



**STRONSIYUM OKSİT (SrO) NANOPARTİKÜLLERİNİN  
BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) BİTKİSİ ÜZERİNDEKİ  
FİZYOLOJİK ETKİLERİ**

**Mustafa Güven KAYSİM**

**Yüksek Lisans Tezi**

**TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI  
Danışman: Doç. Dr. Ahmet Metin KUMLAY  
2019**

**T.C.**  
**İĞDIR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**STRONSIYUM OKSİT (SrO) NANOPARTİKÜLLERİNİN BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) BİTKİSİ ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK ETKİLERİ**

**Mustafa Güven KAYSİM**

**TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI**

**İĞDIR**

**2019**

**Her hakkı saklıdır**

Doç. Dr. Ahmet Metin KUMLAY danışmanlığında Mustafa Güven KAYSİM tarafından hazırlanan bu çalışma .....tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Bünyamin YILDIRIM İmza:

Üye: Prof. Dr. Kamil HALILOĞLU İmza:

Üye: Doç. Dr. Ahmet Metin KUMLAY İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... / ..... /2019 tarih ve 2019/ .....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....

Doç. Dr. Süleyman TEMEL

Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa Güven KAYSİM



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

### STRONSIYUM OKSİT (SrO) NANOPARTİKÜLLERİNİN BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) BİTKİSİ ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK ETKİLERİ

KAYSİM, Mustafa Güven

Yüksek Lisans Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Metin KUMLAY

Aralık 2019, 57 sayfa

Son yıllarda hidroponik sistemlerde nanopartiküller (NP)'in farklı bitkilerde kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmış, buğday bitkisinde de hidroponik ortamlarda NP'in etkilerini belirlemek amacıyla birçok çalışma yürütülmüştür. Ancak, stronsiyum oksit (SrO)NP'lerinin buğday bitkisi üzerine etkileri hakkında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada 0,0 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 4,0 – 6,0 ve 8,0 mM konsantrasyonlarındaki SrO NP'lerinin hidroponik sistemde Esperia ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada şu gözlemler alınmıştır; sürgün uzunluğu (cm), sürgün yaş ağırlığı (g), kök sayısı (adet), kök uzunluğu (cm), kök yaş ağırlığı (g), klorofil miktarı (SPAD), hücre zarı hasarı (%), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) içeriği (µmol/g), molandialdehit (MDA) içeriği (ng/µl), askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi (U/g FW), peroksidaz (POD) aktivitesi (U/g FW) ve süperoksitdismutaz (SOD) aktivitesi (U/g FW). Çalışma sonucunda; SrO NP uygulamalarının kontrol ile mukayese edildiğinde 1,5 mM konsantrasyona kadar sürgün uzunluğu ve sürgün yaş ağırlığı üzerine olumlu etkilerde bulunduğu, ancak 2,0 mM konsantrasyondan sonra bu etkinin düştüğü görülmüştür. Kök verileri değerlendirildiğinde, artan SrO NP konsantrasyonuna bağlı olarak kök sayılarının artmasına karşın, kök uzunluğu ve kök yaş ağırlığı değerlerinde düşüşler görülmüştür. Klorofil değerlerine (SPAD) bakıldığında 2,0 mM konsantrasyona kadar olan uygulamalarda klorofil miktarının düştüğü, yüksek SrO NP konsantrasyonlarında ise arttığı belirlenmiştir. 2,0 mM konsantrasyona kadar olan uygulamaların hücrelere çok az zarar vermesine karşın, bu konsantrasyon ve üzerinin hücrelerde önemli hasarlara sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve MDA değerlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiş, artan konsantrasyonların bitkiyi çok fazla strese sokmadığı gözlenmiştir. Enzimlere bakıldığında da 2,0 mM konsantrasyona kadar uygulanan SrO NP'lerinin bitkileri çok fazla etkilemediği, antioksidatif enzimlerden olan APX, POD ve SOD değerlerini önemli ölçüde artırarak bitkinin savunma mekanizmasını geliştirdiği belirlenmiştir. Elde edilen verilerden; buğday bitkisine uygulanan SrO NP'lerinin bitkinin sürgün ve kök gelişiminde, klorofil miktarında, hücrenin strese karşı toleranslı ve dayanıklı olmasında ve stres enzimlerini kullanmasında etkin olduğu açıkça görülmüştür. Bu amaçla SrO NP'lerinin buğday bitkisinin klasik ve modern ıslah çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve NP'lerin ticari seviyede üretimde kullanılmasının milli ekonomiye önemli katkılarda bulunabileceği sonucuna varmak mümkündür.

**Anahtar kelimeler:** *Triticum aestivum* L., Stronsiyum oksit nanopartikülü, Stres enzimleri,

Hücre zarı hasarı, Klorofil içeriği.

## ABSTRACT

### PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF STRONTIUM OXIDE NANOPARTICLES (SrO) ON WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

KAYSİM Mustafa Güven

Master Thesis, Plant Crops Main Discipline

Thesis Adviser: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Metin KUMLAY

Aralık 2019, 57 pages

Numerous studies have been carried out on the use of nanoparticles (NPs) in hydroponic systems on different plants in recent years, and many studies have been conducted to determine the effects of NP in hydroponic environments on wheat plants. However, no studies have been conducted on the effects of strontium oxide (SrO) NPs on wheat plants. In this study, it was aimed to determine the effects of SrO NPs in 0,0 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 4,0 – 6,0 and 8,0 mM concentrations on Esperia bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype in hydroponic system. Following observations were taken; shoot length (cm), shoot fresh weight (g), root number (number), root length (cm), root fresh weight (g), chlorophyll amount (SPAD), cell membrane damage (%), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) content (µmol/g), malondialdehyde (MDA) content (ng/µl), ascorbate peroxidase (APX) activity (U/g FW), peroxidase (POD) activity (U/g FW) and superoxidedismutase (SOD) activity (U/g FW). As a result of the study it was observed that SrO NP treatments had positive effects on shoot length and shoot fresh weight up to 1,5 mM concentration when compared to the control but this increasing effect changed to a decrease after 2,0 mM concentration. When the root data evaluated there were significant decreases in root length and root fresh weight values, although root numbers increased due to increasing SrO NPs concentrations. When chlorophyll values (SPAD) were examined, it was determined that chlorophyll content decreased up to 2,0 mM SrO concentrations but increased at high SrO NP concentrations. Although treatments up to 2.0 mM concentration cause very low damage to cells, it has been found that this concentration and above caused significant cellular damage. Similar results obtained in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and MDA values; increasing SrO NPs concentrations did not cause marked stress in plants. When the enzymes values were considered, the application of SrO NPs up to 2,0 mM concentration had no pronounced effect on plants, and improved the plant's defense mechanism by significantly increasing APX, POD and SOD values, which are antioxidants enzymes. When all obtained results were taken into account, it was clearly appeared that the application of SrO NPs to wheat plants are effective in shoot and root development, increase in chlorophyll amount, improvement to cell tolerance and resistance to stress conditions by increasing stress-related enzymes. Therefore, as a conclusion of the research it is possible to be resulted that SrO NPs could be used successfully in classical and modern breeding studies of wheat plants and that the use of NPs in commercial plant production could make significant contributions to the national economy.

**Key words:** *Triticum aestivum* L., Strontium oxide nanoparticles, Stress enzymes, Cell membrane damage, Chlorophyll content.

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tarımsal üretimde nanopartiküllerin kullanımı buğday bitkisinin üretimi ve ıslahında önemi giderek artan bir çalışma konusudur. Klasik ve modern ıslah tekniklerinde, verimli ve strese dayanıklı çeşit elde etmede nanopartiküllerin kullanılabileceği düşünülmektedir. Stronsiyum elementinin bitkiler üzerindeki çeşitli olumlu ve olumsuz etkileri bildirilmiştir, ancak nanopartikül olarak bitkiler üzerinde çalışması yapılmamıştır. Bu amaçla çalışmamızda farklı dozlarda SrO nanopartiküllerinin buğday bitkisi üzerindeki bazı fizyolojik etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmam boyunca ilgi ve tecrübesiyle her zaman yanımda olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet Metin KUMLAY'a ve Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Bünyamin YILDIRIM'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları için her türlü imkânı ve desteği sağlayan, tecrübeleriyle yanımda olan Sayın Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU'na, Sayın Doç. Dr. Murat AYDIN'a ve Sayın Doç. Dr. Emre İLHAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasındaki destekleri için Sayın Öğr. Gör. Mehmet Zeki KOÇAK'a, Sayın Doç. Dr. Mücahit Pehluvan'a, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hatice TOSYAGÜLÜ ÇELİK'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mine KÖKTÜRK'e ve Sayın Arş. Gör. İbrahim Hakkı KADİRHANOĞULLARI'na, laboratuvar çalışmalarındaki destekleri için Sayın Burcu SİĞMAZ'a, Sayın Hasan KOŞUNKARTAY'a, Sayın Ismaeil ALSOUDAN'a, Sayın Rabia KOÇAK'a ve Sayın Gizem NARDEMİR'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca her konuda daima yanımda olan, sabır ve hoşgörüsüyle destekleyen canım aileme en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Güven KAYSİM

Aralık, 2019

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>6</b>
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>16</b>
3.1. Materyal .....	16
3.1.1. Kullanılan kimyasallar, cihazlar ve malzemeler .....	16
3.1.2. Bitki materyali .....	17
3.1.3. Kullanılan element ve doz oranları .....	17
3.2. Metot .....	18
3.2.1. Buğday tohumlarının yüzey sterilizasyonu .....	18
3.2.2. Tohum çimlenmesi ve fide oluşumu .....	18
3.2.3. Hidroponik ortamın hazırlanması .....	18
3.2.3.1. Stok Hoagland ve Arnon solüsyonunun hazırlanması .....	18
3.2.3.2. Deney gruplarında kullanılan hidroponik çözeltilerin hazırlanması .....	18
3.2.4. Deneme düzeninin kurulması .....	18
3.2.5. Araştırmada incelenen özellikler .....	20
3.2.5.1. Klorofil miktarının ölçülmesi .....	20
3.2.5.2. Bitkisel Gözlemler .....	20
3.2.5.3. Hücre zarı hasarı incelemesi .....	20
3.2.5.4. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , MDA ve Stres enzimleri analizi .....	20
3.2.5.4.1. Enzim, MDA ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> analizinde kullanılan tamponların hazırlanması .....	20
3.2.5.4.1.a. SOD, POD ve APX homojenizasyon (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) tamponu .....	20
3.2.5.4.1.b. MDA ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> homojenizasyon tamponu .....	21



3.2.5.4.1.c. POD ölçüm tamponu .....	21
3.2.5.4.1.ç. MDA ölçüm tamponu .....	21
3.2.5.4.1.d. SOD ölçüm tamponu .....	21
3.2.5.4.1.e. APX ölçüm tamponu .....	21
3.2.5.4.1.f. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ölçüm tamponu .....	21
3.2.5.4.2. Enzim, MDA ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> analizi yapılacak örneklerin hazırlanması .....	22
3.2.5.4.2.a. SOD, POD ve APX enzimlerinin miktarının ölçümünde kullanılan örneklerin hazırlanması .....	22
3.2.5.4.2.b. MDA ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının ölçümünde kullanılan örneklerin hazırlanması .....	22
3.2.5.4.3. Enzim, MDA ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının ölçümü .....	23
3.2.5.4.3.a. SOD enzimi miktarının ölçülmesi .....	23
3.2.5.4.3.b. POD enzimi miktarının ölçülmesi .....	23
3.2.5.4.3.c. APX enzimi miktarının ölçülmesi .....	23
3.2.5.4.3.ç. MDA miktarının ölçülmesi .....	24
3.2.5.4.3.d. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının ölçülmesi .....	24
3.2.6. İstatistiksel anali .....	24
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>25</b>
4.1. SrO NP uygulaması Sonucu Bitkisel Gözlemlerden Elde Edilen Veriler ...	25
4.1.1. Sürgün uzunluğu .....	25
4.1.2. Sürgün yaş ağırlığı .....	26
4.1.3. Kök sayısı .....	27
4.1.4. Kök uzunluğu .....	28
4.1.5. Kök yaş ağırlığı .....	29
4.2. Klorofil Miktarı (SPAD) .....	31
4.3. Hücre Zarı Hasarı .....	32
4.4. SrO NP Uygulamasının H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , MDA ve Stres Enzimleri İçeriği Üzerine Etkisi .....	33
4.4.1. SrO NP uygulamasının H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> içeriği üzerine etkisi .....	33
4.4.2. SrO NP uygulamasının MDA içeriği üzerine etkisi .....	34
4.4.3. SrO NP uygulamasının APX üzerine etkisi .....	36

4.4.4. SrO NP uygulamasının POD üzerine etkisi .....	37
4.4.5. SrO NP uygulamasının SOD üzerine etkisi .....	38
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>	<b>40</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>58</b>



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

% .....	Yüzde
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .....	Amonyum molibdat tetrahidrat
$^{\circ}\text{C}$ .....	Santigrat derece
$\mu\text{l}$ .....	Mikrolitre
$\mu\text{M}$ .....	Mikromolar
$\mu\text{mol/g}$ .....	Mikromol/gram
$\text{cm}$ .....	Santimetre
$\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .....	Bakır (II) sülfat pentahidrat
<b>Fe-EDTA</b> .....	Demir etilendiamintetra asetikasit
<b>FW</b> .....	Fresh weight
<b>g</b> .....	Gram
$\text{H}_2\text{O}_2$ .....	Hidrojen peroksit
$\text{H}_3\text{BO}_3$ .....	Borik asit
$\text{KH}_2\text{PO}_4$ .....	Potasyum dihidrojen fosfat
<b>KI</b> .....	Potasyum iyodür
$\text{KNO}_3$ .....	Potasyum nitrat
<b>KOH</b> .....	Potasyum hidroksit
<b>l</b> .....	Litre
$\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .....	Magnezyum sülfat heptahidrat
<b>ml</b> .....	Mililitre
<b>mM</b> .....	Milimolar
$\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ .....	Manganez sülfat dihidrat
<b>ng/<math>\mu\text{l}</math></b> .....	Nanogram/mikrolitre
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .....	Disodyum fosfat
$\text{Na}_2\text{MoO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....	Sodyum molibdat dihidrat
<b>NaOH (%10)</b> .....	%10'luk sodyum hidroksit
<b>pH</b> .....	Asitlik derecesi
<b>Photon/<math>\text{m}^2\text{s}</math></b> .....	Metrekare başına yayılan foton miktarı
<b>SrO</b> .....	Stronsiyum oksit

<b>U/g</b> .....	Enzim ünitesi/gram
<b>ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O</b> .....	Çinko sülfat heptahidrat

### **Kısaltmalar**

<b>APX</b> .....	Askorbat peroksidaz
<b>dak.</b> .....	Dakika
<b>EC</b> .....	Elektriksel iletkenlik
<b>MDA</b> .....	Malondialdehit
<b>NBT</b> .....	Nitro mavi tetrazolyum klorür
<b>NP</b> .....	Nanopartikül
<b>POD</b> .....	Peroksidaz
<b>PVP</b> .....	Polivinilprolidan
<b>rpm</b> .....	Dakikadaki devir sayısı
<b>sn</b> .....	Saniye
<b>SOD</b> .....	Süperoksit dismutaz
<b>SPAD</b> .....	Klorofil yoğunluğu
<b>TBA</b> .....	Thiobarbütrik asit
<b>TCA</b> .....	Trikloroasetik asit

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 3.1.</b> Kullanılan kimyasallar, cihazlar ve malzemeler .....	16
<b>Çizelge 3.2.</b> Esperia buğday çeşidi için kullanılan uygulamalar ve doz oranları ...	17
<b>Çizelge 3.3.</b> Stok Hoagland ve Arnon çözeltisi bileşenleri ve miktarları .....	19
<b>Çizelge 3.4.</b> Hidroponik sistemde kullanılacak solüsyon bileşenleri .....	19
<b>Çizelge 4.1.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde sürgün uzunluğu (cm) üzerine etkileri .....	25
<b>Çizelge 4.2.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde sürgün yaş ağırlığı (g) üzerine etkileri .....	27
<b>Çizelge 4.3.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde kök sayısı (adet) üzerine etkileri .....	28
<b>Çizelge 4.4.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde kök uzunluğu (cm) üzerine etkileri .....	29
<b>Çizelge 4.5.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine etkileri .....	30
<b>Çizelge 4.6.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde klorofil miktarı (SPAD) üzerine etkileri .....	31
<b>Çizelge 4.7.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde hücre zarı hasarı (%) üzerine etkileri .....	32
<b>Çizelge 4.8.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (µmol/g) üzerine etkileri .....	34
<b>Çizelge 4.9.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde MDA (ng/µl) üzerine etkileri .....	35
<b>Çizelge 4.10.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde APX (U/g FW) üzerine etkileri .....	36
<b>Çizelge 4.11.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde POD (U/g FW) üzerine etkileri .....	38
<b>Çizelge 4.12.</b> Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde SOD (U/g FW) üzerine etkileri .....	39

## 1. GİRİŞ

Tarım, insanların yaşamını devam ettirebilmesi için zorunlu olan gıdaların üretimini üstlenmiştir. İnsanların tarımını yaptığı ürünler arasında tahıllar ilk sırada yer almaktadır. Bu yüzden tahılların insanların beslenmesinde yeri ve önemi küçümsenemeyecek kadar fazladır (Koşunkartay, 2019). Buğday, dünyada en yaygın yetişen tahıllardan birisi olup, 670,8 milyon tonluk üretim kapasitesiyle dünya nüfusunun yaklaşık üçte ikisini beslemektedir (Rahaie *et al.*, 2013; Shahzad *et al.*, 2013). Buğday, çoğunlukla ekmek, makarna, bulgur, erişte, kek ve bisküvilerde kullanılmaktadır (Eren *et al.*, 2015). Bu çalışmada kullanılan ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisi, yüksek besin değerine, işlenme kolaylığına ve yüksek adaptasyon yeteneğine sahiptir. Buğday bitkisi, dünyada üretim ve ekim alanı yönünden ilk sırada yer almaktadır. Buğday, besin zincirinde kendisine büyük ölçüde yer bulabilen bir bitki olduğundan biyoteknolojik çalışmalarda sık kullanılan bir bitkidir (Delporte *et al.*, 2001). Buğday bitkisi insan gıda ihtiyacının karşılanması açısından, beslenmede çok önemli bir yere sahiptir. İçerik olarak %70 oranında nişastanın yanı sıra, tane içeriğinde %8 – 15 oranında değişen protein içeriği bakımından da önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bir buğday tanesinde %1 – 5 oranında yağ, %1,5 – 3 seviyesinde şeker, %1 – 2 miktarında kül ve %11 – 13 oranında ise nem olduğu ifade edilmektedir. Buğdayda bu içerik oranlarının dışında, insan ve hayvan besin ihtiyacının karşılanmasında önemli olan vitaminler de yer almaktadır (Kün, 1988). Çok iyi şekilde besin zincirinde kendisine yer etmeyi başaran bir bitki üzerine nanopartiküllerin etkisinin araştırılması, bilimsel kaynaklarda eksikliği görülen konulardan birisidir.

Nanoteknoloji, nano düzeyde biyolojik, fiziksel ve kimyasal olayların anlaşılması, kontrolü, üretimi ve taklit edilmesi amacıyla yapılan çalışmaları konu alan multidisipliner bir bilim dalıdır. Nanopartiküller, 1 ile 100 nm arasında değişen kolloidal partikül sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Sentetik ya da doğal kaynaklı bir makromolekülden oluşmaktadırlar. Yüksek yüzey/hacim oranına sahiptirler. Nanoteknoloji bilim dalında, özellikle nanokristaller, nanotüpler, nanoçubuklar, nanopartiküller, nanoteller gibi materyaller ile çalışmalar yapılmaktadır (Goldstain, 1997). Nanoteknoloji, farklı dallarda gelişen multidisipliner bir araştırma alanı olarak, tarımda bitki koruma ve beslenmeyi, tarımsal uygulamalarda pestisit dağıtımını, nano-

sensörleri, pestisit bozulmasını, verimli kullanım için mikro besinleri vb. içermektedir (Ghormade *et al.*, 2011). Bilindiği gibi, olağanüstü fizikokimyasal özellikleri, yüksek yüzey/hacim oranı ve benzersiz nano boyut yapı özellikleri nedeniyle, birkaç inorganik ve organik metal oksit nanomalzemeleri ve TiO<sub>2</sub>, ZnO, CuO gibi çeşitli hibrit nanomateriyaller vasıtasıyla (Kalhapure *et al.*, 2015), grafen oksit (Chen *et al.*, 2014), ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Ag manyetik nanoparçacıkları (Hemeg, 2017), biyomedikal uygulamalarda alternatif antibakteriyel maddeler olarak artarak uygulanmaktadır (Liu *et al.*, 2014).

Nanopartiküller (NP) benzersiz özellikleri nedeniyle; katalizör, tıp, elektronik, boya sanayi, ambalaj, biyosensör, kozmetik, biyomühendislik, otomobil, boya hassasiyetli güneş pilleri, tekstil gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Bilhassa medikal amaçlı NP'lerin kullanım fırsatı bulabildiği alanlar hastalıkların kolayca teşhisi ve daha rasyonel tedavi yöntemleri geliştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Tıpta NP'lerin bu şekilde kullanılabilir oluşu, bilhassa nanoküreler aracılığıyla yapılabilecek gen tedavilerini, kanser gibi oldukça ölümcül hastalıkların erken teşhis ve tedavisinin gerçekleştirilebilmesini, hedefe özel ilaç taşınımı gibi birçok alanda bilim adamlarına imkânlar sunmaktadır. Bununla birlikte, NP'lerin yalnız tıp alanında değil; elektronik cihazlar, bilgisayarlar, bataryalar gibi mühendislik bilim dallarında da aktif bir biçimde kullanıldığı ifade edilmektedir (Mboniyirivuze *et al.*, 2015).

Bunların yanı sıra, NP'leri tarım ve gıda sektöründe de görmek mümkündür. Gıda alanında; işlenmiş gıdaların paketlenmesinde, mini sensör gibi yapılar aracılığıyla gıdaların raf ömrünün belirlenmesinde NP'lerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Tarımda NP'lerin kullanımı, özellikle akıllı salınım sistemleri, gerçek zamanlı takip sistemlerinin yanında yüksek verim, düşük pestisit, herbisit girişini sağlayacak çalışmalar içerisinde de yerini almıştır. Ayrıca yer altı sularının ve tarlaların arındırılması amacıyla da NP'ler kullanılmaktadır. Gelecekte, nano boyuttaki materyaller katalizör olarak kullanılarak, böceklerin ve istenmeyen yabancı otların ortadan kaldırılması için oldukça az dozlarda dahi etki edebilecek ürünler elde edilebilecektir. Nanoteknoloji, yenilenebilir enerji kaynakları ve temiz enerji üretimi maksadıyla da kullanılarak, çevre kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olarak çevrenin korunmasında da görev alacaktır (Demirbilek, 2015).

Bir çevrede sürekli ya da bazen meydana gelen olumsuz ancak hemen öldürücü etki göstermeyen koşullar stres olarak bilinmektedir. Bir diğer ifadeyle, bitki metabolizmasını, büyüme ve gelişimini etkileyen hatta engelleyen, olumsuz herhangi bir durum veya madde stres olarak kabul edilmektedir. Kısaca bitki yaşamı için uygun koşullarda önemli sapmalar olarak tanımlanabilir. Bitkide strese yol açan faktörler biyotik ve abiyotik faktörler olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Abiyotik faktörler; ağır metallerin de içinde olduğu mineraller, radyasyon, sıcaklık, su, gazlar ve mekanik etkiler olmak üzere altı başlıkta, biyotik faktörler ise; bitkiler, mikroorganizmalar, hayvanlar ve antropojenik orijin olmak üzere dört başlıkta tanımlanmaktadır (Gürel ve Avcıoğlu, 2001).

Bitkiler stres faktörlerine karşı birçok tepki göstermektedir. Bunlardan birisi “kaçış” olup, bitkinin sadece şartlar uygun olduğunda büyümesini ifade etmektedir. Kurak dönemden önce yağışlı dönemde hayat döngüsünü tamamlayan bitkiler örnek olarak gösterilebilir. Diğer bir tepki “sakınım” olup, bitkilerin stres faktörlerinin yol açtığı negatif etkileri azaltmasını ya da engellemesini belirtmektedir. Bitki çevresinde strese yol açan şartlar olmasına rağmen, bitki hücrelerinin stresten izole bir iç ortam oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir sistem ise “tolerans” olup, canlıya önce öldürücü olmayan yüksek derecede stres uygulaması ardından uygulanan öldürücü strese karşı canlının dayanma yeteneği olarak ifade edilmektedir. Ayrıca, stres faktörlerinin etkisinin elimine edilmesi, azaltılması ya da onarılması olarak da tanımlanmaktadır. Uyum; kalıtılmayan stres yanıtlarını ifade eder. Adaptasyon ise, kalıtılabilen stres yanıtlarını içermektedir (Yıldız ve Terzi, 2007).

Ağır metaller, özgül ağırlıkları yaklaşık  $5 \text{ g/cm}^3$ 'ten daha yüksek olan elementler grubu olarak tanımlanmaktadır. Mangan (Mn), Demir (Fe), molibden (Mo), nikel (Ni), çinko (Zn) ve bakır (Cu) bitkilerde normal büyüme ve metabolik işlemler için gerekli olan temel mikro besinlerdir (Vangronsveld *et al.*, 1994). Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr) ve civa (Hg) bitkiler için gerekli değildir ve oldukça toksiktirler (Sebastiani *et al.*, 2004). Ağır metaller solunum, fotosentez, hücre bölünmesi gibi fizyolojik süreçleri inhibe etmekte ve bitki-su ilişkisinin yanı sıra mineral beslenmesini de etkilemektedir (Zornoza *et al.*, 2002). En yaygın ağır metal kirleticiler Cd, Cr, Cu, astatin (As), Hg, Pb ve Ni'dir. Moleküler ağırlığı yüksek olan diğer doğal olarak oluşan



metalik elementler de önemli kirletici maddeler olarak kabul edilmektedir. Bu elementler toprakta doğal olarak bulunur veya tarımsal kimyasallar, kentsel atıklar ve kirli sular nedeniyle birikmektedir (Yadav, 2010).

Metaller parçalanamadığı için, bitki içindeki konsantrasyonu optimal seviyeyi aştığında, bitkiyi hem doğrudan hem de dolaylı olarak olumsuz etkiler. Yüksek metal seviyesinin yol açtığı doğrudan toksik etkilerin bazıları, sitoplazmik enzimlerin inhibisyonunu ve oksidatif stres sonucu hücre yapılarında hasar oluşmasını içerir (Jadia *et al.*, 2009). Metal toksisitesinin hücre zarlarına zarar verdiği, terlemeyi azalttığı, protein sentezini bozduğu, fotosenteze zarar verdiği, fotosentetik hızı önlediği ve çeşitli enzimlerin aktivitesini etkilediği bilinmektedir (John *et al.*, 2009). Metallerin, enzimatik bir basamağın doğrudan inhibisyonu yoluyla veya temel bir besin maddesinin eksikliğini indükleyerek klorofil sentezine müdahale ettiği bilinmektedir (Van *et al.*, 1990).

Stronsiyum genellikle kayalarda, toprakta, fosil yakıtta, suda ve yağda bulunan yumuşak, gümüş renkli bir metalik elementtir. Stronsiyum (Sembol Sr, Atom no. 38, Atom ağırlığı: 87,62 g/mol), doğal ve yaygın olarak ortaya çıkan bir alkalın toprak metalidir (2A grubu, 5. periyotta, kalsiyum ve baryum arasında). Mineral, 1790 yılında Strontian'da (İskoçya) Adair Crawford ve William Cruickshank tarafından keşfedildi. Sr cevheri genellikle doğada stronsiyum sülfat ( $SrSO_4$ ) ve stronsiyonit ( $SrCO_3$ ) gibi mineraller şeklinde bulunur; bununla birlikte, suda çözünür olan veya olmayan çeşitli bileşikler oluşturabilir. Atmosferde bulunan Sr ıslak veya kuru aerosoller formundadır. Havadaki temel kimyasal türler stronsiyum oksittir ( $SrO$ ).  $SrO$ ;  $Sr^{+2}$  ve  $SrOH^+$  iyonlarını oluşturmak için nem varlığında hızlı bir şekilde reaksiyona girer. Sr atmosferik döngüye dağılır ve yeryüzünde nem çökmesi ile biriktirilir. Yüzey suyunda ve yeraltı suyunda Sr esas olarak hidratlanmış bir iyon olarak bulunur. Sr doğal olarak oluşan stabil (radyoaktif olmayan) dört izotopu vardır;  $^{48}Sr$ ,  $^{86}Sr$ ,  $^{87}Sr$  ve  $^{88}Sr$  (ATSDR 2004; Therapeutic Goods Administration, 2014; Qiet *et al.*, 2015). 30 radyoaktif Sr izotopu bilinmektedir, bunlardan en önemlisi, nükleer silah patlamaları ve 2011 Fukushima, 1986 Çernobil Nükleer Santrali (NPP) kazaları sonrası serpinti ile oluşarak çevreye salınan  $^{90}Sr$ 'dur. (Sanzharova *et al.*, 2005; Lipsy *et al.*, 2013).  $^{90}Sr$ , radyoaktif yarı

ömrü 28,8 yıl olan, kalsiyuma benzeyen ve metabolik dengesizlik yarattığı için sağlığa zararlı olan beta radyasyon yayıcı bir kimyasaldır (Merz *et al.*, 2016).

Radyostrontiyum ile stabil Sr'un kimyasal ve biyokimyasal davranışı toprak çözeltisinde ve bitkilerin içinde benzerdir. Bu nedenle, bitkilerin radyotrantiyumun alımı ve dağıtımı ile ilgili birçok deney, stabil Sr ile yapılmıştır (Burger *et al.*, 2019). Kimyasal toksisite ile ilgili olarak; Sr, kimyasal benzerliği nedeniyle kalsiyum (Ca)'un yerini alır ve organizmalarda Ca eksikliğine neden olur. Brooks (1972), bitkilerde Sr toksisite seviyesini 30 ppm olarak değerlendirmiştir. O zamandan beri, stabil Sr'un toksisitesi hidroponik ve toprak kültüründeki etkilerini belirlemek amacıyla çeşitli model bitkilerde test çalışmaları yapılmış ve genel durumları gözlenmiştir (Kalingan *et al.*, 2016; Gupta *et al.*, 2018; Burger *et al.*, 2019).

Gupta *et al.*, (2018) yaptıkları çalışmada, bitkilerdeki Sr'un alım mekanizmasını Sr<sup>+2</sup>'un köklere alınımı (kökten yakalama; kütle akışı; difüzyon), primer translokasyon (ortamdan ksileme radyal taşınım; kökten ksileme doğrudan aktarım; ksilem kanallarından çevredeki köklere, hücrelere, yapraklara radyal aktarım) ve sekonder translokasyon (farklı organlardan doğrudan taşınım ve immobilizasyon) şeklinde özetlemişlerdir.

Sr'un bitkilerin büyümesi, kök gelişimi, sürgünleri ve hücre zarları üzerinde, uygulanan doza bağlı olarak olumlu ve olumsuz sonuçları olduğu bildirilmektedir (Burger *et al.*, 2019). Ancak Sr NP'lerinin bitkiler üzerindeki etkileri henüz bilinmemektedir. Bu çalışma literatürdeki eksiklikleri tamamlamak ve gelecek çalışmalarda bilim insanlarına yol gösterici olması amacıyla bitkilerde strese yol açan metallere olan SrO NP'lerinin farklı doz oranlarının hidroponik ortamda uygulanması ile buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin fizyolojik stres parametreleri üzerine etkilerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Nanoteknolojiyi çağrıştıran ifadeleri ilk kez Dr. Richard Feynman kullanmıştır. Bir konferansta “Aşağıda daha çok boşluk var” ifadesiyle nanoteknolojinin kapılarını aralayan Feynman 1959 yılında Nobel ödülü almış ve atomların kuantum kurallarıyla kontrol edilebileceği fikrini ileri sürmüştür (Pittenger *et al.*,2008).

Nanoteknolojiye konu olan materyaller boyutları sebebiyle büyük boyutlu materyallerden oldukça farklı nitelikler göstermektedirler. Bu durum nanomateryalin optik, kimyasal reaktivite, elektriksel iletkenlik, manyetiklik, fiziksel dayanıklılık gibi özelliklerde farklılık göstermesini sağlamaktadır (Joseph and Morrison, 2006).

Son zamanlarda bu şekilde farklı nitelikler kazanan NP’lerin yoğun olarak çalışılması sonucu, bu partikül yapılarının toksik etkileri ve bu etkilerin ne tür bir mekanizmayla ortaya çıktığı konuları araştırılmaya başlanmıştır. Böylece nanotoksikoloji olarak adlandırılan yeni bir bilim dalının kapısını aralamıştır. Bu amaçla; üretilen veya mühendislik faaliyetleri sonucu doğaya yayılan NP’lerin bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu yapıların genellikle canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu gözlenmiştir (Lin *et al.*, 2007; Kumari *et al.*, 2011; Demir *et al.*, 2014).

Bitkiler üzerinde de NP uygulamalarını ele alan bilimsel çalışmalar yoğun olarak yapılmaktadır. Bitki hücre duvarı por çaplarının, genel olarak deneysel çalışmalarda kullanılan NP’lerin boyutlarından küçük olduğu bilinmektedir (Chichiriccò and Poma, 2015). Bu yüzden NP’lerin bitki hücresine girmek için farklı yollar kullandığı tahmin edilmektedir. Bitkiler NP’leri aquaporinler (Miwa *et al.*, 2010) ya da membran taşıma sistemleri (Gojon *et al.*, 2009) aracılığıyla, çevresel besinlerdeki organik kimyasallara veya proteinlere taşıyıcı olarak tutunmasıyla (Rico *et al.*, 2011), hücre duvarındaki yapısal maddelere çapraz bağlarla yeni porlar açmasıyla (Fleischer *et al.*, 1999) ya da endositoz (Eggenberger *et al.*, 2009) yoluyla hücre içine alabilmektedir. Böylece, bir şekilde kendisine yol bulabilen NP yapıları floem ve ksilem ile bitki içerisinde farklı dokulara taşınarak birikim gösterebildiğine kanaat edilmiştir (Cifuentes *et al.*, 2010).

Kumari *et al.*, (2011) soğan bitkisi köklerine farklı dozlarda ZnO uygulamasını içeren çalışmalarında, NP yapılarının sitotoksik ve genotoksik etkiler göstererek hücre

bölünme oranını değiştirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, mısır, salatalık gibi farklı bitkiler üzerinde denenen ZnO NP'lerinin tohum oluşumu ile birlikte kök gelişimini de belli bir oranda inhibe ettiği görölmüştür (Lin *et al.*, 2007).

Farklı bir çalışmada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> ve karbonlu NP yapılarının salatalık bitkisi üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Bu NP'lerin salatalık köklerinin uzamasını ve tohum çimlenme oranını negatif etkilediği tespit edilmiştir (Mushtaq *et al.*, 2011).

Bir başka çalışmada, NP yapısındaki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve ZnO metalleri kullanılarak *Arabidopsis thaliana* bitkisi üzerine bu metallerin üç farklı dozu uygulanmıştır. 400, 2000, 4000 mg/dm<sup>3</sup> dozlarında uygulanan NP yapısındaki bu metallerin etkileri incelendiğinde; yaprak sayısı, tohum çimlenmesi ve kök uzaması üzerindeki en olumsuz etkiye ZnO NP yapılarının neden olduğu gözlenmiş, AlO<sub>3</sub> NP'ünün en az zararı verdiği ve daha küçük boyutta olan NP'lerin sebep olduğu hasarın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Lee *et al.*, 2010).

Kanola bitkisinde, iyonik ve yığın formdaki çinko ile ZnO NP'lerinin, bitkinin biyokimyasal bileşikleri ile antioksidant enzim aktivitelerinde, çinko akümülyasyonunda ve bitki büyümesi üzerindeki uzun dönem etkileri incelenmiştir. İyonik formdaki çinkonun en etkili büyüme engelleyicisi olduğu, NP yapısının bu bağlamda en etkisiz uygulama olduğu kaydedilmiştir. Sonuçta, çinko NP yapısının daha az toksik olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca, antioksidant enzim aktivitesi ile biyokimyasal bileşikler üzerine etki yönünden her üç yapının da etkili olduğu görölmüştür (Kouhi *et al.*, 2015).

Arora *et al.*, (2012) altın (Au) NP'lerinin lahanada (*Brassica juncea* L.) bitkisinin büyümesi ve verimi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, bitkilere Au NP'lerini çeşitli konsantrasyonlarda (0 – 100 mg/l) süspansiyon halinde püskürterek uygulamada bulunmuşlardır. Au NP uygulamasının bitkinin kök uzunluğunu, kök çapını, sap yüksekliğini, yaprak ve kök sayısını artırarak verim üzerinde olumlu etki gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Plotnikov *et al.*, (2017) farklı dozlarda (1 – 10 µg/ml) 10 nm boyutunda Au (altın) NP'lerinin 2 hafta boyunca hidroponik ortamda yetiştirilen arpa fideleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Au NP'lerinin yapraklarda ve köklerde biriktiğini gözlemlemişlerdir. Artan konsantrasyona bağlı olarak NP'lerin yaprak ve kök

büyümesini baskıladığını bildirmişlerdir. Ayrıca, 1 µg/ml Au NP uygulamasının yaprak büyümesini ortalama %10, kök büyümesini ise ortalama %60 oranında artırdığını rapor etmişlerdir.

Parlak (2016), buğday (*Triticum aestivum* L.) fidelerinin büyüme ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki besin çözeltilisindeki farklı nikel (Ni) seviyelerinin, buğday fidelerinin büyümesi ile membran lipid peroksidasyonu (LPO), prolin birikimi ve süperoksit dismutaz (SOD) da dâhil olmak üzere biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için kontrollü koşullar altında bir hidroponik deney yapmıştır. Litre başına 25 veya 50 g Ni konsantrasyonlarında yetişen fidelerde LPO'da istatistiksel olarak anlamlı bir artış kaydedildiği, ancak SOD aktivitesinin önemli derecede etkilenmediği görülmüştür.

Bitkilerin mutlak olarak ihtiyaç duyduğu metallerin ortamda en uygun dozlarda bulunması bitkinin büyümesi, gelişimi, yaş ve kuru ağırlık gibi özellikleri üzerine olumlu etkiler göstermektedir. Ancak, metaller parçalanmadığı için, bitki içindeki konsantrasyonu optimal seviyeyi aştığında, sitoplazmik enzimlerin inhibisyonu, oksidatif strese bağlı hücre yapılarının zarar görmesi, fotosentez inhibisyonu gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır (Jadia *et al.*, 2009).

Juhel *et al.*, (2011) yaptıkları çalışmada, alümina nanoparçacıklarının su mercimeğinin (*Lemna minor*) büyümesi, morfolojisi ve fotosentez yeteneği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Alümina NP'lerinin, bitkinin biyokütle birikimini önemli ölçüde artırdığını, bu durumun koloni başına düşen yaprak sayısı ve kök uzunluğu gibi morfolojik özellikler ile artan fotosentetik verim ile paralel olduğunu bildirmişlerdir. Artan fotosentetik verimin sebebinin fotosentezin ışık reaksiyonları ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

İnceer ve Beyazoğlu (2000), *Vicia hirsuta*'nın kök ucu hücrelerine uygulanan Cu'nun mitoz bölünmeyi önemli oranda baskıladığını, artan doz ve zamana bağlı olarak kromozomal anormalliklere yol açarak mitotik indeksi azalttığını rapor etmişlerdir.

Pakrashi *et al.*, (2014) soğan (*Allium cepa*) bitkisinin kök uçlarına uygulanan, dört farklı konsantrasyonda (12,5 – 25 – 50 – 100 µg/ml) TiO<sub>2</sub> NP'lerinin etkilerini araştırmışlardır. TiO<sub>2</sub> NP'lerinin soğan bitkisinde mitotik indekste doza bağlı bir

azalmaya (69 ila 21) ve kromozomal sapma sayısında belirgin bir artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir. TiO<sub>2</sub>'in reaktif oksijen türlerinin oluşumuna yol açarak genotoksik etki gösterdiğini belirtmişlerdir.

Demchenko *et al.*, (2010), esansiyel ağır metallere olan nikel'in buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumlarında ilk uygulamada mitoz bölünmeyi arttırdığını ancak uzun süreli Ni uygulamasının tohumlarda mitotik indeksi azalttığını rapor etmişlerdir.

Silva *et al.*, (2019) TiO<sub>2</sub> NP uygulamasının buğday bitkisinde antioksidan mekanizması üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada; 20 gün boyunca 0 – 5 – 10 ve 150 mg/l oranlarında TiO<sub>2</sub> NP maruz kalan bitkilerde sürgün ve kök büyümesinin azaldığını, hem yapraklarda hem de köklerde glutatyon redüktaz, dehidroascorbat redüktaz, askorbat peroksidaz aktivitesinde azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Kalingan *et al.*, (2016) horoz ibiği çiçeği (*Amaranthus caudatus* L.) bitkisinde metal stresi üzerine yaptıkları çalışmada, bitkiye on gün boyunca farklı dozlarda (2 – 4 – 6 – 8 ve 10 mM) Sr uygulayarak bitkideki morfolojik, biyokimyasal ve enzimatik değişiklikleri incelemişlerdir. Bu uygulama sonucunda yaprak alanı, yaş ağırlık, kuru ağırlık, sürgün ve kök uzunluğu gibi parametrelerin kontrol grubuna göre azaldığı bulunmuştur. Artan Sr konsantrasyonuna bağlı olarak klorofil, karotenoid, çözünür şeker ve protein içeriği gibi biyokimyasal bileşiklerin de azaldığı görülmüştür. Bunların aksine serbest amino asit, prolin ve katalaz gibi antioksidan enzim içeriğinin arttığı tespit edilmiştir.

Marçulionienè *et al.*, (2007) tere (*Lepidium sativum* L.) bitkisi üzerinde yaptıkları çalışmada <sup>137</sup>Cs ve <sup>90</sup>Sr'un tohum çimlenmesi, kök ve sürgün büyümesi, parankima hücre parametrelerinin üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. <sup>137</sup>Cs'un tüm konsantrasyonlarının (4·10<sup>2</sup>–4·10<sup>5</sup> Bq/l) bitkinin kök büyümesini uyardığını, <sup>90</sup>Sr'un ise sadece 2·10<sup>5</sup> Bq/l konsantrasyonda aynı etkiyi gösterdiğini rapor etmişlerdir. Diğer <sup>90</sup>Sr konsantrasyonlarının ise kök büyümesini inhibe ettiğini gözlemlemişlerdir.

Van Hoeck *et al.*, (2015) su mercimeği (*Lemna minor*) üzerinde <sup>90</sup>Sr'un etkilerini hidroponik ortamda araştırmışlardır. Artan doz ile orantılı olarak bitkinin yaprak ve kök yaş ağırlıklarının azaldığını tespit etmişlerdir. 97±8 mGy h<sup>-1</sup> oranında <sup>90</sup>Sr'un bitkide katalaz (CAT), peroksidaz (POD), glutatyon redüktaz (GR), askorbat

peroksidaz (APX) aktivitesini artırdığını ve hidrojen peroksitleri ise inhibe ettiğini rapor etmişlerdir.

Araştırmacılar, mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin yapraklarından Al, Mg ve Sr alımını inceledikleri çalışmada, bitkileri aydınlık ve karanlık ortamlarda büyüttüler. Yaprak örnekleri nitrik asit ve hidrojen peroksit karışımıyla parçalayıp ICP-AES ile ölçümleri yapmışlardır. Sonuçta, bu elementlerin alımının genel olarak ışıktaki karanlık ortamdaki yüksek olduğunu ve 0,2 mM Sr uygulamasının klorofil oluşumunu inhibe ettiğini bildirmişlerdir (Csikkel-szolnoki *et al.*, 1996).

Lin ve Xing (2008) hidroponik ortamda çavdar (*Lolium perenne*) bitkisine ZnO NP uygulamasının biyokütleyi önemli ölçüde azalttığını, kök uçlarını küçülttüğünü, kök epidermal ve kortikal hücrelerini yüksek oranda vakumladığını ifade etmişlerdir. ZnO NP'lerinin büyük ölçüde kök yüzeyine yapıştığını gözlemlemişlerdir.

Kim *et al.*, (1999) <sup>90</sup>Sr topraktan emilimi üzerine yaptıkları çalışmada 10 mM <sup>90</sup>Sr'un klorofil içeriğini azalttığını, klorofil yetmezliği, yapraklarda kloroz ve nekroz gibi görünür toksisite semptomlarının ortaya çıkmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Seregin and Kozhevnikova (2004) yaptıkları çalışmada, iki günlük mısır fidelerini (*Zea mays*L.), 3 mM ve 35 µM Sr(NO<sub>3</sub>) çözeltileri üzerinde inkübe ederek Sr'un toksik etkilerini gözlemlemişlerdir. Sr ile renkli kompleks geliştiren bir reaktif olan sodyum rhodizonatı, 2, 24, 48 ve 168 saat inkübasyon sonrasında mısır bitkisi dokularında ve organlarında Sr dağılımını izlemek için kullanmışlardır. Sr, 24 saatlik inkübasyondan hemen sonra tüm kök dokularında bulunduğunu; çoğunlukla hücre apoplastında biriktiği, protoplastlardaki içeriğinin oldukça düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Sr endodermal bariyeri simplast yoluyla kolayca geçtiği ve çoğunlukla perisikle hücrelerin duvarlarında immobilize olduğu; bu nedenle kök dallanmasını engellemediğini tespit etmişlerdir. Sr son hücre uzunluğunu etkilemediği ve hücre bölünmesini engelleyerek kök büyümesini (3 mM) durdurduğunu ifade etmişlerdir.

Ozgen *et al.* (2011) kök bölgesi kalsiyumunun sürgün ucu nekrozu üzerine etkisi ve patates (*Solanum tuberosum* L.) köklerinde apikal baskınlık sonucu oluşan

bozukluğun etilen glikol tetra asetik asit ve stronsiyum ile önlenmesi için yapmış oldukları çalışmada, Sr'un bitki hücre duvarlarına kuvvetlice bağlandığını, Sr'un dahil edilmesinin, kalsiyum eksikliği olan ortamlarda yetişen bitkilerin sürgünlerinde yaralanmayı önlediği bildirmişlerdir. 0,06 mM Sr uygulamasının aksiller sürgünlerin büyümesi üzerinde olumlu etki gösterdiğini, 0,2 – 1 mM Sr uygulamasının ise bitkinin yaş ve kuru ağırlım, sürgün uzunluğunu ve düğüm sayısını azalttığını gözlemlemişlerdir. Sonuçlar, Sr'un, kalsiyumun hücre duvarı bütünlüğünün korunmasındaki rolünü taklit edebildiğini ve kalsiyum eksikliğin subapikal hücrelerin hücre duvarı çökmesinden kaynaklandığını gösteren önceki çalışmaları desteklediğini göstermiştir.

Dan *et al.*, (2015) *Amaranthus mangostanus* L.'in Cs veya Sr ile kirlenmiş topraklardan fitoremidasyon yeteneği üzerine yapmış oldukları çalışmada, 0,1 – 5 mM Sr uygulamasının bitkinin büyüme oranını azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, yüksek Sr varlığının klorofil içeriğini Cs'a göre daha çok azalttığını ve bitkinin fotosentez yeteneğini azaltarak biyokütlesinin azalmasına yol açtığını gözlemlemişlerdir. Sr stresi sonucu, oksidatif stresin göstergesi olan malondialdehit (MDA)'in arttığı, katalaz (CAT) enziminin ise Cs uygulamasına göre azaldığı görülmüştür.

Hara *et al.*, (1977) sıvı kültür ortamında Sr uygulamasının Lahana ( *Brassica oleracea* L.) bitkisinin büyümesi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, 4 farklı seviyede (0,0 - 0,5 - 5,0 – 25 ppm) berilyum (Be) ve Sr kullanmışlardır. Bitkinin kuru ağırlığının kültür ortamındaki artan Be ve Sr miktarına bağlı olarak azaldığını gözlemlemişlerdir. 0,2 mM Sr uygulamasının bitkide yaş ve kuru ağırlığı azalttığını, yapraklardaki antosiyanin miktarını artırdığını tespit etmişlerdir.

Araştırmacılar, hidroponik ortamda *Arabidopsis thaliana*'da  $Sr^{2+}$ ,  $Cs^{+2}$  birikiminin genetik ve fizyolojik etkilerini incelediği bir çalışmada işaretçi olarak toksik olmayan dozlarda  $^{137}Cs$  ve  $^{90}Sr$  kullanmışlardır. Araştırmacılar, 10 – 40 mM doz aralığındaki uygulamanın bitki büyümesini azalttığını, 10 mM uygulamanın klorofil üzerine herhangi bir etki göstermediğini, köklerde ve sürgünlerde Sr elementinin biriktiğini tespit etmişlerdir (Kanter *et al.*, 2010)



Watanabe and Okada (2005) Al, Ca ve Sr gibi katyonların pirinç (*Oryza sativa* L.) ve buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisi çeşitlerinin kök gelişimi üzerindeki etkilerini düşük pH (5,0)'lı hidroponik ortamda incelemişlerdir. Düşük oranda kalsiyum varlığında Sr ve Baryum uygulamasının pirinç çeşitlerinin kök gelişimini engellediğini tespit etmişlerdir. Ortama magnezyum eklendiğinde Al toksisitesinin engellendiğini ancak Sr ve Ba toksisitesinin etkilenmediğini gözlemlemişlerdir. 0,45 mM Sr uygulamasının Buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin kök gelişimi üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye sebep olmadığını ancak pirinç (*Oryza sativa* L.) bitkisi çeşitlerine aynı konsantrasyonda uygulandığında köklerin kısaldığını gözlemlemişlerdir.

Sowa *et al.*, (2014) çeşitli Sr konsantrasyonları ile işlenmiş soyanın (*Glycine max* L. Merrill) biyolojik olarak zenginleştirilmesini araştırmışlardır. Bitkinin, Sr<sup>2+</sup>'yi (1'den daha yüksek biyolojik konsantrasyon faktörü) absorbe etme kapasitesine sahip olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, büyüme ortamındaki Sr miktarı ile bitkideki içeriği arasında pozitif bir doğrusal korelasyon ( $R^2 > 0,98$ ) gözlemlenmiştir. Ayrıca, 0 – 1,5 mM'lık bir konsantrasyonda, Sr'un toksik olmadığını, hatta sürgünler ve kökler için sırasıyla yaklaşık %19,4 ve taze ağırlığın %22,6'sı oranında büyümeyi uyardığını ve klorofil a/b ve toplam klorofil içeriğini azalttığını rapor etmişlerdir. 2 mM'lık konsantrasyondaki Sr uygulamasının bitkide yaş ve kuru ağırlıkta azalmaya sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. Postmenopozal osteoporozu önlemede, hem fitoöstrojenler hem de Sr içeren bitkisel ürünler veya bitkisel preparatlar elde etmek için faydalı olabileceğini ifade etmişlerdir.

Seregin and Kozhevnikova (2005) yaptıkları çalışmada Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (kurşun nitrat), Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (kadmiyum nitrat), Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (nikel nitrat) ve Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>'in mısır (*Zea mays* L.) bitkisi üzerindeki toksik etkilerini, bitkinin bu tuzlarla iki günlük inkübasyonun ardından karyopsislerin çimlenme oranlarına göre hesaplamışlar, ağır metallerin ve Sr'nin dağılımını, ditizon (Cd ve Pb için), dimetilgioksi (Ni için) ve sodyum rhodizonat (Sr için) ile renkli komplekslerin oluşumuna dayanan histokimyasal yöntemlerle incelemişlerdir. İncelenen metallerin, mısır kökünün çıkıntılarını etkilememesine rağmen, tohum çimlenmesini ifade edilen sıraya göre inhibe ettiğini bulmuşlar: Cd > Ni ≈ Pb > Sr. Cd ve Pb. Esas olarak tohum kaplama hücrelerinde birikmesine rağmen Sr ve Ni'in, embriyo, endosperm (Sr birikimi) ve skutellum (Ni birikimi) hücrelerinde

biriktiğini gözlemlemişlerdir. Cd sadece tohum kabuğunda bulunmasına rağmen, tohum çimlenmesinin en güçlü inhibitörü olduğu görülmüştür. Yüksek toksisite nedeniyle, Cd, histokimyasal analiz için çok düşük konsantrasyonlarda inhibe edici etki gösterdiği tespit edilmiştir. 10 mM Sr uygulamasında, Sr'un emici karyopsların tohum katmanında kolay translokasyona rağmen, düşük toksisitesi, embriyo ve endosperm hücrelerinin apoplastındaki baskın lokalizasyonu nedeniyle belirgin şekilde kök çıkıntısı ve tohum çimlenmesini engellemediğini tespit etmişlerdir.

Mei *et al.*, (2006), *Platymonas subcordiformis*'in büyümesi ve klorofil içeriği üzerine Sr'un etkisini laboratuvar koşullarında incelenmişlerdir. Çalışmada alglerin Sr'a maruz kalmasının genel olarak büyüme ve klorofil içerikleri üzerinde çok yüksek Sr konsantrasyonları dışında çok az etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Sr'un maksimum biyosorpsiyon kapasitesi 69,62 ila 269,18 mg Sr<sup>2+</sup>/g kuru ağırlık arasında hesaplanmış ve algal biyokütlenin, Sr'un yüksek alım kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Toplam süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi ve lipid peroksidasyon ürünlerinin malondialdehit (MDA) içeriği, farklı uygulamalarda önemli ölçüde farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. SOD aktivitesinin, kontrol grubundan yaklaşık %55,8 daha yüksek olan 0,09 mmol/l'de en yüksek seviyeye ulaştığını ve MDA içeriğinin, 0,36 mmol/l'de önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir. Bu durum da oksidatif stres varlığını göstermektedir. Sr konsantrasyonunun artması ile birlikte, yağ asidi miktarı da azalmıştır. Uygulanan 11,52 mM'lık Sr'un büyümenin azalması, hücre bölünme hızının azalması, hücre duvarlarının sertleşmesi, toplam klorofil içeriği ile klorofil a ve klorofil b'nin azalmasıyla ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir.

Meena *et al.*, (2013) soğan (*Allium cepa* L.) bitkisine 24, 48 ve 72 saat süresince 5,0 – 10 – 20 – 40 ve 80 ppm arasında değişen dozlarda stronsiyum klorür uygulayarak bitkinin kök meristemindeki mitotik aktiviteyi ve kromozomal davranışları incelenmişlerdir. Kök meristeminde Sr<sup>2+</sup> birikimini, 460 nm'de stronsiyum lamba-68 ve atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanarak belirlemişlerdir. Sr<sup>2+</sup>'nin kök gelişimini azalttığını tespit etmişlerdir. 24 saat süreyle uygulanan 20 ppm üzerindeki Sr<sup>2+</sup> konsantrasyonlarının soğan için toksik olduğunu rapor etmişlerdir. Ölümcül olmayan Sr<sup>2+</sup> konsantrasyonları, soğan'ın kök uçlarında hücre bölünmesini inhibe edici bir etki gösterdiğini ve mitotik indeks değerlerinde bir azalmaya yol açarak bitki

büyümesini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Kontrol değerleriyle karşılaştırıldığında tüm uygulamaların, mitotik fazların sıklığını değiştirdiğini, çok kutuplu anafazda gecikmeye neden olarak kök uçlarındaki hücrelerin bölünmesinde mitotik anormalliklere yol açtığını tespit etmişlerdir. Bu anormalliklerin (kromozom kırılmaları gibi) test edilen iyonların gerçek klastojenik potansiyelini gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Chen *et al.*, (2012) kolza bitkisinin tohumunda (*Brassica napus* L., cv. *Mianyou* No.15), Sr'un bitkinin fotosentez özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için, 0,0 – 10 - 20 ve 40 mM SrCl<sub>2</sub> (stronsiyum klorür) içeren besin çözeltisi ile hidroponik ortamda bitkiye muamelede bulunmuşlardır. Yağlı tohumlu kolza bitkilerinde Sr alımı, dağıtımı ve fotosentezin çeşitli yönleri üzerindeki etkisi 0, 7, 14 ve 21 günlük Sr işleminden sonra incelenmiştir. Kolza (*Brassica napus* L.) güçlü bir Sr biriktirme kabiliyeti göstermiştir. Kökler tarafından absorbe edilen Sr öncelikle yapraklara aktarılmış ve burada birikmiştir. Yaprak fotosentetik oksijen gelişim hızı, toplam klorofil içeriği, klorofil a-b içeriği, Rubisco ve fosfoenolpiruvat karboksilaz (PEPCase) aktiviteleri, uygulanan Sr konsantrasyonunun ve maruz kalma süresinin artmasıyla birlikte giderek azaldığını belirtmişlerdir. 10 – 20 mM konsantrasyonlarda klorofil a/b içeriğinin arttığını, 40 mM'da ise azaldığını rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar yapraklarda biriken Sr'un, enerji Emilimi, enerji aktarımı ve fotosentetik karbon asimilasyonu gibi çeşitli fotosentez işlemlerine zarar verdiğini göstermektedir.

Wójciak-Kosior *et al.*, (2016) Sr iyonlarının soya fasulyelerinde (*Glycine max* L.) fitoöstrojen üretimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bitkilere 14 gün boyunca Hoagland çözeltisi içeren hidroponik ortamda 0,5 ila 3,0 mM arasında değişen konsantrasyonlarda Sr<sup>2+</sup> ile muamele ederek bitkileri büyüttüler. Hasattan sonra, soya fasulyesi (*Glycine max* L. Merrill) bitkilerinin kökleri ile sürgünlerini ayırdıktan sonra, kurutup ufalamışlardır. Bitki materyalinin hidrolizi ve ekstraksiyonu metanol ile gerçekleştirilmiş, fitoöstrojen miktarı, HPLC ile ölçülmüştür. Kontrol ile karşılaştırıldığında, test edilen Sr<sup>2+</sup> iyonlarının tüm konsantrasyonlarında, ilgilenilen bileşiklerin konsantrasyonundaki önemli bir artış gözlemiştir. 2 mM'lık Sr<sup>2+</sup> konsantrasyonu fitoöstrojen miktarını, daidzein, coumestrol, genistein ve formononetin'e göre sırasıyla yaklaşık 2,70 – 1,92 – 3,77 ve 2,88 kat artırmıştır. Ayrıca,

stressiz bitkilerden elde edilenlerle kıyaslandığında, 2 mM Sr<sup>2+</sup> uygulanan bitkilerden elde edilen özütlerle muamele edilen HepG2 karaciğer hücre modellerinde sitotoksik etki gözlenmemiştir. Araştırmacılar, kültür ortamına Sr iyonlarının eklenmesinin soya fasulyesi (*Glycine max* L. Merrill) bitkilerini gelişmiş fitoöstrojen içeriği ile işlevselleştirmek için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.



### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan kimyasallar, cihazlar ve malzemeler

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan cihazlar ve malzemeler

Sıra	Kimyasallar	Cihazlar	Malzemeler
1	Fe-EDTA	Saf Su Cihazı	Çimlendirme Kâğıdı
2	Guaicol	Hassas Terazı	Çimlendirme Kabı
3	NaOH (%10)	pH-metre	Falkon Tüpü
4	SrO	Vorteks	Alüminyum Folyo
5	Sıvı Azot	Su Banyosu	Eppendorf Tüpü
6	KOH	Soğutmalı Santrifüj cihazı	Milimetrik Cetvel
7	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Çalkalayıcı: Heidolph Titramax 100	Sıvı Azot Tankı
8	PVP	Kabin: Class I hepa filtreli çift kişilik	Hidroponik Sistem
9	EDTA	Manyetik Karıştırıcı	Porselen Havan
10	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	-80°C Dondurucu	Mikro Pipet
11	TBA	Spektrofotometre: Thermo Scientific Multiscan Go	
12	TCA	SPAD-502 Plus: Sonica Minolta	
13	Metionin	EC Metre	
14	NBT		
15	Riboflavin		
16	Askorbik Asit		
17	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		
18	KI		
19	Saf su		

**Çizelge 3.1. (Devam)** Çalışmada kullanılan cihazlar ve malzemeler

Sıra	Kimyasallar	Malzemeler	Cihazlar
20	Ultra Saf Su		
21	KNO <sub>3</sub>		
22	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		
23	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O		
24	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O		
25	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>		
26	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O		
27	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O		
28	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O		
29	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O		

### 3.1.2. Bitki materyali

Araştırma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Moleküler Sitogenetik ve Biyoteknoloji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Esperia ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi kullanılmıştır. Kullanılan buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilmiştir. Her bir tekerrürde 5 adet olmak üzere toplam 160 adet Esperia buğday çeşidine ait fideler kullanılmıştır.

### 3.1.3. Kullanılan element ve doz oranları

Çalışmada SrO NP'leri kullanılmıştır. Element Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilmiştir. Kullanılan element ve doz oranları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Esperia buğday çeşidi için kullanılan uygulamalar ve doz oranları

Kullanılan Doz Değerleri							
0,0 mM	0,5 mM	1,0 mM	1,5 mM	2,0 mM	4,0 mM	6,0 mM	8,0 mM
Kontrol	SrO NP	SrO NP	SrO NP	SrO NP	SrO NP	SrO NP	SrO NP
	Doz-1	Doz-2	Doz-3	Doz-4	Doz-5	Doz-6	Doz-7

## **3.2. Metot**

### **3.2.1. Buğday tohumlarının yüzey sterilizasyonu**

Kullanılan tohumlara %70'lik etil alkol ile 1 dakika boyunca çalkalayıcı cihazında muamele edilmiştir. Steril kabin içerisinde alkolden çıkarılan tohumlar 3 kez saf su ile durularak filtre kâğıtlarında kurutulmuştur. Ardından tohumlara %30'luk sodyum hipoklorit çözeltisi ile 10 dakika süreyle çalkalayıcıda muamele edilmiştir. Tekrar steril kabin içerisinde tohumlar 3 defa saf su ile durularak işlem sonlandırılmıştır.

### **3.2.2. Tohum çimlenmesi ve fide oluşumu**

Steril edilen tohumlar, çimlendirme kağıdı içeren çimlendirme kaplarına steril kabinde aktarıldıktan sonra 25°C ortam sıcaklığında 3 gün çimlendirilmeye bırakılmıştır. 3 gün sonunda 2 cm fide uzunluğuna ulaşan tohumlar hidroponik sisteme aktarılmıştır.

### **3.2.3. Hidroponik ortamın hazırlanması**

#### **3.2.3.1. Stok Hoagland ve Arnon solüsyonunun hazırlanması**

Stok hidroponik çözeltisi, Hoagland and Arnon (1938) çözeltisi temel alınarak Çizelge 3.2.3'te gösterilen bileşenler kullanılarak modifiye çözelti hazırlanmıştır. Kimyasallar tartılıp 1 L saf su içerisinde manyetik karıştırıcıda çözdürülerek hazırlanmıştır.

#### **3.2.3.2. Deney gruplarında kullanılan hidroponik çözeltinin hazırlanması**

Stok Hoagland ve Arnon çözeltisinden Çizelge 3.4'de gösterilen oranlarda alınarak her bir doz grubu için 2 L saf su içerisine eklenmiştir. Daha sonra hazırlanan çözeltiye Çizelge 3.2' de gösterilen oranlarda SrO NP'leri eklenip pH: 5,8 olarak ayarlanmıştır.

#### **3.2.4. Deneme düzeninin kurulması**

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her tekerrür grubuna 3.2.3.2. bölümünde hazırlanan çözeltiden 250 ml eklenmiştir. Daha sonra çimlendirilen tohumlardan 5'er tane ekim yapılarak, 25±1°C'de 18 saat ışıklı ve 6 saat karanlık fotoperiyotta, 120 µmol photon/m<sup>2</sup>s foton yoğunluğunda hidroponik sistem çalıştırılmıştır. Deneme 7. günün bitimiyle sonlandırılmıştır.

**Çizelge 3.3.** Stok Hoagland ve Arnon çözeltisi bileşenleri ve miktarları

<b>Makro bileşenler</b>	<b>g/l</b>	<b>Stok Adı</b>
KNO <sub>3</sub>	101	A
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	6,8	B
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	18,486	B
Fe-EDTA	2,643	C
<b>Mikro bileşenler</b>	<b>g/l</b>	<b>Stok Adı</b>
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,12	D
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,31	
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	0,224	
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,057	
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,037	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,0092	

**Çizelge 3.4.** Hidroponik sistemde kullanılacak solüsyon bileşenleri

<b>Çözelti Adı</b>	<b>Stok A</b>	<b>Stok B</b>	<b>Stok C</b>	<b>Stok D</b>
<b>Miktar (ml/l)</b>	1,0	10	10	10



### **3.2.5. Araştırmada incelenen özellikler**

#### **3.2.5.1. Klorofil miktarının ölçülmesi**

Uygulama sonunda bitkilerin klorofil miktarı, Nezami *et al.*, (2008)'un belirttiği yöntem temel alınarak tekerrürdeki her bitkinin bayrak yapraklarından şansa bağlı olarak seçilen bir örneğin SPAD-502 Plus (Konica minolta) cihazıyla ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerin ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

#### **3.2.5.2. Bitkisel gözlemler**

Uygulama sonunda bitkilerin sürgün ve kök uzunluğu milimetrik cetvel ile ölçülerek, sürgün ve kök yaş ağırlıkları hassas terazi ile tartılarak, kök sayısı ise sayılarak tespit edilmiştir.

#### **3.2.5.3. Hücre zarı hasarı incelemesi**

Uygulama sonunda bitkilerde oluşan hücre zarı hasarı, Lutts (1996) tarafından tarif edildiği gibi EC metre (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, ABD) cihazı ile ölçülmüştür. Her deney grubunun yapraklarından toplam 100 mg örnek alınarak saf su ile yıkandıktan sonra, 15 ml saf su içeren falcon tüplerine yerleştirilip, 25°C'de 24 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda elektriksel iletkenlik (EC1) değerleri kaydedilen örnekler 20 dakika boyunca 120°C'de otoklavlanmıştır. Numuneler daha sonra 25°C'ye soğutulup, elektriksel iletkenlik (EC2) değerleri EC metre ile tekrar ölçülerek kaydedilmiştir. Hücre zarı hasarı, aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır;

$$\text{Hücre zarı hasarı} = (\text{EC1}/\text{EC2}) \times 100 \quad (3.5)$$

#### **3.2.5.4. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA ve Stres enzimleri analizi**

Uygulama sonunda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve MDA içeriği ile SOD, POD ve APX stres enzimlerinin aktiviteleri Thermo Scientific Multiskan Gocihazı ile absorbans ölçümleri yapılarak incelenmiştir.

##### **3.2.5.4.1. Enzim, MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> analizinde kullanılan tamponların hazırlanması**

###### **3.2.5.4.1.a. SOD, POD ve APX homojenizasyon(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) tamponu**

SOD, POD ve APX enzimlerinin analizinde kullanılacak örneklerin homojenizasyonu için kullanılmıştır. 50 ml çözelti için 0,68 gr KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> az miktarda saf

su ile çözdürüldükten sonra KOH (0,2 M) ile pH: 6,75'e ayarlanmıştır. Sonra 0,15 gr PVP ve 0,014 gr EDTA eklenip hepsi çözdürülerek son hacim saf su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.1.b. MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> homojenizasyon tamponu**

MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> analizinde kullanılacak örneklerin homojenizasyonu için kullanılmıştır. 5 gr TCA bir miktar ultra saf su ile çözdürüldükten sonra son hacim ultra saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır (Tiryaki *et al.*, 2019).

#### **3.2.5.4.1.c. POD ölçüm tamponu**

POD enziminin ölçümünde kullanılmıştır. 50ml çözelti için 0,709 gr Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> bir miktar saf suyla çözdürülmüş KOH (0,2 M) ile pH: 5,5'e ayarlanmıştır. Sonra 0,15 gr PVP ile 0,014 gr EDTA eklenmiş ve hepsi çözdürülmüş, son hacim 50 ml'ye tamamlanmıştır. Ölçümden hemen önce çözeltiden 25 ml alınarak, 21 µl H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 30 µl Guaicol eklenmiştir (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.1.ç. MDA ölçüm tamponu**

MDA miktarının ölçümünde kullanılmıştır. 0,5 gr TBA ve 20 gr TCA son hacim 100 ml olacak şekilde ultra saf suda çözdürülerek hazırlanmıştır (Tiryaki *et al.*, 2019).

#### **3.2.5.4.1.d. SOD ölçüm tamponu**

SOD enziminin ölçümünde kullanılmıştır. 2,61 gr KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> saf suda çözdürülerek pH:7,8'e ayarlanmıştır. 0,58 gr metionin, 0,018 gr NBT ve 0,0087 gr EDTA sırasıyla karışıma ilave edilerek son hacim 300 ml'ye tamamlanmıştır. Cihazda ölçüm yapılmadan hemen önce karışımla birlikte her bir örnek kuyusuna 2 µM'lık Riboflavin eklenmiştir (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.1.e. APX ölçüm tamponu**

APX enziminin ölçümünde kullanılmıştır. 100 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> tamponu, 0,5 mM Askorbik Asit ve 0,1 mM EDTA ile 50 ml saf su içerisinde hazırlanmıştır. Cihazda ölçüm yapılmadan hemen önce karışımla birlikte her bir örnek kuyusuna 2,5 mM'lık %35'lik H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'ten 45 µl eklenmiştir (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.1.f. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ölçüm tamponu**

10 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> ve 1 M KI 50 ml saf suda karıştırılarak hazırlanmıştır. Ölçüm sırasında blank olarak 290 µM, 580 µM ve 870 µM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılmıştır. 290 µM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,

100 ml saf suya 2,5 µl H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in karıştırılmasıyla; 580 µM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 100 ml saf suya 5 µl H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in karıştırılmasıyla; 870 µM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 100 ml saf suda 7,5 µl H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in karıştırılmasıyla elde edilmiştir (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.2. Enzim, MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> analizi yapılacak örneklerin hazırlanması**

##### **3.2.5.4.2.a. SOD, POD ve APX enzimlerinin miktarının ölçümünde kullanılan örneklerin hazırlanması**

7 gün süresince Çizelge 3.2' de gösterilen konsantrasyonlarda hidroponik sistemde SrO NP'lerine maruz bırakılan bitkilerin her tekerrür grubundan 0,2 gr örnek alınarak porselen havanda sıvı azot ile ezilmiştir. Soğuk zincir bozulmadan 0,2 gr ezilmiş bitki örneğinin üzerine 2 ml KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> tamponu ilave edilmiştir. Bitki örneği ve tampon iyice ezilerek homojenize edilmiştir. Ezilen örnekler sıvı hale gelince 2 ml'lik ependorf tüplere aktarılmıştır. Tüm ezme işlemleri bitinceye dek ezilen örnekler -20°C'de bekletilmiştir. Tüm işlemler bittikten sonra örnekler 25±1°C'de bekletilerek çözdürülmüştür. Çözdürülen örnekler soğutmalı santrifüj cihazında +4°C'de 15000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüjlenen örneklerden süpernatant alınarak yeni ependorf tüplere aktarılmıştır. Ölçümler gerçekleştirilinceye kadar -80°C'de saklanmıştır (Sahin *et al.*, 2018).

##### **3.2.5.4.2.b. MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının ölçümünde kullanılan örneklerin hazırlanması**

7 gün süresince Çizelge 3.2' de gösterilen konsantrasyonlarda hidroponik sistemde SrO NP'lerine maruz bırakılan bitkilerin her tekerrür grubundan 0,2 gr örnek alınarak porselen havanda sıvı azot ile ezilmiştir. Sıvı azotta ezme işleminden sonra 2 ml homojenizasyon tamponu ile homojenize edilmiştir. Tüm ezme işlemleri bitinceye kadar ezilen örnekler -20°C'de bekletilmiştir. Tüm işlemler bittikten sonra örnekler 25±1°C'de bekletilerek çözdürülmüştür. Çözdürülen örnekler soğutmalı santrifüj cihazında +4°C'de 15000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası alınan süpernatantlar yeni ependorf tüplere aktarılmıştır. Örneklerden 1'er ml alınarak cam tüpe aktarılıp, üzerine 1 ml MDA ölçüm tamponu eklenmiştir. Sonra tüpler 95°C'de 45 dk sıcak su banyosunda bekletilmiştir. Sıcak su banyosundan sonra örnekler soğuk buzlu su banyosuna alınarak 25±1°C'ye soğutulmuştur. Soğutulan örnekler ependorf tüplere aktararak ölçüm yapıncaya kadar -80°C'de bekletilmiştir (Sahin *et al.*, 2018; Tiryaki *et al.*, 2019).

### **3.2.5.4.3. Enzim, MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının ölçümü**

#### **3.2.5.4.3.a. SOD enzimi miktarının ölçülmesi**

SOD enziminin aktivite tayini NBT'un fotokimyasal reaksiyonunun inhibisyonunun izlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. 3.2.5.4.2.a'da hazırlanan örnekler -80°C'den çıkartılarak 25±1°C'lik ortamda çözdürülmüştür. Her bir örnek spektrofotometre plate'i kuyusuna tek tekerrür için 20 µl örnek, 170 µl SOD ölçüm tamponu (3.2.5.4.1.e.) ve 10 µl riboflavin çözeltisi olacak şekilde yüklenmiştir. Blank kuyusuna ise 190 µl SOD ölçüm tamponu ve 10 µl Riboflavin çözeltisi yüklenmiştir. Hazırlanan plate floresan ışık kaynağı altında 10 dk bekletilerek NBT'un renk yoğunluğunun açılması sağlanmıştır. Bu sürenin sonunda plate spektrofotometre cihazına yerleştirilip 560 nm dalga boyunda ölçüm yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir. SOD aktivitesinin 1 ünitesi, NBT'un indirgenmesinin %50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı, 1 enzim ünitesi olarak kabul edilmiş ve sonuç değerleri U/g yaprak olarak verilmiştir (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.3.b. POD enzimi miktarının ölçülmesi**

3.2.5.4.2.a'da hazırlanan örnekler -80°C'den çıkartılarak 25±1°C'lik ortamda çözdürülmüştür. Her bir örnek, spektrofotometre plate'i kuyusuna tek tekerrür için 5 µl örnek ve 245 µl POD ölçüm tamponu olacak şekilde yüklenmiştir. Hazırlanan plate spektrofotometre cihazına yerleştirilip 470 nm dalga boyunda 1 dk süreyle 15 sn aralıklarla absorbans ölçümü yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. 25°C'de 1 dk'da, absorbansı 0,01 artıran enzim miktarı 1 enzim ünitesi olarak değerlendirilmiş ve sonuçlar g yaprak başına düşen enzim ünitesi (U/g yaprak) olarak ifade edilmiştir (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.3.c. APX enzimi miktarının ölçülmesi**

3.2.5.4.2.a'de hazırlanan örnekler -80°C'den çıkartılarak 25±1°C'lik ortamda çözdürülmüştür. Her bir örnek spektrofotometre plate'i kuyusuna tek tekerrür için 20 µl örnek ve 180 µl APX ölçüm tamponu olacak şekilde yüklenmiştir. Hazırlanan plate spektrofotometre cihazına yerleştirilip 290 nm dalga boyunda 1 sn ön çalkalama sonrası 3 dk boyunca 30 sn aralıklarla ölçüm gerçekleştirilerek sonuçlar g taze yaprak başına düşen enzim ünitesi (U/g yaprak) olarak kaydedilmiştir (Sahin *et al.*, 2018).

#### **3.2.5.4.3.ç. MDA miktarının ölçülmesi**

3.2.5.4.2.b'de hazırlanan örnekler  $-80^{\circ}\text{C}$ 'den çıkartılarak  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'lik ortamda çözdürülmüştür. Spektrofotometre plate'i kuyusuna tek tekerrür için her bir örnek 200  $\mu\text{l}$  miktarında yüklenmiştir. Blank olarak 200  $\mu\text{l}$  MDA ölçüm tamponu kullanılmıştır. Hazırlanan plate spektrofotometre cihazına yerleştirilip 440 nm, 532 nm ve 600 nm dalga boylarında absorbans değerleri ölçülerek ng/ $\mu\text{l}$  olarak kaydedilmiştir. Veriler Tiryaki *et al.*, (2019)'un belirttiği metoda göre hesaplanmıştır.

#### **3.2.5.4.3.d. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının ölçülmesi**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> analizi, Sahin *et al.*, (2018)'un belirttiği yöntem esas alınarak yapılmıştır. 3.2.5.4.2.b'de hazırlanan örnekler  $-80^{\circ}\text{C}$ 'den çıkartılarak  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'lik ortamda çözdürülmüştür. Her bir örnek spektrofotometre plate'i kuyusuna tek tekerrür için 50  $\mu\text{l}$  örnek ve 150  $\mu\text{l}$  H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ölçüm tamponu olacak şekilde yüklenmiştir. Blank olarak 200'şer  $\mu\text{l}$  290  $\mu\text{M}$ 'lık, 580  $\mu\text{M}$ 'lık ve 870  $\mu\text{M}$ 'lık H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılmıştır. Hazırlanan plate spektrofotometre cihazına yerleştirilip 390 nm dalga boyunda absarbans ölçümü yapılarak elde edilen sonuçlar  $\mu\text{mol/g}$  olarak kaydedilmiştir.

#### **3.2.6. İstatistiksel analiz**

Çalışma sonunda elde edilen veriler JMP istatistiksel analiz programı kullanılarak tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Veriler LSD çoklu karşılaştırma testi ile  $\alpha=0,05$ 'e göre karşılaştırılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. SrO NP Uygulaması Sonucu Bitkisel Gözlemlerden Elde Edilen Veriler

Yapılan literatür araştırmasında buğday bitkisinde SrO NP ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamış, buğday bitkisine uygulanan diğer NP'ler ile ilgili kaynaklar bulunabilmiştir. SrO NP'lerinin bitkiler üzerindeki etkileri daha önce çalışılmadığı anlaşıldığı için kaynak taraması farklı NP'lerde araştırılmıştır.

#### 4.1.1. Sürgün uzunluğu

Sürgün uzunluğu verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde sürgün uzunluğu (cm) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	Sürgün Uzunluğu (cm)	Gruplandırma
0,0 mM	20,0725	B
0,5 mM	20,7750	A
1,0 mM	20,3050	B
1,5 mM	18,7650	C
2,0 mM	16,9100	D
4,0 mM	16,1222	E
6,0 mM	16,8986	D
8,0 mM	15,8388	E
LSD: 0,3234	F: 332,3409***	

Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.1 incelendiğinde doz ile sürgün uzunluğu arasında doğrusal bir ilişki gözlenmemiş, en uzun sürgünler 0,5 mM SrO NP uygulamasından elde edilmiş (20,7750 cm) ve bunu kontrol grubu (20,0725 cm) ile 1,0 mM SrO NP uygulaması (20,3050 cm) takip etmiştir. En kısa sürgünler ise 8,0 mM SrO (15,8388 cm) ve 4,0 mM SrO NP uygulamasından (16,1222 cm) elde edilmiştir.

Lee *et al.*, (2008) Cu (bakır) NP uygulamasının sürgün uzunluğunu kontrol grubuna göre azalttığını ifade etmişlerdir. Jhanzab *et al.*, (2019) Ag (gümüş) NP uygulamasının buğday bitkisinde sürgün uzunluğunu olumlu etkilediğini bildirmişlerdir. Kondak (2019) MgO (magnezyum oksit) NP uygulamasının buğdayların sürgün uzunluğunu olumlu etkilediğini belirtmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sürgün uzunlukları başlangıçta kontrole göre bir artış göstermiş, ancak daha yüksek konsantrasyonların sürgün uzunluğunu doğrusala yakın bir şekilde azalttığı görülmüştür. Dolayısıyla, NP'lerin sürgün uzunluğunu olumsuz etkilediğini belirten Lee *et al.*, (2008)'un çalışmaları ile benzerlik, olumlu etkilediğini belirten Jhanzab *et al.*, (2019) ve Kondak (2019)'un çalışmalarından farklılıklar arz etmektedir.

#### **4.1.2. Sürgün yaş ağırlığı**

Sürgün yaş ağırlığı verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.2 incelendiğinde en ağır yaş sürgünler 0,5 mM SrO NP (0,1841 g) ve 1,0 mM SrO NP uygulamasından (0,1842 g) elde edilmiş ve bunu 1,5 mM SrO NP uygulaması (0,1785 g) takip etmiştir. En düşük sürgün yaş ağırlığı ise 8,0 mM SrO NP uygulamasından (0,1351 g) elde edilmiştir.

Dimpka *et al.*, (2013) CuO (bakır oksit) ve ZnO (çinko oksit) NP'lerinin, Wang *et al.*, (2014) Ag NP'lerinin, Jiang *et al.*, (2017) TiO<sub>2</sub> (titanyum dioksit) NP uygulamasının artan doza bağlı olarak sürgün yaş ağırlığını azalttığını, Rawat *et al.*, (2018) ise TiO<sub>2</sub> ve ZnO NP'lerinin sürgün yaş ağırlığını artırdığını belirtmiştir. Kondak (2019) MgO NP'lerinin buğday bitkisinde sürgün yaş ağırlığını olumlu etkilediğini ifade etmiştir. Elde edilen sonuçlar, kontrol ve 6,0 mM SrO NP uygulaması hariç tutulduğunda genel manada sürgün yaş ağırlığının artan konsantrasyona bağlı olarak bir azalış gösterdiğini ifade etmektedir. Bu veriler ışığında sonuçların Dimpka *et al.*, (2013), Wang *et al.*, (2014) ve Jiang *et al.*, (2017)'un sonuçları ile benzerlik arz etmekte, Rawat *et al.*, (2018) ve Kondak (2019)'un çalışmalarından farklılık göstermektedir.

**Çizelge 4.2.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde sürgün yaş ağırlığı (g) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	Sürgün Yaş Ağırlığı (g)	Gruplandırma
0,0 mM	0,1687	C
0,5 mM	0,1841	A
1,0 mM	0,1842	A
1,5 mM	0,1785	B
2,0 mM	0,1564	D
4,0 mM	0,1414	E
6,0 mM	0,1587	D
8,0 mM	0,1351	F
LSD: 0,0042	F: 170,7550***	

#### 4.1.3. Kök sayısı

Kök sayısı verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.3 incelendiğinde en fazla kök sayısı 8,0 mM SrO uygulamasından (5,3888 adet) elde edilmiş, bunu 1,0 mM SrO NP uygulaması (4,8500 adet), 6,0 mM SrO NP uygulaması (4,8333 adet) ve 4,0 mM SrO NP uygulaması (4,8330 adet) takip etmiştir. En az kök sayısı ise kontrol grubundan (4,5500 adet) elde edilmiştir.

Iqbal *et al.*, (2017) AgNO<sub>3</sub> (gümüş nitrat) NP uygulamasının buğday bitkisinin kök sayısını artırdığını ifade etmişlerdir. Jiang *et al.*, (2017) buğday bitkisine TiO<sub>2</sub> NP uygulamasının kök sayısında anlamlı değişikliğe yol açmadığını ifade etmişlerdir. Kondak (2019), MgO NP’lerinin uygulanan doza bağlı olarak buğday bitkisinde kök sayısının azalmasına yol açtığını belirtmiştir. Çizelge 4.3 incelendiğinde kök sayısının artan konsantrasyona bağlı olarak bir artış gösterdiği görülmektedir. Buna göre stres faktörlerinin köklerde artışa sebep olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu sonuçlar Iqbal *et al.*,



(2017)'un sonuçlarıyla benzerlik, Kondak (2019)'ın sonuçlarıyla ise farklılık arz etmektedir.

**Çizelge 4.3.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde kök sayısı (adet) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	Kök Sayısı (adet)	Gruplandırma
0,0 mM	4,5500	C
0,5 mM	4,7000	BC
1,0 mM	4,8500	B
1,5 mM	4,6500	BC
2,0 mM	4,6000	BC
4,0 mM	4,8330	B
6,0 mM	4,8333	B
8,0 mM	5,3888	A
LSD: 0,2766	F: 7,8530***	

#### 4.1.4. Kök uzunluğu

Kök uzunluğu verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.4 incelendiğinde en uzun kökler kontrol grubundan (19,6900 cm) elde edilmiş ve bunu 0,5 mM SrO NP uygulaması (18,1200 cm) takip etmiştir. En kısa kökler ise 8,0 mM SrO NP uygulamasından (6,0334 cm) ve 4,0 mM SrO NP uygulamalarından (6,4666 cm) elde edilmiştir.

Rafique *et al.*, (2014) ve Jiang *et al.*, (2017) TiO<sub>2</sub> NP uygulamasının buğday bitkisinin kök uzunluğunu azalttığını ifade etmişlerdir. Adams *et al.*, (2017) CuO NP uygulamasının buğday bitkisinde kök gelişimini inhibe ettiğini, McManus *et al.*, (2018) ise köklerin kısalmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir.

**Çizelge 4.4.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde kök uzunluğu (cm) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	Kök Uzunluğu (cm)	Gruplandırma
0,0 mM	19,6900	A
0,5 mM	18,1200	B
1,0 mM	16,0225	C
1,5 mM	10,7200	D
2,0 mM	9,9075	E
4,0 mM	6,4666	F
6,0 mM	10,5833	D
8,0 mM	6,0334	F
LSD: 0,5695	F: 711,2292***	

Çizelge 4.4 incelendiğinde stres faktörlerinin kök sayısını artırmasına rağmen kök uzunluğunda doğrusal olmayan bir azalışa sebebiyet verdiğini görülür. Bu sonuçlar kök uzunluğunun uygulanan bazı NP'ler tarafından azaldığını ifade eden Rafique *et al.*, (2014), Jiang *et al.*, (2017), Adams *et al.*, (2017) ve McManus *et al.*, (2018)'un çalışmalarıyla benzerlik arz etmektedir.

#### 4.1.5. Kök yaş ağırlığı

Kök yaş ağırlığı verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.5 incelendiğinde en yüksek yaş kök ağırlığı 1,0 mM SrO NP uygulamasından (0,1423 g) elde edilmiş ve bunu kontrol grubu (0,1125 g) ile 0,5 mM SrO NP uygulaması (0,1075 g) takip etmiştir. En düşük yaş kök ağırlığı ise 4,0 mM SrO NP uygulamasından (0,0524 g) ve 8,0 mM SrO NP uygulamasından (0,0525 g) elde edilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde kök yaş ağırlığı (g) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Gruplandırma
0,0 mM	0,1125	B
0,5 mM	0,1075	B
1,0 mM	0,1423	A
1,5 mM	0,0726	D
2,0 mM	0,0644	E
4,0 mM	0,0524	F
6,0 mM	0,0905	C
8,0 mM	0,0525	F
LSD: 0,0063	F: 223,9431***	

Lee *et al.*, (2008) Cu NP uygulamasının, Mahmoodzadeh *et al.*, (2013) ise TiO<sub>2</sub> NP uygulamasının buğday bitkisinde kök yaş ağırlığını olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir. McManus *et al.*, (2018) CuO NP uygulamasının buğday bitkisinde kök yaş ağırlığını azalttığını belirtmiştir. Kondak (2019) ise MgO NP uygulamasının buğday bitkisinde kök yaş ağırlığını olumlu etkilediğini ifade etmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde kök yaş ağırlıklarında da doğrusal olmamakla beraber bir azalış söz konusu olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında elde edilen sonuçlar Lee *et al.*, (2008), Mahmoodzadeh *et al.*,(2013) ve McManus *et al.*, (2018)'un sonuçları ile benzerlik, Kondak (2019)'ın sonuçları ile farklılıklar arz ettiğini göstermektedir.

#### 4.2. Klorofil Miktarı (SPAD)

Klorofil miktarı (SPAD) verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde klorofil miktarı (SPAD) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	Klorofil Miktarı (SPAD)	Gruplandırma
0,0 mM	27,8000	C
0,5 mM	28,2750	C
1,0 mM	27,1500	C
1,5 mM	24,8000	D
2,0 mM	22,7000	E
4,0 mM	33,2000	A
6,0 mM	30,1750	B
8,0 mM	32,2900	A
LSD: 1,2162	F: 74,0345***	

Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.6 incelendiğinde en yüksek klorofil miktarı 4,0 mM SrO NP uygulamasından (33,2000) ve 8,0 mM SrO NP uygulamasından (32,2900) elde edilmiş ve bunu 6,0 mM SrO NP uygulaması (30,1750) takip etmiştir. En düşük klorofil miktarı ise 2,0 mM SrO NP uygulamasından (22,7000) elde edilmiştir.

Stres faktörleri bitkilerde klorofil sentezinin azalmasına sebep olabilmektedir. Metal stresi bitkide protoklorofil reduktaz ve aminolevulinik asit sentezini engelleyebilmekte, serbest radikal oluşumuna yol açıp tilakoid membran lipitlerinin oksidatif yıkımına sebep olabilmektedir. Bunların sonucunda da klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği ifade edilmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005). Stres faktörünün bitki üzerindeki etkisi klorofil miktarı ölçülerek anlaşılabilir.

Chen *et al.*, (2015) ZnO NP uygulamasının pirinç bitkisinde, Dias *et al.*, (2018) ise TiO<sub>2</sub> NP uygulamasının buğday bitkisinde klorofil içeriğini azalttığını ifade etmişlerdir. Buna karşın Dimkpa *et al.*, (2018) ZnO NP uygulamasının, Ali *et al.*, (2019) Si (silikon) NP uygulamasının, Hussain *et al.*, (2019) ise FeO NP uygulamasının buğday bitkisinde klorofil içeriğini artırdığını belirtmişlerdir. Çizelge 4.6. incelendiğinde uygulanan SrO NP dozlarının buğday bitkisinde doğrusal olmamakla birlikte klorofil içeriğinde bir artışa sebebiyet verdiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Dimkpa *et al.*, (2018), Ali *et al.*, (2019) ve Hussain *et al.*, (2019)'un sonuçlarıyla benzerlik, Chen *et al.*, (2015) ve Dias *et al.*, (2018)'un sonuçları ile farklılık arz etmektedir.

### 4.3. Hücre Zarı Hasarı

Hücre zarı hasarı verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde hücre zarı hasarı (%) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	Hücre Zarı Hasarı (%)	Gruplandırma
0,0 mM	3,9887	G
0,5 mM	5,8472	F
1,0 mM	3,8422	G
1,5 mM	7,2680	E
2,0 mM	17,5245	D
4,0 mM	58,8622	A
6,0 mM	24,3084	B
8,0 mM	22,6062	C
LSD: 0,9004	F: 3643,293***	

Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.7 incelendiğinde en yüksek hücre zarı hasarı 4,0 mM SrO NP uygulamasından (%58,8622) elde edilmiş ve bunu 6,0 mM SrO NP uygulaması (%24,3084) takip etmiştir. En düşük hücre zarı hasarı

ise 1,0 mM SrO NP uygulamasından (%3,8422) ve kontrol grubundan (%3,9887) elde edilmiştir.

Stres faktörleri bitki hücre zarının geçirgenliğini, akışkanlığını ve protein aktivitesini etkileyerek elektriksel iletkenliğinin artmasına sebep olabilmektedir. Elektriksel iletkenlik seviyesine bakılarak hücre zarı hasarı tespit edilebilmektedir. Hücre zarında oluşan hasar, stresin etkisini belirlemede kullanılan parametrelerden birisidir (Yuce *et al.*, 2018).

Chen *et al.*, (2018) GO (grafen oksit) NP uygulamasının pirinç bitkisinde ve Iftikhar *et al.*, (2019) ise ZnO NP uygulamasının buğday bitkisinde hücre zarı hasarını artırdığını ifade etmişlerdir. Buna karşın, Iqbal *et al.*, (2018) Ag NP uygulamasının, Ali *et al.*, (2019) Si NP uygulamasının, Hussain *et al.*, (2019) ise FeO NP uygulamasının buğday bitkisinde hücre zarı hasarını azalttığını ifade etmişlerdir. Çizelge 4.7'deki sonuçlarda görüldüğü gibi SrO NP konsantrasyonu arttıkça doğrusal olmamakla beraber hücre zarı hasarının da arttığı görülmektedir. Sonuçlar Chen *et al.*, (2018) ve Iftikhar *et al.*, (2019)'un çalışmaları ile benzerlik, Iqbal *et al.*, (2018), Ali *et al.*, (2019) ve Hussain *et al.*, (2019)'un çalışmalarıyla farklılık arz etmektedir.

#### **4.4.SrO NP Uygulamasının H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA ve Stres Enzimleri Aktivitesi Üzerine Etkisi**

##### **4.4.1. SrO NP uygulamasının H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği üzerine etkisi**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli (p<0,001) bulunmuştur. Çizelge 4.8 incelendiğinde en yüksek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı 6,0 mM SrO NP uygulamasından (829,9591 µmol/g) elde edilmiş ve bunu 1,5 mM SrO NP uygulaması (804,4489 µmol/g) takip etmiştir. En düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı ise 8,0 mM SrO NP uygulamasından (718,1935 µmol/g) elde edilmiştir.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, SOD enzimi tarafından katalizlenen bir bileşiktir ( $2O_2^- + 2H^+ \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$ ). Hücre zarındaki lipid peroksidasyonunda artışa neden olarak hücrede hasar oluşmasına neden olabilmektedir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; POD, APX ve CAT enzimleri tarafından suya dönüştürülerek detoksifiye edilmektedir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı stresin boyutu hakkında fikir edinmede iyi bir ölçüttür (Büyük ve ark., 2012).

**Çizelge 4.8.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (µmol/g) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Değerleri (µmol/g)	Gruplandırma
0,0 mM	779,3795	C
0,5 mM	785,2566	C
1,0 mM	790,3885	C
1,5 mM	804,4489	B
2,0 mM	766,2921	D
4,0 mM	761,5274	D
6,0 mM	829,9591	A
8,0 mM	718,1935	E
LSD: 12,5005	F: 59,9085***	

Chen *et al.*, (2015) SNP (sodyum nitroprussid) NP uygulamasının pirinç bitkisinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarını azalttığını ifade etmişlerdir. Kheiri *et al.*, (2017) Cs (sezyum) NP uygulamasının, Rafique *et al.*, (2018) TiO<sub>2</sub> NP uygulamasının, Iftikhar *et al.*, (2019) ZnO NP uygulamasının, Saleh *et al.*, (2019) NiO (nikel oksit) NP uygulamasının buğday bitkisinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarını artırdığını ifade etmişlerdir. Çizelge 4.8 incelendiğinde uygulanan SrO NP konsantrasyonlarının buğday bitkisindeki H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriğini kontrole göre artırdığı ancak, bu artışın doğrusal olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlar Kheiri *et al.*, (2017), Rafique *et al.*, (2018), Iftikhar *et al.*, (2019), Saleh *et al.*, (2019)'un çalışmalarıyla benzerlik, Chen *et al.*, (2015)'un çalışmasıyla farklılık arz etmektedir.

#### 4.4.2. SrO NP Uygulamasının MDA içeriği üzerine etkisi

MDA içeriği verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli (p<0,001) bulunmuştur. Çizelge 4.9 incelendiğinde en yüksek MDA miktarı 8,0 mM SrO NP uygulamasından (0,6655 ng/µl) elde edilmiş ve

bunu 4,0 mM SrO NP uygulaması (0,5895 ng/μl) takip etmiştir. En düşük MDA miktarı ise 0,5 mM SrO NP uygulamasından (0,3522 ng/μl) elde edilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde MDA (ng/μl) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	MDA Değerleri (ng/μl)	Gruplandırma
0,0 mM	0,5396	C
0,5 mM	0,3522	G
1,0 mM	0,4236	F
1,5 mM	0,4964	D
2,0 mM	0,4696	E
4,0 mM	0,5895	B
6,0 mM	0,5058	D
8,0 mM	0,6655	A
LSD: 0,0208	F: 186,7335***	

MDA hücre zarındaki lipid peroksidasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Lipid peroksidasyonu hücre zarının stabilitesini bozmaktadır. Dolayısıyla MDA, canlıda meydana gelen oksidatif hasarın derecesini tespit etmede etkili bir ölçüttür (Chen *et al.*, 2015).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Chen *et al.*, (2015) SNP NP uygulamasının pirinç bitkisinde MDA içeriğini azalttığını ifade etmişlerdir. Du *et al.*, (2015) CeO<sub>2</sub>(seryum oksit) NP uygulamasının buğday bitkisinde MDA miktarında değişikliğe yol açmadığını ifade etmişlerdir. Da Costa and Sharma (2016) CuO NP uygulamasının pirinç bitkisinde, García-Gómez *et al.*, (2018) ZnO NP uygulamasının mısır bitkisinde, Iftikhar *et al.*, (2019) ise ZnO NP uygulamasının buğday bitkisinde MDA içeriğini artırdığını belirtmişlerdir. Çizelge 4.9 incelendiğinde SrO NP konsantrasyonlarının doğrusal olmamakla birlikte MDA içeriğini artırdığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Du *et al.*, (2015) ve Chen *et al.*, (2015)'un çalışmasıyla farklılık, Da Costa and Sharma



(2016), García-Gómez *et al.*, (2018) ve Iftikhar *et al.*, (2019)'un çalışmasıyla benzerlik göstermektedir.

#### 4.4.3. SrO NP Uygulamasının APX üzerine etkisi

APX aktivitesi verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde APX (U/g FW) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	APX Değerleri (U/g FW)	Gruplandırma
0,0 mM	1,9462	E
0,5 mM	1,7277	F
1,0 mM	2,2416	D
1,5 mM	3,4720	B
2,0 mM	3,0219	C
4,0 mM	3,3115	B
6,0 mM	3,8350	A
8,0 mM	2,9836	C
LSD: 0,2169	F: 106,4643***	

Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.10 incelendiğinde en yüksek APX miktarı 6,0 mM SrO NP uygulamasından (3,8350 U/g FW) elde edilmiş ve bunu 4,0 mM SrO NP uygulaması (3,3115 U/g FW) ile 1,5 mM SrO NP uygulaması (3,4720 U/g FW) takip etmiştir. En düşük APX miktarı ise 0,5 mM SrO NP uygulamasından (1,7277 U/g FW) elde edilmiştir.

APX enzim ailesi, bitkilerin stres koşulları altında açığa çıkarak hücredeki DNA, protein ve lipit gibi çeşitli yapılara hasar veren reaktif oksijen türevlerinin uzaklaştırılmasında görev aldığı düşünülen enzimatik antioksidanlardandır. APX aktivitesindeki artışın bitkinin stresin yol açtığı olumsuz etkilerin azaltılması ya da yok edilmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Büyük ve ark., 2012).

Chen *et al.*, (2015) ZnO NP uygulamasının pirinç bitkisinde APX miktarını azalttığını ifade etmişlerdir. Da Costa and Sharma (2016) CuO NP uygulamasının pirinç bitkisinde, García-Gómez *et al.*, (2018) ZnO NP uygulamasının mısır bitkisinde, Silva *et al.*, (2019) ise TiO<sub>2</sub> NP uygulamasının buğday bitkisinde APX miktarını artırdığını ifade etmişlerdir. Saleh *et al.*, (2019) ise NiO NP uygulamasının buğday bitkisinde APX miktarı üzerine etki etmediğini ifade etmişlerdir. Çizelge 4.10 incelendiğinde SrO NP konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak taze ağırlıktaki APX içeriğinin doğrusal olmayan bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bu veriler daha önce yapılan Chen *et al.*, (2015)'un çalışmasıyla farklılık, Da Costa ve Sharma (2016), García-Gómez *et al.*, (2018) ve Silva *et al.*, (2019)'un çalışmalarıyla benzerlikler olduğu görülmüştür.

#### **4.4.4. SrO NP uygulamasının POD üzerine etkisi**

POD miktarı verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.11 incelendiğinde en yüksek POD miktarı 1,5 mM SrO NP uygulamasından (70,2773 U/g FW) elde edilmiş ve bunu 4,0 mM SrO NP uygulaması (59,0737 U/g FW) takip etmiştir. En düşük POD miktarı ise 1,0 mM SrO NP uygulamasından (46,3305 U/g FW), 8,0 mM SrO NP uygulamasından (46,6713 U/g FW) ve 0,5 mM SrO NP uygulamasından (46,9747 U/g FW) elde edilmiştir.

POD, reaktif oksijen türevlerinin kontrol altına alınmasında ve detoksifikasyonunda etkili olan, bitkinin stres koşulları altında hayatta kalmasında etkili olan antioksidan bir enzim çeşididir (Büyük ve ark., 2012). POD aktivitesi stresin etkisi hakkında bilgi edinmede önemli parametrelerden birisidir.

Chen *et al.*, (2015) ZnO NP uygulamasının pirinç bitkisinde POD miktarını azalttığını ifade etmişlerdir. Ali *et al.*, (2019) Si NP uygulamasının, Du *et al.*, (2019) ZnO uygulamasının, Hussain *et al.*, (2019) ise FeO uygulamasının buğday bitkisinde POD miktarını artırdığını ifade etmişlerdir. Çizelge 4.11 incelendiğinde buğday bitkisine uygulanan SrO NP konsantrasyonlarının POD değerleri üzerinde doğrusal olmayan bir değişime sebep olduğu görülmektedir. Sonuçlarımız Chen *et al.*, (2015)'un çalışmasıyla benzerlik, Ali *et al.*, (2019), Du *et al.*, (2019) ve Hussain *et al.*, (2019)'un çalışmalarıyla farklılık göstermektedir.

**Çizelge 4.11.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde POD (U/g FW) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	POD Değerleri (U/g FW)	Gruplandırma
0,0 mM	52,8926	C
0,5 mM	46,9747	E
1,0 mM	46,3305	E
1,5 mM	70,2773	A
2,0 mM	53,6685	C
4,0 mM	59,0737	B
6,0 mM	49,5994	D
8,0 mM	46,6713	E
LSD: 1,8184	F: 174,8680***	

#### 4.4.5. SrO NP uygulamasının SOD üzerine etkisi

SOD aktivitesi verilerinin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde görülebileceği gibi uygulamalar arasındaki fark istatistiki olarak çok çok önemli ( $p < 0,001$ ) bulunmuştur. Çizelge 4.12 incelendiğinde en yüksek SOD miktarı 8,0 mM SrO NP uygulamasından (60,7746 U/g FW) elde edilmiş ve bunu 4,0 mM SrO NP uygulaması (58,7466 U/g FW) ile 6,0 mM SrO NP uygulaması (56,3213 U/g FW) takip etmiştir. En düşük SOD miktarı ise kontrol grubu (43,4959 U/g FW) ile 1,0 mM SrO NP uygulamasından (43,1351 U/g FW) elde edilmiştir.

SOD’lar yüksek katalitik aktiviteye sahip enzimlerdir. SOD enzim ailesi, bitkinin DNA’sında, protein ve lipid yapısında hasara yol açan reaktif oksijen türevlerinden süperoksit anyonunu ( $O_2^-$ )  $H_2O_2$ ’e dönüştürmede görev alırlar. Yapılan araştırmalar, SOD aktivitesindeki artışın, bitkinin biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı koymasında, bitkinin stres koşulları altında canlılığını sürdürmesine yardımcı olduğunu göstermektedir (Büyük ve ark., 2019).

**Çizelge 4.12.** Farklı dozlarda SrO NP uygulamalarının buğday bitkisinde SOD (U/g FW) üzerine etkileri

SrO NP Konsantrasyonları	SOD Değerleri (U/g FW)	Gruplandırma
0,0 mM	43,4959	E
0,5 mM	47,5838	D
1,0 mM	43,1351	E
1,5 mM	48,8182	D
2,0 mM	53,0282	C
4,0 mM	58,7466	AB
6,0 mM	56,3213	B
8,0 mM	60,7746	A
LSD: 2,4794	F: 64,4559***	

Du *et al.*, (2015) CeO<sub>2</sub> NP uygulamasının, Ali *et al.*, (2018) Si NP uygulamasının, Du *et al.*, (2019) ZnO NP uygulamasının, Hussain *et al.*, (2019) FeO NP uygulamasının, Jhanzab *et al.*, (2019) ise Ag NP uygulamasının buğday bitkisinde SOD miktarını artırdığını ifade etmişlerdir. Çizelge 4.12 incelendiğinde buğday bitkisine uygulanan SrO NP konsantrasyonlarının artması SOD değerlerini de artırdığı ve bitkilerin strese dayanıklılığının da aynı oranda arttığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Du *et al.*, (2015), Ali *et al.*, (2018), Du *et al.*, (2019), Hussain *et al.*, (2019), Jhanzab *et al.*, (2019)'un çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) besin zincirinde önemli bir konuma sahiptir. İnsanların temel gıda ihtiyacınının büyük bir kısmını karşılamaktadır. Buğday bitkisi böylesi önemli özellikleri nedeniyle klasik ve modern ıslah çalışmalarında yoğun olarak kullanılmıştır. Literatür araştırması yapıldığında stratejik öneme sahip buğday bitkisi üzerine nanopartikül (NP)'lerin etkisinin yeterince araştırılmadığı, özellikle Stronsiyum (Sr) elementinin NP olarak kullanılmadığı görülmüştür.

Son yıllarda tarımsal üretimde NP'lerin kullanımının artmasıyla birlikte, buğday bitkisinin ıslahı, tohumluk üretimi ve yetiştirilmesinde bu tekniğin kullanımı ilgi çekici olmaya başlamıştır. Özellikle hidroponik sistemde tahıl yetiştiriciliği, stres faktörlerinin etkisinin araştırılması ve bitki ıslahı gibi birçok çalışma konularında sunduğu avantajlar nedeniyle ilgi çekici bir çalışma alanı olmuştur. Çalışmada kullanılan Stronsiyum Oksit (SrO) NP'lerinin buğday bitkisi üzerindeki etkilerine ait literatür olmadığı ancak diğer birçok çalışmada başka NP'lerin, kullanılan NP elementine, kullanılan NP'ün dozuna ve boyutuna bağlı olarak buğday bitkisi yetiştiriciliğinde önemli olumlu etkilerinin olduğu ifade edilmiştir. Yapılan bu tez çalışması ile farklı dozlardaki SrO NP'lerinin buğday bitkisinin bazı bitkisel özellikleri ile enzim aktivitesi, klorofil miktarı ve hücre zarı hasarı üzerindeki etkileri araştırılmış, elde edilen sonuçlarla SrO NP'lerinin geniş alanlarda kullanılabilmesi amacıyla bir ön bilgi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Araştırmada Esperia buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi kullanılmış ve çalışma Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Moleküler Sitogenetik ve Biyoteknoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. SrO NP'leri buğday bitkisine hidroponik sistemde, 0,0 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 4,0 – 6,0 ve 8,0 mM konsantrasyonlarında uygulanmıştır. Çalışmada; askorbat peroksidaz (APX U/g FW), süperoksitdismutaz (SOD U/g FW) ve peroksidaz (POD U/g FW) enzimleri ile hidrojen peroksit ( $H_2O_2$   $\mu\text{mol/g}$ ) ve malondialdehit (MDA  $\text{ng}/\mu\text{l}$ ) bileşiklerinin aktiviteleri araştırılmıştır. Ayrıca; klorofil miktarı (SPAD), hücre zarı hasarı (%), sürgün uzunluğu (cm), sürgün yaş ağırlığı (g), kök uzunluğu (cm), kök yaş ağırlığı (g) ve kök sayısı (adet) ölçüm ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Deneme, tesadüf parselleri deneme

desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuş ve varyans analizi LSD çoklu karşılaştırma testi ile gerçekleştirilmiştir.

Bitkisel gözlemler incelendiğinde; sürgün uzunluğunun kontrol grubuna göre (20,0725 cm), 0,5 mM (20,7750 cm), 1,0 mM (20,3050 cm) ve 1,5 mM (18,7650 cm) konsantrasyonlarına kadar belirgin bir şekilde değişmediği, ancak 2,0 mM (16,9100 cm) konsantrasyonundan sonra gözle görünür bir şekilde azaldığı görülmektedir. Sürgün yaş ağırlıklarında da benzer bir sonuç elde edilmiş, kontrolde 0,1687 g olan sürgün yaş ağırlığının 0,5 mM (0,1841 g), 1,0 mM (0,1842 g) ve 1,5 mM (0,1785 g) uygulamalarına kadar arttığı, ancak 2,0 mM konsantrasyondan (0,1564 g) itibaren ise azaldığı belirlenmiştir. Buna göre; SrO NP'lerinin 1,5 mM konsantrasyona kadar sürgün uzunluğu ve sürgün yaş ağırlığında olumlu bir etki yaptığı, 2,0 mM konsantrasyondan sonra olumsuz etki gösterdiği sonucuna varılmıştır. Daha sonra yapılacak doku kültürü ya da hidroponik çalışmalarda daha uzun ve gümrak bitkicikler elde etmek için 1,5 mM konsantrasyona kadar SrO uygulamasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Kök sayılarına bakıldığında; kontrol (4,5500 adet) ve 8,0 mM konsantrasyona (5,3888 adet) kadar olan SrO NP uygulamaları arasında çok belirgin farklılıklar olmadığı, ancak 8,0 mM konsantrasyonda kök sayısında gözle görünür bir artışın söz konusu olduğu belirlenmiştir. Bu durum, SrO NP uygulama dozu arttıkça kök sayılarında artışa sebep olduğu, eğer hidroponik ortamdan sonra saksı ya da serada kısa bir süre toprağa alıştırma söz konusu olacaksa, düşük konsantrasyonlarda uzun ve gümrak olarak elde edilen bitkiciklerin, yüksek konsantrasyonlarda SrO NP uygulamasına tabi tutulursa, toprakta tutunma ve bitkilerin canlı kalma oranını artırabileceği sonucuna varılabilir. Kök sayılarının aksine kök uzunluğu ve kök yaş ağırlıklarının artan konsantrasyonlara bağlı olarak belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir. Kök uzunluğu ve buna bağlı olarak kök yaş ağırlığının düşmesi, doku kültürü ortamlarından elde edilen bitkiciklerin saksı ve seralara aktarılmasında ve toprağa tutunmasında arzu edilen bir özellik olduğundan, SrO NP'lerinin bu konuda bir katkısı olduğu görülmektedir. Kök verileri bir bütün olarak değerlendirildiğinde, artan SrO NP uygulamalarına bağlı olarak çok sayıda köklerin elde edilmesi, mevcut bitkiciklerin toprağa alıştırılmasında arzu edilen bir durumdur.

Klorofil miktarı (SPAD) verileri incelendiğinde 0,5 mM SrO NP uygulamasının (28,2750) ve 1,0 mM SrO NP uygulamasının (27,1500) kontrol uygulaması ile benzer sonuç verdiği (27,8000), 1,5 ve 2,0 mM konsantrasyonlarında (sırasıyla 24,8000 ve 22,7000) klorofil miktarının düştüğü, buna karşın 4,0 mM (33,200), 6,0 mM (30,1750) ve 8,0 mM (32,2900) SrO NP uygulamalarının ise kontrol grubuna göre klorofil miktarında artışa neden olduğu görülmektedir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi uygulanan SrO NP'lerinin konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak klorofil miktarının da arttığı görülmektedir. Klorofil miktarının artması da fotosentez hızına etki etmekte ve neticede bitki büyüme ve gelişmesini hızlandırarak olumlu katkılarda bulunmaktadır. Bu nedenle SrO NP uygulamasının klorofil miktarında olumlu katkıları olduğu sonucuna varılabilir.

Hücre zarı hasarı verileri incelendiğinde 1,0 mM uygulamasının (%3,8422) kontrol grubu (%3,9887) ile benzer bir sonuç verdiği, 0,5 mM (%5,8472) ve 1,5 mM (%7,2680) SrO NP uygulamalarının da bitkide çok fazla hasara sebep olmadığı görülmektedir. 2,0 mM ve daha yüksek konsantrasyonların ise bitkilerde çok fazla miktarda hücre zarı hasarına sebep olduğu aşikârdır. Bu nedenle daha sonraki çalışmalarda 1,5 mM ve daha düşük konsantrasyonlarda SrO NP uygulamasının buğday bitkisinde bitki hücreleri çok fazla hasara uğramadan ve strese girmeden güvenli bir şekilde kullanılabileceği sonucunu çıkarmak mümkündür.

Hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) verileri değerlendirildiğinde, SrO NP uygulamalarının bitkiyi çok fazla strese sokmadığı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarını istatistiki anlamda artırmasına rağmen çok belirgin bir şekilde artırmadığı görülmektedir.

Bitkilerdeki hücre zarı stabilitesinin bozulmasının ve oksidatif hasarın derecesini belirlemenin bir ölçütü olan MDA değerlerinin kontrol grubuna (0,5396 ng/μl) göre 2,0 mM SrO NP konsantrasyonuna kadar düşüş göstermiş ancak 2,0 mM konsantrasyondan sonra düzensiz bir artış söz konusu olmuştur. Bu sonuçlardan 2,0 mM SrO NP konsantrasyonuna kadar, NP uygulamasının hücrelerde oksidatif hasar meydana getirmediği ve hücre zarı stabilitesini bozmadığı sonucuna varmak mümkündür.

Askorbat peroksidaz değerleri incelendiğinde, 0,5 mM SrO NP konsantrasyonu hariç, kontrol ile mukayese edildiğinde bütün SrO NP uygulamalarının APX

değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Hücrelerdeki DNA, protein ve lipid yapılarına zarar veren reaktif oksijen türevlerinin uzaklaştırılmasında önemli ve etkili olan APX konsantrasyonunun artması SrO NP'lerinin olumlu etkide bulunduğunun göstergesidir.

Bitkilerde meydana gelen stresin etkisi hakkında önemli parametrelerden olan peroksidaz aktivitesinin kontrol (52,8926 U/g FW) ile mukayese edildiğinde 1,5 mM (70,2773 U/g FW), 4,0 mM (59,0737 U/g FW) ve 2,0 mM (53,6685 U/g FW) SrO NP konsantrasyonlarında önemli artışlar olduğu aşikârdır. Bitkinin stres şartlarında hayatta kalmasında önemli bir antioksidant enzim olan POD değerlerinin artması, NP uygulamasının özellikle belirtilen dozlara kadar ilave edilmesinin herhangi bir sakıncasının olmadığı, hatta olumlu katkılarının bulunduğunun göstergesidir.

Bitkinin biyotik ve abiyotik stres şartlarına dayanıklılık göstermesinde ve bitkinin bu şartlar altında canlılığını sürdürmesinde etkili olan diğer bir enzim SOD'dur. Elde edilen sonuçlara göre kontrol uygulaması (43,4959 U/g FW) ile kıyaslandığında bütün SrO NP uygulamalarının bitki hücrelerindeki SOD aktivitesini artırdığı ve bitkinin savunma mekanizmasını önemli ölçüde artırdığı görülmektedir.

Tüm parametrelere ait sonuçlar değerlendirildiğinde 0,0 – 1,5 mM konsantrasyon aralığındaki SrO NP uygulamalarının *Esperia* buğday bitkisi çeşidinde olumlu etki gösterdiği, bitkideki sürgün ve kök özelliklerine önemli katkılarda bulunduğu, bitkideki stres faktörlerinin değerlerini artırarak stresi azalttığı, klorofil miktarının artmasında olumlu etkilerinin bulunduğu ve hücre zarı hasarını azaltmada da etkin olduğu görülmektedir. 1,5 mM ve daha düşük konsantrasyonlara kadar, daha hassas doz aralığında yapılacak çalışmaların araştırmacılara optimum SrO NP uygulamasının belirlenmesinde daha doğru sonuçlar verebileceği tavsiye edilebilir. Elde edilen bitkilerin hidroponik sistemlerde, serada ve tarlada bitki besin elementlerinden verimli şekilde yararlanmasını sağlamak için daha uzun ve ağır sürgünlerin elde edilmesi, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanıklılık için SrO NP'lerinin nano-gübre veya farklı şekillerde kullanımı ile yapılacak çalışmalar araştırmacılara katkılar sağlayacaktır. Genel değerlendirmede; buğday bitkisine uygulanan SrO NP'lerinin bitkinin sürgün ve kök gelişiminde, klorofil miktarında, hücrenin strese karşı dayanıklı olmasında, stres faktörlerine karşı toleranslı olmasında ve stres enzimlerini başarılı



şekilde kullanmasında etkin olduğu açıkça görülmüştür. Bu amaçla SrO NP'lerinin klasik ve modern ıslah çalışmalarında etkin bir rejenerasyon elde edilmesinde kullanılabileceği, NP'lerin ticari üretimde kullanılmasının ekonomiye önemli katkılarda bulunabileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Adams, J., Wright, M., Wagner, H., Valiente, J., Britt, D., Anderson, A., 2017. Cu from dissolution of CuO nanoparticles signals changes in root morphology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 108–117.
- Ali, S., Rizwan, M., Hussain, A., Rehman, M. Z., Ali, B., Yousaf, B., Wijaya, L., Alyemeni, M. N., Ahmad, P., 2019. Silicon nanoparticles enhanced the growth and reduced the cadmium accumulation in grains of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 140, 1-8.
- Arora, S., Sharma, P., Kumar, S., Nayan, R., Khanna, P. K., Zaidi, M. G. H., 2012. Gold-nanoparticle induced enhancement in growth and seed yield of *Brassica juncea*. *Plant Growth Regulation*, 66, 303-310.
- ATSDR-Agency for Toxic Substances and Disease Registry USA, 2004. Toxicological profile for strontium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology/Toxicology Information Branch Atlanta, Georgia. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp159.pdf> (12.04.2019).
- Brooks, R., 1972. *Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration*. Harper and Row, New York, 290.
- Burger, A., Lichtscheidl, I., 2019. Strontium in the environment: Review about reactions of plants towards stable and radioactive strontium isotopes, *Science of the Total Environment*, 653, 1458–1512.
- Büyük, İ., Soydam-Aydın, S., Aras, S., 2012. Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(2), 97-110.
- Chen, J., Liu, X., Wang, C., Yin, S., Li, X., Hu, W., Simon, M., Shen, Z., Xiao, Q., Chu, C., Peng, X., Zheng, H., 2015. Nitric oxide ameliorates zinc oxide nanoparticles-induced phytotoxicity in rice seedlings. *Journal of Hazardous Materials*, 297, 173-182.

- Chen, J., Peng, H., Wang, X., Shao, F., Yuan, Z., Han, H., 2014. Graphene oxide exhibits broad-spectrum antimicrobial activity against bacterial phytopathogens and fungal conidia by intertwining and membrane perturbation. *Nanoscale*, 6, 1879–1889.
- Chen, J., Yang, L., Li, S., Ding, W., 2018. Various physiological response to graphene oxide and amine-functionalized graphene oxide in wheat (*Triticum aestivum*). *Molecules*, 23(5), 1104.
- Chen, M., Tang, Y., Ao, J., Wang, D., 2012. Effects of strontium on photosynthetic characteristics of oilseed rape seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59, 772–780.
- Chichiriccò, G., Poma, A., 2015. Penetration and toxicity of nanomaterials in higher plants. *Nanomaterials*, 5, 851–873.
- Cifuentes, M., Fuentes, C., Mattar, P., Tobar, N., Hugo, E., Ben-Jonathan, N., Rojas, C., Martinez, J., 2010. Obesity-associated proinflammatory cytokines increase calcium sensing receptor (CaSR) protein expression in primary human adipocytes and LS14 human adipose cell line. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 500, 151–156.
- Csikkel-Szolnoki, A., Kiss, S., Mustárdy, L., Horváth, I., 1996. Effects of the application of aluminium, strontium and magnesium solutions to the leaf surface of maize, and determinations of these elements by ICP-AES. *Magnesium Research*, 9, 263–272.
- Da Costa, M.V.J., Sharma, P.K., 2016. Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*. *Photosynthetica*, 54(1), 110–119.
- Dan, W., Xiaoxue, Z., Xuegang, L., Yunlai, T., 2015. Phytoextraction ability of *Amaranthus mangostanus* L. from contaminated soils with Cs or Sr. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 6, 1–6.

- Delporte, F., Mostade, O., Jacquemin, M. J., 2001. Plant regeneration through callus initiation from thin mature embryo fragments of wheat. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 67, 73-80.
- Demchenko, N.P., Kalimova, I.B., and Demchenko, K.N., 2010. Effect of nickel at high concentration on proliferation of quiescent center cells and initiation of lateral root primordia in wheat seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57(3), 438–447.
- Demir, E., Kaya, N., Kaya, B., 2014. Genotoxic effects of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles on root meristem cells of *Allium cepa* by comet assay. *Turkish Journal of Biology*, 38, 31-39.
- Demirbilek, E., 2015. Tarımda ve gıdada nanoteknoloji, *Journal of Food and Feed Science – Technology*, 15, 46-53.
- Dias, M.C., Santos, C., Pinto, G., Silva, A.M.S., Silva, S., 2018. Titanium dioxide nanoparticles impaired both photochemical and non-photochemical phases of photosynthesis in wheat. *Protoplasma*, 256(1), 69-78.
- Dimkpa, C. O., Latta, D.E., McLean, J.E., Britt, D.W., Boyanov, M.I., Anderson, A. J., 2013. Fate of CuO and ZnO nano-and microparticles in the plant environment. *Environmental Science & Technology*, 47, 4734-4742.
- Dimkpa, C.O., Singh, U., Bindraban, P.S., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J.L., White, J.C., 2018. Exposure to Weathered and Fresh Nanoparticle and Ionic Zn in Soil Promotes Grain Yield and Modulates Nutrient Acquisition in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(37), 9645-9656.
- Du, W., Yang, J., Peng, Q., Liang, X., Mao, H., 2015. Comparison study of zinc nanoparticles and zinc sulphate on wheat growth: From toxicity and zinc biofortification. *Chemosphere*, 227, 109-116.
- Du, W.C., Gardea-Torresdey, J.L., Ji, R., Yin, Y., Zhu, J.G., Peralta-Videa, J.R., Guo, H.Y., 2015. Physiological and biochemical changes imposed by CeO<sub>2</sub>

- nanoparticles on wheat: a life cycle field study. *Environmental Science & Technology*, 49(19), 11884-11893.
- Eggenberger, K., Birtalan, E., Schröder, T., Bräse, S., Nick, P., 2009. Passage of Trojan peptoids into plant cells. *Chembiochemistry*, 10(15), 2504–2512.
- Eren, H., Pekmezci, M.Y., Okay, S., Turktas, M., Inal, B., Ilhan, E., Unver, T., 2015. Hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) root miRNome analysis in response to salt stress. *Annals of Applied Biology*, 167(2), 208-216.
- Fleischer, A., O'Neill, M. A., Ehwald, R., 1999. The pore size of non-graminaceous plant cell walls is rapidly decreased by borate estercross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II. *Plant Physiology*, 121, 829–838.
- García-Gómez, C., Obrador, A., González, D., Babín, M., Fernández, M.D., 2018. Comparative study of the phytotoxicity of ZnO nanoparticles and Zn accumulation in nine crops grown in a calcareous soil and an acidic soil. *Science of the Total Environment*, 644, 770-780.
- Ghormade, V., Deshpande, M.V., Paknikar, K.M., 2011. Perspectives for nano biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, 29, 792–803.
- Gojon, A., Nacry, P., Davidian, J.C., 2009. Root uptake regulation: a central process for NPS homeostasis in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 328–338.
- Goldstain, A., 1997. *Handbook of Nanophase Materials*, Marcel Dekker Inc., New York.
- Gupta, K. D., Deb, U., Walther, C., Chatterjee, S., 2018. *Strontium in the Ecosystem: Transfer in Plants via Root System*, Gupta, K., Walther, C., Behaviour of strontium in plants and the environment, Springer International Publishing, Cham, 1, 1-18.
- Gürel, A., Avcıoğlu R., 2001. *Bitkilerde Strese Dayanıklılık Fizyolojisi*, Özcan S., Gürel, E., Babaoğlu. Bitki biyoteknolojisi II, M., Genetik mühendisliği ve uygulamaları, Selçuk üniversitesi basımevi, 21, 288-326.

- Hara, T., Furuta, T., Sonoda, Y., Iwai, I., 1977. Growth response of cabbage plants to beryllium and strontium under water culture conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 373–380.
- Hemeg, H. A., 2017. Nanomaterials for alternative antibacterial therapy. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 8211–8225.
- Hoagland, D. R., Arnon, D. I., 1938. The water-culture method for growing plants without soil. *Circular Calif Agric (Berkeley)*, 347, 347–353.
- Hussain, A., Ali, S., Rizwan, M., Rehman, M. Z. U., Qayyum, M. F., Wang, H., Rinklebe, J., 2019. Responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants grown in a Cd contaminated soil to the application of iron oxide nanoparticles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 156-164.
- Iftikhar, A., Ali, S., Yasmeen, T., Arif, M. S., Zubair, M., Rizwan, M., Alhaithloul, H. A. S., Alayafi, A. A. M., Soliman, M. H., 2019. Effect of gibberellic acid on growth, photosynthesis and antioxidant defense system of wheat under zinc oxide nanoparticle stress. *Environmental Pollution*, 254(PtB), 113109.
- Iqbal, M., Raja, N. I., Mashwani, Z. U. R., Hussain, M., Ejaz, M., Yasmeen, F., 2017. Effect of silver nanoparticles on growth of wheat under heat stress. *Iranian Journal of Science and Technology*, 43(2), 387-395.
- Iqbal, M., Raja, N. I., Mashwani, Z.U.R, Wattoo, F. H., Hussain, M., Ejaz, M., Saira, H., 2018. Assessment of AgNPs exposure on physiological and biochemical changes and antioxidative defence system in wheat (*Triticum aestivum* L.) under heat stress. *IET Nanobiotechnology*, 13(2), 230-236.
- İnceer, H. ve Beyazoğlu, O., 2000. Bakır klorür'ün *Vicia hirsuta* (L.) S.F. gray kök ucu hücreleri üzerine sitogenetik etkileri. *Turkish Journal of Biology*, 24, 553-559.
- Jadia, C. D., Fulekar, M. H., 2009. Phytoremediation of heavy metals: recent techniques. *African Journal of Biotechnology*, 8, 921-928.
- Jhanzab, H.M., Razzaq, A., Bibi, Y., Yasmeen, F., Yamaguchi, H., Hitachi, K., Tsuchida, K., Komatsu, S., 2019. Proteomic Analysis of the Effect of Inorganic

- and Organic Chemicals on Silver Nanoparticles in Wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4), 825.
- Jiang, F., Shen, Y., Ma, C., Zhang, X., Cao, W., Rui, Y., 2017. Effects of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings cultivated under super-elevated and normal CO<sub>2</sub> conditions. *PloS One*, 12(5), e0178088.
- John, P., Ahmad, P., Gadgil, K., Sharma, S., 2009. Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L.. *International Journal of Plant Production*, 3, 65-76.
- Joseph, T., Morrison, M., 2006. *Nanotechnology in agriculture and food*. Nanoforum report, Institute of Nanotechnology.
- Juhel, G., Batisse, E., Hugues, Q., Daly, D., Fnam, V.P., O'Halloran, J., Jansen, M. A. K., 2011. Alumina nanoparticles enhance growth of *Lemna minor*. *Aquatic toxicology*, 105(3-4), 328-36.
- Kalhapure, R.S., Suleman, N., Mocktar, C., Seedat, N., Govender, T., 2015. Nanoengineered drug delivery systems for enhancing antibiotic therapy. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 104, 872–905.
- Kalingan, M., Rajagopal, S., Venkatachalam, R., 2016. Effect of Metal Stress due to Strontium and The Mechanisms of Tolerating it by *Amaranthus caudatus* Linn. *Biochemistry and Physiology*, 5, 207.
- Kanter, U., Hauser, A., Mchalke, B., Dräxl, S., Schäffner, A., 2010. Caesium and strontium accumulation in shoots of *Arabidopsis thaliana*: genetic and physiological aspects. *Journal of Experimental Botany*, 61, 3995–4009.
- Kheiri, A., Moosawi Jorf, S.A., Malhipour, A., Saremi, H., Nikkhah, M., 2017. Synthesis and characterization of chitosan nanoparticles and their effect on Fusarium head blight and oxidative activity in wheat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 526-538.
- Kondak, S., 2019. *Magnezyum Oksit (MgO) Nanopartiküllerinin ve Magnezyum Sülfat (MgSO<sub>4</sub>)'ın Buğday (Triticum aestivum L.) Bitkisinin Çimlenmesi*

**Üzerine Etkisi.** Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır. 95.

Koşunkartay, H., 2019. **Buğday İleri Mutant Hatlarının Tarımsal Özelliklerinin Erzurum Kuru Tarım Şartlarında Değerlendirilmesi.** Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. 77.

Kouhi, M., S.M., Lahouti, M., Ganjeali, A., 2015. Comparative effects of ZnO nanoparticles, ZnO bulk particles, and Zn<sup>2+</sup> on *Brassica napus* after long-term exposure: changes in growth, biochemical compounds, antioxidant enzyme activities, and Zn bioaccumulation. **Water, Air, & Soil Pollution**, 226, 364.

Kumari, M., Khan, S.S., Pakrashi, S., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N., 2011. Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa*. **Journal of Hazardous Materials**, 190, 613–621.

Kün, E., 1988. **Serin İklim Tahılları.** Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1032, Ankara, 322.

Lee, C. W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y. C., Braam, J., Alvarez, P. J. J., 2010. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, 29(3), 669-675.

Lee, W., An, Y., Yoon, H., Kweon, H., 2008. Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): Plant agar test for water-insoluble nanoparticles. **Environmental Toxicology and Chemistry**, 27, 1915-1921.

Lin, D. and Xing, B., 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. **Environmental Pollution**, 150, 243-250.

Lin, D. and Xing, B., 2008. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. **Environmental Science & Technology**, 42, 5580–5585.



- Lipsey, P., Kushida, K., Incerti T., 2013. The Fukushima disaster and Japan's Nuclear Plant vulnerability in comparative perspective. *Environmental Science & Technology*, 47, 6082–6088.
- Liu, W., Su, P., Chen, S., Wang, N., Ma, Y., Liu, Y., 2014. Synthesis of TiO<sub>2</sub> nanotubes with ZnO nanoparticles to achieve antibacterial properties and stem cell compatibility. *Nanoscale*, 6, 9050–9062.
- Lutts, S., Kinet, J. M., Bouharmont, J., 1996. NaCl- induced senescence in leaves of rice cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, 389–398.
- Marčiulionienė, D., Luksienė, B., Kiponas, D., Maksimov, G., Darginaviciene, J., Gaveliene, V., 2007. Effects of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr on the plant *Lepidium sativum* L. growth peculiarities. *Ekologija*, 53, 65–70.
- Mbonyirivuze, A., Zongo, S., Diallo, A., Bertrand, S., Minani, E., Yadav, L. L., Mwakikunga, B., Dhlamini, S. M., Maaza, M., 2015. Titanium Dioxide Nanoparticles Biosynthesis for Dye Sensitized Solar Cells application: Review. *Physics and Materials Chemistry*, 3(1), 12-17.
- McManus, P., Hortin, J., Anderson, A. J., Jacobson, A. R., Britt, D. W., Stewart, J., McLean, J. E., 2018. Rhizosphere interactions between copper oxide nanoparticles and wheat root exudates in a sand matrix: Influences on copper bioavailability and uptake. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37, 2619-2632.
- Meena, D., Singh, S. K., Chaudari, S. K., 2013. Effect of Sr<sup>2+</sup> on mitotic activity and chromosomal behavior in root meristem of *Allium cepa* L.. *International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology*, 6, 197–201.
- Mei, L., Xitao, X., Renhao, X., Zhili, L., 2006. Effects of strontium-induced stress on marine microalgae *Platymonas subcordiformis* (Chlorophyta: Volvocales). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 24, 154–160.

- Merz, S., Shozugawa, K., Steinhauser, G., 2016. Effective and ecological half-lives of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  observed in wheat and rice in Japan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 307, 1807–1810.
- Miwa, K., Tanaka, M., Kamiya, T., Fujiwara, T., 2010. Molecular mechanisms of boron transport in plants: involvement of Arabidopsis NIP5;1 and NIP6;1. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 679, 83–96.
- Mushtaq, Y.K., 2011. Effect of nanoscale  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{TiO}_2$  and carbon particles on cucumber seed germination. *Journal of Environmental Science and Health*, 46, 1732–1735.
- Nezami, A., Khazaei, H.R., Rezazadeh, Z.B., Hosseini, A., 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. *Desert*, 12, 99–104.
- Ozgen, S., Busse, J., Palta, J., 2011. Influence of root zone calcium on shoot tip necrosis and apical dominance of potato shoot: simulation of this disorder by ethylene glycol tetra acidic acid and prevention by strontium. *Horticultural Science*, 46, 1358–1362.
- Pakrashi, S., Jain, N., Dalai, S., Jayakumar, J., Chandrasekaran, P. T., Raichur, A. M., (2014). In vivo genotoxicity assessment of titanium dioxide nanoparticles by *Allium cepa* root tip assay at high exposure concentrations. *PLOS ONE* 9(5), e98828.
- Parlak, U.K., 2016. Effect of nickel on growth and biochemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Wageningen Journal of Life Sciences*, 76, 1–5.
- Pittenger, C., Duman R. S., 2008. Stress, depression, and neuroplasticity: a convergence of mechanisms. *Neuropsychopharmacology*, 33, 88-109.
- Plotnikov, V.K., Salfetnikov, A.A., Golubev, A.A., Dykman, L.A., 2017. Effect of gold nanoparticles on seeds germination of winter barley. *Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 127, 295-307.

- Qi, L., Qin, X., Li, F. M., Siddique, K. H. M., Brandl, H., Xu, J., Li, X., 2015. Uptake and distribution of stable strontium in 26 cultivars of three crop species: oats, wheat, and barley for their potential use in phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 17, 264–271.
- Rafique, R., Arshad, M., Khokhar, M. F., Qazi, I. A., Hamza, A., Virk, N., 2014. Growth response of wheat to titania nanoparticles application. *NUST Journal of Engineering Sciences*, 7, 42–46.
- Rafique, R., Zahra, Z., Virk, N., Shahid, M., Pinelli, E., Park, T., Kallerhoff, J., Arshad, M. 2018. Dose-dependent physiological responses of *Triticum aestivum* L. to soil applied TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Alterations in chlorophyll content, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production, and genotoxicity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 255, 95-101.
- Rahaie, M., Xue, G.P., Schenk, P.M., 2013. *The Role of Transcription Factors in Wheat Under Different Abiotic Stresses*, Vahdati, K., Leslie, C., Abiotic Stress: Plant Responses and Applications in Agriculture, InTech, Rijeka, Croatia, 367-385.
- Rawat, P.S., Kumar, R., Ram, P., Pandey, P., 2018. Effect of nanoparticles on wheat seed germination and seedling growth. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 12(1), 13-16.
- Rico, C.M., Majumdar, S., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., 2011. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3485–3498.
- Sahin, U., Ekinçi, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S., Yildirim, E., 2018. Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 240, 196-204.

- Saleh, A.M., Hassan, Y.M., Selim, S., AbdElgawad, H., 2019. NiO-nanoparticles induce reduced phytotoxic hazards in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under future climate CO<sub>2</sub>. *Chemosphere*, 220, 1047-1057.
- Sanzharova, N.I., Sysoeva, A.A., Isamov, N.N., 2005. *Rossiiskii Khimicheskii Zhurnal.*, 49(3), 26–34.
- Sebastiani, I., Scebba, F., Tongtiti, R., 2004, Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides maximowiczii*) and I-214 (*P. euramericana*) exposed to industrial waste. *Environmental and Experimental Botany*, 52, 79-86.
- Seregin, I., Kozhevnikova, A., 2005. Distribution of cadmium, lead, nickel, and strontium in imbibing maize caryopses. *Russian Journal of Plant Physiology*, 52, 565–569.
- Seregin, V.I., Kozhevnikova, D.A., 2004. Strontium transport, distribution and toxic effects on maize seedling growth. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51(2), 215–221.
- Shahzad, A., Iqbal, M., Asif, M., Hirani, A.H., Goyal, A. 2013. Growing wheat on saline lands: can a dream come true?. *Australian Journal of Crop Science*, 7(4), 515.
- Silva, S., Oliveira, J.M., Dias, M.C., Silva, A.M., Santos, C., 2019. Antioxidant mechanisms to counteract TiO<sub>2</sub>-nanoparticles toxicity in wheat leaves and roots are organ dependent. *Journal of Hazardous Materials*, 380, 120889.
- Sowa, I., Wojciak-Kosior, M., Strzemiński, M., Dresler, S., Szwerc, W., Blicharski, T., Szymczak, G., Kocjan, R., 2014. Biofortification of soy (*Glycine max* L. Merrill) with strontium ions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 5248–5252.
- Therapeutic goods administration, 2014. Strontium ranelate (Protos) and risk of adverse events: safety advisory. Australian government department of health, Canberra. <http://www.tga.gov.au/alert/strontium-ranelateprotos-and-risk-adverse-events-0> (12.04.2019).

- Tiryaki, D., Aydın, I., Atıcı, O., 2019. Psychrotolerant bacteria isolated from the leaf apoplast of cold-adapted wild plants improve the cold resistance of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low temperature. *Cryobiology*, 86, 111-119.
- Van Hoeck, A., Horemans, N., Van Hees, M., Nauts, R., Knapen, D., Vandenhove, H., Blust, R., 2015.  $\beta$ -Radiation stress responses on growth and antioxidative defense system in plants: a study with strontium-90 in *Lemna minor*. *International Journal of Molecular Sciences*, 16, 15309–15327.
- Van, A., Clijsters, H., 1990. Effect of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell & Environment*, 13, 195-206.
- Vangronsveld, J., Clijsters, H., 1994. *Toxic Effects of Metals*, M.E. Farago. Plants and the chemical elements; biochemistry, uptake, tolerance and toxicity. Verlagsgesellschaft, Weinheim, 150-177.
- Wang, S., Liu, H., Zhang, Y., Xin, H., 2015. The effect of CuO NPs on reactive oxygen species and cell cycle gene expression in roots of rice. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34, 554-561.
- Watanabe, T., Okada, K., 2005. Interactive effects of Al, Ca and other cations on root elongation of rice cultivars under low pH. *Annals of Botany*, 95, 379–385.
- Wójciak-Kosior, M., Sowa, I., Blicharski, T., Strzemski, M., Dresler, S., Szymczak, G., Wnorowski, A., Kocjan, R., Swieboda, R., 2016. The stimulatory effect of strontium ions on phytoestrogens content in *Glycine max* (L.) Merrill. *Molecules*, 21, 1–9.
- Yadav, S.K., 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76, 167-179.
- Yıldız, M., Terzi, H., 2007. Bitkilerin yüksek sıcaklık stresine toleransının hücre canlılığı ve fotosentetik pigmentasyon testleri ile belirlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1-2), 47-60.

- Yuce, M., Taspinar, M.S., Aydin, M., 2019. Response of NAC transcription factor genes against chromium stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 136, 479.
- Zengin, K.F ve Munzuroğlu, Ö., 2005. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin ( $Ni^{+2}$ ,  $Co^{+2}$ ,  $Cr^{+3}$ ,  $Zn^{+2}$ ) etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 164-172.
- Zornoza, P., Vazquez, S., Esteban, E., Fernandez, M., Carpena, R., 2002. Cadmium-stress in nodulated white lupin: Strategies to avoid toxicity. *Plant Physiology Biochemistry*, 40(12), 1003-1009.

## ÖZGEÇMİŞ

23.08.1993 tarihinde Iğdır'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tuzluca Atatürk İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Iğdır Haydar Aliyev Fen Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden mezun oldu. 2017 yılında Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.

