

**T.C.**  
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**GENETİK VE BİYOMÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALI**



**BAZI AYÇİÇEĞİ GENOTİPLERİNİN ÇİMLENMESİ VE FİDE  
GELİŞİMİ ÜZERİNE NANO PARTİKÜLLERİN ETKİSİNİN  
BELİRLENMESİ**

**NERMİNAZ NUR ATMACA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DOÇ. DR. FIRAT SEFAOĞLU**

**EKİM - 2024**  
**KASTAMONU**

## TEZ ONAYI

**Nerminaz Nur ATMACA** tarafından hazırlanan “**BAZI AYÇİÇEĞİ GENOTİPLERİNİN ÇİMLENMESİ VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE NANO PARTİKÜLLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**“ adlı tez çalışmasının savunma sınavı **04.10.2024** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Genetik ve Biyomühendislik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

<b>Danışman</b>	Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU Kastamonu Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi</b>	Doç. Dr. Volkan GÜL Bayburt Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi</b>	Dr. Öğr. Üyesi Ferhat ULU Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Selçuk MEMİŞ .....

## TAAHHÜTNAME

*Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.*

**Nerminaz Nur ATMACA**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### BAZI AYÇİÇEĞİ GENOTİPLERİNİN ÇİMLENMESİ VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE NANO PARTİKÜLLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

NERMİNAZ NUR ATMACA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GENETİK VE BİYOMÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALI  
DANIŞMAN:DOÇ. DR. FIRAT SEFAOĞLU

Bu çalışma; doğada yaygın olarak depolanan ve canlı organizmalar üzerinde oldukça geniş spektrumlu etkiye sahip olan 3 adet nanopartikül'ün (NP) (TiO<sub>2</sub>, ZnO, ve CuO) farklı dozlarının, yağlık ayçiçeği çeşitleri (64 LC108 ve 64 LP 130) üzerine çimlenme ve fide gelişim etkilerini belirlemek amacıyla 2024 yılında Kastamonu Üniversitesi Veterineller Fakültesi laboratuvarında yürütülmüştür. Laboratuvar koşullarında Ayçiçeği genotiplerine ait tohumlar yüzey sterilizasyonu için %1 sodyum hidroklorür çözeltisinde 10 dakika tutulduktan sonra beş kere distile su ile yıkanan tohumlar kurutulmuştur. Kurutulan tohumlar K (Kontrol) 200; 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l konsantrasyonlardaki TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CuO solüsyonları içerisinde 18 saat bekletilmiştir. 18 saatin sonunda tohumlar üç kez saf su ile yıkanarak filtre kâğıtları üzerinde kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Her petri kabında 10 tohum olacak şekilde dört tekerrürlü olarak ekim yapılmıştır. Bu uygulama her nanopartikülün 9 farklı dozu ve kontrol grubu barındırarak petriyelerdeki tohumlara tatbik edilmiştir. Tohumlar çimlenmeleri için karanlık ortama alınmıştır. Çalışma süreci boyunca her gün çimlenen tohum sayısı belirlenmiş ve petri kaplarındaki filtre kâğıtlarının nem durumu kontrol edilerek ayarlanmıştır. Viyollerde steril torf içerisinde yapılan ekimlerde petri kaplarında yapılan sayımlara paralel olarak gözlenmiştir. Viyollerde yapılmış olan çalışma ortalama 18 °C sıcaklıkta oda koşullarında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan nanopartiküller ve nanopartikül dozları incelenen bütün karakterleri önemli derecede etkilemiştir. Nanopartikül dozları çimlenme oranı hariç diğer bütün parametrelerde önemli etkide bulunurken uygulama dozları yine çimlenme oranı ve çimlenme indeksi hariç kök ağırlığı, kök uzunluğu, kök çapı, sürgün uzunluğu gibi bütün parametrelerde önemli etkide bulunduğu belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, söz konusu çalışmanın farklı ve yaygın nanopartikül türlerinin sık ve yakın dozları kullanılarak tekrarlanması oldukça önemlidir.

**ANAHTAR KELİMELEER:**Ayçiçeği, *Heliantus Annus L.*, nanopartikül, Çimlenme

Ekim 2024, 79 Sayfa

## ABSTRACT

### MSC THESIS

#### DETERMINATION OF THE EFFECT OF NANOPARTICLES ON GERMINATION AND SEEDLING DEVELOPMENT OF SOME SUNFLOWER GENOTYPES

NERMİN AZ NUR ATMACA

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF GENETICS AND BIOENGINEERING  
SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. FIRAT SEFAOĞLU

This study was conducted at the Kastamonu University Faculty of Veterinary Medicine laboratory in 2024 to determine the germination and seedling development effects of different doses of 3 nanoparticles (NP) (TiO<sub>2</sub>, ZnO, and CuO) (64 LC108 and 64 LP 130), which are widely stored in nature and have a fairly broad spectrum effect on living organisms, on oil sunflower varieties (TiO<sub>2</sub>, ZnO, and CuO). Under laboratory conditions, seeds belonging to sunflower genotypes were kept in 1% sodium hydrochloride solution for 10 minutes for surface sterilization, and then the seeds were washed with distilled water five times and dried. Dried seeds were kept in K (Control) 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 and 1800 mg/l concentrations of TiO<sub>2</sub>, ZnO and CuO solutions for 18 hours. At the end of 18 hours, the seeds were washed three times with distilled water and left on filter papers until they dried. Sowing was made in 4 replicates in a way each petri dish would contain 10 seeds. This application was applied to seeds in petri dishes by having 9 different doses of each nanoparticle and a control group. The seeds were taken to a dark environment for germination. During the study process, the number of seeds germinated every day was monitored and the moisture status of the filter papers in the petri dishes was adjusted. The sowings made in sterile peat viols were also monitored in parallel with the counts made in petri dishes. The study conducted in viols was carried out under room conditions at an average temperature of 18 °C. Significant differences were found between the nanoparticles and their doses in terms of the studied characters. The applied nanoparticles and nanoparticle doses significantly affected all the studied characters. Nanoparticle doses have a significant effect on all parameters except germination rate, while application doses significantly affected all parameters, except germination rate and germination index, such as root weight, root length, root diameter, shoot length. As a result of the research, it is very important that the study in question is repeated using frequent and approximate doses of different and common types of nanoparticles.

**KEYWORDS:** Sunflower, *Helianthus Annus L.*, nanoparticle, Germination

October 2024, 79 Page

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübe ve bilgisiyle beni yönlendiren ve samimiyetiyle bana destek olan, tezimin planlamasından yazılmasına kadar her konuda bilgilerini esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU'na (Kastamonu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Genetik Biyomühendislik Bölümü Öğretim Üyesi.) ve laboratuvar çalışmalarında verdiği desteklerden dolayı Prof. Dr. Özgür KAYNAR (Kastamonu Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Öğretim Üyesi) Sayın Doç. Dr. Osman KESBİÇ Kastamonu Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Öğretim Üyesi)'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi olarak beni her koşulda destekleyen kıymetli annem Ayşe ATMACA'ya, babam Yahya ATMACA'ya abim Muhammd Enes ATMACA'ya, laboratuvar çalışmam boyunca beni yalnız bırakmayan ve destekleyen değerli abim Yusuf ATMACA'ya en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını okumak istemiş ama birçok nedenden dolayı okuyamayan bütün kadınlara armağan ediyorum.

NERMİNAZ NUR ATMACA

Kastamonu, 2020

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ ONAYI</b> .....	<b>ii</b>
<b>TAAHHÜTNAME</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETLERİ</b> .....	<b>8</b>
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>12</b>
3.1 Materyal .....	12
3.2 Metot .....	12
3.2.1 Petri kaplarında Çimlenme Testlerine Tabi Tutulacak Tohumlara Ön İşlemler .....	12
3.2.2 Viyollerde Çimlenme Testlerine Tabi Tutulacak Tohumlara Ön Hazırlık .....	14
3.2.3 Verilerin Elde Edilmesi .....	15
3.2.4 Verilerin Değerlendirilmesi .....	16
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>17</b>
4.1 Petri Kaplarında Yürütülen Denemeye Ait Tespitler.....	17
4.1.1 Çimlenme Oranı (%).....	17
4.1.2 Çimlenme Süresi.....	21
4.1.3 Çimlenme İndeksi .....	24
4.2 Petri lerde Yürütülen Denemeye Ait Ölçümler .....	27
4.2.1 Radikula Uzunluğu .....	27
4.2.2 Radikula Çapı .....	30
4.2.3 Radikula Ağırlığı .....	33
4.2.4 Plumula Uzunluğu .....	36
4.2.5 Plumula Çapı.....	39
4.3 Viyol ile Yürütülen Denemeye Ait Ölçümler .....	43
4.3.1 Radikula Uzunluğu .....	43
4.3.2 Radikula Çapı .....	46
4.3.3 Radikula Ağırlığı .....	50
4.3.4 Plumula Uzunluğu .....	53
4.3.5 Plumula Çapı.....	57
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	<b>61</b>
5.1 Petri Kaplarında Yapılan Uygulamaya Ait Sonuçlar.....	61
5.2 Viyolde Yapılan Uygulamaya Ait Sonuçlar .....	66
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>70</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>79</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1 a) Nanopartilüllerin tartılması b) nanopartilüllü çözeltilerin hazırlanması c) %1 sodyum klorür çözeltisi hazırlanması, tohumların sodyum klorür çözeltisinde sterilizasyonu d) tohumların 18 saat nanopartiküllü solüsyonda bekletilmesi.....	13
Şekil 3.2 a) Nanopartiküllü solüsyondan çıkan tohumların kurutulması b) petri kaplarına tohumların yerleştirilmesi c) petrilere 3 ml saf su eklenmesi, petrilere hava almaması için streç filmle kaplanması d) petrilere etüve kaldırılması e) 14 gün sonunda tohum çimlenmeleri f) çimlenen tohumun sürgün uzunluğunun ölçülmesi g) çimlenen tohumun yaprak boyunun ölçülmesi .....	13
Şekil 3.3 a) Tohumların viyollere ekilmesi b, c, e) çimlenen tohumların topraktan çıkışı d) çıkış yapan çeşitlerden görünüm.....	14
Şekil 3.4 Viyollerin her bir kutucuğuna 3ml su eklenmesi .....	15

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa

Tablo 4.1 Çimlenme oranı ait varyans tablosu .....	18
Tablo 4.2 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait çimlenme oranı .....	19
Tablo 4.3 Çimlenme süresine ait varyans tablosu.....	21
Tablo 4.4 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait çimlenme süresi .....	22
Tablo 4.5 Çimlenme indeksine ait varyans tablosu .....	24
Tablo 4.6 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait çimlenme indeksi.....	26
Tablo 4.7 Petrilerde yürütülen denemenin radikula uzunluğuna ait varyans tablosu .....	28
Tablo 4.8 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula uzunluğu .....	29
Tablo 4.9 Petrilerde yürütülen denemenin radikula çapına ait varyans tablosu .....	30
Tablo 4.10 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula çapı .....	32
Tablo 4.11 Petrilerde yürütülen denemenin radikula ağırlığına ait varyans tablosu .....	33
Tablo 4.12 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula ağırlığı .....	34
Tablo 4.13 Petrilerde yürütülen denemenin plumula uzunluğuna ait varyans tablosu .....	36
Tablo 4.14 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula uzunluğu .....	37
Tablo 4.15 Petrilerde yürütülen denemenin plumula çapına ait varyans tablosu .....	40
Tablo 4.16 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula çapı .....	41
Tablo 4.17 Viyolde yürütülen denemenin radikula uzunluğu varyans tablosu.....	43
Tablo 4.18 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula uzunluğu .....	45
Tablo 4.19 Viyolde yürütülen denemenin radikula çapı varyans tablosu.....	47
Tablo 4.20 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula çapı .....	49
Tablo 4.21 Viyolde yürütülen denemenin radikula ağırlığı varyans tablosu .....	50
Tablo 4.22 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula ağırlığı .....	52
Tablo 4.23 Viyolde yürütülen denemenin plumula uzunluğu varyans tablosu.....	53
Tablo 4.24 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula uzunluğu .....	55
Tablo 4.25 Viyolde yürütülen denemenin Plumula çapı varyans tablosu.....	57
Tablo 4.26 Farklı dozlarda TiO <sub>2</sub> , CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula çapı .....	59

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

<b>%</b>	: Yüzde
<b>CuO</b>	: Bakır oksit
<b>g</b>	: Gram
<b>L</b>	: Litre
<b>mg/l</b>	: Miligram/litre
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>Np</b>	: Nanopartikül
<b>TiO<sub>2</sub></b>	: Titanyum dioksit
<b>ZnO</b>	: Çinko oksit

## 1. GİRİŞ

Nüfusun artmasıyla birlikte beslenme, dünyada ve ülkemizde ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. İnsan beslenmesinde ve endüstride önemli yere sahip olan temel besin maddelerinden biri yağlardır. Yağlar, hayvansal ve bitkisel olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Hayvansal türevi yağlar, üretiminin sınırlı ve maliyetinin yüksek olması sebebiyle dünya yağ üretiminin ancak %10-20'sini oluşturabilmekte, %80-90'ını ise bitkisel yağlar karşılamaktadır. Dengeli beslenen bir insanın günlük yağ tüketiminin 2/3'ünün bitkisel yağ olması gerekmektedir (Kayahan 1975). Bitkisel yağlar, sayısı 14'ü bulan yağ bitkilerinden temin edilmektedir. Bugün dünyada 328 milyon tonun üzerinde yağlı tohum üretimi yapılmaktadır. Dünya bitkisel yağ üretiminde lider bitki olan soyanın 189,2 milyon tonluk üretimini, 56,1 milyon tonla pamuk çiğidi, 36,1 milyon tonla kolza ve 35,6 milyon tonla yer fıstığı izlerken, ayçiçeği 27,7 milyon tonla 5. sırayı almaktadır. Geriye kalan yağ bitkilerinin üretimi ise oldukça düşüktür (Anonim 2004).

Ayçiçeği; Asteraceae ailesinin familyasının bir üyesi olan *Helianthus* cinsinden *Helianthus annuus* L. türü olup, tek yıllık bir bitkidir. 51 tür 19 alt türe sahip olan *Helianthus* türünün 14'ü tek yıllık, 37'si ise çok yıllıktır bir bitkidir (Meral 2019). Söz konusu türlerin büyük çoğunluğu süs bitkisi olarak üretilmesine karşın, *Helianthus annuus* ve *Heliantus tuberosus* türlerinin gıda amaçlı üretimleri yapılmaktadır. Farklı türleri bulunan *Heliantus* türleri de doğal olarak farklı kromozom sayısına sahiptirler (Khalil ve Shaimaa, 2005; İnoka ve Nilanthi, 2015). *Helianthus* cinsinin türlerinde temel kromozom sayısı  $n=17$  olup, diploid, tetraploid ve hexaploid türleride bulunmaktadır (Lahaye, 2004). Ayçiçeği tek yıllık yabancı döllenen bir yağ bitkisidir. Bu bitkinin tohumları %40-50 yağ, %30-40 protein içermektedir.

Yağların içerdikleri doymuş ve doymamış yağ asitleri oranına göre kalite dereceleri belirlenir. Bu bakımdan doymuş yağ asidi oranı ayçiçeğinde %11, soyada %15, mısır özünde %13, kolzada %6, zeytinde %14 ve tereyağında ise %66 olduğu belirlenmiştir (Anonim, 2011). Ayçiçek yağının içerdiği doymamış yağ asitleri oranı yüksek (%69), doymuş yağ asitleri oranı düşük olması nedeniyle beslenme değeri oldukça yüksektir.

Bu yüzden sıvı olarak yemeklerde ve kızartmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Harris vd., 1978; Miller vd., 1987). Ayrıca diğer yağlarla karıştırılarak yemeklik ve sofralık margarin yapımında da değerlendirilmektedir. Geriye kalan küspesinde yüksek oranda ham protein bulunması (kabuklu %32,2; kabuksuz %46,8) ve soya küspesinden sonra metabolize enerji değeri en yüksek yağlı tohum (2.260 kcal/kg) olduğundan karma yem üretiminde de önemli bir paya sahiptir (Arioğlu, 2007). Ayçiçek yağı, içeriğinde bulunan yüksek orandaki linoleik yağ asidinin kurumayı çabuklaştırıcı özelliği nedeniyle yağlı boya, sabun, kozmetik ve plastik ürünlerinin hammaddesini oluşturur. Tohumları çerezlik ve kuş yemi olarak kullanılmaktadır (Özguven, 1988). Hasat sonrası elde edilen tohum kabuğu, sap ve tablaları kâğıt ve yakacak olarak değerlendirilmektedir. Bu kısımlarının yakılmasından elde edilen kül %36-40 arası potasyum içerdiğinden, potasyum eksikliği tespit edilen topraklara doğal gübre kaynağı olarak serpiilmektedir.

Önemli bir ürün olan ayçiçeği besin zincirinde kendisine yer bulan bir bitki konumundadır. Özellikle ülkemizde bitkisel sıvı yağ tüketiminin büyük bir kısmı ayçiçeği bitkisinden karşılanmaktadır. Ülkemizde tüketimi yapılan 900 bin ton civarındaki ayçiçeği yağının yalnızca 550 bin tonu iç piyasadan karşılanmakta olup kalan miktar her yıl ithal edilmektedir (TÜİK). Türkiye'nin ayçiçeği dış ticaret verilerine göre 2002-2018 yıllarında ayçiçeği ithalat oranı %499 oranında artmış ve bunun karşılığında yaklaşık 16 milyar dolar ödeme yapılmıştır. Ayçiçeği üretiminde belirlenen hedeflere ulaşabilmenin yolu birim alandan alınan tane veriminin ve yağ oranının artırılmasıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte yağlık ayçiçeği konusunda fazlaca klasik ve biyoteknolojik çalışmalar yapılmakta ve yapılmaya da devam edilmektedir. Fakat küresel ısınmanın neden olduğu değişen iklim koşullarında tarımsal ürün verim ve kalitesini artırmada ve sürdürülebilirliği sağlamada etkili yöntemlerden bir tanesi de nanoteknolojinin kullanılmasıdır. Tarımsal üretimi iyileştirmeye; tarımla ilgili birçok soruna etkili çözümler sağlamada; atomik veya moleküler yapılar arasındaki etkileşimde nanoparçacıkların etkin rol oynadığı bir çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Chen vd., 2016; Prasad vd., 2017; Shang vd., 2019).

Nanoteknoloji, birçok alanda kendini geliştiren bir araştırma alanı olmasının yanında, tarım, bitki korunması ve beslenmesi, tarımsal uygulamalarda pestisit yayılmasını,

nanosensörleri, pestisit bozulmasını, mikro besinlerin en iyi şekilde kullanımını vb. alanlarında ihtiva etmektedir (Ghormade vd., 2011).

Nanoteknoloji, nano ölçekte fiziksel, biyolojik ve kimyasal tepkimelerin öğrenilmesi, kontrol edilmesi, üretim aşaması ve taklidini gerçekleştirmek amacıyla yapılan araştırmaları konu edinen multidisipliner bir bilim dalıdır. Nanoteknoloji bilim dalı, 1 ile 100 nm ölçüsü arasında bulunan partiküllerle çalışıldığı bilinmekle birlikte, nanokristaller, nanotüpler, nanoçubuklar, nanopartiküller, nanoteller gibi materyaller kullanılmaktadır (Goldstain, 1997; Rao vd., 2005).

Son dönemlerde nanoterim kelimesinin oldukça sık kullanılmasının temel nedeni, nanopartiküllerin tarımda kullanılmaya başlamasıdır. Tarımsal üretimde veya daha genel bir tabirle tarımda nanopartiküllerin (NP) kullanımını iki başlık altında incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi bitkinin ilk gelişim evresi olan çimlenme ve fide gelişiminin teşvik edilmesidir. İkincisi ise daha çok bitki koruma ve üretim alanında karşımıza çıkmakta olup, patojenleri belirlemek üzere nanosensörlerin geliştirilmesi amacını taşımaktadır. Nanosensörlerin geliştirilmesinde ise genellikle nanopestisit ve herbisit uygulamaları konuları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Khot vd., 2012).

Tarımda nanopartiküllerin tercih edilmesinde akıllı salınım sistemleri, gerçek zamanlı takip sistemleri ve yüksek verim, düşük pestisit, herbisit girişini sağlayacak çalışmaları kapsamaktadır. Buna ilave olarak yer altı sularını ve ekim alanlarının temizlenmesi için nanopartiküllerin tercih edildiği Demirbilek, (2015) tarafından bildirilmiştir.

Nanopartiküllerin son dönemlerde bitkiler üzerinde yaygın kullanılmalarının temel nedeni toprak ile çevre arasındaki bağlantıyı kurmalarıdır. Bitki, toprak ve nanopartiküller arasında önemli bir etkileşim olduğu, bu etkileşimin belirlenmesinde nanopartiküllerin bitki bünyesinde taşınma mekanizması ve etkilerinin bilinmesi oldukça önemli olmaktadır (Du vd., 2011; Kundu vd., 2015). Nanopartiküllerin neden olduğu farklı etkilerin ve etki düzeylerinin belirlenmesi ürün verim kalitenin artırılmasında etkilili olacağı düşünülmektedir. Şöyle ki, etkilerden pozitif yönde olanlarının gerek yetiştiriciliği gerekse klasik ve modern ıslah tekniklerinde

destekleyici unsur olarak kullanılması ürün verim ve kalite üzerine pozitif etki yapması açısından önem arz etmektedir. Bu etkilerden negatif yönde olanlarından ise bitkilerin muhafaza altına alınması ve zarar eşliğini minimize edecek tedbirlerin önceden alınması bakımından önem arz etmektedir.

Bir bitki tohumu tohum kabuğu, çenekler ve embriyo kısımlarından oluşmaktadır. Uygun koşullar altında tohumdan fidecik oluşması ile çimlenme olayı meydana gelir. Aslında çimlenme ile bitkinin yaşam süreci başlamış olmaktadır. Son zamanlarda, çimlenme olayının hızlanması, güçlü ve genç fidelerin oluşumu üzerine araştırmacılar tarafından nanaopartiküllerin etkisinin belirlenmesi yoğun bir ilgi görmektedir görmektedir (Aleksandrowicz-Trzcinska, 2019). Söz konusu bu durum tarımsal ürünlerde özellikle stres faktörlerine rağmen hızlı bir çimlenme ve büyüme arzusu her geçen gün Nanopartikül içeren araştırmaların sayısının artmasına neden olmaktadır (Azura vd., 2017).

Yapılan araştırmalar sonucunda nanopartikül uygulanan bitki tohumlarının çimlenme ve gelişimleri üzerine olumlu etkilerinin (Guha vd., 2018; Paparella vd., 2015) yanı sıra; stres faktörlerine bağlı olarak meydana gelen negatif etkinin azaltılabileceği, adaptasyon mekanizmalarının ise düzenlenebileceği tesbit edilmiştir (Lei vd., 2008; Zulfiqar vd., 2021). Nanopartiküller bitkilerde tohum çimlenmesinden fide gelişimine kadar, büyümeyi ve fotosentezi etkileyen bir çok önemli aktiviteler üzerine etkiye bulunabilirler (Guha vd., 2018; Paparella vd., 2015). Ayrıca nanopartiküller antioksidan (katalaz, peroksidaz, süperoksidaz dismutaz gibi) enzimlerin aktivitesini artırarak bitki kloroplastını reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerine karşı koruduğu ifade edilmiştir (Hong vd., 2005; Li vd., 2021).

Nanopartiküllerden Titanyum dioksit ( $TiO_2$  NP'ler), diğer nanopartiküllerin yanı sıra ağır metaller tarafından kirletilmiş toprağın işlenmesini ve toprakta biriken ağır metallerin bitki bünyesine alınmasını, azalttığı belirlenmiştir.  $TiO_2$  nanopartikülünün bitki hücrelerinde depolanmasında ise toprak tipinin önemli etkisinin olduğu (Liu vd., 2018) ifade edilmiştir.  $TiO_2$  nanoparçacıklarının, fotosentez oranlarını ve nitrojen metabolizmasını artırarak ıspanak bitkilerinin büyümesini uyardığı bulunmuştur (Yang vd., 2008). Ayrıca tohumdan Titanyum uygulamasının Cd stresini azalttığı

bildirilmiştir (Sardar vd., 2022). Titanyumdioksit'in ( $TiO_2$  NP); bazı bitki türlerinin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerinde çeşitli etkilerinin olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde  $TiO_2$  NP'leri uygulamasının antioksidan enzim aktivitelerini, fotosentetik hızı ve klorofil oluşumu üzerine etkisinin olumlu olduğunu ve sonuç itibariyle ürün veriminin artmasına neden olduğunu bildirmiştir (Latef vd., 2018). Bir başka çalışmada ise  $TiO_2$  NP'lerin sıcaklık stresinin olumsuz etkilerini arttırarak biyokütle artışına neden olduğunu bildirmişlerdir (Gupta vd., 2013). Bunun yanı sıra  $TiO_2$  NP'lerin ısıya maruz kalması bitkilerde doğal antioksidanlar olarak bulunan fenol ve flavonol içeriği dahil savunma mekanizmalarının aktivitesini önemli derecede arttırdığını ifade etmişlerdir (Zafar vd., 2016). Faran vd., (2019)'da, yaptıkları çalışmada  $TiO_2$  NP'lerin sıcaklık stresi altında membran oranımına etki ettiğini belirlemişlerdir. Ayrıca sıcaklık stresine bağlı morfolojik yapılar, büyüme ve gelişmeyi de iyileştirdiği tesbit edilmiştir (El-Saadony, 2021; Iqbal vd., 2017). Benzer şekilde sıcaklık stresine bağlı meydana gelen hücresel organellerin, özellikle kloroplast hasarının iyileştirilmesinde etkin olduğu belirlenmiştir (Thakur vd., 2022; Younis vd., 2020). Nanopartiküllerin bitkilere uygulanmasında bir çok amaç olup, bu amaçlardan birisi de olumsuz çevre koşullarını en aza indirgeyebilecek tohum uygulamasıdır (Mahakham vd., 2017).

Nanopartiküllerden Çinko inorganik bir bileşik olup, beyaz renkli, toz halinde bulunan bir bileşiktir. Çinko, çökeltme, buhar taşıma, hidrotermal gibi kimyasal yöntemlerle sentezlendiği gibi, farklı bitki özleri kullanılarak biyolojik yöntemlerle sentezlenebilmektedir (Ali vd., 2018; Sabir vd., 2014;). Çinko (Zn) demir, bakır ve alüminyumdan sonra en çok kullanılan metal olmakla birlikte, son dönemlerde dünyada yılda ortalama 10 milyon ton civarında çinko kullanıldığı Ekman vd., (2017) tarafından bildirilmiştir. ZnO nanopartikülleri güneş kremleri, kozmetik, boya, lastik, kumaş boyaması ve atık suların iyileştirilmesi gibi birçok farklı endüstriyel alanda kullanılması (Sun vd., 2019) ve antibakteriyel, antifungal, antiinflamatuvar özelliklerinden dolayı ilgi görmeye başlamıştır. Çinko oksit (ZnO) nanopartiküllerinin bu kadar yoğun ilgi görmesinin önemli nedenlerinden bazıları ise maliyetinin ve toksisitesinin düşük olması biyoyumluluk gibi özellikleri nedeniyle günümüzde yem ve gıda dağıtım sistemleri, gıda ambalaj malzemeleri gibi sanayi, tarım ve çevre sektöründe kullanılan en yaygın metal oksitlerden biri haline gelmiştir. ZnO

nanopartiküllerin, tarımsal üretimde genel olarak gübre veya gübre formülasyon şeklinde yada antimikrobiyal özelliklerinden dolayı pestisit olarak da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Baddar ve Urine, 2021; Sheteiwy vd., 2021). ZnO nanopartikülünün topraktaki yararlanımı ile bitkilerdeki depolanma miktarı arasındaki ilişkiler hakkında bilgi yok denecek kadar az vardır. Bu bağlamda Çinko oksit nanopartiküllerinin toprak üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde araştırılması gerektiği Balcı ve Dağhan, (2023) tarafından bildirilmiştir. Bitki büyüme ve gelişmesi üzerine etkili olan ZnO nanopartiküllerin etkileri nanopartikül boyutuna, uygulama dozuna ve genotipe bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Siddiqui vd., 2015). Yapılan çalışmada Çinko oksit NP'lerinin 50,00 ve 37,50 µg/mL'lik konsantrasyonlarının *V. faba* bitkisinde, 4 ve 24 saat uygulaması sonucunda, mitotik ve mayotik bölünme esnasında oluşturduğu genotoksik etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, konsantrasyon ve muamele sürelerinin artışına bağlı olarak, oluşturduğu hasarların frekansında da artışlar olduğu bildirilmiştir. Sun ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, Çinko oksit NP'lerinin *A. cepa*'da toksik olduğu, çünkü kök ucunda büyümede gerilemeye, membran bütünlüğünde bozulmaya, metabolik aktivitede azalmaya, neden olduğu bildirilmiştir. Bu olumsuz etkinin yalnızca Zn<sup>+2</sup> iyonlarından değil, aynı zamanda Çinko nanopartiküllerinin kendilerinin sebep olduğu tespit edilmiştir (Su vd., 2019). Benzer şekilde Ghodake vd., (2011) ZnO NP'lerinin bitki kök sisteminde birikmesi nedeniyle *A. cepa*'da büyümeyi engellediğini ve aynı zamanda hücre ve kromozom düzeyinde hasarlara sebep olduğunu vurgulamışlardır. ZnO NP'lerinin 4 farklı konsantrasyonunda (1,5; 360; 7,6 x 10<sup>5</sup> ve 1x10<sup>8</sup> ng/L) 48 saat bekletilen soğan kök uçlarında da mitotik indekste ve kromozom anormalliklerinde doza bağlı anlamlı değişiklikler tespit edildiğinden, ZnO NP'lerinin soğan kök uçlarında genotoksik olduğu belirtilmiştir.

CuO (Bakır oksit) nanopartikülleri 1.2 eV enerji aralığında -p tipi yarı iletken özelliğe sahiptir. Bakır oksit nanoparcacıkları; gaz sensörleri, güneş pilleri, elektronik ve optoelektronik cihazlar gibi daha birçok alanda tecih edilmektedir (Azam vd., 2004). Bakır oksit NP'in biyolojik aktiviteleri de oldukça geniş bir kapsamda araştırılmıştır. Yapıların antioksidan, antimikrobiyal, antifungal özelliklere ve peroksidaz enzim benzeri fonksiyonlara da sahiptir (Elshamy vd., 2012). Bakır oksit nanopartikül uygulamasının çimlenme fide gelişim üzerine etkisinde uygulama dozu ve bitki

çeşdiinin önemli derecede rol oynadığı belirlenmiştir. Nitekim Çalbay (2014) 25; 50; 75 ve 100 µg/ml'lik CuO NP'ünü Soğan (*Allium cepa*) bitkisinde 24, 48 ve 72 saat süre ile uygulamıştır. CuO NP'ünün tüm dozlarının kök üzerinde toksik bir etki yaptığını belirlemiştir. Bir başka çalışmada ise; Cu<sub>2</sub>O (0-160 ppm) ve TiO<sub>2</sub> (0,05-0,2 g L<sup>-1</sup>) gibi nanopartiküllerin çimlenmeyi, kök / sürgün uzamasını ve transpirasyonu artırarak domatesin büyümesini teşvik ettiği gösterilmiştir (Ananda vd., 2019).

Nanopartiküllerin, bitkiler üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için çok çeşitli çalışmalar mevcuttur. Tüm bu çalışmalar doğrultusunda, nanopartiküllerin yüksek konsantrasyondaki birikimlerinin bitki üzerinde toksik etkiye sebep olduğu bilinmektedir. Nanopartiküllerin toksik etkileri, bitkinin fizyolojik parametrelerini, çimlenme yüzdesini ve verimini, kök ve gövde uzamasını, biyo kütle ve yaprak sayısını etkileyebilir hatta bitki ölümüne bile neden olabilir. Çok çeşitli bitkilerde, nanopartiküllerin etkileri ile ilgili çalışmalar mevcut olsa da, konu hala güncelliğini korumaktadır. Ülkemiz için stratejik bir öneme sahip ayçiçeği bitkisinde nanopartiküllerin etkilerini belirleyen araştırma sayısı oldukça sınırlı sayıdadır. Bu kapsamda; nanopartiküllerin öncelikle bitkilerin oluşum aşaması olan tohum çimlenmesi sonrasında ise gelişim dönemlerindeki etkilerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda farklı konsantrasyonlardaki Titanyum dioksit, Çinko oksit ve Bakır oksit nanopartiküllerinin ayçiçeği çeşitlerinde çimlenme ve fide gelişim süresince etkileri irdelenmeye çalışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Bitkiler üzerinde yapılan bilimsel araştırmalarda nanopartikül uygulamaları kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda nanopartikül boyutları bitki hücre duvarında bulunan porların çaplarına kıyasla büyük olduğu tespit edilmiştir (Chichiriccò ve Poma, 2015).

Asztemborska vd., (2015) mikroorganizmaların, bitkilerin ya da bitki parçalarının nanopartikül sentezlemede kullandıkları biyolojik yollar nanopartikül sentezi için kimyasal ve fiziksel alternatif yöntemlere nazaran daha cezbedici ve evre dostu olduğunu belirtmişlerdir. Bitkiler nanopartikülleri farklı yöntemler kullanarak metabolizmalarına nanopartikülleri alabilmektedirler. Bünyelerine aldıkları nanopartikülleri taşıyabildikleri gibi bazı depo organlarında biriktirebilme özelliğine sahiptirler. Nanopartiküllerin bitkiye yapacakları etki nanopartikül ve bitki türüne göre farklılık göstermektedir. Nanopartiküllerin bu etkileri pozitif yönde olabildiği gibi negatif de olabilir hatta bazı durumlarda hiç etki etmediği birçok çalışmada ifade edilmiştir.

Doğaroğlu ve Köleli, (2014) yaptığı çalışmada ZnO ve CeO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin soya fasulyesinin çimlenmesine üzerine herhangi bir etkisinin olmadığını, çimlendikten sonra ise CeO<sub>2</sub> nanopartikülünün genotoksik etki gösterdiği dolayısıyla bitkilerin zarar gördüğünü ifade etmişlerdir.

Nanopartiküllerin bitki hücrelerine girişi farklı yollar kullandığı düşünölmektedir. Bu yüzden, bitkiler aquaporinleri (Miwa vd., 2010), membran taşıma mekanizmaları (Gojon vd., 2009), çevresel ortamlardaki besinleri organik kimyasal ve proteinlere tutundurarak (Rico vd., 2011), hücre duvarındaki yapısal maddelere çapraz bağlanıp yeni porlar meydana getirmektedir. (Fleischer vd., 1999) veya endositozu (Eggenberger vd., 2009) ile, nanopartikülleri hücre içine geçişini sağlayabilirler. Kendilerine bir yolak bulabilen nanopartiküllerinin soymuk ve odun borusu ile taşınarak bitki organizmalarının morfolojisinde tutunduğu bilgisine ulaşılmıştır (Cifuentes vd., 2010).

NP'in hücre içerisindeki geçirgenliği birbirinden farklılık göstermektedir (Schreiber, 2010). Bitkilerde süberin tabası tek veya çok katmanlı olup, hücre duvarı yüzeyinde bulunan bir depolama alanıdır. Bitkilerin toprak altı organlarının (kök, yumru) süberin tabakası oluşturmaları (Schreiber, 2010), nanopartikül alımının kök uçlarında daha etkili olmasına neden olmaktadır. Birincil köklerde süberinli ekzodermis ile birlikte süberinli endodermis gelişir. Süberinli ekzodermis, eriyiklerin ve suyun topraktan merkezi silindire apoplastik geçişini önler (Steudle ve Peterson, 1998) fakat, bazal kök bölgesinde yan köklerin gelişim göstermesi neticesinde apoplastik geçiş yan köklerin rizodermis korteksini delmeleri neticesinde mümkün olmaktadır. Bu sayede nanopartiküllerin ksilemler vasıtasıyla korteks ve merkezi silindire geçişi gerçekleşir (Faiyue vd., 2010).

TiO<sub>2</sub> nanopartikülü ve TiO<sub>2</sub>-Ag nano kompozitin çimlenmeye etkisinin araştırıldığı çalışmada kullanılarak yapılan çalışmada tohumlarının çimlenmesinin, nanopartikül uygulama dozuna göre farklılık arzettiği, ve doz artışına paralel olarak arttığı belirlenmiştir (Doğaroğlu vd., 2016). TiO<sub>2</sub>-Ag nano kompozitinin ise 20 mg/l ve 10 mg/l uygulamasın özellikle radikula uzunluğunu artırdığı bildirilmiştir (Doğaroğlu vd., 2014).

Dört farklı TiO<sub>2</sub> nanopartikül dozunun (0; 100; 200; 300 mg/l) nane (*Mentha piperita*) bitkisinin çimlenme oranı, sürgün-kök uzunluğu üzerine etkisini inceleyen çalışmada TiO<sub>2</sub> nanopartikülün çimlenme oranı ve sürgün boyuna etkisinin olumsuz olduğu fakat, düşük dozda (100 mg/l) nanopartikülün kök uzamasına önemli etkisinin olduğunu bildirmiştir (Samadi, 2014).

Bakır, Çinko, Mangan ve Demir Oksit gibi nanopartiküllerinin düşük dozlarının marul tohumlarının çimlenmesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, bitki gelişimi üzerine demir oksit nanopartikülünün pozitif etki ettiği fakat bakır metali'nin bakır nanopartikülüne nazaran göre daha olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir (Liu vd., 2016).

Ag nanopartikülünün farklı dozlarının (0; 25; 50; 100; 200 ve 400 ppm) hardal bitkisinin sürgün uzunluğu, kök uzunluğu ve yaprak alanı, üzerine etkisini incelemek

için yaptıkları çalışmada söz konusu parametrelerin artışının uygulanan Ag nanoparçacıkların dozuna bağlı olduğunu ve 50 ppm dozunda en yüksek artışın olduğu belirlenmiştir (Sharma vd., 2012).

Thomas, vd., (2016); 0,2 mg/fide konsantrasyonunu kullanarak çemen bitkisinin (*Trigonella foenum*)’da büyüme parametreleri üzerine etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Ag nanopartikülün 0,2 mg/fide dozunun yaprak sayısı, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, taze ağırlığına üzerine önemli ölçüde etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Tarım arazisinde TiO<sub>2</sub> ve ZnO NP’ ne maruz bırakılan buğday tohumunun; büyüme ve gelişim aşamasında kullanılan nanopartiküllerinin olumsuz etkileri olduğunu saptanmıştır (Du vd., 2010).

Tohum çimlenmesi aşamasında uygun araç kullanımı tarım ve ormancılık için önem taşır. Burada, tarımsal türlerin tohum çimlenmesi ve büyümesi aşamasında nanopartiküllerin etkisinin olup olmadığını öğrenmek için meta analiz kullanılmıştır. Elde edilen verilere göre, gümüş (Ag) nanopartikülü alt grubu için 1,97 (0,96; 2,98), diğer nanopartikül alt grubu için 1,21 (0,34; 2,09) nanopartiküllere bağlı olarak toplamda 1,40 (0,88; 1,92) ortalama fark (MD) (yani genel etki) ile nanopartikül uygulamalarının sonuç olarak çimlenme yüzdesi (FGP) üzerinde önemli ölçüde pozitif bir etkisi tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak %95 güven aralığında, nanoparçacık konsantrasyonları ile sürgün uzunluğu (SL) arasında istatistiksel bir ilişki bulunamamıştır (Guo vd., 2022).

Söğüt ağacı üzerinde terleme testleri ile TiO<sub>2</sub> NP’in ağaçlar üzerindeki toksisitesine bakıldığı bir çalışmada, 25 nm ve 100 nm çaplı TiO<sub>2</sub> partikülleri, 0; 1; 10 ve 100 mg/L (ilk test) ve 0; 10; 20 ve 50 mg/L (ikinci test) konsantrasyonlarında saf suda süspanse yapılmıştır. Söğüt ağacının açıkda kalan bölümlerinde terleme, büyüme ve su kullanım verimliliği üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümlerde önemli bir etki izlenmemiştir. Parçacıklar, agregasyonun bir sonucu olarak çökme ve köklere adsorpsiyon nedeniyle çözüldükten hızla kaybolduğu tahmin edilmektedir (Seeger vd., 2009).

Altın (Au) NP'in MS bazal ortamına eklenmesinin *Arabidopsis thaliana* bitkisinin tohum çimlenmesi ve fide büyümesinin yüzdesini olumlu etkisi izlenmiştir. Pod uzunluğu ve tohum sayısı 10 mg/L Au nanopartikül ile maruz bırakılan bitkilerde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Altın NP uygulaması, antioksidan enzim aktivitesini artırarak *A. Thaliana*'da mikroRNA'ların (miR398 ve miR408) ekspresyonunda azalma saptanmıştır. Bu fizyolojik ve moleküler varyasyonlar, Altın NP' in etkilerinden olabilir (Kumar vd., 2013).

*Tecomella undulata* bitkisinin kök eksplantları ile yapılan araştırmada eksplantlar MS ortamına 10 mg/L gümüş nanopartikülü, 2,5 mg/L BAP ve 0,1 mg/L IAA eklenerek oluşturulan ortamda filizlenme indüksiyon yüzdesi, sürgün sayısı ve kallus oluşumunun arttığı gözlemlenmiştir (Sarmast vd., 2015).

Yapılan diğer bir çalışmada 50 mg/L gümüş NP'in MS bazal ortamına dâhil edildiğinde *Brassica juncea* fidelerinin büyüme özelliklerini aktive edici antioksidan enzimler yoluyla hidrojen peroksit, malondialdehid (MDA) ve prolin içeriğini azaldığı bulunmuştur. Bunun üzerine, (100-400 mg/L) gümüş nanopartikül konsantrasyonları fide büyümesi üzerinde zararlı etkileri tespit edilmiştir (Sarmast vd., 2015).

Lin vd., (2007)'nin yapmış olduğu bir çalışmada mısır bitkisine 2000 mg/l dozda ZnO NP uygulamasının çimlenme ve kök gelişimine teşvik edici etkisi olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, bitki fidelerinin çimlenme esnasında NPs'e fizyolojik tepkilerini göstermiştir ancak, tohum çimlenmesi ve kök büyümesinin etkisi bitkiler ve NPs arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Hao vd., 2016).

### **3. MATERYAL ve METOT**

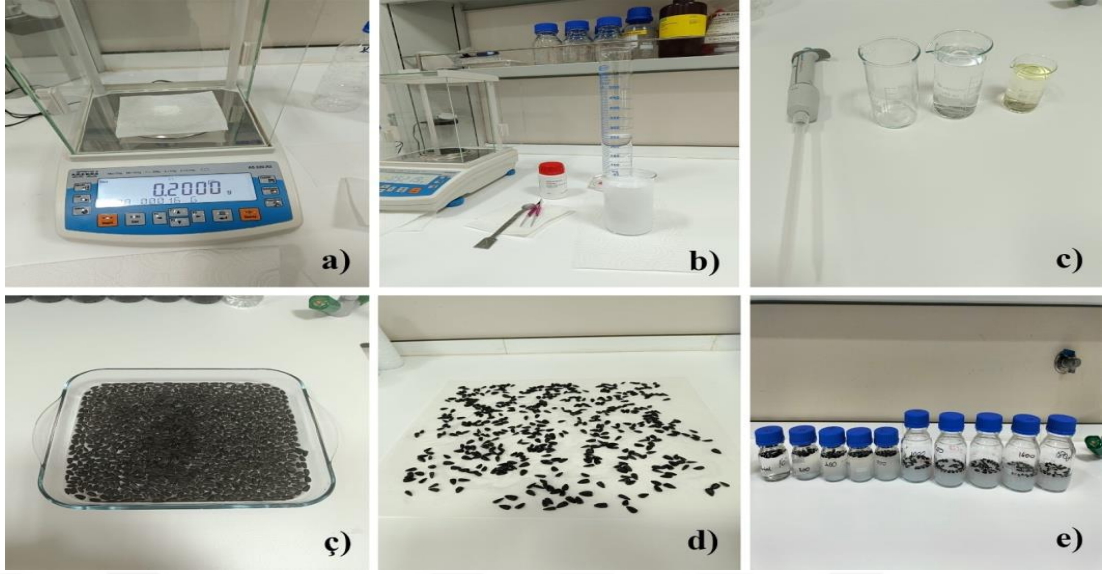
#### **3.1 Materyal**

64 LP 130 ve 64 LC 108 ayçiçeği genotiplerinin materyal olarak kullanıldığı çalışmada genotipler Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden temin edilmiştir.

#### **3.2 Metot**

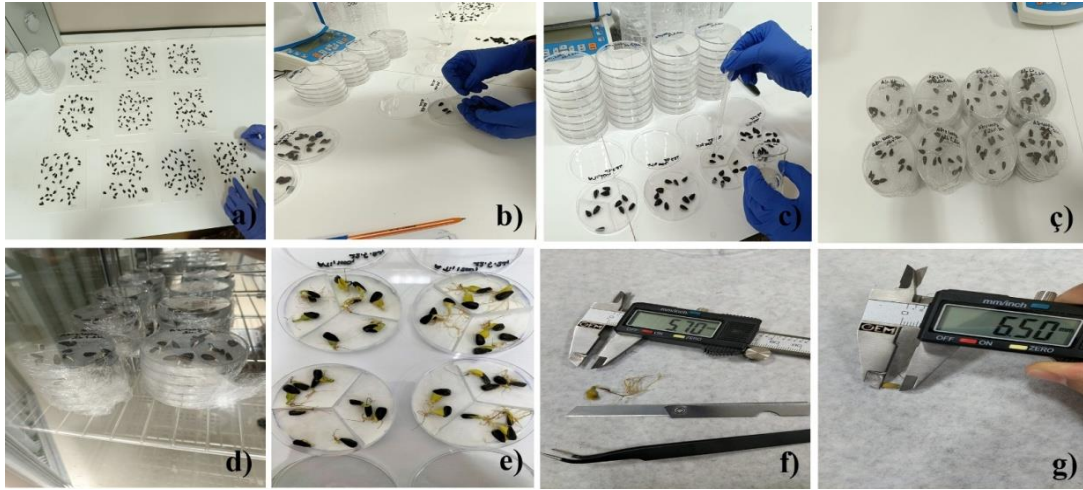
##### **3.2.1 Petri kaplarında Çimlenme Testlerine Tabi Tutulacak Tohumlara Ön İşlemler**

Ayçiçeği genotiplerine ait tohumlar yüzey sterilizasyonu için %1 sodyum hidroklorür çözeltinde 10 dakika tutulduktan sonra beş kere distile su ile yıkanmıştır. Yıkamadan sonra tohumlar filtre kâğıtları üzerine konularak oda sıcaklığında kurutulmuştur. Yüzey sterilizasyonu yapılan tohumlar önceden distile su kullanılarak hazırlanan 0 (Kontrol) 200; 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l konsantrasyonlardaki TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CuO solüsyonları içerisinde 18 saat bekletilmiştir. Solüsyon içerisindeki tohumlar uygulama başlangıcında 1 saat ve uygulama sonunda 30 dakika olmak üzere iki kez “ultrasonic vibration”a maruz bırakılmıştır. 18 saatin sonunda tohumlar üç kez saf su ile yıkanarak filtre kâğıtları üzerinde kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Ekim yapılacak olan petri kaplarının içerisine filtre kâğıtları yerleştirilmiş ve üzerine 3 ml saf su konulmuştur. Her petri kabında 10 tohum olacak şekilde ekim yapılmıştır. Tohumlar çimlenmeleri için karanlık ortama alınmıştır. Bu uygulama her nanopartikülün 9 farklı dozu ve kontrol grubu barındırarak petrilerdeki tohumlara tatbik edilmiştir.



Şekil 3.1 a) Nanopartilüllerin tartılması b) nanopartilüllü çözeltilerin hazırlanması c) % 1 sodyum klorür çözeltilisi hazırlanması, tohumların sodyum klorür çözeltilisinde sterilizasyonu d) tohumların 18 saat nanopartilüllü solüsyonda bekletilmesi

Çimlenme yüzdesini belirlemek için; her günün sonunda petrilere çimlenen tohumlar sayımı yapıldı. 7. gün sonunda her tekerrürünü temsil eden petrilere çekirdeklerin plumula ve radikularında kalınlık ve uzunluk ölçümleri gerçekleştirip, kaydedildi.

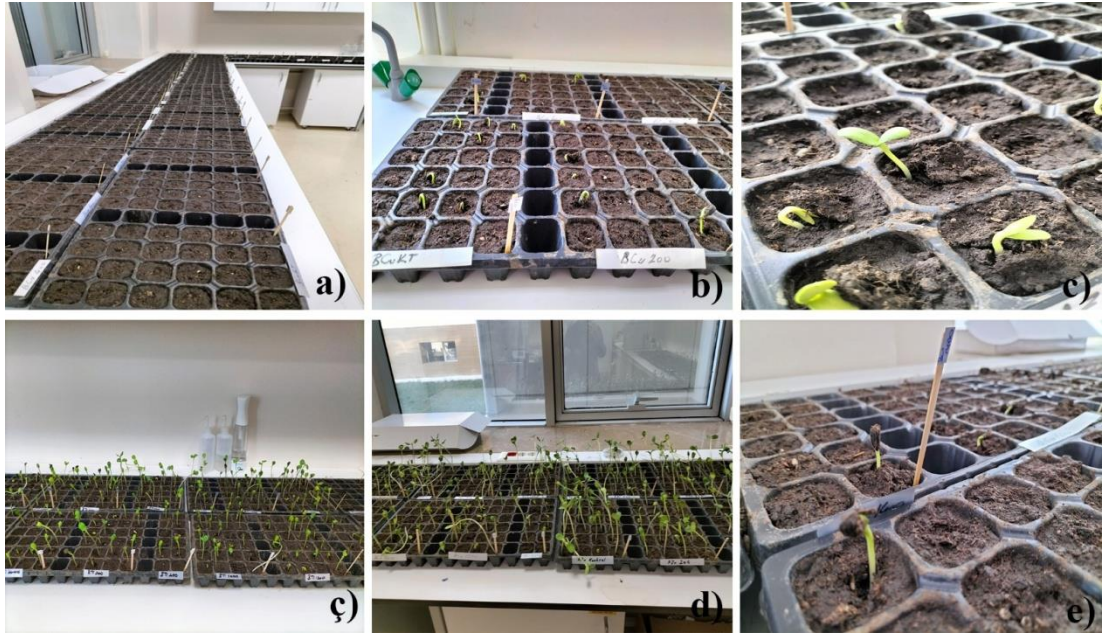


Şekil 3.2 a) Nanopartilüllü solüsyondan çıkan tohumların kurutulması b) petri kaplarına tohumların yerleştirilmesi c) petrilere 3 ml saf su eklenmesi, petrilere hava almaması için streç filmle kaplanması d) petrilere etüve kaldırılması e) 14 gün sonunda tohum çimlenmeleri f) çimlenen tohumun sürgün uzunluğunun ölçülmesi g) çimlenen tohumun yaprak boyunun ölçülmesi

### 3.2.2 Viyollerde Çimlenme Testlerine Tabi Tutulacak Tohumlara Ön Hazırlık

Petri kaplarında filizlendirmek için kullanılan nanopartiküllerden 0; 200; 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l doz oranlarında konsantrasyonlar hazırlanmıştır.

Tohumlar yüzey sterilizasyonu için %1 sodyum hidroklorür çözeltisinde 10 dakika tutulduktan sonra beş kere distile su ile yıkanmıştır. Yıkamadan sonra tohumlar filtre kâğıtları üzerine konularak oda sıcaklığında kurutulmuştur. Yüzey sterilizasyonu yapılan tohumlar önceden distile su kullanılarak hazırlanan 0; 200; 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l konsantrasyonlardaki TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CuO solüsyonları içerisinde 18 saat bekletilmiştir. Solüsyon içerisindeki tohumlar uygulama başlangıcında 1 saat ve uygulama sonunda 30 dakika olmak üzere iki kez ultrasonic vibration'a maruz bırakılmıştır. 18 saatin sonunda tohumlar üç kez saf su ile yıkanarak filtre kağıtları üzerinde kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Ekim yapılacak olan viyollerin içerisine uygun şekilde torflar doldurulmuştur. Ekimlerde torf kullanılmasının temel sebebi tanecik yapısının, nemi uzun süre tutabilecek kadar küçük veya orta büyüklükte olması uygun çimlenme ortamı olarak tercih edilmiştir.



Şekil 3.3 a) Tohumların viyollere ekilmesi b, c, e) çimlenen tohumların topraktan çıkışı d) çıkış yapan çeşitlerden görünüm

Viyollere doldurulan torflar için gerekli oranda su verilerek ekimin yapılacağı ve çimlenme verilerinin takip edileceği oda ortamına taşınmıştır.



Şekil 3.4 Viyollerin her bir kutucuğuna 3ml su eklenmesi

Viyol kuyucuklarına birer tane çekirdek ekimi özenle yapılmış ve günlük olarak filizlenmeleri takip edilmiştir.

### 3.2.3 Verilerin Elde Edilmesi

Araştırma laboratuvar koşullarında petri kaplarında ve viyelerde olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür. Petri kaplarında yürütülen çalışmada 7. gün viyelerdeki çalışmada ise 14. gün sonunda alınan gözlemler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Çimlenme Yüzdesi (%): 7. gün sonunda çimlenen tohumlar sayılarak, (çimlenen tohum sayısı/toplam tohum sayısı) x 100 formülü ile çimlenme oranı % olarak hesaplanmıştır (Akıncı ve Çalışkan, 2010)
2. Çimlenme süresi (gün): Çimlenen tohum sayısı(f) ile çimlenme gün sayısı(x) çarpımları toplamının toplam çimlenen tohum sayısına bölünmesi ( $MGT = \frac{\sum(fx)}{\sum f}$ ) formülü ile elde edilen değer ortalama çimlenme süresi olarak hesaplanmıştır (Ellis ve Roberts, 1980).

3. Çimlenme indeksi (%): Her gün çimlenen tohum oranının ( $G_i$ ), sayım günlerine ( $T_t$ ) bölünmesiyle ( $GI = \sum(G_i/T_t)$ ) formülü ile bulunmuştur (Wang vd., 2004).
4. Radikula uzunluğu (mm): Her gruba ait ortalama benzer boyutlarda 10'ar bitki alınarak radikula uzunlukları ölçüldü.
5. Plumula uzunluğu (mm): Her gruba ait ortalama benzer boyutlarda 10'ar bitki alınarak radikula ve plumula uzunlukları ölçüldü.
6. Radikula kalınlığı (mm): Her gruba ait ortalama benzer boyutlarda 10'ar bitki alınarak radikula kalınlıkları ölçüldü.
7. Plumula kalınlığı (mm): Her gruba ait ortalama benzer boyutlarda 10'ar bitki alınarak plumula kalınlıkları ölçüldü.
8. Radikula yaş ağırlığı (g): Bütün uygulamada, tekekrürlerden ise seçilen 6 fidenin kökleri yıkanmış, kağıt peçete ile suları alındıktan sonra yaş ağırlıkları alınarak ortalaması mg/bitki (mg/b) olarak hesaplanmıştır.

#### **3.2.4 Verilerin Değerlendirilmesi**

Bu çalışmada 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği genotipleri kullanılmıştır. Dört tekrarlamalı olarak yürütülen araştırma "Tesadüf Parselleri Deneme Deseni"ne göre 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Araştırmada nanopartikül içermeyen kontrol grubu dâhil olmak üzere 10 farklı nanopartikül dozu (0; 200; 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800) değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilerin istatistikî analizi SPSS programı ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile yapılmıştır.

## 4. BULGULAR

Çok sayıda evreden oluşan ve karmaşık bir süreç olan çimlenme üzerine yağlık ayçiçeği çeşitlerine (64 LC 108 ve 64 LP 130) farklı dozlarda (0; (Kontrol), 200; 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l) nanopartikül (TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CuO) ön uygulamalarında yürütülen bu çalışmada gelişim parametreleri incelenmiş, incelenen parametrelere ait elde edilen veriler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

### 4.1 Petri Kaplarında Yürütülen Denemeye Ait Tespitler

Laboratuvar ortamında iki aşamalı olarak yürütülen çalışmanın birinci aşaması iklimlendirme odasında petri kaplarında ikinci aşaması ise oda şartlarında viyollerde yürütülmüştür. Her iki aşamaya ait elde edilen veriler aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur.

#### 4.1.1 Çimlenme Oranı (%)

Çimlenme oranı, tarım uygulamalarında, tohum seçiminde ve ekim stratejilerinin belirlenmesinde önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Yüksek bir çimlenme oranı, verimliliğin artmasına ve üretim maliyetlerini düşmesine neden olan önemli bir parametredir. Yağlık ayçiçeği bitkisine TiO<sub>2</sub>, CuO ve ZnO nanopartiküllerinin farklı dozlarının uygulanmasıyla belirlenen çimlenme oranına ait ilgili varyans sonuçları Tablo 4.1’de çimlenme oranına ait sayısal değerler ise Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.1’in incelenmesinden de görüleceği gibi, farklı nanopartiküllerin ve farklı dozlar arasında çimlenme oranı açısından oluşan farklılık istatistikî olarak önemli bulunmamıştır.

Tablo 4.1 Çimlenme oranı ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LP108				64 LP 130			
		Çimlenme Oranı				Çimlenme Oranı			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				0,859				0,5
Doz (D)	9	0,339	2,268	<b>0,559</b>	1,047	0,627	0,4	<b>0,694</b>	0,806
Tekeürür	3								0,479
NXD	18				0,812				
Hata									

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01) Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Tablo 4.1'e göre 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine farklı dozlarda uygulanan Titanyum dioksit nanopartikülü içinde en yüksek çimlenme oranı sırasıyla 1600; 800 mg/l ve kontrol uygulamalarından (%96,67) elde edilmişken bunu %93,33; 200; 400; 600 ve 1400 mg/l grupları takip etmiştir. Titanyum dioksit nanopartikül dozları arasında meydana gelen bu farklılık Tablo 4.1'e göre istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulanan 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşidinde ise en yüksek çimlenme oranı değeri kontrol, 200 ve 400 mg/l uygulamasında (%100) saptanmışken, bunu %96,67 ile, 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l uygulamaları takip etmiştir. En düşük çimlenme oranı ise 600 mg/l (%90) uygulama dozundan elde edilmiştir. 64 LP 130 ayçiçeği çeşidinde Titanyum dozları arasında rakamsal farklılık olmasına rağmen istatistiki olarak önemlilik bulunmamıştır.

Ayçiçeği çeşitlerine farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikül uygulamaları neticesinde 64 LC 108 çeşidinde elde edilen çimlenme oranı değerleri %83,33-100 arasında değişmiştir. En fazla çimlenme oranı değeri 200 mg/l (%100) uygulamasında belirlenirken, en düşük çimlenme oranı 1800 mg/l (%83,33) uygulamasından elde edilmiştir. 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine farklı dozlarda uygulanan Bakır dioksit nanopartikül dozları arasında rakamsal olarak belirlenen bu farklılık Tablo 4.1'e göre istatistikî olarak önemli bulunmamıştır. 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek çimlenme oranı 400; 1000; 1400 ve 1600 mg/l uygulamalarından (%100) en düşük çimlenme oranı ise kontrol grubu, 200; 600; 800; 1200 ve 1400 mg/l uygulamalarından (%96,67) elde edilmiştir. Nanopartikül dozları arasında meydana gelen bu farklılık Tablo 4.1'e göre istatistikî olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 4.2 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait çimlenme oranı

Çeşit	Doz (mg/L)	Çimlenme Oranı (%)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	<b>Kontrol</b>	96,67	90,00	96,67	<b>94,44</b>
	<b>200</b>	93,33	100,0	93,33	<b>95,56</b>
	<b>400</b>	93,33	96,67	90,00	<b>93,33</b>
	<b>600</b>	93,33	90,00	96,67	<b>93,33</b>
	<b>800</b>	96,67	93,33	100,0	<b>96,67</b>
	<b>1000</b>	90,00	90,00	96,67	<b>92,22</b>
	<b>1200</b>	96,67	93,33	96,67	<b>95,56</b>
	<b>1400</b>	93,33	100,0	96,67	<b>96,67</b>
	<b>1600</b>	90,00	96,67	96,67	<b>94,44</b>
	<b>1800</b>	90,00	83,33	93,33	<b>88,89</b>
<b>Ortalama</b>		<b>93,33</b>	<b>93,33</b>	<b>95,67</b>	<b>94,11</b>
64LP130	<b>Kontrol</b>	100,0	96,67	96,67	<b>97,78</b>
	<b>200</b>	100,0	96,67	100,0	<b>98,89</b>
	<b>400</b>	100,0	100,0	96,67	<b>98,89</b>
	<b>600</b>	90,00	96,67	93,33	<b>93,33</b>
	<b>800</b>	100,0	96,67	100,0	<b>98,89</b>
	<b>1000</b>	96,67	100,0	96,67	<b>97,78</b>
	<b>1200</b>	100,0	96,67	96,67	<b>97,78</b>
	<b>1400</b>	96,67	100,0	96,67	<b>97,78</b>
	<b>1600</b>	96,67	100,0	100,0	<b>98,89</b>
	<b>1800</b>	96,67	96,67	100,0	<b>97,78</b>
<b>Ortalama</b>		<b>97,67</b>	<b>98,00</b>	<b>97,67</b>	<b>97,78</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01) Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Uygulanan farklı dozlardaki Çinko nanopartikülün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde elde edilen çimlenme oranı değerleri sırasıyla %93,33-100 arasında değişmiştir. En fazla çimlenme oranı 64 LC 108 çeşidinde 800 mg/l uygulamasından, 64 LP 130 çeşidinde ise 200; 800; 1600 ve 1800 mg/l (%100) uygulamalarında belirlenirken, en düşük çimlenme oranına sahip olan uygulama 64 LC 108 çeşidinde 400'de, 64 LP 130 genotipinde ise 600 mg/l uygulamasında belirlenmiştir. Her iki çeşitte de Çinko nanopartikülün farklı dozlarının çimlenme oranı üzerine etkisi Tablo 4.1'e göre istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

Deneme faktörlerin ortalaması olarak 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde çimlenme oranı uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer %96,67'lik ortalama ile 800 ve 1400 mg/l dozlarından tespit edilmiştir.

En düşük çimlenme oranı değeri ise Tablo 4.1 incelendiğinde görüleceği gibi kontrol grubuna göre dozlardaki artışa bağlı olarak çimlenme oranında 400; 600 ve 1000 mg/l dozları dışında azda olsa bir artış meydana gelmiş fakat ve en düşük değer %88,89 ile en yüksek doz olan 1800 mg/l'den elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Benzer durum 64 LP 130 çeşidinde de gözlemlenmiş olup, uygulama dozları arasında her ne kadar rakamsal farklılık olsada meydana gelen farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek çimlenme oranı %98,89 ile 200; 400; 800 ve 1800 mg/l uygulama dozlarından elde edilmişken, en düşük oran ise %93,33'lük oran ile 600 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir.

Farklı nanopartikül uygulanan ayçiçeği çeşitlerinin çimlenme oranı değerleri önemli düzeyde farklılık bulunmuştur. 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit, Bakır ve Çinko oksit nanopartikül uygulamasında ölçülen çimlenme oranı sırasıyla %93,33; 93,33 ve 95,67; 64 LP 130 çeşidinde ise %97,67; 98,00 ve 97,67 olarak belirlenmiştir. Bu rakamlardan anlaşılacağı üzere en yüksek çimlenme oranı 64 LC 108 çeşidinde Çinko nanopartikül uygulamasından, 64 LP 130 çeşidinde ise Bakır oksit ve nanaopartikül uygulamasında belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan her iki ayçiçeği çeşidinde uygulanan nanopartiküllere göre çimlenme oranı meydana gelen farklılık Tablo 4.1'e göre istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Bitki hücresinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmektedir. Araştırma sonucunda uygulanan nanaopartiküllerin ayçiçeği çeşitlerinin çimlenme oranı üzerine farklı etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Nitekim bu konu hakkında yapılan sınırlı sayıda çalışmada aynı nanopartiküllerin farklı bitkiler üzerinde farklı etkileri olduğu bildirilmiştir (Dağaroğlu ve Köleli, 2016). Yapılan birçok araştırmada özellikle Çinko nanaopartiküllerin bitki büyüme ve gelişimini üzerine pozitif etki ettiği bildirilmiştir. Yer fıstığı, soya fasulyesi, buğday ve soğan bitkilerinde yapılan çalışmalarda gümüş nanopartiküllerin düşük dozda kullanımın çimlenme üzerine etkisinin olumlu yönde olduğunu fakat doz artışıyla birlikte tohum çimlenmesi üzerine olumsuz etkisi olduğu bildirilmiştir (Prasad vd., 2012; Ramesh vd., 2014; Raskar, 2014; Sedghi vd., 2013). Nanopartiküllerin bitkiler üzerinde farklı etkiler göstermesi ve ortaya çıkan bu farklılıklar büyük ölçüde, morfolojik, kompozisyon ve fiziksel-kimyasal özelliklerine göre değişmektedir (Ma vd., 2010).

#### 4.1.2 Çimlenme Süresi

Tohum çimlenmesi fitotoksitate çalışmalarında U.S Çevre koruma kurumuna göre standart etmenlerden biri olarak kabul edilmektedir (Stampoulis vd., 2009). Aynı zamanda bitki büyüme gelişmesinin belirlenmesi de temel kriterlerden biri olarak kullanılmaktadır. Farklı konsantrasyonlarda TiO<sub>2</sub>, CuO ve ZnO nanopartikül uygulandığı ayçiçeği genotiplerinde belirlenen çimlenme süresine ait varyans analiz sonuçları da Tablo 4.3’de ortalama değerler ise Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Çimlenme süresine ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Çimlenme Süresi				Çimlenme Süresi			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				4,708				7,376*
Doz (D)	9	2,774*	0,558	<b>0,488</b>	1,942	6,830**	0,69	<b>1,185</b>	1,982
Tekeürür	3								
NXD	18				0,924				1,793
Hata	81								

\*istatistiki olarak %5’te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1’de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır

Tablo 4.4’de sunulan varyans analiz sonuçlarına göre Titanyum dioksit nanopartikülünün farklı dozlarının 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine uygulanması sonucunda elde edilen en yüksek çimlenme süresi 1000 mg/l doz uygulamasında (4,92) elde edilmişken, bunu 800 mg/l TiO<sub>2</sub> dozu (4,42) takip etmiştir. Titanyum dioksit nanopartiküllerinin farklı dozlarında uygulaması sonucu çimlenme süresinde meydana gelen farklılıklar Tablo 4.3’e göre istatistikî olarak p<0,05 seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulanan 64 LP 30 çeşidinde ise en uzun çimlenme süresi 0 mg/l (kontrol) uygulamasından (3,16 gün), en kısa çimlenme süresi ise 2,23 gün ile 1000 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir. Titanyum dioksit nanopartikül dozları arasında meydana gelen bu farklılık istatistiki olarak p<0,01 seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.4 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait çimlenme süresi

Çeşit	Doz	Çimlenme Süresi (gün)			Ortalama
	(mg/L)	Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	<b>Kontrol</b>	4,00 bd	4,10	2,90	<b>3,67</b>
	<b>200</b>	3,93 bd	4,60	2,93	<b>3,82</b>
	<b>400</b>	4,35 ac	4,45	3,03	<b>3,94</b>
	<b>600</b>	4,23 bd	4,28	2,90	<b>3,80</b>
	<b>800</b>	4,42 ab	4,66	2,93	<b>4,01</b>
	<b>1000</b>	4,92 a	4,68	2,87	<b>4,16</b>
	<b>1200</b>	4,23 bd	4,42	2,69	<b>3,78</b>
	<b>1400</b>	3,67 cd	4,34	3,01	<b>3,67</b>
	<b>1600</b>	3,60 d	4,28	2,80	<b>3,56</b>
	<b>1800</b>	4,08bd	4,13	2,64	<b>3,62</b>
<b>Ortalama</b>		<b>4,15</b>	<b>4,39</b>	<b>2,87</b>	<b>3,80</b>
64LP130	<b>Kontrol</b>	3,16 a	2,62	3,10	<b>2,96 a</b>
	<b>200</b>	2,83 a	2,56	2,84	<b>2,74 ab</b>
	<b>400</b>	2,33 b	2,57	2,75	<b>2,54 b</b>
	<b>600</b>	2,32 b	3,01	2,71	<b>2,68 ab</b>
	<b>800</b>	2,46 b	2,66	2,40	<b>2,51 b</b>
	<b>1000</b>	2,23 b	2,63	2,98	<b>2,61 b</b>
	<b>1200</b>	2,26 b	2,68	2,98	<b>2,64 b</b>
	<b>1400</b>	2,30 b	2,57	2,53	<b>2,46 b</b>
	<b>1600</b>	2,40 b	2,80	2,45	<b>2,55 b</b>
	<b>1800</b>	2,27 b	2,79	2,89	<b>2,65 b</b>
<b>Ortalama</b>		<b>2,46 b</b>	<b>2,68 a</b>	<b>2,76 a</b>	<b>3,78</b>

\*İstatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01) Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir.

Ayçiçeği çeşitlerine farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikül uygulamaları sonucunda 64 LC 108 çeşidinde elde edilen çimlenme süresi değerleri 4,13-4,68 gün arasında değişiklik göstermiştir. En uzun çimlenme süresi 1000 mg/l (4,68 gün) uygulamasında belirlenmişken, en kısa çimlenme süresi 1800 mg/l (4,13 gün) Bakır oksit uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.4). Çimlenme süresi bakımından 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine farklı dozlarda uygulanan Bakır dioksit nanopartikül dozları arasında her ne kadar rakamsal farklılıklar olsada bu farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.3). Diğer bir çeşidimiz olan 64 LP 130'da benzer bir durum söz konusu olup, farklı dozlarda bakır oksit nanopartikülü uygulamalarının çimlenme süresi üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 4.3). Tablo 4.4 deki verilere göre en uzun çimlenme süresine sahip uygulama 600 mg/l (3,01 gün) olurken, 200 mg /l Bakır

oksit uygulamasında çimlenme süresi 2,56 gün ile en kısa çimlenme süresine sahip uygulama olmuştur.

Uygulanan farklı dozlarda Çinko nanopartikülünün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde çimlenme süresi değerleri sırasıyla 2,64- 3,03 ve 2,40- 3,10 gün arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek çimlenme süresi 64 LC 108 genotipinde 400 mg/l uygulamasında, 64 LP 130 çeşidinde ise kontrol grubu (3,10 gün) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük çimlenme süresi ise sırasıyla 1800 mg/l (2,64 gün) ve 1600 mg/l doz (2,45 gün) uygulamasında belirlenmiştir. Nanopartikül dozları arasında meydana gelen bu farklılık Tablo 4.3'e göre istatistikî olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 4.4 incelendiğinde uygulanan nanopartiküller arasında (Titanyum dioksit, Çinko, Bakır oksit) 64 LC 108 çeşidinde çimlenme süresi bakımından istatistiki olarak farklılık olmamasına rağmen, 64 LP 130 çeşidinde istatistiki olarak önemli farklılığın olduğu belirlenmiştir. Deneme faktörlerinin ortalaması olarak Bakır oksit nanopartikülü (4,39 gün) uygulanan 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit (4,15 gün) ve Çinko oksit (2,87 gün) den daha uzun çimlenme süresine sahip olmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise tam tersi bir durum söz konusu olup Çinko oksit nanopartikülü (2,76 gün) Titanyum dioksit (2,46 gün) ve Bakır oksit (2,68 gün) nanopartiküllerine nazaran çimlenme süresinin uzamasına neden olmuştur (Tablo 4.4). Çimlenme süresi uygulanan nanopartiküllere göre farklı bulunması bitki hücresinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmesinden kaynaklanmış olabilir (Çetinkaya vd., 2024).

Deneme faktörlerin ortalaması olarak 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde çimlenme süresi uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en uzun süre 4,16 gün ile 1000 mg/l uygulama dozunda tespit edilmiştir. En kısa çimlenme süresi ise Tablo 4.1 incelendiğinde görüleceği gibi 3,56 gün ile 1600 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. 64 LP 130 çeşidinde ise uygulama dozları arasında önemli farklılıkların olduğu ve bu farklılıkların istatistiki olarak  $p < 0,01$  seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.3). Farklı nanopartikül dozlarının çimlenme süresi üzerine etkisi önemli olmasına

rağmen uygulama dozlarında kaydedilen çimlenme süresi değerleri birbirine yakın çıkmıştır. En uzun çimlenme süresi kontrol grubunda (2,96 gün), en düşük süre 1400 mg/l uygulamasından (2,46 gün) elde edilmiştir (Tablo 4.4). Bu durumda, tohum kabukları ve endosperm, metalleri emen ancak suyu geçiren filtre görevi görmüş olabilir (Song vd., 2013). Tohumlarda damar bulunmadığından, makro moleküllerin hücrelerde hareket edip etmediği henüz tam olarak incelenmemiştir. Bu, belirli bir miktarda metalin tohum katlarında kalması, çimlenme süresini etkilediği şeklinde açıklayabilir. Nitekim TiO<sub>2</sub> uygulaması yapılan Mısır (*Zea mays L.*) bitkisinde mısır tohumlarının yalnızca 2,2±0,6 mg/kg TiO<sub>2</sub> geçirdiklerini fakat NP'lerin tohum kabuklarına nüfuz etmedikleri belirlenmiştir (Younes vd., 2013).

#### 4.1.3 Çimlenme İndeksi

Yağlık ayçiçeğine farklı konsantrasyonlarda TiO<sub>2</sub>, CuO ve ZnO nanopartikül uygulamasıyla belirlenen çimlenme indeksine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.5 ortalama değerler ise Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.5 Çimlenme indeksine ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Çimlenme İndeksi				Çimlenme İndeksi			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				20,016**				12,492**
Doz (D)	9	1,79	1,092	<b>0,671</b>	1,7	5,280**	0,671	<b>1,452</b>	2,424*
Tekeürür	3								
NXD	18				0,853				1,715
Hata	81								

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Çimlenme indeksi yönünden Titanyum dioksit nanopartikülü uygulamaları arasındaki farklılık 64 LC 108 çeşidinde önemsiz, 64 LP 130 çeşidinde ise istatistiksel olarak p<0,01 ihtimal seviyesinde önemli bulunmuştur. Titanyum dioksitin farklı dozları uygulanarak 64 LC 108 çeşidinde belirlenen çimlenme indeksi değerleri %7,11-10,90 arasında değişiklik göstermiştir. Titanyum dioksitin hiç uygulanmadığı kontrol grubunda çimlenme indeksi en fazla (%10,9), 1000 mg/l doz uygulanmasında ise

(%7,11) en az olmuştur. Çimlenme indeksi artan Titanyum dioksit dozlarına paralel olarak azalmıştır. 64 LP 130 çeşidinde ise Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının çimlenme indeksi üzerine etkisi önemli olmasına rağmen uygulama dozlarında kaydedilen çimlenme indeksi değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Bu bağlamda en yüksek çimlenme indeksi %16,09 ile 1200 mg/l uygulamasından elde edilmesine rağmen; 400; 800; 1000; 1400 ve 1800 mg/l uygulama dozları değerleri ile aynı grupta yer almıştır. En düşük çimlenme indeksi değeri ise kontrol grubunda (%10,9) elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikülünden elde edilen çimlenme indeksi verileri Tablo 4.6 verilmiştir. Çimlenme indeksi yönünden Bakır oksit nanopartikül dozların etkisi her iki çeşitte istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.6). Farklı dozlar uygulanan ayçiçeği tohumlarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde sırasıyla %8,04-10,18 ve %12,48-14,26 arasında değişiklik göstermiştir. 64 LC 108 çeşidinde çimlenme indeksi, en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l uygulamasında en az, 1400 mg/l uygulamasında ise en fazla olmuştur. Diğer çeşidimiz olan 64 LP 130'da ise 800 mg/l uygulamasında en az (%12,48), 400 mg/l uygulamasında ise (%14,26) en yüksek olmuştur.

Tablo 4.6'da Çinko oksit nanopartikülünün farklı dozlarda uygulanması sonucunda 64 LC 108 çeşidinde çimlenme indeksi değerleri birbirine yakın olmuş ve uygulanan doz miktarlarına göre kararsız bir durum göstermişlerdir. Ancak çimlenme indeksi 1200 mg/l dozunda (%12,95) en yüksek olmuştur. En düşük değer ise 400 mg/l dozunda %10,34 olarak belirlenmiştir. 64 LP 130 çeşidinin en düşük değeri kontrol grubu (%10,81), en yüksek değeri ise %14,73 ile 1600 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir. Her iki çeşitte çimlenme indeksi değerleri arasında rakamsal olarak farklılık olsada bu farklılık istatistiki olarak önemli olmamıştır.

Tablo 4.6 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait çimlenme indeksi

Çeşit	Doz (mg/L)	Çimlenme İndeksi (%)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	Kontrol	10,9	8,72	11,98	<b>10,53</b>
	200	8,99	8,86	11,31	<b>9,72</b>
	400	7,99	8,60	10,34	<b>8,98</b>
	600	8,73	7,81	12,01	<b>9,52</b>
	800	9,20	7,92	12,54	<b>9,88</b>
	1000	7,11	7,94	11,98	<b>9,01</b>
	1200	9,69	8,52	12,95	<b>10,39</b>
	1400	10,64	10,18	11,51	<b>10,78</b>
	1600	9,70	9,45	12,73	<b>10,63</b>
	1800	9,88	8,04	12,92	<b>10,28</b>
<b>Ortalama</b>		<b>9,28 b</b>	<b>8,60 b</b>	<b>12,03 a</b>	<b>9,97</b>
64LP130	Kontrol	10,95 c	13,70	10,81	<b>11,82 b</b>
	200	12,84 bc	14,15	13,21	<b>13,39 a</b>
	400	15,65 a	14,26	14,10	<b>14,66 a</b>
	600	14,44 ab	12,71	12,73	<b>13,29 a</b>
	800	14,87 a	12,48	14,45	<b>13,93 a</b>
	1000	15,45 a	14,07	11,87	<b>13,80 a</b>
	1200	16,09 a	13,20	11,81	<b>13,70 a</b>
	1400	15,00 a	14,10	14,45	<b>14,52 a</b>
	1600	14,67 ab	13,18	14,73	<b>14,19 a</b>
	1800	15,39 a	12,73	13,51	<b>13,88 a</b>
<b>Ortalama</b>		<b>14,54 a</b>	<b>13,45 b</b>	<b>13,16 b</b>	<b>13,72</b>

\*İstatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01) Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir

Uygulanan nanopartiküllerin 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde çimlenme indeksi üzerine etkisi p<0,01 ihtimal sınırında önemli bulunmuştur (Tablo 4.5). Uygulanan nanopartiküllere göre çimlenme indeksi her iki çeşitte en yüksek Bakır oksit ve Çinko oksit uygulamalarında (sırasıyla %43,40; 39,88; %44,20; 46,12) elde edilmiştir. En düşük çimlenme indeksi ise her iki çeşitte (sırasıyla %22,18; 35,26) Titanyum dioksit uygulamasında tespit edilmiştir.

64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde çimlenme indeksi uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek çimlenme indeksi %10,78 ile 1400 mg/l uygulama dozunda tespit edilmiştir. En düşük çimlenme indeksi ise Tablo 4.6'dan anlaşılacağı üzere %8,98 ile 400 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak p<0,01 ihtimal seviyesinde önemli bulunmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise uygulama dozları arasında önemli farklılıkların olduğu ve bu farklılıkların istatistiki olarak p<0,01 seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo

4.6). Çimlenme indeksi artan nanopartikül dozlarına bağlı olarak düzenli bir şekilde artış göstermiştir. En düşük çimlenme indeksi kontrol grubu %11,82 uygulamasında elde edilmiştir. Kontrol grubu dışındaki uygulamalarda ise en yüksek çimlenme indeksi değeri elde edilmiş olup uygulama dozlarında kaydedilen çimlenme indeksi değerleri birbirine yakın çıkmış ve bu değerler istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır (Tablo 4.7).

Çeşitli bitkilerle yapılan çalışmalarda düşük dozlarda ZnO nanopartiküllerin tohum çimlenmesi üzerine pozitif etki yaptığını artan konsantrasyonların ise çimlenme üzerine negatif etkide bulunduğu ifade edilmiştir (Ramesh vd., 2014; Raskar, 2014; Prasad vd., 2012; Sedghi vd., 2013). Bunun yanı sıra De la Rosa vd., (2013) salatalık ve domates bitkileri üzerine yaptıkları çalışmada yalnızca salatalık bitkisinde çimlenmenin arttığını bildirmiştir. Yaptığımız çalışma sonucunda ve bu konuda yapılan çalışmalar neticesinde nanopartiküllerin çimlenme üzerindeki etkisi nanopartikülün konsantrasyonu ve bitkinin türüne bağlı olarak değişiklik gösterdiğini söyleyebiliriz (Ma vd., 2010).

## **4.2 Petrilerde Yürütülen Denemeye Ait Ölçümler**

### **4.2.1 Radikula Uzunluğu**

Bitkilerde kökler su ve besin maddesi alımını sağlayan ve stres faktörlerinden etkilenen önemli kısımlardır. Bunun yanı sıra bitkilerde fide dönemindeki gövde uzunluğu, sağlıklı ve kaliteli fide yetiştirmek için önemli bir parametredir. Farklı dozlarda nanopartiküllerin ayçiçeği çeşitlerine uygulanması sonucu elde edilen ortalama radikula uzunluğu değerleri Tablo 4.8'de bunlara ait varyans analizi sonuçları da Tablo 4. 7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Petrilerde yürütülen denemenin radikula uzunluğuna ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Radikula Uzunluğu				Radikula Uzunluğu			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				64,04**				15,564**
Doz (D)	9	6,210**	16,033**	2,777*	10,31**	0,8852	6,0997**	2,747*	3,671**
Tekeürür	3								
NXD	18				3,0777**				2,642**
Hata									

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Tablo 4.8'e göre 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine farklı dozlarda uygulanan Titanyum dioksit nanopartikülü içinde en yüksek radikula uzunluğu değeri 1600 mg/l uygulamasından (41,42 mm) elde edilmişken bunu 30,06 mm ile 1400 mg/l Titanyum dioksit uygulaması takip etmiştir. Titanyum dioksit nanopartikül dozları arasında meydana gelen bu farklılık Tablo 4.7'e göre istatistiki olarak p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulanan 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek radikula uzunluğu değeri 1600 mg/l uygulamasında saptanmışken, bunu 40,49 mm ile 1400 mg/l uygulaması takip etmiştir. En düşük radikula uzunluğu ise kontrol grubu 200 mg/l uygulama dozlarından (sırasıyla 9,87 ve 8,23 mm) elde edilmiştir. 64 LP 130 ayçiçeği çeşidinde Titanyum dozları arasında rakamsal farklılık olmasına rağmen istatistiki olarak önemlilik bulunmamıştır.

Ayçiçeği çeşitlerine farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikül uygulamaları neticesinde 64 LC 108 çeşidinde elde edilen radikula uzunluğu değerleri 26,48-72,36 mm arasında değişmiştir. En fazla radikula uzunluğu değeri 600 mg/l 72,36 mm uygulamasında belirlenirken, en düşük radikula uzunluğu 200 mg/l (271,4 kg) uygulamasından elde edilmiştir. 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine farklı dozlarda uygulanan Bakır dioksit nanopartikül dozları arasında belirlenen bu farklılık Tablo 4.7'e göre istatistiki olarak p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek radikula uzunluğu 1400 mg/l uygulamasından (71,23) en düşük radikula uzunluğu ise 1200 mg/l uygulamasından (25,87 mm) elde edilmiştir. Nanopartikül dozları arasında meydana gelen bu farklılık Tablo 4.7'e göre istatistiki p<0,05 olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.8 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula uzunluğu

Çeşit	Doz (mg/L)	Radikula Uzunluğu (mm)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	<b>Kontrol</b>	9,87 de	31,48 ef	35,72 ad	<b>25,69 e</b>
	<b>200</b>	8,23 e	26,48 f	16,62 d	<b>17,11 f</b>
	<b>400</b>	13,34 ce	41,38 ce	33,21 bd	<b>29,31de</b>
	<b>600</b>	18,72 be	72,36 a	39,90 ac	<b>43,66 ab</b>
	<b>800</b>	25,28 bc	34,85 df	32,20 cd	<b>30,78 de</b>
	<b>1000</b>	21,48 bd	32,40 ef	49,08 ac	<b>34,32 cd</b>
	<b>1200</b>	26,94 b	51,33 bc	33,99 bd	<b>37,42 bd</b>
	<b>1400</b>	30,06 ab	58,59 b	55,55 a	<b>48,07 a</b>
	<b>1600</b>	41,42 a	44,90 cd	48,15 ac	<b>44,82 ab</b>
	<b>1800</b>	26,44 b	40,23 de	54,30 ab	<b>40,32 ac</b>
<b>Ortalama</b>		<b>22,18 b</b>	<b>43,404 a</b>	<b>39,876 a</b>	<b>35,154</b>
64LP130	<b>Kontrol</b>	32,185	39,96 ce	37,235 b	<b>36,45 d</b>
	<b>200</b>	28,009	35,65ce	33,070 b	<b>32,24 d</b>
	<b>400</b>	37,340	42,64 cd	25,977 b	<b>35,32 d</b>
	<b>600</b>	37,309	45,43 cd	47,883 b	<b>43,54 ad</b>
	<b>800</b>	39,298	62,02 ab	46,142 b	<b>49,15 ac</b>
	<b>1000</b>	26,448	48,35 bc	43,251 b	<b>39,35 cd</b>
	<b>1200</b>	36,439	25,87 e	33,677 b	<b>31,99 d</b>
	<b>1400</b>	40,492	71,23 a	53,610 b	<b>55,11 a</b>
	<b>1600</b>	43,250	30,34 de	52,130 b	<b>41,90 bd</b>
	<b>1800</b>	31,909	40,54 ce	88,270 a	<b>53,57 ab</b>
<b>Ortalama</b>		<b>35,26 b</b>	<b>44,20 a</b>	<b>46,12 a</b>	<b>41,867</b>

\*İstatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01) Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir

Uygulanan farklı dozlardaki Çinko nanopartikülün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde elde edilen radikula uzunluğu değerleri sırasıyla 16,62-55,5 mm ve 25,97-88,27 mm arasında değişmiştir. En fazla radikula uzunluğu 64 LC 108 çeşidinde 1400 mg/l uygulamasından, 64 LP 130 çeşidinde ise 1800 mg/l uygulamasında belirlenirken, en düşük radikula uzunluğuna sahip olan uygulama 64 LC 108 çeşidinde 200 mg/l'de, 64 LP 130 genotipinde ise 400mg/l uygulamasında belirlenmiştir. Her iki çeşitte de Çinko nanopartikülün farklı dozlarının radikula uzunluğu üzerine etkisi Tablo 4.7'e göre istatistiki olarak p<0,05 seviyesinde önemli bulunmuştur.

Farklı nanopartikül uygulanan ayçiçeği çeşitlerinin radikula uzunlukları önemli düzeyde farklılık bulunmuştur. 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit, Bakır ve Çinko oksit nanopartikül uygulamasında ölçülen radikula uzunlukları sırasıyla 22,18; 43,40 ve 39,88 mm, 64 LP 130 çeşidinde ise 35,26; 44,20 ve 46,12 mm olarak belirlenmiştir. Bu rakamlardan anlaşılacağı üzere en yüksek radikula uzunluğu 64 LC 108 çeşidinde

Bakır nanopartikül uygulamasından, 64 LP 130 çeşidinde ise Çinko oksit nanopartikül uygulamasında belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan her iki ayçiçeği çeşidinde uygulanan nanopartiküllere göre radikula uzunluğunda meydana gelen farklılık Tablo 4.7'e göre istatistiki olarak  $p<0,05$  ihtimal seviyesinde önemli gözlemlenmiştir. Bitkilere uygulanan nanopartiküller çimlenme sonrası radikula ve plumulanın uzamasına veya tam tersi durumun oluşmasına neden olabilirler. Bitki hücresinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmektedir. Araştırma sonucunda uygulanan nanopartiküllerin ayçiçeği çeşitlerinin radikula uzunluğu üzerine farklı etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Nitekim bu konu hakkında yapılan sınırlı sayıda çalışmada aynı nanopartiküllerin farklı bitkiler üzerinde farklı etkileri olduğu bildirilmiştir (Dağaroğlu ve Köleli, 2016); Liu vd., (2021), şakayağı (*P. suffruticosa*) bitkisine uygulanan  $TiO_2$  NPs'nin yan kök sayısını ve uzunluğunu artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Hao vd., (2016), kök büyümesi üzerine bitki çeşidinin ve kullanılan nanopartikül türlerinin önemli ölçüde etki ettiğini bildirmişlerdir.

#### 4.2.2 Radikula Çapı

Araştırmada ele alınmış olan 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinin farklı nanopartikül ve doz uygulamaları sonucunda radikula çapı değerleri Tablo 4.10'da ve varyans analiz sonuçları Tablo 4.9'da verilmiştir. Tablo 4.9'daki varyans analiz sonuçlarına göre 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde nanopartikül doz uygulamaları radikula çapı üzerine önemli ( $p<0,01$ ) etkide bulunmuşken, 64 LP 130 ayçiçeği genotipinde nanopartikülün etkisi ( $p<0,05$ ) ihtimal sınırında önemli bulunmuştur.

Tablo 4.9 Petrilere yürütülen denemenin radikula çapına ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Radikula çapı				Radikula Çapı			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				1,322				13,206**
Doz (D)	9	1,229	8,690**	1,127	2,892**	1,724	2,4119	2,345	1,856
Tekeürür	3								
NXD	18				1,921*				2,375**
Hata									

\*istatistiki olarak %5'te önemli ( $P<0,05$ ); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli ( $P<0,01$ ) Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farksızdır.

Araştırma sonucunda 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinin radikula çapı 0,323 mm, 64 LP 130'un ise 0,282 mm olarak belirlenmiş ve çeşitler arasındaki bu farkın Tablo 4.9'da istatistiki olarak  $p < 0,01$  ihtimal seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Nanopartikül doz uygulamaları 64 LC 108 çeşidinde radikula çapını önemli derecede etkilemişken 64 LP 130 çeşidinde farklı dozlarada nanopartikül uygulamasının radikula çapı üzerine etkisi önemsiz olmuştur. 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde en yüksek sap çapı sırasıyla 0,55 mm ve 0,40 mm ile T6 ve T3 uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.9'daki varyans analiz sonuçlarına göre Bakır dioksit nanopartikül uygulaması her iki genotipte radikula çapı üzerine önemli etkiye bulunurken, Titanyum dioksit ve Çinko oksit nanopartikül uygulamalarının sap çapı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Titanyum dioksit uygulanan 64 LC 108 çeşidinde en yüksek radikula çapı 0,756 mm ile 200 mg/l (0,756 mm), Bakır oksit nanopartikül uygulamasında 1200 mg/l (0,92 mm), Çinko nanopartikül uygulamasında ise 600 mg/l (0,415 mm) dozundan elde edilmiştir. En düşük radikula çapı ise Titanyum dioksit nanopartikül uygulamasında kontrol grubunda (0,14 mm) ve Bakır oksitte'de 600 ve 1000 mg/l dozlarında (0,16 mm), Çinko oksit uygulamasında 400 mg/l (0,119 mm) dozundan elde edilmiştir. Araştırmada incelenen ve diğer bir çeşit olan 64 LP 130'da ise en yüksek radikula çapı Titanyum dioksit nanopartikülünde 400 mg/l (0,454 mm) dozunda, Bakır ve Çinko oksit nanopartiküllerinde ise 600 mg/l uygulama dozundan (sırasıyla 0,515 mm ve 0,469 mm) elde edilmiştir. En düşük radikula çapı değeri ise Titanyum dioksit uygulamasında 1800 mg/l (0,071 mm), Bakır oksit uygulamasında 400 mg/l (0,115 mm) ve Çinko oksit uygulamasında (0,06 mm) kontrol grubundan elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.10 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula çapı

Çeşit	Doz (mg/L)	Radikula Çapı (mm)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	Kontrol	0,145	0,35 ce	0,063	<b>0,18 d</b>
	200	0,756	0,23 de	0,228	<b>0,40 ac</b>
	400	0,233	0,20 de	0,119	<b>0,18 d</b>
	600	0,159	0,16 e	0,415	<b>0,24 bd</b>
	800	0,181	0,25 de	0,258	<b>0,23 cd</b>
	1000	0,179	0,16 e	0,305	<b>0,21 cd</b>
	1200	0,491	0,92 a	0,248	<b>0,55 a</b>
	1400	0,416	0,54 bc	0,233	<b>0,39 ac</b>
	1600	0,239	0,45 bd	0,388	<b>0,36 ad</b>
	1800	0,298	0,62 b	0,413	<b>0,44 ab</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0,310</b>	<b>0,392</b>	<b>0,267</b>	<b>0,323</b>
64LP130	Kontrol	0,359	0,28 bd	0,060	<b>0,233</b>
	200	0,207	0,23 bd	0,188	<b>0,209</b>
	400	0,454	0,11 d	0,240	<b>0,270</b>
	600	0,211	0,51 ab	0,469	<b>0,398</b>
	800	0,141	0,44 ac	0,464	<b>0,350</b>
	1000	0,087	0,34 ad	0,731	<b>0,388</b>
	1200	0,125	0,58 a	0,318	<b>0,341</b>
	1400	0,134	0,28 ad	0,158	<b>0,192</b>
	1600	0,095	0,15 cd	0,212	<b>0,152</b>
	1800	0,071	0,45 ab	0,346	<b>0,289</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0,18 b</b>	<b>0,34 a</b>	<b>0,31 a</b>	<b>0,282</b>

\*İstatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01) Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir

Deneme faktörlerin ortalaması olarak ayçiçeği bitkisinde radikula çapı uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer 0,56 mm'lik ortalama 1200 mg/l dozundan tespit edilmiştir. Tablo 4.10 incelendiğinde görüleceği gibi kontrol grubuna göre dozlarındaki artışa bağlı olarak radikula çapında düzensizde olsa bir artış meydana gelmiş ve en düşük değer 0,18 mm ile kontrol grubundan elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık Tablo 4.9'da istatistiki olarak p<0,01 ihtimal sınırında önemli bulunmuştur.

Tablo 4.9'da İncelendiğinde uygulanan nanopartiküller arasında (Titanyum dioksit, Çinko oksit, Bakır oksit) 64 LC 108 çeşidinde radikula çapı bakımından istatistiki olarak farklılık olmamasına rağmen, 64 LP 130 çeşidinde istatistiki olarak önemli farklılığın olduğu belirlenmiştir. Deneme faktörlerinin ortalaması olarak Bakır oksit nanopartikülü uygulanan 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit (0,310 mm) ve Çinko oksit (0,267 mm)'den daha yüksek radikula çapına sahip olmuştur. Radikula çapının

uygulanan nanopartiküllere göre farklı bulunması bitki hücresinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmesinden kaynaklanmış olabilir (Çetinkaya vd., 2024).

### 4.2.3 Radikula Ağırlığı

Yağlık ayçiçeği çeşitlerine farklı nanopartikül ve dozlarının uygulanmasıyla belirlenen radikula ağırlığı ile ilgili varyans analiz sonuçları Tablo 4.11’de, ortalama değer ise Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.11 Petrilerde yürütülen denemenin radikula ağırlığına ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Radikula Ağırlığı				Radikula Ağırlığı			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				11,02**				19,737**
Doz (D)	9	0,591	4,978**	2,448*	4,277**	1,4603	4,0152**	1,154	3,097**
Tekeürür	3								2,059*
NXD	18				2,994**				
Hata									

\*istatistiki olarak %5’te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1’de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinin radikula ağırlığı üzerine uygulanan Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır (Tablo 4.11). 64 LC 108 çeşidine uygulanan Titanyum dioksit nanopartikül dozlarına göre radikula ağırlığı değerleri 0,001-0,020 g arasında değişiklik göstermiştir. Nanopartikül uygulanmayan kontrol uygulamasında radikula ağırlığı (0,020 g) en yüksek, 200 mg/l uygulamasında (0,001 g) en düşük radikula ağırlığı değeri belirlenmiştir (Tablo 4.12). 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek radikula ağırlığı 600 mg/l uygulamasından (0,026 g), en düşük radikula ağırlığı ise 1000 mg/l uygulamasından (0,071 mm) elde edilmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.12’nin incelemesinden de görülebileceği gibi, Bakır oksit nanopartikülün farklı dozlarda uygulanması neticesinde her iki çeşitte de radikula ağırlığı yönünden oluşan farklılık p<0,01 ihtimal seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 4.11).

Radikula ağırlığı 64 LC 108 çeşidinde en yüksek 1600 mg/l uygulamasında (0,154 g) 64 LP 130 çeşidinde ise 800 mg/l uygulamasında (0,0841 g) elde edilmiştir (Tablo 4.12). En düşük radikula ağırlığı değerleri ise 64 LC 108 çeşidinde 1000 mg/l uygulamasında (0,009 g) 64 LP 130 çeşidinde ise 400 mg/l'de 0,052 g olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.12 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula ağırlığı

Çeşit	Doz (mg/L)	Radikula Ağırlığı (g)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	Kontrol	0,020	0,020 bc	0,014 c	<b>0,018 c</b>
	200	0,001	0,018 bc	0,032 bc	<b>0,017 c</b>
	400	0,007	0,016 bc	0,021 bc	<b>0,015 c</b>
	600	0,007	0,028 bc	0,028 bc	<b>0,021 c</b>
	800	0,013	0,020 bc	0,020 bc	<b>0,017 c</b>
	1000	0,027	0,009 c	0,027 bc	<b>0,021 c</b>
	1200	0,011	0,070 b	0,027 bc	<b>0,035 c</b>
	1400	0,017	0,067 bc	0,110 a	<b>0,065 ab</b>
	1600	0,015	0,154 a	0,036 bc	<b>0,068 a</b>
1800	0,016	0,028 bc	0,076 ab	<b>0,040 bc</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>0,013 b</b>	<b>0,043 a</b>	<b>0,039 a</b>	<b>0,032</b>
64LP130	Kontrol	0,021	0,0235 bc	0,016	<b>0,020 c</b>
	200	0,020	0,0158 bc	0,026	<b>0,0206 c</b>
	400	0,024	0,0052 c	0,022	<b>0,0169 c</b>
	600	0,026	0,0458 b	0,059	<b>0,043ab</b>
	800	0,017	0,0841 a	0,036	<b>0,000</b>
	1000	0,007	0,0402 b	0,030	<b>0,0257 c</b>
	1200	0,014	0,0313 bc	0,044	<b>0,029 bc</b>
	1400	0,014	0,0420 b	0,025	<b>0,026 c</b>
	1600	0,018	0,0166 bc	0,029	<b>0,020 c</b>
1800	0,012	0,0318 bc	0,037	<b>0,027 c</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>0,017 b</b>	<b>0,034 a</b>	<b>0,032 a</b>	<b>0,028</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Radikula ağırlığı üzerine Çinko oksit nanopartikül dozları 64 LC 108 çeşidinde istatistiki olarak önemli etkide bulunurken, 64 LP 130 çeşidinde radikula ağırlığı üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 4.11). Uygulanan nanopartikülün dozlarının radikula ağırlığı ortalamaları 64 LC 108 çeşidinde 0,014-0,110 g arasında, 64 LP 130 çeşidinde ise 0,022-0,059 g arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.12). Radikula ağırlığı yönünden Çinko oksit nanopartikül dozları içerisinde en yüksek değer 64 LC

108 çeşidinde 1400 mg/l (0,49 g), 64 LP 130 çeşidinde ise 600 mg/l uygulamasından (0,059 g) elde edilmiştir (Tablo 4.12).

Tablo 4.12 incelendiğinde uygulanan nanopartiküller arasında (Titanyum dioksit, Çinko oksit, Bakır oksit) 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde radikula ağırlığı bakımından istatistiki olarak önemli farklılığın olduğu belirlenmiştir. Deneme faktörlerinin ortalaması olarak her iki çeşitte Bakır oksit nanopartikülü (sırasıyla 0,043; 0,034 g) Titanyum dioksit (sırasıyla 0,013; 0,017g) ve Çinko oksit (0,039; 0,032 g) nanopartiküllerinden en daha yüksek radikula ağırlığına sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.12). Radikula ağırlığının uygulanan nanopartiküllere göre farklı bulunması bitki hücresinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmesinden kaynaklanmış olabilir (Çetinkaya vd., 2024).

Deneme faktörlerin ortalaması olarak ayçiçeği bitkisinde radikula ağırlığı uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 0,068 g ortalama 1600 mg/l dozundan tespit edilmiştir. Tablo 4.12 incelendiğinde görüleceği gibi kontrol grubuna göre dozlarındaki artışa bağlı olarak radikula ağırlığında düzensizde olsa bir artış meydana gelmiş ve en düşük değer 0,015 g ile 400 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli bulunmuştur. Benzer durum 64 LP 130 çeşidinde de gözlemlenmiş olup, en düşük ve en yüksek radikula ağırlığı değerleri sırasıyla kontrol grubundan (0,020 g) ve 800 mg/l uygulamasından (0,045 g) elde edilmiştir. Nanopartiküllerin bitki metabolizması üzerine olumlu etki yaptığı (Giraldo vd., 2014) bildirilmiştir. Nanopartiküllerin özelliklerine bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve fizyolojik farklılıklara yol açabilmektedirler. Fakat nanopartiküllerin bu etkisi nanopartikül özelliklerinin yanısıra etkili dozun belirlenmesi açısından oldukça önemlidir (Khodakovskaya vd., 2012). Bir çok mikroorganizma ve hayvan hücrelerinde Gümüş nanopartiküller ile yapılan bir çok araştırma olmasına rağmen bitkilerde bu konu hakkında yapılan sınırlı sayıda çalışma yapılmış (Krishnaraj vd., 2012; Monica ve Cremonini, 2009) ve nanopartiküllerin bitki büyümesi ve gelişmesi üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilerinin olduğu ifade edilmiştir. Bu sonuçlar nanopartiküllerin kompozisyonu, konsantrasyonu, boyutu fiziksel ve kimyasal özelliklerin yanısıra bitki türlerine de bağlı olduğunu göstermektedir (Ma vd., 2010).

#### 4.2.4 Plumula Uzunluğu

Yağlık ayçiçeğine farklı nanopartikül dozları uygulanması ile elde edilen plumula uzunluğuna ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.13’de ortalama değerler ise Tablo 4.14’de verilmiştir.

Bitkinin gövde ve dal gelişimini etkileyen önemli bir unsur olan plumula uzunluğu son yıllarda nanoteknoloji ve biyoloji alanlarında oldukça yoğun ilgi görmüştür. Bitkilerde fide dönemindeki gövde uzunluğu, sağlıklı ve kaliteli fide yetiştirmek için önemli bir parametredir. Gövde uzunluğu ile yaprak sayısı, gövde yaş ve kuru ağırlığı arasında önemli bir pozitif ilişki bulunmaktadır (Jini ve Joseph, 2017; Vazirimehr vd., 2014). Araştırmadan elde edilen verilerin varyans analiz sonuçları incelendiğinde, plumula uzunluğuna 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit nanopartikülünün, 64 LP 130 çeşidinde ise nanopartiküllerin (TiO<sub>2</sub>, CuO ve ZnO) etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.13).

Tablo 4.13 Petrilere yürütülen denemenin plumula uzunluğuna ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Plumula Uzunluğu				Plumula Uzunluğu			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				7,927*				7,715*
Doz (D)	9	3,734**	2,078	1,145	4,328**	2,1232	2,3349	2,211	1,653
Tekeürür	3								2,488**
NXD	18				1,344				
Hata									

\*istatistiki olarak %5’te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1’de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Denemede farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulamalarına göre 64 LC 108 çeşidinde plumula uzunluğu en yüksek 41,02 mm ile 1600 mg/l Titanyum dioksit uygulamasında belirlenmiş olup, bunu 41,01 mm ile 1400 mg/l takip etmiştir. En düşük plumula uzunluğu ise 9,01 mm ile kontrol uygulamasından elde edilmiştir. Farklı dozlarda Titanyum dioksitin uygulanan 64 LP 130 çeşidinde plumula uzunluğunda belirlenen farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.13). 64 LP 130 çeşidinde belirlenen plumula uzunluğu değerleri 30,19-50,11 mm arasında değişmiştir. Plumula

uzunluğu 1600 mg/l Titanyum dioksit uygulanmasında 50,11 mm ile en uzun; 1000 mg/l uygulamasında ise 30,19 mm ile en kısa olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.14)

Tablo 4.14 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula uzunluğu

Çeşit	Doz (mg/L)	Plumula Uzunluğu (mm)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	Kontrol	9,01 d	30,90	39,64	26,52 c
	200	11,70 cd	25,40	24,72	20,60 c
	400	15,08 cd	31,21	31,97	26,08 c
	600	20,68 bd	27,57	39,00	29,08 bc
	800	28,22 ac	24,20	26,40	26,27 c
	1000	36,19 ab	30,97	45,61	37,59 ab
	1200	39,28 ab	35,25	41,95	38,82 a
	1400	41,01 a	37,47	38,11	38,86 a
	1600	41,02 a	31,10	42,00	38,03 ab
	1800	28,99 ac	44,01	42,52	38,50 ab
<b>Ortalama</b>		<b>27,12 b</b>	<b>31,80 ab</b>	<b>37,19 a</b>	<b>32,04</b>
64LP130	Kontrol	32,64	34,29	26,58	31,170
	200	31,37	36,84	45,13	37,779
	400	37,36	31,17	42,30	36,942
	600	36,10	38,66	38,02	37,591
	800	35,80	48,71	52,22	45,579
	1000	30,19	45,06	45,64	40,297
	1200	49,78	32,31	46,46	42,849
	1400	49,99	44,59	34,88	43,153
	1600	50,11	28,44	51,76	43,433
	1800	34,37	30,70	66,97	44,014
<b>Ortalama</b>		<b>38,76 b</b>	<b>37,07 b</b>	<b>44,99 a</b>	<b>40,281</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır

Plumula uzunluğu yönünden farklı dozlarda Bakır oksit uygulamaları arasında oluşan farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.13). Farklı dozlarda Bakır oksit uygulanarak yağlık 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde belirlenen ortalama sap uzunluğu 200 mg/l dozunda en az (25,40 mm) olmasına rağmen, en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l uygulamasında en fazla (44,01 mm) değeri vermiştir. Bu uygulamayı 1400 mg/l uygulaması (37,47 mm) takip etmiştir. Plumula uzunluğu üzerine 64 LP 130 çeşidinde farklı dozlarda Bakır oksit uygulamalarının etkisi istatistiki olarak önemsiz olmuştur (Tablo 4.13). Uygulanan farklı dozlarda Bakır oksitin plumula uzunluğu değeri ortalamaları 28,44-48,71 mm arasında değişmiştir. Plumula uzunluğu değerleri açısından Bakır oksit dozları içerisinde en yüksek değer 48,71 mm

ile 800 mg/l uygulamasından elde edilirken, en düşük değer 28,44 mm ile en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.14).

Uygulanan farklı dozlardaki Çinko nanopartikülün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde elde edilen plumula uzunluğu değerleri sırasıyla 24,72-45,61 mm ve 26,58-66,97 mm arasında değişmiştir. 64 LC 108 çeşidinde en uzun plumula 1000 mg/l Çinko oksit uygulamasında 45,61 mm olurken, 64 LP 130 çeşidinde en uzun plumula 1800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. En kısa plumula ise 64 LC 108 çeşidinde 200 mg/l dozunda (26,58 mm), diğer çeşit olan 64 LP 130'da ise kontrol grubundan elde edilmiştir. Her iki çeşitte de Çinko nanopartikülün farklı dozlarının plumula uzunluğu üzerine etkisi Tablo 4.13'e göre istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Araştırma sonucunda plumula uzunluğunun Çinko oksit dozlarına göre kararsız bir değişim gösterdiğini tespit edilmiştir.

Tablo 4.13 incelendiğinde uygulanan nanopartiküller arasında (Titanyum dioksit, Çinko oksit, Bakır oksit) 64 LC 108 çeşidinde ve 64 LP 130 çeşitlerinde plumula uzunluğu bakımından istatistiki olarak önemli farklılığın olduğu fakat 64 LP 130 çeşidinde ise farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Deneme faktörlerinin ortalaması olarak her iki çeşitte Çinko oksit nanopartikülü (sırasıyla 37,19; 44,99 mm) Titanyum dioksit (sırasıyla 27,12; 38,76 mm) ve Bakır oksit (sırasıyla 31,80; 37,07 mm) nanopartiküllerinden daha uzun plumulaya sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.14). Plumula uzunluğunun uygulanan nanopartiküllere göre farklı bulunması bitki hücrelerinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmesinden kaynaklanmış olabilir (Çetinkaya vd., 2024).

Deneme faktörlerin ortalaması olarak ayçiçeği bitkisinde plumula uzunluğu uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 38,82; 38,86 mm ile 1200 ve 1400 mg/l dozlarında elde edilmiştir. Tablo 4.14 incelendiğinde görüleceği gibi kontrol grubuna göre dozlardaki artışa bağlı olarak plumula uzunluğunda düzensizde olsa bir artış meydana gelmiş ve en düşük değer 26,52; 20,60; 26,08 ve 26,27 mm ile sırasıyla kontrol, 200; 400 ve 800 mg/l uygulamalarından elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli bulunmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise farklı bir durum

gözlemlenmiş olup nanopartikül dozlarının plumula uzunluğu üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 4.13). En kısa ve en uzun plumula değerleri sırasıyla kontrol grubundan (31,70 mm) ve 800 mg/l uygulamasından (45,58 mm) elde edilmiştir. Nanopartiküllerin bitki metabolizması üzerine olumlu etki yaptığı (Giraldo vd., 2014) bildirilmiştir. Nanopartiküllerin plumula uzunluğu üzerindeki etkisi, doğru türde ve miktarda kullanıldığında olumlu olabilir. (Derya, 2012).

Bir diğer araştırmada nohut tohumlarına farklı konsantrasyonlarda nanopartikül uygulanması sonucunda priming süresine bağlı olarak sürgün ve kök uzunluklarında olumlu etkilerin olduğu belirlenmiştir (Sumanth Krishna vd., 2017). Thomas vd., (2016), Çemen otu (*Trigonella foenum*)'nda Ag-nanopartiküllerin'nin radikula uzunluğu, yaprak sayısı, taze ağırlığı ve plumula uzunluğu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada 0,2 mg dozunun büyüme parametrelerini pozitif yönde etkilediğini bildirmiştir. Benzer şekilde sığır kuyruğu (*Verbascum olympicum*) üzerine yapılan çalışmada en uzun kökün düşük dozlarda CuO NP'lerinden elde ettiklerini, fakat yüksek konsantrasyonlarda ise plumula uzunluğunun arttığını bildirmişlerdir. Araştırma sonucunda nanopartiküllerin özelliklerine bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve fizyolojik farklılıklara yol açabildiklerini, fakat nanopartiküllerin bu etkisinin uygulama dozuna önemli oranda bağlı olduğunu bildirmişlerdir (Khodakovskaya vd., 2012).

#### **4.2.5 Plumula Çapı**

Yağlık ayçiçeğine Farklı konsantrasyonlarda TiO<sub>2</sub>, CuO ve ZnO nanopartikül uygulamasıyla belirlenen plumula çapına ait varyasn analiz sonuçları Tablo 4.15, ortalama değerler ise Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.15 Petrilerde yürütülen denemenin plumula çapına ait varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Plumula çapı				Plumula çapı			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				144,70**				0,412
Doz (D)	9	4,170**	1,057	<b>2,029</b>	4,080**	0,8979	1,1583	<b>1,815</b>	0,923
Tekeürür	3								
NXD	18				2,581**				0,902
Hata									

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01) Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Plumula çapı yönünden Titanyum dioksit nanopartikülü uygulamaları arasındaki farklılık 64 LC 108 çeşidinde istatistiksel olarak p<0,01 seviyesinde önemli, 64 LP 130 çeşidinde ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. 64 LP 130 çeşidinde Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının plumula çapı üzerine etkisi önemli olmasına rağmen uygulama dozlarında kaydedilen sap çapı değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Titanyum dioksitin farklı dozları uygulanan 64 LC 108 çeşidinde belirlenen sap çapı değerleri 0,79-2,07 mm arasında değişiklik göstermiştir. Titanyum dioksitin 200 mg/l uygulandığı grubunda sap çapı değeri en düşük (0,79 mm), 1000; 1400; 1600 ve 1800 mg/l doz uygulanmasında ise (sırasıyla 1,77; 1,77; 1,94; 2,07 mm) en yüksek olmuştur. Plumula çapı değerleri artan Titanyum dioksit dozlarına paralel olarak yükseldiği belirlenmiştir. 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek sap çapı 2,05 mm ile en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Söz konusu çeşitte en düşük plumula çapı değeri ise 600 ve 1400 mg/l uygulama dozlarından (sırasıyla 1,71 ve 1,72 mm) elde edilmiştir (Tablo 4.16).

Tablo 4.16 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula çapı

Çeşit	Doz (mg/L)	Plumula Çapı (mm)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	Kontrol	1,04 bc	2,24	2,13	1,809 bc
	200	0,79 c	2,08	1,74	1,540 d
	400	1,07 bc	2,08	1,82	1,664 cd
	600	1,05 bc	2,31	1,99	1,787 bd
	800	1,47 ab	2,07	2,33	1,960 ab
	1000	1,77 a	2,42	1,85	2,016 ab
	1200	1,50 ab	2,28	2,06	1,948 ab
	1400	1,77 a	2,18	2,01	1,993 ab
	1600	1,94 a	2,40	2,11	2,154 a
	1800	2,07a	2,09	1,96	2,043 ab
<b>Ortalama</b>		<b>1,45 c</b>	<b>2,22 a</b>	<b>2,05 b</b>	<b>1,892</b>
64LP130	Kontrol	1,78	1,82	1,79	1,900
	200	1,72	1,86	1,93	1,936
	400	1,99	1,91	2,12	1,963
	600	1,71	2,23	1,93	1,981
	800	1,70	2,48	1,85	1,983
	1000	1,77	1,93	1,83	1,980
	1200	1,69	2,03	1,81	1,983
	1400	1,59	1,96	2,17	1,982
	1600	1,73	1,97	2,60	1,964
	1800	2,05	2,87	1,63	1,956
<b>Ortalama</b>		<b>2,475</b>	<b>2,105</b>	<b>1,967</b>	<b>1,963</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Çalışmada kullanılan farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikülünden elde edilen plumula çapı değerleri Tablo 4.16 verilmiştir. Plumula çapı yönünden Bakır oksit nanopartikül dozların etkisi her iki çeşitte istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.15). Farklı dozlar uygulanan ayçiçeği tohumlarında belirlenen plumula çapı değerleri 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde sırasıyla 2,08-2,40 ve 1,82-2,87 mm arasında değişiklik göstermiştir. 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı, 800 mg/l uygulamasında en az, 1000 ve 1600 mg/l uygulamasında ise fazla olmuştur. Diğer çeşidimiz olan 64 LP 130'da ise Kontrol grubu uygulamasında en az 1,82 mm, 1800 mg/l uygulamasında ise 2,87 mm en yüksek olmuştur.

Tablo 4.16'da Çinko oksit nanopartikülünün farklı dozlarda uygulanması sonucunda 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı değerleri birbirine yakın olmuş ve uygulanan doz miktarlarına göre kararsız bir durum göstermişlerdir. Ancak plumula çapı 800 mg/l dozunda (2,33 mm) en yüksek olmuştur. En düşük değer ise 200 mg/l dozunda 1,74

mm olarak belirlenmiştir. 64 LP 130 çeşidinde ise tersi bir durum söz konusu olup en düşük değer en fazla doz uygulaması olan 1800 mg/l uygulama grubundan (1,63 mm), en yüksek değeri ise 2,60 mm ile 1600 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir. Her iki çeşitte plumula çapı değerleri arasında rakamsal olarak farklılık olsa da bu farklılık istatistiki olarak önemli olmamıştır.

Uygulanan nanopartiküllerin 64 LC 108 ayçiçeği çeşitlerinde plumula çapı üzerine etkisi  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli olmuşken 64 LP 130 çeşidinde nanopartiküllerin etkisi önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.15). Uygulanan nanopartiküllere göre plumula çapı değerleri her iki çeşitte en yüksek Bakır oksit uygulamasından (sırasıyla 2,22 ve 2,105 mm), elde edilmiştir. En düşük sap çapı değeri 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde Titanyum dioksit uygulamasından (1,45 mm) 64 LP 130 çeşidinde ise Çinko oksit (1,97 mm) uygulamasında tespit edilmiştir.

64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde plumula çapı uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek sap çapı 2,15 mm ile 1600 mg/l uygulama dozunda tespit edilmiştir. En düşük sap çapı ise Tablo 4.16'dan anlaşılacağı üzere 1,54 mm ile 200 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak  $p < 0,01$  ihtimal seviyesinde önemli bulunmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise uygulama dozları arasında meydana gelen farklılıkların istatistiki olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (Tablo 4.15). Sap çapı değerleri artan nanopartikül dozlarına bağlı olarak düzenli bir şekilde artış göstermiştir. En düşük plumula çapı 1,90 mm ile kontrol grubu uygulamasında elde edilmiştir. En yüksek plumula çapı değeri ise 1,983 mm ile 800 ve 1200 mg/l uygulamasından elde edilmiş olup, diğer uygulamalarda ise yüksek plumula çapı değeri elde edilmiş olup uygulama dozlarında kaydedilen çimlenme indeksi değerleri birbirine yakın çıkmıştır (Tablo 4.16).

Araştırma sonuçlarına göre metal oksit nanopartiküllerinin, bitkilerin büyüme ve gelişimi üzerinde farklı etkilere sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle sürgün gelişimi ve biyokütle oluşturma açısından indükleyici niteliktedir (Mohamed ve Kumar 2016). Metalik nanopartiküllerin inhibe edici özelliği, fizyolojik ve genetik bileşenleri etkilemesi ve daha yüksek konsantrasyonlarda ise toksisiteye neden olmasıyla ilişkilendirilmiştir (Rico vd., 2015; Tripathi vd., 2015). Nanopartiküllerin özelliklerine

bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve fizyolojik değişikliklere neden olabilecekleri (Khodakovskaya vd., 2012) bu değişikliklerin olumlu veya olumsuz olabileceği bunun yanısıra uygulanan nanopartikülün çeşidine, yapısına ve konsantrasyonuna bağlı olduğu bildirilmiştir (Can ve Gürel 2023).

### 4.3 Viyol ile Yürütülen Denemeye Ait Ölçümler

#### 4.3.1 Radikula Uzunluğu

Farklı nanopartiküllerin farklı dozlarda uygulanmasıyla farklı ayçiçeği çeşitlerinde belirlenen radikula uzunluğuna ait ilgili varyans analiz sonuçları Tablo 4.17’de, ortalamalar Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.17 Viyolde yürütülen denemenin radikula uzunluğu varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Radikula Uzunluğu				Radikula Uzunluğu			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				75,83**				8,837**
Doz (D)	9	2,504*	4,038**	0,9362	2,391*	2,812**	2,291*	<b>3,988**</b>	4,687**
Tekeürür	3								
NXD	18				2,278**				2,363**
Hata	81								

\*istatistiki olarak %5’te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1’de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

64 LC 108 ayçiçeği çeşidi ve Titanyum dioksit nanopartikülü arasında radikula uzunluğu bakımından istatistiki olarak önemlilik belirlenmemiştir (Çizelge 4.17). Titanyum dioksit dozları arasında oluşan rakamsal farklılıklar dikkate alındığında, uygulama dozlarına göre radikula uzunluğu en fazla kontrol grubunda (44.54 mm), en az 1600 mg/l (24.15 mm) doz uygulamasında olurken, bunu 400; 600; 800; 1200; 1400; 1600 ve 1800mg/l uygulamaları takip etmiş ve en kısa radikula uzunluğu değerleri ile aynı grupta yer almışlardır (Tablo 4.18). 64 LP 130 çeşidinden elde edilen sonuçlara göre radikula uzunluğu üzerine Titanyum dioksitin farklı dozlarının etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.23). 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşidine uygulanan Titanyum dioksitin farklı dozlarına göre belirlenen radikula uzunlukları 24,40- 42,11 mm arasında değişmektedir. Radikula uzunluğu en az 800 mg/l (24,40

mm) uygulamasında (%94,6) en fazla ise kontrol grubu (42,11 mm) uygulamasında tespit edilmiştir. 64 LC 108 yağlık ayçiçeği çeşidinde radikula uzunluğu üzerine Bakır oksit nanopartikülünün farklı dozlarının istatistiki olarak etkisi önemli olmamıştır (Tablo 4.17). Ancak Bakır oksit nanopartikül dozlarına göre elde edilen radikula uzunluğu değerleri rakamsal olarak farklılık göstermiştir. Söz konusu çeşitte en uzun radikula 1200 mg/l uygulamasında (74,75 mm) olurken, bunu 68,83 mm ile 1600 mg/l ve 67,64 mm ile 600 mg/l uygulaması izlemiştir. En kısa radikula uzunluğu 1400 mg/l (56,03 mm) uygulaması olmuştur. Diğer uygulamaların tamamında ise belirlenen radikula uzunlukları bu değerler arasında yer almış ve birbirlerine yakın değerler vermişlerdir. 64 LP 130 çeşidine uygulanan Bakır oksit nanopartikülünün farklı konsantrasyonlarına göre belirlenen radikula uzunlukları değeri 27,69-53,91 mm arasında değişmiştir. 1800 mg/l Bakır oksit uygulaması yapılan grupta belirlenen radikula uzunluğu 27,69 mm'lik değerle en kısa olarak bulunmuştur. Bu uygulamanın yanında yine en kısa radikula uzunluğu 1400 mg/l uygulamasında (28,16 mm) elde edilmiştir (Tablo 4.18).

Farklı dozlarda uygulanan Çinko oksit nanopartikülü ile yapılan 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde belirlenen radikula uzunluğu değerleri 41,27-68,10 mm arasında değişiklik göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda Çinko oksit nanopartikülünde 1600 mg/l ve 1800 mg/l uygulamalarında (sırasıyla 41,27 ve 45,04 mm) radikula uzunluğu en kısa, 68,10 mm ile 600 mg/l uygulamasında en yüksek olmuştur (Tablo 4.18).

64 LP 130 çeşidinde ise farklı dozlarda Çinko oksit nanopartikül uygulamasının radikula uzunluğu üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.18). Radikula uzunluğu değeri 31,77-51,57 mm arasında değişiklik göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda Çinko oksit nanopartikülünde 1000 mg/l, 1400 mg/l ve 1800 mg/l uygulamalarında (sırasıyla 31,77; 33,15 ve 34,57 mm) radikula uzunluğu en kısa, 51,57 mm ile partikül uygulanmayan kontrol grubunda en yüksek olmuştur (Tablo 4.18).

Tablo 4.18 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula uzunluğu

Çeşit	Doz	Radikula Uzunluğu (mm)			Ortalama
	(mg/L)	Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	Kontrol	44,54 a	64,70	66,62 ab	<b>58,62 a</b>
	200	35,43 ab	62,64	53,73 bd	<b>50,60 bc</b>
	400	30,63 b	63,11	66,37 ab	<b>53,37 ab</b>
	600	24,88 b	67,64	68,10 a	<b>53,54 ab</b>
	800	25,99 b	63,88	62,29 ac	<b>50,72 ac</b>
	1000	33,91 ab	56,85	60,60 ac	<b>50,46 bc</b>
	1200	27,83 b	74,75	48,15 cd	<b>50,24 bc</b>
	1400	29,56 b	56,03	49,67 cd	<b>45,09 c</b>
	1600	24,15 b	68,83	45,04 d	<b>46,01 bc</b>
1800	26,67 b	65,02	41,27d	<b>44,32 c</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>30,36 c</b>	<b>64,34 a</b>	<b>56,19 b</b>	<b>50,301</b>
64LP130	Kontrol	42,11 a	35,12 ce	51,57 a	<b>42,94 a</b>
	200	40,60 ab	40,76 ae	46,39 ab	<b>42,58 a</b>
	400	39,03 ac	47,25 ac	41,20 ac	<b>42,50 a</b>
	600	37,40 ac	53,91 a	37,75 bc	<b>43,02 a</b>
	800	24,40 d	51,98 ab	41,77 ac	<b>39,39 ab</b>
	1000	27,11 cd	42,58 ad	31,77 c	<b>33,82 bc</b>
	1200	29,33 bd	29,68 de	40,13 ac	<b>33,05 bc</b>
	1400	27,38 cd	28,16 e	33,15 c	<b>29,56 c</b>
	1600	22,57 cd	39,99 be	38,91 bc	<b>33,82 bc</b>
1800	30,59 ad	27,69 e	34,57 c	<b>30,95 c</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>32,05 b</b>	<b>39,71 a</b>	<b>39,72 a</b>	<b>37,168</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Uygulanan nanopartiküllerin 64 LC 108 ve 645 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde radikula uzunluğu üzerine etkisi p<0,01 ihtimal sınırında önemli bulunmuştur (Tablo 4.17). Uygulanan nanopartiküllere göre radikula uzunluğu değerleri ortalaması 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit uygulaması ile 30,36 mm, Bakır oksit uygulaması ile 64,34 mm ve Çinko oksit uygulaması ile 56,19 mm olmuştur. Bakır oksit uygulamasının radikula uzunluğunu artırdığı belirlenmiştir. 64 LC 108 çeşidinde ise Titanyum dioksit uygulaması ile 32,05 mm, Bakır oksit uygulaması ile 39,71 mm ve Çinko oksit uygulaması ile 39,72 mm olmuştur. 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde Bakır ve Çinko oksit uygulamasının radikula uzunluğunu artırdığı Tablo 4.18' de açıkça görülmektedir.

Deneme faktörlerin ortalaması olarak ayçiçeği bitkisinde radikula uzunluğu uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 58,62, mm ile nanopartikül uygulanmayan kontrol grubundan elde edilmiştir. Tablo 4.18 incelendiğinde görüleceği üzere kontrol grubuna göre dozlardaki artışa bağlı olarak

radikula uzunluğunda belirgin bir azalma meydana gelmiş ve en düşük değer 44,32 ve 45,09 mm ile sırasıyla 1400 ve 1800 mg/l uygulamalarından elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli bulunmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise farklı bir durum gözlemlenmiş olup radikula uzunluğu 600 mg/l uygulamasına kadar artmış sonraki uygulamalarda tekrardan azalma belirlenmiştir. Nanopartikül dozlarının radikula uzunluğu üzerine etkisi  $P < 0,01$  ihtimal seviyesinde önemli olmuştur (Tablo 4.17). En kısa radikula uzunluğu 1600 mg/l uygulamasında (22,57 mm) olurken, bunu 24,40 mm ile 800 mg/l uygulaması izlemiştir. En uzun radikula uzunluğu değeri ise 600 mg/l Bakır oksit ve 800 mg/l Çinko oksit uygulamalarından elde edilmiştir. Nanopartiküllerin bitki metabolizması üzerine olumlu etki yaptığı Giraldo vd., (2014) tarafından bildirilmiştir. Nanopartiküllerin radikula uzunluğu üzerindeki etkisi, doğru türde ve miktarda kullanıldığında olumlu olabilir. (Derya, 2012). Bir diğer araştırmada nohut tohumlarına farklı konsantrasyonlarda nanopartikül uygulanması sonucunda priming süresine bağlı olarak kök uzunluklarında olumlu etkilerin olduğu belirlenmiştir (Sumanth Krishna vd., 2017). Thomas vd., (2016), Çemen otu (*Trigonella foenum*)’da Ag-nanopartiküllerin kök uzunluğu, yaprak sayısı, taze ağırlığı ve sürgün uzunluğu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada 0,2 mg dozunun büyüme büyüme parametrelerini pozitif yönde etkilediğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde sığırkuyruğu (*Verbascum olympicum*) üzerine yapılan çalışmada en uzun kökün düşük dozlarda CuO Np’lerinden elde ettiklerini, fakat yüksek konsantrasyonlarda ise sürgün uzunluğunun arttığını bildirmişlerdir. Araştırma sonucunda nanopartiküllerin özelliklerine bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve fizyolojik farklılıklara yol açabildiklerini, fakat nanopartiküllerin bu etkisinin uygulama dozuna önemli oranda bağlı olduğunu bildirmişlerdir (Khodakovskaya vd., 2012).

#### 4.3.2 Radikula Çapı

Araştırmada ele alınmış olan 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinin farklı nanopartikül ve doz uygulamaları sonucunda radikula çapı değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.19’da değerler ise Tablo 4.20’de verilmiştir. Tablo 4.19’daki varyans analiz sonuçlarına göre 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde nanopartikül, nanopartikül dozu uygulamaları radikula çapı üzerine önemli ( $p < 0,01$ ) etkide

bulunurken, 64 LP 130 ayçiçeği genotipinde incelenen parametrelerin radikula çapı bakımından istatistiki olarak önemlilik belirlenmemesine rağmen, rakamsal farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 4.20).

Tablo 4.19 Viyolde yürütülen denemenin radikula çapı varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Radikula Çapı				Radikula Çapı			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				13,231**				0,276
Doz (D)	9	1,285	2,980**	0,9362	5,343**	2,292*	0,947	<b>2,813**</b>	1,155
Tekeürür	3								
NXD	18				6,8538**				0,935
Hata	81								

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

64 LC 108 ayçiçeği çeşidi ve Titanyum dioksit nanopartikül arasında radikula çapı bakımından istatistiki olarak önemlilik belirlenmemiştir (Tablo 4.20). Titanyum dioksit dozları arasında oluşan rakamsal farklılıklar dikkate alındığında, uygulama dozlarına göre radikula çapı en fazla 600 mg/l kontrol grubunda (0,658 mm), en az 200 mg/l (0,212 mm) doz uygulamasında olurken, bunu 1400; 1800 ve 1600 mg/l uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.20). 64 LP 130 çeşidinden elde edilen sonuçlara göre radikula çapı üzerine Titanyum dioksitin farklı dozlarının etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.20). 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşidine uygulanan Titanyum dioksitin farklı dozlarına göre belirlenen radikula çapları 0,16-0,64 mm arasında değişmektedir. Radikula çapı en az 1800 mg/l uygulamasında (0,16 mm) en fazla ise kontrol grubu (0,58 mm) uygulamasından tespit edilmiştir. Radikula çapı yönünden Titanyum dioksit nanopartikülü uygulamaları arasındaki farklılık istatistiksel olarak p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur.

64 LC 108 ve 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşitlerinde radikula çapı üzerine Bakır oksit nanopartikülün farklı dozlarının etkisi istatistiki olarak önemli olmamıştır (Tablo 4.19). Söz konusu çeşitte radikula çapı en yüksek 1200 mg/l uygulamasında (1,57 mm) olurken, bunu 1,71 mm ile 1400 mg/l uygulaması izlemiştir. En kısa radikula çapı 800 mg/l (0,25 mm) uygulamasın elde edilmiş olup, bunu 0,28 mm ile 600 mg/l ve 0,26

mm ile 1600 mg/l uygulamaları takip etmiştir. Diğer uygulamaların tamamında ise belirlenen çaplar bu değerler arasında yer almış ve birbirlerine yakın değerler vermişlerdir. 64 LC 130 çeşidinde belirlenen radikula çapı değeri 0,29-0,88 mm arasında değişmiştir. Bakır oksitin 200 mg/l uygulandığı grubunda radikula çapı değeri en yüksek (0,88 mm), Kontrol, 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l doz uygulanmasında ise (sırasıyla 0,47; 0,56; 0,37; 0,32; 0,30; 0,46; 0,35; 0,40 ve 0,29 mm) en düşük olmuştur,

Farklı dozlarda uygulanan Çinko oksit nanopartikülü ile yapılan 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde belirlenen radikula çapı değerleri 0,19-0,55 mm arasında değişiklik göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda Çinko oksit nanopartikülünde, 1800 mg/l uygulamasında 0,19 mm ile radikula çapı en kısa, 0,55 mm ile 1400 mg/l uygulamasında en yüksek olmuştur (Tablo 4.20). 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşitlerinde radikula çapı üzerine Bakır oksit nanopartikülün farklı dozlarının etkisi istatistiki olarak önemli olmamıştır (Tablo 4.20). Ancak Bakır oksit nanopartikül dozlarına göre elde edilen radikula çapı değerleri rakamsal olarak farklılık göstermiştir. Radikula çapı değeri 0,15-2,58 mm arasında değişiklik göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda Çinko oksit nanopartikülünde 1600 mg/l uygulamasında (0,15 mm) radikula çapı en kısa, 2,58 mm ile 1200 mg/l grubunda en yüksek olmuştur (Tablo 4.20).

Uygulanan nanopartiküllerin 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde radikula çapı üzerine etkisi  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli bulunmuştur (Tablo 4.20). Uygulanan nanopartiküllere göre radikula çapı değerleri 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit uygulaması ile 0,33 mm, Bakır oksit uygulaması ile 0,65 mm ve Çinko oksit uygulaması ile 0,34 mm olmuştur. Bakır oksit uygulamasının radikula çapını artırdığı belirlenmiştir. 64 LP 130 çeşidinde ise Titanyum dioksit uygulaması ile 0,43 mm, Bakır oksit uygulaması ile 0,44 mm ve Çinko oksit uygulaması ile 0,55 mm olmuştur. 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde 64 LP 130' da ise Çinko oksit uygulamasının radikula çapı artırdığı Tablo 4.20' de görülmektedir.

Tablo 4.20 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula çapı

Çeşit	Doz	Radikula Çapı (mm)			Ortalama
	(mg/L)	Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	<b>Kontrol</b>	0,309	0,43 bc	0,43 ab	<b>0,39 b</b>
	<b>200</b>	0,212	0,45 bc	0,34 bd	<b>0,33 b</b>
	<b>400</b>	0,349	0,41 bc	0,31 bd	<b>0,35 b</b>
	<b>600</b>	0,658	0,28 c	0,38 ac	<b>0,44 b</b>
	<b>800</b>	0,591	0,25 c	0,37 bc	<b>0,40 b</b>
	<b>1000</b>	0,279	0,34 bc	0,31 bd	<b>0,31 b</b>
	<b>1200</b>	0,258	1,57 a	0,22 cd	<b>0,68 a</b>
	<b>1400</b>	0,219	1,71 a	0,55 a	<b>0,82 a</b>
	<b>1600</b>	0,243	0,26 c	0,27 bd	<b>0,25 b</b>
	<b>1800</b>	0,223	0,80 b	0,19 d	<b>0,40 b</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0,33 b</b>	<b>0,65 a</b>	<b>0,34 b</b>	<b>0,443</b>
64LP130	<b>Kontrol</b>	0,48 ac	0,47 b	0,39	<b>0,453</b>
	<b>200</b>	0,58 a	0,88 a	0,20	<b>0,555</b>
	<b>400</b>	0,51 ab	0,56 b	0,24	<b>0,440</b>
	<b>600</b>	0,26 bc	0,37 b	0,24	<b>0,294</b>
	<b>800</b>	0,35 ac	0,32 b	0,28	<b>0,324</b>
	<b>1000</b>	0,64 a	0,30 b	0,22	<b>1,126</b>
	<b>1200</b>	0,62 a	0,46 b	2,58	<b>0,394</b>
	<b>1400</b>	0,41 ac	0,35 b	0,41	<b>0,271</b>
	<b>1600</b>	0,25 bc	0,40 b	0,15	<b>0,405</b>
	<b>1800</b>	0,16 c	0,29 b	0,74	<b>0,475</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0,431</b>	<b>0,444</b>	<b>0,55</b>	<b>0,475</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır

Deneme faktörlerin ortalaması olarak ayçiçeği bitkisinde radikula çapı, uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 0,82 ve 0,68 mm ile 1200 ve 1400 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Tablo 4.20 incelendiğinde görüleceği üzere kontrol grubuna göre dozlardaki artışa bağlı olarak radikula çapında belirgin bir azalma meydana gelmiş ve en düşük değer 44,32 ve 45,09 mm ile sırasıyla 1400 ve 1800 mg/l uygulamalarından elde edilmiştir. Radikula çapı 200; 400; 1000 ve 1600 mg/l uygulamaları dışında, diğer nanopartikül doz uygulamaları kontrole göre artmıştır. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak p<0,01 ihtimal sınırında önemli bulunmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise farklı bir durum gözlemlenmiş olup radikula çapı 600 mg/l uygulamasına kadar artmış sonraki uygulamalarda 1000 mg/l uygulaması dışında tekrardan azalma belirlenmiştir. Nanopartikül dozlarının radikula çapı üzerine etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.19). En kısa radikula çapı 1400 mg/l uygulamasında (0,271 mm) olurken, bunu 0,294 mm ile 600 mg/l uygulaması izlemiştir. En kalın çapı değerleri

ise sırasıyla 1000 mg/l (1,126 mm) uygulamasından elde edilmiştir. Nanopartiküllerin bitki metabolizması üzerine olumlu etki yaptığı Giraldo vd., (2014) tarafından bildirilmiştir. Nanopartiküllerin radikula çapı üzerindeki etkisi, doğru türde ve miktarda kullanıldığında olumlu olabilir (Derya, 2012). Bir diğer araştırmada nohut tohumlarına farklı konsantrasyonlarda nanopartikül uygulanması sonucunda priming süresine bağlı olarak kök uzunluklarında olumlu etkilerin olduğu belirlenmiştir (Sumanth Krishna vd., 2017). Thomas vd. (2016), Çemen otu (*Trigonella foenum*)’da Araştırma sonucunda nanopartiküllerin özelliklerine bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve fizyolojik farklılıklara yol açabildiklerini, fakat nanopartiküllerin bu etkisinin uygulama dozuna önemli oranda bağlı olduğunu bildirmişlerdir (Khodakovskaya vd., 2012).

### 4.3.3 Radikula Ağırlığı

Yağlık ayçiçeği çeşitlerine farklı nanopartikül ve dozlarının uygulanmasıyla belirlenen radikula ağırlığı ile ilgili varyans analiz sonuçları Tablo 4.21’de, ortalama değer ise Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.21 Viyolde yürütülen denemenin radikula ağırlığı varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Radikula Ağırlığı				Radikula Ağırlığı			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				2,319				9,976**
Doz (D)	9	1,432	<b>1,043</b>	25,858**	1,278	1,392	10,235**	<b>5,0788**</b>	3,517**
Tekeürür	3								
NXD	18				0,973				2,969**
Hata	81								

\*istatistiki olarak %5’te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1’de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle isaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinin radikula ağırlığı üzerine uygulanan Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır (Tablo 4.21). 64 LC 108 çeşidine uygulanan Titanyum dioksit nanopartikül dozlarına göre radikula ağırlığı değerleri 0,02-0,10 g arasında değişiklik göstermiştir. 600 mg/l uygulamasında radikula ağırlığı (0,10 g) en yüksek, 1400 ve

1600 mg/l uygulamasında (0,02 g) en düşük radikula ağırlığı değeri belirlenmiştir (Tablo 4.22). 64 LP 130 çeşidinde ise yüksek radikula ağırlığı 400 mg/l uygulamasından (0,07 g), en düşük radikula ağırlığı ise 800 ve 1800 mg/l uygulamasından (0,02 mm) elde edilmiştir (Tablo 4.22).

Tablo 4.22'nin incelemesinden de görüleceği gibi, Bakır oksit nanopartikülün farklı dozlarda uygulanması neticesinde 64 LP 130 çeşidinde radikula ağırlığı yönünden oluşan farklılık  $p < 0,01$  ihtimal seviyesinde önemli, 64 LP 130 çeşidinde ise oluşan rakamsal farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.21). En yüksek radikula ağırlığı 64 LC 108 çeşidinde 400 mg/l uygulamasında (0,124 g) 64 LP 130 çeşidinde ise 600 mg/l uygulamasında (0,089 g) elde edilmiştir (Tablo 4.28). En düşük radikula ağırlığı değerleri ise 64 LC 108 çeşidinde 1400 mg/l uygulamasında (0,074 g) 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l'de 0,013 g olarak belirlenmiştir.

Radikula ağırlığı üzerine Çinko oksit nanopartikül dozları her iki çeşitte istatistiki olarak  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli etkide bulunmuştur (Tablo 4.21). Uygulanan nanopartikülün dozlarının radikula ağırlığı ortalamaları 64 LC 108 çeşidinde 0,011-0,133 g arasında, 64 LP 130 çeşidinde ise 0,009-0,061 g arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.22). Radikula ağırlığı yönünden Çinko oksit nanopartikül dozları içerisinde en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 600 mg/l, 64 LP 130 çeşidinde ise nanopartikül uygulanmayan kontrol grubundan elde edilmiştir (Tablo 4.22).

Tablo 4.22 incelendiğinde uygulanan nanopartiküller arasında (Titanyum dioksit, Çinko, Bakır oksit) 64 LC 108 yağlık ayçiçeği çeşidinde radikula ağırlığı bakımından istatistiki olarak önemli farklılığın olmadığı fakat 64 LP 130 çeşidinde  $p < 0,01$  ihtimal seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.22). Deneme faktörlerinin ortalaması olarak her iki çeşitte Bakır oksit nanopartikülü (sırasıyla 0,043; 0,034 g) Titanyum dioksit (sırasıyla 0,013; 0,017g) ve Çinko oksit (0,054 ve 0,03 g) nanopartiküllerinden en yüksek radikula ağırlığına sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.22). Radikula ağırlığının uygulanan nanopartiküllere göre farklı bulunması bitki hücrelerinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmesinden kaynaklanmış olabilir (Çetinkaya vd., 2024).

Tablo 4.22 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait radikula ağırlığı

Çeşit	Doz	Radikula Ağırlığı (g)			Ortalama
	(mg/L)	Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	<b>Kontrol</b>	0,07	0,811	0,079 bc	<b>0,321</b>
	<b>200</b>	0,06	0,117	0,060 cd	<b>0,080</b>
	<b>400</b>	0,03	0,124	0,099 ab	<b>0,088</b>
	<b>600</b>	0,10	0,110	0,133 a	<b>0,111</b>
	<b>800</b>	0,06	0,088	0,079 bc	<b>0,076</b>
	<b>1000</b>	0,04	0,103	0,052 d	<b>0,065</b>
	<b>1200</b>	0,03	0,085	0,024 e	<b>0,047</b>
	<b>1400</b>	0,02	0,074	0,013 e	<b>0,039</b>
	<b>1600</b>	0,02	0,085	0,011 e	<b>0,040</b>
	<b>1800</b>	0,03	0,102	0,012 e	<b>0,051</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0,00</b>	<b>0,171</b>	<b>0,054</b>	<b>0,092</b>
64LP130	<b>Kontrol</b>	0,05	0,038 cf	0,061 a	<b>0,05 ab</b>
	<b>200</b>	0,05	0,050 be	0,024 de	<b>0,0 ac</b>
	<b>400</b>	0,07	0,056 bd	0,020 de	<b>0,05 ab</b>
	<b>600</b>	0,04	0,089 a	0,046 b	<b>0,05 a</b>
	<b>800</b>	0,02	0,070 ac	0,044 bc	<b>0,04 ab</b>
	<b>1000</b>	0,03	0,075 ab	0,009 e	<b>0,03 bd</b>
	<b>1200</b>	0,06	0,031 df	0,030 cd	<b>0,04 ac</b>
	<b>1400</b>	0,04	0,020 ef	0,018 de	<b>0,02 cd</b>
	<b>1600</b>	0,03	0,033 df	0,018 de	<b>0,02 cd</b>
	<b>1800</b>	0,02	0,013 f	0,024 d	<b>0,01 d</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0,041 a</b>	<b>0,048 a</b>	<b>0,03 b</b>	<b>0,04</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır

Deneme faktörlerinin ortalaması olarak ayçiçeği bitkisinde radikula ağırlığı uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 0,321 g ortalama ile nanopartikül uygulanmayan kontrol grubundan tespit edilmiştir. Tablo 4.22 incelendiğinde görüleceği gibi kontrol grubuna göre dozlarındaki artışa bağlı olarak radikula ağırlığında düzensizde olsa bir azalış meydana gelmiş ve en düşük değer 0,039 g ve 0,040 g ile 1400 ve 1600 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. 64 LP 130 çeşidinde 64 LC 108 çeşidine nazaran farklı bir durum gözlemlenmiş olup, en düşük ve en yüksek radikula ağırlığı değerleri sırasıyla 1800 mg/l uygulamasından (0,01 g) ve 600 mg/l uygulamasından (0,05 g) elde edilmiştir. Nanopartiküllerin bitki metabolizması üzerine olumlu etki yaptığı (Giraldo vd., 2014) bildirilmiştir. Nanopartiküllerin özelliklerine bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve

fizyolojik farklılıklara yol açabilmektedirler. Fakat nanopartiküllerin bu etkisi nanopartikül özelliklerinin yanısıra etkili dozun belirlenmesi açısından oldukça önemlidir (Khodakovskaya vd., 2012). Birçok mikroorganizma ve hayvan hücrelerinde Gümüş nanopartiküller ile yapılan birçok araştırma olmasına rağmen bitkilerde bu konu hakkında yapılan sınırlı sayıda çalışma yapılmış (Krishnaraj vd., 2012; Monica ve Cremonini, 2009) ve nanopartiküllerin bitki büyümesi ve gelişmesi üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilerinin olduğu ifade edilmiştir. Bu sonuçlar nanopartiküllerin kompozisyonu, konsantrasyonu, boyutu fiziksel ve kimyasal özellikleri yanısıra bitki türlerine de bağlı olduğunu göstermektedir (Ma vd., 2010).

#### 4.3.4 Plumula Uzunluğu

Yağlık ayçiçeğine farklı nanopartikül dozları uygulanması ile elde edilen plumula uzunluğuna ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.23’de ortalama değerler ise Tablo 4.24’de verilmiştir.

Tablo 4.23 Viyolde yürütülen denemenin plumula uzunluğu varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Plumula Uzunluğu				Plumula Uzunluğu			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				34,772**				0,266
Doz (D)	9	0,892	3,257**	2,776**	1,409	0,892	0,855	1,091	0,749
Tekeürür	3								
NXD	18				2,792**				1,083
Hata	81								

\*istatistiki olarak %5’te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1’de önemli (P<0,01)

Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farksızdır.

Bitkinin gövde ve dal gelişimini etkileyen önemli bir unsur olan plumula uzunluğu son yıllarda nanoteknoloji ve biyoloji alanlarında oldukça yoğun ilgi çekmiştir. Bitkilerde fide dönemindeki gövde uzunluğu, sağlıklı ve kaliteli fide yetiştirmek için önemli bir parametredir. Gövde uzunluğu ile yaprak sayısı, gövde yaş ve kuru ağırlığı arasında önemli bir pozitif ilişki bulunmaktadır (Jini ve Joseph, 2017; Vazirimehr vd., 2014). Araştırmadan elde edilen verilerin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, plumula

uzunluğuna 64 LC 108 çeşidinde Bakır ve Çinko oksit nanopartiküllerinin etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.23).

Denemede farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulamalarına göre 64 LC 108 çeşidinde plumula uzunluğu en yüksek 140,57 mm ile 1200 mg/l Titanyum dioksit uygulamasında belirlenmiş olup, bunu 134,98 mm ile 1400 mg/l takip etmiştir. En düşük plumula uzunluğu ise 113,15 mm ile 800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Farklı dozlarda Titanyum dioksitin uygulanan 64 LP 130 çeşidinde plumula uzunluğunda belirlenen farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4.24). 64 LP 130 çeşidinde belirlenen plumula uzunluğu değerleri 150,56-173,29 mm arasında değişmiştir. Plumula uzunluğu 600 mg/l Titanyum dioksit uygulanmasında 173,29 mm ile en uzun; 1800 mg/l uygulamasında ise 150,56 mm ile en kısa olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.24).

Plumula uzunluğu yönünden farklı dozlarda Bakır oksit uygulamaları arasında oluşan farklılık istatistiksel olarak 64 LC 108 çeşidinde önemli 64 LP 130 çeşidinde ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.24). Farklı dozlarda Bakır oksit uygulanarak yağlık 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde belirlenen ortalama plumula uzunluğu 1200 mg/l uygulamasında (139,91 mm) ve kontrol grubunda (140,09 mm) en az olmasına rağmen, 1800 mg/l uygulamasında 181,28 mm ile en fazla olmuştur. Bu uygulamayı 1600 mg/l uygulaması (177,51 mm), 600 mg/l (175,10 mm) ve 200 mg/l (170,76 mm) takip etmiştir. Plumula uzunluğu üzerine 64 LP 130 çeşidinde farklı dozlarda Bakır oksit uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemsiz olmuştur (Tablo 4.24). Uygulanan farklı dozlarda Bakır oksitin plumula uzunluğu değeri ortalamaları 143,14-178,64 mm arasında değişmiştir. Plumula uzunluğu değerleri açısından Bakır oksit dozları içerisinde en yüksek değeri 178,64 mm ile 1600 mg/l uygulamasından elde edilirken, en düşük değeri 143,14 mm ile 1000 mg/l uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.24).

Tablo 4.24 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula uzunluğu

Çeşit	Doz (mg/L)	Plumula Uzunluğu (mm)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	<b>Kontrol</b>	130,04	140,09 c	170,68 a	<b>146,94</b>
	<b>200</b>	127,08	170,76 a	146,11ab	<b>147,99</b>
	<b>400</b>	119,44	156,17 ac	170,87 a	<b>148,83</b>
	<b>600</b>	116,44	175,10 a	164,46 a	<b>152,00</b>
	<b>800</b>	113,15	169,51 ab	165,85 a	<b>149,51</b>
	<b>1000</b>	132,41	158,51 ac	156,00 ab	<b>148,98</b>
	<b>1200</b>	140,57	139,91 c	154,59 ab	<b>145,03</b>
	<b>1400</b>	134,98	141,63 bc	112,49 b	<b>129,70</b>
	<b>1600</b>	133,24	177,51 a	147,61 ab	<b>152,79</b>
<b>1800</b>	122,43	181,28 a	146,55 ab	<b>150,09</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>126,97 b</b>	<b>161,053 a</b>	<b>153,524 a</b>	<b>147,19</b>
64LP130	<b>Kontrol</b>	159,05	174,82	151,07	<b>161,65</b>
	<b>200</b>	167,20	169,41	154,11	<b>163,57</b>
	<b>400</b>	158,77	168,08	159,32	<b>162,06</b>
	<b>600</b>	173,29	157,33	154,90	<b>161,84</b>
	<b>800</b>	153,05	154,98	156,26	<b>154,77</b>
	<b>1000</b>	153,48	143,14	155,07	<b>150,56</b>
	<b>1200</b>	165,37	158,64	170,57	<b>164,86</b>
	<b>1400</b>	163,85	163,02	160,74	<b>162,54</b>
	<b>1600</b>	161,95	178,64	151,75	<b>164,11</b>
<b>1800</b>	150,56	151,41	176,03	<b>159,33</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>160,66</b>	<b>161,95</b>	<b>158,98</b>	<b>160,53</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Uygulanan farklı dozlardaki Çinko oksit nanopartikülün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde elde edilen plumula uzunluğu değerleri sırasıyla 112,49-170,87 mm ve 151,07-176,03 mm arasında değişmiştir. 64 LC 108 çeşidinde en uzun plumula 400 mg/l Çinko oksit uygulamasında 170,87 mm olurken, 64 LP 130 çeşidinde en uzun plumula 1800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. En kısa plumula ise 64 LP 130 çeşidinde kontrol grubundan (151,07 mm), diğer çeşit olan 64 LC 108'de ise 1400 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir. 64 LC 108 çeşidinde Çinko nanopartikülün farklı dozlarının plumula uzunluğu üzerine etkisi Tablo 4.24'e göre istatistiki olarak önemli etkide bulunurken, 64 LP 130 çeşidinde etkisi önemsiz bulunmuştur. Araştırma sonucunda plumula uzunluğunun Çinko oksit dozlarına göre kararsız bir değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir

Tablo 4.24 incelendiğinde uygulanan nanopartiküller arasında (Titanyum dioksit, Çinko ve Bakır oksit) 64 LC 108 çeşidinde plumula uzunluğu bakımından istatistiki

olarak önemli farklılığın olduğu fakat 64 LP 130 çeşidinde ise farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Deneme faktörlerinin ortalaması olarak her iki çeşitte Bakır oksit nanopartikülü (sırasıyla 161,053 ve 161,95 mm) Titanyum dioksit (sırasıyla 126,97 ve 160,66 mm) ve Çinko oksit (sırasıyla 153,524 ve 158,98 mm) nanopartiküllerinden daha uzun plumulalara sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.24). Plumula uzunluğunun uygulanan nanopartiküllere göre farklı bulunması bitki hücresinin por genişliğine uyumlu nanopartikül boyutları bitkiye daha fazla etki etmekte olduğundan kaynaklanmış olabilir (Çetinkaya vd., 2024).

Deneme faktörlerinin ortalaması olarak ayçiçeği bitkisinde plumula uzunluğu uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 152,79 mm ile 1600 ve 150,09 mm ile 1800 mg/l dozlarında elde edilmiştir. Tablo 4.24 incelendiğinde görüleceği gibi kontrol grubuna göre dozlardaki artışa bağlı olarak plumula uzunluğunda düzensizde olsa bir artış meydana gelmiş ve en düşük değer 129,70 mm ile sırasıyla kontrol, 1400 mg/l dozundan elde edilmiştir. Uygulama dozları arasında oluşan bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. 64 LP 130 çeşidinde ise benzer bir durum söz konusu olup nanopartikül dozlarının plumula uzunluğu üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 4.23). En kısa ve en uzun plumula değerleri sırasıyla 1000 mg/l (150,56 mm) ve 1200 mg/l uygulamasından (164,86 mm) elde edilmiştir. Nanopartiküllerin bitki metabolizması üzerine olumlu etki yaptığı (Giraldo vd., 2014) bildirilmiştir. Nanopartiküllerin plumula uzunluğu üzerindeki etkisi, doğru türde ve miktarda kullanıldığında olumlu olabilir. (Derya, 2012). Benzer bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda nanopartikül uygulanmasının sürgün ve kök uzunluklarında olumlu etkilerin olduğu belirlenmiştir (Sumanth Krishna vd., 2017). Thomas vd., (2016), Çemen otu (*Trigonella foenum*)’da Ag-nanopartiküllerin’ nin kök uzunluğu, yaprak sayısı, taze ağırlığı ve sürgün uzunluğu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada 0,2 mg dozunun büyüme büyüme parametrelerini pozitif yönde etkilediğini bildirmiştir. Benzer şekilde sığırkuyruğu (*Verbascum olympicum*) üzerine yapılan çalışmada en uzun kökün düşük dozlarda CuO Np’lerinden elde ettiklerini, fakat yüksek konsantrasyonlarda ise plumula uzunluğunun arttığını bildirmişlerdir. Araştırma sonucunda nanopartiküllerin özelliklerine bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve fizyolojik farklılıklara yol açabildiklerini, fakat nanopartiküllerin bu etkisinin

uygulama dozuna önemli oranda bağlı olduğunu bildirmişlerdir (Khodakovskaya vd., 2012).

#### 4.3.5 Plumula Çapı

Yağlık ayçiçeğine farklı konsantrasyonlarda TiO<sub>2</sub>, CuO ve ZnO nanopartikül uygulamasıyla belirlenen plumula çapına ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.25’de ortalama değerler ise Tablo 4.26’da verilmiştir

Tablo 4.25 Viyolde yürütülen denemenin Plumula çapı varyans tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	64 LC108				64 LP 130			
		Plumula Çapı				Plumula Çapı			
		F Değerleri				F Değerleri			
		TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama	TiO <sub>2</sub>	CuO	ZnO	Ortalama
Nanopartikül (N)	2				5,757*				4,295*
Doz (D)	9	1,14	<b>0,486</b>	11,663**	1,713	3,835**	<b>1,0544</b>	4,168**	4,108**
Tekeürür	3								
NXD	18				2,547**				1,725
Hata	81								

\*istatistiki olarak %5’te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1’de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

Plumula çapı yönünden Titanyum dioksit nanopartikülü uygulamaları arasındaki farklılık 64 LP 108 çeşidinde istatistiksel olarak p<0,01 seviyesinde önemli iken 64 LC 108 çeşidinde önemsiz bulunmuştur. 64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının plumula çapı üzerine etkisi önemli olmamasına rağmen uygulama dozlarında kaydedilen plumula çapı değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. 64 LC 108 çeşidinde en yüksek ve en düşük sürgün çapı değerleri sırasıyla 1800 mg/l (2,420 mm) ve 1200 mg/l uygulamasından (1,835 mm) elde edilmiştir. Titanyum dioksitin farklı dozları uygulanan 64 LP 130 çeşidinde belirlenen plumula çapı değerleri 1,14-2,67 mm arasında değişiklik göstermiştir. Titanyum dioksitin 200 mg/l uygulandığı grubunda plumula çapı değeri en yüksek (2,67 mm), 1800 mg/l ve 1600 mg/l doz uygulanmasından ise (sırasıyla 1,14 ve 1,26 mm) en düşük olmuştur. Plumula çapı değerleri artan Titanyum dioksit dozlarına paralel olarak azaldığı belirlenmiştir. (Tablo 4.26).

Çalışmada kullanılan farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikülünden elde edilen plumula çapı değerleri Tablo 4.26'de verilmiştir. Tablo 4.26'da Bakır oksit nanopartikülünün farklı dozlarda uygulanması sonucunda 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde plumula çapı değerleri birbirine yakın olmuş ve uygulanan doz miktarlarına göre kararsız bir durum göstermişlerdir. Plumula çapı yönünden Bakır oksit nanopartikül dozlarının etkisi her iki çeşitte de istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 4.26). Farklı dozlar uygulanan ayçiçeği tohumlarında belirlenen plumula çapı değerleri 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde sırasıyla 1,915-2,307 ve 1,094-2,228 mm arasında değişiklik göstermiştir. 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı, en yüksek 1200 mg/l uygulamasında 600 ve 200 mg/l dozlarında ise en az olmuştur. Diğer çeşidimiz olan 64 LP 130'da ise kontrol grubu uygulamasında en yüksek (2,228 mm) 1800 mg/l uygulamasında ise (1,094 mm) en düşük olmuştur. Diğer uygulamalarda ise yüksek plumula çapı değeri elde edilmiş olup uygulama dozlarında kaydedilen plumula çapı değerleri birbirine yakın çıkmıştır (Tablo 4.26).

Uygulanan nanopartiküllerin her iki ayçiçeği çeşidinde plumula çapı üzerine etkisi  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli bulunmuştur (Tablo 4.25). Uygulanan nanopartiküllere göre plumula çapı değerleri 64 LC 108 çeşidinde en yüksek, Titanyum dioksit nanopartikül uygulamasında (2,235 mm) elde edilmiştir. En düşük plumula çapı değeri ise 1,927 mm ile Çinko oksit uygulamasında tespit edilmiştir. 64 LP 108 çeşidinde uygulanan nanopartiküllere göre en yüksek plumula çapı değeri 1,974 mm ile Çinko oksit uygulamasında, en düşük değer ise 1,731 mm ile Bakır oksit nanopartikülünden elde edilmiş olup bunu, 1,739 mm ile Titanyum dioksit nanopartikülü izlemiştir (Tablo 4.26).

Uygulanan nanopartiküllerin her iki ayçiçeği çeşidinde plumula çapı üzerine etkisi  $p < 0,01$  ihtimal sınırında önemli bulunmuştur (Tablo 4.25). Uygulanan nanopartiküllere göre plumula çapı değerleri 64 LC 108 çeşidinde en yüksek, Titanyum dioksit nanopartikül uygulamasında (2,235 mm) elde edilmiştir. En düşük plumula çapı değeri ise 1,927 mm ile Çinko oksit uygulamasında tespit edilmiştir. 64 LP 108 çeşidinde uygulanan nanopartiküllere göre en yüksek plumula çapı değeri 1,974 mm ile Çinko oksit uygulamasında, en düşük değer ise 1,731 mm ile Bakır oksit nanopartikülünden

elde edilmiş olup bunu, 1,739 mm ile Titanyum dioksit nanopartikülü izlemiştir (Tablo 4.26).

Tablo 4.26 Farklı dozlarda TiO<sub>2</sub>, CuO, ZnO nanopartikül uygulanan ayçiçeği genotipine ait plumula çapı

Çeşit	Doz (mg/L)	Plumula Çapı (mm)			Ortalama
		Titanyum	Bakır	Çinko	
64LC108	<b>Kontrol</b>	2,383	2,089	1,97 bc	<b>2,149</b>
	<b>200</b>	2,403	1,946	2,17 ab	<b>2,176</b>
	<b>400</b>	2,351	2,235	1,99 bc	<b>2,192</b>
	<b>600</b>	2,382	1,915	2,48 a	<b>2,261</b>
	<b>800</b>	2,179	1,968	2,26 ab	<b>2,137</b>
	<b>1000</b>	2,327	2,235	1,97 bc	<b>2,178</b>
	<b>1200</b>	1,835	2,307	2,03 bc	<b>2,059</b>
	<b>1400</b>	2,108	2,102	1,78 c	<b>1,998</b>
	<b>1600</b>	1,971	2,078	1,39 d	<b>1,816</b>
<b>1800</b>	2,420	2,283	1,18 d	<b>1,963</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>2,235 a</b>	<b>2,115 ab</b>	<b>1,927 b</b>	<b>2,093</b>
64LP130	<b>Kontrol</b>	2,02 ac	2,228	2,49 a	<b>2,24 a</b>
	<b>200</b>	2,67 a	1,848	2,26 ab	<b>2,26 a</b>
	<b>400</b>	2,13 ab	1,798	2,07 ab	<b>2,00 ab</b>
	<b>600</b>	1,55 bd	1,761	1,82 b	<b>1,71 bd</b>
	<b>800</b>	1,35 cd	2,015	2,03 ab	<b>1,80 bd</b>
	<b>1000</b>	1,55 bd	1,902	1,03 c	<b>1,49 d</b>
	<b>1200</b>	2,04 ac	1,538	2,18 ab	<b>1,92 ac</b>
	<b>1400</b>	1,64 bd	1,527	1,88 b	<b>1,68 bd</b>
	<b>1600</b>	1,26 d	1,596	1,87 b	<b>1,57 cd</b>
<b>1800</b>	1,14 d	1,094	2,06 ab	<b>1,43 d</b>	
<b>Ortalama</b>		<b>1,739 b</b>	<b>1,731 b</b>	<b>1,974 a</b>	<b>1,815</b>

\*istatistiki olarak %5'te önemli (P<0,05); \*\*istatistiki olarak %1'de önemli (P<0,01)  
Aynı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden farklıdır.

64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde plumula çapı uygulanan nanopartikül dozlarına göre değişmiş ve en yüksek plumula çapı 2,261 mm ile 600 mg/l uygulama dozunda tespit edilmiştir. En düşük plumula çapı ise Tablo 4.26'den anlaşılacağı üzere 1,816 mm ile 1600 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı değerleri her ne kadar artan nanopartikül dozlarına bağlı olarak düzensiz bir şekilde azalış göstermiş olsada uygulama dozları arasında meydana gelen farklılıkların istatistiki olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.25). 64 LP 130 çeşidinde ise farklı bir durum söz konusu olup, plumula çapı yönünden meydana gelen farklılık istatistiki olarak p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur. En düşük plumula çapı 1,43 ve 1,49 mm ile 1800 ve 1000 mg/l uygulamalarından elde edilmiştir. En yüksek plumula çapı değeri ise 2,26 mm ile 200 mg/l uygulamasından elde edilmiş olup, bunu 2,24 mm ile

nanopartikül uygulanmayan kontrol grubu takip etmiştir. Diğer uygulamalarda ise yüksek plüme çapı değeri elde edilmiş olup uygulama dozlarında kaydedilen çimlenme indeksi değeri birbirine yakın çıkmıştır (Tablo 4.25). Araştırma sonuçlarına göre metal oksit nanopartiküllerinin, bitkilerin büyüme ve gelişimi üzerinde farklı etkilere sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle sürgün gelişimi ve biyokütle oluşturma açısından indükleyici niteliktedir (Mohamed ve Kumar 2016). Metalik nanopartiküllerin inhibe edici özelliği, fizyolojik ve genetik bileşenleri etkilemesi ve daha yüksek konsantrasyonlarda ise toksisiteye neden olmasıyla ilişkilendirilmiştir (Rico vd., 2015, Tripathi vd., 2015). Nanopartiküllerin özelliklerine bağlı olarak bitkilerde morfolojik ve fizyolojik değişikliklere neden olan etkileri (Khodakovskaya vd., 2012), bu değişikliklerin olumlu veya olumsuz olabileceği konusunda uygulanan nanopartikülün çeşidine, yapısına ve konsantrasyonuna bağlı olduğu bildirilmiştir (Can ve Gürel 2023).

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tarımsal alanlarda son zamanlarda nanopartiküllerin kullanılmasının artması ile Ayçiçeği bitkisinin ıslahı, yağlık tohum üretimi ve yetiştirilmesinde bu tekniğin kullanılması ilgi çekici olmaya başladığı gözlemlenmiştir.

Yapılan bu tez araştırması 2024 yılında Kastamonu Üniversitesi Veterinerlik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde kontrol grubu ve 9 doz (200; 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/L) uygulanmıştır. Çalışma Titanyum dioksit, Bakır oksit ve Çinko oksit nanopartikülleri kullanılmıştır. Çalışmada; çimlenme oranı, çimlenme süresi, çimlenme indeksi, radikula uzunluğu, radikula çapı, radikula ağırlığı, plümula uzunluğu ve plümula çapı gibi parametreler ölçülmüştür.

### 5.1 Petri Kaplarında Yapılan Uygulamaya Ait Sonuçlar

Farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulanan 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşidinde ise en yüksek çimlenme oranı değeri kontrol, 200 mg/l ve 400 mg/l uygulamasında (%100) saptanmışken, en düşük çimlenme oranı ise 600 mg/l (%90) uygulama dozundan elde edilmiştir. Bakır oksit nanopartikül uygulamaları neticesinde 64 LC 108 çeşidinde En fazla çimlenme oranı değeri 200 mg/l ve 1400 mg/l (%100) uygulamasında belirlenirken, en düşük çimlenme oranı 1800 mg/l (%83,33) 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek çimlenme oranı 200; 600; 800; 1200 ve 1800 mg/l uygulamalarından (%100) en düşük çimlenme oranı ise Kontrol, 200, 600, 800, 1200 mg/l ve 1800 mg/l uygulamalarından (%96,67) elde edilmiştir. Uygulanan farklı dozlardaki Çinko nanopartikülün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde elde edilen çimlenme oranı değerleri sırasıyla %93,33-100 arasında değişmiştir. En fazla çimlenme oranı 64 LC 108 çeşidinde 800 mg/l uygulamasından, 64 LP 130 çeşidinde ise 200; 800; 1400 ve 1800 mg/l uygulamalarında belirlenirken, en düşük çimlenme oranına sahip olan uygulama 64 LC 108 çeşidinde 200 mg/l'de, 64 LP 130 genotipinde ise 600 mg/l uygulamasında belirlenmiştir.

Titanyum dioksit nanopartikülünün farklı dozlarının 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine uygulanması sonucunda elde edilen en yüksek çimlenme süresi 1000 mg/l doz uygulamasında (4,92) elde edilmişken, farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulanan 64 LP 30 çeşidinde ise en uzun çimlenme süresi kontrol uygulamasından (3,16 gün), en kısa çimlenme süresi ise 2,23 gün ile 1000 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir. Ayçiçeği çeşitlerine farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikül uygulamaları sonucunda 64 LC 108 çeşidinde elde edilen çimlenme süresi değerleri 4,10-4,68 gün arasında değişiklik göstermiştir. En uzun çimlenme süresi 1000 mg/l (4,68 gün) uygulamasında belirlenmişken, en kısa çimlenme süresi kontrol grubu (4,13 gün) Bakır oksit uygulamasından elde edilmiştir. Diğer bir çeşidimiz olan 64 LP 130'da benzer bir durum söz konusu olup, farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikül uygulamalarının çimlenme süresi üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 4.3). Tablo 4.4 deki verilere göre en uzun çimlenme süresine sahip uygulama 600 mg/l (3,01 gün) olurken, 200 mg/l Bakır oksit uygulamasında çimlenme süresi 2,56 gün ile en kısa çimlenme süresine sahip uygulama olmuştur. Uygulanan farklı dozlarda Çinko nanopartikülünün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde çimlenme süresi değerleri sırasıyla 2,64-3,03 ve 2,40- 3,10 gün arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek çimlenme süresi 64 LC 108 genotipinde 400 mg/l uygulamasında, 64 LP 130 çeşidinde ise kontrol grubu (3,10 gün) uygulamasında belirlenmiştir. En düşük çimlenme süresi ise sırasıyla 1800 mg/l (2,64 gün) ve 1600 mg/l doz (2,45 gün) uygulamasında belirlenmiştir.

Çimlenme indeksi yönünden Titanyum dioksitin uygulanmadığı kontrol grubunda çimlenme indeksi en fazla 1000 mg/l doz uygulanmasında ise en az olmuştur. Çimlenme indeksi artan Titanyum dioksit dozlarına paralel olarak azalmıştır. Farklı dozlarda uygulanan Bakır oksit nanopartikülünün ayçiçeği tohumlarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde sırasıyla %8,04-10,18 ve %12,48-14,26 arasında değişiklik göstermiştir. 64 LC 108 çeşidinde çimlenme indeksi, en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l uygulamasında en az, 1400 mg/l uygulamasında ise fazla olmuştur. Diğer çeşidimiz olan 64 LP 130'da ise 800 mg/l uygulamasında en az (%12,48), 400 mg/l uygulamasında ise (%14,26) en yüksek olmuştur. Çinko oksit nanopartikülünün farklı dozlarda uygulanması 1200 mg/l dozunda en yüksek olmuştur. En düşük değer ise 400 mg/l dozunda belirlenmiştir. 64

LP 130 çeşidinin en düşük değeri kontrol grubu en yüksek değeri ise 1600 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir.

64 LC 108 ayçiçeği çeşidine farklı dozlarda uygulanan Titanyum dioksit nanopartikülü içinde en yüksek radikula uzunluğu değeri 1600 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulanan 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek radikula uzunluğu değeri 1600 mg/l uygulamasında saptanmışken, en düşük radikula uzunluğu ise 1000 mg/l ve 200 mg/l uygulama dozlarından elde edilmiştir. Ayçiçeği çeşitlerine farklı dozlarda Bakır oksit nanopartikül uygulamaları neticesinde 64 LC 108 çeşidinde elde edilen radikula uzunluğu değerleri 26,48-72,36 mm arasında değişmiştir. En fazla radikula uzunluğu değeri 600 mg/l uygulamasında belirlenirken, en düşük radikula uzunluğu 200 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek radikula uzunluğu 1400 mg/l uygulamasından en düşük radikula uzunluğu ise 1200 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Uygulanan farklı dozlardaki Çinko nanopartikülün 64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinde elde edilen radikula uzunluğu değerleri sırasıyla 16,62-55,5 mm ve 25,97-88,27 mm arasında değişmiştir. En fazla radikula uzunluğu 64 LC 108 çeşidinde 1400 mg/l uygulamasından, 64 LP 130 çeşidinde ise 1800 mg/l uygulamasında belirlenirken, en düşük radikula uzunluğuna sahip olan uygulama 64 LC 108 çeşidinde 200 mg/l 'de, 64 LP 130 genotipinde ise 400 mg/l uygulamasında belirlenmiştir.

Nanopartikül doz uygulamaları 64 LC 108 çeşidinde radikula çapını önemli derecede etkilemişken 64 LP 130 çeşidinde farklı dozlarada nanopartikül uygulamasının radikula çapı üzerine etkisi önemsiz olmuştur. 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde en yüksek sap çapı sırasıyla 200 ve 400 mg/l uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.9'daki varyans analiz sonuçlarına göre Bakır dioksit nanaopartikül uygulaması her iki genotipte radikula çapı üzerine önemli etkide bulunurken, Titanyum dioksit ve Çinko oksit nanopartül uygulamalarının sap çapı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Titanyum dioksit uygulanan 64 LC 108 çeşidinde en yüksek radikula çapı 0,756 mm ile 200 mg/l (0,756 mm), Bakır oksit nanapartikül uygulamasında 1200 mg/l (0,016 mm), Çinko nanopartikül uygulamasında ise 600 mg/l (0,415 mm) dozundan elde edilmiştir. En düşük radikula çapı ise Titanyum

dioksit ve Bakır oksitte'de 600 mg/l ve 1000 mg/l dozundan (sırasıyla 0,159 ve 0,16 mm), Çinko oksit uygulamasında 400 mg/l (0,119 mm) uygulamasından elde edilmiştir. Araştırmada incelenen ve diğer bir çeşit olan 64 LP 130'da ise en yüksek radikula çapı Titanyum dioksit nanopartikülünde 400 mg/l (0,454 mm) dozunda, Bakır ve Çinko oksit nanopartiküllerinde ise 1000 mg/l uygulama dozundan (sırasıyla 0,58 mm ve 0,731 mm) elde edilmiştir. En düşük radikula çapı değerleri ise Titanyum uygulamasında 1800 mg/l (0,071 mm), Bakır oksit uygulamasında 400 mg/l (0,115 mm) ve Çinko oksit uygulamasında (0,060 mm) kontrol grubundan elde edildiği görülmektedir.

64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinin radikula ağırlığı üzerine uygulanan Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. 64 LC 108 çeşidine hiç nanopartikül uygulanmayan kontrol uygulamasında radikula ağırlığı en yüksek, 200 mg/l uygulamasında en düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.12). 64 LP 130 çeşidinde ise yüksek radikula ağırlığı 600 mg/l uygulamasından, en düşük radikula ağırlığı ise 1000 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Bakır oksit nanopartikülün farklı dozlarda uygulanması neticesinde her iki çeşitte de radikula ağırlığı yönünden oluşan farklılık  $p < 0,01$  ihtimal seviyesinde önemli bulunmuştur. Radikula ağırlığı 64 LC 108 çeşidinde 1600 mg/l uygulamasında 64 LP 130 çeşidinde ise 600 mg/l uygulamasında elde edilmiştir En düşük radikula ağırlığı değerleri ise 64 LC 108 çeşidinde 1000 mg/l uygulamasında 64 LP 130 çeşidinde ise 400 mg/l'de olarak belirlenmiştir. Radikula ağırlığı üzerine Çinko oksit nanopartikül dozları 64 LC 108 çeşidinde istatistiki olarak önemli etkide bulunurken, 64 LP 130 çeşidinde radikula ağırlığı üzerine etkisi önemsiz olmuştur. Radikula ağırlığı yönünden Çinko oksit nanopartikül dozları içerisinde en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 1400 mg/l, 64 LP 130 çeşidinde ise 600 mg/l uygulamasından elde edilmiştir.

Denemede farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulamalarına göre 64 LC 108 çeşidinde plumula uzunluğu en yüksek 1600 mg/l Titanyum dioksit uygulamasında belirlenmiştir. En düşük plumula uzunluğu ise kontrol uygulamasından elde edilmiştir. 64 LP 130 çeşidinde plumula uzunluğu 1600 mg/l Titanyum dioksit uygulanmasında en uzun; 1000 mg/l uygulamasında ise en kısa olduğu tespit edilmiştir.

Plumula uzunluğu yönünden farklı dozlarda Bakır oksit uygulamaları arasında oluşan farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Farklı dozlarda Bakır oksit uygulanarak yağlık 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde belirlenen ortalama plumula uzunluğu 800 mg/L'de en az olmasına rağmen, en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l uygulamasında en fazla değeri vermiştir. Uygulanan farklı dozlarda Bakır oksitin plumula uzunluğu değeri ortalamaları 28,44-48,71 mm arasında değişmiştir. Plumula uzunluğu değerleri açısından Bakır oksit dozları içerisinde en yüksek değeri 800 mg/l uygulamasından elde edilirken, en düşük değeri 1600 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. 64 LC 108 çeşidinde en uzun plumula 1000 mg/l Çinko oksit uygulamasında, 64 LP 130 çeşidinde en uzun plumula 800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. En kısa sürgünler ise 64 LC 108 çeşidinde ve diğer çeşit olan 64 LP 130'da 1600 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir.

Plumula çapı yönünden Titanyum dioksit nanopartikülü uygulamaları arasındaki farklılık 64 LC 108 çeşidinde istatistiksel olarak  $p < 0,01$  seviyesinde önemli, 64 LP 130 çeşidinde ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Titanyum dioksitin 200 mg/l uygulandığı grubunda plumula çapı değeri 1000; 1400; 1600 ve 1800 mg/l doz uygulanmasında ise en yüksek olmuştur. 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek plumula çapı en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Söz konusu çeşitte en düşük plumula çapı değeri ise 200 ve 600 mg/l uygulama dozlarından elde edilmiştir. 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı, en yüksek uygulama dozu olan 800 mg/l uygulamasında en az, 1000 ve 1600 mg/l uygulamasında ise fazla olmuştur. Diğer çeşidimiz olan 64 LP 130'da ise Kontrol grubu uygulamasında en az 1800 mg/l uygulamasında ise en yüksek olmuştur. Tablo 4.16'da Çinko oksit nanopartikülünün farklı dozlarda uygulanması sonucunda 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı değerleri birbirine yakın olmuş ve uygulanan doz miktarlarına göre kararsız bir durum göstermişlerdir. Ancak plumula çapı 800 mg/l dozunda en yüksek, olmuştur. En düşük değeri ise 400 mg/l dozunda belirlenmiştir. 64 LP 130 çeşidinde ise tersi bir durum söz konusu olup en düşük değeri en fazla doz uygulaması olan 1800 mg/l uygulama grubundan en yüksek değeri ise 1600 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir.

## 5.2 Viyolerde Yapılan Uygulamaya Ait Sonuçlar

64 LC 108 ayçiçeği çeşidi ve Titanyum dioksit nanopartikül arasında radikula uzunluğu bakımından istatistiki olarak önemlilik belirlenmemiştir. Titanyum dioksit dozları arasında oluşan rakamsal farklılıklar dikkate alındığında, uygulama dozlarına göre radikula uzunluğu en fazla kontrol grubunda en az 1600 mg/l doz uygulamasında elde edilmiştir. 64 LP 130 yağlık ayçiçeği radikula uzunluğu en az 1600 mg/l uygulamasında en fazla ise kontrol grubu uygulamasında tespit edilmiştir. 64 LC 108 yağlık ayçiçeği çeşidinde en uzun radikula 1200 mg/l uygulamasında, en kısa radikula uzunluğu 1400 mg/l uygulamasında olmuştur. 64 LC 130 çeşidinde ise 1800 mg/l Bakır oksit uygulaması yapılan grupta belirlenen radikula uzunluğu en kısa olarak bulunmuştur. Farklı dozlarda Çinko oksit nanopartikülünde, 1600 mg/l ve 1800 mg/l uygulamalarında radikula uzunluğu en kısa, 600 mg/l grubunda en yüksek olmuştur. Farklı konsantrasyonlarda Çinko oksit nanopartikülünde 1000 mg/l, 1400 mg/l ve 1800 mg/l uygulamalarında radikula uzunluğu en kısa 51,57 mm ile nanopartikül uygulanmayan kontrol grubunda en yüksek olmuştur.

64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde Titanyum dioksit dozları arasında oluşan rakamsal farklılıklar dikkate alındığında, uygulama dozlarına göre radikula çapı en fazla 600 mg/l kontrol grubunda, en az 200 mg/l doz uygulamasında elde edilmiştir. 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşidinde radikula uzunluğu en az 1800 mg/l uygulamasında en fazla ise kontrol grubu uygulamasından tespit edilmiştir. 64 LC yağlık ayçiçeği çeşidinde en uzun radikula 1200 mg/l uygulamasında olurken, en kısa radikula uzunluğu 800 mg/l uygulamasın elde edilmiştir. 64 LC 130 çeşidinde Bakır oksitin 200 mg/l uygulandığı grubunda radikula uzunluğu değeri en yüksek Kontrol, 400; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 ve 1800 mg/l doz uygulanmasında en düşük olmuştur. Farklı dozlarda uygulanan Çinko oksit nanopartikülü ile yapılan 64 LC 108 ayçiçeği çeşidine uygulanan Çinko oksit nanopartikülünde, 1800 mg/l uygulamasında radikula uzunluğu en kısa, 1400 mg/l uygulamasında en yüksek olmuştur. 64 LP 130 yağlık ayçiçeği çeşitlerinde radikula uzunluğu değeri 0,15-2,58 mm arasında değişiklik göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda Çinko oksit nanopartikülünde 1600 mg/l uygulamasında radikula uzunluğu en kısa, 1200mg/l grubunda en yüksek olmuştur.

64 LC 108 ve 64 LP 130 ayçiçeği çeşitlerinin radikula ağırlığı üzerine uygulanan Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının etkisi istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. 64 LC 108 çeşidinde uygulanan Titanyum dioksit nanopartikül dozlarına göre radikula ağırlığı 600 mg/l uygulamasında en yüksek, 1400 mg/l ve 1600 mg/l uygulamasında en düşük radikula ağırlığı değeri belirlenmiştir. 64 LP 130 çeşidinde ise yüksek radikula ağırlığı 400 mg/l uygulamasından en düşük radikula ağırlığı ise 800 mg/l ve 1800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir.

Bakır oksit nanopartikülün farklı dozlarda uygulanması neticesinde en yüksek radikula ağırlığı 64 LC 108 çeşidinde kontrol grubunda 64 LP 130 çeşidinde ise 600 mg/l uygulamasında elde edilmiştir. En düşük radikula ağırlığı değerleri ise 64 LC 108 çeşidinde 1400 mg/l uygulamasında 64 LP 130 çeşidinde ise en yüksek uygulama dozu olan 1800 mg/l'de belirlenmiştir. Uygulanan nanopartikülün dozlarının radikula ağırlığı ortalamaları 64 LC 108 çeşidinde 0,011-0,133 g arasında, 64 LP 130 çeşidinde ise 0,009-0,061 g arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 4.22). Radikula ağırlığı yönünden Çinko oksit nanopartikül dozları içerisinde en yüksek değer 64 LC 108 çeşidinde 600 mg/l, 64 LP 130 çeşidinde ise nanopartikül uygulanmayan kontrol grubundan elde edilmiştir.

Denemede farklı dozlarda Titanyum dioksit uygulamalarına göre 64 LC 108 çeşidinde plumula uzunluğu en yüksek 1200 mg/l Titanyum dioksit uygulamasında belirlenmiş olup, bunu 1400 mg/l takip etmiştir. En düşük plumula uzunluğu ise 800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. 64 LP 130 çeşidinde plumula uzunluğu 600 mg/l Titanyum dioksit uygulanmasında en uzun; 800 mg/l uygulamasında ise en kısa olduğu tespit edilmiştir.

Farklı dozlarda Bakır oksit uygulanarak yağlık 64 LC 108 ayçiçeği çeşidinde belirlenen ortalama plumula uzunluğu 1200 mg/l uygulamasında ve kontrol grubunda en az olmasına rağmen, 1800 mg/l uygulamasında en fazla olmuştur. 64 LP 130 çeşidinde uygulanan farklı dozlarda Bakır oksitin plumula uzunluğu değeri ortalamaları 143,14-178,64 mm arasında değişmiştir. Plumula uzunluğu değerleri açısından Bakır oksit dozları içerisinde en yüksek değer 1600 mg/l uygulamasından elde edilirken, en düşük değer 1000 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Uygulanan

farklı dozlardaki Çinko nanopartikülün 64 LC 108 çeşidinde en uzun plumula 400 mg/l Çinko oksit uygulamasında, 64 LP 130 çeşidinde en uzun plumula 1800 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. En kısa plumula ise 64 LP 130 çeşidinde Kontrol grubundan diğer çeşit olan 64 LC 108’de ise 1400 mg/l uygulama dozundan elde edilmiştir. Araştırma sonucunda plumula uzunluğunun Çinko oksit dozlarına göre kararsız bir değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

64 LC 108 çeşidinde Titanyum dioksit nanopartikül dozlarının plumula çapı üzerine etkisi önemli olmamasına rağmen uygulama dozlarında kaydedilen plumula çapı değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. 64 LC 108 çeşidinde en yüksek ve en düşük plumula çapı değerleri sırasıyla 1800 mg/l ve 600 mg/l uygulamasından elde edilmiştir. Titanyum dioksitin 200 mg/l uygulandığı grubunda plumula çapı değeri en yüksek 1800 mg/l ve 1600 mg/l doz uygulanmasından ise en düşük olmuştur. Bakır oksit nanopartikülünün farklı dozlarda uygulanması sonucunda 64 LC 108 ve 64 LP 130 çeşitlerinde plumula çapı değerleri birbirine yakın olmuş ve uygulanan doz miktarlarına göre kararsız bir durum göstermişlerdir. 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı, en yüksek 1200 mg/l uygulamasında elde edilirken, 600 mg/l ve 200 mg/l dozlarında ise en az olmuştur. Diğer çeşidimiz olan 64 LP 130’da ise Kontrol grubu uygulamasında en yüksek 1800 mg/l uygulamasında ise en düşük olmuştur. Çinko oksit nanopartikülünün farklı dozlarda uygulanması sonucunda her iki çeşitte plumula çapı değerleri arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir. 64 LC 108 çeşidinde plumula çapı 600 mg/l dozunda en yüksek olmuştur. En düşük değer ise 1800 mg/l dozunda belirlenmiştir. 64 LP 130 çeşidinde ise en düşük değer 1000 mg/l dozunda en yüksek değer ise nanopartikül uygulanmayan kontrol grubundan elde edilmiştir.

Yağlık Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) besin zincirinde önemli bir konuma sahiptir. İnsanların yağ ihtiyacını büyük oranda karşılamaktadır. Ayçiçeği bitkisi böylesi önemli özellikleri nedeniyle klasik ve modern ıslah çalışmalarında yoğun olarak tercih edilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarında stratejik öneme sahip ayçiçeği bitkisi üzerine NP’in etkisinin yeterince araştırılmadığı, ayrıca Çinko oksit ve Bakır oksit nanopartiküllerinin kullanılmadığı tespit edilmiştir.

Yağlık ayçiçeği tohumlarında Çinko oksit, Bakır oksit ve Titanyum dioksit nanopartiküllerin etkilerinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen veriler bir ön değerlendirme niteliğinde olup, söz konusu çalışmanın farklı ve yaygın nanopartikül türlerinin sık ve yakın dozları kullanılarak tekrarlanması önem arz etmektedir. Bu çalışmaya benzer araştırmaların diğer endüstri bitkileri için yapılması sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda söz konusu çalışmanın moleküler genetik yöntemlerden yararlanılarak daha kapsamlı olarak etkilerini ortaya koyan nitelikte yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda stres koşulları sağlayan nanopartiküllerin çeşitlerin sebep olduğu fizyolojik etkilerin de ortaya konulması gerekli olup, ıslah amaçlı çalışmalara dahil edilmesi açısından çok yararlı olacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Aleksandrowicz-Trzcińska, M., Bederska-Błaszczak, M., Szaniawski, A., Olchowik, J., & Studnicki, M. (2019). The effects of copper and silver nanoparticles on container-grown Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings. *Forests*, 10(3): 269. <https://doi.org/10.3390/f10030269>
- Anand, A., Kumari, A., Thakur, M., & Koul, A. (2019). Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds. *Scientific reports*, 9(1), 8814.
- Anonim, 2004 <http://faostat.fao.org/site/567/default.asp>
- Anonymous (2011). <[http://en.wikipedia.org/wiki/Sunflower\\_oil](http://en.wikipedia.org/wiki/Sunflower_oil)>, retrieved 22 February 2011.
- Arıoğlu H. (2007). Adana: Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. ÇÜ Ziraat Fakültesi Yayınları 2007: NO 2045,37-43.
- Asztemborska, M., Steborowski, R., Kowalska, J., & Bystrzejewska-Piotrowska. G. (2015), *Water, Air, and Soil Pollution*, 226, (4).
- Azura, M. N., Zamri, I., Rashid, M. R., Shahrin, G. M., Rafidah, A. R., Rejab, I. M., & Amyita, W. U. (2017). Evaluation of nanoparticles for promoting seed germination and growth rate in MR263 and MR269 paddy seeds. *Journal Tropical Agricultural Food Science*, 45: 13-24.
- Balcı, G. N., & Dağhan, H. (2023). Çinko Oksit Nanopartikül Uygulamasının Makarnalık Buğdayın Büyüme ve Çinko Alımı Üzerine Etkileri. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 8(Özel Sayı), 907-923. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10003026>.
- Can, B., & Güler, A. (2023). Nanopartiküllerin Bitki Sistemlerinde ve Bitki Doku Kültürlerinde Uygulamalarına Yönelik Genel Bir Bakış. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 6(3): p. 335-370.
- Chen, Y., Wang, F., Duan, L., Yang, H., & Gao, J. (2016). Tetracycline adsorption onto rice husk ash, an agricultural waste: Its kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 222, 487-494.
- Chichiriccò, G. & Poma, A., (2015). Penetration and toxicity of nanomaterials in higher plants, *Nanomaterials*, 5 (2), 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.

- De la Rosa, G., López-Moreno, M. L., de Haro, D., Botez, C. E., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2013). Effects of ZnO nanoparticles in alfalfa, tomato, and cucumber at the germination stage: root development and X-ray absorption spectroscopy studies. *Pure and Applied Chemistry* 4th, 85(12), 2161-2174.
- Demirbilek, E., (2015). Tarimda ve Gidada Nanoteknoloji, *Journal of Food and Feed Science – Technology*, 15, 46-53
- Derya, S. (2012). Bazı Ağır Metallerin *Verbascum olympicum* Boiss. (scrophulariaceae) Türünün Tohum Çimlenmesi Üzerinde Etkileri, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Dinler, B. S., Cetinkaya, H., Koc, F. N., Gül, V., & Sefaoğlu, F. (2024). Effects of titanium dioxide nanoparticles against salt and heat stress in safflower cultivars. *Acta Botanica Brasilica*, 38, e20230136.
- Doğaroğlu, Z. G., & Köleli, N. (2016). Titanyum dioksit ve titanyum dioksit-gümüş nanopartiküllerinin marul (*Lactuca sativa*) tohumunun çimlenmesine etkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 31(ÖS 2), 193-198.
- Doğaroğlu, Z., & Köleli, N. (2014). Titanyum dioksit nanopartikülünün buğday çimlenmesine etkisi. Akademik Platform. ISITES 2014, 1283-1288. Karabük
- Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J. & Guo, H., 2011, TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil, *Journal of Environmental Monitoring*, 13 (4), 822-828.
- Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J., & Guo, H. (2010). TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. *Journal Environmental Monitoring*.13, 882.
- Eggenberger, K., Birtalan, E., Schröder, T., Bräse, S., & Nick, P. (2009). Passage of Trojan peptoids into plant cells. *Chembiochemistry*, 10(15), 2504–2512.
- Ekman Nilsson, A., Macias Aragonés, M., Arroyo Torralvo, F., Dunon, V., Angel, H., Komnitsas, K., & Willquist, K. (2017). A review of the carbon footprint of Cu and Zn production from primary and secondary sources. *Minerals*, 7(9), 168.
- Elhaj Baddar, Z., & Unrine, J. M. (2021). Effects of Soil pH and Coatings on the Efficacy of Polymer coated ZnO Nanoparticulate fertilizers in Wheat (*Triticum aestivum*). *Environmental Science & Technology*, 55(20), 13532-13540.
- El-Saadony MT, Desoky ESM, Saad AM, Eid RS, Selem E, & Elrys AS. (2021). Biological silicon nanoparticles improve *Phaseolus vulgaris* L. yield and minimize its contaminant contents on a heavy metals-contaminated saline soil. *Journal of Environmental Sciences* 106: 1-14.

- El-Trass, A., ElShamy, H., El-Mehasseb, I., & El-Kemary, M. (2012). CuO nanoparticles: synthesis, characterization, optical properties and interaction with amino acids. *Applied Surface Science*, 258(7), 2997-3001.
- Fa, W., Yang, C., Gong, C., Peng, T., & Zan, L. (2010). Enhanced photodegradation efficiency of polyethylene-TiO<sub>2</sub> nanocomposite film with oxidized polyethylene wax. *Journal of applied polymer science*, 118(1), 378-384.
- Ferman, A. K., & Jaber, G. S. Preparation of ZnO Nanoparticles and study their characteristics.
- Fleisher, D., Li, C., Zhou, Y., Pao, L. H., & Karim, A. (1999). Drug, meal and formulation interactions influencing drug absorption after oral administration: clinical implications. *Clinical pharmacokinetics*, 36, 233-254.
- Ghodake, G., & Lee, D. S. (2011). Green synthesis of gold nanostructures using pear extract as effective reducing and coordinating agent. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28, 2329-2335.
- Ghormade, V., Deshpande, M. V., & Paknikar, K. M. (2011). Perspectives for nano biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, 29, 792–803.
- Giraldo, L., & Moreno-Pirajan, J. C. (2014). Activated carbon prepared from orange peels coated with titanium oxide nanoparticles: Characterization and applications in the decomposition of NO<sub>x</sub>. *Oriental Journal of Chemistry*, 30(2), 451.
- 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. ISBN 9780824794699, 382
- Guha T, Ravikumar KVG, Mukherjee A, Mukherjee A, & Kundu R. (2018). Nanoprimering with zero valent iron (nZVI) enhances germination and growth in aromatic rice cultivar (*Oryza sativa* cv. Gobindabhog L.). *Plant Physiology and Biochemistry* 127: 403-413.
- Guo, H., Liu, Y., Chen, J., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2022). The effects of several metal nanoparticles on seed germination and seedling growth: a meta-analysis. *Coatings*, 12(2), 183.
- Gupta, A., Avci, P., Sadasivam, M., Chandran, R., Parizotto, N., Vecchio, D., ... & Hamblin, M. R. (2013). Shining light on nanotechnology to help repair and regeneration. *Biotechnology advances*, 31(5), 607-631.
- Hao, Y., Zhang, Z.T., Rui, Y.K., Ren, J.Y., Hou, T.Q., Wu, S.J., Rui, M.M., Jiang, F.P., & Liu, L.M. (2016). Effect of different nanoparticles on seed germination and seedling growth in rice. In *Proceedings of the 2nd Annual International*

- Conference on Advanced Material Engineering, AME 2016, Wuhan, China, 15–17 April 2016; Atlantis Press: Paris, France, 166–173.
- Harris, H.C., McWilliam J.R., & Mason, W.K. (1978). Influence of temperature on oil content and composition of sunflower seed. *Aust. J. Agric. Res.*, 29, 1203- 212.
- Hong, R, Pan, T, Qian, J. & Li, H. (2006) Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 119; 71–81.
- Inoka and Nilanthi Dahanayake, Effect of plant growth regulators on micro propagation of sunflower (*Helianthus annuus L.*) *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2015. 5(1):ISSN 2250-3153.
- Jini, D., & Joseph, B. (2017). Salicylic acid mediated salt tolerance at different growth stages of *Oryza sativa L.* and its effect on salicylic acid biosynthetic pathway genes. *Biotechnol Ind J*, 13(2), 134.
- Kayahan, N., (1975). Türkiye’de bitkisel yağ açığı nedenleri ve çözüm yolları. *Zir. Müh. Der.*, 103, 19-24.
- Khan, M., Tahir, M. N., Adil, S. F., Khan, H. U., Siddiqui, M. R. H., Al-Warthan, A. A., & Tremel, W. (2015). Graphene based metal and metal oxide nanocomposites: synthesis, properties and their applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(37), 18753-18808.
- Khattak, A., Iqbal, M. & Amin, M. (2017). Aging analysis of high voltage silicone rubber/silica nanocomposites under accelerated weathering conditions. *Science and Engineering of Composite Materials*, 24(5), 679-689. <https://doi.org/10.1515/secm-2015-0327>
- Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., & Biris, A.S., (2009). Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth, *ACS Nano*, 3 (10), 3221-3227.
- Khodakovskaya, M., De Silva, K., Biris, A., Dervishi, E. & Villagarcia, H. (2012). Carbon Nanotubes Induce Growth Enhancement of Tobacco Cells. *ACS nano*. 6. 2128-35. 10.1021/nn204643g.
- Khot, L. R., Sankaran, S., Maja, J. M., Ehsani, R., & Schuster, E. W. (2012). Applications of Nanomaterials in Agricultural Production and Crop Protection: A Review, *Crop Protection*, 35: 64-70.
- Kolsarıcı Ö., vd. (1995). Ankara : Yağlı Tohumlu bitkilerin üretim projeksiyonları ve üretim hedefleri IV. Teknik tarım kongresi bildiri kitabı, 1995. cilt.1, 467-483.
- Krishna, M. S., Rai, P. K., & Bara, B. M. (2017). Studies on effect of polymer seed coating, nanoparticles and hydro priming on seedling characters of Chickpea (*Cicer arietinum L.*) seed. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 489-492.

- Krishnaraj, C., Jagan, E. G., Ramachandran, R., Abirami, S. M., Mohan, N., Kalaichelvan, P. T. (2012). Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. plant growth metabolism. *Process biochemistry*, 47(4), 651-658.
- Kumar Mittal A., Chisti, Y., & Chand, U., (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31(2), 346–356.
- Lahaye, L., vd. (2004). Technological processes of feed manufacturing affect protein endogenous losses and amino acid availability for body protein deposition in pigs. *Animal Feed Science and Technology*., 2004. 113:141–156.
- Lateef, A., Folarin, BI., Oladejo, SM., Akinola, P.O., Beukes, L.S., & Gueguim-Kana, EB. (2018). Characterization, antimicrobial, antioxidant, and anticoagulant activities of silver nanoparticles synthesized from *Petiveria alliacea* L. leaf extract. *Preparative Biochemistry and Biotechnology* 48: 646-652.
- Lei, Z., Zhang, L., & Wei, X. (2008). One-step synthesis of silver nanoparticles by sonication or heating using amphiphilic block copolymer as templates. *Journal of colloid and interface science*, 324(1-2), 216-219.
- Lin, D., & Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth, *Environmental Pollution*., 150 (2), 243-250.
- Liu, L.I., Cao, Y., Guo, Q., & Zhu, Z. (2021). Nanosized Titanium dioxide seed priming enhances salt tolerance of an ornamental and medicinal plant *Paeonia Suffruticosa*. *Pakistan Journal of Botany* 53: 1167-1175.
- Liu, Q., Zhang, Y., Peng, C. S., Yang, T., Joubert, L. M., & Chu, S. (2018). Single upconversion nanoparticle imaging at sub-10 W cm<sup>-2</sup> irradiance. *Nature photonics*, 12(9), 548-553.
- Liu, R., Zhang, H., & Lal, R. (2016). Effects of Stabilized Nanoparticles of Copper, Zinc, Manganese, and Iron Oxides in Low Concentrations on Lettuce (*Lactuca sativa*) Seed Germination: Nanotoxicants or Nanonutrients? *Water, Air, & Soil Pollution*, 227, 42
- Liu, Y., Shi, L., Su, L., van der Mei, H. C., Jutte, P. C., Ren, Y., & Busscher, H. J. (2019). Nanotechnology-based antimicrobials and delivery systems for biofilm-infection control. *Chemical Society Reviews*, 48(2), 428-446.
- Ma, X., & Wang, C., (2010). Fullerene Nanoparticles Affect the Fate and Uptake of Trichloroethylene in Phytoremediation Systems. *Environmental Engineering Science*, 27(11), 989-992.
- Ma, X., Geisler-Lee, J., Deng, Y., Kolmakov, A. (2010). Interactions Between Engineered Nanoparticles (ENPs) and Plants: Phytotoxicity, Uptake and Accumulation Review. *Science of the Total Environment*, 408(16): 3053–3061.
- Mahakham, W., Sarmah, A. K., Maensiri, S., & Theerakulpisut, P. (2017). Nanopriming technology for enhancing germination and starch metabolism of

- aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific Reports*, 7(1), 8263-8271
- Meral, Ü.B. (2019). Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Bitkisinin Önemi ve Üretimine Genel Bir Bakış. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2019. 2(2): p. 58-71
- 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.
- Monica, R. C., & Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62(2), 161-165.
- Muhammed, M. H., Rajesh Kumar, B., Sabu, N. A., & Varghese, T. (2019, October). Effect of polyethylene glycol on the structural and optical properties of manganese tungstate nanorods synthesized by precipitation method. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2162, No. 1). AIP Publishing.
- Nabid, M. R., Sedghi, R., Gholami, S., Oskooie, H. A., & Heravi, M. M. (2013). Preparation of new magnetic nanocatalysts based on TiO<sub>2</sub> and ZnO and their application in improved photocatalytic degradation of dye pollutant under visible light. *Photochemistry and Photobiology*, 89(1), 24-32.
- Özgüven, M., (1988). Yağ Bitkileri II (Kolza, Ayçiçeği, Hintyağı). Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 47 S. 28-65, Adana.
- Paparella, S., Araújo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports* 34: 1281-1293.
- Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K.R., Sreepasad, T.S., Sajanlal, P.R. & Pradeep, T., (2012). Effect of Nanoscale Zinc Oxide Particles on the Germination, Growth and Yield of Peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 905–927.
- Ramesh, M., Palanisamy, K., Babu, K., & Sharma, N. K. (2014). Effects of bulk & nano-titanium dioxide and zinc oxide on physio-morphological changes in *Triticum aestivum* Linn. *J Glob Biosci*, 3(2), 415-422.
- Rao, C.N. R., Müller, A., & Cheetham, A. K., (2005). *The Chemistry of Nanomaterials Volume 1*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 3-527-30686-2, 741.
- Raskar, S. V., & Laware, S. L. (2014). Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 3(2), 467-473.
- 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.

- Rico, Cyren M., Peralta-Videa J. R. & Gardea-Torresdey, J. L. (2015) Chemistry, biochemistry of nanoparticles, and their role in antioxidant defense system in plants. *Nanotechnology and plant sciences: nanoparticles and their impact on plants*, 2015. p. 1-17. 39.
- Sabir, S., Arshad, M., & Chaudhari, S. K. (2014). Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 925494.
- Samadi, N. (2014). Effect of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> Nanoparticle on. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(4), 408-418.
- Sardar, R., Ahmed, S., Shah, A. A., & Yasin, N. A. (2022). Selenium nanoparticles reduced cadmium uptake, regulated nutritional homeostasis and antioxidative system in *Coriandrum sativum* grown in cadmium toxic conditions. *Chemosphere*, 287, 132332.
- Sarmast, M.K., Niazi, A., Salehi, H., Abolimoghadam, A., (2015). Silver nanoparticles affect ACS expression in *Tecomella undulata* in vitro culture. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 121, 227–236.
- Schladt, T. D., Shukoor, M. I., Schneider, K., Tahir, M. N., Natalio, F., Ament, I., ... & Tremel, W. (2010). Au@ MnO nanoflowers: hybrid nanocomposites for selective dual functionalization and imaging. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(23), 3976-3980.
- Seeger, E. M., Baun, A., Kästner, M., & Trapp, S. (2009). Insignificant acute toxicity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles to willow trees. *Journal of Soils and Sediments*, 9, 46-53.
- Shaimaa, K., Bassita, A. H. & Ebtissam, H. (2005). Silver nitrat is essential for successful reneration of Egiptian sunflower (*Helianthus annuus*L.) ev.Giza 102. *International Journal of Advanced Research*. 2005. 3(9): p.506-512.
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M., Saradhi, P., Khanna, P., & Arora, S. (2012). Silver Nanoparticle-Mediated Enhancement in Growth and Antioxidant Status of *Brassica juncea*, 167, 2225-2233
- Sheteiwy, M. S., Shaghaleh, H., Hamoud, Y. A., Holford, P., Shao, H., Qi, W., ... & Wu, T. (2021). Zinc oxide nanoparticles: potential effects on soil properties, crop production, food processing, and food quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(28), 36942-36966.
- Shiraz, M., Imtiaz, H., Azam, A., & Hayat, S. (2024). Phytogetic nanoparticles: synthesis, characterization, and their roles in physiology and biochemistry of plants. *Biometals*, 37(1), 23-70.
- Song, U., Jun, H., Waldman, B., Roh, J., Kim, Y., Yi, J., & Lee, E.J., (2013). Functional Analyses of Nanoparticle Toxicity: A Comparative Study of the Effects of TiO<sub>2</sub> and Ag on Tomatoes (*Lycopersiconesculentum*), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 60-67.

- Stampoulis, D., Sinha, S. K., & White, J. C. (2009). Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. *Environmental science & technology*, 43(24), 9473-9479.
- Steudle, E., & Peterson, C. A. (1998). How does water get through roots?. *Journal of experimental Botany*, 49(322), 775-
- Sumanth Krishna, M., Kumar Rai, P., Bara, B. M. & Prashant Kumar Rai, C. (2017). Studies on effect of polymer seed coating, nanoparticles and hydro priming on seedling characters of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry JPP*, 6(64), 489–492.
- Sun, Y., Chen, D., Pan, Y., Qu, W., Hao, H., Wang, X., ... & Xie, S. (2019). Nanoparticles for antiparasitic drug delivery. *Drug Delivery*, 26(1), 1206-1221.
- Thakur, A., Thakur, P., & Khurana, S. P. (Eds.). (2022). *Synthesis and applications of nanoparticles* (Vol. 1). Singapore: Springer.
- Thomas, J. C., Demko, A. R., Sammet, T. E., Reid, D. L., Seal, S., & Petersen, E. L. (2016). Mechanical properties of composite AP/HTPB propellants containing novel titania nanoparticles. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 41(5), 822-834.
- Thomas, R., Jasim, B., Mathew, J., & Radhakrishnan, E. (2016). Plant growth and diosgenin enhancement effect of silver nanoparticles in Fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.). *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25, 443-447.
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Prasad, S. M., Chauhan, D. K., & Dubey, N. K. (2015). Silicon nanoparticles (SiNp) alleviate chromium (VI) phytotoxicity in *Pisum sativum* (L.) seedlings. *Plant physiology and biochemistry*, 96, 189-198.
- Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK. (2015). Bitkisel üretim istatistikleri veri tabanı. 2015; Available from: <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>.
- Vazirimehr, M., Rigi, K., & Branch, Z. (2014). Effect of Salicylic Acid in Agriculture. *International Journal of Plant Animal. Environmental Sciences*, 4: 291–296.
- Yang, B. (2008). Thermal conductivity equations based on Brownian motion in suspensions of nanoparticles (nanofluids).
- Younes, H., Christensen, G., Hong, H., & Peterson, G. P. (2013). Alignment of different functionalized single wall carbon nanotubes using Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles under external magnetic field. *Journal of Nanofluids*, 2(1), 4-10.
- Younes, N. A., Hassan, H. S., Elkady, M. F., Hamed, A. M., & Dawood M. F. A. (2020). Impact of synthesized metal oxide nanomaterials on seedlings production of three Solanaceae crops. *Heliyon*, 6(1), e03188.
- Younis, A.A., Khattab, H, & Emam, M.M. (2020). Impacts of silicon and silicon nanoparticles on leaf ultrastructure and TaPIP1 and TaNIP2 gene expressions in heat stressed wheat seedlings. *Biologia Plantarum* 64: 343-352.

Zafer, M., Keskin, C. S., & Özdemir, A. (2020). Highly sensitive determination of Co (II) ions in solutions by using modified silver nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 239, 118487.

Zulfiqar, F. (2021). Nanoparticles potentially mediate salt stress tolerance in plants. *Plant Physiology Biochemical*, 2021. 160: p. 257–268.

