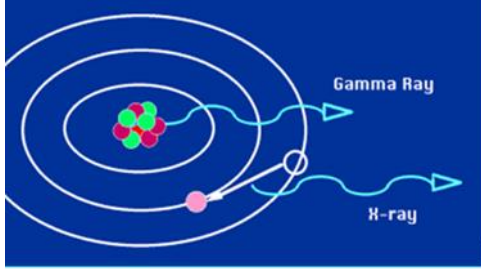
## 1.2. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon ile iyonlaştırıcı olmayan radyasyonu birbirinden ayıran temel nokta, iyonlaşma enerjisidir (Gudkov vd., 2019). İyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileşime girdiği maddedeki atomları yalnızca uyarmakla kalır çünkü etkileşime girdiği maddenin atomundan elektron kopararak iyonlaşmaya sebep olacak kadar yeterli bir enerjiye sahip değildir (Vaizoğullar, 2016).

Bilindiği üzere evrendeki tüm maddelerin yapıtaşı atomdur. Atomlar, merkezlerinde çekirdeği ve çekirdekte etrafında belirli yörüngelerde hareket eden elektronları barındırır. İyonlaştırıcı radyasyon, herhangi bir atom ile etkileşime girdiğinde atomdan elektron koparılması olayına -iyonlaşma- neden olan radyasyon çeşididir (Oğuz, 2019) ve iyonlaşmaya neden olduğu için iyonlaştırıcı olmayan radyasyondan bu yönüyle ayrılır.

Alfa ( $\alpha$ ) ve beta ( $\beta$ ) partikülleri, elektron, proton ve nötronlar partiküler iyonize radyasyon tiplerini oluşturarak, X ve gama ( $\gamma$ ) ışınları ise, iyonlaştırıcı özelliğe sahip yüksek enerjili fotonlardan oluşan elektromanyetik radyasyonlardır. Bunlar özellikleri açısından

büyük oranda birbirlerine benzerler, ancak meydana geliş şekilleri farklıdır. X ışınları çekirdek dışında oluşan elektron kaynaklı ışınlardır.  $\gamma$  ışınları ise, radyoaktif bir çekirdeğin kararlı hale geçmesi esnasında parçalanarak açığa çıkan fazla enerjinin, çekirdekten dışarı atılması sonucunda oluşur (Algüneş, 2002; Özalpan, 2001) (Şekil 5).

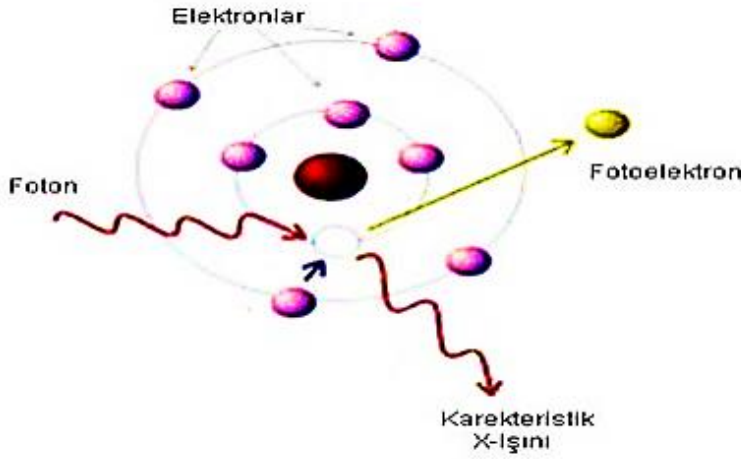


Şekil 5. Gama ve X ışınlarının meydana geliş şekilleri  
(Van Rooyen, 2013)

### 1.3. X-Işınları

X-ışınları da iyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerinden biridir. Alman fizikçi Wilhelm Conrad Roentgen tarafından 1895 yılında gerçekleşen X-ışını keşfi ile insanoğlu iyonlaştırıcı radyasyon ile tanışmıştır (Daşdağ, 2010). Katot ışınları üzerinde çalışan W.C Roentgen, tüpten yüksek gerilimli akım geçirdiğinde, siyah kartonu geçebilen ve floresan yaratma özelliği olan X-ışınını keşfetmiştir (Berkowitz, 2006). X-ışınları, elektron akımının bir yol üzerinde bir cisme çarpması sonucu ortaya çıkan, yüksek frekansa ve kısa dalga boyuna sahip ışınlardır. X ışınları, yüksek penetrasyon (giricilik) yeteneğine sahip oldukları için canlı dokular üzerinde biyolojik etkilere neden olabilirler (Cervantes, 2016).

X-ışınları bir maddenin atomuyla etkileştikleri zaman, atomun elektronlarının bulunduğu ilk katmanından elektron kopararak iyonlaşmaya neden olurlar ve koparılan bu elektronun yerine daha yüksek enerji seviyelerinde bulunan elektronlar gelerek bu boşluğu doldurur. Bu noktada ortaya çıkan fazla enerji, x-ışını şeklinde dışarıya yayılır (Krane, 1987) (Şekil 6).



Şekil 6. X-ışınlarının meydana gelmesi

(Yıldız, 2009)

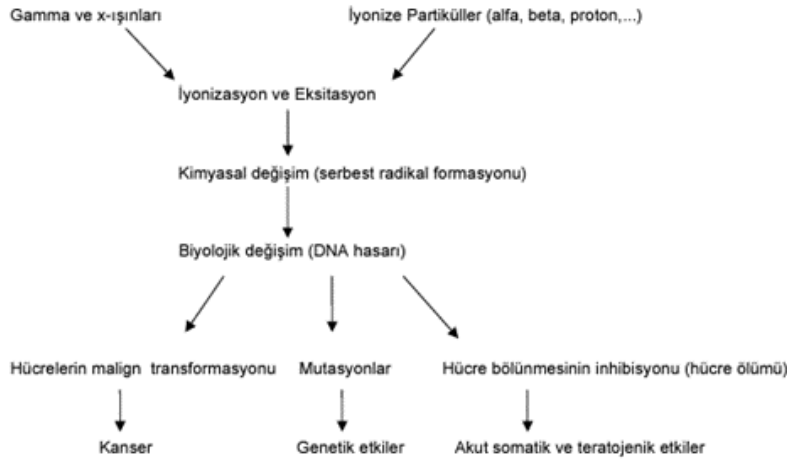
X-ışınları tıpta çeşitli görüntüleme cihazlarında, mutasyon ile bitki ıslahında, çeşitli sterilizasyon işlemleri gibi birtakım alanlarda kullanılmaktadır. Mutasyon ile bitki ıslah çalışmalarının %22'sinde x-ışınlarından yararlanıldığı bilinmektedir (Yılmaz ve Soysal, 2021) Mutasyon ıslah çalışmalarının 1930'lu yıllarda x-ışınlarıyla başladığı ve 1950'li yıllarda x ve gama ışınlarıyla elma bitkisinde olumlu sonuçlar alındığı ifade edilmektedir (Kunter vd., 2013).

#### 1.4. İyonlaştırıcı Radyasyonların Canlıda Oluşturduğu Etkiler

İyonlaştırıcı radyasyonların canlıda oluşturduğu etkiler üç basamakta sıralanır (Özalpan, 2001; Steel, 1997).

İyonize radyasyon enerjisinin canlı dokuya transferi sonucunda, dokuyu oluşturan atom ve moleküllerde meydana gelen iyonlaşma ve uyarılma (eksitasyon), radyasyon etkisinin ilk kademesi olan fiziksel kademeyi oluşturur. İkinci kademe olan kimyasal kademede, hasar görmüş atom ve moleküller diğer hücresel yapılar ile reaksiyona girerek serbest radikallerin ortaya çıkmasına neden olurlar (Şekil 7).





Şekil 7. İyonize radyasyonun canlıda oluşturduğu etki basamakları

(Özalpan, 2001)

Organizmada radyasyonun etkisi ile oluşan bu tür moleküler değişiklikler, son ve 3. kademe olan biyolojik kademeyi başlatır. Bu kademedeki çeşitli hasarlara yol açan enzimatik reaksiyonlar meydana gelir. İyonize radyasyon, hücre içi moleküllerde ve daha önemlisi genetik materyal olan kromozomlarda hasarlar oluşturur. Mutasyon olarak bilinen bu genetik hasarlar hücre tarafından tamir edilemez ise, hücreyi ölüme götüren süreci başlatan metabolik değişiklikler meydana gelir. (Özalpan, 2001).

### 1.5. İyonize Edici Radyasyon (IR) ve Bitki Etkileşimi

Bitkiler aktif bir şekilde hareket edemedikleri için maruz kaldıkları olumsuz çevre şartlarından kaçamazlar (Gudkov vd., 2019). Bu durumun bir sonucu olarak da, değişen çevre şartlarına uyum sağlamak amacıyla morfolojik, fizyolojik, biyo-kimyasal vb. gibi çeşitli adaptif tepkiler yardımıyla uyum yetenekleri geliştirerek değişen çevresel şartlarıyla mücadele ederler (Vodeneev vd., 2015). İyonlaştırıcı radyasyon da bitkiler için stres oluşturucu faktörlerinden biridir.

Radyasyona maruz kalan bitkilerin bu stres faktörüne göstermiş olduğu tepkiler genellikle radyasyonun türüne, dozuna, maruziyet süresine ve bitki türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Majeed vd., 2018).

Yüksek dozda IR'ye maruz kalma, toksik etkilere yol açar çünkü doğrudan ve dolaylı hasar, organizmanın savunma sisteminin söndürme sınırını aşar. Genetik ve epigenetik değişikliklere neden olabilir ve ardından hücrel metabolizmanın şiddetli homeostatik bozulmasına neden olabilir ve bu, maruziyetten birkaç saniye veya on yıl sonra ortaya çıkabilir (Tuteja vd., 2009). Öte yandan, düşük dozda ışınlama, hedef dışı radyobiyojik etkiler olarak adlandırılan bir dizi etkiyi tetikleyebilir.

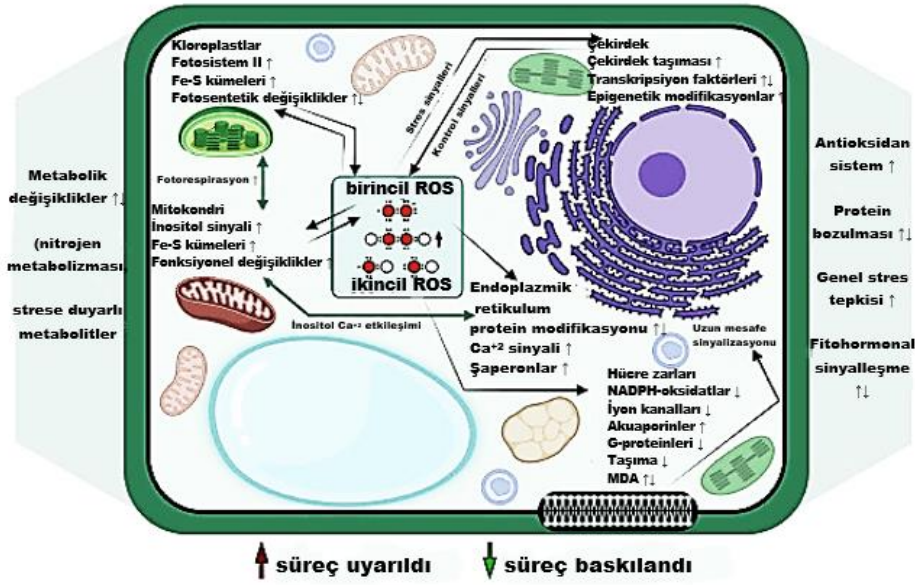
Doğrudan DNA hasarı, yüksek dozda ışınlamanın ana hedef etkisidir; burada bir kuantum veya parçacığın genetik materyalle doğrudan etkileşimi, DNA iplikçiklerinin kırılmasına veya diğer türde mutasyonel olaylara yol açar.

Agathokleous vd., (2019), Erofeeva (2021) ve Erofeeva (2022) 'ya göre bitkilerde bir radyasyon hormesisi durumu söz konusudur. Radyasyon hormesisi, düşük dozlarda iyonize radyasyonun organizmalar üzerinde olumlu etkilere sahip olduğunu ifade eder.

Radyasyon hormesisine göre, düşük radyasyon dozları, organizmaların dayanıklılığını artırabilir, yaşam süresini uzatabilir ve bazı olumlu etkilere neden olabilir. Bitkiler de düşük miktarlarda maruz kaldıkları radyasyona karşı adaptif tepkiler göstererek yaşamlarını daha iyi bir şekilde devam ettirebilme eğilimi gösterebilirlerken daha yüksek miktarlarda maruz kaldıkları radyasyona karşı yaşamlarını devam ettiremeyebilirler.

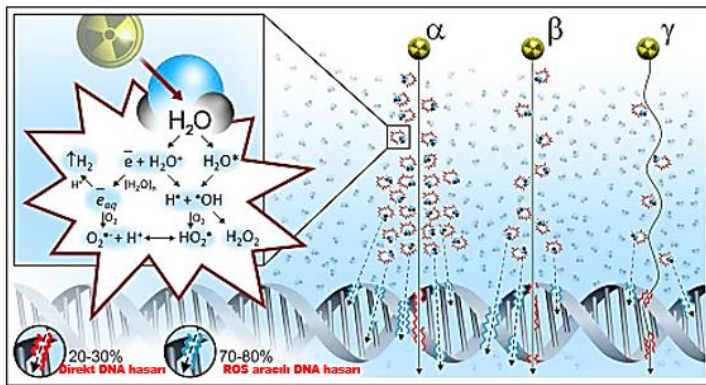
Bitkiler için stres oluşturu bir faktör olan radyasyon, sözü edilen bu iki farklı doz aralığında, hem bitki gelişimini destekleyici hem de bitki gelişimini engelleyici veya durdurucu iki zıt etkiye (bifazik etki) sahip olabilir.

Düşük miktarlarda iyonize radyasyona (IR) maruz kalan bitkilerde gelişimin olumlu yönde etkilenmesi radyasyon stresine karşı gösterilen savunma mekanizmasının aşırı aktive olması (Duarte-Sierra vd., 2020) ve bunun sonucu olarak DNA onarımının indüklenmesi (Litvinov ve Rashydov, 2017), antioksidan mekanizmasının uyarılması/desteklenmesi (Yasmin vd., 2019) vb. gibi ortaya çıkan birtakım stres faktörünü iyileştirici mekanizmalarla ilişkilendirilebilir (Şekil 8).



Şekil 8. Düşük doz(lar)da iyonize radyasyona maruz kalmış bitkinin göstermiş olduğu tepki mekanizması (Volkova ve ark., (2022)' den uyarlanmıştır).

İyonlaştırıcı radyasyon ile yüksek enerjiye maruz kalan biyolojik bir sistemde, bu enerjinin emilmeye başlamasıyla birlikte birtakım zincir olaylar aktive olmaya başlar (Foray vd., 2016). Bu zincir olaylar, doğrudan ve dolaylı etki olmak üzere temelde iki başlık altında değerlendirilebilir (Şekil 9), (Şekil 10).

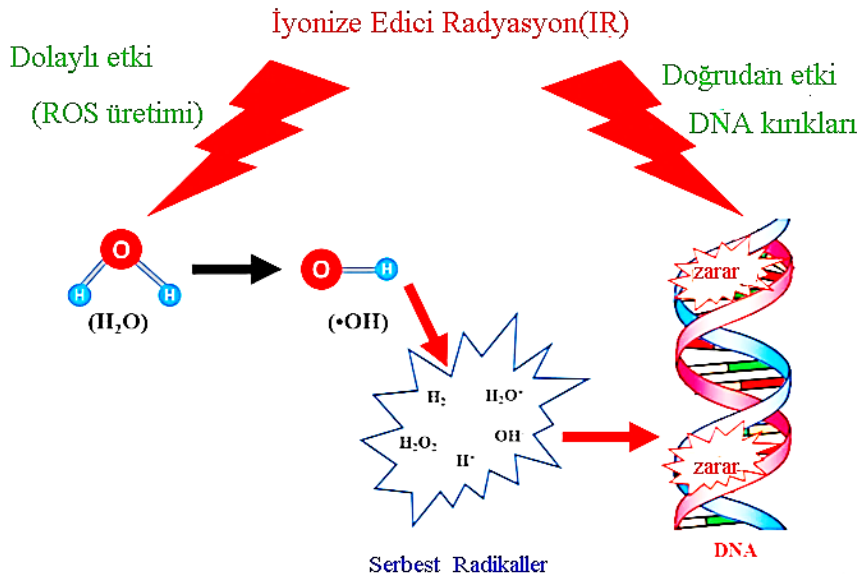


Şekil 9. Radyasyonun doğrudan ve dolaylı etkisi (Gudkov ve ark., (2019)'dan uyarlanmıştır).

- 1) **Doğrudan Etki:** İyonlaştırıcı radyasyon DNA, proteinler ve lipidler gibi hücresel makromoleküllerin iyonlaşmasına neden olur. Böylece, emilen enerji elektron

kaybına neden olur, bu da bağ kırılmalarına neden olur ve moleküllerde çeşitli fonksiyonel değişikliklere yol açar (Hosoya ve Miyagawa, 2014).

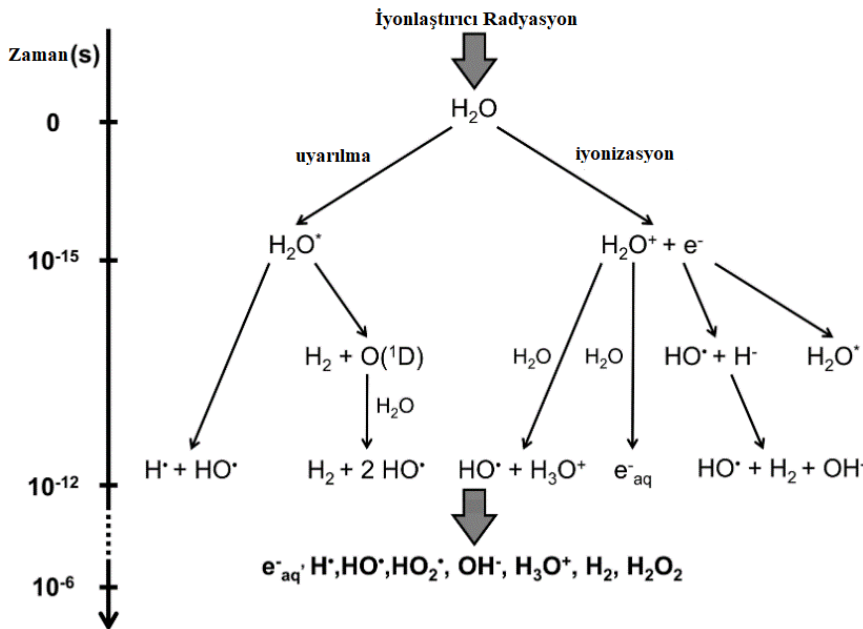
- 2) **Dolaylı Etki:** Yayılan enerji, makromoleküller yerine su molekülleri ile doğrudan etkileşime girer. Hücrelerde bulunan su molekülleri iyonize edilir ve böylece serbest radikaller üretilir. Hücre kütlesinin dörtte üçü sudan oluştuğundan, iyonlaştırıcı radyasyonun neden olduğu iyonizasyon reaksiyonunun çoğu, su moleküllerinde meydana gelir (Sreedhar vd., 2013).



Şekil 10. İyonlaştırıcı radyasyonun doğrudan ve dolaylı etki mekanizması. Tanımlar: ROS (Reaktif oksijen türleri);  $H_2O_2$  (Hidrojen peroksit);  $\bullet OH$  (Hidroksil radikali);  $OH^-$  (Hidroksit iyonu);  $H^+$  (Hidrojen iyonları);  $H_2O^+$  (Su iyonu) (Gudkov ve ark., 2019)

Çoğu bitki hücresinin yüksek su bileşimi, IR'ye maruz kalmanın tetiklediği etkilerin önemli bir kısmının dolaylı olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 9). Su radyolizi, hidratlanmış serbest elektronlar ( $e^-$  aq), serbest radikaller ( $H^\bullet$ ,  $HO^\bullet$  ve  $HO_2^\bullet$ ) ve bunların rekombinasyon ürünlerini ( $OH^-$ ,  $H_3O^+$ , ) üreten  $H_2O$  moleküllerinin iyonizasyonu üzerine meydana gelir.  $H_2$  ve  $H_2O_2$ ; (Şekil 10) Bununla birlikte, bu reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi aynı zamanda elektron taşıma zincirlerinden ve kloroplastlar, mitokondri, peroksizomlar, apoplastlar, plazma zarları, endoplazmik retikulum ve hücre duvarındaki hücresel süreçlerin yan ürünleri olarak türetilen hücre metabolizması için bitki oluşumu ile

başlar. Serbest radikaller ve ROS birikimi, DNA baz modifikasyonlarına (örneğin oksidasyon veya delesyon) ve tek zincir kırılmalarına, amino asit modifikasyonuna ve protein birincil yapı parçalanmasına ve lipit peroksidasyonuna yol açan oksidatif strese neden olur. Bunların arasında hidroksil radikalleri son derece reaktiftir ve hücre içindeki neredeyse tüm moleküllere zarar verebilir. Ayrıca, DNA apirimidinik/apuridik (AP) bölgelerinin oluşumu, DNA'nın yakındaki proteinlerle kovalent bağlanmasına yol açabilir. Sonuç olarak, membran akışkanlığı, iyon taşınması, enzim aktivitesi, protein sentezi ve çapraz bağlanma ve DNA bütünlüğünün homeostazisinde bir bozulma meydana gelir ve sonuçta hücre ölümü meydana gelir. Son olarak DNA, hücreler içindeki proteinlerle kompleks oluşturduğundan IR aynı zamanda doğrudan veya dolaylı kromatin hasarına da neden olur (Şekil 9). Kararsız protein ve DNA radikalleri yeniden birleşebilir ve kovalent bağlar oluşturabilir, bu da DNA içi veya zincirler arası çapraz bağlantılara veya DNA-protein çapraz bağlantılarına (örn. aktin, histonlar ve transkripsiyon faktörleri) yol açabilir. Çapraz bağlantılar DNA iplikçiklerinin ayrılmasını önler, böylece transkripsiyon ve replikasyonu bloke ederek hücre homeostazisini ve genomik bütünlüğünü bozar. Ayrıca, iplikçikler arası çapraz bağ onarım sürecinin kendisi de çift zincir kırılmaları üretebilir (Duarte vd., 2023).



Şekil 11. Serbest radikallerin ve ROS'un oluşmasıyla sonuçlanan IR destekli su radyoliz adımlarını temsil eden şema. H<sub>2</sub>O\* uyarılmış su molekülünü temsil eder.

(Le Caër, (2011)' den uyarlanmıştır).

## 1.6. Antioksidan Mekanizmalar

Antioksidan ROS temizleme sistemi enzimatik ve enzimatik olmayan bileşenlerden oluşur. Enzimatik antioksidanlar temel olarak askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPX), süperoksit dismutaz (SOD) ve tioredoksinler (Trx) ile temsil edilir. Enzimatik olmayan ana bileşenler askorbat (ASC), glutatyon (GSH), tokoferol, karotenoidler ve prolindir (Choudhary vd., 2020).

Antioksidan sistem farklı hücre bölmelerinde çalışır ve spesifik antioksidanlar, strese özgü bir şekilde yanıt vermek üzere etkinleştirilebilir. İlginç bir şekilde, antioksidan sistemin homeostazisi, farklı stres tepkileri ve hormon yolları arasındaki karışmaya dayanan ve aynı zamanda gen ekspresyon profillerinin ince ayarını gerektiren farklı enzimlerin aktivitesinin dengelenmesiyle korunur (Bela vd., 2022). Antioksidanların stres direncini iyileştirme potansiyeli farklı bitki türlerinde araştırılmıştır (Sadiq vd., 2019; Wituszyńska vd., 2013) ve antioksidan sistemin durumu ve gen ekspresyonunun kontrolü, bitkilerde IR maruziyetinin etkisini değerlendirmek için yaygın olarak araştırmalarda kullanılmaktadır (Volkova vd., 2020; Volkova vd., 2021).

APX, GPX ve CAT temel olarak  $H_2O_2$  temizleyicileridir ancak detoksifikasyon reaksiyonunu katalize etmek için farklı mekanizmalara dayanırlar. SOD bir metaloenzimdir ve etkili bir süperoksit anyon radikali ( $O_2^{\bullet-}$ ) temizleyicidir, bunun dismutasyonunu katalize eder ve böylece hidroksil radikallerinin ( $HO^{\bullet}$ ) oluşma riskini azaltır (Wituszyńska ve Karpiński, 2013).

Trx'ler prokaryotik ve ökaryotik organizmalarda bulunan eski redoks düzenleyicileridir. Tersine çevrilebilir disülfid bağı oluşumunu katalize ederler ve elektron donörleri olarak NADPH veya indirgenmiş ferredoksin kullanılarak Trx redüktazlar tarafından geri dönüştürülürler (Geigenberger vd., 2017).

Enzimatik olmayan antioksidanlar arasında ASC ve GSH, bitkilerdeki başlıca ROS temizleyicileridir (Xiao vd., 2012). Tokoferoller ve karotenoidler lipofilik antioksidanlardır.

Birincisi fotosentetik organizmalara özgü iken ikincisi mantarlarda ve fotosentetik olmayan bakterilerde de bulunur (Falk ve Munné-Bosch, 2010).

İyonize radyasyonun bitkilerle olan etkileşimi ve bu etkileşimin doğurduğu sonuçlar tarım, tarımsal biyoteknoloji, bitki ıslah çalışmaları, uzay bilimleri vb. gibi birçok alan için oldukça dikkat çekicidir (Caplin ve Willey, 2018).

### **1.7. Tarımda Radyasyon ve Mutasyon Islahı**

“Mutasyon” kavramı, botanikçi ve “mutasyonun babası” şeklinde de anılan (Kökpınar vd., 2021) Hugo de Vries tarafından ortaya atılmış ve yine Vries tarafından 1900’lü yılların başında x-ışınlarının mutasyonu indükleyebileceği görüşü öne sürülmüştür (Blakeslee, 1936). Bundan hareketle mutajenez temelli yapılan en eski çalışmalarda x-ışınlarından ve bitkilerden yararlanılmıştır (Stadler, 1928).

Küresel çaptaki insan popülasyonundaki artmaya paralel olarak gıda talepleri de artmaktadır. Artan gıda taleplerini karşılamak ve dışa bağımlılığı en aza indirmek için birtakım önlemler alınmakta ve yenilikçi üretim tekniklerinden yararlanılmaktadır. Yenilikçi üretim yöntemlerinden biri de yüksek verimli yeni çeşitlerin geliştirilmesine dayalı ıslah çalışmalarıdır (Balcı vd., 2022).

Tarımda tarımsal üretimin artırılması, hastalık ve zararlılara dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, kalite ve verimlilik özelliklerinin iyileştirilmesi, çeşitli stres faktörlerine karşı adaptasyon yeteneğinin artırılması ve dayanıklı bitkilerin oluşturulması gibi amaçlarla çeşitli ıslah çalışmaları yapılmaktadır.

Islah çalışmalarını, klasik/geleneksel ıslah yöntemleri ve modern ıslah yöntemleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Geleneksel ıslah yöntemleri uzun zaman alan ve fazla emek isteyen bir yöntem olduğu için (Bayhan vd., 2022) zaman ve iş gücü bakımından tasarruf sağlayan modern ıslah yöntemleri devreye girmiştir.

Mutasyon ile ıslah da modern ıslah yöntemlerinde sıklıkla kullanılan uygulamalardan biridir. “Mutasyon”, canlının genetik materyalinin değişime uğramasıdır. Mutasyon sonucu oluşan organizmaya ise “mutant” denir. Genetik materyaldeki değişim bir gen lokusunda görülebileceği gibi kromozomlarda da görülebilir (Allard, 1999). Mutasyon ıslahı da bitkinin genetik materyali üzerinde birtakım farklılıklara neden olarak yeni çeşitlerin geliştirilmesi esasına dayanır (Vural, 2022).

Bitkilerde çoğunlukla fide yüksekliğini %50 oranında azaltan doz(lar), mutasyona sebep olmada başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır (Sehirali ve Özgen, 1988).

Mutasyona neden olan mutajenler, fiziksel ve kimyasal mutajenler olarak temelde iki gruba ayrılmaktadır (Çoban, 2003). Ancak bakıldığı zaman mutasyon ıslahı ile geliştirilen çeşitlerin neredeyse %70’inden fazlası fiziksel mutajenler sayesinde elde edilmiştir (Vural, 2022). Bu mutajenler bitkilerde çeşitli kalıtsal değişikliklere neden olarak onların yeni özellikler kazanmasına neden olur ki günümüzde birçok bitki çeşidi bu sayede geliştirilmiştir (Küçükataban vd., 2016).

Çeşitli kimyasal ve fiziksel mutajenlerin kullanıldığı mutasyon ıslah çalışmalarında optimum mutajen dozunun belirlenmesi oldukça önemli bir yere sahiptir çünkü kullanılan mutajenlerin cinsine ve dozuna bağlı olarak bitkinin vermiş olduğu yanıtlar farklılık göstermektedir. (Bilge, 1982; Yalçın, 1992).

Mutasyon ıslah çalışmalarında X-ışını veya gama ışını gibi fiziksel mutajenlerin kullanıldığı çalışmalarda bitki ıslahçıları ve genetikçileri ilgilendiren üç sonuç ortaya çıkmaktadır. Bunlar; fizyolojik zarar, gen mutasyonları (nokta mutasyonları) ve kromozom mutasyonlarıdır.

Fizyolojik zarar, mutasyon uygulamasını takip eden birinci generasyonda ( $M_1$ ) ortaya çıkar. Hücre bölünmesinin engellenmesi, büyüme hızının ve davranışının değişimi ve dokuların yeniden düzenlenmesi şeklinde görülür. Fizyolojik zarar oranının belirlenmesinde, vejetatif gelişim, köklenme durumu ve bitkilerin hayatta kalma oranı dikkate alınır.



Kromozom mutasyonları,  $M_1$  veya sonraki generasyonlarda belirlenebilirken, gen mutasyonları çoğunlukla resesif olduğundan, değişik fenotiplerin ve gen mutasyonlarının ortaya çıkması,  $M_1$  generasyonunda gerçekleşmekte ve kalıcı mutasyonların gelecek generasyonlara aktarılması mümkün olmaktadır (Donini, 1982).

Radyasyonun, genotoksisiteye yansıyan ve kalıtsal hasara neden olabilen genetik materyale zarar veren zararlı etkilerinden kaçınmak önemlidir. Bu bağlamda radyasyona karşı önlemlere ve radyoprotektif (radyokoruyucu) ajanlara duyulan ihtiyaç son yıllarda artmıştır.

Canlı organizmalar iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldıklarında, suyun radyolizi sırasında oluşan reaktif oksijen türlerinden (ROS) ve serbest radikallerden en fazla zararı alırlar. ROS, eşleşmemiş elektronların varlığından dolayı yüksek düzeyde redoks aktivitesine sahiptir ve bu, hücrelerin tüm bileşenlerinde oksidatif hasara yol açar (Azzam vd., 2012). İyonlaştırıcı radyasyonun neden olduğu hasarı azaltmanın etkili yolu, zarar verici ajanları etkisiz hale getirmektir. Bu amaca ulaşmak için radyokoruyucular kullanılır.

Organizmayı moleküllerine, hücrelerine, organlarına ve dokularına gelebilecek zararlardan esas olarak ROS'u ve diğer zarar verici ajanları etkisiz hale getirerek koruyan bileşiklere radyokoruyucu (radyoprotektif) maddeler denir (Mishra ve Alsbeih, 2017). Radyoprotektif maddelerin en iyi bilinen grubu Sülfidril (-SH) bileşikleri ve amifostindir (Priyadarsini, 1997).

Günümüzde radyo koruyucu maddelerin geliştirilmesine yönelik önemli ilerlemelere rağmen, özellikle radyasyon terapisi olmak üzere tıbbi uygulamalar için hala yeni seçici radyo koruyuculara ve radyo azaltıcılara ihtiyaç vardır (Du vd., 2020). Son yıllarda yeni fonksiyonel nanomateryaller ve moleküler sistemler de dahil olmak üzere çeşitli yaklaşımlar tıp, tarım vb. gibi birçok alanda kullanılarak iyonlaştırıcı radyasyonun canlı üzerindeki zararlı etkisi, canlı radyosensitivitelerini değiştirmek suretiyle azaltılabilmektedir.

Yapılan çalışmalarda, curcumin (Srinivasan vd., 2006) ve sesamol (Prasad vd., 2005) gibi çeşitli fenolik bileşiklerin, bazı doğal flavonoid türlerinin (Devipriya vd., 2008) yanında

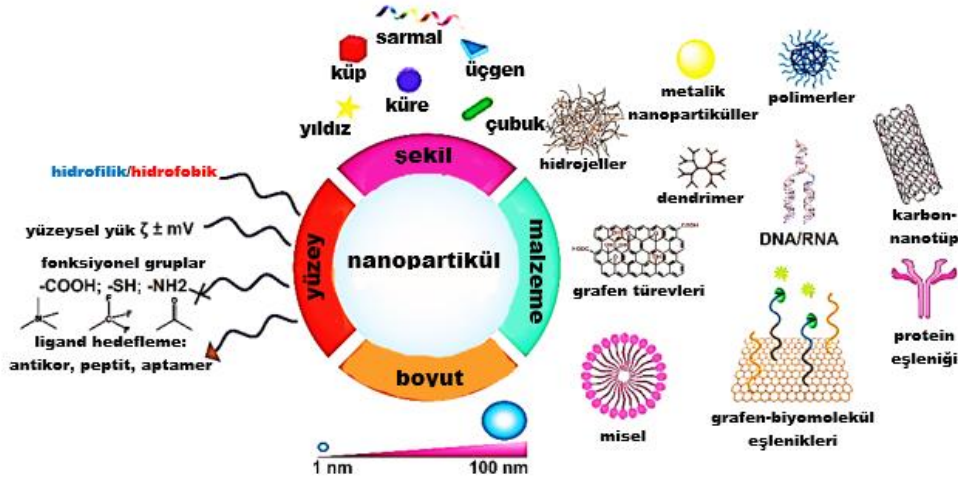
seryum oksit (Colon vd., 2009) ve fulleren türevleri (Markovic ve Trajkovic, 2008) gibi bazı nanopartiküllerin de potansiyel radyoprotektif, antioksidan ajanlar olarak etkileri araştırılmıştır. Bu duruma en güzel örnek, Seryum dioksit ( $\text{CeO}_2$ ) nanopartiküllerinin tamamen yeni bir antioksidan türü olarak ortaya çıkmasıdır. Bu nanopartiküllerin, biyolojik ortamlardaki redoks potansiyellerine dayandığı varsayılan olağanüstü biyolojik aktiviteye sahip olduğu yapılan araştırmalarda gösterilmiştir (Das vd., 2018). Ek olarak  $\text{CeO}_2$  nanopartikülleri, zararlı ROS'u temizleyebilen süperoksit dismutaz (SOD) (Korsvik vd., 2007) ve katalaz (CAT) (Pirmohamed vd., 2010) dahil olmak üzere bir dizi doğal redoks enzimine (oksidoredüktazlar) benzer aktiviteler gösterir.

Günümüzde küresel çapta görülen nüfus artışıyla birlikte artan gıda talebini karşılayabilmek amacıyla tarımda verimliliğin artırılmasına dayalı çeşitli çalışmalar gündeme alınmaya başlanmış ve bu amaçla çeşitli nanoteknolojik uygulamaların kullanımı tarımda yerini almaya başlamıştır. Nanoteknolojik uygulamalardan tarımda yararlanmanın temel amaçlarından birisi de insan ve çevre sağlığına zarar vermeyen doğa dostu yenilikçi malzemelerin geliştirilip kullanılması ve verimin artırılmasıdır.

## **1.8. Nanoteknoloji ve Tarım İlişkisi**

Yunancada “cüce, küçücük vb.” anlamlarına gelen nano kelimesi (Dağhan, 2017; Demirbilek, 2015), metrenin milyarda biri olarak karşılık bulmaktadır (Dağhan, 2017). İçinde bulunduğumuz devrin “beşinci devrim teknolojisi” olarak da bilinen (Ormanoğlu vd., 2021) ve oldukça geniş bir çalışma çerçevesine (tıp, fizik, tarım vb.) sahip nanoteknoloji (Chhipa, 2017) kısaca, 100 nm’den daha küçük olan malzemelerle çalışan bilim dalı şeklinde tanımlanmaktadır (Dağhan, 2017; Demirbilek, 2015; Demirel, 2020).

Nanopartiküller genel olarak karbon bazlı (organik) nanopartiküller, metal ve metal oksit bazlı (inorganik) nanopartiküller ve manyetik nanopartiküller olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmaktadır (Nair vd., 2010). 1-100 nm arasında değişen boyutlara; yıldız, küp, sarmal, çubuk vb. şeklinde değişen şekillere; hidrofilik/hidrofobik olarak çeşitli yüzeylere sahip olabilirler (Şekil 12).



Şekil 12. Nanomalzemeler

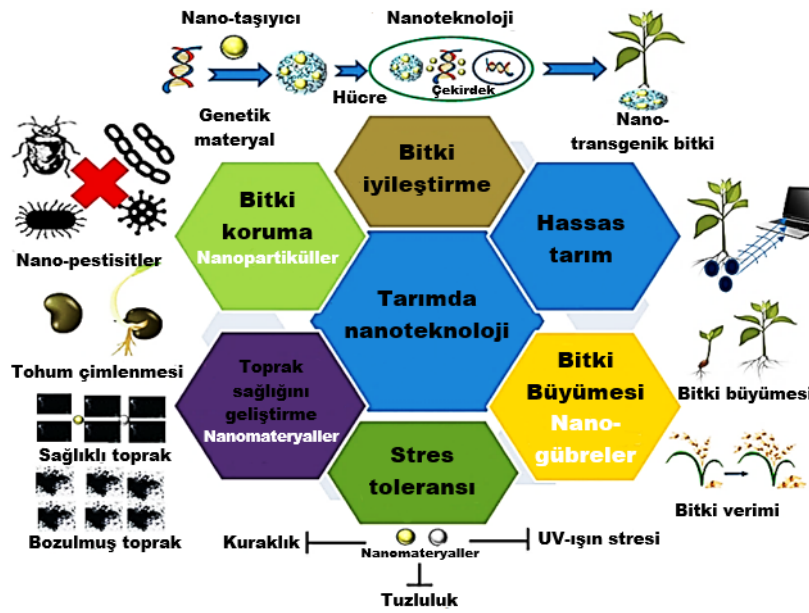
([www.nanoteknoloji.org](http://www.nanoteknoloji.org)'dan uyarlanmıştır).

Duhan vd., (2017)'ye göre nanoteknoloji, sayısız kullanım alanıyla yüksek bir potansiyele ve yarara sahiptir. Son yıllarda özellikle teknolojinin değişmesi ve gelişmesiyle birlikte nanoteknoloji ve nanoteknolojik uygulamalar gündemde yerini almaya başlamış ve birçok çalışmada adından söz ettirmeye başlamıştır.

Küresel çapta artan insan nüfusu ve insanın hızlı tüketim anlayışının doğal bir sonucu olarak doğal kaynaklar tükenmeye başlamış ve bu durum sürdürülebilir kalkınma için bir tehdit oluşturmaya başlamıştır (Yadav vd., 2023). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ne göre ortalama 20-25 yıl içerisinde dünya çapında insan nüfusunun yaklaşık 10 milyara ulaşacağı ve bunu takiben gıda taleplerinde büyük artışlar yaşanacağı öngörülmektedir (Usman vd., 2020). Dolayısıyla bu sorunlarla mücadele edebilmek için araştırmacılar, tarımsal uygulamalarda nanoteknolojik uygulamaları mercek altına almaya başlamışlardır (Yadav vd., 2023).

Tarımda nanoteknolojik uygulamalardan yararlanılması bitki gelişimini ve büyümesini destekleyebilir, pestisit gibi tarımsal girdi miktarını azaltabilir, toprak içeriğini zenginleştirip iyileştirebilir ve biyotik/abiyotik streslere karşı toleranslı bitkiler yetiştirmede yenilikçi yaklaşımlar ortaya koyabilir (Shang vd., 2019; Singh ve Gurjar, 2022).

Benzer şekilde tarımsal uygulamalarda kullanılan mühendislik nanomalzemeleri (ENM'ler), değişen çevre şartlarına karşı bitkilerin adaptasyon yeteneği geliştirmesine yardımcı olabilir (Jaroniec vd., 2020) ve çeşitli kullanım özellikleriyle tarımda yenilikçi ve sürdürülebilir sonuçlar ortaya koyabilir (Gilbertson vd., 2020) (Şekil 13).

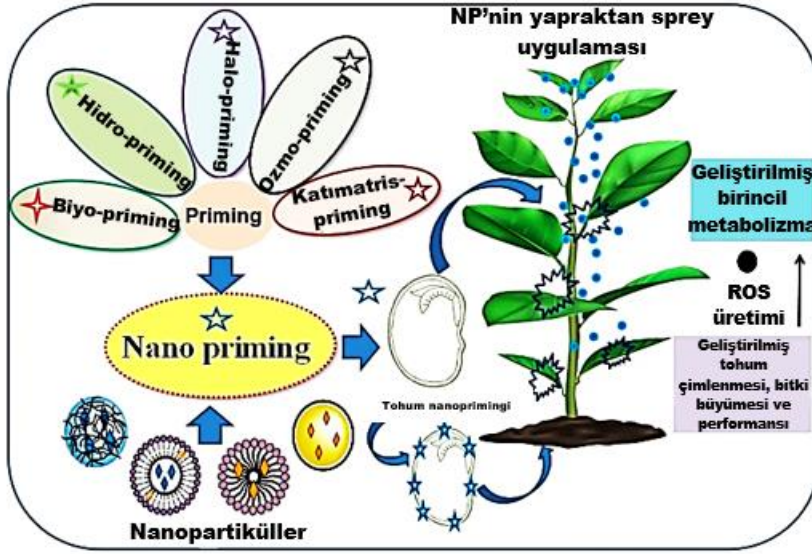


Şekil 13. Tarımda nanoteknolojinin potansiyel faydaları (Shang ve ark., (2019)'dan uyarlanmıştır).

Ayrıca nanopartiküller küçük boyutlarından dolayı daha geniş bir yüzey alanına sahip olduklarından dolayı (Godínez-Mendoza vd., 2023) düşük miktarlarda uygulamalarda bile tarımda geleneksel yöntemlere göre daha etkili sonuçlar ortaya koyabilir ve bu nedenle çevreye daha az çıktı bırakabilirler (Xin vd., 2020).

Nanopartiküllerin tarımda ve özellikle bitkilerle olan etkileşiminde çeşitli metotlar kullanılmaktadır ve bu metotlardan biri de nanoastarlama/nanoprimering adı verilen nanopartiküller aracılığıyla yapılan yenilikçi bir tohum hazırlama teknolojisidir (Şekil 14).

Tohum astarlama yöntemi, doğal veya sentetik kimyasallar ile tohumların çimlenme için ön hazırlık yapılması sürecini kapsar ve tohum içeriğinde birtakım fizyolojik etkiler ortaya çıkmasına neden olur (Khan vd., 2023).



Şekil 14. Çeşitli tohum hazırlama yöntemleri  
(Shang ve ark., (2019)'dan uyarlanmıştır).

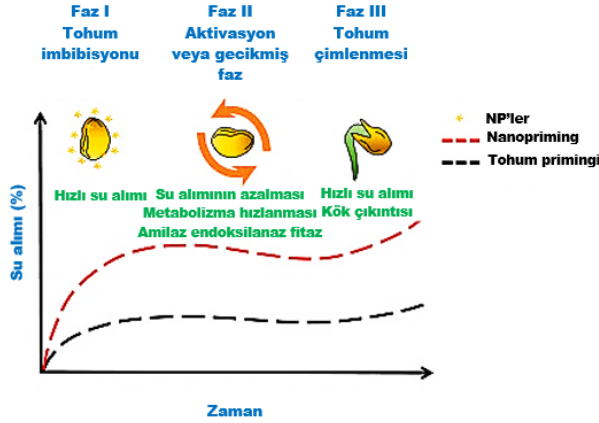
Çimlenmenin başlayabilmesi için gerekli temel faktörlerden ikisinin optimum sıcaklık ve nem olduğu göz önünde bulundurulduğunda, tohum tarafından su alımının kritik bir role ve öneme sahip olduğu kaçınılmazdır.

Tohumlar çimlenme sürecine başlamadan önce su emmek zorundadırlar çünkü ancak yeterli miktarda nem, tohum kabuğunun şişmesini ve çatlamasını sağlar ki bu durum da çimlenmenin başlayabilmesi için elzemdir.

Her bitki türü farklı bir hızda büyür ve çimlenir, bu nedenle çimlenme süreçleri türlere bağlı olarak değişebilir. Ayrıca, çevresel koşullar, tohum kalitesi ve iklim de çimlenme sürecini etkileyebilir. Bu nedenle, çimlenme koşulları ve ihtiyaçları bitki türüne ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Dormansi (uyku hali) halinde olmayan bir tohum belirli bir süre suda bekletildiğinde (hidropriming) çimlenmesini; (I) imbibisyon/şişme (II) enzim aktivasyonunun aktive olduğu, protein ve RNA sentezlerinin başladığı duraklama fazı ve (III) radikül (kökçük) çıkışı olmak üzere üç evre takip eder (Drahansky vd., 2016) (Şekil 15).

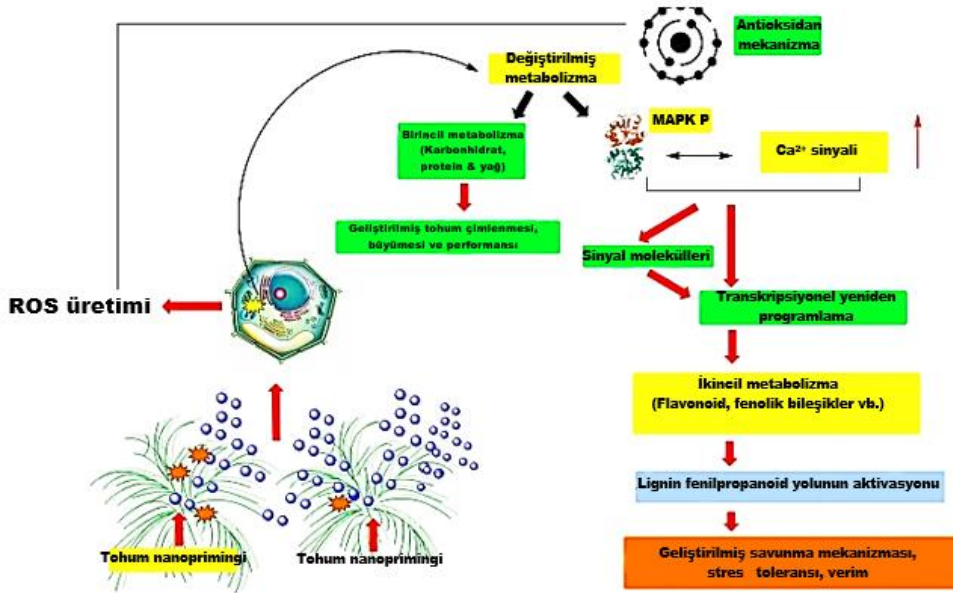
### Çimlenme evreleri



Şekil 15. Nano-priming ve tohum astarlamasının çimlenme aşamaları üzerindeki karşılaştırmalı etkisi

(Khan ve ark., (2023)'den uyarlanmıştır).

Nanopriming yöntemiyle çimlenmeye hazırlanan tohumda nanopartiküller embriyoda gözenek oluşumunu indükleyerek çimlenme için gerekli olan su alımına yardımcı olurlar, reaktif oksijen türlerini (ROS)/antioksidan mekanizmalarını aktive ederek birincil ve ikincil metabolizma üzerinde çimlenmenin hızlanmasını sağlayan birtakım değişikliklere yol açarlar (Nile vd., 2022) (Şekil 16).



Şekil 16. Tohumda nano-priming uygulamasının birincil ve ikincil metabolizma üzerindeki etki mekanizması

(Shafiq ve ark., (2019)'dan uyarlanmıştır).

Dolayısıyla tüm bunlardan hareketle, benzersiz özelliklere sahip olduğu düşünülen nanopartiküllerden nanoprimering yöntemiyle çimlenme öncesi tohum ön hazırlığında yararlanılması, olumsuz çevre şartlarında dahi çimlenmeyi teşvik edici bir etki göstererek çimlenme yüzdesini ve çıkış oranını artırabilir (Singh vd., 2021).

Yapılan çalışmalarda birçok araştırmacı nanopartiküllerin bitki gelişimine olan etkisinin; kullanılan nanopartikülün boyutuna, şekline, konsantrasyonuna ve bitki türüne bağlı olduğunu vurgulamıştır (Baazaoui vd., 2021; Youssef ve Elamawi, 2020).

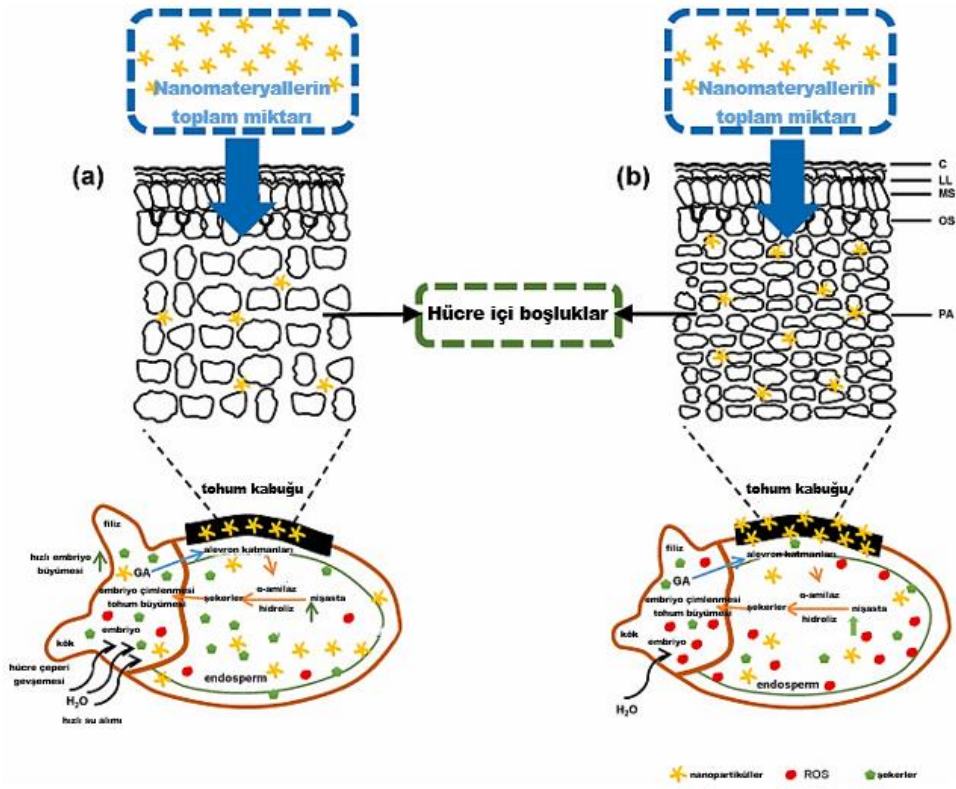
Nanopartikül alımında bitki tohumlarının anatomisi de oldukça önemli bir yere sahiptir. Tohumların anatomisi, nanopartikül alımı ve dağılımı hususunda kritik bir rol üstlenmektedir çünkü tohumlar, bitkinin büyüüp gelişebilmesi için önemli bir başlangıç noktasıdır. O yüzden bitki-nanopartikül etkileşimi ve etki mekanizması odaklı düşünüldüğünde nanopartikül tabanlı uygulamalara başlamadan önce bitki türünün tohum anatomisi ve fizyolojisi hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir.

Bitkilerde tohum anatomisi bitki türlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Değişen bitki türüyle birlikte bitki tohumlarının boyutları, şekilleri, anatomisi, renkleri vb. özellikleri de çeşitlilik göstermektedir.

Parankim hücre katmanının az ve buna karşılık hücre içi boşlukların daha fazla olduğu durumlarda (Şekil 17a), nanopartiküller nano-primering yöntemiyle kolayca alınabilir ve tohumun kotiledon, radikül vb. gibi kısımlarına iletilebilir. Böylelikle tohum içine nanopartikül girişiyle birlikte su alımını hızlandıran ve çimlenmeyi aktive eden birtakım olaylar harekete geçmiş olur.

Parankim hücre katmanının çok ve buna karşılık hücre içi boşlukların daha az olduğu durumlarda ise (Şekil 17b), tohum kabuğundan nanopartikül girişi kolay olmayacağı için kabukta nanopartikül birikimi olabilir ki bu da daha az nanopartikülün radikül, kotiledon vb. gibi kısımlara aktarılmasına neden olur. Kabukta artan nanopartikül birikimi ise embriyo büyümesini inhibe ederek olumsuz birtakım etkilere sebep olabilir.





Şekil 17. Nanopartikül etki mekanizmasında tohum anatomisinin rolü (Kumar ve ark., (2021)'den uyarlanmıştır).

Kuraklık, tuzluluk, iklim değişiklikleri vb. gibi çeşitli faktörler nedeniyle, tarımda sürdürülebilirliğin sağlanması oldukça önemlidir ve nanopartiküllerin bu kapsamda sürdürülebilirlik ve verimliliği sağlamada, abiyotik ve biyotik streslerle mücadele etmede etkili bir yöntem olabileceği düşünülmektedir (Fincheira vd., 2020; Karimi vd., 2020).

Bu bağlamda ZnO nanoparçacıkları (nano-ZnO), mükemmel biyoyumlulukları, ekonomik olmaları ve düşük toksisiteleri nedeniyle biyolojik uygulamalarda en popüler metal oksit nanoparçacıklardan biri haline gelmiştir (Jiang vd., 2018).

### 1.9. ZnO Nanopartikülü

En çok kullanılan metal oksit nanopartiküllerinden biri olan ZnO nanopartikülleri (Sabir vd., 2014) foto-oksitleyici ve foto-katalitik özelliklere sahip olmaları sebebiyle sayısız



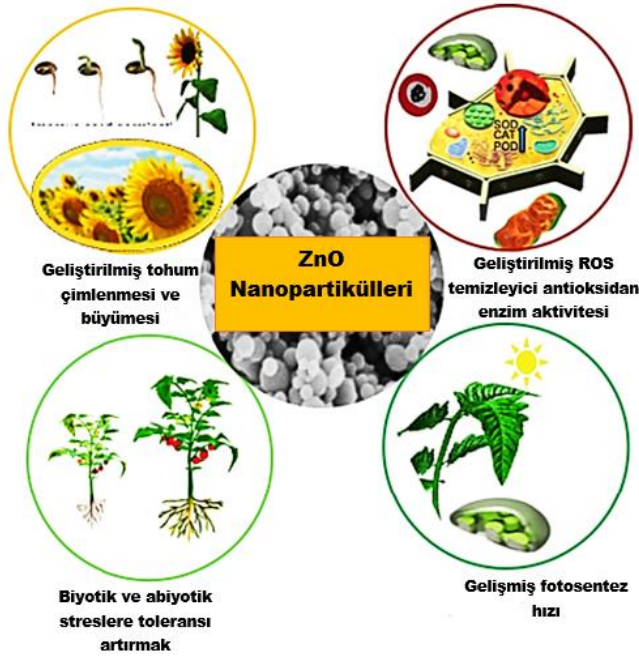
araştırmada kullanılmış ve bu yönleriyle de araştırmacıların ilgisi çekmeyi başarmıştır (Chikkanna vd., 2018'den akt; Kalal ve Jajoo, 2021).

Benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle ZnO nanopartikülleri özellikle malzeme bilimcilerin dikkatini çeken popüler ve kullanım alanı oldukça geniş malzemelerden biri haline gelmeye başlamış (Islam vd., 2022; Sharma ve Sahay, 2023) ve dikkat çekici özellikleri sayesinde kapsamlı çalışmaların merkezinde yer almaya başlamıştır (Gaubu vd., 2023). Ayrıca tüm bunlara ek olarak ZnO nanopartiküllerinin, hücrelerin antioksidan savunma sistemini harekete geçirerek hücre için tehlikeli reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu indükleyici özelliğe sahip olduğu bilinmektedir (Duhan vd., 2017).

Diğer nanopartiküllerle kıyaslandığında ZnO nanopartiküllerinin toksisitelerinin düşük olması ve ekonomik olmaları (Jiang vd., 2018) birçok araştırmada kullanılmasının diğer nedenleri arasındadır. UV ışınlarını absorbe etmeleri nedeniyle güneş kremlerinin içerisinde, antimikrobiyal ve antibakteriyel özelliklere sahip olmaları nedeniyle tekstil sanayinde sıklıkla kullanılmalarının (Newman vd., 2009'dan akt; Jiang vd., 2018) yanı sıra antimikrobiyal ve antibakteriyel özellikleri sebebiyle birtakım cerrahi aletlerin sterilizasyonunda da sıklıkla kullanılmaktadır (Husen ve Siddiqi, 2014).

Bunlara ek olarak ZnO nanopartikülleri tohum çimlenmesi ve büyümesini inhibe etme, antioksidan enzim aktivitelerini harekete geçirme, çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı toleransı artırma ve fotosentez verimliliğini geliştirme gibi birtakım iyileştirici özellikleri nedeniyle tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır. Benzer şekilde, ZnO nanopartikülleri sayesinde bitkiler büyümeleri ve gelişmeleri için önemli bir besin maddesi olan çinkoyu daha verimli bir şekilde alabilir ve bu durum ZnO nanopartiküllerinin tarımda gübre olarak kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır (Şekil 18).

ZnO nanopartiküllerinin tüm bu özelliklerinden hareketle tarım alanında kullanımı, verimliliği artırma ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etme potansiyeli taşıdığı için önemli bir araştırma alanıdır.



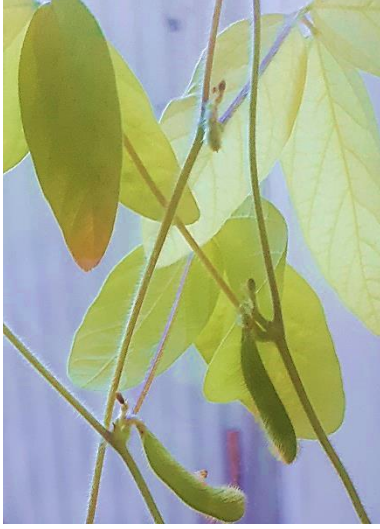
Şekil 18. ZnO nanopartiküllerinin bitkilerdeki rolü  
(Kumar ve ark., (2021)'den uyarlanmıştır).

ZnO nanopartiküllerinin antioksidan özellik göstermeleri ve olası bir oksidatif stres anında hücrenin savunma sistemini harekete geçirerek ortaya çıkabilecek DNA hasarlarını önlemeleri gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle iyonize edici radyasyona karşı da radyoprotektif işleve sahip oldukları bilinmektedir (Mohamed vd., 2019).

ZnO nanopartiküllerinin radyokoruyucu etkisi araştırma konusu olan bir alandır ve radyasyonla olan etki-tepki mekanizması tam olarak açığa çıkarılmamıştır. Ancak bazı çalışmalar (Al-Bruahi vd., 2020; Borjanovic, 2020; Casas vd., 2021; Hamed vd., 2019; Harbi vd., 2019; Rashad vd., 2020; Tang vd., 2020) ZnO nanopartiküllerinin antioksidan özellikleri nedeniyle radyasyon kaynaklı serbest radikalleri etkisiz hale getirerek radyasyonun neden olduğu hasarı en aza indirmede radyokoruyucu bir görev üstlenebileceğini göstermektedir.

### 1.10. Soya Fasulyesi (*Glycine max* (L.) Merr.)

Baklagiller ailesinin bir üyesi olan soya fasulyesi (*Glycine max* (L.) Merr.), içeriğindeki zengin besin maddeleriyle önemli endüstriyel tüketim ürünlerinden biridir (Yang vd., 2023). Soya fasulyesinin sistemattaki yeri aşağıda verilmiştir:



**Alem:** Plantae  
**Bölüm:** Magnoliophyta  
**Sınıf:** Magnoliopsida  
**Takım:** Fabales  
**Aile:** Fabaceae  
**Cins:** *Glycine*  
**Tür:** *Glycine max*

Şekil 19. Soya fasulyesi ve sistematikteki yeri (“Soya, 2023”)  
(Akbaý, 2023)

Soya fasulyesi tohumlarının şekilleri çeşitlere göre değişmekle birlikte genellikle ovaldir. Kahverengi, sarı, yeşil vb. gibi çeşitli renklerde tohum kabuğuna sahip olabilir ancak ticari soya fasulyelerinin tohum kabuğu rengi çoğunlukla sarıdır ve beyaz veya mor çiçek açmalarına göre hipokotilleri yeşil veya mor renk almaktadır (Purcell vd., 2014)



Şekil 20. ANP 2018 soya fasulyesi tohumları  
(Akbaý, 2023)



Şekil 21. Soya fasulyesi fidesi  
(Akbaý, 2023)

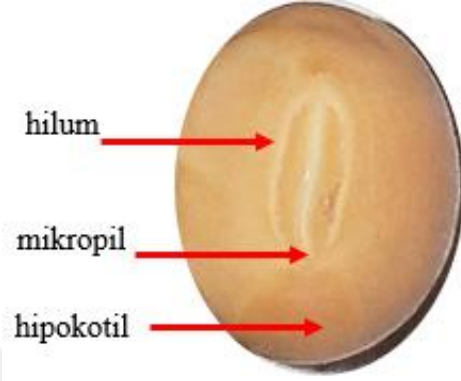


Şekil 22. Soya fasulyesinin mor çiçeği  
(Akbaý, 2023)

Baklagillerin önemli bir özelliği, köklerde nodül oluşumuna neden olan ve havadaki nitrojeni fikse ederek bitkilerin kolaylıkla kullanabileceği formlara dönüştüren *Bradyrhizobium japonicum* bakterileriyle simbiyotik bir ilişki kurmalarıdır (Purchell vd., 2014).



Şekil 23. Soya kökündeki nodüller  
(Purchell ve ark., 2014)



Şekil 24. Olgun soya fasulyesi tohumu  
(Akbay, 2023)



Şekil 25. Nodül oluşumu  
(Akbay, 2023)

Soya üretimi 2000 senesinden bu yana yaklaşık 2 kat artarak dünya çapında ekilen dört ana mahsulden biri haline gelmiştir (Crespo vd., 2023; Yoosefzadeh-Najafabadi vd., 2022).

Soya fasulyesi tohumları ortalama %40 oranında protein, %25-30 oranında karbonhidrat ve %21-24 oranında yağ içermektedir (Arıoğlu, 2000). Bu yönüyle dünya genelinde özellikle yemeklerde kullanılan yağların yaklaşık 1/3'ünü ve protein

kaynaklarının da yaklaşık 2/3'ünü oluşturarak (Golbitz, 2004) önemli bir bitkisel protein ve yağ deposu işlevi görmektedir (Lin vd., 2023; Song vd., 2023). Soyanın sözü edilen bu zengin besin içeriği kanser, kardiyovasküler rahatsızlıklar, kronik hastalıklar vb. gibi çeşitli sağlık sorunlarının potansiyel risklerini azaltabilir ve bu yönüyle de sağlığı güçlendirici bir etkiye sahip olan (Hu vd., 2020) önemli protein kaynaklarından biridir (Zhang vd., 2023).

Zengin besin içerikleri nedeniyle soya ve türevleri, dünya genelinde de özellikle diyet beslenmelerinde popüler olarak tüketilen başlıca ürünlerden biri haline gelmeye başlamıştır (Chen vd., 2012).

Ayrıca yağı uzaklaştırıldıktan sonra geriye kalan protein kaynaklı küspesi, hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Tayyar ve Gül, 2007). Dolayısıyla bu kapsamda soya fasulyesi, insanlar ve hayvanların besin ihtiyacını karşılamada potansiyel açıdan önemli bir yere sahiptir (Kökten vd., 2013) ve ticaret ve pazarlama için de önemli görülen ürünler arasındadır (Martey ve Goldsmith, 2020).

Marmara ve Karadeniz bölgeleri, soya fasulyesinin yetişmesi için en elverişli bölgeler olarak karşımıza çıkmaktadır (Turan ve Göksoy, 1998) ancak; sayıları giderek artan çeşitli ıslah çalışmalarıyla birlikte soya fasulyesinin farklı çevre koşullarına adaptasyon sağlayabilme yeteneği geliştirilmiştir (Karasu vd., 2002). Soya fasulyesinin çeşitli abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı daha toleranslı hale gelmesi ve agronomik özelliklerinin iyileştirilmesi, soya üretimi için oldukça önemlidir (Wang vd., 2023). Soya fasulyesi, endüstride de birçok ürünün (ilaç, kâğıt, gıda vb.) ortaya çıkmasında kullanılmaktadır ve bu durum da soya fasulyesini diğer tarımsal bitkiler arasında önemli bir konuma getirmektedir (Kılınç ve Arıoğlu, 2018).

### **1.11. Problem Durumu**

Bilim ve teknolojinin değişip gelişmesiyle birlikte hayatımızda yerini almaya başlayan nanoteknoloji ve nanomateryaller, sayısız kullanım alanına sahiptir. Tıptan endüstriye, tekstil sanayiden ilaç sanayiye kadar birçok alanda kullanımıyla karşımıza çıkmaktadır. Tıpta özellikle onkolojide ve ilaç sanayinde nanopartiküllerin insan

sistemlerine olan etki mekanizması üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış ve halen daha yapılmaya devam etmektedir (Gu vd., 2011). Ancak, çeşitli nanoteknolojik uygulamaların bitki bilimlerinde ve/veya bitki üretim sistemlerinde (fitonanoteknoloji) çok fazla ilgi görmediği araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (Wang vd., 2016). Mohasseli vd., (2020)'ye göre, bitkilerin çeşitli stres durumlarına karşı savunma mekanizmalarını harekete geçirmede nanopartiküllerin rol ve işlevlerinin anlaşılması için yeni çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bilindiği üzere bitkiler çeşitli biyotik ve abiyotik faktörlerden kaynaklı olarak strese girerler ve bu olumsuz çevre şartlarının çoğundan kaçamazlar (Gudkov vd., 2019). Onların bu stres koşullarına verdikleri tepkilerin incelenmesi; onların metabolik faaliyetleri hakkında bilgi sahibi olmamızı ve stres koşullarına karşı bitki verimliliğini artırma yönünde yapılacak olan çalışmalara katkıda bulunmamızı sağlar (Korkmaz ve Durmaz, 2017). Araştırmacılar, bitkilerin olası stres durumlarında savunma mekanizmalarını harekete geçirecek nanopartiküllerin tasarlanmasının mümkün olduğunu söyleyerek fitonanoteknolojik uygulamaların bu alanda oldukça önemli adımlar olduğunu ifade etmektedir (Wang vd., 2016).

Günümüzde bu kapsamda yapılan çalışmalar esas alındığında tuzluluk, kuraklık, UV, sıcaklık, soğukluk vb. gibi çeşitli stres faktörlerine karşı nanopartiküllerin bitki savunma sistemine olan etki mekanizmasına dayalı olarak birtakım çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ancak bu kapsamda gerek yurt içi gerekse yurt dışında radyasyon stresine karşı nanopartiküllerin bitki savunmasına olan etki mekanizmasının araştırıldığı çalışmalar oldukça az sayıdadır. Mohamed vd., (2019)'e göre, kaçınılmaz olarak iyonize edici radyasyona maruz kalmış bitkileri bu radyasyondan korumanın önemi oldukça büyüktür.

Dolayısıyla bu kapsamda radyoprotektif/radyo-koruyucu nanopartiküllerin rolü ve önemi şüphesiz büyüktür. İyonize edici radyasyona karşı koruma sağlamada nanopartiküllerin kullanılmasına dair çeşitli çalışmalar olsa da yurt içi ve yurt dışı alan yazın, radyoprotektif nanopartiküllerin etki mekanizmasını değerlendirmede ve mevcut çalışmaları kıyaslamada yeterli sayıda kaynak bulunmamaktadır (Subiel vd., 2016). Buna ek olarak, Juzenas vd., (2008), iyonize edici radyasyonun zararlarını en aza indirmede

nanopartiküllerin radyo koruyucu özelliklerinin araştırılması çalışmalarının yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Tıpta özellikle onkoloji alanında, sağlıklı dokuların radyasyondan hasar görmemesi adına kullanılan radyo-koruyucular hücreleri tıpkı bir zırh gibi korumaktadır (Praetorius ve Mandal, 2007) ancak radyo-koruyucu olma potansiyeline sahip nanopartiküllerin bitkisel materyaller üzerinde de aynı etkiyi gösterip gösteremeyeceği merak konusudur.

Literatürde nanopartikül ve bitki etkileşimi esaslı yapılan çalışmalar incelendiğinde, nanopartikül ve bitki çalışmalarının temeli bitki verimliliğini artırma üzerinedir. Ancak bu noktada da çeşitli çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmesi, nanopartiküllerin karmaşık bir doğaya sahip olduğunun göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, karmaşık bir doğaya sahip olduğu düşünülen nanopartiküllerin, bitkilerde olası stres durumlarına karşı bitkilerin savunma sistemlerine olan etki mekanizmaları halen daha netliğe kavuşmuş değildir. Dolayısıyla, bu karmaşıklığın netliğe kavuşması yolunda atılacak her adım, nanopartiküllerin etki mekanizmasını da açığa çıkarmış olacaktır (Khan vd., 2017). Nanopartikül-bitki etkileşimi çalışmalarının birçok alanda bilimsel çalışmalara yol gösterme potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir ancak; nanopartiküllerin sahip olduğu potansiyeller ve etki mekanizmalarının açığa çıkması için halen daha araştırmalara ihtiyaç vardır (Hu ve Xianyu, 2021; Singh vd., 2021).

Nanopartiküllerin bitkilerle olan etkileşimlerini içeren mevcut çalışmalar henüz başlangıç seviyesindedir. Çeşitli derleme kaynaklarda özellikle ZnO nanopartiküllerinin tarımsal alandaki potansiyelleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir ancak tüm var olan verilere rağmen ZnO NP'lerin uygulama alanlarının daha iyi keşfi için halen daha ek çalışmalara ihtiyaç vardır (Singh vd., 2018). Benzer şekilde Rajput vd., (2018)'e göre, ZnO NP'lerin karmaşık doğasını ve etki mekanizmasını aydınlatmaya yönelik yeni çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla bu kapsamda yapılacak olan her yeni çalışma, bu noktaların aydınlatılmasını sağlayacaktır.

Nair vd., (2010)'a göre, tarımda nanoteknoloji uygulamaları henüz başlangıç seviyesindedir. Nanopartiküller, bitki verimini artırmak ve stresle mücadelede bitkilerin

savunma sistemlerini güçlendirmek amacıyla kullanılmaya başlanan (Baazaoui vd., 2020) ve gelecekte de birçok tarım uygulamasında kullanılması hedeflenen yenilikçi uygulamalardan biridir. Çeşitli kimyasal uygulamalara kıyasla daha az toksik, daha ekonomik ve çevre dostu bir yaklaşım olduğu düşüncesi (Nayantara ve Kaur, 2018) nanopartikülleri tarımsal alandaki popüler uygulamalardan biri haline getirmeye başlamıştır. Kaynakçalar göz önünde bulundurulduğunda, X-ışınlarının ve nanopartikül uygulamalarının kombine etkisini incelemek amacıyla yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla yapılan bu çalışma, X-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün birleşik etkisini inceleyecek olan ilk yurt içi çalışma olması nedeniyle özgündür.

Tüm bunlardan hareketle yapılan bu çalışmanın, radyo koruyucu nanopartiküllerle ilgili yapılacak olan sonraki çalışmalarda referans olarak kullanılması potansiyeline sahip olacağı ve radyasyon-nanopartikül birleşik uygulamalarına yeni bir bakış açısı kazandıracığı öngörülmektedir. Ayrıca literatür incelendiğinde, nanopartikül uygulamalarının ağırlıklı olarak kuraklık, tuzluluk ve sıcak-soğuk stresi üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla yapılmış olan çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmayla birlikte, nanopartiküllerin radyasyon stresine karşı göstermiş oldukları etki mekanizması görülecek ve bu kapsamda eksiklik giderilecektir.

Tüm bunlara ek olarak, Khan vd., (2017)'ye göre nanopartiküllerin stresi engelleyici veya stres oluşturan bir etkiye sahip olup olmadıklarının öğrenilebilmesi için nanopartiküllerin olası stres durumlarındaki etki mekanizmalarının incelenmesi gerekmektedir. Radyoprotektör özelliğe sahip olma potansiyeli bulunan nanopartiküllerin etki mekanizmalarının incelenmesi, gelecekte radyoprotektif nanopartiküllerin geliştirilmesi için bir kaynak olacak ve insan-çevre temelli radyasyon uygulamalarında önemli bir yol gösterici olacaktır (Dowlath vd., 2021).

Yine bu bağlamda Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)'nin de içerisinde bulunduğu birtakım uzay ajansları uzayı keşfetmeye ve Dünya'ya alternatif yeni bir yaşam merkezi oluşturmaya yönelik olarak çeşitli araştırmalar yürütmektedir. Ancak bilindiği üzere uzaydaki önemli problemlerden biri arasında galaktik kozmik radyasyonu (GCR) bulunmaktadır. Van Allen kuşakları, Güneş'ten gelen zararlı ışınlarla karşı Dünya'yı tıpkı



bir zırh gibi korumaktadır ancak Mars'ta keşif sırasında karşılaşılan kozmik radyasyonun Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS)'ndeki maruziyetten yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu düşünülmektedir (Krukowski vd., 2018).

Benzer şekilde Arena vd., (2014)'e göre iyonize edici radyasyon, uzay ortamındaki en büyük olumsuzluklardan birini oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu noktada, ZnO NP'lerin radyo-koruyucu olarak kullanılma potansiyelinin, insan yaşamı üzerinde de oldukça önemli bir yere ve öneme sahip olabileceği düşünülmektedir. ZnO NP'lerin radyo koruyucu olarak kullanılabilmesi sonucu ortaya çıktığında; parçacık radyasyonuna maruz kalan astronotlar için, çeşitli nedenlerden dolayı doğrudan ya da dolaylı olarak radyasyona maruz kalmış kişiler için ve tıpta özellikle onkolojide kullanım alanına sahip olan radyo-koruyucu NP'lerden biri olarak çeşitli kullanım alanlarına sahip olabilir. Dolayısıyla araştırma sonuçlarının, bu kapsamda yapılması planlanan çalışmalara farklı bir bakış açısı kazandırabileceği düşünülmektedir.

İyonlaştırıcı radyasyonun bitkiler üzerindeki etkileri, tarım, sağlık vb. alanlardaki çalışmaları ilgilendirdiği gibi uzay çalışmalarını da ilgilendirmektedir (Ludovici vd., 2020). Buna ek olarak, Caplin ve Willey (2018)'e göre, iyonize edici radyasyonun bitkiler üzerindeki etki mekanizmalarını anlamak bitki bilimlerinde ve uzay çalışmalarında oldukça önemli ve ilgi çekici bir yere sahiptir. Bu kapsamda çeşitli çalışmalar yapılmış ve bitkilerin uzayda (düşük yerçekimi ve uzay aracı şartları altında) yetiştirilebileceği görülmüştür (Pascale vd., 2021) ancak iyonize edici radyasyon, düşük yer çekimi vb. gibi uzay şartları bitki fizyolojilerinde birtakım değişikliklere yol açabilmektedir (Arena vd., 2014). Dolayısıyla, tüm bu uzay şartlarının göz önünde bulundurularak değişen şartlara dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesi, uzayda sürdürülebilir tarım için oldukça önemlidir.

Çeşitli sebzelerin yanı sıra tahıllar ve baklagiller, uzay tarımı için önerilen bitkiler arasındadır ve uzay şartları altında dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesi, Dünya dışındaki gezegenlerde de bitki yetiştirme ve beslenme için kritik bir rol oynayacaktır (Tibbits ve Alford, 1980'den akt; Kordyum ve Hasenstein, 2021). İyonize edici radyasyon, bitki hücreleriyle etkileşime girdiğinde, hücreleri doğrudan etkileme potansiyeline sahiptir (Kovács ve Keresztes, 2002). Buna ek olarak, uzay çalışmalarında adından sıklıkla söz

ettiren iyonize edici radyasyon, serbest radikaller meydana getirebilmek amacıyla atom veya moleküllerle etkileşime girer ve bu etkileşim sonucunda oluşan serbest radikaller, bitki hücrelerine ciddi zararlar vererek onların morfolojilerini, fizyolojilerini, anatomilerini vb. gibi sistemsel çalışma mekanizmalarını değiştirerek veya etkileyerek hücreler üzerinde birtakım farklılıklara neden olur (Wi vd., 2007).

Tüm bunlara ek olarak, SOFA (2004)' ya göre, bitkilerle yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransının artırılmasını amaç edinen çalışmalardır (Çetiner, 2010). Bitkiler bilindiği üzere çeşitli sebeplerden dolayı strese girerler ve buna bağlı olarak gelişimlerinde, besin içeriklerinde veya yapılarında çeşitli olumsuzluklar meydana gelir. Bitkilerin bu olumsuz ortam şartlarından nasıl etkilendikleri ve nasıl cevap verdiklerinin anlaşılması oldukça önemli bir yere sahiptir. Böylesi araştırmalar sayesinde bitkilerin stres koşullarına verdikleri cevaplar, bitkilerin strese olan toleranslarını ortaya koyar ve genetik mühendisliği başta olmak üzere strese dayanıklı bitkiler yetiştirmek veya stres koşulları altındaki bitkilerin verimini artırabilmek adına çeşitli çalışmalar yapmak bu bağlamda oldukça önemli bir yere sahiptir (Çil, 2006).

Bitkilerin biyotik ya da abiyotik stres faktörlerine karşı vermiş olduğu tepkileri araştırmak amacıyla yapılan çalışmalar; değişik bitki tepkileri veya savunma mekanizmalarının gözlemlenmesinde ve strese dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle bitki stres fizyolojisi çalışmaları; ürün çeşitliliğinin sağlanması, tarımsal ekonominin geliştirilmesi vb. gibi alanlara da katkı sağlayacağından dolayı çok önemli bir yere sahiptir (Orcutt ve Nilsen, (2000)' den akt; Çil, 2006). Bu proje çalışması ile birlikte radyasyon stresinin soya fasulyesi üzerindeki etkileri görülmüş ve olası olumsuz etkilere karşı koruyucu olarak kullanılabilir olan NP'lerin etkisinin belirlenmesi, bundan sonra bu kapsamda yapılacak olan diğer çalışmalara da yol gösterici nitelikte olacaktır. Ayrıca tüm bunlara ek olarak, ilgili çalışma sonuçlarının, Dünya dışındaki diğer gezenlerde de bitki yetiştirilmesi konusundaki uzay çalışmalarına referans olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, tüm bu yönleriyle yapılması planlanan bu proje çalışmasının yurt içi ve yurt dışı alan yazına bu anlamda katkı sağlayacağı düşünülmekte ve bu kapsamda

yapılacak olan sonraki çalışmalara yol göstererek alan yazındaki tartışmalara yenilik getireceği öngörülmektedir.

Ayrıca ZnO nanopartikülünün bitkide meydana gelen gama radyasyon stresini azaltması ve bitkinin savunma mekanizmasını güçlendirmesi durumunda, stres anında nanopartiküllerin rolü ve işlevinin önemi de görülmüş olacak ve bu alanda bundan sonra yapılacak olan radyoprotektör nanopartikül çalışmaları için önemli bir veri kaynağı olacaktır. Ayrıca, bitkilerde olası radyasyon stresi durumlarında toksik etki göstermeyen radyoprotektörlerin kullanılması radyasyonun olumsuz etkilerini en aza indirmek için gelecekte kullanılacak yeni yaklaşımların öncüsü olma yolunda da oldukça önemli bir yere sahiptir (Mohamed vd., 2019).

X-ışını ile ışınlanmış soya tohumlarının çekirdek DNA'sının x-ışınları tarafından indüklenen hasarlardan korunmasında nano-ZnO'nun radyo koruyucu kapasitesinin araştırılması amacıyla yapılmış olan bu çalışmayla birlikte aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmıştır. Araştırma soruları aşağıda verilmiştir:

1. Ön deneme sonucu belirlenmiş olan uygun doz/dozlarda X-ışını ile ışınlanmış soya fasulyesi tohumlarına, ön deneme sonucu belirlenmiş olan uygun konsantrasyon/konsantrasyonlarda uygulanan ZnO nanopartikülü uygulamaları sonrasında soya fasulyesi tohumlarından gelişen M<sub>1</sub> bitkilerinin morfolojik yapısı ve bitkinin gelişim parametreleri nasıl değişmektedir?
2. Ön deneme sonucu belirlenmiş olan uygun doz/dozlarda x-ışını ile ışınlanmış soya fasulyesi tohumlarına, ön deneme sonucu belirlenmiş olan uygun konsantrasyon/konsantrasyonlarda uygulanan ZnO nanopartikülü uygulamaları sonrasında soya fasulyesi tohumlarında meydana gelen hasarda, ZnO nanopartikülleri radyo koruyucu bir etki yapmakta mıdır?

### 1.12. Araştırmanın Sınırlılıkları

1. Araştırmada elde edilen veriler, belirlenmiş olan araştırma sorularının sonuçları ile sınırlıdır.
2. Araştırma, kaynakçada yer verilen kaynaklar ile sınırlıdır.

### 1.13. Varsayımlar

1. Bursa Ali Osman Sönmez Onkoloji Hastanesi'nde gerçekleştirilen ışınlamaların doğru ve hatasız bir şekilde gerçekleştiği varsayılmıştır.
2. ZnO nanopartikülünün karakterizasyon analizinin doğru ve hatasız bir biçimde gerçekleştiği varsayılmıştır.
3. ZnO nanopartikülünün zeta potansiyeli analizinin doğru ve hatasız bir biçimde gerçekleştiği varsayılmıştır.

### 1.14. Tanımlar

**Nanopartikül:** Nanoteknolojinin temelini oluşturan ve bu alanda birçok çalışmada yer alan malzemelerdir (Khan vd., 2017).

**ZnO Nanopartikülü:** Benzersiz fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, en çok kullanılan metal oksit nanopartiküllerinden biridir (Islam vd., 2022).

**Soya Fasulyesi:** Baklagiller ailesinden olup zengin besin içerikleriyle önemli endüstriyel tüketim ürünlerinden birisidir (Yang vd., 2023).

**Radyobiyojoloji:** İyonize radyasyonun canlılarla olan etkileşimi sonucu ortaya çıkan etkilere odaklanan bilim dalıdır (Arslan, 2017).

**Radjo-koruyucu madde:** Canlıyı radyasyona karşı olduğundan daha dayanıklı hale getiren maddelerdir (“Biyolojik etkiler”, 2023).

**Zeta potansiyeli:** Nanopartiküllerin kararlılık derecesinin ve sahip olduğu elektrokinetik potansiyelin ölçüsüdür (Ateş, 2018).

**GR<sub>50</sub> dozu:** X ışınları gibi mutajenlerin kullanıldığı çalışmalarda optimum mutajen dozunu belirlemede kullanılan büyüme (%50) azaltıcı dozdur (Álvarez-Holguín vd., 2019).



## İKİNCİ BÖLÜM ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. İyonize Radyasyonun Bitki Gelişime Olan Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar

Beyaz ve WacAdam (2023) farklı dozlarda x-ışınlarıyla ışınlanan kuş ayağı (*Lotus corniculatus* L.) bitkisinin çimlenme yüzdesi, kök-fide uzunluğu, yaş- kuru ağırlık, canlılık indeksi vb. parametrelerini incelemişler ve x-ışınlarının çimlenme yüzdesini önemli ölçüde artırdığını, fide büyümesini iyileştirdiğini buna karşılık kök ve fide biyokütlesini azalttığını saptamışlardır.

Ghasemi-Soloklui vd., (2023) farklı dozlarda gama radyasyonu ile muamele edilmiş üzüm için ayrı ayrı LD<sub>25</sub>, 50, 75 değerlerini ölçmüşler ve artan gama radyasyonu dozlarına bağlı olarak fide uzunluğu, kök uzunluğu vb. gibi bitki morfolojik özelliklerinde azalmalar olduğunu saptamışlardır.

Sorrentino vd., (2023) farklı dozlarda x-ışını ile muamele edilen *Eruca sativa* (roka)'nın radyasyona karşı göstermiş olduğu morfolojik-fizyolojik ve genotoksik tepkileri incelemişler ve bitkinin göstermiş olduğu tepkinin genellikle hormesise uyararak, artan radyasyon dozlarıyla birlikte bitki gelişiminde azalma eğilimi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Albarjinji vd., (2022) *Vigna siveness savi* (börülce) ile yaptıkları çalışmalarında börülce tohumlarını farklı uzaklıklarda ve sürelerde X-ışını kaynağına maruz bırakmışlar ve x ışınlarının börülcedeki fotosentetik pigmentleri ve stomaları etkileme düzeyini araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda X-ışınlarının börülce kuru madde içeriğinde, fotosentetik pigmentlerde ve stomalar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı değişikliklere neden olduğuna ulaşmışlardır.

Dada vd., (2022) farklı dozlarda X ve gama ışınlarıyla ışınladıkları *Coffea arabica* (dağ kahvesi)'yi çeşitli parametreler (çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı, kök ve hipokotil uzunluğu vb.) bakımından incelemişler ve incelemeleri sonucunda x-ışınlarıyla muamele

edilmiş tohumların gama ışınlarıyla muamele edilen tohumlara kıyasla çimlenme yüzdesinin ve fide canlılığının daha düşük olduğunu belirtmişler ve 50-100 Gy aralığının mutasyon ıslahında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Hong vd., (2022) farklı dozlarda ve kısa-uzun süreler boyunca gama ışınları ile ışınladıkları buğday tohumlarının radyasyondan etkilenme düzeylerini maruziyet süresine göre karşılaştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, kısa süreli gama maruziyeti uygulamalarının bitki kök ve fide uzunluğunu kontrole kıyasla daha az etkilediğini; uzun süreli gama maruziyeti uygulamalarının bitki gelişimini ciddi oranda olumsuz etkilediğini ifade ederek artan radyasyon maruziyet süresinin artan radyoduyarlılığa sebep olduğunu vurgulamışlardır.

Kiani vd., (2022) farklı dozlarda gama ışını ile ışınladıkları *Triticum aestivum* L. (buğday) tohumlarının morfolojik ve biyokimyasal özelliklerini incelemişler ve artan gama radyasyonu dozlarıyla birlikte bitki kök uzunluğu, kök taze-kuru ağırlığı, fide canlılığı vb. parametrelerinde azalmalar meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Muhammed vd., (2021) farklı dozlarda ve akut-kronik olarak ışınladıkları yer fıstığının LD<sub>50</sub> ve GR<sub>50</sub> dozlarını belirlemişler ve gama ışın dozlarının azalmasıyla birlikte bitki büyümesinin, gelişiminin ve canlılığının artış gösterdiğini ifade ederek belirledikleri LD<sub>50</sub> ve GR<sub>50</sub> dozlarının yer fıstığının mutasyon ıslahında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Purıpunyavanıç vd., (2021) x-ışınlarının pirincin çimlenme yüzdesi ve fide büyümesine olan etkisini inceledikleri çalışmada, farklı x ışınları muamelelerinde kontrol grubuna kıyasla çimlenme yüzdelerinde ve fide büyümesinde önemli azalmalar meydana geldiği sonuçlarına ulaşmışlardır.

Xu vd., (2021) farklı dozlarda nötron ışınlarıyla ışınladıkları *Pisum sativum* (bezelye) tohumlarının gelişimini çeşitli morfolojik özellikler bakımından incelemişler ve incelemeleri sonucunda nötron ışını emilim dozunun artışıyla birlikte inhibitör etkinin de artış gösterme eğilimi sergilediğini ifade etmişlerdir.

Wang vd., (2021) soya fasulyesi tohumlarını farklı dozlarda karbon iyon ışınlarıyla ışınlamışlar ve sonuçları çeşitli parametreler (antioksidan enzimler, klorofil miktarı vb.) bakımından değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeleri sonucunda mutasyon ıslahı için 120 Gy'in etkili sonuçlar ortaya koyabileceğini ifade etmişlerdir.

Sao vd., (2020) gama, elektron, proton ve x-ışınlarının pirinçteki etkisini karşılaştırmalı olarak inceledikleri çalışmada çimlenme yüzdesi ve kök-fide uzunluğu değerlerinin tüm fiziksel mutajenlerin artan dozuna bağlı olarak azaldığını ortaya koymuşlardır.

Alvarez-Holguin vd., (2019) farklı dozlarda ışınladıkları *Eragrostis superba* (kene otu) için LD<sub>50</sub> ve GR<sub>50</sub> dozlarını belirlemeyi amaçlamışlar ve tüm dozlarda incelenen parametrelerin (çimlenme yüzdesi, kök-fide uzunluğu vb.) ışınlamadan önemli ölçüde etkilendiği sonucuna ulaşarak kene otu için optimum radyasyon dozunun 2, 486 Gy olduğunu belirtmişler ve mutasyon ıslahı için bu doza vurgu yapmışlardır.

Rezk vd., (2019) farklı dozlarda x-ışınıyla ışınlanan bamyanın (*Hibiscus esculentus* L.) morfolojik özelliklerini ve antioksidan enzimlerini incelemişler ve x-ışını doz artışına bağlı olarak incelenen tüm parametrelerin önemli ölçüde azaldığını ifade etmişlerdir. Düşük dozlarda x-ışını uygulamalarının ise stimülasyona neden olarak bitki büyümesini iyileştirebileceğini vurgulamışlardır.

Jaipo vd., (2019) düşük dozlarda gama radyasyonu ile ışınladıkları salatalık ve bamyaya tohumlarının çimlenme yüzdesi, kök-fide uzunluğu, yaş-kuru ağırlık incelemelerini yapmışlar ve incelemeleri sonucunda düşük dozdaki gama ışınlarının çimlenme yüzdesini ve fide büyümesini artırabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Yasmine vd., (2019) farklı dozlarda ve uzun süreli gama ile ışınladıkları üç farklı pirinç çeşidinin gelişimini çeşitli parametreler (fide boyu, yeke sayısı vb.) bakımından incelemişler ve düşük dozlarda gama ışınlamasının bitki büyümesini uyarıcı bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.



Akshata vd., (2013) farklı dozlardaki gama ışınlarının *Terminalia arjuna* (arjun ağacı) üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, düşük dozlarda gama ışınlarının çimlenme ve bitki gelişimi üzerinde olumlu etkilere neden olabileceğini ifade etmişlerdir.

Wiendl vd., (2013) farklı dozlardaki gama ışınlarının domates tohumları üzerindeki etkilerini çimlenme yüzdesi, meyve sayısı-ağırlığı vb. parametreler bakımından incelemişler ve düşük dozda gama radyasyon uygulamalarının çimlenmeyi ve bitki gelişimini uyarıcı bir etki gösterebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

## 2.2. ZnO Nanopartikülü ile Yapılan Çalışmalar

Ghouri vd., (2023) kadmiyum stresi altındaki pirinç bitkisine farklı konsantrasyonlarda ZnO nanopartikülü uygulamışlar ve ZnO nanopartiküllerinin kadmiyum kaynaklı oksidatif stresi azaltmada etkili bir rol oynadığını ve stresi iyileştirici bir etki gösterdiğini belirtmişlerdir.

Rehman vd., (2023) kuraklık stresi altındaki *Cucumis melo* L. (kavun)'ya farklı konsantrasyonlarda ZnO nanopartikülü uygulamışlar ve ZnO nanopartiküllerinin kavunda kuraklık toleransını artırdığını, antioksidan mekanizmayı destekleyerek oksidatif stresi azalttığını ve buna bağlı olarak ROS'ları süpürerek stresi iyileştirici bir rol üstlendiğini ifade etmişlerdir.

Qiu vd., (2023) pirinç ile yaptıkları çalışmada, ZnO nanopartiküllerinin pirinci ozmotik stres gibi abiyotik stresten korumada ve pirinç patlağıyla mücadelede etkili bir yöntem olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Seleiman vd., (2023) ZnO nanopartikülü ile ilgili olarak yaptıkları derleme çalışmasında, gelecek için önemli bir sorun teşkil edebilecek olan tuz stresine karşı bitkileri korumada, bitki gelişimini ve verimini artırmada ve stresi azaltmada ZnO nanopartiküllerinin önemine dikkat çekerek ZnO nanopartiküllerinin umut verici bir işleve sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Banerjee vd., (2023) arsenik stresi altındaki *Vigna mungo* (L.) (siyah mercimek)'ya ZnO nanopartikülü uygulamışlar ve ZnO nanopartiküllerinin arsenik stresi altındaki siyah mercimeğin çimlenme yüzdesini artırdığını, arsenikten kaynaklı oksidatif stresi azalttığını ve strese karşı toleransı artırıcı bir etki gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Yusefi-Tanha vd., (2023) *Glycine max.* L. (soya fasulyesi) ile yaptıkları çalışmada toprağa uygulanan farklı boyut ve konsantrasyonlardaki ZnO nanopartiküllerinin etkisini incelemişler ve incelemeleri sonucunda ZnO nanopartikülünün tohum verimini artırdığını, tohum protein ve yağ içeriğini zenginleştirdiğini belirtmişlerdir.

Ul-Haq vd., (2023) kuraklık stresi altındaki buğday fideleri ile yaptıkları çalışmada farklı konsantrasyonlarda ZnO nanopartikülü kullanmışlar ve ZnO nanopartiküllerinin buğdayların büyümesini artırdığını, antioksidan savunma sistemini aktive ederek stresi tolere edici bir rol üstlendiğini ve fotosentetik pigmentleri artırdığını ifade etmişlerdir.

Usman vd., (2023) kadmiyum birikimi üzerine ZnO nanopartiküllerinin etkisini inceledikleri çalışmada, ZnO nanopartiküllerinin kadmiyum stresi altındaki buğdayın büyümesini önemli ölçüde etkilediğini ve kadmiyum birikimini azalttığını vurgulamışlardır.

Zeid vd., (2023) tuzluluk stresi altındaki çilekler üzerinde ZnO nanopartikülünün etkisini inceledikleri çalışmada, ZnO nanopartiküllerinin çilekte tuz stresini tolere etmede etkili bir rol üstlendiğini ve çileğin strese karşı antioksidan savunma sistemini geliştirdiğini ifade etmişlerdir.

Ramzan vd., (2023) tuz stresi altındaki *Celosia argentea* (horoz ibiği) üzerine ZnO nanopartiküllerinin etkisini inceledikleri çalışmada, ZnO nanopartiküllerinin horoz ibiği bitkisinin büyüme ve çiçek özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve tuz stresini azaltıcı bir rol üstlendiğini belirtmişlerdir.

Sharma vd., (2023) *Spinacia oleracea* L. (ıspanak)'nın büyümesi üzerine ZnO nanopartiküllerinin etkisini inceledikleri çalışmada, ZnO nanopartiküllerinin ıspanakta Zn alımını artırdığını ve fito-morfolojik özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir.

Ramzan vd., (2023) krom stresi altındaki *Zea mays* (L.) (mısır)'a ZnO nanopartikülü uygulamışlar ve bitkinin göstermiş olduğu tepkileri incelemişlerdir. İncelemeleri sonucunda ZnO nanopartiküllerinin krom kaynaklı toksisiteyi azaltmada etkili bir çözüm olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Prakash vd., (2022) krom stresi altındaki pirinç bitkisine farklı miktarlarda ZnO nanopartikülü ilave etmişler ve ZnO NP uygulamalarının krom kaynaklı toksisiteyi azaltmada yardımcı olduğunu ve fide büyümesini desteklediğini ifade etmişlerdir.

### **2.3. ZnO Nanopartiküllerinin Radyo-Koruyucu Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar**

Eskalen vd., (2023) ZnO nanopartikülü eklenmiş borat camların radyo-koruyucu özelliklerini inceledikleri çalışmada, ZnO nanopartikülü ilaveli borat camların gama radyasyonuna karşı zırh görevi görmede başarılı bir sonuç verdiğini ifade etmişler ve ZnO nanopartikülünün radyo-koruyucu olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Buriah vd., (2022) yapmış oldukları çalışmada, ZnO–Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanotozlarının çeşitli özelliklerine ek olarak radyasyon koruma özelliklerini incelemişler ve ZnO–Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanokompozitlerin fotonlara karşı kalkan görevine sahip olduğunu sonucuna ulaşmışlardır.

Körpınar ve Saltan (2022), poli (stiren-ko-akrilik asit)-çinko oksit kompozitlerinin gama radyasyonuna karşı olan koruyuculuğunu araştırmışlar ve araştırmaları sonucunda çinko oksitin iyi bir radyasyon emici olduğunu ifade etmişlerdir.

Casas vd., (2021), 0D, 1D ve ZnO nanoyapılarının kanser teşhis ve tedavisinde kullanımlarına dair yapmış oldukları derleme çalışmasında, ilgili nanoyapıların biyouyumluluk, reaktivite, yüzey kimyası vb. gibi ilgi çekici birtakım özellikleri nedeniyle onkoloji alanına yeni bir bakış açısı kazandırma potansiyellerine sahip olduğunu vurgulamışlar ve ZnO, CuO (bakır oksit), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (demir oksit) vb. gibi metalik nanopartiküllerin bu alanda popüler olan nanopartiküller olduğunu ve halen daha çeşitli çalışmalarda rol aldıklarını ifade etmişlerdir. Tüm bunlara ek olarak, ZnO nanoyapılarının

çeşitli genetik çalışmalarında DNA bozulmasının önüne geçebilmek amacıyla kullanıldığını belirterek ZnO NP'lerin antioksidan özellik gösterdiğini ve hücreler için zararlı etkiye yol açan ROS oluşumunu indükleyici bir etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir.

Al-Bruahi vd., (2020) ZnO ve NiO içerikli camların iyonize radyasyonlara karşı radyo-koruyucu özelliklerini inceledikleri çalışmada, ZnO bileşimli camların sıradan camlara kıyasla üstün bir koruyucu rol sergilediğini vurgulamışlardır.

Tang vd., (2020) yapmış oldukları çalışmada, *Morus nigra*nın yaprak özütünü kullanarak ZnO NP'leri sentezlemişler ve sentezlemiş oldukları NP'leri, plakalar içerisinde bulunan AGS gastrik kanser hücrelerinin içerisine miktarı 0-100 µg/ml arasında değişim gösterecek şekilde ilave etmişler ve ardından MN-ZnO NP'lerin çeşitli parametreler bakımından (ROS üretimine etkisi, hücre canlılığına etkisi vb.) etki mekanizmasını incelemişlerdir. Yaptıkları analizler sonucunda, MN-ZnO NP'lerin kanser hücrelerinin canlılığını azaltıcı bir etkide bulunduğunu ve ROS üretimini indüklediğini ifade ederek MN-ZnO NP'lerin mide kanserini tedavi etmede önemli bir ajan görevi gördüğünü belirtmişlerdir.

Rashad vd., (2020), magnezyum oksit ve çinko oksit nanoparçacıklarının fiziksel ve nükleer koruyucu özelliklerini incelemişler ve incelemeleri sonucunda 50 nm boyutlarındaki çinko oksit nanoparçacıklarının nükleer radyasyonu engellemede oldukça başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Hamed vd., (2019) ekşi portakal fideleri ile yaptıkları çalışmada 500, 1000 ve 2000 mg L<sup>-1</sup> Zn nanopartikülü ve 20 Gy gama radyasyon dozunu birlikte uygulamışlar ve incelemeleri sonucunda kombine uygulamaların çimlenme yüzdesi ve fide yüksekliği gibi özellikler üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu saptamışlardır.

Abd-Allah vd., (2019) çeşitli camların radyo-koruyucu özelliklerini inceledikleri çalışmada, ZnO bileşimli camların betona kıyasla daha iyi bir radyo-koruyucu özelliğe sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Mohamed vd., (2019) yapmış oldukları çalışmada, farklı dozlarda (20, 50, 100 Gy) gama ile ışınlanmış *Vicia faba* L. tohumlarını, farklı konsantrasyonlarda (500, 2000, 4000 mg/L<sup>-1</sup>) ZnO nanopartikülü ile muamele etmişler ve ZnO nanopartikülünün radyasyon kaynaklı DNA hasarı üzerindeki radyoprotektör etkinliğini görmeyi amaçlamışlardır. Çalışmaları sonucunda, ZnO nanopartikülünün DNA korumasında önemli bir radyoprotektör görevi gördüğünü tespit etmişlerdir.

Harbi vd., (2019) yapmış oldukları çalışmada, farklı dozlarda (20, 50, 100 Gy) gama ile ışınlanmış *Vicia faba* L. tohumlarını, farklı konsantrasyonlarda (500, 2000, 4000 mg L<sup>-1</sup>) ZnO nanopartikülü ile muamele etmişler ve gama radyasyonu toksisitesine karşı çinko oksit nanopartiküllerinin modülatör etkisini çeşitli parametreler (tohum çimlenmesi, fide büyümesi, inhibisyon yüzdesi vb.) bakımından araştırmayı planlamışlardır. Araştırmaları sonucunda, ZnO nanopartiküllerinin fenotipik, sitogenetik ve hücresel yapı düzeylerinde gama radyasyon hasarını azaltıcı bir potansiyele sahip olduğunu görmüşler ve ZnO nanopartiküllerinin radyoprotektif ajan olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu düşünerek bu alanda yeni çalışmalar yapılmasına ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır.

Jiang vd., (2018), ZnO NP'nin kullanımına dair yaptıkları derleme çalışmasında, ZnO'nun ekonomik olması, toksisitesinin düşük olması ve antikanser, antibakteriyel vb. gibi ilgi çekici özellikleri nedeniyle tıpta geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu ifade ederek hücre için tehlikeli reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu indükleyici özelliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Borjanovic (2012), üç farklı nanokompoziti (nano elmas, çinko oksit (ZnO) ve tek duvarlı karbon nanotüpler) 2 MeV ile ışınlanmış ve nanokompozitlerin iyonize edici radyasyona karşı dirençlerini görmeyi amaçlamıştır. Çalışması sonucunda, iyonize edici radyasyona karşı en dirençli nanokompozitin ZnO örneği olduğuna ulaşmıştır.

Rasmussen vd., (2010), ZnO NP'lerin biyomedikal alandaki uygulamaları ile ilgili yapmış oldukları derleme çalışmasında, ZnO NP'lerin kanser teşhis ve tedavisinde yaygın olarak kullanıldığından bahsetmişler ve ZnO NP'lerin bu alanda kullanımının popülerleşmeye başladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca ZnO NP'lerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri nedeniyle lenfosit kökenli hücrelerde ROS oluşumunu indüklediğinden söz

etmişler ve bu yönüyle de biyomedikal uygulamalar için ilgi çekici bir ajan olduğunu vurgulamışlardır.

Juzenas vd., (2008) yapmış oldukları derleme çalışmasında, nanopartiküllerin radyasyon tedavisindeki etkilerini ve radyo-koruyucu özelliklerini değerlendirmişler ve metalik nanopartiküllerin radyoterapinin terapötik etkilerini artırabileceğini ve iyonize radyasyonun zararlı etkilerine karşı hücreleri koruma potansiyeline sahip olabileceğini ifade ederek radyokoruyucu nanopartiküllere yönelik daha fazla araştırmanın yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.



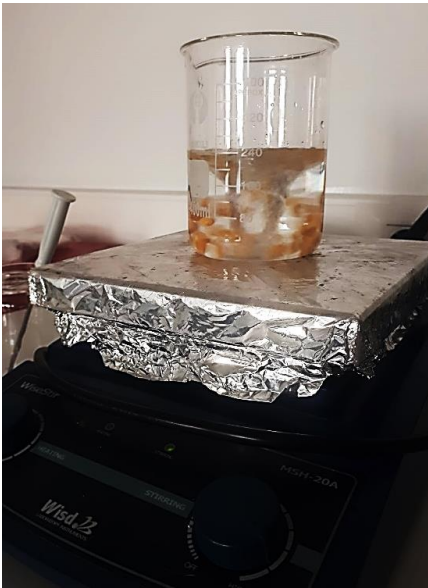
## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. Bitki Materyalinin Temini

Araştırmada, ülkemizde yaygın olarak ekimi yapılan ve kolay yetişen bir soya fasulyesi çeşidi olan ANP 2018 tohumları kullanılmıştır. Çeşidin bin dane ağırlığı 121-131 g ve yetiştirme süresi, ortaya yakın erkendir (I. ürün: 135-140 gün, II. ürün: 108-112 gün) (“ANP 2018, 2023”). Çeşide ait tohumlar, Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’nden temin edilmiştir.

### 3.2. Tohumların Hazırlanması

Kullanılacak tohumların görünüşlerinde bozukluk olmamasına dikkat edilmiş ve ortalama olarak aynı şekil ve boyutta olan tohumlar seçilmiştir. Ayrıca araştırma kapsamında kullanılmış olan tüm tohumlar, yüzey sterilizasyonunu sağlamak amacıyla yaklaşık 10 dk. boyunca manyetik karıştırıcı ile %1’lik sodyum hipoklorit çözeltisi içerisinde karıştırılmış, üç kez deiyonize su ile durulanmış ve son olarak havayla kurumaya bırakılmıştır (Mohamed vd., 2019).



Şekil 26. Manyetik karıştırıcıda karıştırılan tohumlar  
(Akbat, 2023)

### 3.3. X-Işını Uygulamaları

Tohumlara x-ışını uygulamaları, Bursa Ali Osman Sönmez Onkoloji Hastanesi'nde bulunan Varian Trilogy marka Linac cihazında (Doz hızı: 360 Gy/h) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 27. Linac cihazı

(<https://bursaonkoloji.saglik.gov.tr/TR122917/linac-lineer-akselerator-dogrusal-hizlandirici.html#>)

#### 3.3.1. X-Işını Uygulamaları İçin Tohumların Hazırlanması

Ortalama olarak aynı boyut ve şekillerde seçilen tohumlar, 100, 200, 300, 400 ve 500 Gy x-ışını uygulamaları için polietilen torbalar içerisine -her muamele için 100 tohum olacak şekilde- konulmuştur.



Şekil 28. Işınlama için paketlenen tohumlar

(Akby, 2023)



### 3.3.2. Optimum X-Işını Dozlarının Belirlenmesi

100, 200, 300, 400 ve 500 Gy x-ışınları ile ışınlanan tohumlar, deneme sandıkları içerisinde bulunan torf-perlit karışımı toprağa tesadüfi blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olacak şekilde ekilmiştir. Ekilen tohumlar, ÇOMÜ Eğitim Fakültesi bahçesine kurulan serada kontrollü koşullarda yetiştirilmiştir.



Şekil 29. ÇOMÜ eğitim fakültesi bahçesine kurulan araştırma serası  
(Akby, 2023)



Şekil 30. Sera içerisinde yetiştirilen soya fasulyeleri  
(Akby, 2023)

Soya fasulyesi fidelerinin ilk gerçek yapraklarındaki gelişmenin durduğu yaklaşık 21. günde hasatı gerçekleştirilmiş, fide uzunlukları ölçülmüş ve GR<sub>50</sub> (fide boyunu %50 azaltan doz) dozu belirlenmiştir. (Gaul, 1977). Böylelikle, optimum X-ışını dozu saptanmıştır.

### 3.4. Nanopartikül Uygulamaları

#### 3.4.1. ZnO Nanopartikülü Temini

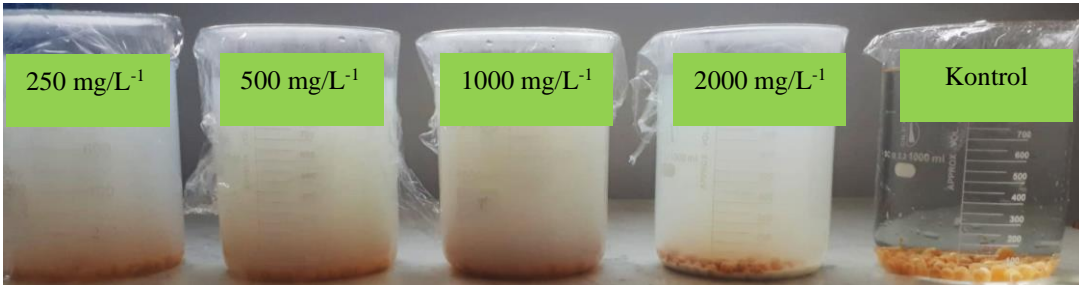
Araştırmada, ZnO nanopartikülü kullanılmıştır. İlgili nanopartikül, Nanografi Türkiye (<https://shop.nanografi.com.tr>) 'den temin edilmiştir. Temin edilmiş olan nanotozun saflığı  $\geq 99$  ve ortalama parçacık boyutu  $< 100$  nm şeklindedir.

### 3.4.2. Nano-ZnO'nun Hazırlanması

Daha önce ZnO NP ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan konsantrasyonlar ve NP boyutu temel alınarak (Høe vd., 2018; Janmohammadi vd., 2016; Kumar vd., 2015; Mohamed vd., 2019; Prakash ve Chung, 2016; Prasad vd., 2012; Raja vd., 2019; Torbati vd., 2017) dört farklı ZnO NP konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu kapsamda araştırmada 0, 250, 500, 1000 ve 2000 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartikülleri kullanılmıştır. Nano-tozlar, belirlenen konsantrasyonlara göre deiyonize su içerisinde karıştırılmış ve ultrasonik yöntem ile (200 W, 37 kHz) yaklaşık 30 dk. boyunca sonikasyona tabi tutulmuştur. Bu süre içerisinde kontrol grubundaki tohumlar, 1000 ml deiyonize su ile muamele edilmiştir (Høe vd., 2018).



Şekil 31. Sonikatörde karıştırılan nanopartiküller  
(Akbaý, 2023)



Şekil 32. Farklı konsantrasyonlardaki ZnO nanopartikülleri içerisinde beklemeye bırakılan tohumlar  
(Akbaý, 2023)

### 3.4.3. Nano-ZnO'nun Karakterizasyonu

ZnO nanopartikülünün morfolojik karakterizasyonunun daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) (JEOL JEM-1400 PLUS, ÇOMÜ-ÇOBİLTUM) ile ölçümler yapılmış ve ilgili nanopartikülün boyut ve dağılımı belirlenmiştir.

TEM ile nanometre boyutundaki materyallerin/malzemelerin yüksek oranda büyütülmesiyle malzemeye ait kristalografik ve morfolojik bilgilere ulaşmak mümkündür (Ateş, 2018) ve temelde numune ve elektron demetinin etkileşimi sonucunda oluşan görüntüye bağlı olarak sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 33. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)  
(<https://cobiltum.comu.edu.tr/laboratuvarlarimiz/goruntuleme-laboratuvari-r48.html>)

### 3.4.4. Nano-ZnO'nun Zeta Potansiyeli

Zeta potansiyeli kısaca tanecikler arasındaki itme veya çekme değeri ölçümü olarak tanımlanabilir (Hunter, 1981). Zeta potansiyeli partikülün yüzey yüküne bağlı olup genellikle 15 mV'dan yüksek ya da -15mV'dan küçük değere sahip partiküller stabil olarak kabul edilirler. Bu yük partiküllerin bir araya gelerek agregat oluşturmalarını engelleyen bir güç olarak görev aldığından dolayı nano çalışmalarında kullanılacak bir çözeltideki partiküllerin zeta potansiyelinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir (Çoşkun, 2013).

Çalışmada hazırlanan süspansiyondaki ZnO nanopartiküllerinin zeta potansiyeli 25 °C’de Malvern Zetasizer Nano-ZSP marka zeta potansiyeli ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

ZnO nanopartikülünün zeta potansiyelinin incelenebilmesi amacıyla Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK)’ndan hizmet alımı yapılmış ve ilgili ölçümler yapılarak nanopartikülün zeta potansiyeli incelenmiştir.

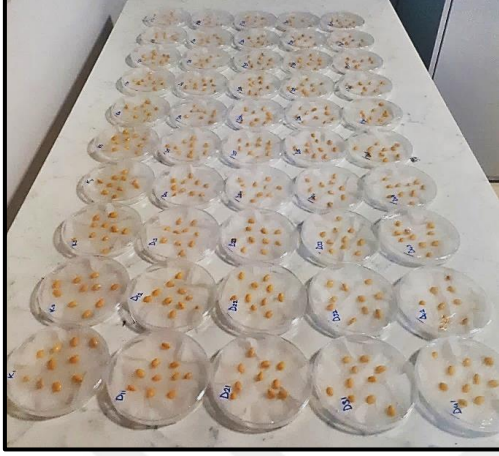


Şekil 34. Malvern-Zetasizer Nano ZSP marka zeta potansiyeli ölçüm cihazı (<https://www.tenmak.gov.tr/boren/uploads//dosyaYoneticisi/BORENKatalog-edit.pdf>)

### 3.4.5. Optimum ZnO NP Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Mohamed vd., (2019)’e göre her muamele için steril edilmiş 100 tohum; 0, 250, 500, 1000 ve 2000 mg L<sup>-1</sup> ZnO NP içerisinde 24 saat muameleye tabi tutulmuştur. Bu süre içerisinde kontrol grubundaki tohumlar, 1000 ml deiyonize su ile muamele edilmiştir. 24 saat sonra farklı konsantrasyonlarda ZnO NP ile muamele gören tohumlar, tabanı 10 ml deiyonize su ile nemlendirilmiş filtre kâğıdı ile kaplı yaklaşık 10 cm çapındaki petri kabı içerisine 10 adet tohum (her tohum arasında 1 cm veya daha fazla boşluk olacak şekilde) yerleştirilmiş ve petri kapları parafilm bant ile kapatılmıştır. Son olarak tüm petri kapları, oda sıcaklığında karanlık bir yere konumlandırılmış ve tohumların çimlenmesi sağlanmıştır. 15, 18, 21, 24, ve 48 saat sonra çimlenme yüzdeleri ve kök uzunlukları ölçülmüş ve birincil yaprakların çıkışı, binoküler stereo mikroskop kullanılarak incelenmiştir (Høe vd., 2018).

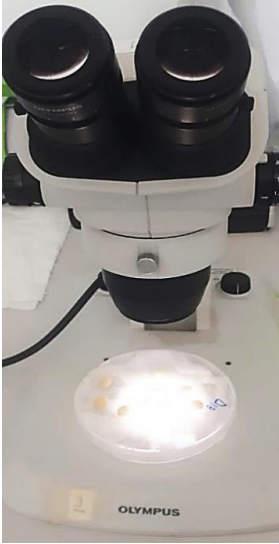
Kontrol grubuna göre olumlu yönde gelişme gösteren NP konsantrasyonu, optimum konsantrasyon dozu olarak belirlenmiştir.



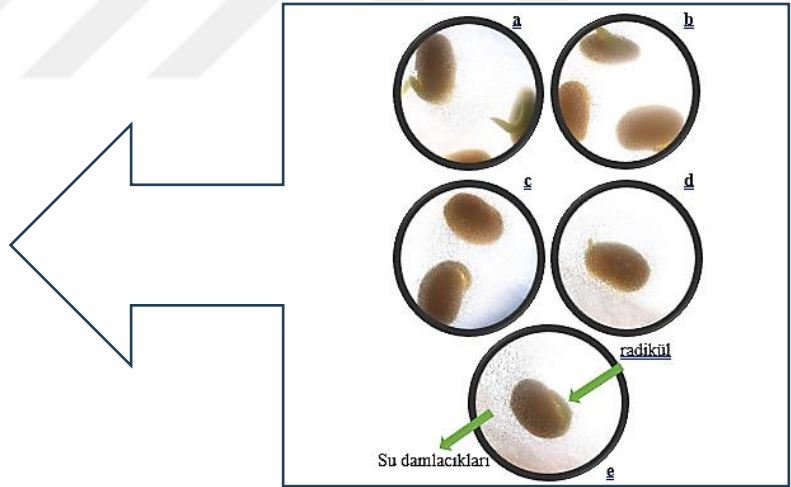
Şekil 35. Petri kapları içerisine ekimi yapılan soya fasulyesi tohumları, genel görünüm  
(Akbay, 2023)



Şekil 36. Petri kapları içerisine ekimi yapılan soya fasulyesi tohumları, üstten görünüm  
(Akbay, 2023)



Şekil 37. Binoküler stereo mikroskop altında incelemelerin yapılması  
(Akbay, 2023)



Şekil 38. Binoküler stereo mikroskop altında incelemelerin yapılması, 15. saat, a: kontrol, b: 250 mg/L<sup>-1</sup>, c: 5000 mg/L<sup>-1</sup>, d: 1000 mg/L<sup>-1</sup>, e: 2000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO NP  
(Akbay, 2023)



### 3.5. X-Işını ve ZnO NP' nin Kombine Olarak Uygulanması

Tohumlar için optimum X-ışını dozu ve ZnO NP konsantrasyonu belirlendikten sonra denemeler dört grupta gerçekleştirilmiştir. Birinci grup, kontrol grubu olduğu için herhangi bir işlem görmemiştir (0). İkinci grup, ön çalışma sonucu belirlenmiş olan optimum ZnO NP konsantrasyonu ile muamele edilmiştir (NP<sub>1</sub>, NP<sub>2</sub>). Üçüncü grup, ön çalışma sonucu belirlenmiş olan optimum X-ışını dozu ile ışınlanmıştır (300 Gy, 400 Gy, 500 Gy). Son olarak dördüncü grup ise, X-ışını ile ışınlanmış tohumların her birinin ZnO NP ile muamele edildiği gruptur (300 Gy+NP<sub>1</sub>, 300 Gy+NP<sub>2</sub>; 400 Gy+NP<sub>1</sub>, 400 Gy+NP<sub>2</sub>; 500 Gy+NP<sub>1</sub>, 500 Gy+NP<sub>2</sub>). Her muamele için 100 tohum kullanılmış ve çalışma, tesadüfi blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Mohamed vd., 2019).

### 3.6. Veri Toplama Teknikleri ve Yapılacak Analizler

Araştırma kapsamında; çimlenme yüzdesi, kök-gövde uzunluğu, yaş-kuru ağırlık, canlılık indeksi, Zn miktarı ve toplam klorofil miktarı parametreleri incelenmiştir.

#### 3.6.1. Çimlenme yüzdesi:

Her muamele için çimlenme yüzdesi, çimlenme gerçekleştikten sonra (7.gün) hesaplanmıştır. Çimlenme yüzdesi hesaplamalarında, Bagawade ve Jagtap (2018)'in kullanmış oldukları formül esas alınmıştır. Formül aşağıda verilmiştir:

$$\text{Çimlenme (\%)} = (\text{Çimlenen tohum sayısı} / \text{Toplam alınan tohum sayısı}) \times 100$$

#### 3.6.2. Kök ve gövde uzunluğu:

Fideler, sap bölgesinden sürgünün büyüyen ucuna kadar 30 cm'lik bir cetvel üzerine konulmuş ve ip yardımıyla düzeltilerek ölçümler yapılmıştır. Değerler, santimetre (cm) cinsinden ifade edilmiştir (Itrotwar vd., 2020).

### 3.6.3. Yaş ve kuru ağırlık:

Hasat edilen fidelerin önce hassas terazide yaş ağırlıkları ölçülmüş, ardından fideler etüvde 72 saat boyunca 60° C’de kurutularak kuru ağırlıkları ölçülmüştür (Patel vd., 2017).

### 3.6.4. Canlılık indeksi:

Fidelerin canlılık indeksi, Abdul-Baki ve Anderson (1973)’un kullanmış oldukları aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

Canlılık İndeksi = Çimlenme (%) × Fide uzunluğu (kök uzunluğu + sürgün uzunluğu).

### 3.6.5. Toplam klorofil miktarı:

Toplam klorofil miktarı tayini için her muamele grubundaki soya fasulyesi tohumlarından yetiştirilen M<sub>1</sub> fidelerinin ilk gerçek yapraklarınının 0,5 gramı, bir miktar CaCO<sub>3</sub> tozu ve 10 ml aseton (Merck) kullanılarak soğutulmuş havanlarda ezilmiştir. Ardından, yaklaşık 20 dakikalık santrifüj işleminden sonra elde edilen ekstrenin (özüt) hacmi ölçülmüş ve Orion Aquamate 7000 marka spektrofotometre kullanılarak ham klorofil özütünün klorofil a içeriği için 645 nm dalga boyundaki ve klorofil b için ise 663 nm dalga boyundaki absorpsiyon değerleri kaydedilmiş ve bu değerler Arnon (1949) ve Zhang vd., (2013)’nın kullandıkları formülde yerine konularak mg total klorofil / litre özüt değerleri hesaplanmıştır. İlgili formüller aşağıda verilmiştir:

Klorofil a+b (mg/g) = [8.02 x D<sub>663</sub> + 20.20 x D<sub>645</sub>] x [V/1000 x W (V, ekstraktın mL olarak hacmi; W, taze yaprağın g olarak ağırlığı)

Klorofil a = 0.0127 x D<sub>663</sub> - 0,00269 x D<sub>645</sub>

Klorofil b = 0.0229 x D<sub>645</sub> - 0.00468 x D<sub>663</sub>



Şekil 39. Spektrofotometre cihazı ve kuvars küvet  
(Akbaý, 2023)

### 3.6.6. Zn Miktarının Belirlenmesi

Bitkide toplam çinko (mg/kg): Bitkideki çinko içeriği, analize hazırlanmış yaprak örneklerinin yakma yöntemi ile kül fırınında yakılarak 0,3 N HCl çözeltisi ile süzülen ve saf su ile belirli bir hacme tamamlanmış olan süzütünün ICP-OES spektrofotometrede okunması ile ölçülmüştür (Kaçar ve İnal, 2008).

### 3.7. Verilerin Analizi

Araştırmadan elde edilen sonuçların ortalamalar arasındaki farklılıkların önemi, Duncan'ın çoklu aralık testleri tarafından  $p < 0,01$  ve  $p < 0,05$  anlamlılık düzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, her muamele başına üç kopyanın ortalama  $\pm$  SD'si olarak ifade edilmiştir ve TOTEMSTAT istatistiksel paket programı kullanılarak tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabii tutulmuştur (Açıkgöz vd., 2004).



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Eğitim Fakültesi'nde yer alan biyoloji laboratuvarında ve araştırma serasında 1 yıl süreyle yürütülmüştür. X-ışını uygulamaları ve ZnO NP' nin ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarına ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu meydana gelen etkilerden elde edilen veriler bu bölümde irdelenmiştir.

### 4.1. Soya Tohumlarına Uygulanacak X Radyasyon Dozlarının Belirlenmesi

Bu bölümde ANP 2018 soya fasulyesi çeşidine uygulanmış olan x-ışını radyasyonunun optimum dozları ön denemeler ile belirlenmiştir. 15.04.2023 tarihinde 100, 200, 300, 400 ve 500 Gy dozlarında x-ışını ile ışınlanan tohumların çimlenme yüzdesi, fide yüksekliği ve GR<sub>50</sub> dozu incelenmiştir.

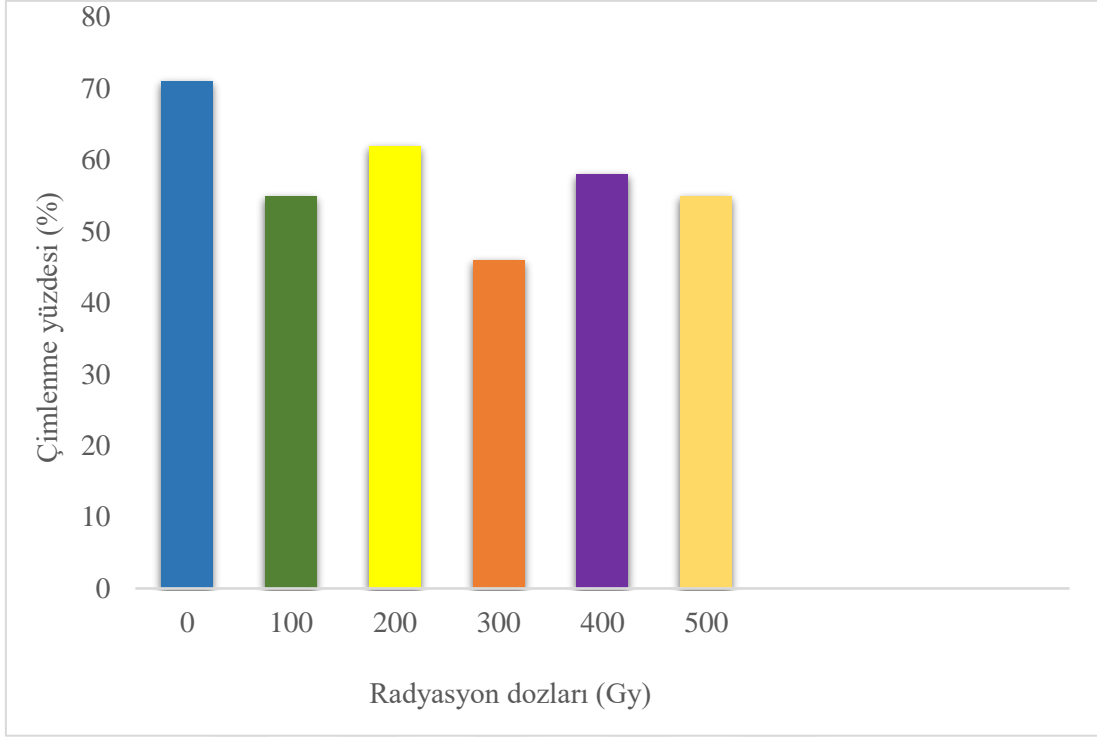
ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarının çimlenme yüzdesi üzerine x- ışınlarının etkisi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Soya fasulyesi tohumlarının çimlenme yüzdeleri üzerine x-ışınlarının etkisi

Muamele	Çimlenme yüzdesi (%)
0	71
100 Gy	55
200 Gy	62
300 Gy	46
400 Gy	58
500 Gy	55

Tablo 1 incelendiğinde, farklı dozlarda uygulanan X radyasyonu ile ışınlanan ANP 2018 soya çeşidi tohumlarının çimlenme yüzdesinin kontrol grubuna göre azaldığı görülmektedir (Şekil 40).



Şekil 40. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarının çimlenme yüzdeleri üzerine x-ışınlarının etkisi

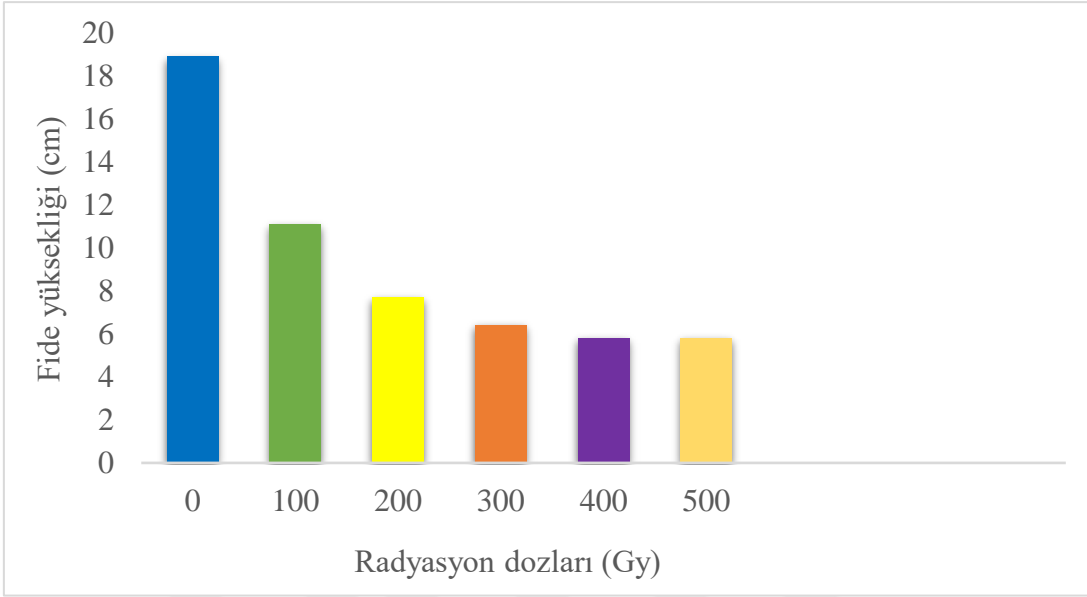
X radyasyonunun fide yüksekliği üzerine etkisini belirlemek amacıyla kontrol ve ışınlanmış 100 adet tohumdan yetiştirilen fidelerin yükseklikleri ölçülmüş ve ilgili veriler Tablo 2 ve Şekil 41’de verilmiştir. Fide sayıları 21. günde saptanmıştır.

Tablo 2

Soya fasulyesi tohumlarından yetiştirilen fidelerin fide yüksekliği üzerine x-ışınlarının etkisi

Çeşit	Doz (Gy)	Fide Yüksekliği Ortalaması (cm)
ANP 2018	0 (Kontrol)	19,2±7,2
	100	11,1±5,6
	200	7,6±3,0
	300	6,4±3,5
	400	5,8±3,5
	500	5,7±3,9

Tablo 2 değerlerine göre çizilen grafik, Şekil 41’de verilmiştir.



Şekil 41. ANP 2018 soya çeşidi fide yükseklikleri üzerine x-ışınlarının etkisi

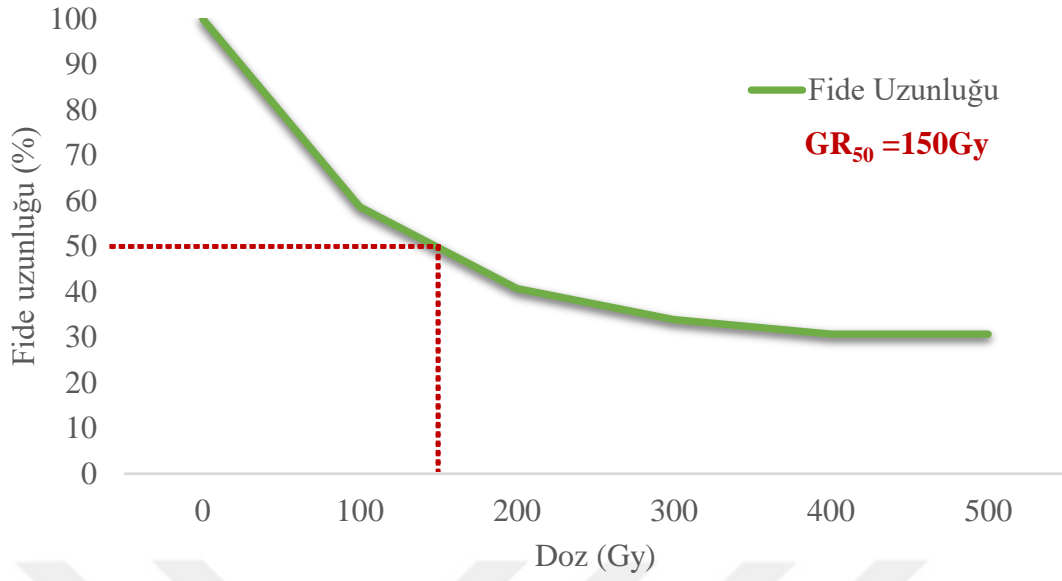
Uygulanan radyasyon dozunun artışına paralel olarak fide yüksekliklerinde de kontrole göre azalmaların olduğu saptanmıştır. Artan radyasyon dozuna bağlı olarak bitkilerin kotiledon seviyesinde kaldığı görülmektedir (Şekil 42).



Şekil 42. Farklı dozlarda uygulanan x-ışınlarının fide yüksekliğinde meydana getirdiği farklılıklar

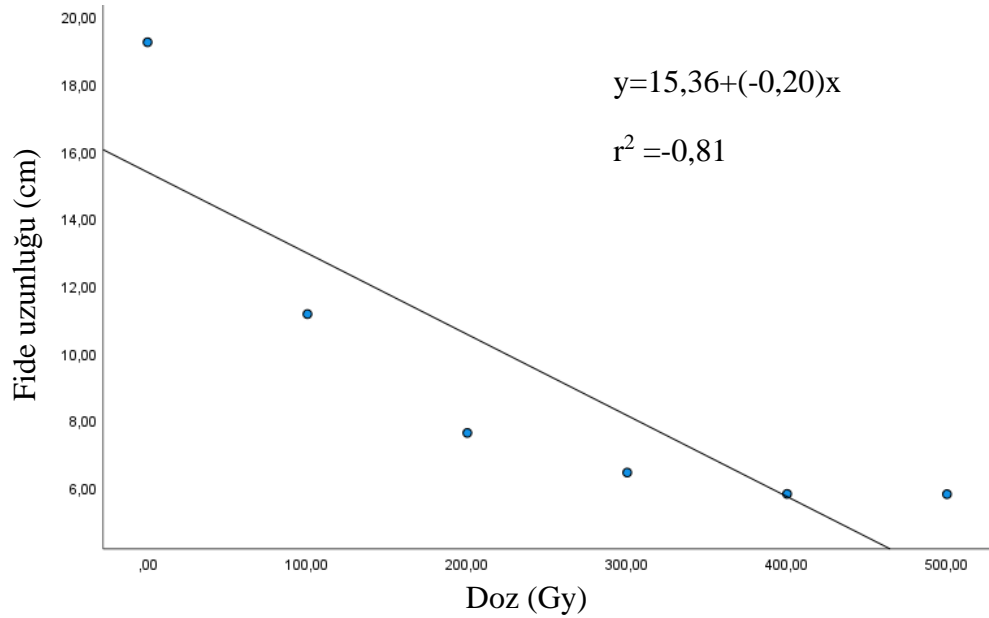
(Akay, 2023)

ANP 2018 soya çeşidi için GR<sub>50</sub> dozu 150 Gy olarak saptandığından sera denemesinde kullanılacak X radyasyon dozları 300 Gy, 400 Gy ve 500 Gy olarak belirlenmiştir (Şekil 43).



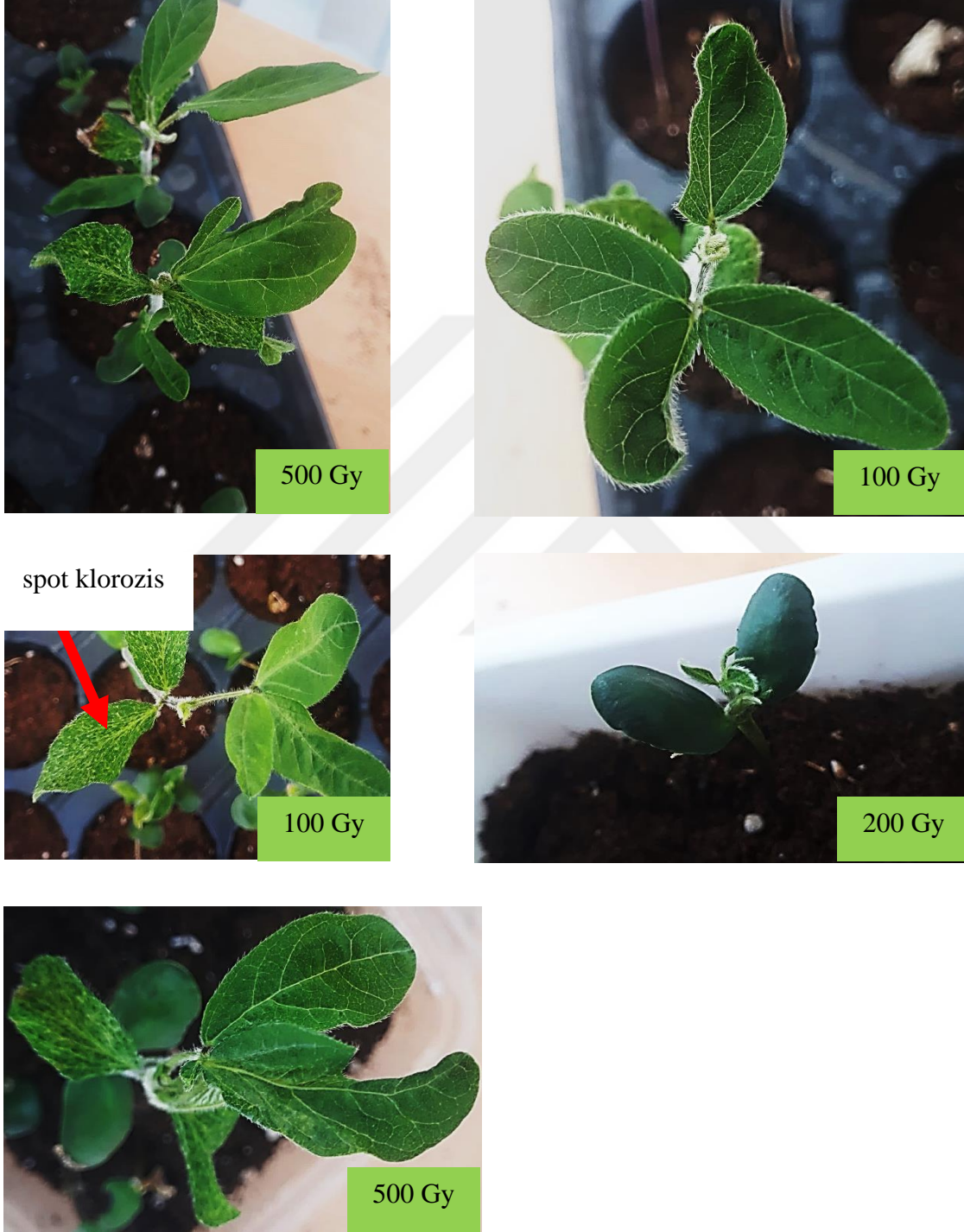
Şekil 43. ANP 2018 soya çeşidinde fide yüksekliği üzerine X radyasyonunun etkisi

ANP 2018 soya çeşidinin fide yükseklikleri ile X-ışınları arasındaki ilişki regresyon eğrisi çizilerek Şekil 44 'de verilmiştir. Her iki çeşit için fide yüksekliğinin radyasyonun artan dozlarından etkilendiği ve bu ilişkinin önemli olduğu saptanmıştır ( $p < 0,05$ ) (Şekil 44).



Şekil 44. ANP 2018 soya fasulyesinin fide yükseklikleri ile X ışınları arasındaki ilişki

X-ışınlarının artan dozlarına bağlı olarak soya bitki yapraklarında spot chlorosis ‘e ve yaprak morfolojisi üzerinde de birtakım değişikliklere neden olduğu görülmüştür (Şekil 45).



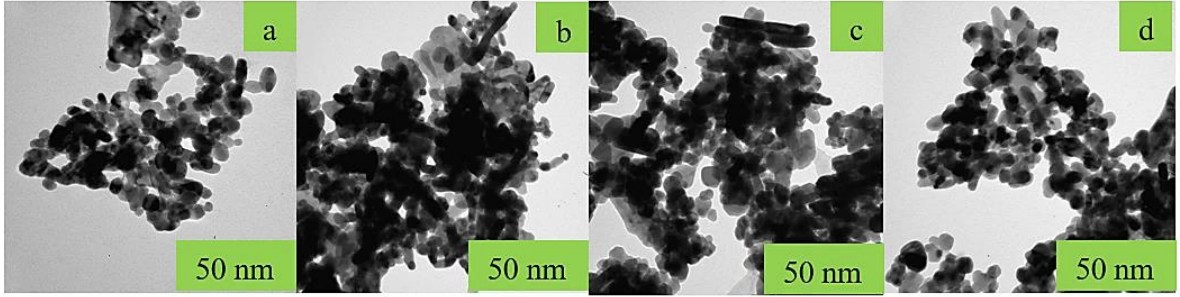
Şekil 45. Farklı dozlarda uygulanan radyasyonun ANP 2018 soya fasulyesi çeşidinde meydana getirdiği morfolojik farklılıklar (Akbay, 2023)

## 4.2. Soya Tohumlarına Uygulanacak ZnO NP Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Bu bölümde, ANP 2018 soya fasulyesi çeşidine uygulanmış olan ZnO NP konsantrasyonlarının optimum konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca ZnO NP karakterizasyonu yapılmıştır.

### 4.2.1. ZnO Nanopartiküllerinin Karakterizasyonunun Belirlenmesi

Farklı konsantrasyonlardaki ZnO NP'lerinin Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) ile yapılan incelemeleri sonucunda, ZnO NP'lerinin ortalama boyutunun 50 nm olduğu ve partiküllerin küresele yakın şekilli olduğu saptanmıştır. Ayrıca sünger benzeri partikül demetinde toplanma (agregasyon) kaydedilmiştir (Şekil 46).

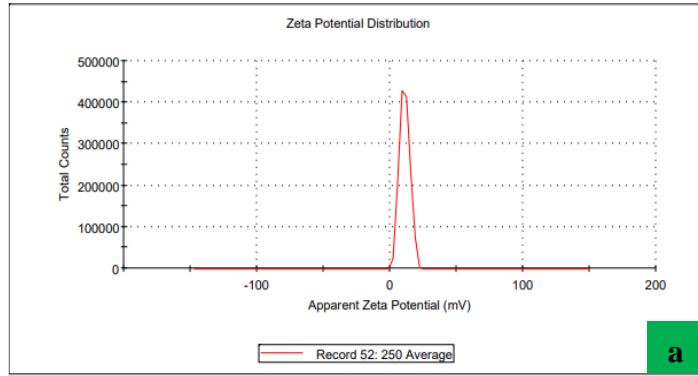


Şekil 46. Dört farklı konsantrasyondaki ( $250, 500, 1000, 2000 \text{ mg/L}^{-1}$ ) ZnO süspansiyonunun dağılım ve dispersiyonunun TEM mikrografı. ( $\times 300000$ ) (a)  $250 \text{ mg/L}^{-1}$ , (b)  $500 \text{ mg/L}^{-1}$ , (c)  $1000 \text{ mg/L}^{-1}$ , (d)  $2000 \text{ mg/L}^{-1}$

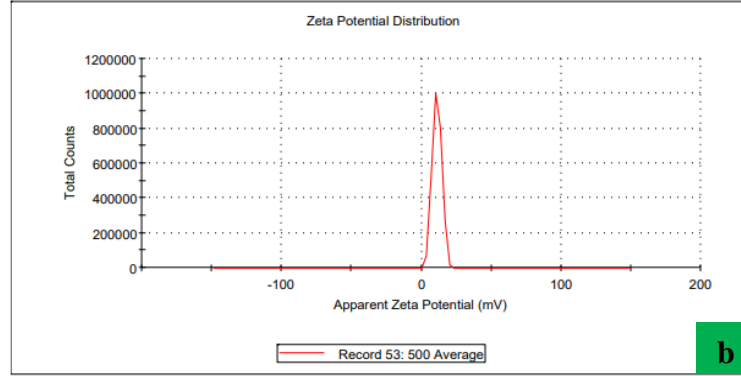
### 4.2.2. ZnO Nanopartiküllerinin Zeta Potansiyellerinin Belirlenmesi

ZnO nanopartikülünün zeta potansiyelinin incelenebilmesi amacıyla Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK)'ndan hizmet alımı yapılmış ve ilgili ölçümler yapılarak nanopartikülün zeta potansiyeli incelenmiştir.

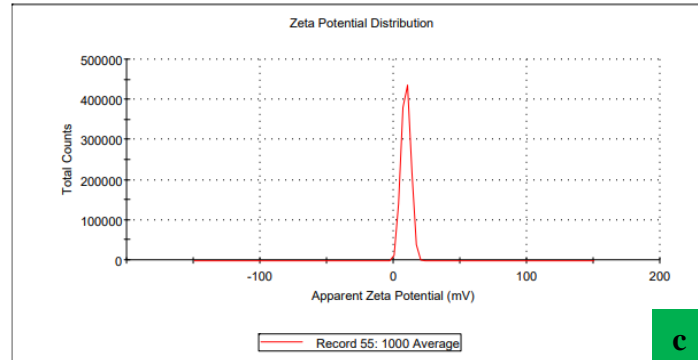
	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): 11.0	Peak 1: 11.0	100.0	3.82
Zeta Deviation (mV): 3.82	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 0.0472	Peak 3: 0.00	0.0	0.00
Result quality : Good			



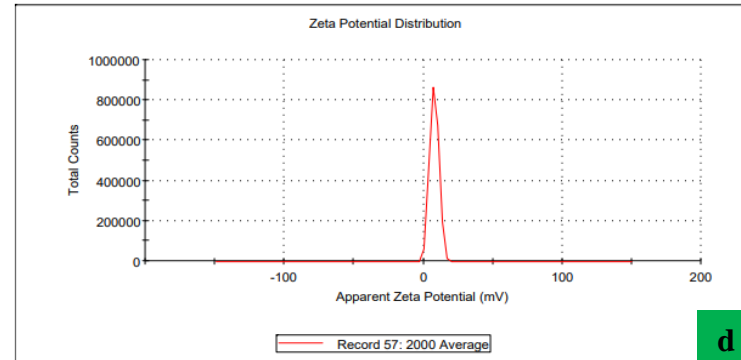
	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): 11.1	Peak 1: 11.1	100.0	3.36
Zeta Deviation (mV): 3.36	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 0.0555	Peak 3: 0.00	0.0	0.00
Result quality : Good			



	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): 9.25	Peak 1: 9.27	100.0	3.46
Zeta Deviation (mV): 3.23	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 0.0798	Peak 3: 0.00	0.0	0.00
Result quality : Good			



	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): 7.79	Peak 1: 7.80	100.0	3.26
Zeta Deviation (mV): 3.10	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 0.154	Peak 3: 0.00	0.0	0.00
Result quality : Good			



Şekil 47. Dört farklı konsantrasyondaki (250, 500, 1000, 2000 mg/L<sup>-1</sup>) ZnO süspansiyonunun zeta potansiyeli değerleri (a) 250 mg/L<sup>-1</sup>, (b) 500 mg/L<sup>-1</sup>, (c) 1000 mg/L<sup>-1</sup>, (d) 2000 mg/L<sup>-1</sup>

250 mg/L<sup>-1</sup> ZnO NP süspansiyonunun zeta potansiyeli ortalaması 11 ± 3,82 mV (Şekil 47a), 500 mg/L<sup>-1</sup> ZnO NP süspansiyonunun zeta potansiyeli ortalaması 11,1 ± 3,36 mV (Şekil 47b), 1000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO NP süspansiyonunun zeta potansiyeli ortalaması 9,25 ± 3,23 mV (Şekil 47c) ve 2000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO NP süspansiyonunun zeta potansiyeli ortalaması 7,79 ± 3,10 mV (Şekil 47d) olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, ZnO NP'lerinin çözelti içinde minimal düzeyde kararlılık, dağılım ve daha az elektrostatik itme gösterdiği saptanmıştır (Ateş, 2018).

Buna ek olarak zeta potansiyelinin, düşük pH değerlerinde pozitif (+) değerler aldığı; yüksek pH değerlerinde ise negatif (-) değerler aldığı dikkate alındığında tüm ZnO nanopartikül konsantrasyonlarında zeta potansiyeli değerlerinin pozitif çıkması nanopartiküllerin içinde bulunduğu sıvının düşük bir pH'a sahip olduğunun göstergesidir (Ateş, 2018).

#### 4.2.3. Soya Fasulyesi Tohumlarının Çimlenme Yüzdeleri Üzerine ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi

Soya fasulyesi tohumlarına uygulanacak olan ZnO NP konsantrasyonunu belirlemek için çimlenme yüzdesi üzerine ZnO NP'nin etkisi Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3

Soya fasulyesi tohumlarının çimlenme yüzdesi üzerine ZnO nanopartiküllerinin etkisi

Çeşit	ZnO NP Konsantrasyonu (mg/L <sup>-1</sup> )	Çimlenme Yüzdesi (%)						
		15. Saat	18. Saat	21. Saat	24. Saat	48. Saat	72. Saat	96. Saat
	0 (Kontrol)	60 <sup>d</sup>	72 <sup>c</sup>	74 <sup>bc</sup>	79 <sup>b</sup>	83 <sup>b</sup>	90 <sup>a</sup>	91 <sup>a</sup>
<b>ANP 2018</b>	250	19 <sup>e</sup>	37 <sup>d</sup>	37 <sup>d</sup>	44 <sup>c</sup>	57 <sup>bc</sup>	61 <sup>b</sup>	69 <sup>a</sup>
	500	20 <sup>e</sup>	35 <sup>d</sup>	39 <sup>c</sup>	44 <sup>c</sup>	67 <sup>b</sup>	67 <sup>b</sup>	78 <sup>a</sup>
	1000	18 <sup>e</sup>	26 <sup>c</sup>	33 <sup>cd</sup>	40 <sup>d</sup>	55 <sup>c</sup>	63 <sup>b</sup>	79 <sup>a</sup>



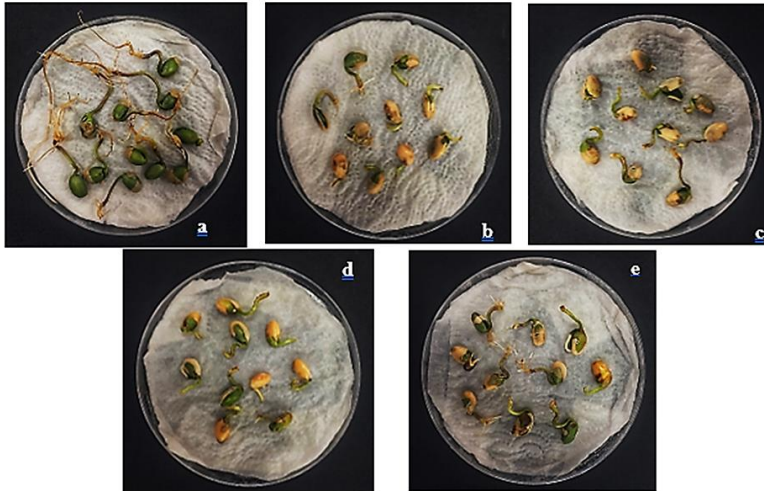
“Tablo 3’ün devamı

2000	20 <sup>e</sup>	32 <sup>d</sup>	38 <sup>cd</sup>	48 <sup>cd</sup>	57 <sup>c</sup>	67 <sup>b</sup>	82 <sup>a</sup>
------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	-----------------	-----------------	-----------------

*Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama gruplarının saatlere göre çimlenme yüzdeleri açısından Duncan testine göre ANP 2018 çeşidi için 0,01 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.*

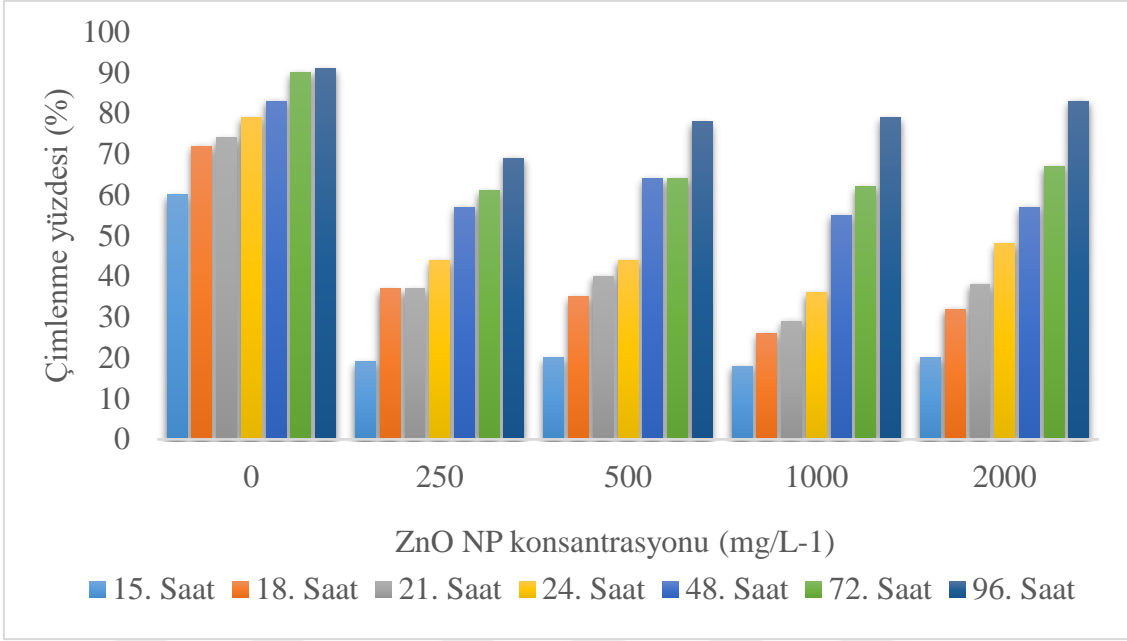
Tablo 3 incelendiğinde; tüm muamele gruplarında en düşük çimlenmenin görüldüğü 15. saatten 96. saate doğru gidildikçe tüm muamele gruplarının çimlenme yüzdesinin arttığı görülmektedir. Genellikle kontrol ve tüm muamele gruplarının çimlenme yüzdeleri 48. Saat itibarıyla hızlı bir artış göstermektedir. Tüm muamele grupları için en yüksek çimlenmenin görüldüğü 96. saat dikkate alındığında en yüksek çimlenme yüzdesinin kontrol grubunda olduğu; kontrol grubunu ise sırasıyla 2000, 1000, 500 ve 250 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartikülü gruplarının takip ettiği görülmektedir (Şekil 48), (Şekil 49).

Ayrıca, yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, kontrol grubunda çimlenme yüzdesinin saatler arasında farklılık gösterdiği ve bu farkın önemli olduğu (p<0,01), aynı şekilde tüm muamele gruplarında da, çimlenme yüzdesinin saatler arasında farklılık gösterdiği ve bu farkın önemli olduğu bulunmuştur (p<0,01).



Şekil 48. 96. saatin sonunda ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarının çimlenme yüzdesinde ZnO nanopartikülünün etkisi a: kontrol, b: 250 mg/L<sup>-1</sup>, c: 500 mg/L<sup>-1</sup>, d: 1000 mg/L<sup>-1</sup>, e: 2000 mg/L<sup>-1</sup>

(Akbay, 2023)



Şekil 49. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarının çimlenme yüzdesi üzerine ZnO nanopartiküllerinin etkisi

#### 4.2.4. Soya Fasulyesi Tohumlarının Ortalama Kök Uzunlukları Üzerine ZnO Nanopartiküllerinin Etkisi

Soya tohumlarına uygulanacak olan ZnO NP konsantrasyonunu belirlemek için soya fasulyesi tohumlarının kök uzunlukları üzerine ZnO NP'nin etkisi Tablo 4'de verilmiştir.

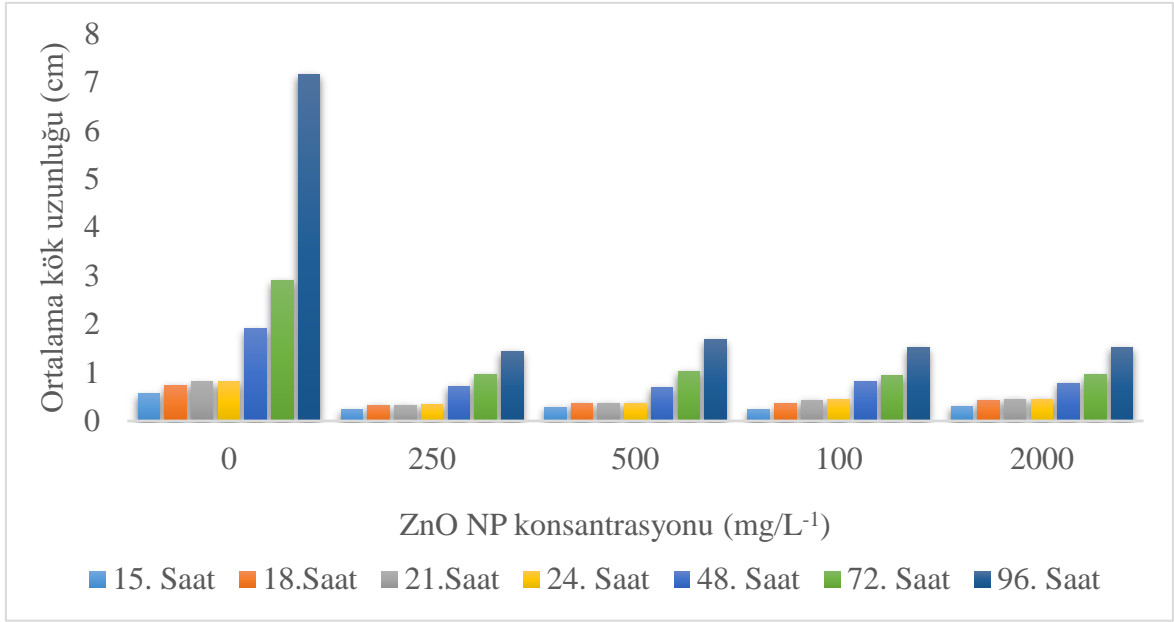
Tablo 4

Soya fasulyesi tohumlarının ortalama kök uzunlukları üzerine ZnO nanopartiküllerinin etkisi

Çeşit	ZnO NP		Ortalama Kök Uzunluğu (cm)					
	Konsantrasyonu (mg/L <sup>-1</sup> )	15. Saat	18. Saat	21. Saat	24. Saat	48. Saat	72. Saat	96. Saat
ANP 2018	0 (Kontrol)	0,56±0,13 <sup>d</sup>	0,73±0,22 <sup>d</sup>	0,81±0,22 <sup>d</sup>	0,81±0,21 <sup>d</sup>	1,91±0,98 <sup>c</sup>	2,90±1,61 <sup>b</sup>	7,17±5,30 <sup>a</sup>
	250	0,24±0,13 <sup>c</sup>	0,32±0,16 <sup>c</sup>	0,32±0,16 <sup>c</sup>	0,33 ±0,15 <sup>c</sup>	0,71±0,33 <sup>bc</sup>	0,96±0,58 <sup>ab</sup>	1,44±1,12 <sup>a</sup>
	500	0,28±0,14 <sup>c</sup>	0,36±0,21 <sup>c</sup>	0,36±0,21 <sup>c</sup>	0,37 ±0,20 <sup>c</sup>	0,69±0,31 <sup>bc</sup>	1,03±0,47 <sup>b</sup>	1,68±1,42 <sup>a</sup>
	1000	0,24±0,11 <sup>d</sup>	0,35±0,19 <sup>cd</sup>	0,43±0,20 <sup>bcd</sup>	0,44±0,19 <sup>bcd</sup>	0,81±0,45 <sup>bc</sup>	0,93±0,53 <sup>b</sup>	1,51±1,29 <sup>a</sup>
	2000	0,29±0,09 <sup>c</sup>	0,43±0,18 <sup>c</sup>	0,45±0,21 <sup>bc</sup>	0,45 ±0,20 <sup>bc</sup>	0,78±0,38 <sup>bc</sup>	0,95±0,55 <sup>b</sup>	1,52±1,47 <sup>a</sup>

Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama gruplarının saatlere göre ortalama kök uzunluğu açısından Duncan testine göre ANP 2018 çeşidi için 0,01 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

Tablo 4 incelendiğinde; 15. saatten 96. saate gidildikçe tüm muamele gruplarının ortalama kök uzunluklarının arttığı görülmektedir. Tüm muamele grupları için ortalama kök uzunluklarının en yüksek olduğu 96. saat dikkate alındığında ortalama kök uzunluğunun en fazla kontrol grubunda olduğu; kontrol grubunu ise sırasıyla 500, 2000, 1000 ve 250 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartikülü gruplarının takip ettiği görülmektedir (Şekil 50), (Şekil 51).



Şekil 50. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarının ortalama kök uzunlukları üzerine ZnO nanopartiküllerinin etkisi



Şekil 51. 96. saat sonunda ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarının kök uzunluğunda ZnO nanopartikülünün etkisi

(Akbay, 2022)

### 4.3. X-ışını Radyasyonu ve ZnO Nanopartikülünün Bir Arada Uygulanması

#### 4.3.1. M<sub>1</sub> Sera Denemesi Sonuçları

Yapılan ön denemelerde ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi için optimum ZnO nanopartikülü konsantrasyonları NP<sub>1</sub> (500 mg/L<sup>-1</sup>) ve NP<sub>2</sub> (2000 mg/L<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. Optimum x-ışını dozları ise 300, 400 ve 500 Gy olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu konsantrasyon ve dozlar, M<sub>1</sub> sera denemesi için ayrı ayrı ve bir arada (300 Gy+NP<sub>1</sub>, 300 Gy+NP<sub>2</sub>, 400 Gy+NP<sub>1</sub>, 400 Gy+NP<sub>2</sub>, 500 Gy+NP<sub>1</sub> ve 500 Gy+NP<sub>2</sub> olacak şekilde tohumlara muamele edilmiştir.

ANP 2018 soya fasulyesi çeşidine ait tüm mumele grupları kontrollü sera koşullarında yetiştirilmiştir. Tohumlara, ZnO nanopartikülü ve x-ışınları ayrı ayrı ve birlikte uygulanarak elde edilen M<sub>1</sub> neslinde bitki çıkış yüzdesi, fide yüksekliği, canlılık indeksi, kök uzunluğu, klorofil miktarları, Zn miktarı ve yaş-kuru-net ağırlıklar incelenmiştir.

#### 4.3.2. Bitki Çıkış Yüzdelerinin Saptanması

X-ışını radyasyonu ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu elde edilen bitki çıkış yüzdeleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5

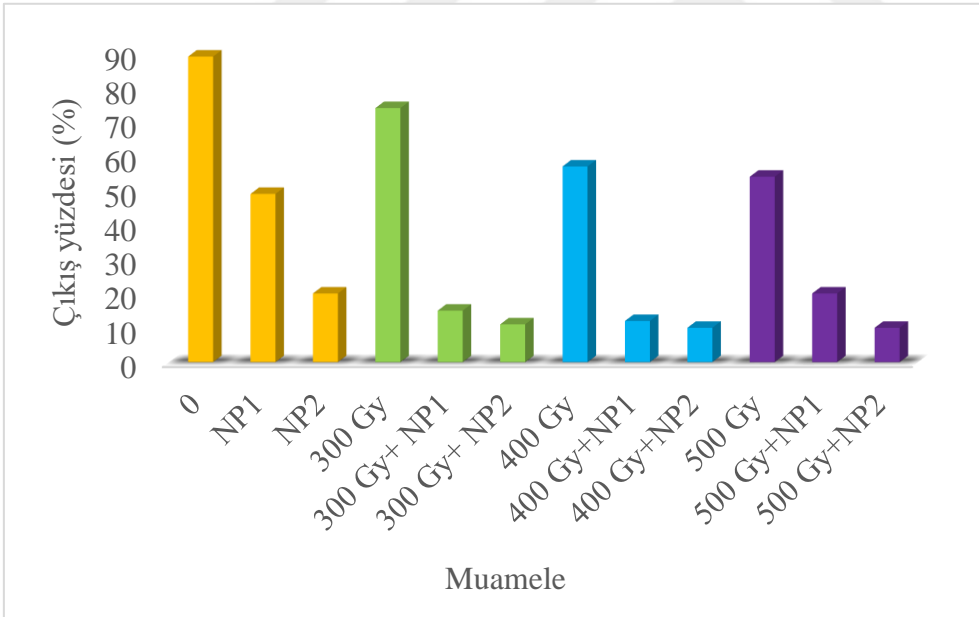
ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının bitki çıkış yüzdeleri üzerine etkisi (7. gün)

Muamele	Çıkış yüzdesi (%)
0	89
NP <sub>1</sub>	49
NP <sub>2</sub>	20
300 Gy	74
300 Gy + NP <sub>1</sub>	15
300 Gy + NP <sub>2</sub>	11
400 Gy	57
400 Gy + NP <sub>1</sub>	12
400 Gy + NP <sub>2</sub>	10

“Tablo 5’in devamı”

500 Gy	54
500 Gy + NP <sub>1</sub>	20
500 Gy + NP <sub>2</sub>	10

ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında sadece ZnO nanopartikülü ile muamele edilen 100 tohumun 7. gündeki çıkış yüzdelerine bakıldığında; NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub> uygulamalarında kontrole göre bir artış görülmemektedir. 300 Gy, 400 Gy ve 500 Gy x-ışınlarıyla muamele edilen gruplarda ise kontrole göre doz artışına paralel olarak çıkış yüzdelerinde bir azalma görülmektedir. Radyasyonun ve ZnO nanopartikülünün kombine uygulamalarında ise 7. günde çıkış yüzdelerinde kontrole göre bir artış görülmemektedir (Şekil 52).



Şekil 52. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının bitki çıkış yüzdeleri üzerine etkisi (7. gün)

### 4.3.3. Canlılık İndekslerinin Saptanması

X-ışını radyasyonu ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu fidelere ait canlılık indeksleri Tablo 6 ve Şekil 53'de verilmiştir.

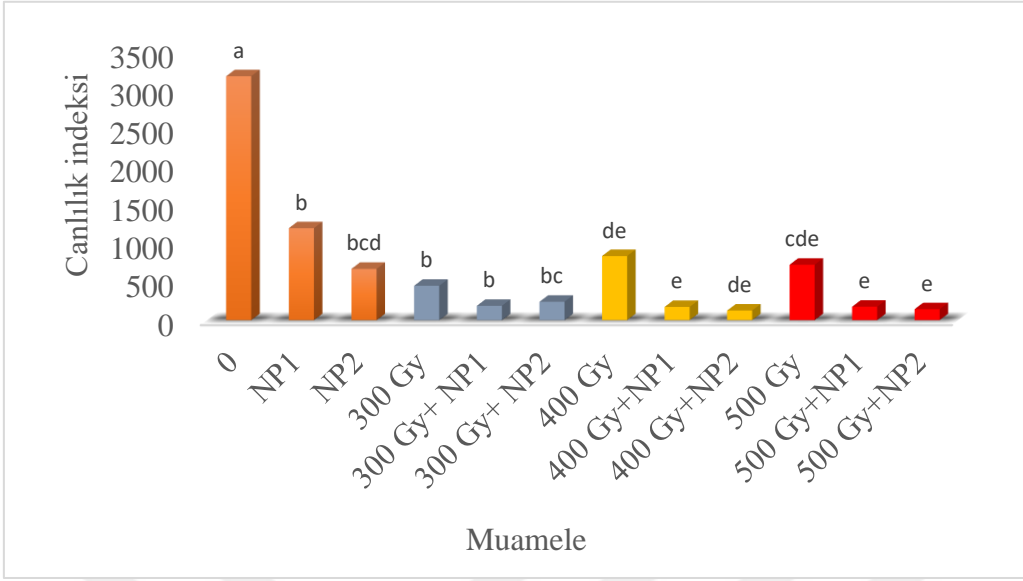
Tablo 6

ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının fidelerin canlılık indeksleri üzerine etkisi (21. gün)

Muamele	Canlılık İndeksi
0	3168,95 <sup>a</sup>
NP <sub>1</sub>	1202,00 <sup>b</sup>
NP <sub>2</sub>	691,11 <sup>bcd</sup>
300 Gy	1191,43 <sup>b</sup>
300 Gy + NP <sub>1</sub>	881,00 <sup>b</sup>
300 Gy + NP <sub>2</sub>	722,94 <sup>bc</sup>
400 Gy	187,00 <sup>de</sup>
400 Gy + NP <sub>1</sub>	129,00 <sup>e</sup>
400 Gy + NP <sub>2</sub>	188,25 <sup>de</sup>
500 Gy	241,69 <sup>cde</sup>
500 Gy + NP <sub>1</sub>	106,38 <sup>e</sup>
500 Gy + NP <sub>2</sub>	138,33 <sup>e</sup>

*Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama gruplarının muamelelere göre canlılık indeksleri açısından Duncan testine göre ANP 2018 çeşidi için 0,01 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.*

Sadece ZnO nanopartikülü ile muamele edilmiş ANP 2018 soya fasulyesi fidelerinin 21.günde hesaplanan canlılık indeksleri; NP<sub>1</sub> (1202) ve NP<sub>2</sub> (691,11) uygulamalarında kontrole (3168,95) göre bir azalma olmuştur ( $p < 0,01$ ). 300 Gy, 400 Gy ve 500 Gy X-radyasyon dozu uygulamalarında saptanan canlılık indekslerinde kontrole göre doz artışına bağlı olarak bir azalma olmuştur. Radyasyonun ve ZnO nanopartikülünün bir arada uygulandığı denemelerde ise 400 Gy+NP<sub>2</sub>'nin canlılık indeksinin (188,25) 400 Gy'e göre (187) muamelelerinde kontrole göre anlamlı olmamakla birlikte ( $p > 0,01$ ) bir artış olmuştur (Şekil 53).



Şekil 53. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının fidelerin canlılık indeksleri üzerine etkisi (21. Gün)

#### 4.3.4. Fide Yüksekliğinin Saptanması

X-ışını radyasyonu ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu fidelere ait fidelerin sayıları 21. günde tespit edilmiş ve Tablo 7' ve Şekil 54'de verilmiştir.

Tablo 7

ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının fide yükseklikleri üzerine etkisi

Muamele	Fide Sayısı	Fide Yüksekliği (cm)
0	89	11,13 <sup>a</sup> ±3,22
NP <sub>1</sub>	49	8,37 <sup>ab</sup> ±2,18
NP <sub>2</sub>	20	8,55 <sup>ab</sup> ±3,25
300 Gy	74	5,92 <sup>bc</sup> ±2,65
300 Gy + NP <sub>1</sub>	15	5,44 <sup>bc</sup> ±2,98
300 Gy + NP <sub>2</sub>	11	4,12 <sup>c</sup> ±3,12
400 Gy	57	5,13 <sup>bc</sup> ±4,58
400 Gy + NP <sub>1</sub>	12	4,08 <sup>c</sup> ±2,31
400 Gy + NP <sub>2</sub>	10	4,17 <sup>c</sup> ±1,88
500 Gy	54	6,86 <sup>bc</sup> ±3,25
500 Gy + NP <sub>1</sub>	20	3,80 <sup>c</sup> ±2,11

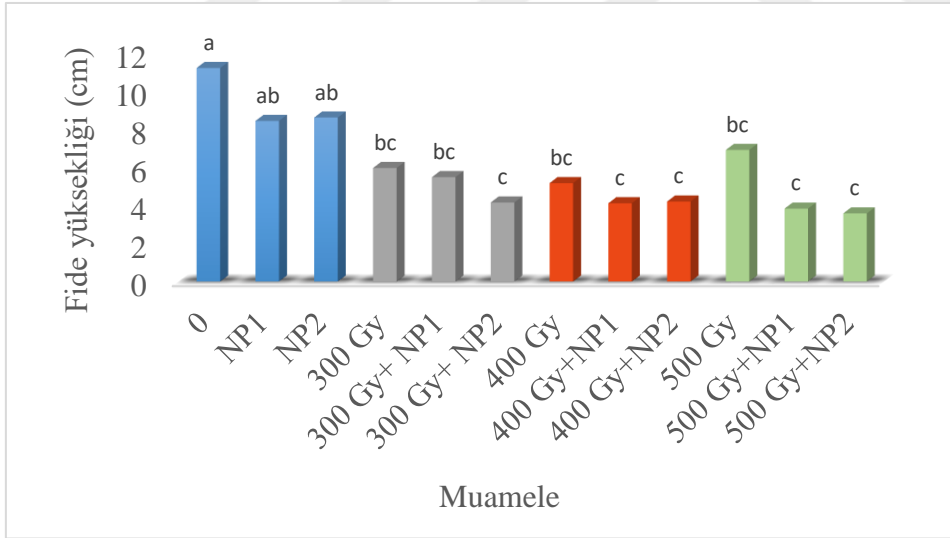


“Tablo 7’nin devamı”

500 Gy + NP <sub>2</sub>	10	3,55 <sup>c</sup> ±1,09
--------------------------	----	-------------------------

*Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama gruplarının muamelelere göre fide yüksekliği açısından Duncan testine göre ANP 2018 çeşidi için 0,01 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.*

ANP 2018 soya fasulyesine ait fide yükseklikleri incelendiğinde; kontrol bitkilerinin ortalama fide yüksekliği 11,13±3,22 cm olarak belirlenmiştir. Fide yükseklikleri üzerine NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub> uygulamalarının etkili olmadığı tespit edilmiştir. Fide yüksekliklerinin kontrole göre 300 Gy’de 5,92±2,65 cm’ye, 400 Gy’de 5,13±4,58 cm’ye ve 500 Gy’de 6,86±3,25 cm’ye düştüğü görülmüştür. Radyasyon ve ZnO NP birlikte uygulandığında ise fide yüksekliği bu çeşit için, 300 Gy + NP1’de kontrole yaklaşmış olmakla beraber bu artış önemli değildir (p>0,01) (Şekil 54), (Şekil 55).



Şekil 54. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının fide yükseklikleri üzerine etkisi



Şekil 55. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının fide yükseklikleri üzerine etkisi  
(Akbaş, 2023)

#### 4.3.5. Fide Kök Uzunluğunun Saptanması

X-ışını radyasyonu ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu fidelere ait kök uzunlukları Tablo 8 ve Şekil 56'da verilmiştir.

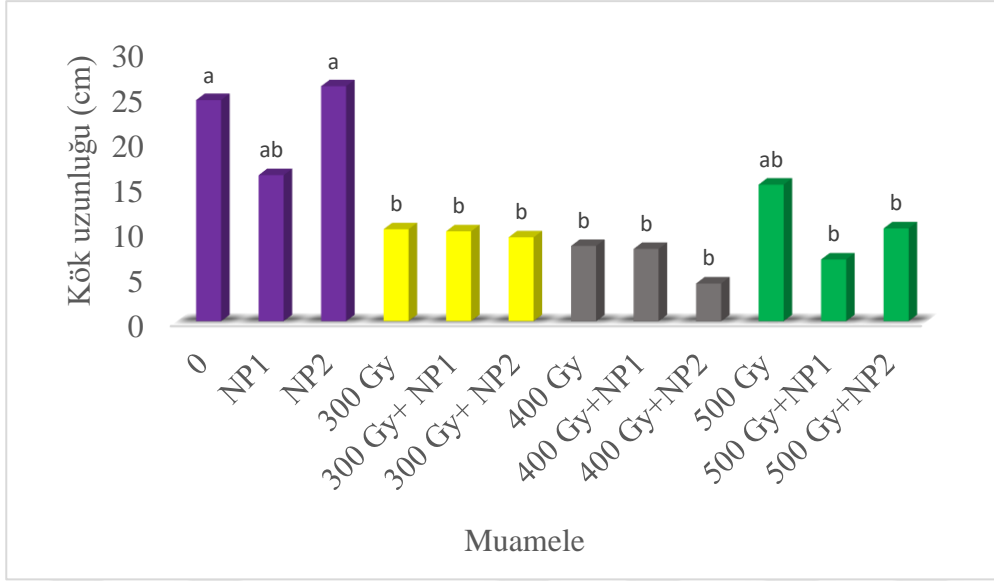
Tablo 8

ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının kök uzunlukları üzerine etkisi

Muamele	Fide Sayısı	Kök Uzunluğu (cm)
0	89	24,47 <sup>a</sup> ±3,12
NP <sub>1</sub>	49	16,16 <sup>ab</sup> ±5,25
NP <sub>2</sub>	20	26,00 <sup>a</sup> ±4,58
300 Gy	74	10,17 <sup>b</sup> ±6,25
300 Gy + NP <sub>1</sub>	15	9,94 <sup>b</sup> ±5,67
300 Gy + NP <sub>2</sub>	11	9,28 <sup>b</sup> ±5,35
400 Gy	57	8,33 <sup>b</sup> ±4,88
400 Gy + NP <sub>1</sub>	12	8,00 <sup>b</sup> ±5,26
400 Gy + NP <sub>2</sub>	10	4,17 <sup>b</sup> ±2,31
500 Gy	54	15,11 <sup>ab</sup> ±4,98
500 Gy + NP <sub>1</sub>	20	6,83 <sup>b</sup> ±3,26
500 Gy + NP <sub>2</sub>	10	10,27 <sup>b</sup> ±2,35

Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama grupları muamelelere göre kök uzunluğu açısından Duncan testine göre ANP 2018 çeşidi için 0,01 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

ANP 2018 soya fasulyelerinin kök uzunlukları incelendiğinde; kontrol bitkisinin ortalama kök uzunluğu 24,47±3,12 cm'dir. Bu çeşide ait fide kök uzunluklarında kontrole göre NP<sub>2</sub> uygulamasında anlamlı olmamakla birlikte (p>0,01) bir artış olduğu saptanmıştır. Kök uzunlukları kontrole göre 300 Gy'de 10,17±6,25 cm'ye, 400 Gy'de 8,33±4,88 cm'ye ve 500 Gy'de ise 15,11±4,98 cm'ye düştüğü görülmüştür. Ancak kök uzunluklarının 300 Gy'e göre 300 Gy+NP<sub>1</sub> de aynı şekilde 400 Gy'e göre 400 Gy+NP<sub>1</sub> uygulamalarında kontrole yaklaşmış olduğu gözlenmiştir. Ancak bu artış istatistiksel olarak önemli değildir (p>0,01) (Şekil 56).



Şekil 56. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının kök uzunlukları üzerine etkisi

#### 4.3.6. Toplam Klorofil Miktarının Saptanması

M<sub>1</sub> sera denemesinde ANP 2018 soya fasulyelerinin klorofil miktarları üzerine X-radyasyon ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu oluşan etkisini araştırmak amacıyla soya bitkisinden hasat edilen ilk gerçek yapraklardan elde edilen klorofil özütünün verdiği değerler Tablo 9 ve Şekil 57’de verilmiştir.

Tablo 9

ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının  $K_a$ ,  $K_b$  ve  $K_t$  üzerine etkisi

Muamele	Klorofil a	Klorofil b	Toplam Klorofil mg/g Taze Ağırlık
0	0,012 <sup>b</sup> ±0,006	0,007 <sup>b</sup> ±0,003	0,021 <sup>abc</sup> ±0,005
NP <sub>1</sub>	0,012 <sup>b</sup> ±0,007	0,008 <sup>ab</sup> ±0,006	0,023 <sup>a</sup> ±0,006
NP <sub>2</sub>	0,012 <sup>b</sup> ±0,006	0,011 <sup>a</sup> ±0,004	0,022 <sup>ab</sup> ±0,005
300 Gy	0,010 <sup>b</sup> ±0,007	0,009 <sup>ab</sup> ±0,007	0,019 <sup>bcd</sup> ±0,006
300 Gy + NP <sub>1</sub>	0,010 <sup>b</sup> ±0,004	0,009 <sup>ab</sup> ±0,005	0,019 <sup>bcd</sup> ±0,006
300 Gy + NP <sub>2</sub>	0,009 <sup>b</sup> ±0,003	0,009 <sup>ab</sup> ±0,005	0,019 <sup>bcd</sup> ±0,004
400 Gy	0,008 <sup>b</sup> ±0,004	0,008 <sup>ab</sup> ±0,006	0,016 <sup>de</sup> ±0,003
400 Gy + NP <sub>1</sub>	0,007 <sup>b</sup> ±0,004	0,005 <sup>b</sup> ±0,003	0,013 <sup>e</sup> ±0,004
400 Gy + NP <sub>2</sub>	0,009 <sup>b</sup> ±0,005	0,007 <sup>ab</sup> ±0,003	0,016 <sup>de</sup> ±0,003
500 Gy	0,011 <sup>b</sup> ±0,004	0,006 <sup>b</sup> ±0,004	0,017 <sup>cd</sup> ±0,002
500 Gy + NP <sub>1</sub>	0,011 <sup>b</sup> ±0,005	0,007 <sup>b</sup> ±0,002	0,018 <sup>bcd</sup> ±0,005
500 Gy + NP <sub>2</sub>	0,063 <sup>a</sup> ±0,006	0,006 <sup>b</sup> ±0,003	0,016 <sup>de</sup> ±0,004

Not: Harf grupları, kontrol ve uygulanan tüm nanopartikül ve x-ışını doz değerleri ile  $K_a$  ve  $K_t$  ortalamaları açısından 0,01 seviyesinde;  $K_b$  ortalamaları açısından ise 0,05 seviyesinde önemli farklılık olduğunu göstermektedir.

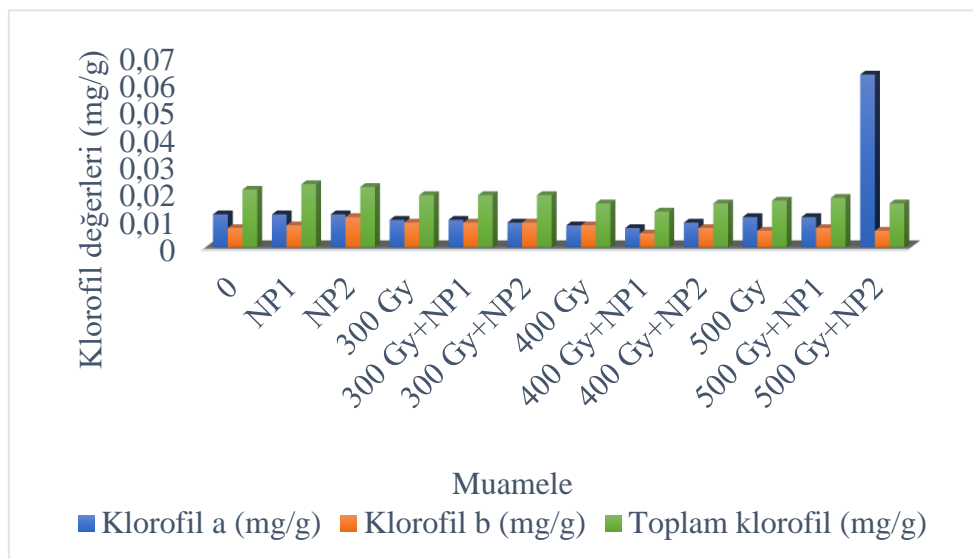
ANP 2018 çeşidinde 1 g taze ağırlık başına kontrol grubunda klorofil a ( $K_a$ ) miktarı 0,012±0,006 mg/g, klorofil b ( $K_b$ ) miktarı 0,007±0,003 mg/g ve toplam klorofil ( $K_t$ ) 0,021±0,005 mg/g olarak ölçülmüştür. NP<sub>1</sub> uygulaması sonucu  $K_a$  miktarı 0,012±0,007 mg/g,  $K_b$  miktarı 0,008±0,006 mg/g ve  $K_t$  miktarı ise 0,023±0,006 mg/g değerlerindedir. NP<sub>2</sub> uygulamasında ise  $K_a$  0,012±0,006 mg/g,  $K_b$  0,011±0,004 mg/g ve  $K_t$  0,022±0,005 mg/g değerlerindedir. NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub> uygulamalarının toplam klorofil değerlerinin istatistiki açıdan anlamlı olmamakla birlikte ( $p>0,01$ ) kontrole kıyasla arttığı görülmektedir. Buna karşılık NP<sub>2</sub> uygulamasının  $K_b$  miktarını kontrole kıyasla önemli ölçüde artırdığı ( $p<0,05$ ) saptanmıştır.

300 Gy'de  $K_a$  0,010±0,007 mg/g,  $K_b$  0,009±0,007 mg/g ve  $K_t$  0,019±0,006 mg/g değerlerindedir. 300 Gy+NP<sub>1</sub>'de de  $K_a$ ,  $K_b$  ve  $K_t$  değerleri kontrole aynıyken 300

Gy+NP<sub>2</sub>'nin K<sub>a</sub> değeri 0,009±0,003 olup kontrole kıyasla azalmaktadır ancak bu azalma anlamlı değildir (p>0,01).

400 Gy'de K<sub>a</sub> 0,008±0,004 mg/g, K<sub>b</sub> 0,008±0,006 mg/g ve K<sub>t</sub> 0,016±0,003 mg/g değerlerindedir. 400 Gy+NP<sub>1</sub>'de K<sub>a</sub> 0,007±0,004 mg/g, K<sub>b</sub> 0,005±0,003 mg/g ve K<sub>t</sub> 0,013±0,004 mg/g değerlerindedir ve kontrole kıyasla üç klorofil değeri için de azalış göstermektedir. Ancak bu azalış, anlamlı değildir (p>0,01 ve p>0,05). 400 Gy+NP<sub>2</sub>'de ise K<sub>a</sub> 0,009±0,005 mg/g olup kontrole kıyasla artış göstermektedir ancak bu artış anlamlı değildir (p>0,01). K<sub>b</sub> 0,007 mg/g olup kontrole kıyasla azalış göstermektedir ancak bu azalış anlamlı değildir (p>0,01). K<sub>t</sub> ise 0,016±0,003 mg/g olarak kontrolle aynı değerdedir.

Son olarak 500 Gy'de K<sub>a</sub> 0,011±0,004 mg/g, K<sub>b</sub> 0,006±0,004 mg/g ve K<sub>t</sub> 0,017±0,002 mg/g değerlerindedir. 500 Gy+NP<sub>1</sub>'de K<sub>a</sub> 0,011±0,005 mg/g olarak kontrolle aynı değerdedir. K<sub>b</sub> 0,007±0,002 mg/g ve K<sub>t</sub> 0,018±0,005 mg/g olup kontrole kıyasla artış göstermektedir ancak bu artış anlamlı değildir (p>0,05 ve p>0,01). 500 Gy+NP<sub>2</sub>'de K<sub>a</sub> 0,063±0,006 mg/g olarak kontrolle kıyasla bir artış göstermektedir ve bu artış anlamlıdır (p<0,05). K<sub>b</sub> 0,006 g/g olup kontrolle aynı değerdedir ve son olarak K<sub>t</sub> 0,016±0,004 mg/g olup kontrole kıyasla azalma göstermektedir ancak bu azalma anlamlı değildir (p>0,01) (Şekil 57).



Şekil 57. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının klorofil miktarları üzerine etkisi

### 4.3. Zn Miktarının Saptanması

X-ışını radyasyonu ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu fidelerin yapraklarındaki Zn miktarı Tablo 10 ve Şekil 58 'de verilmiştir.

Tablo 10

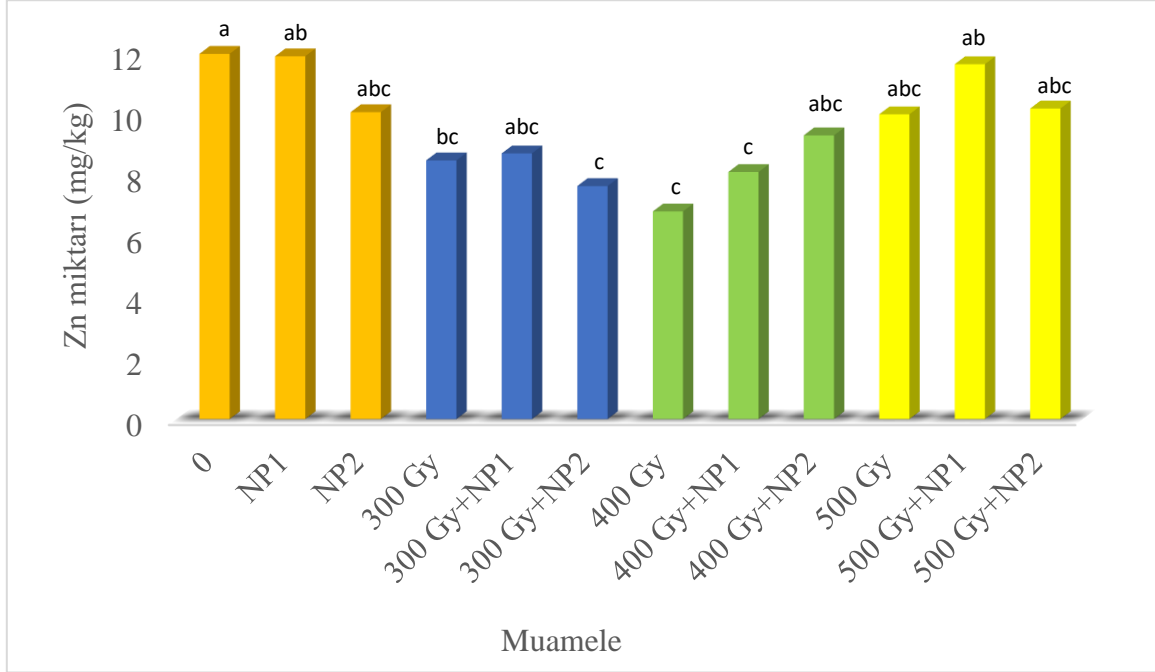
ANP 2018 tohumlarında X-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının Zn miktarı üzerine etkisi

Muamele	Zn miktarı (mg/kg)
0	11,96 <sup>a</sup> ±1,25
NP <sub>1</sub>	11,88 <sup>ab</sup> ±1,33
NP <sub>2</sub>	10,05 <sup>abc</sup> ±2,54
300 Gy	8,47 <sup>bc</sup> ±1,99
300 Gy + NP <sub>1</sub>	8,70 <sup>abc</sup> ±1,67
300 Gy + NP <sub>2</sub>	7,63 <sup>c</sup> ±1,89
400 Gy	6,80 <sup>c</sup> ±3,21
400 Gy + NP <sub>1</sub>	8,09 <sup>c</sup> ±2,66
400 Gy + NP <sub>2</sub>	9,29 <sup>abc</sup> ±2,15
500 Gy	9,98 <sup>abc</sup> ±1,89
500 Gy + NP <sub>1</sub>	11,62 <sup>ab</sup> ±2,23
500 Gy + NP <sub>2</sub>	10,17 <sup>abc</sup> ±2,18

*Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama gruplarının muamelelere göre Zn miktarları açısından Duncan testine göre ANP 2018 çeşidi için 0,01 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.*

Tablo 10 incelendiğinde; Zn miktarı kontrolde 11,96±1,25 mg/kg iken bu değere yakın olarak NP<sub>1</sub> (11,88±1,33 mg/kg), 500 Gy+NP<sub>1</sub> (11,62±2,23 mg/kg) uygulamalarını görülmektedir. (p<0,01). 300 Gy'de Zn miktarı (8,47±1,99 mg/kg) olarak kontrole göre azalırken, 300 Gy+NP<sub>1</sub> (8,70±1,67 mg/kg) de 300 Gy deki Zn miktarına göre arttığı görülmektedir. (p<0,01) Ancak 400 Gy'de doz artışına bağlı olarak Zn miktarı kontrole göre 6,80±3,21 mg/kg olurken, 400 Gy+NP<sub>1</sub> (8,09±2,66 mg/kg) ve 400 Gy+NP<sub>2</sub>'de (9,29±2,15 mg/kg) olarak artmıştır. En yüksek X radyasyon değeri olan 500 Gy'de Zn miktarı (9,98±1,89 mg/kg) iken bu değer 500 Gy+NP<sub>1</sub> (11,62±2,23 mg/kg) ile kontrole yaklaşırken

yine 500 Gy+NP<sub>2</sub>'de (10,17±2,18 mg/kg) olarak 500 Gy'e göre arttığı saptanmıştır (Şekil 58).



Şekil 58. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının Zn miktarı üzerine etkisi



#### 4.3.8. Yaş-Kuru-Net Ağırlık Değerlerinin Saptanması

X-ışını radyasyonu ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanması sonucu fidelere yaş-kuru ve net ağırlıklar Tablo 11 ve Şekil 59 'da verilmiştir.

Tablo 11

ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının yaş-kuru ve net ağırlık üzerine etkisi

Muamele	Yaş ağırlık (g)	Kuru ağırlık (g)	Net ağırlık (g)
0	1,70 <sup>a</sup> ±0,057	0,44 <sup>a</sup> ±0,078	1,25 <sup>ab</sup> ±0,026
NP <sub>1</sub>	0,98 <sup>bc</sup> ±0,076	0,26 <sup>bc</sup> ±0,075	0,72 <sup>bc</sup> ±0,077
NP <sub>2</sub>	1,61 <sup>ab</sup> ±0,031	0,29 <sup>b</sup> ±0,067	1,32 <sup>a</sup> ±0,084
300 Gy	0,81 <sup>c</sup> ±0,082	0,15 <sup>bcd</sup> ±0,011	0,65 <sup>c</sup> ±0,035
300 Gy + NP <sub>1</sub>	0,84 <sup>c</sup> ±0,075	0,14 <sup>bcd</sup> ±0,064	0,69 <sup>bc</sup> ±0,056
300 Gy + NP <sub>2</sub>	0,73 <sup>c</sup> ±0,076	0,12 <sup>cd</sup> ±0,073	0,61 <sup>c</sup> ±0,012
400 Gy	0,70 <sup>c</sup> ±0,055	0,13 <sup>cd</sup> ±0,036	0,56 <sup>c</sup> ±0,036
400 Gy + NP <sub>1</sub>	0,48 <sup>c</sup> ±0,064	0,10 <sup>cd</sup> ±0,064	0,38 <sup>c</sup> ±0,045
400 Gy + NP <sub>2</sub>	0,48 <sup>c</sup> ±0,048	0,10 <sup>d</sup> ±0,027	0,36 <sup>c</sup> ±0,057
500 Gy	0,64 <sup>c</sup> ±0,085	0,12 <sup>cd</sup> ±0,028	0,52 <sup>c</sup> ±0,037
500 Gy + NP <sub>1</sub>	0,41 <sup>c</sup> ±0,052	0,08 <sup>d</sup> ±0,075	0,32 <sup>c</sup> ±0,032
500 Gy + NP <sub>2</sub>	0,42 <sup>c</sup> ±0,06	0,08 <sup>d</sup> ±0,062	0,33 <sup>c</sup> ±0,021

Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama grupları muamelelere göre yaş-kuru-net ağırlıkları açısından Duncan testine göre ANP 2018 çeşidi için 0,01 seviyesinde farklılık olduğunu göstermektedir.

ANP 2018 soya fasulyelerindeki yaş ağırlık değerleri incelendiğinde; kontrol bitkisinin ortalama yaş ağırlığı 1,70±0,057 g 'dır. ZnO NP uygulanmış tohumlardan yetişen fidelerin yaş ağırlık ortalamalarının NP<sub>1</sub>'de 0,98±0,076 g ve NP<sub>2</sub> 'de 1,61±0,031 g olacak şekilde kontrole kıyasla azalma gösterdiği saptanmıştır. Bu azalma NP<sub>1</sub> için anlamlıdır (p<0,01).

Yaş ağırlık kontrole göre, 300 Gy, 400 Gy ve 500 Gy radyasyon uygulamalarında azalmıştır. 300 Gy'de yaş ağırlık 0,81±0,082 g iken bu değer 300 Gy+NP<sub>1</sub> uygulamasında

0,84±0,075 g olarak artmıştır. Ancak 300 Gy + NP<sub>2</sub> kontrole göre azalmıştır ancak bu azalmalar istatistik olarak anlamlı değildir (p>0,01).

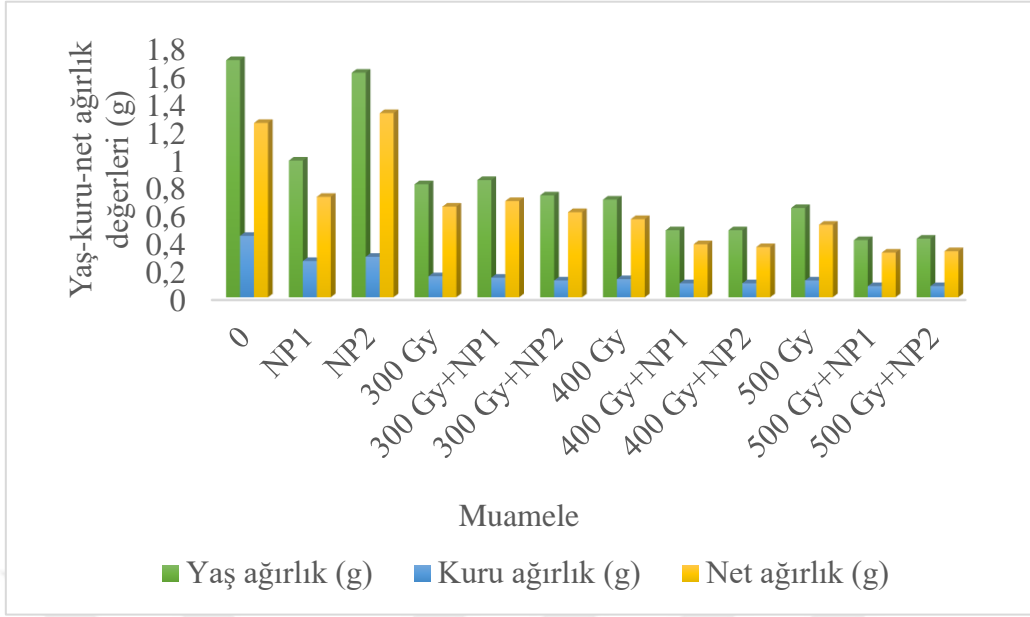
400 Gy ve 500 Gy radyasyon dozları ile birlikte uygulanan ZnO NP muamelelerinde ise yaş ağırlıkların kontrole göre azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak bu azalma istatistik olarak anlamlı değildir (p>0,01).

ZnO NP uygulamalarından sonra elde edilen kuru ağırlık ortalamalarının kontrole göre NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub>' de anlamlı bir azalış gözlemlenirken (p<0,01), diğer tüm uygulamalar arasındaki farkın önemli olmadığı bulunmuştur (p>0,01).

Benzer şekilde muamele gruplarına ait net ağırlık değerleri incelendiğinde; NP<sub>1</sub>'in net ağırlığının kontrole kıyasla azalma gösterdiği (p>0,01) NP<sub>2</sub>'nin net ağırlığının ise kontrole kıyasla artış gösterdiği (p>0,01) görülmektedir.

300 Gy+NP<sub>1</sub>'in net ağırlığı 300 Gy'in net ağırlığına kıyasla artış gösterirken (p>0,01) 300 Gy+NP<sub>2</sub>'nin net ağırlığı 300 Gy'in net ağırlığına kıyasla azalma göstermektedir (p>0,01).

Geriye kalan tüm muamelelerde ise net ağırlık kontrole kıyasla azalma göstermektedir ancak bu azalma anlamlı değildir (p>0,01) (Şekil 59).



Şekil 59. ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarında x-ışınlarının ve ZnO nanopartikülünün ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının yaş-kuru-net ağırlık üzerine etkisi

## BEŞİNCİ BÖLÜM SONUÇ VE ÖNERİLER

ZnO nanopartiküllerinin radyo-koruyucu etkisinin incelendiği bu çalışma temelde dört gruptan oluşmaktadır. Birinci grup, kontrol grubu olduğu için herhangi bir işlem görmemiştir. İkinci grup, ön çalışma sonucu belirlenmiş olan optimum ZnO NP konsantrasyonu ile muamele edilmiştir. Üçüncü grup, ön çalışma sonucu belirlenmiş olan optimum x-ışını dozu ile ışınlanmıştır. Son olarak dördüncü grup ise, x-ışını ile ışınlanmış tohumların her birinin ZnO NP ile muamele edildiği gruptur. Sonuçlar ayrı alt başlıklar halinde değerlendirilmiştir.

### **5.1. ANP 2018 Soya Fasulyesi Çeşidi İçin Optimum X-Işını Dozunun Belirlenmesi**

100, 200, 300, 400 ve 500 Gy x-ışını ile ışınlanmış soya fasulyesi tohumlarının çimlenme yüzdeleri ve fide yükseklikleri genel olarak radyasyon dozu artışına bağlı olarak azalma göstermektedir. Ortaya çıkan bu durum, x-ışınlarının kullanıldığı önceki çalışmalarla benzer sonuçlar ortaya koymaktadır (Puripunyavanich vd., 2021; Rezk vd., 2019; Sao vd., 2020; Sorrentino vd., 2023). Artan doza bağlı olarak bitkide radyasyon stresi oluşmakta ve buna bağlı olarak bitki büyüme ve gelişme parametreleri olumsuz olarak etkilenmektedir. Ayrıca, ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi için GR<sub>50</sub> dozu 150 Gy olarak saptanmıştır.

Radyasyon, bitki hücrelerinde DNA hasarına ve bölünme bozukluklarına neden olabilir. Ek olarak fotosentez sürecini olumsuz etkileyerek bitkide enerji üretimini sekteye uğratabilir. Bunların sonucunda da bitki metabolizması olumsuz etkilenebilir ve büyüme için gerekli olan besinlerin üretimi azalabilir. Sözü edilen bu bozukluklar fide büyümesini etkileyebilir.

Ancak, radyasyonun bitki gelişimi üzerindeki etkileri, radyasyon dozu, süresi, bitki türü vb. faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Aynı zamanda, bitkilerin radyasyona karşı toleransı da farklılık gösterebilir. Radyasyonun bitkiler üzerindeki etkilerini anlamak için daha fazla araştırma yapılması önemlidir.

## **5.2. ANP 2018 Soya Fasulyesi Çeşidi İçin Optimum ZnO Nanopartikülü Konsantrasyonunun Belirlenmesi**

250, 500, 1000 ve 2000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartiküllerinin soya fasulyesinin çimlenme yüzdesi ve kök uzunluğuna olan etkisi nano-priming tekniğiyle uygulanmış ve 15, 18, 21, 24, 48, 72 ve 96. saatler göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

İncelemeler sonucunda 500 mg/L<sup>-1</sup> ve 2000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO NP konsantrasyonları ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi için optimum konsantrasyonlar olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda birçok araştırmacı ZnO nanopartiküllerinin bitki gelişimine olan etkisinin; kullanılan nanopartikülün boyutuna, şekline, konsantrasyonuna ve bitki türüne bağlı olduğunu vurgulamıştır (Baazaoui vd., 2021; Youssef ve Elamawi, 2020). Dolayısıyla yapılan bu çalışmada elde edilen veriler, bu söylemi doğrular niteliktedir.

Ayrıca ZnO nanopartiküllerinin Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) ile karakterizasyonu yapılmış ve ZnO nanopartiküllerinin ortalama parçacık boyutunun 50 nm olduğu ve küresele yakın bir şekle sahip olduğu görülmüştür.

ZnO nanopartikülünün karakterizasyonuna ek olarak dört farklı ZnO nanopartikülü konsantrasyonu için zeta potansiyeli analizi yapılmış ve dört konsantrasyonun zeta potansiyellerinin 5-20 mV arasında değerler alarak minimal düzeyde kararlılığa sahip olduğu saptanmıştır.

Tüm bu bulgular, karmaşık bir doğaya sahip olduğu düşünülen ZnO nanopartiküllerinin etki mekanizmasının anlaşılmasında ve ayrıca, tohum çimlenmesini uyarmak için çeşitli tarımsal araştırmalarda kullanılabilir.

## **5.3. X-Işını ve ZnO Nanopartikülünün Birlikte Uygulanması**

### **5.3.1. Bitki Çıkış Yüzdesi ve Canlılık İndeksi**

ANP 2018 soya fasulyesi tohumlarının 7. günde bitki çıkış yüzdeleri gösteren Tablo 5 ve canlılık indekslerini gösteren Tablo 6 incelendiğinde, NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub>

konsantrasyonlarında bitki çıkış yüzdelerinde kontrole göre herhangi bir artış görülmemektedir. İki uygulamada da çıkış yüzdeleri kontrole kıyasla azalma göstermektedir. Nanopartikül uygulamalarının bitki çıkış yüzdesi üzerinde herhangi bir etkisinin olmaması nanopartikülün boyutu, dozu ve uygulama yöntemi, bitki çeşidi gibi çeşitli faktörlere bağlanabilir. Işık, sıcaklık, nem ve toprak özellikleri gibi çevresel faktörler nanopartiküllerin bitkiler üzerindeki etkilerini değiştirebilir. Bu tür sonuçlar, ileriki araştırmalar için yönlendirici olabilir.

ANP 2018 soya fasulyesi çeşidine ait canlılık indeksleri değerleri göz önünde bulundurulduğunda, NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub> uygulamalarının canlılık indeksi kontrole kıyasla azalma göstermektedir ve bu azalma istatistiki olarak anlamlıdır ( $p < 0,01$ ). Nanopartiküllerin canlılık indeksini azaltması, çeşitli olumsuz etkileri işaret edebilir. Nanopartiküller, bitkisel materyalde oksidatif stresi artırabilir ve bunun sonucu olarak da oluşan serbest radikaller canlılık kaybına yol açabilir. Bu sonuçlar, nanopartiküllerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlamak için önemli bir uyarıcıdır. Nanopartiküller kullanım öncesi ve sırasında dikkatli bir şekilde değerlendirilmeli ve olası olumsuz etkileri azaltmak için uygun önlemler alınmalıdır. Sağlık ve çevre üzerinde olumsuz etkilerin en aza indirgenebilmesi için daha fazla araştırma gerekmektedir.

Al-Harbi vd., (2019) 50 nm boyutunca ve 500, 2000 ve 4000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile yaptıkları çalışmada baklanın çimlenme yüzdesinin kontrole eşdeğer bir şekilde (%100) olduğunu saptamışlardır. Nguyen vd., (2021) yeşil ve kırmızı fasulye ile yaptıkları çalışmada, 10 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü uygulamasının çimlenme yüzdesini artırdığını saptamışlardır. Benzer şekilde 2000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile muamele edilen nohutun çimlenmesini (Aslinjensipriya vd., 2022), 1000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile muamele edilen yer fıstığının (Santos-Rasera vd., 2022) ve domatesin çimlenmesini artırdığını (Modi vd., 2022), 50 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile muamele edilen soya fasulyesinin çimlenmesinin kontrole göre önemli ölçüde arttığı (Hoe vd., 2018), 1000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile muamele edilen yer fıstığının çimlenmesinin arttığı (Prasad vd., 2012) 500 ve 2000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile muamele edilen baklanın çimlenme yüzdesinin kontrole eşdeğer bir şekilde %100 çıkış gösterdiğini saptamışlardır.

Bunlara kıyasla Moreno vd., (2010) 500, 1000, 2000 ve 4000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile muamele ettikleri soya fasulyesi tohumlarının çimlenmesinde ZnO nanopartiküllerinin herhangi bir etkisinin olmadığını saptamışlardır. Ortaya konulan bu sonuç, ZnO nanopartikülü ile muamele edilen soya fasulyesi tohumlarının çimlenmesinde ZnO nanopartiküllerinin herhangi bir etkisinin olmadığı bu çalışma sonucuyla benzer bir özellik göstermektedir.

Tüm bu sonuçlar, ZnO nanopartikülünün karmaşık bir doğaya sahip olduğunun göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca farklı çalışmalarda farklı sonuçların ortaya çıkması, nanopartiküllerin etki mekanizmasının nanopartikül boyutuna, konsantrasyonuna ve bitki türüne göre değiştiğinin bir kanıtıdır.

### **5.3.2. Kök Uzunluğu-Fide Yüksekliği**

ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi için kök uzunluklarını gösteren Tablo 8 incelendiğinde; kontrole göre NP<sub>2</sub> ile muamele edilen grubun ortalama kök uzunluğunun daha fazla olduğu görülmektedir ancak bu artış anlamlı değildir ( $p>0,01$ ). NP<sub>1</sub> uygulaması ise kök uzunluğunu kontrole kıyasla azaltmıştır ancak bu azalma anlamlı değildir ( $p>0,01$ ).

Elde edilen bu sonuçlara göre, NP<sub>2</sub> konsantrasyonunun bitkide kök oluşumunu teşvik ettiği söylenebilir. ZnO nanopartikülü yabancı bir madde gibi görünerek bitkinin stres mekanizmasını harekete geçirmiş olabilir ve stres altındaki bitki kök uzunluğunu artırarak daha derin toprak tabakalarına ulaşmaya çalışmış olabilir. Buradaki temel amaç su ve besin alımını artırarak stres koşullarında daha iyi hayatta kalmaya çalışmaktır. Bunlara ek olarak nanopartikül uygulaması, bitki büyüme ve gelişiminden sorumlu olan kök büyümesini uyaran hormonların düzeyini etkilemiş olabilir. Bilindiği üzere nanopartiküller geniş yüzey alanına ve çeşitli fiziko-kimyasal özelliklere sahiptir. Sözü edilen bu özellikler bitkilerin kök büyümesi ve gelişimi üzerinde birtakım etkilere neden olabilir.

Ancak genel olarak iki nanopartikül uygulamasının da kök uzunluğu üzerinde anlamlı bir etkisinin olmaması nanopartikülün etki mekanizmasının nanopartikülün boyut, doz ve uygulama şekline, çevresel faktörlere ve bitki çeşidine bağlı olarak değişiklik

gösterdiğine bağlanabilir. Her bitkinin genetik yapısı farklı olduğu için nanopartiküllere gösterdiği tepki de farklı olabilir ve daha az tepki verebilir.

Sindhura vd., (2014) 16-108,5 nm boyutlarındaki ZnO nanopartikülü ile muamele ettikleri yer fıstığının kök uzunluğunda artış meydana geldiğini saptamışlardır. Benzer şekilde Prasad vd., (2012) 25 nm boyutunda ve 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülü ile muamele ettikleri yer fıstığının kök gelişiminin olumlu etkilendiğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Raliya ve Tarafdar, (2013) 10 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülü ile muamele ettikleri salkım fasulyesinin kök uzunluğunda ZnO nanopartikülünün olumlu bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Bu sonuçlara karşılık Leopold vd., (2022) 100-200 nm boyutlarında ve 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün soya fasulyesinin birincil ve ikincil kök uzunluğunu kontrole kıyasla önemli ölçüde azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Benzer şekilde Torbati vd., (2017) 60-80 nm boyutlarında ve 1, 10 ve 50 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartikülü ile muamele ettikleri su mercimeğinin kök uzunluğunun kontrole göre azaldığını ve ZnO nanopartiküllerin kök büyümesini inhibe ettiğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Kumar vd., (2015) ≤50 nm boyutunda ve 50 ve 100 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartiküllerinin salatalık ve buğdayın kök büyümesi üzerinde sınırlayıcı bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Prakash ve Chung, (2016) 500 mg/L<sup>-1</sup> ile muamele ettikleri buğday tohumlarının kök hücrelerinin olumsuz etkilendiğini ve öldüğünü ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Doğaroğlu ve Köleli, (2017) 30 nm boyutlarındaki 20 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile muamele edilen arpa tohumlarının köklerinde toksik bir etkiye neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Prasad vd., (2012) 2000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün bitki gelişimi için toksik olabileceğini vurgulamışlardır.

ZnO nanopartikülünün fide yüksekliği üzerine olan etkisini gösteren Tablo 7 incelendiğinde; ZnO nanopartiküllerinin fide yüksekliğine istatistiki açıdan anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Leopold vd., (2022) 100-200 nm boyutlarında ve 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün soya fasulyesinin fide yüksekliğinin kontrole kıyasla önemli ölçüde



artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Al-Harbi vd., (2019) 50 nm boyutunda ve 500, 2000 ve 4000 mg/L<sup>-1</sup> ZnO nanopartikülü ile yaptıkları çalışmada baklanın ZnO nanopartiküllerinin fide yüksekliğini artırdığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Prasad vd., (2012) 25 nm boyutunda ve 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün yerfıstığına yaprağa püskürtülerek uygulanması sonucunda fide canlılığının ve büyümesinin olumlu etkilendiğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Raliya ve Tarafdar, (2013) 10 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün salkım fasulyesinin sürgün uzunluğunu artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Sindhura vd., (2014) 16-108,5 nm boyutlarındaki ZnO nanopartikülünün yer fıstığının gövde uzunluğunu artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Raja vd., (2019) 600 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün kontrole kıyasla sürgün uzunluğunu artırdığını vurgulamışlardır.

Bunlara karşılık Kumar vd., (2015)  $\leq 50$  nm boyutunda ve  $>50$  mg/L<sup>-1</sup> ve  $>1000$  mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartiküllerinin salatalık ve buğdayın sürgün büyümesi üzerinde sınırlandırıcı bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Prasad vd., (2012) 2000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün yaprağa püskürtme yoluyla uygulanması sonucu yer fıstığının büyümesinde azalmaya neden olduğunu vurgulamışlardır.

Daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların birbirinden farklı ve tutarsız olması ZnO nanopartikülünün etki mekanizmasının karmaşıklığını bir kez daha ortaya koymaktadır. ZnO nanopartikülünün etki mekanizmasının bitki çeşidine, nanopartikül boyutuna, konsantrasyonuna ve uygulama şekline bağlı olarak nasıl olumlu/olumsuz sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir.

### 5.3.3. Zn miktarı

ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi için Zn miktarını (mg/kg) gösteren Tablo 10 incelendiğinde; NP<sub>1</sub> (11,88±1,33 mg/kg) ve NP<sub>2</sub> (10,05±2,54 mg/kg) muamelelerindeki Zn miktarının kontrol (11,96±1,25 mg/kg) ile yakın değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Ortaya çıkan bu sonuçtan hareketle ZnO nanopartikül uygulamalarının (NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub>) ANP 2018 soya çeşidinin Zn miktarı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Naseer vd., (2023) yapmış oldukları çalışmada 200 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda ZnO nanopartikülü ile muamele edilen mısır tanelerinin Zn içeriğinin kontrole kıyasla %42,6'lık bir artış gösterdiğini saptamışlardır. Bu sonuç, ZnO nanopartiküllerinin mısırdaki Zn içeriğini artırdığını ifade eden Tondey vd., (2021) ve benzer şekilde ZnO nanopartikülünün nanoprimering yöntemi ve yaprağa püskürtme yoluyla mısırdaki Zn içeriğini artırdığını ifade eden Rameshraddy vd., (2018) ile de uyumludur.

ZnO nanopartikülünün uygulama dozu ve süresi soya fasulyesinin çinko absorpsiyonunu etkilemiş olabilir. Yani, kullanılan nanopartikül dozu ve süresi bu etkinin belirgin bir değişiklik göstermemesine sebep olabilir. Ayrıca ZnO nanopartiküllerinin soya fasulyesi tarafından çinko iyonlarına dönüştürülme hızı ve biyo-erişilebilirliği, bitki yapraklarında Zn miktarını değiştirebilir. Bu doğrultuda, sözü edilen bu dönüşüm yavaş ise, etki belirgin bir şekilde görülmeyebilir. Bunlara ek olarak, bitki çeşidine bağlı olarak soya fasulyesi çinkoyu daha az etkili almış olabilir. Toprak özellikleri, sulama suyu kalitesi vb. gibi çeşitli çevresel faktörler de soya fasulyesinin çinko alımını etkilemiş olabilir. Son olarak, ZnO nanopartikül uygulamalarının (NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub>) ANP 2018 soya çeşidinin Zn miktarı üzerindeki etkisi kısa süreli bir gözlemlerle belirgin olmayabilir; dolayısıyla bu kapsamda uzun süreli gözlemler farklı sonuçlar ortaya koyabilir.

#### **5.3.4. Yaş-Kuru-Net Ağırlık**

ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi için yaş-kuru-net ağırlığı gösteren Tablo 11 incelendiğinde; NP<sub>1</sub> konsantrasyonunun yaş ağırlığı, kontrole kıyasla anlamlı bir azalma göstermektedir (p<0,01). Benzer şekilde NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub> konsantrasyonlarının kuru ağırlığı, kontrole kıyasla anlamlı bir azalma göstermektedir.

Nanopartiküller bitki yaş-kuru ağırlığını azaltıcı etkilere sahip olabilir. Bunun nedeni, bazı nanopartiküllerin bitkilerin su ve besin alımını azaltabilmesi, suyun bitki hücrelerine geçişini engelleyebilmesi veya bitkilerin büyümesini yavaşlatabilmesidir. Bu durum, bitkilerin yaş-kuru ağırlığının düşmesine ve normal büyüme süreçlerinde sınırlamalara yol açabilir.

Ancak, nanopartiküllerin bitki yaş ağırlığı üzerindeki etkileri, kullanılan nanopartikül türü, dozajı ve uygulama yöntemi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişir. Bu nedenle, nanopartikül uygulamalarının bitki sağlığı ve verimliliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek için iyi tasarlanmış deneyler ve araştırmalar gereklidir.

Sindhura vd., (2014) 16-108,5 nm boyutlarındaki ZnO nanopartikülünün yerfistiğinin yaş ve kuru ağırlığını artırdığını saptamışlardır. Benzer şekilde Burman vd., (2013) 1,5 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün nohutta biyokütleyi ve kuru ağırlığı artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde (Xu vd., 2018) 10 mg/kg olacak şekilde toprağa uygulanan ZnO nanopartikülünün marulun biyokütlesini artırdığını ifade etmişlerdir.

Tüm bu sonuçlar, nanopartiküllerin bitkiler üzerinde karmaşık etkilere sahip olduğunu gösterir. Özellikle, bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerini anlamak için daha fazla araştırma yapılması önerilir.

### **5.3.5. Toplam Klorofil Miktarı**

ANP 2018 soya fasulyesi çeşidi için klorofil a, klorofil b ve toplam klorofili gösteren Tablo 9 incelendiğinde; kontrole kıyasla NP<sub>2</sub> uygulamasının klorofil b değerinin istatistiki açıdan anlamlı olmakla birlikte (p<0,05) daha yüksek olduğu görülmektedir.

Nanopartiküller bitkilerin klorofil sentezini düzenleyen genleri veya enzimleri etkileyerek klorofil üretimini teşvik edici bir rol üstlenebilir. Fotosentezde klorofil-b klorofil-a ile birlikte çalışarak ışığı emer ve bitkilerin enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmasına yardımcı olur. Klorofil-a'nın aksine, klorofil-b, belirli dalga boylarındaki ışığı emebilir ve onu klorofil-a'ya aktarabilir. Bu, bitkilerin daha geniş bir ışık spektrumunu kullanmasını sağlar. Ayrıca NP<sub>1</sub> ve NP<sub>2</sub> ile muamele edilen tohumlardan meydana gelen fidelerin yapraklarının geniş, sağlıklı ve koyu renkli olduğu gözlemlenmiştir. ZnO nanopartiküllerinin fotosentez verimliliğini artırdığı ve klorofil içeriğini zenginleştirdiği bilinmektedir (Kumar vd., 2021). Ortaya çıkan bu sonuç, bu durumu doğrular niteliktedir.

Benzer şekilde Leopord vd., (2022) 100-200 nm boyutlarında ve 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün soya fasulyesinin klorofil a,b ve toplam klorofil değerlerini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Song vd., (2016) <50 nm boyutunda 100 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün akvaryum bitkisinin klorofil değerlerini artırdığını belirterek bitkinin daha koyu ancak buna karşılık sağlıklı görünen yapraklara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Raliya ve Tarafdar, (2013) 10 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün salkım fasulyesinin klorofil içeriğini artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Xu vd., (2018) 10 mg/kg olacak şekilde toprağa uyguladıkları ZnO nanopartikülünün marulun fotosentez verimliliği üzerinde olumlu bir etkiye neden olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Prasad vd., (2012) 25 nm boyutunda ve 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün fıstıkta yaprak klorofil içeriğini artırdığını saptamışlardır. Benzer şekilde Song ve Lee, (2016) 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün akvaryum bitkisinin klorofil içeriğinde önemli bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Servin vd., (2013) 27±4 nm boyutunda ve 750 mg/kg olacak şekilde toprağa uyguladıkları ZnO nanopartikülünün salatalıkta klorofil içeriğini artırdığını saptamışlardır. Benzer şekilde Janmohammadi vd., (2016) 2000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonundaki ZnO nanopartikülünün arpanın klorofil içeriği üzerinde olumlu bir etki gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Buna karşılık Prasad vd., (2012) 2000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda ve yapraklara püskürtülerek uygulanan ZnO nanopartikülünün yarfıstığının klorofil içeriğinde azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Torbati vd., (2017) 60-80 nm boyutlarında ve 1, 10 ve 50 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartikülünün su mercimeğinin klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil değerlerinde azalmaya neden olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Mukherj vd., (2014) 10 nm boyutunda ve 125-500 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartikülünün bezelyenin klorofil içeriğinde azalmaya sebep olduğunu vurgulamışlardır.

### 5.3.6. ZnO Nanopartikülünün Radyo-Koruyucu Etkisi

ANP 2018 soya fasulyesi çeşidine ait bitki çıkış yüzdesi, canlılık indeksi, kök uzunluğu, fide yüksekliği, yaş-kuru-net ağırlık, Zn miktarı ve klorofil değerleri tabloları incelendiğinde; ZnO nanopartikülünün radyasyon hassasiyetini değiştirdiği saptanmıştır.

Canlılık indeksini gösteren Tablo 6 değerleri göz önünde bulundurulduğunda; 400 Gy+NP<sub>2</sub> uygulamasının canlılık indeksinin (188,25) 400 Gy'in canlılık indeksinden (187) istatistiki açıdan anlamlı olmamakla birlikte daha yüksek olduğu görülmektedir. ZnO nanopartiküllerinin birincil ve ikincil metabolizma üzerinde birtakım iyileştirici rollerinin olduğu ve bitki gelişimini destekleyici bir rol üstlendiği bilinmektedir (Shafiq vd., 2019). Ortaya çıkan bu sonuç, bu durumu doğrular niteliktedir.

Benzer şekilde klorofil değerlerini gösteren Tablo 9 değerleri göz önünde bulundurulduğunda; 400 Gy+NP<sub>2</sub> uygulamasının klorofil a (0,009±0,005) değerinin 400 Gy'in klorofil a (0,008±0,004) değerlerinden istatistiki açıdan anlamlı olmamakla birlikte daha yüksek olduğu görülmektedir.

Buna ek olarak, 500 Gy+NP<sub>2</sub> uygulamasının klorofil a (0,063±0,006) değerinin 500 Gy'in klorofil a (0,011±0,004) değerlerinden istatistiki açıdan anlamlı olmakla birlikte (p<0,01) daha yüksek olduğu görülmektedir.

ZnO nanopartiküllerinin fotosentez verimliliği ve klorofil içeriği değerleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Kumar vd., 2021). Ortaya çıkan bu sonuçlar, bu durumu doğrular niteliktedir. ZnO nanopartikülleri bitkiler üzerinde antioksidan etki göstererek klorofilin parçalanmasını engelleyerek klorofil miktarını artırabilir. Bu durum, bitkilerin strese karşı tolerans kazanmasına yardımcı olabilir.

Zn miktarını gösteren Tablo 10 değerleri incelendiğinde; 300 Gy+NP<sub>1</sub> uygulamasının Zn miktarının (8,70±1,67 mg/kg) kontrole (8,47±1,99 mg/kg) kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir (p>0,01). Benzer şekilde 400 Gy+NP<sub>1</sub> (8,09±2,66 mg/kg) ve 400 Gy+NP<sub>2</sub>

(9,29±2,15 mg/kg) uygulamalarının Zn miktarının kontrole (6,80±3,21 mg/kg) kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir ( $p>0,01$ ). Buna ek olarak 500 Gy+NP<sub>1</sub> (11,68±2,23 mg/kg) ve 500 Gy+NP<sub>2</sub> (10,17±2,18 mg/kg) uygulamalarının Zn miktarının kontrole (9,98±1,89 mg/kg) kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir ( $p>0,01$ ).

Elde edilen bu sonuçlara göre ışın+np uygulamalarının çinko miktarının salt ışınlamaya kıyasla daha yüksek olması iki farklı etkinin (ışın ve nanopartikül) birleşerek daha fazla çinko birikimine neden olduğu düşüncesini ortaya koyabilir. Bu durum ZnO nanopartiküllerinin X ışınlarından kaynaklı radyasyonla etkileşim halinde olabileceğini veya X ışınlarının soyada çinko alımını artırmak için nanopartikülleri daha etkili hale getirdiği hipotezini ortaya koyabilir. Ayrıca ZnO nanopartikülünün soyada, X ışınlarından kaynaklı radyasyon stresine karşı bitkinin yaprak çinko miktarını artırarak strese karşı adaptasyon kazanmasını ve savunma mekanizması geliştirmesini sağlamış olabilir.

Yaş-kuru-net ağırlığı gösteren Tablo 10 değerleri göz önünde bulundurulduğunda; 300 Gy+NP<sub>1</sub> uygulamasının yaş (0,84±0,075 g) ve net ağırlığı (0,69±0,056 g), 300 Gy'in yaş (0,81±0,082 g) ve net ağırlığından (0,65±0,035 g) istatistiki açıdan anlamlı olmamakla birlikte daha yüksektir.

Bitkide yaş ağırlık, bitki hücrelerinin, dokularının ve tüm canlı kısımlarının toplam ağırlığını ifade etmektedir. Bitkinin ıslak ağırlığıdır ve su içeriği de dahil olmak üzere tüm canlı maddeyi içerir ve bitkinin tüm kök, fide, yaprak, çiçek ve meyve gibi yaşayan yapılarını kapsar. Ayrıca, bitkinin büyüme, gelişme, verim ve metabolik aktiviteleri hakkında önemli bir veri kaynağı sunar. Dolayısıyla bu noktada salt ışınlamaya kıyasla ışın+np uygulamasının yaş ağırlık üzerinde anlamlı olmamakla birlikte bir artma göstermesi, bitki metabolizmasının stresle mücadele etmede potansiyel bir başarı gösterme eğilimine sahip olabileceği düşüncesini ortaya koymaktadır.

Al-Harbi vd., (2019) ZnO nanopartikülünün radyo-koruyucu etkisini araştırdıkları çalışmada; 20, 50 ve 100 Gy ile ışınladıkları bakla tohumlarını 500 ve 1000 mg/L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarındaki ZnO nanopartikülü ile muamele etmişler ve bu konsantrasyonların tohum çimlenmesi, fide büyümesi ve mitotik indeks üzerinde radyo-koruyucu bir etki

gösterdiğini saptamışlardır. Çalışma sonuçlarının yapılan bu tez çalışması sonuçlarından farklı çıkması; kullanılan radyasyon dozlarının daha düşük olması, bitki çeşidinin farklılığı ve buna bağlı olarak tohum anatomisi-nanopartikül etkileşimi mekanizmasının farklılığı vb. faktörlerin etkisine bağlı olabilir. Baazaoui vd., (2020)'na göre bitkilerin nanopartiküllerle olan etkileşimleri büyük ölçüde bitki çeşidi, nanopartikül boyutu ve özellikleri ve bitki-nanopartikül iletim yolu ile yakından ilişkilidir. Dolayısıyla çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmesi, nanopartiküllerin ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir.

Tüm bunlardan hareketle; ANP 2018 soya fasulyesi çeşidinde x-ışınlarından kaynaklı olan radyasyon hassasiyetinin ZnO nanopartikül uygulamaları ile değiştiği saptanmıştır. Ele alınan soya fasulyesi çeşidinde x-ışınları ve ZnO nanopartikülünün birlikte uygulandığı koşullarda ZnO nanopartikülünün x-ışınlarının meydana getirdiği olumsuz etkileri azaltıcı yönde bir etkisinin olduğu ve soyanın bitki çıkış yüzdesi, canlılık indeksi, kök uzunluğu, fide yüksekliği, yaş-kuru ağırlık, Zn miktarı ve klorofil miktarları parametreleri üzerinde bu azaltıcı etkinin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya konmuştur. ZnO nanopartikülü uygulamaları, iyonize radyasyon ile mücadelede direnci artırmada ve bitkinin bu stres faktörüne tolerans geliştirerek adaptif tepkiler vermesinde olumlu bir rol üstlenebilir.

Çeşitli in vitro ve in vivo çalışmalar, ZnO nanopartiküllerinin radyasyonun neden olduğu hücresel hasarı azaltmada ve radyo koruyucu etkiler göstermede potansiyel olduğunu göstermiştir ancak, radyasyonun farklı türleri ve dozlarına karşı etkinliği değişebilir. Bu yüzden bu kapsamda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Ayrıca, elde edilen tüm verilere rağmen ZnO nanopartikülünün etki mekanizması ve bitkiler üzerinde herhangi bir radyo-koruyucu etkiye sahip olup olmadığı halen daha tartışma konusudur ve önceki çalışmalarda ortaya çıkan sonuçların birbirinden farklılığı göz önünde bulundurulduğunda elde edilen veriler tutarsızdır. Dolayısıyla bu kapsamda yapılan ve yapılacak olan her yeni çalışma, karmaşık bir doğaya ve etki mekanizmasına sahip olduğu düşünülen ZnO nanopartiküllerinin bilinmezliklerini çözme yolunda anahtar rolü üstlenebilir ve diğer çalışmalara yol gösterecek bir veri kaynağı olabilir.

ZnO nanopartikülünün bitkilerle olan etki mekanizmasına odaklanan ve radyo-koruyuculuğunu mercek altına almayı hedef alan diğer çalışmalar, ZnO nanopartiküllerinin morfolojik etkilerinin yanı sıra sitogenetik etkilerine ve antioksidan enzim değişimlerine dayalı incelemeler de yaparak ZnO nanopartiküllerinin daha geniş ve daha derin bir perspektiften ele alınmasını sağlayabilir.

Bitkide nanopartikül radyasyon kombine uygulamasının radyasyon hassasiyetini iyileştirmesi, bitki sağlığı ve tarım alanında potansiyel faydalar sağlayabilecek ilginç bir konudur çünkü radyo-koruyucu özelliğe sahip nanopartiküller sayesinde bitkiler olası radyasyon kaynaklarına maruz kalma durumunda daha az zarar görebilir ve radyasyon stresine karşı daha dayanıklı bir hale gelebilirler, nanopartiküllerin antioksidan özellikleri sayesinde radyasyon stresinden kaynaklı olarak açığa çıkan serbest radikaller nötralize edilebilir ve bitkinin strese karşı adaptif tepkiler geliştirmesi teşvik edilebilir, radyasyon hassasiyetinin azalması bitkilerin büyüme ve gelişmesini artırarak verimi yükseltmeye yardımcı olabilir ve radyasyonun bitkiler üzerindeki zararlı etkileri azaltılarak doğal çevrenin de korunmasına katkıda bulunabilir. Bu durum, uzayda bitki yetiştirme amacını güden çalışmalar için oldukça önemlidir.

Sonuç olarak, bitkide nanopartikül radyasyon kombine uygulamasının radyasyon hassasiyetini iyileştirmesi potansiyel avantajlar sunsa da, daha fazla araştırma yapılması ve çevre güvenliği açısından detaylı değerlendirmelerin yapılması önemlidir. Tarım ve bitki sağlığı alanında bu tür yenilikçi uygulamaların gelecekte önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Dolayısıyla ZnO nanopartikülü ve bitki etkileşimi temelli yapılacak her çalışma puzzle'ın eksik kalan kısımlarını tamamlamada önemli bir rol oynayacaktır.



## KAYNAKÇA

- Abdul-Baki, A., ve Anderson, J. (1973). Relationship Between Decarboxylation of Glutamic Acid and Vigor in Soybean Seed. Contribution From Agricultural Marketing Research Institute, Agricultural Research Service, USDA. <https://doi.org/10.2135/Cropsci1973.0011183x001300020023x>.
- Abdullah, WM, Suudi, ve HA, Shaaban. (2019). 40B 2 O 3 –30PbO–(30- x ) BaO- x ZnO cam sisteminin yapısal ve radyasyondan korunma özelliklerinin incelenmesi. *Uygulama fizik*, 125, 275. <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2574-0>.
- Abu Zeid, I. M., Mohamed, F. H., ve Metwali, E. M. R. (2023). Responses of two strawberry cultivars to NaCl-induced salt stress under the influence of ZnO nanoparticles. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(4), 103623. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103623>.
- Açıkgöz, N., İlker, E. ve Gökçöl. (2004). TOTEMSTAT Statistical Packet Program. *Assesment of Biological Research on the Computer*. Ege Üniv. ISBN:975-483-607-8 Bornova -İzmir.
- Agathokleous, E., Kitao, M., ve Calabrese, E. J. (2019). Hormesis: A Compelling Platform for Sophisticated Plant Science. *Trends in Plant Science*, 24(4), 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.01.004>.
- Akshatha, C. K. R., Somashekarappa, H. M., ve Souframanien, J. (2013). Effect of gamma irradiation on germination, growth, and biochemical parameters of Terminalia arjuna Roxb. *Radiation Protection and Environment*, 36, 38-44.
- Al-Buriahi, M. S., Bakhsh, E. M., Tonguc, B., ve Khan, S. B. (2020). Mechanical and radiation shielding properties of tellurite glasses doped with ZnO and NiO. *Ceramics International*, 46(11), Part B), 19078-19083. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.04.240>.

Al-Buriah, M.S., Hessien, M., Alresheedi, F., Al-Baradi, A.M., Alrowaili, Z.A., Kebaili, I., ve Olarinoye, I.O. (2022). ZnO–Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopowders: Fabrication, structural, optical, and radiation shielding properties. *Ceramics International*, 48(3), 3464-3472. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.10.124>.

Algüneş, Ç. (2002). *Radyasyon Biyofiziği*. 1. Basım. Edirne: Trakya Üniversitesi Yayınları No: 51, 59-62.

Allard., R., W., (1999). Principles of Plant Breeding, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved., Canada.

Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Avendaño-Arrazate, C. H., Corrales-Lerma, R., Villarreal-Guerrero, F., Santellano-Estrada, E., ve Gómez-Simuta, Y. (2019). Mean lethal dose (LD50) and growth reduction (GR50) due to gamma radiation in Wilman lovegrass (*Eragrostis superba*). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1), <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4327>.

Aly, AA., Eliwa, NE., Ahmed, T., ve Borik, ZM. (2023b). Physiological and biochemical markers of gamma irradiated white radish (*Raphanus Sativus*). *Int J Radiat Biol*. <https://doi.org/10.1080/09553002.2023.2>.

Aly, AA., Maraei, RW., Sharafeldin, RG., ve Safwat, G. (2023a). Yield traits of red radish seeds obtained from plants produced from  $\gamma$ -irradiated seeds and their oil characteristics. *Gesunde Pflanzen*. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00859-8>.

Aly, A. A., Safwat, G., Eliwa, N. E., Eltawil, A. H., ve El-Aziz, A. (2023). Changes in morphological traits, anatomical and molecular alterations caused by gamma-rays and zinc oxide nanoparticles in spinach (*Spinacia oleracea* L.) plant. *BioMetals*, 1-21.

ANP 2018 (2023, 28 Ağustos). Erişim adresi: [https://arastirma.tarimorman.gov.tr/cukurovataem/Menu/33/Soya\\_-\\_Danelik\\_-\\_Silajlik\\_](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/cukurovataem/Menu/33/Soya_-_Danelik_-_Silajlik_)

- Anselmo, AC., ve Mitragotri, S. (2019). Nanoparticles in the clinic: an update. *Bioeng Transl Med*, 4:e10143. <https://doi.org/10.1002/btm2.1014>.
- Arena, C., De Micco, V., Macaeva, E., ve Quintens, R. (2014). Space radiation effects on plant and mammalian cells. *ACTA ASTRONAUTICA*, 104(1), 419–431. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.05.005>.
- Arioğlu, HH. (2000). *Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı*. ukurova Üniv. Zir. Fak. Yayın No: 220, Adana.
- Arnon, D. (1949). Copper Enzymes In Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase In Beta Vulgaris. *Plant Physiol*, 24(1). PMID:16654194.
- Arslan, N. (2017). Radyasyonun biyolojik sistemler üzerindeki etkileri. *Nucl Med Semin* 2017;3:178-183. <https://doi.org/10.4274/nts.2017.019>.
- Aslinjensipriya, A., R. Sylvia, Reena., S. Grace, Infantiya., R. Ragu., ve S. Jerome Das (2022). Zn<sup>2+</sup> iyonlarının sol-jel stratejisi ile nikel oksit nanoparçacıklarının nano-yapısal, opto/maneyeto/elektriksel, antibakteriyel ve antifungal özellikleri üzerindeki değişiminin ortaya çıkarılması. *Journal of Solid State Chemistry*, 311, 123146. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2022.123146>.
- Ateş, M. (2018). Nanoparçacıkların lme ve inceleme teknikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, E-ISSN: 2146-0132, 11(1):63-69.
- Azzam, EI., Jay-Gerin, JP., ve Pain, D. (2012). İyonlaştırıcı radyasyonun neden olduğu metabolik oksidatif stres ve uzun süreli hücre hasarı. *Cancer letters*, 327(1-2), 48-60.
- Baazaou, N., Sghaier-Hammami, B., Hamam, S., Kefaa, J., Chaari, S., Elleuch, L., Messaoud, M., ve Abdelly, C. (2020). A Handbook Guide to Better Use of Nanoparticles in Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4), Pages 287-321. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1836198>.

- Baazaoui, N., Sghaier-Hammami, B., Hammami, S. B., Khefacha, R., Chaari, S., Elleuch, L., ve Abdelly, C. (2021). A handbook guide to better use of nanoparticles in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4), 287-321.
- Balci, H., Yildiz, M., Erdinc, C., ve Sensoy, S. (2022). Effects of Some Mutagens and Priming Applications on M4 Generation in Bean Mutation Breeding. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7, 157-168. <https://doi.org/10.52520/masjaps.216>.
- Banerjee, S., Islam, J., Mondal, S., Saha, A., Saha, B., ve Sen, A. (2023). Proactive attenuation of arsenic-stress by nano-priming: Zinc Oxide Nanoparticles in Vigna mungo (L.) Hepper trigger antioxidant defense response and reduce root-shoot arsenic translocation. *Journal of Hazardous Materials*, 446, 130735. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130735>.
- Bayhan, M., Özkan, R., Yorulmaz, L., Albayrak, Ö., ve Akıncı, C. (2022). Hızlı Islah Sisteminin Optimizasyonu: Bitki Yetiştirme Tekniklerinin Etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*.
- Bela, K., Riyazuddin, R., ve Csiszár, J. (2022). Plant glutathione peroxidases: non-heme peroxidases with large functional flexibility as a core component of ROS-processing mechanisms and signalling. *Antioxidants*, 11(8), 1624.
- Berkowitz, E. (2006). X-Ray Physics. *MIT Department of Physics*.
- Beyaz, R., ve MacAdam, J. W. (2023). X-radiation of Lotus corniculatus L. seeds improves germination and initial seedling growth. *International Journal of Radiation Biology*, 1-6.
- Bilge, E., Oraler, G., Gözükırmızı, N., Olgun, A., ve Topaktaş, M. (1981). Mutagenler Etkisinde Bırakılmış *Hordeum vulgare* L.'de Sitogenetik İncelemeler, İstanbul Üniversitesi, Fen Fak. Mec. Seri B; 46, 37-42.

Biyolojik etkiler, hücresel düzeydeki etkiler (1) (2023, 8 Ağustos). Erişim adresi: [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/dis\\_hekimligi/42/DHF\\_313\\_A-7%20Biyolojik%20etkiler,%20h%C3%BCcresel%20d%C3%BCzeydeki%20etkiler.docx](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/dis_hekimligi/42/DHF_313_A-7%20Biyolojik%20etkiler,%20h%C3%BCcresel%20d%C3%BCzeydeki%20etkiler.docx).

Blakeslee, A. F. (1936). Twenty-five years of genetics. *Brooklyn Botanical Garden Memoirs*, 4, 29-40.

Bordoloi, D., Sarma, D., ve Das, B. K. (2023). Comparative sensitivity and relative biological effectiveness of gamma-rays, X-rays and electron beams in aromatic Joha rice derived from different locations in Assam state. *Cereal Research Communications*, 1-15.

Caplin, N., ve Willey, N. (2018). Ionizing Radiation, Higher Plants, and Radioprotection: From Acute High Doses to Chronic Low Doses. *Frontiers in plant science*, 9, 847. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00847>.

Carrouel, F., Viennot, S., Ottolenghi, L., Gaillard, C., ve Bourgeois, D. (2020). Nanoparticles as anti-microbial, anti-inflammatory, and remineralizing agents in oral care cosmetics: a review of the current situation. *Nanomaterials*, 10:140. <https://doi.org/10.3390/nano10010140>.

Cervantes, G.A. (2016). Technical Fundamentals of Radiology and CT: IOP Publishing Ltd, 978-0-7503-1212-7.

Chen, K. I., Erh, M. H., Su, N. W., Liu, W. H., Chou, C. C., ve Cheng, K. C. (2012). Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. *Applied microbiology and biotechnology*, 96(1), 9–22. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4330-7>.

Chhipa, H. (2017). Nanofertilizers and Nanopesticides for Agriculture. *Environ Chem Lett* 15, 15–22. <https://doi.org/10.1007/S10311-016-0600-4>.

- Chikkanna, M.M., Neelagund, S.E., ve Rajashekarappa, K.K. (2018). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles (Zno Nps) and Their Biological Activity. *SN Applied Sciences*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0095-7>.
- Choudhary, A., Kumar, A. ve Kaur, N. (2020). ROS ve oksidatif patlama: Bitki gelişimindeki kökler. *Bitki Çeşitliliği*, 42(1), 33-43.
- Colon, J., Hsieh, N., Ferguson, A., Kupelian, P., Seal, S., Jenkins, D.W., ve Baker, C.H. (2010). Cerium oxide nanoparticles protect gastrointestinal epithelium from radiation-induced damage by reduction of reactive oxygen species and upregulation of superoxide dismutase 2. *Nanomedicine*, 6: 698 – 705.
- Crespo, C., Novelli, L., Wyngaard, N., Martínez, R. D., Barraco, M., Gudelj, V., Barbagelata, P., ve Barbieri, P. A. (2023). Optimizing resource productivity in soybean-based sequences through long-term crop intensification. *Field Crops Research*, 301, 109018. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2023.109018>.
- Çil, E. (2006). *Uv-c Işın Stresinin Sera Şartlarında Yetistirilen Fasulye (Phaseolus Vulgaris L. Cv. Atlanta) Üzerinde Bazı Morfolojik ve Fizyolojik Etkilerinin Araştırılması*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çimen, B., Erdoğan, M., ve Oğul, R. (2017). İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. *S.Ü. Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 43(2), 139-147.
- Çoban, H. (2003). Vegetatif Olarak Üretilen Bitkilerde Mutasyon Islahı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(31), 62-67.
- Çoşkun, M. (2013). *Fulleren nanopartiküllerinin radyasyona maruz bırakılan A549 insan akciğer epitel hücreleri üzerindeki koruyucu etkilerinin mikronükleus ve gH2AX fokus testleri kullanılarak araştırılması*. Yayınlanmış Doktora Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Dada, K. E., Animasaun, D. A., Mustapha, O. T., Bado, S., ve Foster, B. P. (2023). Radiosensitivity and biological effects of gamma and X-rays on germination and

seedling vigour of three Coffea arabica varieties. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(3), 1582-1591.

Dağhan, H. (2017). Nano Gübreler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(2):197-203. ISSN: 2148-2306 e-ISSN: 2528-858X <https://doi.org/10.19159/tutad.294991>.

Das, S., Neal, C. J., Ortiz, J., ve Seal, S. (2018). Engineered nanoceria cytoprotection in vivo: mitigation of reactive oxygen species and double-stranded DNA breakage due to radiation exposure. *Nanoscale*, 10(45), 21069-21075.

Daşdağ, S. (2010). İyonlaştırıcı Radyasyonlar ve Kanser. *Dicle Tıp Dergisi*, 3(2),177185.

Demirbilek, M. (2015). Tarımda ve Gıdada Nanoteknoloji. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi / Journal of Food and Feed Science-Technology*, 15:46-53. ISSN 1303-3107.

Demirel, F. (2020). Bitki ve Hayvan Biyoteknolojisi. *Hücrel Tarım ve Nano-Teknoloji*, 3(2):1-9, ISSN: 2636-8757, <https://doi.org/10.46876/ja.822503>.

Devipriya, N., Sudheer, A.R., Srinivasan, M., ve Menon, V.P. (2008). Quercetin Ameliorates Gamma Radiation-Induced DNA Damage and Biochemical Changes in Human Peripheral Blood Lymphocytes. *Mutation Research*, 654: 1 – 7.

Doğaroğlu, Z. G., ve N. Köleli. (2017). TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Clean- Soil, Air, Water*, 45(11):1700096. <https://doi.org/10.1002/clen.201700096>.

Donini, B. (1982). Mutagenesis Applied to Improve Fruit Trees. Induced Mutations in Vegetatively Propagated Plants. II. Panel Proceedings Series, 29-35.

Dowlath, M., Karuppannan, S., Sinha, P., Dowlath, N., Arunachalam, K., Ravindran, B., Chang, S., Nguyen-Tri, P., ve Nguyen, D. (2021). Effects of Radiation and Role of Plants in Radioprotection: A Critical Review. *Science of The Total Environment*, Volume 779, 20 July 2021, 146431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146431>.

- Drahansky, M., Paridah, M., Moradbak, A., Mohamed, A., Owolabi, F. A. T., Asniza, M., ve Abdul-Khalid, S. H. (2016). Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. *Basic and Translational Research Driving Seed Technology*, <https://doi.org/10.5772/64420>.
- Du, J., Zhang, P., Cheng, Y., Liu, R., Liu, H., Gao, F., ve Liu, C. (2020). General principles of developing novel radioprotective agents for nuclear emergency. *Radiation Medicine and Protection*, *1*(03), 120-126.
- Duarte, G. T., Volkova, P. Y., Fiengo Perez, F., ve Horemans, N. (2023). Chronic Ionizing Radiation of Plants: An Evolutionary Factor from Direct Damage to Non-Target Effects. *Plants*, *12*(5), 1178.
- Duarte-Sierra, A., Tiznado-Hernández, M. E., Jha, D. K., Janmeja, N., ve Arul, J. (2020). Abiotic stress hormesis: An approach to maintain quality, extend storability, and enhance phytochemicals on fresh produce during postharvest. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(6), 3659–3682. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12628>.
- Duhan, J., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., ve Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The New Perspective in Precision Agriculture. *Biotechnology Reports*, Volume 15, September 2017, Pages 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>.
- El-Beltagi, HS., Maraei, RW., Shalaby, TA., ve Aly, AA. (2022). Metabolites, nutritional quality and antioxidant activity of red radish roots affected by gamma rays. *Agronomy*, *12*:1916. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081916>.
- Erofeeva, E. A. (2021). Plant hormesis and Shelford's tolerance law curve. *Journal of Forestry Research*, *32*(5), 1789–1802. <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01312-0>.
- Erofeeva, E. A. (2022). Environmental hormesis of non-specific and specific adaptive mechanisms in plants. *Science of The Total Environment*, *804*, 150059. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.150059>.



- Eskalen, H., Kavun, Y., ve Kavgacı, M. (2023). Preparation and study of radiation shielding features of ZnO nanoparticle reinforced borate glasses. *Applied Radiation and Isotopes*, 198, 110858. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110858>.
- Esnault, M., Legue, F., ve Chenal, C. (2010). Ionizing Radiation: Advances in Plant Response. *Environmental and Experimental Botany*, Volume 68, Issue 3, May 2010, Pages 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.01.007>.
- Faizan, M., Faraz, A., Mir, AR., ve Hayat, S. (2020). Role of zinc oxide nanoparticles in countering negative effects generated by cadmium in *Lycopersicon esculentum*. *J Plant Growth Regul*, 40:101–115. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10059-2>.
- Falk, J., ve Munné-Bosch, S. (2010). Tocochromanol functions in plants: antioxidation and beyond. *Journal of experimental botany*, 61(6), 1549-1566.
- Fincheira, P., Tortella, G., Duran, N., Seabra, AB., ve Rubilar, O. (2020). Current Applications of Nanotechnology to Develop Plant Growth Inducer Agents as an Innovation Strategy. *Crit Rev Biotechnol*. 2020 Feb; 40(1):15-30. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1681931>. Epub 2019 Oct 28. PMID: 31658818.
- Fincheira, P., Tortella, G., Duran, N., Seabra, AB., ve Rubilar, O. (2020). Current Applications of Nanotechnology to Develop Plant Growth Inducer Agents as an Innovation Strategy. *Crit Rev Biotechnol*. 2020 Feb; 40(1):15-30. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1681931>. Epub 2019 Oct 28. PMID: 31658818.
- Foray, N., Bourguignon, M., ve Hamada, N. (2016). Individual response to ionizing radiation. *Mutation research. Reviews in mutation research*, 770(Pt B), 369–386. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.09.001>.
- Gauga, A., Hari, S. K., Ramamoorthy, V., Vellasamy, S., Govindan, G., ve Valan Arasu, M. (2023). The versatility of green synthesized zinc oxide nanoparticles in sustainable agriculture: A review on metal-microbe interaction that rewards agriculture.

*Physiological and Molecular Plant Pathology*, 125, 102023.  
<https://doi.org/10.1016/J.PMPP.2023.102023>.

Gaul, H. (1977). Mutagen Effect in The First Generation After Seed Treatment. *Manual on Mutation Breeding Second Ed. Technical Reports*. Series 119, IAEA Vienna 87-95.

Geigenberger, P., Thormählen, I., Daloso, D. M., ve Fernie, A. R. (2017). The unprecedented versatility of the plant thioredoxin system. *Trends in plant science*, 22(3), 249-262.

Ghasemi-Soloklui, A. A., Kordrostami, M., ve Karimi, R. (2023). Determination of optimum dose based of biological responses of lethal dose (LD25, 50, 75) and growth reduction (GR25, 50, 75) in ‘Yaghouti’ grape due to gamma radiation. *Scientific Reports*, 13(1), 2713.

Ghouri, F., Shahid, M. J., Liu, J., Lai, M., Sun, L., Wu, J., Liu, X., Ali, S., ve Shahid, M. Q. (2023). Polyploidy and zinc oxide nanoparticles alleviated Cd toxicity in rice by modulating oxidative stress and expression levels of sucrose and metal-transporter genes. *Journal of Hazardous Materials*, 448, 130991.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130991>.

Gilbertson, L. M., Pourzahedi, L., Laughton, S., Gao, X., Zimmerman, J. B., Theis, T. L., Westerhoff, P., ve Lowry, G. V. (2020). Guiding the design space for nanotechnology to advance sustainable crop production. *Nature Nanotechnology* 2020 15:9, 15(9), 801–810. <https://doi.org/10.1038/s41565-020-0706-5>.

Giri, V. P., ve Kumari, M. (2023). Microbial Approaches in Fabrication of Nanoscale Materials Effectively Enhance the Antimicrobial and Crop Protection Potential-A Review. *Plant Nano Biology*, 100027.

Godínez-Mendoza, P. L., Rico-Chávez, A. K., Ferrusquía-Jimenez, N. I., Carbajal-Valenzuela, I. A., Villagómez-Aranda, A. L., Torres-Pacheco, I., ve Guevara-González, R. G. (2023). Plant hormesis: Revising of the concepts of biostimulation, elicitation and their application in a sustainable agricultural production. *Science of*

*The Total Environment*, 894, 164883.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164883>.

Golbitz, P. (2004). *Soya & Oilseed Bluebook 2004*. Soyatech, Inc., Bar Harbor, ME.

Gu, Z., Biswas, A., Zhao, M., ve Tang, Y. (2011). Tailoring Nanocarriers for Intracellular Protein Delivery. *Chemical Society Reviews*, Issue 7.

Gudkov, S. V., Grinberg, M. A., Sukhov, V., ve Vodeneev, V. (2019). Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 202, 8–24.  
<https://doi.org/10.1016/J.JENVRAD.2019.02.001>.

Hamed, NA, Salah, M., Ahmed, MF ve Shoala, T. (2019). Ekşi Portakal Fidesinde Radyasyon ve PVP/ Zn-Nanopartiküllerin Fizyolojik Değerlendirmesi. *Asya Tarım ve Bahçivanlık Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 1–18. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2019/v4i430033>.

Hòe, P., Linh, T., Vàn, N., Buru, N., Mai, N., Liên, L., Bân, N., Hiên, L., ve Châu, N. (2018). A Study on the Effect of Nano Zinc Oxide and Nano Cobalt on Germination Process in Soybean (*Glycane Max (L.) Merr*) Seeds. *Journal of Biotechnology*, 16(3): 501–508.

Hong, M. J., et al. (2022). Biological effect of gamma rays according to exposure time on germination and plant growth in wheat. *Applied Sciences*, 12, 3208.

Hosoda, M., Nugraha, E. D., Akata, N., Yamada, R., Tamakuma, Y., Sasaki, M., ve Tokonami, S. (2021). A unique high natural background radiation area–Dose assessment and perspectives. *Science of The Total Environment*, 750, 142346.

Hoşoya, N. ve Miyagawa, K. (2014). Kanser tedavisinde DNA hasar yanıtını hedefleme. *Kanser bilimi*, 105 (4), 370-388.

- Hu, C., Wong, W. T., Wu, R., ve Lai, W. F. (2020). Biochemistry and use of soybean isoflavones in functional food development. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(12), 2098–2112. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1630598>.
- Hu, J., ve Xianyu, Y. (2021). When Nano Meets Plants: A Review on The Interplay Between Nanoparticles and Plants. *Nanotoday*. Volume 38, June 2021, 101143. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101143>.
- Hunter, R.J., ve Preedy, V.R. (2011). Nanomedicine in Health and Disease: 101 – 103, 214.
- Husen, A., ve Siddiqi, K.S. (2014). Phytosynthesis Of Nanoparticles: Concept, Controversy and Application. *Nanoscale Res Lett*. 9, 229. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-229>.
- Jaipo, N., Kosiwikul, M., Panpuang, N., ve Prakrajang, K. (2019). Low dose gamma radiation effects on seed germination and seedling growth of cucumber and okra. *Journal of Physics: Conference Series*, 1380, 012106.
- Janmohammadi, M., Amanzadeh, T., Sabaghnia, N., ve Dashti, S. (2016). Impact of Foliar Application of Nano Micronutrient Fertilizers and Titanium Dioxide Nanoparticles on the Growth and Yield Components of Barley Under Supplemental Irrigation. *Acta Agriculturae Slovenica*, 107(2):265. <https://doi.org/10.14720/aas.2016.107.2.01>.
- Jaroniec, M., Fotopoulos, V., Rastogi, A., Azmal Ali, S., Mittal, D., Kaur, G., Singh, P., ve Yadav, K. (2020). Nanoparticle-Based Sustainable Agriculture and Food Science: Recent Advances and Future Outlook. *Front. Nanotechnol*, 2, 579954. <https://doi.org/10.3389/fnano.2020.579954>.
- Jiang, J., Pi, J., ve Cai, J. (2018). The Advancing of Zinc Oxide Nanoparticlesf Biomedical Applications. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, Vol. 2018, Article ID 1062562, 18 Pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1062562>.
- Juzenas, P., Chen, W., Sun, Ya-Ping., Coelho, Manuel., Generalov, R., Generalova, N., ve Christensen, I. (2008). Quantum Dots and Nanoparticles for Photodynamic and

Radiation Therapies of Cancer. *Advanced Drug Delivery Reviews*. Volume 60, Issue 15, Pages 1600-1614. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2008.08.004>.

Kacar, B. ve İnal, A. (2008). *Bitki Analizleri*. Nobel Yayınları, ISBN 978-605-395-0363.

Kalal, P., ve Jajoo, A. (2021). Priming with Zinc Oxide Nanoparticles Improve Germination and Photosynthetic Performance In Wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, Volume 160, March 2021, Pages 341-351. <https://doi.org/10.1016/J.Plaphy.2021.01.032>.

Karami, M., Asri-Rezaei, S., Dormanesh, B., ve Nazarizadeh, A. (2018). Comparative Study Of Radioprotective Effects Of Selenium Nanoparticles And Sodium Selenite In Irradiation-Induced Nephropathy of Mice Model. *International Journal of Radiation Biology*, 94, 17–2.

Karami, M., Asri-Rezaei, S., Dormanesh, B., ve Nazarizadeh, A. (2018). Comparative Study Of Radioprotective Effects Of Selenium Nanoparticles And Sodium Selenite In Irradiation-Induced Nephropathy of Mice Model. *International Journal of Radiation Biology*, 94, 17–2.

Karasu, A., Öz, M., ve Göksoy, A. (2002). Bazı Soya Fasulyesi [*Glycine max* (L.) Merrill] Çeşitlerinin Bursa Koşullarına Adaptasyonu Konusunda Bir Çalışma. *Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 16(2):25-34.

Khan, M. N., Fu, C., Li, J., Tao, Y., Li, Y., Hu, J., Chen, L., Khan, Z., Wu, H., ve Li, Z. (2023). Seed nanoprimering: How do nanomaterials improve seed tolerance to salinity and drought? *Chemosphere*, 310, 136911. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.136911>.

Khan, M., Mobin, M., Abbas, Z., AlMutairi, K., ve Siddiqui, Z. (2017). Role of Nanomaterials In Plants Under Challenging Environments. *Plant Physiology and Biochemistry*, Volume 110, January 2017, Pages 194-209. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.038>.

- Kılınç, A., ve Arıoğlu, H. (2018). İkinci Ürün Soya Tarımında Farklı Dozlarda Uygulanan Azotlu Gübrenin Verim ve Bazı Tarımsal Özelliklere Etkisi. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(1).
- Kiani, D., Borzouei, A., Ramezanzpour, S., Soltanloo, H., ve Saadati, S. (2022). Application of gamma irradiation on morphological, biochemical, and molecular aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different seed moisture contents. *Scientific Reports*, 12, 11082.
- Kordyum, E., ve Hasenstein, H. (2021). Plant Biology for Space Exploration – Building on The Past, Preparing for The Future. *Life Sciences in Space Research*, Volume 29, Pages 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2021.01.003>.
- Korsvik, C., Patil, S., Seal, S., ve Self, W. T. (2007). Superoxide dismutase mimetic properties exhibited by vacancy engineered ceria nanoparticles. *Chemical communications*, (10), 1056-1058.
- Kovács, E., ve Keresztes, Á. (2002). Effect of Gamma and UV-B/C Radiation on Plant Cells. *Micron*, 33(2), 199-210. [https://doi.org/10.1016/S0968-4328\(01\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0968-4328(01)00012-9).
- Kökpınar, Ş., Kantoğlu, K. Y., ve Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2021). Bitkilerde mutagen uygulamaları ile genetik çeşitliliğin artırılması ve sebze ıslahında kullanımı. *Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler – I*, 341-362.
- Kökten, K., Boydak, E., Kaplan, M., Seydoşoğlu, S., ve Kavurmacı, Z. (2013). Bazı Soya Fasulyesi (*Glycine max* L.) Çeşitlerinden Yapılan Silajların Besin Değerlerinin Belirlenmesi. *Tr. Doğa ve Fen Derg*, 2(2), 7-10.
- Krane, K.S. (1987). *Introductory Nuclear Physics*, Wiley, 3rd Edition.
- Kreuter, J. (2007). Nanoparticles—A Historical Perspective. *International Journal of Pharmaceutics*, Volume 331, Issue 1, 22 February 2007, Pages 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2006.10.021>.
- Kumar, P., ve Pandey, A. K. (2019). The Biological Effects Of Radiation. *Diagnostic Radiology: Advances in Imaging Technology*.

- Kumar, S., Patra, A., Datta, S., Rosin, K.G., ve Purakaastha, T. (2015). Phytotoxicity of Nanoparticles to Seed Germination of Plants. *International Journal of Advanced Research*, 3(3):854-865.
- Kunter, B., Baş, M., Kantoğlu, Y., ve Burak, M. (2012). Mutation breeding of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Mutation Breeding and Biotechnology*, (pp. 453-459).
- Küçükataban, F., Çoban, M., Çiçek, S., ve Yazıcı, L. (2016). İpek 607 Pamuk (*G. hirsutum* L.) Çeşidinde Farklı Gama Işını (Cobalt 60) Dozlarının M2 Popülasyonunda Lif Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (ÖZEL SAYI-2), 106–111. <https://doi.org/10.21566/TARBITDERG.281867>.
- Le Caër, S. (2011). Water Radiolysis: Influence of Oxide Surfaces on H<sub>2</sub> Production under Ionizing Radiation. *Water*, 3, 235–253.
- Leopold, L. F., Coman, C., Clapa, D., Oprea, I., Toma, A., Iancu, Ş. D., Barbu-Tudoran, L., Suci, M., Ciorîță, A., Cadiş, A. I., Mureşan, L. E., Perhaița, I. M., Copolovici, L., Copolovici, D. M., Copaciu, F., Leopold, N., Vodnar, D. C., ve Coman, V. (2022). The effect of 100–200 nm ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the in vitro-grown soybean plants. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 216, 112536. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112536>.
- Lin, W., Shu, L., Zhong, W., Lu, W., Ma, D., ve Meng, Y. (2023). Online classification of soybean seeds based on deep learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123, 106434. <https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAL.2023.106434>.
- Litvinov, S., ve Rashydov, N. (2017). The Transcriptional Response of *Arabidopsis thaliana* L. Genes AtKu70, AtRAD51 and AtRad1 to X-Ray Radiation. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7, 52–60. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2017.01.008>.
- López-Moreno, M. L., G. De La Rosa, J. A. Hernández-Viezcas, H. Castillo-Michel, C. E. Botez, J. R. Peralta-Videa, ve J. L. Gardea-Torresdey (2010). Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO<sub>2</sub> nanoparticles on

soybean (*Glycine max*) plants. *Environmental Science & Technology*, 44(19):7315–20. doi:10.1021/es903891g.

Ludovici, G., de Souza, S., Chierici, A., Cascone, M., d’Errico, F., ve Malizia, A. (2020). Adaptation to Ionizing Radiation of Higher Plants: From Environmental Radioactivity to Chernobyl Disaster. *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 222, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106375>.

Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, R., ve Ali, H. (2018). Gamma irradiation i: effect on germination and general growth characteristics of plants-a review. *Pak. J. Bot*, 50(6), 2449–2453.

Markovic, Z., Trajkovic, V. (2008). Review: Biomedical potential of the reactive oxygen species generation and quenching by fullerenes (C60). *Biomaterials*, 29: 1 – 13.

Martey, E., ve Goldsmith, P. (2020). Heterogeneous demand for soybean quality *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 15, issue 1.

McColl, N., Auvinen, A., Kesminiene, A., Espina, C., Erdmann, F., de Vries, E., ve Schüz, J. (2015). Avrupa Kansere Karşı Kodu 4. Baskı: İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon ve kanser. *Kanser epidemiyolojisi*, 39, S93-S100.

Mishra, K., ve Alsbeih, G. (2017). Appraisal of biochemical classes of radioprotectors: evidence, current status and guidelines for future development. *3 Biotech*, 7(5), 292.

Modi, S., Yadav, V. K., Choudhary, N., Alswieleh, A. M., Sharma, A. K., Bhardwaj, A. K., Khan, S. H., Yadav, K. K., Cheon, J.-K., ve Jeon, B.H. (2022). Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Soğan Kabağı Atığı Aracılı-Yeşil Sentezi ve Bunların Maş Fasulyesi ve Buğday Bitkisi Büyümesi Üzerindeki Fitotoksitesisi. *Materyaller*, 15(7), 2393. <https://doi.org/10.3390/ma15072393>.

Mohamed, E., Harbi, H., ve Aref, N. (2019). Radioprotective Efficacy Of Zinc Oxide Nanoparticles On  $\Gamma$ -Ray-Induced Nuclear DNA Damage In *Vicia Faba* L. As Evaluated By DNA Bioassays. *Journal Of Radiation Research And Applied Sciences*,



- Mohamed, E., Harbi, H., ve Aref, N. (2019). Radioprotective Efficacy Of Zinc Oxide Nanoparticles On  $\Gamma$ -Ray-Induced Nuclear DNA Damage In *Vicia Faba* L. As Evaluated By DNA Bioassays. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 12(1), 423-436.
- Mohasseli, V., Farbood, F., ve Moradi, A. (2020). Antioxidant Defense and Metabolic Responses of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) to Fe-Nano-Particles Under Reduced Irrigation Regimes. *Industrial Crops and Products*, 149, 112338.
- Muhammad, I., et al. (2021). Determination of lethal (LD) and growth reduction (GR) doses on acute and chronic gamma-irradiated Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.] varieties. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 14, 133-145.
- Mukherjee, A., Peralta-Videa, J. R., Bandyopadhyay, S., Rico, C. M., Zhao, L., ve Gardea-Torresdey, J. L. (2014). Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil. *Metallomics*, 6(1), 132-138. <https://doi.org/10.1039/c3mt00064h>.
- Nair, R., Varghese, S., Nair, B., Maekawa, T., Yoshida, Y., ve Kumar, D. (2010). Nanoparticulate Material Delivery to Plants. *Plant Science*, Volume 179, Issue 3, September 2010, Pages 154-163. <https://doi.org/10.1016/J.Plantsci.2010.04.012>.
- Naseer, I., Javad, S., Iqbal, S., Shah, A. A., Alwutayd, K., ve AbdElgawad, H. (2023). Deciphering the role of zinc oxide nanoparticles on physiochemical attributes of *Zea mays* exposed to saline conditions through modulation in antioxidant enzyme defensive system. *South African Journal of Botany*, 160, 469-482. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.07.035>.
- Nayantara ve Kaur, P. (2018). Biosynthesis of Nanoparticles Using Eco-Friendly Factories and Their Role in Plant Pathogenicity: A Review. *Biotechnology Research and Innovation*, 2(1), Pages 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2018.09.003>.

- Newman, M. D., Stotland, M., ve Ellis, J. I. (2009). Titanyum Dioksit ve Çinko Oksit Bazlı Güneş Kremlerinde Nano Boyutlu Parçacıkların Güvenliği. *Journal of The American Academy of Dermatology*, 61(4), 685-692.
- Nguyen, D. T. C., Le, H. T. N., Nguyen, T. T., Nguyen, T. T. T., Bach, L. G., Nguyen, T. D., ve Tran, T. V. (2021). Multifunctional ZnO nanoparticles bio-fabricated from *Canna indica* L. flowers for seed germination, adsorption, and photocatalytic degradation of organic dyes. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126586. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126586>.
- Nurmansyah, S., Alghamdi, S., Hussein, M., ve Farooq, M. M. (2018). Morphological and Chromosomal Abnormalities In Gamma Radiation-Induced Mutagenized Faba Bean Genotypes. *International Journal of Radiation Biology*, 94, 174–185.
- Oğuz, K. F. (2019). Yaşamımızdaki radyasyon. *Ad-HOC*. 1(7), s. 90-93.
- Ormanoğlu, N., Emekci, M., ve Ferizli, A. (2020). Böceklerle Mücadelede Nanoteknoloji. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Agricultural Faculty Of Bursa Uludag University*, 35(1), S. 181-202. E-Issn 2651-4044.
- Ortiz-Casas, B., Galdámez-Martínez, A., Gutiérrez-Flores, J., Baca Ibañez, A., Panda, P.K., Santana, G., Astudillo de la Vega, H., Suar, M., Gutiérrez Rodelo, C., Kaushik, A., Mishra, Y.K., ve Dutt, A. (2021). Bio-acceptable 0D and 1D ZnO nanostructures for cancer diagnostics and treatment. *Materials Today*, 50, 533-569. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.07.025>.
- Özalpan, A., (2001). *Temel Radyobiyojoloji*. 1. Basım. İstanbul: Haliç Üniversitesi Yayınları.
- Özcan, M. (2022). *Ürün Raporu Soya*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. TEPGE, Ankara,
- Pascale, S., Arena, C., Aronne, G., Micco, V., Pannico, A., Paradiso, R., ve Roupheal, Y. (2021). Biology and Crop Production in Space Environments: Challenges and Opportunities. *Life Sciences in Space Research*, Volume 29, Pages 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2021.02.005>.

- Patel, P., Narayanaswamy, G., Kataria, S., ve Baghel, L. (2017). Involvement Of Nitric Oxide In Enhanced Germination and Seedling Growth Of Magnetoprimed Maize Seeds. *Plant Signaling & Behavior*, 12(12). <https://doi.org/10.1080/15592324.2017.1293217>.
- Pirmohamed, T., Dowding, J. M., Singh, S., Wasserman, B., Heckert, E., Karakoti, A. S., ve Self, W. T. (2010). Nanoceria exhibit redox state-dependent catalase mimetic activity. *Chemical communications*, 46(16), 2736-2738.
- Praetorius, N., ve Mandal, T. (2007). Engineered Nanoparticles in Cancer Therapy. *Recent Patents on Drug Delivery & Formulation*. 1(1), 37-51.
- Prakash, M., ve Chung, I. (2016). Determination of Zinc Oxide Nanoparticles Toxicity In Root Growth in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. *Acta Biol Hung*, Sep; 67(3):286-96. <https://doi.org/10.1556/018.67.2016.3.6>.
- Prakash, V., Rai, P., Sharma, N., Singh, V., Tripathi, D., Sharma, S., ve Sahi, S. (2022). Application of zinc oxide nanoparticles as fertilizer boosts growth in rice plant and alleviates chromium stress by regulating genes involved in oxidative stress. *Chemosphere*, Volume 303, Part 1, 2022,134554, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134554>.
- Prasad, N.R., Menon, V.P., Vasudev, V., ve Pugalendi, K.V. (2005). Radioprotective Effect of Sesamol on  $\gamma$ -Radiation Induced DNA Damage, Lipid Peroxidation and Antioxidants Levels in Cultured Human Lymphocytes. *Toxicology*, 209: 225 – 235.
- Prasad, TNVKV., Sushakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R., ve Praadeep, T. (2012). Effect of Nanoscale Zinc Oxide Particles on the Germination, Growth and Yield of Peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35(6), Pages 905-927. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443>.
- Priyadarsini, K.I. (1997). Free radical reactions of curcumin in membrane models. *FreeRadical Biol Med*, 1997(23): 838 – 843.
- Purcell, L., Salmeron, M., ve Ashlock, L. (2014). Soybean growth and development. *Arkansas Soybean Production Handbook*, Chapter 2.

- Puripunyanich, V., Tamman, A., Orpong, P., Picha, R., Limtiyayothin, M., Wonghabut, P., Sangwang, W., Nilgumhang, K., ve Promping, J. (2021). Effects of Plasma Focus on Seed Germination and Seedling Growth of 14 Thai Rice Varieties. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 18(14), Article 12051 (11 pages). <https://doi.org/10.48048/wjst.2021.12051>.
- Qiu, J., Chen, Y., Liu, Z., Wen, H., Jiang, N., Shi, H., ve Kou, Y. (2023). The application of zinc oxide nanoparticles: An effective strategy to protect rice from rice blast and abiotic stresses. *Environmental Pollution*, 331 (Part 1), 121925. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121925>.
- Raddy, R., Salimath, M., Geetha, K., ve Shankar, A. (2018). ZnO nanoparticle improves maize growth, yield and seed zinc under high soil pH condition. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 7, 1593-1601.
- Rageh, M., ve El-Gebaly, R. (2018). Melanin Nanoparticles: Antioxidant Activities and Effects on  $\Gamma$ -Ray-Induced DNA Damage in the Mouse. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, Volume 828, April 2018, Pages 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2018.01.009>.
- Rahmani, F., Peymani, A., Daneshvand, E., ve Biparva, P. (2016). Impact of zinc oxide and copper oxide nano-particles on physiological and molecular processes in Brassica napus. *Indian J Plant Physiol*, 21(2):122–128. <https://doi.org/10.1007/s40502-016-0212-9>.
- Raja, K., Sowmya, R., Ra, S., Moorthy, P., Govindaraju, K., ve Subramanian, K.S. (2018). Biogenic ZnO and Cu Nanoparticles to Improve Seed Germination Quality in Blackgram (Vigna mungo). *Materials Letters*, 235, 164-167. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.10.038>.
- Rajput, V. D., Minkina, T., Kumari, A., Harish Singh, V. K., Verma, K. K., Mandzhieva, S., Sushkova, S., Srivastava, S., ve Keswani, C. (2021). Coping with the challenges of abiotic stress in plants: new dimensions in the field application of nanoparticles. *Plants*, 10, 1221. <https://doi.org/10.3390/plants10061221>.

- Raliya, R., ve Tarafdar, J. C. (2013). ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agricultural Research*, 2(1), 48-57. doi:10.1007/s40003-012-0049-z.
- Ramzan, M., Naveed, N., Ahmed, M. Z., Ashraf, H., Shah, A. A., Jamil, M., Ahmad, Z., Casini, R., ve Elansary, H. O. (2023). Supplementation of Moringa based zinc oxide nanoparticles mitigates salt stress in *Celosia argentea* through reduced chloride (Cl<sup>-</sup>) uptake and modulation in physiochemical attributes. *South African Journal of Botany*, 157, 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.04.026>.
- Ramzan, M., Naz, G., Shah, A. A., Parveen, M., Jamil, M., Gill, S., ve Sharif, H. M. A. (2023). Synthesis of phytostabilized zinc oxide nanoparticles and their effects on physiological and anti-oxidative responses of *Zea mays* (L.) under chromium stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.015>.
- Rashad, M., Tekin, H., Zakaly, H. M., Pyshkina, M., Issa, S. A., ve Susoy, G., (2020). Physical and nuclear shielding properties of newly synthesized magnesium oxide and zinc oxide nanoparticles. *Nuclear Engineering and Technology*, vol.52, 2078-2084.
- Rasmussen, J., Martinez, E., Louka, P., ve Wingett, D. (2010). Zinc Oxide Nanoparticles for Selective Destruction of Tumor Cells and Potential for Drug Delivery Applications. *Expert Opinion on Drug Delivery*, Volume 7, Issue 9 Pages 1063-1077. <https://doi.org/10.1517/17425247.2010.502560>.
- Rehman, S., Weng, J., Li, P., Shah, I. H., Rahman, S. U., Khalid, M., Manzoor, M. A., Chang, L., ve Niu, Q. (2023). Green synthesized zinc oxide nanoparticles confer drought tolerance in melon (*Cucumis melo* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 212, 105384. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105384>.
- Reisz, J. A., Bansal, N., Qian, J., Zhao, W., ve Furdui, C. M. (2014). Effects of Ionizing Radiation On Biological Molecules-Mechanisms Of Damage and Emerging Methods of Detection. *Antioxid Redox Signal*, 21, 260–292.

- Rezk, A. A., Al-Khayri, J. M., Al-Bahrany, A. M., El-Beltagi, H. S., ve Mohamed, H. I. (2019). X-ray irradiation changes germination and biochemical analysis of two genotypes of okra (*Hibiscus esculentus* L.). *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 12(1), 393-402.
- Rukhsar-Ul-Haq, Kausar, A., Hussain, S., Javed, T., Zafar, S., Anwar, S., Hussain, S., Zahra, N., ve Saqib, M. (2023). Zinc oxide nanoparticles as potential hallmarks for enhancing drought stress tolerance in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 195, 341-350. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.014>.
- Sabir, S., Arshad, M., ve Chaudhari, S. (2014). Zinc Oxide Nanoparticles for Revolutionizing Agriculture: Synthesis and Applications. *The Scientific World Journal*, Volume 2014 |Article ID 925494. <https://doi.org/10.1155/2014/925494>.
- Sadiq, M., Akram, N.A., Ashraf, M., Al-Qurainy, F. ve Ahmad, P. (2019). Alpha-Tocopherol-Induced Regulation of Growth and Metabolism in Plants Under Non-stress and Stress Conditions. *J. Plant Growth Regul*, 38, 1325–1340.
- Santos-Rasera, J. R., Monteiro, R. T. R., ve Carvalho, H. W. P. (2022). Daphnia magna'da ZnO nanoparçacıklarının akut toksisitesinin, birikiminin ve depurasyonunun araştırılması. *Toplam Çevre Bilimi*, 821, 153307. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153307>.
- Seleiman, M. F., Ahmad, A., Battaglia, M. L., Bilal, H. M., Alhammad, B. A., ve Khan, N. (2023). Zinc oxide nanoparticles: A unique saline stress mitigator with the potential to increase future crop production. *South African Journal of Botany*, 159, 208-218. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.009>.
- Servin, A. D., Morales, M. I., Castillo-Michel, H., Hernandez-Viezcas, J. A., Munoz, B., Zhao, L., Nunez, J. E., Peralta-Videa, J. R., ve Gardea-Torresdey, J. L. (2013). Synchrotron verification of TiO<sub>2</sub> accumulation in cucumber fruit: A possible pathway of TiO<sub>2</sub> nanoparticle transfer from soil into the food chain. *Environmental Science & Technology*, 47(20), 11592-11598. <https://doi.org/10.1021/es403368j>.

- Shafiq, F., Iqbal, M., Ali, M., ve Ashraf, M. A. (2019). Seed pre-treatment with polyhydroxy fullerene nanoparticles confer salt tolerance in wheat through upregulation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> neutralizing enzymes and phosphorus uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 734-742.
- Shang, Y., Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., ve Zhou, J. (2019). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. *Molecules*, 24(14), 2558.
- Sharma, A., Kumar, S., ve Singh, R. (2023). Formulation of Zinc oxide/Gum acacia nanocomposite as a novel slow-release fertilizer for enhancing Zn uptake and growth performance of *Spinacia oleracea* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 201, 107884. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107884>.
- Sharma, B., Tiwari, S., Kumawat, K. C., ve Cardinale, M. (2023). Nano-biyo gübreler: Potansiyel ve sınırlamaları olarak biyolojik olarak ortaya çıkan stratejiler için sürdürülebilir tarım gelişimi. *Toplam evre Bilimi*, 860, 160476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.160476>.
- Shende, S., Rajput, V., Gade, A., Minkina, T., Sushkova, SN., Mandzhieva, SS., ve Boldyreva, VE. (2021). Metal-based green synthesized nanoparticles: Boon for sustainable agriculture and food security. *IEEE TransNanoBiosci*, 21(1):44–54. <https://doi.org/10.1109/TNB.2021.3089773>.
- Siddiqi, K. S., ve Husen, A. (2017). Plant Response to Engineered Metal Oxide Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*, 12, 92.
- Sindhura, K. S., Prasad, T. N. V. K. V., Selvam, P. P., ve Hussain, O. M. (2014). Synthesis, characterization and evaluation of effect of phytogenic zinc nanoparticles on soil exo-enzymes. *Applied Nanoscience*, 4(7), 819-827. <https://doi.org/10.1007/s13204-013-0263-4>.
- Singh, A., Singh, N.B., Afzal, S., Singh, T., ve Hussain, I. (2018). Zinc Oxide Nanoparticles: A Review of Their Biological Synthesis, Antimicrobial Activity, Uptake,

Translocation and Biotransformation in Plants. *Journal of Materials Science*, 53, 185-201.

Singh, A., Tiwari, S., Pandey, J., Lata, C., ve Singh, I. (2021). Role of Nanoparticles in Crop Improvement and Abiotic Stress Management. *Journal of Biotechnology*, Volume 337, 20 August 2021, Pages 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.06.022>.

Singh, D., ve Gurjar, B. R. (2022). Nanotechnology for agricultural applications: Facts, issues, knowledge gaps, and challenges in environmental risk assessment. *Journal of Environmental Management*, 322, 116033. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116033>.

Song, U., ve Lee, S. (2016). Phytotoxicity and accumulation of zinc oxide nanoparticles on the aquatic plants *Hydrilla verticillata* and *Phragmites Australis*: Leaf-type-dependent responses. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(9). <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5982-5>.

Song, W., Sun, S., Wu, T., Yang, R., Tian, S., Xu, C., Jiang, B., Yuan, S., Hou, W., Wu, C., ve Han, T. (2023). Geographic distributions and the regionalization of soybean seed compositions across China. *Food Research International*, 164, 112364. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112364>.

Sorrentino, M. C., Granata, A., Pugliese, M., Manti, L., Giordano, S., Capozzi, F., ve Spagnuolo, V. (2023). Evaluation of morpho-physiological responses and genotoxicity in *Eruca sativa* (Mill.) grown in hydroponics from seeds exposed to X-rays. *PeerJ*, 11, e15281.

Soya (2023, 28 Ağustos). Erişim adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Soya>.

Sreedhar, M., Chaturvedi, A., Aparna, M., Pavan Kumar, D., Singhal, R. K., ve Venu-Babu, P. (2013). Influence of  $\gamma$ -radiation stress on scavenging enzyme activity and cell ultra structure in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Pelagia Research Library*, 4(2), 35-44.



- Srinivasan, M., Prasad, N.R., ve Menon, V.P. (2006). Protective effect of curcumin on  $\gamma$ -radiation induced DNA damage and lipid peroxidation in cultured human lymphocytes. *Mutation Research*, 611: 96 – 103.
- Stadler, L. J., ve Stadler, L. J. (1928). Genetic Effects of X-Rays in Maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 14(1), 69–75. <https://doi.org/10.1073/PNAS.14.1.69>.
- Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., ve Adam, V. (2018). Zinc, Zinc Nanoparticles and Plants. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 349, 5 May 2018, Pages 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040>.
- Subiel, A., Ashmore, R., ve Schettino, G. (2016). Standards and Methodologies for Characterizing Radiobiological Impact of High-Z Nanoparticles. *Theranostics*, 6(10): 1651–1671. PMID: 27446499. <https://doi.org/10.7150/thno.15019>.
- Sürücü, A., ve Subaşı, S. (2021). Nanomateryallerin Kompozit Malzemelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt:8, No:1, 182-194. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, Vol:8, No:1, (182-194). <https://doi.org/10.31202/ecjse.812372>. ISSN:2148-3736.
- Şehirali, S., ve Özgen, M. (2007). *Bitki Islahı*. Ankara Üniversitesi Basımevi, Yayın no: 1553, Ders Kitabı: 506, Değiştirilmiş 3. Baskı, ISBN: 975-482-569-6, Ankara. syf 7, 132-140.
- Tang, Q., Xia, H., Liang, W., Huo, X., ve Wei, X. (2020). Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles from *Morus nigra* and its anticancer activity of AGS gastric cancer cells. *Journal of photochemistry and photobiology, B, Biology*, 202, 111698. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111698>.
- Tayyar, Ş., ve Gül, M. K. (2007). Bazı soya fasulyesi (*glycine max* (l.) merr.) genotiplerinin ana ürün olarak Biga şartlarındaki performansları. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 17(2), 55-59.

- Tondey, M., Kalia, A., Singh, A., Dheri, G. S., Taggar, M. S., Nepovimova, E., ve Kuca, K. (2021). Seed priming and coating by nano-scale zinc oxide particles improved vegetative growth, yield and quality of fodder maize (*Zea mays*). *Agronomy*, 11(4), 729.
- Torabian, S., Zahedi, M., ve Khoshgo, A. (2016). Effect of foliar spray of zinc oxide on some antioxidant enzymes activity of sunflower under salt stress. *J Agric Sci Technol*, 18:1013–1025.
- Torbati, S., Khataee, A., ve Saadi, S. (2017). Comparative Phytotoxicity of Undoped and Er-doped ZnO Nanoparticles on *Lemna minor* L.: Changes in Plant Physiological Responses. *Turkish Journal of Biology*, 41(4):575-586. <https://doi.org/10.3906/biy-1611-27>.
- Turan, Z.M., ve Göksoy, A.T. (1998). Yağ Bitkileri. UÜ. Zir.Fak. Ders Notl., No:80, 224s, Bursa.
- Tuteja, N., Ahmad, P., Panda, B. B., ve Tuteja, R. (2009). Genotoxic stress in plants: shedding light on DNA damage, repair and DNA repair helicases. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 681(2-3), 134-149.
- Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., Rehman, H. U., Ashraf, I., ve Sanaullah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of The Total Environment*, 721, 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>.
- Usman, M., Zia-ur-Rehman, M., Rizwan, M., Abbas, T., Ayub, M. A., Naeem, A., Alharby, H. F., Alabdallah, N. M., Alharbi, B. M., Qamar, M. J., ve Ali, S. (2023). Effect of soil texture and zinc oxide nanoparticles on growth and accumulation of cadmium by wheat: a life cycle study. *Environmental Research*, 216(Part 1), 114397. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114397>.
- Vaizoğullar, H. (2016). *Bazı Yağlı Tohumlu Bitkilerde Gama Radyasyonun (Cs 137) M1 Generasyonlarında Oluşturduğu Modifikasyonların Fizyolojik Özellikleri ile Yağ*

*Verimine Etkisinin Belirlenmesi ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin Araştırılması.*  
Yayınlanmış Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Denizli.

Van Rooyen, J. (2013). Nuclear Physics for Nuclear Engineers.

Veronica, N., Guru, T., Thatikunta, R., ve Reddy, N. S. (2015). Role of Nano Fertilizers In  
Agricultural Farming. *International Journal of Environmental Science and  
Technology*, 1, 1–3.

Vodeneev, V., Akinchits, E., ve Sukhov, V. (2015). Variation potential in higher plants:  
Mechanisms of generation and propagation. *Plant signaling & behavior*, 10(9),  
e1057365. <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1057365>.

Volkova, P. Yu., Bondarenko, E. V., ve Kazakova, E. A. (2022). Radiation hormesis in  
plants. *Current Opinion in Toxicology*, 30, 100334. ISSN 2468-2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.cotox.2022.02.007>.

Volkova, P. Y., Duarte, G. T., Kazakova, E. A., Makarenko, E. S., Bitarishvili, S. V.,  
Bondarenko, V. S., ve Turchin, L. M. (2021). Radiosensitivity of herbaceous plants  
to chronic radiation exposure: Field study in the Chernobyl exclusion zone. *Science  
of the Total Environment*, 777, 146206.

Volkova, P. Y., Duarte, G. T., Soubigou-Taconnat, L., Kazakova, E. A., Pateyron, S.,  
Bondarenko, V. S., ve Geras' kin, S. A. (2020). Early response of barley embryos to  
low-and high-dose gamma irradiation of seeds triggers changes in the transcriptional  
profile and an increase in hydrogen peroxide content in seedlings. *Journal of  
Agronomy and Crop Science*, 206(2), 277-295.

Vural, Ahmet. (2022). *Farklı dozlarda gama ışını uygulaması yapılarak bazı kesme yeşillik  
türlerinde etkili mutasyon doz değerlerinin belirlenmesi.* Yayınlanmış Yüksek Lisans  
Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.

Wang, B., Dong, J., Xiao, H., Li, Y., Jin, Y., Cui, M., ve Fan, SJ. (2020). Metformin  
radyasyona bağlı erken gelişimsel toksisiteye karşı savaşır. *Toplum Çevre  
Bilimi*, 732, 139274.

- Wang, C., Blough, E., Dai, X., Olajide, O., Driscoll, H., Leidy, J. W., ve Wu, M. (2016). Protective Effects Of Cerium Oxide nanoparticles On Mc3t3-E1 Osteoblastic Cells Exposed to X-Ray Irradiation. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 38, 1510–1519.
- Wang, P., Lombi, E., Zhao, F., ve Kopittke, P. (2016). Nanotechnology: A New Opportunity in Plant Sciences. *Trends In Plant Science*, Volume 21, Issue 8, August 2016, Pages 699-712. <https://doi.org/10.1016/J.Tplants.2016.04.005>.
- Wang, T., Yu, L., Li, Q., Zhang, Q., Yu, Z., Ding, X., ve Yang, S. (2023). Overexpression of GmNF-YA14 produced multiple phenotypes in soybean. *Environmental and Experimental Botany*, 210, 105316. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2023.105316>.
- Wang, X., Liu, C. K., Tu, B. J., Li, Y. S., Zhang, Q. Y., ve Liu, X. B. (2021). Effects of carbon ion beam irradiation on phenotypic variations and biochemical parameters in early generations of soybean plants. *Agriculture*, 11(2), 98.
- Wi, S., Chung, B., Kim, J., Kim, J., Baek, M., Lee, J., ve Kim, Y. (2007). Effects of Gamma Irradiation on Morphological Changes and Biological Responses in Plants. *Micron*, 38(6), 553-564. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2006.11.002>.
- Wiendl, T. A., Wiendl, F. W., Arthur, P. B., Franco, S. S. H., Franco, J. G., Arthur, V., ve Arthur, P. B. (2013). “Effects of gamma radiation in tomato seeds”, *In Proceedings of the International Nuclear Atlantic Conference*, Brazil.
- Wituszyńska, W., ve Karpiński, S. (2013). Programmed cell death as a response to high light, UV and drought stress in plants. Abiotic stress—plant responses and applications in agriculture. Rijeka, Shanghai: *InTech*, 207-246.
- Wu, S. Y., Parasuraman, V., Arunagiri, V., Gunaseelan, S., Chou, H. Y., Anbazhagan, R., ve Prasad, R. (2020). Radioprotective effect of self-assembled low molecular weight

- Fucoidan–Chitosan nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, 579, 119161.
- Xiao, M., Li, Z., Zhu, L., Wang, J., Zhang, B., Zheng, F., ve Zhang, Z. (2021). The multiple roles of ascorbate in the abiotic stress response of plants: Antioxidant, cofactor, and regulator. *Frontiers in plant science*, 12, 598173.
- Xin, X., Judy, J. D., Sumerlin, B. B., ve He, Z. (2020). Nano-enabled agriculture: from nanoparticles to smart nanodelivery systems. *Environmental Chemistry*, 17(6), 413-425.
- Xu, D. P., Feng, H. Y., Pan, J. B., Yao, Z. E., ve Wang, J. R. (2021). Radiation dose effects on the morphological development of M1 generation pea (*Pisum sativum*). *Nuclear Science and Techniques*, 32(11), 124.
- Xu, J., X. Luo, Y. Wang, ve Y. Feng. (2018). Evaluation of zinc oxide nanoparticles on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth and soil bacterial community. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0953-7>.
- Yadav, N., Garg, V. K., Chhillar, A. K., ve Rana, J. S. (2023). Recent advances in nanotechnology for the improvement of conventional agricultural systems: A review. *Plant Nano Biology*, 4, 100032. <https://doi.org/10.1016/J.PLANA.2023.100032>.
- Yalçın, F.S. (1992). *Gama Radyasyonunun Soya Bitkisi Üzerindeki Etkileri*, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yang, Z., Wu, X., Yang, Y., Qu, Y., Xu, J., Wu, D., Li, D., Han, Y., Zhao, X., ve Li, Y. (2023). Identification of QTNs, QEIs interactions and genes for isoflavones in soybean seeds. *Industrial Crops and Products*, 197, 116631. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.116631>.
- Yasmin, K., Arulbalachandran, D., Soundarya, V., ve Vanmathi, S. (2019). Effects of gamma radiation ( $\gamma$ ) on biochemical and antioxidant properties in black gram (*Vigna*

mungo L. Hepper). *Int J Radiat Biol.*, 95(8), 1135–1143.  
doi.org/10.1080/09553002.2019.1589022.

Yasmine, F., Ullah, M. A., Ahmad, F., Rahman, M. A., ve Harun, A. R. (2019). Effects of chronic gamma irradiation on three rice varieties. *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*, 31, 1-10.

Yıldız, Ç. (2009). *Gamma Radyasyonun Buğdayda (Triticum sp.) Partikül Bombardmanı Tekniği ile Gen Aktarımına ve Bitki Rejenerasyonuna Etkisi*, Yayınlanmış Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara.

Yılmaz, A. G. D. A., ve Soysal, Ö. G. D. S. (2021). “Tarla bitkilerinde mutasyon ıslahı tekniklerinin kullanımı”, *6th International Conference On Agriculture, Animal Science And Rural Development*, Mayıs 2021, Siirt.

Yoosefzadeh-Najafabadi, M., Rajcan, I., ve Eskandari, M. (2022). Optimizing genomic selection in soybean: An important improvement in agricultural genomics. *Heliyon*, 8(11), e11873. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E11873>.

Youssef, M., ve Elamawi, R. (2018). Evaluation Of Phytotoxicity, Cytotoxicity, And Genotoxicity Of Zno Nanoparticles In Vicia faba. *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 27, pages 18972–18984.

Yusefi-Tanha, E., Fallah, S., Pokhrel, L. R., ve Rostamnejadi, A. (2023). Addressing global food insecurity: Soil-applied zinc oxide nanoparticles promote yield attributes and seed nutrient quality in Glycine max L. *Science of The Total Environment*, 876, 162762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162762>.

Zeb, A., Liu, W., Wu, J., Lian, J., ve Lian, Y. (2021). Knowledge Domain and Emerging Trends in Nanoparticles and Plants Interaction Research: A Scientometric Analysis. *NanoImpact*, 21, January 2021, 100278. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2020.100278>.

Zhang, X., Li, W., Wu, D., Deng, Y., Shao, J., Chen, L., ve Fang, D. (2019). Metalik nanomalzemelerin boyuta ve şekle bağlı erime sıcaklığı. *J Phys Condens Matter*, 31:075701. <https://doi.org/10.1088/1361-648X/aaf54b>.

Zhang, T., Li, W., Li, H., ve Liu, X. (2023). Soybean protein and soybean peptides: Biological activity, processing technology, and application prospects. *Food Science and Technology Research*, Online ISSN: 1881-3984 Print ISSN: 1344-6606 ISSN-L: 1344-6606.

Zhang, Z., Zhang, Q., Wu, J., Zheng, X., Zheng, S., Sun, X., Qui, Q., ve Lu, T. (2013). Gene knockout study reveals that cytosolic ascorbate peroxidase 2(OsAPX2) plays a critical role in growth and reproduction in rice under drought, salt and cold stresses. *Plos one*, 8(2), 57472.

# EKLER

## EK 1

### İŞINLANMA ONAY BELGESİ



T.C.  
BURSA VALİLİĞİ  
İl Sağlık Müdürlüğü



23.03.2023

**BURSA İL SAĞLIK MÜDÜRLÜĞÜ  
KAMU HASTANELERİ HİZMETLERİ BAŞKANLIĞI  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA TALEPLERİ DEĞERLENDİRME KOMİSYONU  
TOPLANTI TUTANAGI**

Başkanlığımız Bilimsel Araştırma Talepleri Değerlendirme Komisyonu, sunulan dosyanın uygunluğuna değerlendirmek üzere 22.03.2023 tarihinde toplanmıştır.

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Matematik ve Fen Bilimleri Anabilim Dalı Fen Bilgisi Eğitimi Bilim Dalı tezli yüksek lisans programı öğrencisi Burcu AKBAY'ın "ZnO Nano Partiküllerinin Soya Bitkisi (*Glycine max (L.) Merrill*) Üzerindeki Radyobiyojik Etkisi" başlıklı tez çalışmasını Müdürlüğümüze bağlı Ali Osman Sönmez Onkoloji Hastanesinde uygulama isteğine ilişkin ekli belgeleri incelenmiştir.

Komisyon tarafından yapılan değerlendirme neticesinde, söz konusu çalışmanın adı geçen hastanede yapılan hizmetleri aksatmayacak şekilde, kişisel verilerin korunması hakkındaki kanun ve yönetmeliklere uyulması ile birlikte, kuruma herhangi bir mali yük getirmemek kaydıyla çalışma kapsamında oluşacak giderlerin çalışmacı veya destekleyicisi tarafından karşılanması koşuluyla yapılması uygun bulunmuş olup, çalışmanın tamamlanması akabinde hazırlanan sonuç raporunun bir nüshasının Başkanlığımıza gönderilmesine;  
Oy birliği ile karar verilmiştir.



EK 2

## SERA KURULUMU İZİN BELGESİ



T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
Eğitim Fakültesi Dekanlığı



Sayı : E-68203582-302.08.01-2300081485  
Konu : Burcu AKBAY

05.04.2023

### MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ BÖLÜMÜ BAŞKANLIĞINA

İlgi : 04.04.2023 tarihli ve E-34657403-300-2300079420 sayılı yazınız.

Bölümünüz Fen Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalında görev yapan Dr. Öğr. Üyesi F. Sevil YALÇIN'ın danışmanlığını yaptığı 20415030001 numaralı yüksek lisans öğrencisi Burcu AKBAY'ın, BAP tarafından desteklenen "ZnO Nanopartiküllerinin Soya Bitkisi (*Glycine max. (L) Merrill*) Üzerindeki Radyobiyolojik Etkisi" başlıklı tez çalışması kapsamında bitkilerini yetiştirmek amacıyla Fakültemiz bahçesinde kurmak istediği seranın, ilgi yazınız ekinde 3. eksen ile gösterilen Fakültemiz B4 Blokun arkasında Fevzi Renda Sokak tarafındaki alanda kurulması uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

