

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



BAZI NANOPARTİKÜLLERİN SARIÇAM (*Pinus silvestris L.*)
FİDANLARININ GELİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

MUHAMMED ESKİÖMER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. SEZGİN AYAN

OCAK - 2022
KASTAMONU

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.

Muhammed ESKİÖMER

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI NANOPARTİKÜLLERİN SARIÇAM (*Pinus silvestris* L.) FİDANLARININ GELİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

MUHAMMED ESKİÖMER

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: PROF. DR. SEZGİN AYAN

Bu çalışmada; Nanopartiküllerin (NP) çıplak köklü 2+0 yaşlı sarıçam fidanlarında morfolojik karakterler üzerine etki derecesini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışmada arazi denemesi; 4 farklı Demir Oksit (Fe_3O_4), Bakır Oksit (CuO), Çinko Oksit (ZnO) ve Titanyum Oksit (TiO_2) NP çeşidinde, 3 farklı dozda ve kontrolleri olmak üzere ölçümleri yürütülmüştür. NP çözeltileri laboratuvarında hazırlanarak fidanların kök bölgesine dikim öncesi arazide uygulanmıştır. Çalışmada fidanlara ait tüm morfolojik ölçümler vejetasyon dönemi boyunca gerçekleştirilmiştir. Arazi ortamında Sarıçam fidanlarında kontrol grubuna göre; NP uygulamaları morfolojik karakterler bakımından olumlu yönde farklılık oluşturmuştur. TiO_2 grubu fidanlarının yaşama yüzdesi %95, kontrol işlemi fidanlarının yaşama yüzdesi %61 olarak tespit edilmiştir. NP çeşit ve dozları ölçümü yapılan fidan boyu, kök boğazı çapı, fidan taze ve kuru ağırlıkları, gürbüzlük indisi ve katlılık indisi gibi değişkenler üzerinde istatistiki anlamda önemli etki yapmıştır. Bu tez çalışması sonucunda; NP'lerin sarıçam fidan üretiminde fidan kalitesini arttırabileceği ve sarıçam ile yapılan ağaçlandırma çalışmalarında adaptasyon yeteneğini ve fidan gelişimini olumlu etkilediği kanısına varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Nanopartikül, Gelişim, Fidan, Sarıçam, Yaşama yüzdesi

Ocak 2022, 41 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

EFFECT OF SOME NANOPARTICLES ON CİON DEVELOPMENT OF SCOTS PİNE (*Pinus silvestris* L.)

MUHAMMED ESKİÖMER

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF FOREST ENGINEERING

SUPERVISOR: PROF. DR. SEZGİN AYAN

In this study; It was aimed to determine the effect of nanoparticles on morphological characters in bare-rooted 2+0 aged Scots pine saplings. Field trial in the study; Measurements were carried out in four different, Iron Oxide (Fe_3O_4), Copper Oxide (CuO), Zinc Oxide (ZnO) and Titanium Oxide (TiO_2), nanoparticle types, at three different doses and as controls. Nanoparticle solutions were prepared in the laboratory and applied to the root zone of the seedlings in the field before planting. In the study, all morphological measurements of the seedlings were carried out during the vegetation period. Nanoparticle applications in Scots pine saplings in the field environment compared to the control group created a positive difference in terms of morphological characters. The survival rate of the TiO_2 group seedlings was 95%, and the survival rate of the control group seedlings was 61%. NP varieties and doses had a statistically significant effect on variables such as seedling height, root collar diameter, seedling fresh and dry weights, ratio of seedling height to root collar diameter, ratio of shoot to root dry weight. As a result of this thesis, it was concluded that nanoparticles can increase the quality of saplings in the production of Scots pine saplings and increase the adaptation ability and seedling development in afforestation studies with Scots pine.

KEYWORDS: Nanoparticle, Germination, Cion, Scots Pine, Survival rate

January 2022, 41 Page

TEŞEKKÜR

“Bazı Nanopartiküllerin Sarıçam (*Pinus silvestris L.*) Fidanlarının Gelişimi Üzerindeki Etkisi” adlı bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Öncelikle konu seçiminden çalışmanın son aşamasına kadar, ilgili ve yol gösterici tutumuyla çalışmamı destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sezgin AYAN’a şükranlarımı sunarım.

Tez jürimde görev alan ve tezimin geliştirilmesinde her türlü desteği veren Sayın hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Esra Nurten YER ÇELİK ve Dr. Öğr. Üyesi Figen ÇAKIR’a sonsuz teşekkür ederim. Yüksek lisans sürecinde çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen, önerileriyle katkıda bulunan ve arazi çalışmalarını birlikte yürüttüğüm öncelikle değerli eşim Dr. Zehra ESKİÖMER’e, değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Batın Mehmet YER’e, Orman İşletme şefi Gülbahar ABDALOĞLU’na, Esmâ Sena YILMAZ, Dilek Sultan BUTUROĞLU’na Sürdürülebilir Ormanlık Doktora programı öğrencisi Orhan GÜLSEVEN’e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada kullanılan fidanların temini ve arazi düzeninin kurulmasına ev sahipliği yapan, her türlü zorlukta yardımcı olan ve çalışmamı gerçekleştirdiğim Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı İhsangazi Orman İşletme Müdürlüğü, Kirazlıtepe İşletme Şefi Kani ÖZDARÇIN’a çok teşekkür ederim. Tez çalışması süresince manevi destekleri ile sürekli yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

MUHAMMED ESKİÖMER

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1 Materyal.....	9
3.1.1 Çalışma Alanının Genel Tanıtımı	9
3.1.1.1 Araştırma alanına ait genel özellikler	9
3.2 Yöntem	10
3.2.1 Fidanlarda Morfolojik Ölçümler.....	13
3.2.2 Fidanların Yaşama Yüzdesi	16
4. BULGULAR	17
4.1 Morfolojik Karakterlere İlişkin Tespitler	17
4.2 Nanopartikül Uygulanmış Sarıçam Fidanlarına Ait Yaşama Yüzdeleri	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	33
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Araştırma sahasının memleket ve meşcere haritası	9
Şekil 3.2 Araştırma sahasının genel görüntüsü	10
Şekil 3.3 Nanopartikül maddelerin tartılması	11
Şekil 3.4 Ana solüsyonlardan hazırlanan farklı konsantrasyonlar	11
Şekil 3.5 Arazide Nanopartiküllerin fidanlara uygulanması	13
Şekil 3.6 Fidan Çap ve boy ölçümlerine ait fotoğraf	14
Şekil 3.7 Arazi Çalışmasına ait fotoğraflar	14
Şekil 3.8 Örnek alanlarda yapılan diğer ölçümler.....	14
Şekil 3.9 Fidan Taze kök ve gövde ayrımları	15
Şekil 3.10 Fidanların etiketlenmesine ait fotoğraflar	15
Şekil 3.11 Fidanların tartılması aşamasına ait fotoğraflar	15

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1 Fidan boyuna nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler.....	17
Tablo 4.2 Kök boğazı çapına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler.	18
Tablo 4.3 Fidan boyuna nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler	18
Tablo 4.4 Kök boğazı çapına nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler .	19
Tablo 4.5 Fidan boyuna nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler	19
Tablo 4.6 Fidan kök boğazı çapına nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ait istatistikler	20
Tablo 4.7 Taze gövde ağırlığına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler	21
Tablo 4.8 Taze gövde ağırlığına nanopartikül dozlarının etkisine ilişkin istatistikler	21
Tablo 4.9 Nanopartikül doz ve çeşit etkileşiminin taze gövde ağırlığına etkisine ait istatistikler	22
Tablo 4.10 Nanopartikül çeşidinin taze kök ağırlığına etkisine ait istatistikler	22
Tablo 4.11 Nanopartikül dozunun taze kök ağırlığına etkisine ait istatistikler....	22
Tablo 4.12 Taze kök ağırlığına nanopartikül çeşit ve doz etkileşiminin etkisine ait istatistikler	23
Tablo 4.13 Taze fidan ağırlığına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler	24
Tablo 4.14 Taze fidan ağırlığına nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler	24
Tablo 4.15 Nanopartikül çeşit ve dozunun taze fidan ağırlığına etkisine ait istatistikler	25
Tablo 4.16 Nanopartikül çeşidinin kuru gövde ağırlığına etkisine ait istatistikler	25
Tablo 4.17 Nanopartikül dozunun kuru gövde ağırlığına etkisine ait istatistikler	26
Tablo 4.18 Kuru gövde ağırlığına nanopartikül çeşid ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler.....	26
Tablo 4.19 Fidan kuru ağırlığına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler	27
Tablo 4.20 Fidan kuru ağırlığına nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler	27
Tablo 4.21 Nanopartikül çeşit ve dozunun fidan kuru ağırlığına etkisine ait istatistikler	28
Tablo 4.22 Nanopartikül çeşidinin gürbüzlük indisine etkisine ilişkin istatistikler	28
Tablo 4.23 Nanopartikül dozunun gürbüzlük indisi değerine etkisine ait istatistikler	29
Tablo 4.24 Gürbüzlük indisine nanopartikül çeşit ve dozunun etkisine ilişkin istatistikler	29
Tablo 4.25 Nanopartikül çeşidinin katlılık indisine etkisine ilişkin istatistikler...	30
Tablo 4.26 Nanopartikül dozunun katlılık indisi değeri etkisine ilişkin istatistikler	30
Tablo 4.27 Katlılık indisine nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler	30

Tablo 4.28 Fidan yaşama yüzdesine nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler.....	31
---	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Na	: Sodyum
Cl	: Klor
P	: Potasyum
C	: Karbon
C⁰	: Santigrat
Ag	: Gümüş
Np	: Nanopartikül
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Mn	: Magnezyum
FeO₂	: Demiroksit
TiO₂	: Titanyumoksit

Kısaltmalar

cm	: Santimetre
ha	: Hektar
m	: Metre
m²	: Metrekare
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OH	: Ortalama hata
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Türkiye ormanları; 6831 sayılı orman kanununa ile 05.12.2018 yılında yapılmış değişikliklerle uygulamaya alınan Orman Amenajman Yönetmeliği esaslarına göre yapılan envanter çalışmaları ile hazırlanan amenajman planları esas alınarak yönetilmektedir. Ormanlarımız işletme şeflikleri bazında oluşturulan planlar doğrultusunda; sürdürülebilir ve yararlanılabilir bir ormancılık anlayışıyla en doğru ve en iyi faydalanmayı sağlayacak şekilde yönetilmeye devam etmektedir. 2015 yılında yayınlanan Orman Genel Müdürlüğü'nün Türkiye Orman Varlığı kitabından elde edilen verilere göre; orman alanlarımız 22,3 milyon ha olarak hesaplanmış olup, ülke genel alanının %28,62'sini kaplamaktadır (Anonim, 2015).

Mevcut orman alanlarımızı korumamız ve miktarını artırmamız gerektiğinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Sanayi ve bilimin gelişmesi ile artan çevre kirliliği, bilinçsiz insan faydalanması ve küresel ısınma orman varlığımızı tehdit etmektedir. Bu problemler karşısında orman varlığımız artırılmalı ve karbondioksit salınımı azaltılmalıdır. Geçmişten bugüne ormanların tahribatına birçok sebep olsa da ormanlarımızın daha verimli, sağlıklı hale getirilmesi ve çeşitli nedenlerle yok olan ormanlık alanların yeniden kazanılması için; ağaçlandırma ve plantasyon konusu büyük önem taşımaktadır.

Orman alanlarının artırılması ve geliştirilmesi için; ağaçlandırma seferberliği, millî ağaç bayramı, planlı ve işletme amacına uygun arazi kullanımları ve türlerde yapılan verimli çalışmalarda, olumlu sonuçlar alınmış olsa bile, ormana olan ihtiyaç hala devam etmektedir. Bu yüzden ormancılık çalışmalarında yeni teknikler ile sağlıklı ormanlar oluşturmak önemlidir. Yeni ormanların kurulabilmesi ancak entansif ormancılık anlayışı ve teknik çalışma ile sağlanabilmektedir. Ağaçlandırmanın temelini fidanlar oluşturmaktadır. Sağlıklı bir fidan teknik ormancılık anlayışıyla kaliteli bir orman ağacına dönüşmektedir. Ağaçlandırma çalışmalarında kullanılacak türün seçilmesi hususunda; tesis değeri, arazi boniteti, kullanılacak türün yörenin doğal türüne oranla daha iyi artım ve hasılat yapması ve dolayısıyla ekonomik, ekolojik değeri önemle üzerinde durulması gereken bir konudur. Bu noktada Sarıçam; ülkemiz

şartlarında önemli bir asli ağaç türü olarak bilinmekte ve ağaçlandırma çalışmalarında kullanılan maktadır.

Sarıçam; Dikey olarak en uygun yetişme alanı olarak 1000 ile 2500 m rakıma kadar olan bölgelerde yetişmektedir. Yetiştirme ortamının koşullarına göre 19 ile 50 m arasında boylanan bir ağaç türüdür. Güney yayılışındaki en uç yayılış sınırı Türkiye’de Kayseri ili Pınarbaşı mevkededir. En yoğun olarak yayılış alanı Kuzey Anadolu’nun iç mntıkaları ile Orta Anadolu mntıkasıdır. Karadeniz’de Çam Burnu yöresinde deniz kıyısına kadar yaşam alanı bulur ve Doğu Anadolu’da Sarıkamış yöresinde 2700 m rakıma kadar yetişmektedir (OGM, 2013). Sarıçam, Türkiye’de 882.231 ha normal ve 636.698 ha bozuk meşçere oluşturmaktadır. Sarıçam toplam 1.518.929 ha alanda Türkiye orman alanlarının %6,80’inde yayılış göstermektedir (OGM, 2015). Çeşitli sebeplerle tahrip edilen ormanlık alanlarda veya orman dışı alanlarda yapılan endüstriyel, hidrolojik ve rekreasyon amaçlı ağaçlandırma çalışmaları büyük önem arz etmekte ve her biri maliyetli ve uzun vadeli çalışmalar kapsamındadır. Bu sebeptendir ki ağaçlandırma yapacağımız alanlarda birçok konu üzerinde önemle durulmalıdır. Ağaçlandırmanın hangi amaçla yapılacağı, yetişme ortamı özelliklerine uygun ağaç türü seçimi ve en önemlisi ağaçlandırmada kullanılacak fidanın kaliteli olması bu konuların başında gelmektedir.

Fidanlık şartlarında yetiştirilen çıplak köklü fidanların ağaçlandırma ve dikim sahalarına gönderilmeleri esnasında (söküm) ve yeni ortamlarına dikim süreçlerinde karşılaştıkları adaptasyon zorlukları meydana gelmektedir. Fidanların büyüme ve gelişme evrelerinde duraklama ve dikim şoku gibi durumlar yaşanabilmektedir. Fidanın dikiminin gerçekleştiği yeni ortama uyumu aklimatizasyon olarak tanımlanmaktadır (Dirik, 1990).

Dikim başarısını etkileyen faktörler rüzgâr, sıcaklık, nem olabildiği gibi uygulanan teknik işlemlerin doğru zamanda ve entansif yapılmasına bağlıdır. Fidanların tutma performansı fidanın sahip olduğu morfolojik, fizyolojik ve genetik niteliklerin etkileşiminin doğrudan sonucudur. Çıplak köklü fidanların sahaya taşınması esnasında meydana gelen kök hasarları kök/gövde oranını olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda özellikle kurak ve yarı-kurak sahalarda dikim başarısını arttırıcı özel araştırmalar ve

işlemler uygulanmaktadır. Dikim öncesinde fidanın kök bölgesine uygulanan koruyucu maddeler bu uygulamalardan biridir. Bu tez çalışmasında, Türkiye'deki ağaçlandırma çalışmalarında en çok tercih edilen tür olması ve gerek doğal yayılış alanı içerisinde gerekse dışındaki birçok ekolojide yüksek uyum kabiliyeti gösteren bir tür olan sarıçam kullanılmıştır.

Son yıllarda nanoboyutlu malzemelerle ilgili çalışmalar başlı başına yeni bir bilim alanı olma yolunda çok önemli gelişmeler göstermektedir. Nanopartiküller (NPs), nanokristaller, nanotüpler, nanoteller, nanoçubuklar veya nano ince filmler gibi farklı sınıflardaki malzemelerin temel ortak özelliği nanoboyutlu olması yani boyutunun 100 nanometrenin (nm) altındaki partiküller olmasıdır (Miller vd., 2004; Rao vd., 2005; Gürmen ve Ebin, 2008). Roco (2011) ise NPs'i 100 nm küçük olan mükemmel fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip parçacıklar olarak tanımlamakta ve doğada yarattığı etkilerin oldukça farklı olabildiğini vurgulamaktadır. Özellikle, NPs'in yüksek yüzey/hacim oranı, elektronik yapısı, ara yüzey reaktivitesi gibi belirgin derecede farklı fizikokimyasal özellikleri son derece farklı çevresel davranışlara ve etkilere sebep olabileceği düşünülmektedir (Ma ve Wang, 2010). Ayrıca, hem halihazırda doğada bulunması hem de nanoteknolojinin gelişmesinin doğal bir sonucu olarak, NPs'in konsantrasyonlarının farklı doğal ortamlarda artması muhtemeldir (Tunca, 2015). Bununla birlikte; NPs'in büyük çoğunluğu çok düşük çözünürlüğe veya biyobozunurluğa sahiptirler ve biyolojik sistemlerde kolayca birikebilirler. Besin zincirinde biyobirikim ve biyodegradasyona maruz kaldığında ekotoksikolojik etkileri nedeniyle günümüzde yaşantımızı tehdit edici bir unsur olarak görülmektedir (Kuzma, 2008).

NPs sahip oldukları mekanik, manyetik ve kimyasal özellikleri sayesinde tıpta, elektronikte, ecza sektöründe, kozmetik üretimde, inşaat, takı yapımı ve optik sektörlerde, son yıllarda dünya çapında geniş uygulama alanı kazanmışlardır (Kaweeteerawat vd., 2015). Doğada kendiliğinden bileşen oluşturabilen NPs sanayide kullanım alanı bulması ile birlikte çevre üzerinde oluşturduğu konsantrasyonları artmaktadır. Son yıllarda endüstriyel birçok ürün içeriğinde de bileşen olarak kullanımı nanopartikülleri büyük bir ekonomi haline getirmektedir (Tunca, 2015). NPs

toprak ile çevre arasındaki bağlantıyı kurma rolleri nedeniyle bitkiler üzerine yapılan araştırmalarda da yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca, bitkiler, toprak ve NPs arasındaki en önemli bileşendir, bu nedenle NPs'in taşınma mekanizması ve etkilerinin bilinmesi önem arz etmektedir (Du vd., 2011; Kundu vd., 2015). Son yıllarda NPs'in kullanım alanları ziraat ve ormancılık alanlarında da önem kazanmıştır. NPs'in sebep olduğu farklı etkilerin düzeylerinin belirlenmesi, bu etkilerden pozitif yönde olanlarının bitki yetiştirme ve ıslah tekniklerinde destekleyici unsur olarak kullanılması, negatif yönde olanlarından ise bitkilerin bütün diğer canlı organizmalarda olduğu gibi korunması bakımından oldukça önemlidir. NPs tohumların çimlenme ve büyümesini etkileyen farklı potansiyel etkileri sebebi ile son dönemde yoğun talep görmektedirler (Aleksandrowicz-Trzcinska, 2019). Tarımsal ürünlerde istenmeyen tohum uyku halinin aksine, hızlı çimlenme ve büyüme ihtiyacı nedeniyle NPs'i içeren çalışmalar ve araştırmalar her geçen gün artmaktadır (Azura vd., 2017).

Tez çalışmasında 4 farklı çeşitte (Çinko Oksit (ZnO), Bakır Oksit (CuO), Demir Oksit (Fe₃O₄), Titanyum Oksit (TiO₂)), farklı dozlarda fidanın kök bölgesini daldırma yöntemi şeklinde "nanopartikül" uygulaması yapılmıştır. Kastamonu-Taşköprü Orman Fidanlığından alınan Çıplak köklü 2+0 yaşlı Sarıçam fidanlarının dikim sürecinde yaşadığı stresini önlemek için; fidana uygulanan nanopartikül malzemenin kullanımı ile başarılı sonuç verip vermeyeceği araştırılmıştır. Ayrıca nanopartikül uygulamaları yapılan fidanların ağaçlandırma performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir Bu tez çalışmasında; fidanlıktan sökülen fidanların, ağaçlandırma sahasına dikim sürecindeki adaptasyonunu incelemek ve uygulamanın fidan morfolojik kalite özelliklerine hedeflenmiştir.

Teknolojik ilerlemeler ışığında nanoteknoloji bilimi farklı sektörlere, "nano" (1-100 nm'den küçük en az iki boyutlu) boyutlarda, değişik şekillerde hizmet sağlamaktadır. Özellikle son 15 yıl düşünöldüğünde; farklı sektörlerde rol alan bu materyallerin, çevre ile etkileşimlerinin de araştırılmasına yönelik ekolojik sistem üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkileri merak edilmiştir.

Nanopartiküllerin fidan gelişimi itibari ile başlayan bitki gelişim sürecinde neden oldukları etkinin şekli ve düzeyi de oldukça farklı olabilmektedir.

Nanopartiküllerin sebep olduğu farklı etkilerin düzeylerinin belirlenmesi, bu etkilerden pozitif yönde olanlarının bitki yetiştirme ve ıslah tekniklerinde destekleyici unsur olarak kullanılması, negatif yönde olanlarından ise bitkilerin tüm diğer canlı organizmalarda olduğu gibi korunması bakımından oldukça önemlidir.

Türkiye’de gerek tek ve çok yıllık bitkilerde gerekse yüksek yapılı bitki organizmaları olan orman ağaçlarında nanopartiküllerin etkileri neredeyse hiç araştırılmamış ve tespit edilmemiştir. Bu kapsamda; nanopartiküllerin öncelikle bitkilerin oluşum aşaması olan tohum çimlenmesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında farklı çeşit ve dozlarda uygulanan NP’lerin araziye plante edilmiş sarıçam fidanlarının yaşama yüzdesi ve gelişimleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Lin ve Xing (2007), ZnO NP'ünün 2000 mg/l doz uygulamasının hem tohum çimlenmesine hem de kök büyümesine pozitif etki yaptığını belirlemişlerdir.

Du vd. (2010), TiO₂ ve ZnO NP'nin buğday bitkisi için büyüme ve enzim aktivitelerini araştırmışlardır. Araştırmada bu kullanılan NP'ler ile pozitif etki tespit edilememiştir.

Derya (2012) 100, 500 ve 1000 µM Ulu sığırkuyruğu (*Verbascum olympicum*) tohumlarına Zn, Cu, Cr, Ni ve Cd uygulamıştır. Düşük konsantrasyonlarda Cu NP'ünün çimlenme yüzdesi ile birlikte kök uzunluğunun da pozitif yönde artış sağladığını saptamıştır. Gövde uzunluğuna ise yüksek konsantrasyonların olumlu bir etkisi olduğunu tespit etmiştir.

Sharma vd. (2012), Ag NP'lerinin beş farklı dozunda 25, 50, 100, 200 ve 400 ppm hardal otu (*Brassica juncea*) için, kök uzunluğu, enzim, klorofil ve yaprak alanı parametrelerini takip etmişlerdir. Araştırmada 50 ppm uygulama dozunun tüm ölçümlerde olumlu etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Vannini vd. (2013), roka (*Eruca sativa*) fidelerine Ag NP'ünün farklı dozlarını beş gün uygulamışlardır. 10 mg/l doz ayarında kök uzamasında artış oluşturduğunu saptamışlardır.

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.

Raskar ve Laware (2014), Zn NP için soğan bitkisinin çimlenme yüzdesini belirlemişlerdir. Düşük dozların yüksek dozlara göre daha olumlu sonuç verdiğini saptamışlardır.

Samadi (2014) araştırma sonuçlarına göre; Nane (*Mentha piperita*) bitkisine üç farklı miktarda (100, 200, 300 mg/l) TiO₂ uygulaması yapılmıştır. Sonuç olarak 100 mg/l'de

kök boyunun uzamasını arttırdığı saptanmıştır. Ancak kontrol grubuna göre çimlenme yüzdesinde negatif bir etki görülmüştür.

Shilpa ve Lawre (2014) 10, 20, 30 ve 40 g ml/1 ZnO NP'lerini soğan bitkisi tohumlarına uygulamışlardır. Düşük konsantrasyonlarda çimlenme değerlerinde artış meydana geldiğini, yüksek dozlarda ise azalma gerçekleştiğini gözlemlemişleridir.

Thuesomba vd. (2014), Ag NP'unun çeltik (*Oryza sativa*)'de tohum çimlenmesi üzerine yapmış olduğu etkisini incelemişlerdir. Uygulanan beş farklı dozdan (0.1; 1; 10; 100; 1000 mg/l) özellikle düşük konsantrasyonların tohum çimlenmesi üzerinde pozitif yönlü bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Roohizadeh vd. (2015), bakla bitkisinde silika NP'unun çimlenmesi üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkisini araştırmışlardır. 1,5 mm dozunda silika NP'ne bırakılan baklalarda çiçeklenmede artış tespit edilmiştir.

Liu vd. (2016), Marul (*Lactuca sativa*) bitkisinde Cu, Zn, Mn, FeO₂ NP'lerinin tohumun çimlenmesine etkisini inceledikleri araştırmada; diğer Nanopartikül'lere göre FeO₂ NP'ünün daha pozitif bir sonuç verdiğini saptamışlardır.

Doğaroğlu ve Köleli (2016), marul (*Lactuca sativa*) bitkisinde TiO₂ ve Ag NP için 10, 20, 40, 60, 80 ve 100 mg/l dozlarını denemişlerdir. Tohum çimlenmesi yönünden özellikle 80 ve 100 mg/l'de olumlu yönde bir artış tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacıların 2014 yılında yaptıkları çalışmada; Buğday bitkisi üzerine uyguladıkları 20 mg/l ve üstü TiO₂'ün gövde uzamasında etkili olduğu sonucunu elde etmişlerdir. 10 mg/l TiO₂ ve üstü dozlarda ise kök uzamasının arttığını gözlemlemişlerdir (Doğaroğlu ve Köleli, 2014).

Thomas vd. (2016), Çemen otu (*Trigonella foenum*) 'nda Ag-NP'nin kök uzunluğu, yaprak sayısı, taze ağırlığı ve sürgün uzunluğuna ait araştırmada bulunmuşlardır. 0,2 mg dozunun büyüme değerlerini olumlu etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Sun vd. (2016), buğday ve acı bakla bitkilerine 500, 1000 ve 2000 mg/l'de silika NP'ünü uygulamışlardır. Araştırmacılar tüm dozlarda tohum çimlenmesinin, toplam

klorofil ve protein miktarının, bitki biyokütlesinin pozitif bir yönde uyarıldığını tespit etmişlerdir.

Dağlıoğlu ve Türkiş (2017), TiO₂ NP'lerinin 50-200 mg/l uygulamalarında su mercimeği bitkisinde 200 mg/l'de klorofil değerine olumlu yönde etki ettiğini belirlemişlerdir.

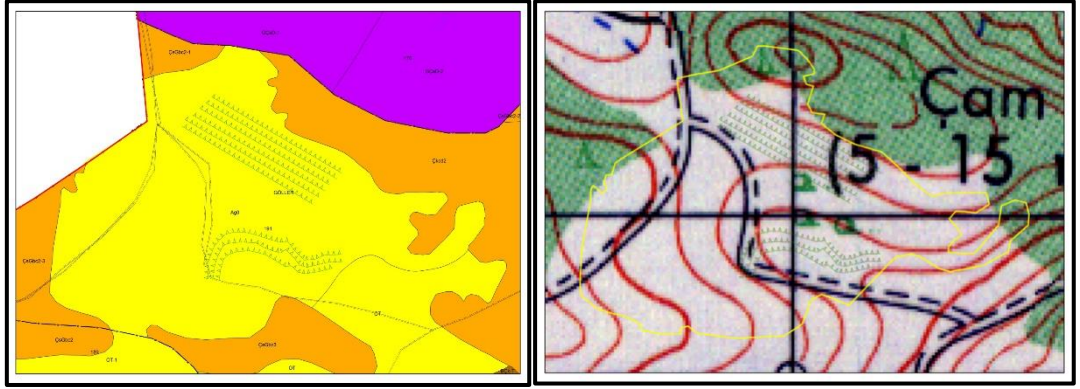
Almutairi (2017) tere tohumlarına 1 mg/l Ag NP'ü uygulamıştır. Özellikle bu dozun tohum çimlenmesine olumlu etki yaptığını tespit etmiştir. Bu dozun daha düşük ve yüksek değerlerinde taze ve kuru ağırlıklarda bir düşüş gerçekleşmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma Alanının Genel Tanıtımı

Kastamonu ili Taşköprü ilçesinden temin edilen sarıçam çıplak köklü fidanları, dört farklı nanopartikül ile kökleri muamele edilerek İhsangazi Orman İşletme Müdürlüğü, Mergüze Orman İşletme Şefliğinin 191 nolu bölmesine dikilmiştir (Şekil 3.1, 3.2).



Şekil 3.2 Araştırma sahasının memleket ve meşcere haritası

3.1.1.1 Araştırma alanına ait genel özellikler

İşletme Müdürlüğü: İhsangazi

İşletme Şefliği: Mergüze

Bölge: Kapaklı Köyü

Alan: 52,4 ha

Bölme No: 191

Rakım: 1579

Ort. Yağış: 482,3 mm

Ort. Sıcaklık: 9,8 °C

Eğim Aralığı: %31 - %60

Dikim: Nisan

Bakı: Güney

Anakaya: Tortul

Toprak Yapısı: Kumlu-Killi

Fidan Adedi: 2500 adet Sarıçam fidanı 1,5 m aralıklar ile dikim

Dikim Şekli: Kenar Dikim

Teras Uzunluğu: 53 000 metre

Koordinat: X 538950 - Y 4553131 / 41 7 33.91 N - 33 27 52.97E



Şekil 3.3 Araştırma sahasının genel görüntüsü

3.2 Yöntem

Nanopartikül solüsyonları oluştururken, yapılmış çalışmalar dikkate alınarak, literatürde bulunan uygulamalardan esinlenerek, her NP türü için dozlar belirlenmiştir. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra NP'ler tartılarak gerekli miktarda saf su ile NP'lerin homojen bir şekilde saf su içerisinde karışması sağlanmıştır. Hazırlanan ana solüsyonlara saf su eklemek suretiyle çözeltilerek diğer dozlar oluşturulmuştur (Şekil 3.3, 3.4).



Şekil 3.4 Nanopartikül maddelerin tartılması



Şekil 3.5 Ana solüsyonlardan hazırlanan farklı konsantrasyonlar

ZnO solüsyonunun hazırlanması için 2000 mg/l'lik solüsyon için 2 g/l hesabından faydalanılarak $\frac{1}{4}$ oran alınarak ZnO nanopartikülünden hassas terazi yardımıyla 0,5 gr tartılmıştır. Tartılan nanopartikül cam beher kabı içerisine alınmıştır ve 250 ml saf su üzerine eklenerek ana solüsyon hazırlanmıştır.

- Oluşturulan ana solüsyondan 60 ml üzerine 40 ml saf su eklenerek 1200 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur.

- Oluşturulan ana solüsyondan 20 ml üzerine 80 ml saf su eklenerek 400 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur.

Fe₃O₄ solüsyonunun hazırlanması 2000 mg/l'lik solüsyon için 2 g/l hesabından faydalanılarak ¼ oran alınarak Fe₂O₃ nanopartikülünden hassas terazi yardımıyla 0,5 gr tartılmıştır. Tartılan nanopartikül cam beher kap içerisine alınmıştır ve 250 ml saf su üzerine eklenerek ana solüsyon hazırlanmıştır.

- Oluşturulan ana solüsyondan 30 ml üzerine 20 ml saf su eklenerek 1200 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur.

- Oluşturulan ana solüsyondan 10 ml üzerine 40 ml saf su eklenerek 400 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur.

- TiO₂ 1 solüsyonunun hazırlanması için 1 000 mg/l'lik solüsyon için 1 g/l hesabından faydalanılarak ¼ oran alınarak TiO₂ nanopartikülünden hassas terazi yardımıyla 0,25 gr tartılmıştır. Tartılan nanopartikül cam beher kap içerisine alınmıştır ve 250 ml saf su üzerine eklenerek ana solüsyon hazırlanmıştır.

- Oluşturulan ana solüsyondan 30 ml üzerine 20 ml saf su eklenerek 600 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur.

- Oluşturulan ana solüsyondan 10 ml üzerine 40 ml saf su eklenerek 200 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur.

- CuO solüsyonunun hazırlanması için 1000 mg/l'lik solüsyon için 1 g/l hesabından faydalanılarak ¼ oran alınarak CuO nanopartikülünden hassas terazi yardımıyla 0,25 gr tartılmıştır. Tartılan nanopartikül cam beher kap içerisine alınmıştır ve 250 ml saf su üzerine eklenerek ana solüsyon hazırlanmıştır.

- Oluşturulan ana solüsyondan 30 ml üzerine 20 ml saf su eklenerek 600 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur.

- Oluşturulan ana solüsyondan 10 ml mg/l'lik üzerine 40 ml saf su eklenerek 200 mg/l'lik solüsyon oluşturulmuştur (Şekil 3.5).

3.2.1 Fidanlarda Morfolojik Ölçümler

Dört farklı nanopartikül türünde (ZnO-CuO-TiO₂-Fe₃O₄), 3 doz grubu (1000 µM - 600 µM - 200 µM - 2000, µM - 1200 µM - 400 µM) ve kontrol gruplarının her biri için toplam 120 adet Sarıçam fidanı 3 tekerrürlü (her tekerrürde 30 adet) olarak, kök daldırma uygulama şekli toplamda 1080 adet fidan (360 x 3) 27 Mart 2019 günü sahayı temsil edecek şekilde alana dağıtılarak dikilmiştir. Fidanların vejetasyon dönemi süresinde 5 kez (vejetasyon dönemi başı (Nisan), ortası (Mayıs, Ağustos) ve sonu (Ekim, Kasım) olarak biyokimyasal ölçümleri alınmıştır. Vejetasyon sonu itibari kontrol grubundan sahayı temsilen alınan toplam 99 adet fidan ve her bir nanopartikül grubundan 18 adet fidan alınarak morfolojik ölçümler belirlenmiştir. Morfolojik ölçüm olarak; Kök Boğazı Çapı (0,1 mm hassasiyetteki kumpas ile) (KBC), Fidan boyu (çelik metre ile) (FB), 0,001 gr hassasiyetteki hassas teraziler ile GTA, KTA ve kurutulduktan sonra KKA, GKA değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.6, 3.7, 3.8).



Şekil 3.6 Arazide Nanopartiküllerin fidanlara uygulanması



Şekil 3.7 Fidan çap ve boy ölçümlerine ait fotoğraf



Şekil 3.8 Arazi çalışmasına ait fotoğraflar



Şekil 3.9 Örnek alanlarda yapılan diğer ölçümler

Fidanların morfolojik özelliklerinin tespiti için 20 Aralık tarihinde fidanlar, köklerin kopmamasına itina gösterilerek sökülmüş ve kökler topraklardan temizlenerek, yeniden etiketlenip, laboratuvar ortamına telis bezine sarılarak taşınmıştır. Fidanların

GTA, KTA, GKA ve KKA ölçümleri için 0,01 gr duyarlılıklı elektronik terazi, fidanların mutlak kuru hale gelmeleri için etüv kullanılmıştır (Şekil 3.9, 3.10, 3.11).



Şekil 3.10 Fidan taze kök ve gövde ayrışmaları



Şekil 3.11 Fidanların etiketlenmesine ait fotoğraflar



Şekil 3.12 Fidanların tartılması aşamasına ait fotoğraflar

Fidanların morfolojik özellikleri şu şekilde tespit edilmiştir (Ayıntaplı, 1995; Gökdemir ve Kızmaz, 1998; Ayan, 2002);

- Fidan Boyu (FB) : Kök boğaz çapı veya toprak seviyesi ile fidanın terminal sürgündeki tepe tomurcuğu arasındaki mesafe (0,1 cm duyarlılıkta).
- Kök Boğaz Çapı (KBC): Gövdeye en yakın kökün üzerinden ölçüm (0,1 mm duyarlılıkta).
- Gövde Taze Ağırlığı (GTA): Fidanın gövde kısmının taze ağırlığı (0,01 gr hassasiyette).
- Kök Taze Ağırlığı (KTA): Fidanın kök kısmının taze ağırlığı (0,01 gr hassasiyette).
- Fidan Taze Ağırlığı (FTA): Fidanın gövde taze ağırlığı ile kök taze ağırlığının toplamı ile elde edilen değer.
- Gövde Kuru Ağırlığı (GKA): Fidanın gövde kısmının etüvde (102 +/- 3 0C, 24 saat) elde edilen kuru ağırlığının hesaplanmasıdır (0,01 gr hassasiyette).
- Kök Kuru Ağırlığı (KKA): Fidanın kök kısmının etüvde (102 +/- 3 0C, 24 saat) elde edilen kuru kök ağırlığının hesaplanmasıdır (0,01 gr hassasiyette).
- Fidan Kuru Ağırlığı (FKA): Gövde kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığının toplanmasıyla elde edilen değerdir (Fotoğraf 3.10; Fotoğraf 3.11.).

3.2.2 Fidanların Yaşama Yüzdesi

Vejetasyon sonu itibari ile uygulanan tüm işlem ve dozlarda kontrol grubuna göre yaşayan ve kuruyan fidan sayımları yapılmıştır. Yaşama yüzdeleri tespit edilmiştir.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında, Nanopartiküllerin fidan morfolojik karakterleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; farklı nanopartikül çeşitleri ve uygulama dozları "düşük-orta- yüksek" olarak SPSS programına tanımlanmıştır.

4.1 Morfolojik Karakterlere İlişkin Tespitler

Farklı işlemlere tabi tutulan çıplak köklü fidanlardan 720'si; 2019 yılı vejetasyon mevsimi sonu itibariyle (2+0 Yaşlı) kök boğazı çap ölçümleri mm hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir. KBÇ değerlerine ait ortalama, maksimum ve minimum değerler Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Fidan boyuna nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maximum
Kontrol	120	14,05±0,95	d	9,00	35,00
TiO ₂	180	20,12±0,70	a	13,00	44,00
ZnO	180	16,37±0,79	c	10,00	36,00
Fe ₃ O ₄	180	17,74±0,72	bc	11,00	36,00
CuO	180	19,48±0,63	ab	9,00	39,00
<i>F Değeri</i>			9,43		
<i>P Seviyesi</i>			0,00		

Tablo 4.1'de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu etki derecesini belirlemek amacıyla duncan testi seçilmiş ve uygulanmıştır. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre TiO₂ nanoparticul değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü, maksimum boyun TiO₂ grubunda görüldüğü, en düşük boyun kontrol ve CuO gurubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.2'de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda üç grubun bulunduğu TiO₂,CuO 'nun 1 grupta bulunduğu,2 grupta ZnO, Fe₃O₄ 'ün bulunduğu, kontrol grubunun ise 3 grupta bulunduğu tespit

edilmiştir. Kontrol grubuna göre CuO nanoparticul değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü, maksimum çapın ZnO grubunda, en düşük çapın ise kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.2 Kök boğazı çapına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	120	4,42±0,29	c	3,01	9,11
TiO ₂	180	6,09±0,20	a	4,11	11,20
ZnO	180	5,12±0,24	b	3,32	15,28
Fe ₃ O ₄	180	5,43±0,21	b	3,68	11,00
CuO	180	6,44±0,19	a	4,10	11,60
<i>F Değeri</i>		11,26			
<i>P Seviyesi</i>		0,00			

Tablo 4.3 Fidan boyuna nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler

NP Dozu	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	120	14,05±0,95	b	15,00	35,00
Yüksek	240	19,41±0,59	a	12,00	39,00
Orta	240	18,30±0,63	a	10,00	36,00
Düşük	240	17,57±0,64	a	9,00	44,00
<i>F Değeri</i>		8,38			
<i>P Seviyesi</i>		0,00			

Tablo 4.3’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan Duncan analizi sonucuna göre 2 grup oluşturulmuştur. Burada kontrol grubu 2. Grubu oluşturmaktadır, uygulama doz grupları üçü de tek bir grupta bulunup 1. Grubu oluşturmaktadır. Kontrol grubuna göre çapa etkisi olan en yüksek doz grubunun uygulamada en etkili olduğu, maksimum ve minimum boy değerlerinin düşük doz grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.4’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre yüksek doz uygulamasının en etkili olduğu, minimum değer kontrol değerinde görüldüğü en yüksek çapın orta doz grubunda en düşük çapın yüksek doz grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.4 Kök boğazı çapına nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler

NP Dozu	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	120	4,42±0,29	b	4,80	9,11
Yüksek	240	6,06±0,18	a	3,32	11,60
Orta	240	5,73±0,20	a	3,68	15,28
Düşük	240	5,52±0,19	a	4,40	9,98
<i>F Değeri</i>	8,54				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.5 Fidan boyuna nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşit x Doz	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	360	13,27±0,59	e	9,00	35,00
TiO ₂ _yüksek	60	20,93±1,11	ab	15,00	33,50
TiO ₂ _orta	60	21,42±0,93	a	13,00	34,00
TiO ₂ _düşük	60	18,02±1,52	abcd	17,00	44,00
ZnO_yüksek	60	17,00±1,31	bcde	13,00	32,50
ZnO_orta	60	15,83±1,54	de	10,00	36,00
ZnO_düşük	60	16,29±1,26	cde	10,00	31,00
Fe ₃ O ₄ _yüksek	60	18,33±1,19	abcd	14,00	32,00
Fe ₃ O ₄ _orta	60	15,65±1,36	de	13,00	36,00
Fe ₃ O ₄ _düşük	60	19,23±1,12	abcd	13,00	31,00
CuO_yüksek	60	21,38±1,05	a	12,00	39,00
CuO_orta	60	20,33±0,96	abc	11,00	30,00
CuO_düşük	60	16,73±1,17	cde	10,00	35,00
<i>F Değeri</i>	7,76				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.5’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda 5 farklı grubun oluştuğu görülmüştür. TiO₂ orta doz grubunun en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü, Maksimum boyun TiO₂ düşük grubunda, en düşük boyun ise Kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.6 Fidan kök boğazı çapına nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ait istatistikler

NP Çeşit x Doz	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	360	4,10±0,18	e	3,75	11,58
TiO ₂ yüksek	60	6,20±0,32	ab	5,00	9,22
TiO ₂ orta	60	6,83±0,27	a	4,11	11,20
TiO ₂ düşük	60	5,23±0,43	bcde	5,23	9,98
ZnO yüksek	60	5,30±0,40	bcd	3,32	9,13
ZnO orta	60	4,84±0,47	cde	3,88	15,28
ZnO düşük	60	5,22±0,38	bcde	4,48	9,58
Fe ₃ O ₄ yüksek	60	5,90±0,37	abc	3,68	11,00
Fe ₃ O ₄ orta	60	4,58±0,39	de	4,40	10,40
Fe ₃ O ₄ düşük	60	5,79±0,32	abc	4,10	8,78
CuO yüksek	60	6,83±0,32	a	4,10	11,60
CuO orta	60	6,68±0,32	a	4,63	11,02
CuO düşük	60	5,82±0,35	abc	4,45	9,66
<i>F Değeri</i>			9,45		
<i>P Seviyesi</i>			0,00		

Tablo 4.6’da verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre CuO yüksek nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü maksimum boy değerinin CuO yüksek grubunda olduğu, en düşük boyun ise ZnO yüksek grubunda olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.7’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre CuO nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.8’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre orta doz grubunun en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.7 Taze gövde ağırlığına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	9,59±0,49	b	2,99	30,50
TiO ₂	54	11,80±0,77	ab	5,50	33,50
ZnO	54	12,81±1,63	a	2,00	85,50
Fe ₃ O ₄	54	12,23±0,77	a	4,50	29,00
CuO	54	13,38±0,74	a	4,50	29,00
<i>F Değeri</i>	3,49				
<i>P Seviyesi</i>	0,01				

Tablo 4.8 Taze gövde ağırlığına nanopartikül dozlarının etkisine ilişkin istatistikler

NP Dozu	Adet	Ortalama	Gruplar	Min	Max
Kontrol	99	9,59±0,49	c	2,99	30,50
Yüksek	72	12,35±0,75	ab	2,00	33,50
Orta	72	14,35±1,22	a	3,00	85,50
Düşük	72	10,96±0,58	bc	3,50	21,00
<i>F Değeri</i>	7,22				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.9’da verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre ZnO orta doz nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin ZnO düşük nanopartikül grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.9 Nanopartikül doz ve çeşit etkileşiminin taze gövde ağırlığına etkisine ait istatistikler

NP Çeşit x Doz	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	9,59±0,49	c	2,99	30,50
TiO ₂ _yüksek	18	12,61±1,42	abc	5,50	33,50
TiO ₂ _orta	18	12,39±1,53	bc	5,50	28,00
TiO ₂ _düşük	18	10,39±0,97	bc	5,50	19,00
ZnO_yüksek	18	11,78±1,68	bc	2,00	28,50
ZnO_orta	18	17,42±4,34	a	3,00	85,50
ZnO_düşük	18	9,22±1,04	c	3,50	19,50
Fe ₃ O ₄ _yüksek	18	12,03±1,54	bc	4,50	29,00
Fe ₃ O ₄ _orta	18	12,67±1,23	abc	4,50	22,50
Fe ₃ O ₄ _düşük	18	12,00±1,30	bc	4,50	21,00
CuO_yüksek	18	12,97±1,46	abc	6,50	29,00
CuO_orta	18	14,94±1,12	ab	7,00	22,50
CuO_düşük	18	12,22±1,23	bc	4,50	21,00
<i>F Değeri</i>	2,55				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.10 Nanopartikül çeşidinin taze kök ağırlığına etkisine ait istatistikler

NP Çeşidi	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	4,27±0,23	a	1,00	12,00
TiO ₂	54	4,60±0,22	a	2,00	9,00
ZnO	54	4,88±0,55	a	1,00	29,00
Fe ₃ O ₄	54	4,37±0,28	a	1,00	9,50
CuO	54	4,80±0,26	a	2,00	9,50
<i>F Değeri</i>	0,75				
<i>P Seviyesi</i>	0,56				

Tablo 4.10'da verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre ZnO nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.11 Nanopartikül dozunun taze kök ağırlığına etkisine ait istatistikler

NP Dozu	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	4,27±0,23	b	1,00	12,00
Yüksek	72	4,55±0,22	ab	1,00	9,00
Orta	72	5,15±0,42	a	1,00	29,00
Düşük	72	4,29±0,23	b	1,50	9,50
<i>F Değeri</i>	2,04				
<i>P Seviyesi</i>	0,11				

Tablo 4.11’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda taze kökün çap ölçümlerinde kontrol grubuna göre orta doz nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.12’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre ZnO orta nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin ZnO düşük doz grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.12 Taze kök ağırlığına nanopartikül çeşit ve doz etkileşiminin etkisine ait istatistikler

NP Çeşit x Doz	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	4,27±0,23	ab	1,00	12,00
TiO ₂ _yüksek	18	4,67±0,36	ab	2,50	9,00
TiO ₂ _orta	18	5,08±0,46	ab	2,00	8,50
TiO ₂ _düşük	18	4,06±0,32	b	2,50	6,50
ZnO_yüksek	18	4,78±0,58	ab	1,00	8,50
ZnO_orta	18	6,06±1,49	a	1,00	29,00
ZnO_düşük	18	3,81±0,41	b	1,50	8,00
Fe ₃ O ₄ _yüksek	18	4,19±0,40	ab	1,50	7,50
Fe ₃ O ₄ _orta	18	4,33±0,50	ab	1,00	9,00
Fe ₃ O ₄ _düşük	18	5,48±0,56	ab	1,50	9,50
CuO_yüksek	18	4,56±0,37	ab	2,00	7,50
CuO_orta	18	5,11±0,47	ab	2,00	9,00
CuO_düşük	18	4,72±0,53	ab	2,00	9,50
<i>F Değeri</i>			<i>1,04</i>		
<i>P Seviyesi</i>			<i>0,41</i>		

Tablo 4.13’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi

sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre CuO nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.13 Taze fidan ağırlığına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	13,86±0,67	b	4,00	42,50
TiO ₂	54	16,40±0,95	ab	7,50	42,50
ZnO	54	17,69±2,16	a	3,00	114,50
Fe ₃ O ₄	54	16,60±1,02	ab	6,00	36,50
CuO	54	18,18±0,96	a	7,00	36,50
<i>F Değeri</i>	2,63				
<i>P Seviyesi</i>	0,03				

Tablo 4.14’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda Taze Kontrol grubuna göre Orta doz değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.14 Taze fidan ağırlığına nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler

NP Dozu	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	13,86±0,67	b	4,00	42,50
Yüksek	72	16,90±0,93	ab	3,00	42,50
Orta	72	19,50±1,63	a	4,00	114,50
Düşük	72	15,25±1,78	bc	6,50	30,00
<i>F Değeri</i>	5,81				
<i>P değeri</i>	0,00				

Tablo 4.15’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre ZnO orta doz nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.15 Nanopartikül çeşit ve dozunun taze fidan ağırlığına etkisine ait istatistikler

NP Çeşit x Doz	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	13,86±0,67	bc	4,00	42,50
TiO ₂ _yüksek	18	17,28±1,73	abc	8,00	42,50
TiO ₂ _orta	18	17,47±1,90	abc	7,50	36,00
TiO ₂ _düşük	18	14,44±1,23	bc	8,00	24,00
ZnO_yüksek	18	16,56±2,17	bc	3,00	37,00
ZnO_orta	18	23,47±5,82	a	4,00	114,50
ZnO_düşük	18	13,03±1,34	c	6,50	25,00
Fe ₃ O ₄ _yüksek	18	16,22±1,89	bc	6,00	36,50
Fe ₃ O ₄ _orta	18	17,00±1,69	abc	6,50	31,50
Fe ₃ O ₄ _düşük	18	16,58±1,82	bc	6,50	30,00
CuO_yüksek	18	17,53±1,76	abc	9,00	36,50
CuO_orta	18	20,06±1,53	ab	9,00	31,50
CuO_düşük	18	16,94±1,72	abc	7,00	30,00
<i>F Değeri</i>	2,14				
<i>P Seviyesi</i>	0,02				

Tablo 4.16’da verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre CuO nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.16 Nanopartikül çeşidinin kuru gövde ağırlığına etkisine ait istatistikler

NP Çeşidi	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	4,43±0,23	b	1,00	13,50
TiO ₂	54	5,32±0,33	ab	2,00	14,50
ZnO	54	5,80±0,73	a	1,00	39,00
Fe ₃ O ₄	54	5,59±0,35	ab	2,00	12,50
CuO	54	5,91±0,47	a	1,00	16,50
<i>F Değeri</i>	2,61				
<i>P Seviyesi</i>	0,36				

Tablo 4.17’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre orta doz değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.17 Nanopartikül dozunun kuru gövde ağırlığına etkisine ait istatistikler

NP Dozu	Adet	Ortalama	Gruplar	Min	Max
Kontrol	99	4,43±0,23	c	1,00	13,50
Yüksek	72	5,53±0,35	b	1,00	14,50
Orta	72	6,57±0,60	a	1,00	39,00
Düşük	72	4,86±0,23	bc	2,00	9,50
<i>F Değeri</i>	6,67				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.18’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre ZnO orta doz nanoparticul değerinin en etkili olduğu, en az etkinin ZnO düşük doz grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.18 Kuru gövde ağırlığına nanopartikül çeşid ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşit x Doz	N	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	4,43±0,23	c	1,00	13,50
TiO ₂ _yüksek	18	5,56±0,63	abc	2,50	14,50
TiO ₂ _orta	18	5,64±0,67	abc	2,00	12,50
TiO ₂ _düşük	18	4,78±0,42	bc	2,50	8,50
ZnO_yüksek	18	5,31±0,73	bc	1,00	12,50
ZnO_orta	18	7,75±1,98	a	1,00	39,00
ZnO_düşük	18	4,33±0,42	c	2,00	7,50
Fe ₃ O ₄ _yüksek	18	5,5±0,71	abc	2,00	12,50
Fe ₃ O ₄ _orta	18	5,81±0,58	abc	2,00	10,50
Fe ₃ O ₄ _düşük	18	5,47±0,58	abc	2,00	9,50
CuO_yüksek	18	5,78±0,77	abc	1,00	13,00
CuO_orta	18	7,08±1,05	ab	2,00	16,50
CuO_düşük	18	4,86±0,44	bc	2,00	9,50
<i>F Değeri</i>	2,21				
<i>P Seviyesi</i>	0,01				

Tablo 4.19’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre ZnO nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.19 Fidan kuru ağırlığına nanopartikül çeşidinin etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi	N	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	6,62±0,32	a	2,00	19,50
TiO ₂	54	7,70±0,42	a	3,50	18,50
ZnO	54	8,26±0,99	a	1,50	54,00
Fe ₃ O ₄	54	7,88±0,48	a	3,00	16,00
CuO	54	8,20±0,62	a	1,50	23,00
<i>F Değeri</i>	1,82				
<i>P Seviyesi</i>	0,13				

Tablo 4.20’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre orta doz değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.20 Fidan kuru ağırlığına nanopartikül dozunun etkisine ilişkin istatistikler

NP Dozu	N	Mean	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	6,62±0,32	b	2,00	19,50
Yüksek	72	7,90±0,45	ab	1,50	18,50
Orta	72	9,15±0,81	a	1,50	54,00
Düşük	72	6,99±0,32	b	3,00	14,00
<i>F Değeri</i>	5,24				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.21’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre ZnO orta doz nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin ZnO düşük doz grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.21 Nanopartikül çeşit ve dozunun fidan kuru ağırlığına etkisine ait istatistikler

NP Çeşit x Doz	N	Mean	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	6,62±0,32	bc	2,00	19,50
TiO ₂ _yüksek	18	8,06±0,76	abc	3,50	18,50
TiO ₂ _orta	18	8,06±0,87	abc	3,50	16,50
TiO ₂ _düşük	18	7,00±0,54	bc	4,00	11,00
ZnO_yüksek	18	7,81±0,97	abc	1,50	17,00
ZnO_orta	18	10,69±2,71	a	1,50	54,00
ZnO_düşük	18	6,28±0,56	c	3,00	11,50
Fe ₃ O ₄ _yüksek	18	7,69±0,88	abc	3,00	16,00
Fe ₃ O ₄ _orta	18	8,17±0,82	abc	3,00	15,00
Fe ₃ O ₄ _düşük	18	7,78±0,83	abc	3,00	14,00
CuO_yüksek	18	8,03±1,05	abc	1,50	18,00
CuO_orta	18	9,67±1,37	ab	3,00	23,00
CuO_düşük	18	6,92±0,59	bc	3,00	13,50
<i>F Değeri</i>	1,77				
<i>P Seviyesi</i>	0,05				

Tablo 4.22’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre TiO₂ nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.22 Nanopartikül çeşidinin gürbüzlük indisine etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi	N	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	120	20,17±0,14	c	0,00	4,79
TiO ₂	180	20,86±0,10	a	0,00	6,38
ZnO	180	20,41±0,11	bc	0,00	4,90
Fe ₃ O ₄	180	20,70±0,11	ab	0,00	5,44
CuO	180	20,73±0,08	ab	0,00	4,63
<i>F Değeri</i>	5,79				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.23’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre yüksek doz değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.23 Nanopartikül dozunun gürbzlük indisi değerine etkisine ait istatistikler

NP Dozu	N	Ortalama	Gruplar	Min	Max
Kontrol	120	20,17±0,14	b	0,00	4,79
Yüksek	240	20,77±0,08	a	0,00	5,14
Orta	240	20,67±0,09	a	0,00	5,44
Düşük	240	20,59±0,09	a	0,00	6,38
<i>F Değeri</i>	5,02				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.24’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre TiO₂ yüksek doz nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.25’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre CuO nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.24 Gürbzlük indisine nanopartikül çeşit ve dozunun etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşit x Doz	N	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	360	2,01±0,09	c	0,00	5,45
TiO ₂ _yüksek	60	3,02±0,16	a	0,00	4,96
TiO ₂ _orta	60	3,01±0,12	a	0,00	4,46
TiO ₂ _düşük	60	2,56±0,22	abc	0,00	6,38
ZnO_yüksek	60	2,48±0,19	abc	0,00	4,48
ZnO_orta	60	2,28±0,22	bc	0,00	4,90
ZnO_düşük	60	2,48±0,19	abc	0,00	4,74
Fe ₃ O ₄ _yüksek	60	2,65±0,18	ab	0,00	5,14
Fe ₃ O ₄ _orta	60	2,55±0,22	abc	0,00	5,44
Fe ₃ O ₄ _düşük	60	2,91±0,17	a	0,00	5,28
CuO_yüksek	60	2,91±0,14	a	0,00	4,63
CuO_orta	60	2,83±0,13	ab	0,00	4,61
CuO_düşük	60	2,43±0,16	abc	0,00	4,46
<i>F Değeri</i>	5,61				
<i>P Seviyesi</i>	0,00				

Tablo 4.25 Nanopartikül çeşidinin katlılık indisine etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi	N	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
TiO ₂	54	2,23±0,08	b	1,33	3,63
ZnO	54	2,61±0,20	a	0,38	10,00
Fe ₃ O ₄	54	2,50±0,08	ab	1,17	4,00
Cuo	54	2,69±0,15	a	1,00	8,67
Kontrol	99	2,22±0,08	b	0,38	4,75
<i>F Değeri</i>	3,32				
<i>P Seviyesi</i>	0,01				

Tablo 4.26’da verilen varyans analizi sonuçlarına göre belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre CuO nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.26 Nanopartikül dozunun katlılık indisi değeri etkisine ilişkin istatistikler

NP Dozu	Adet	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	2,22±0,08	b	0,38	4,75
Yüksek	72	2,46±0,13	ab	0,38	10,00
Orta	72	2,63±0,11	a	1,33	8,67
Düşük	72	2,44±0,11	ab	1,00	6,00
<i>F Değeri</i>	2,60				
<i>P Seviyesi</i>	0,05				

Tablo 4.27’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, belirttiğimiz farklı uygulama çeşitlerinin istatistik anlamda önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına baktığımızda kontrol grubuna göre CuO orta doz nanopartikül değerinin en etkili olduğu, en az etkinin kontrol grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.27 Katlılık indisine nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşit x Doz	N	Ortalama	Gruplar	Minimum	Maksimum
Kontrol	99	2,22±0,08	ab	0,38	4,75

Tablo 4.27'nin devamı

TiO ₂ _yüksek	18	2,23±0,15	ab	1,33	3,63
TiO ₂ _orta	18	2,31±0,14	ab	1,33	3,25
TiO ₂ _düşük	18	2,15±0,11	b	1,57	3,40
ZnO_yüksek	18	2,48±0,46	ab	0,38	10,00
ZnO_orta	18	2,69±0,17	ab	2,00	4,50
ZnO_düşük	18	2,65±0,36	ab	1,00	6,00
Fe ₃ O ₄ _yüksek	18	2,48±0,16	ab	1,17	4,00
Fe ₃ O ₄ _orta	18	2,56±0,12	ab	1,80	3,50
Fe ₃ O ₄ _düşük	18	2,47±0,15	ab	1,67	3,75
CuO_yüksek	18	2,63±0,19	ab	1,00	4,00
CuO_orta	18	2,95±0,36	a	1,40	8,67
CuO_düşük	18	2,49±0,21	ab	1,67	5,00
<i>F Değeri</i>	<i>1,34</i>				
<i>P Seviyesi</i>	<i>0,20</i>				

4.2 Nanopartikül Uygulanmış Sarıçam Fidanlarına Ait Yaşama Yüzdeleri

Tablo 4.28'de verilen yaşama yüzdesi sonuçlarına göre, kontrol grubu yaşama yüzdesi %61,39 çıkmıştır. Kontrol grubuna göre en yüksek yaşama yüzdesi TiO₂-600 doz grubunda tespit edilmiştir. Titanyumoksit (TiO₂) ve Bakıroksitin (CuO) yaşama yüzdesi açısından etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.28 Fidan yaşama yüzdesine nanopartikül çeşit ve dozunun etkileşimli etkisine ilişkin istatistikler

NP Çeşidi x Dozu	Fidan Adet	Kuruyan	Yaşayan	Yaşama %
TiO ₂ -1000	60	7	53	88,33
TiO ₂ -600	60	3	57	95,00
TiO ₂ -200	60	16	44	73,33
ZnO-2000	60	14	46	76,67
ZnO-1200	60	19	41	68,33
ZnO-400	60	13	47	78,33

Tablo 4.28'in devamı

Fe ₃ O ₄ -2000	60	10	50	83,33
Fe ₃ O ₄ -1200	60	16	44	73,33
Fe ₃ O ₄ -400	60	8	52	86,67
CuO-1000	60	5	55	91,67
CuO-600	60	5	55	91,67
CuO-200	60	9	51	85,00
Kontrol	360	139	221	61,39

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Arazi şartlarında fidan boyu ve kök boğazı çapı gelişimi bakımından kontrol grubu ile tüm nanopartikül çeşitleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir. Taze gövde ağırlığı değişkenine yönelik nanopartiküller ile kontrol grubu arasında Çinko, Demir, Bakır oksit gruplarında anlamlı farklılıklar tespit edilirken, TiO₂ ile kontrol grubu arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Taze gövde ağırlığı üzerinde düşük NP dozları ile kontrol grubu arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken, yüksek ve orta düzeyde uygulanan NP dozları ile kontrol grubu arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Kök taze ağırlıkları bakımından kontrol grubu ile NP çeşitleri açısından anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Taze fidan ağırlığı bakımından ise Kontrol işlemi ile titanyumoksit ve demiroksit grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, Kontrol grubu ile Bakır Oksit (CuO) ve Çinko Oksit (ZnO) arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Kuru gövde ağırlıkları bakımından kontrol grubu ile nanopartikül çeşitleri açısından anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Bununla birlikte; Kuru gövde ağırlığı bakımından Kontrol işlemi ile düşük doz grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken, Kontrol ile orta ve yüksek doz grubu arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Ayrıca, fidan kuru ağırlıkları bakımından kontrol grubu ile nanopartikül çeşitleri açısından anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Ancak, NP dozu fidan kuru ağırlığı üzerinde anlamlı farklılığa sebebiyet vermiştir.

Gürebüzlük indesi üzerinde Kontrol grubu ile Çinko Oksit (ZnO) grubu arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, Titanyum Oksit, Demir Oksit ve CuO grupları ile kontrol işlemi arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Gürebüzlük İndisi bakımından Kontrol grubu ile bütün nanopartikül dozları arasında anlamlı farklılıkları olduğu saptanmıştır. Fidan katlılık kriteri açısından ise uygulanan NP doz ve çeşidinin her ikisi de işlemler arasında anlamlı farklılığa sebebiyet vermiştir.

Nanopartikül uygulanmış, 2+0 yaşlı fidanlarda FB'na olan etkileri incelendiğinde ve daha önce yapılan çalışmalar ve bu çalışmaya ait sonuçlar değerlendirildiğinde; Nanopartikül uygulamasının fidanların, kontrol fidanlarıyla kıyaslandığında boy ve çap gelişimine olumlu etki yaptığı ortaya konulmuştur. Ayrıca, NP ile muamele edilen fidanların kontrol fidanlarına göre ortalamada daha kalın fidan kök boğazı çapı

değerlerine eriştiği tespit edilmiştir. Buna karşın, Ayan ve ark. (2021) NP çeşit ve dozları 1+0 yaşlı kızılçam FB ve KBCÇ gelişimi ile FY üzerinde olumsuz etki yapmıştır. Buna karşılık, kontrol fidanlarının boy ve çap gelişimi ile FY değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Atik (2008) tarafından gerçekleştirilen doktora çalışmasında; doğal maddelerin, 2+0 yaşlı doğu kayını fidanlarında kontrol fidanlarına göre daha fazla çap gelişimi yaptığı belirtilmiştir.

Kırdar ve Allahverdiev (2003) Polystimulin A6 uygulamasının doğu kayını fidanlarında morfolojik karakterleri üzerindeki yürüttükleri araştırmada; Fidanlara 4 farklı konsantrasyonda polystimulin A6 uygulanmış, çalışma sonucunda; en yüksek FB ve KBCÇ'nı 200 ml/l elde işlemine etmiştir. Ayrıca, uygulama yapılan fidanların FKA, %Kök, yaprak sayısı gibi diğer morfolojik özellikleri kontrol fidanlarıyla kıyasladığında daha yüksek değerler elde edildiği belirtilmiştir.

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 ve ark., 2016).

Fe₂O₃ NP ile ilgili Askary vd. (2016)'nın yapmış olduğu bilimsel çalışmada nane bitkisi üzerinde yüksek konsantrasyonlu Fe₂O₃ NP pozitif etki yaptığı belirtilmiştir.

Çelikbaş (2019a) Karaçam türünde viyollerde kurdukları denemelerde NP uygulamalarında; en yüksek kök boğazı çapı gelişimini silika ve TiO₂ NP uygulamalarında saptamışlardır.

Karaçam ve sarıçam türünde uygulanan tez çalışmalarında ise 1200 mg/l ve 2000 mg/l dozlarının çimlenme ve de büyüme üzerinde olumlu bir etki yaptığını tespit etmişlerdir (Çelikbaş, 2019a; Çelikbaş, 2019b).

CuO NP'lerin soğan bitkisinde kök ucu hücrelerinde negatif etkiye sebep olduğu ortaya koyulmuştur (Çalbay, 2014).

Ulu sığırkuyruğu (*Verbascum olympicum*) tohumunda en uzun kök uzunluğu düşük konsantrasyonlu CuO Np'lerde olduğu fakat gövde fazlalıklarının da yüksek konsantrasyonlu uygulamalarda daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Derya, 2012).

Yüksek konsantrasyonlardaki TiO₂ NP muamelesi ile bitkilerde kök büyümesi dikkate değer derecede arttığı Clément vd. (2013) tarafından belirtilmiştir. Bahsi geçen araştırmada ise TiO₂ NP'nün 600 mg/l dozunun plumula uzunluğu üzerinde müspet bir etki yaptığı belirlenmiştir. TiO₂ NP'nün çap büyümesi üzerinde 200 mg/l konsantrasyonda olumlu etkileri olduğu saptanmıştır.

Fe₃O₄ NP'lerinin etkisinin incelendiği araştırmalar da sadece NP'leri içeren sulu bir ortamda yetişen kabak bitkilerinin NP'leri biriktirdiği ancak, bu birikmenin bitki üzerinde olumsuz yada olumlu bir etkisi konusunda kesin bir hüküm verilmemektedir (Zhu vd., 2008).

ZnO NP'lerine maruz kalan bitkilerin, doz artışı ile özellikle kök aksamlarındaki çinko iyonu birikimlerini artırdığı, buna bağlı olarak da bitki gelişiminin inhibe olarak, toksik etkiler saptandığı belirtilmiştir (Lin ve Xing, 2007). ZnO NP'lerine maruz bırakılmış buğday bitkisinin büyüme ve enzim aktivitesinde olumsuzluklar gözlemlendiği Du vd., (2010) tarafından ifade edilmiştir. Zn NP'nün soğan bitkisi tohumunun çimlenmesi üzerinde düşük konsantrasyonların artışa neden olurken, yüksek konsantrasyonlarda düşüşler gözlenmiştir (Raskar vd., 2014). 2000 mg/l dozda mısır bitkisinde tohum çimlenmesi ve kök büyümesinde Zn NP'nin olumlu etkisi görülmüş, 2000 mg/l nano-Zn veya nano-ZnO süspansiyonları, test edilen bitki türlerinin kök uzamasını pratik olarak sonlandırdığı belirtilmiştir (Lin ve Xing, 2007).

Kontrol grubu fidanlarının yaşama yüzdesi %61,39 çıkmıştır. Titanyum Oksit (TiO₂) 600 doz grubunun %95 yaşama yüzdesi ile en yüksek tutma başarısı sağladığı belirlenmiştir. Bu değeri %91 yaşama yüzdesi oranı ile Bakır Oksit (CuO) 1000 ve 600 doz grupları izlemiştir.

NP uygulamaları ile ilgili bilimsel çalışmalar daha çok zirai bitkiler üzerinde yapılmaktadır. Ancak, ormancılık alanında ve orman ağaçları türlerinde NP uygulamaları kapsamında uluslararası düzeyde yayına dönüşmüş çok az çalışma olması nedeniyle bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatüre altlık oluşturması ve ışık tutması bakımından önem arz etmektedir. NP'lerin bitkilerde su girişini kolaylaştırmak, tohum kabuğundan beslenmek ve çimlenmeyi hızlandırmak (Savithramma vd., 2012) gibi bitki gelişimine katkı sunabilecek özellikleri nedeniyle daha ileri ve detay çalışmalarla orman ağaçlarında araştırmaların yürütülmesi özellikle de fidan üretimi ve ağaçlandırma çalışmaları için potansiyel bakir bir alan olarak değerlendirilmektedir.

Nanopartiküllerin, ekstrem koşullara sahip arazilerde fidan yaşama yüzdesi için daha çok önem arz eden fidan KBC değerlerini attırdığı sonucuna dayanarak, yarı kurak, kurak ağaçlandırma sahalarına fidan gönderen fidanlıklarda; yetiştirilen fidanlara nanopartiküllerin uygulanması tavsiye edilebilir.

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>
- Almutairi, Z.M. (2017). Expression profiling of certain MADS-box genes in *Arabidopsis thaliana* plant treated by silver nanoparticles. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 53(1), 30-36.
- Askary, M., Talebi, S., Amini, F., & Bangan, A.D. (2016). Effect of NaCl and iron oxide nanoparticles on *Mentha piperita* essential oil composition. *Environmental and Experimental Biology*. 14, 27-32.
- Atik, H.A. (2008). Doğal Maddelerin (Biyohumus ve Baykal EM 1) Doğu Kayınında (*Fagus orientalis* Lipsky.) Bazı Morfolojik-Fizyolojik Proseslere Etkisi. Doktora Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Ayan, S. (2002). Determining the site condition features of containerised-Oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) seedlings; and setting the production Techniques, Ministry of Forests, the Institution of Eastern Black Sea Forestry Research, Ministry Publication number:179, *Eastern Black Sea Forestry Studies (DKOA)* Publication number: 14, Technical Bulletin Publication number: 11, Trabzon.
- Ayan, S., Yer Çelik, E.N., Fırat, Z., & Gülseven, O. (2021). Effects of some nanoparticle applications on seedling growth and percentage of brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) seedlings in open field conditions, *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University (MAKÜFEBED)*, 12 (2): 278-286.
- Ayıntaplı, P. (1995). Serinyol ve Tekir Fidanlıklarında Üretilen Kızılcım, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri Fidanlarında Kalite Sınıflaması Araştırmaları. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 115s, Trabzon.
- 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.
- Çalbay, Ö. (2014). Bakır oksit ve silikon dioksit nanopartiküllerinin *Allium cepa*'daki genotoksik etkileri. Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Çelikbaş, A. (2019a). Bazı Nano Partiküllerin Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Lamb. (Holmboe)) Tohumlarının Çimlenmesi Üzerindeki

- Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu.
- Çelikbaş, H.M. (2019b). Bazı nano partiküllerin sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu.
- Clément, L., Hurel, C., & Marmier, N. (2013). Toxicity of TiO₂ nanoparticles to cladocerans, algae, rotifers and plants – Effects of size and crystalline structure. *Chemosphere*, 90 (3), 1083-1090.
- Dağlıoğlu, Y., & Türkış, S. (2017). TiO₂ nanopartikül uygulamasının su mercimeğinin (*Lemna minör* L.) fotosentetik pigment içeriği üzerine etkisi. *Acta Biologica Turcica*, 30(4), 108-115.
- Derya, S. (2012). Bazı Ağır Metallerin *Verbascum olympicum* Boiss.(scrophulariaceae) Türünün Tohum Çimlenmesi Üzerinde Etkileri, Yüksek lisans tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Dirik, H., (1990). Dikim şoku. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 40B (3), 105-116, Ankara.
- 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.
- Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J., & Guo, H. (2010). TiO₂ and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. *Journal Environmental Monitoring*.13, 882.
- Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J., & Guo, H. (2011). TiO₂ and ZnO Nanoparticles Negatively Affect Wheat Growth and Soil Enzyme Activities in Agricultural Soil. *Journal of Environmental Monitoring*, 13: 822-828.
- Fırat, Z. (2020). Beypazarı Kızılçam Kültürleri Gelişimine Nanopartikül Uygulamalarının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu.
- Gürmen, S., & Ebin, B. (2008). Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, *Metalurji*, 31-38.
- Han, J., Xiao, J., Jin, Y., & Zhu, H. (2008). Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Journal of Environmental Monitoring*, 10 (6), 713-717.
- 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.

- Kaweeteerawat, C., Ivask, A., Liu, R., Zhang, H., Chang, C, H., Low-Kam, C., Fischer, H., Ji, Z., Pokhrel, S., & Cohen, Y. (2015). Toxicity of metal oxide nanoparticles in *Escherichia coli* correlates with conduction band and hydration energies. *Environmental Science Technology*. 49:1105–1112.
- Kırdar, E., & Allahverdiev, S. (2003). The effect of Polystimulin-A6 on some morphological properties of beech seedlings (*Fagus orientalis* Lipsky.). *Act. Agric. Scand*, B series, Vol:53, P: 1-8.
- Kundu, S., Adhikari, T., & Rao, A.S. (2015). *Nanotechnology, Plant Nutrition and Climate Change, Chapter 9 in Climate Dynamics in Horticultural Science*, vol. 2, 152p.
- Kuzma, J. (2008). *Agrifood Nanotechnology: Upstream Assessment of Risk and Oversight*”, *Center for Science, Technology, and Public Policy Humphrey Institute*, University of Minnesota, USA.
- Lin, D., & Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth, *Environmental Pollution*,, 150 (2), 243-250.
- 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.
- Ma, X., & Wang, C. (2010). Fullerene nanoparticles affect the fate and uptake of trichloroethylene in phytoremediation systems. *Environmental Engineering Science*, 27(11): 989-992.
- Miller, J. C., Serrato, R., RepresasCardenas, J. M., & Kundahl, G. (2004). *The Handbook of Nanotechnology*, *John Wiley & Sons, Inc., Hoboken*, New Jersey.
- OGM (2013) Orman Genel Müdürlüğü,(2013). *Orman Atlası-Ankara* p. 34-35.
- OGM (2015), Orman Genel Müdürlüğü, (2015). *Türkiye Orman Varlığı* p. 23-24.
- Rao, C. N. R., Müller, A., Cheetham, A. K. (2005). *The Chemistry of Nanomaterials Volume 1*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
- Raskar, S., & Laware, S. (2014). Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion, 3(2), 467-473.
- Raskar, S., & Laware, S. (2014). Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion, 3 (2), 467-473.
- Roco, M.C. (2011). The long view of nanotechnology development: the national nanotechnology initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research*, 13:427–445.

- Roohizadeh, G., Majd, A., & Arbabian, S. (2015). The effect of sodium silicate and silica nanoparticles on seed germination and growth in the *Vicia faba* L, *Tropical Plant Research*, 2(2), 85-89.
- Samadi, N. (2014). Effect of TiO₂ and TiO₂ Nanoparticle on. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(4), 408-418.
- Savithamma, N., Ankanna, S., & Bhumi, G. (2012). Effect of Nanoparticles on Seed Germination and Seedling Growth of *Boswellia ovalifoliolata* – an Endemic and Endangered Medicinal Tree Taxon. *Nano Vision*, 2 (1, 2 & 3), 61-68.
- 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.
- Shilpa, R., & Lawre, S. (2014). Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. *International Journal of Current Microbiology And Applied Sciences*, 3(2), 467-473.
- Sun, D., Hussain, H., Yi, Z., Rookes, J., Kong, L., & Cahill, D. (2016). Mesoporous silica nanoparticles enhance seedling growth and photosynthesis in wheat and lupin. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 152, 81-9.
- Thomas, R., Jasim, B., Mathew, J., & Radhakrishnan, E. (2016). Plant growth and diosgenin enhancement effect of silver nanoparticles in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25, 443-447.
- Thuesombat, P., Hannongbua, S., Akasit, S., & Çadchaçası, S. (2014). Effect of silver nanoparticles on rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) seed germination and seedling growth, 104, 302-309.
- Tunca, E.Ü. (2015). Nanoteknolojinin Temeli Nanopartiküller Ve Nanopartiküllerin Fitoremediasyonu, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 5(2): 23-34.
- Vannini, C., Domingo, G., Onelli, E., Prinsi, B., Marsoni, M., Espen, L., & Bracale, M. (2013). Morphological and Proteomic Responses of *Eruca sativa* Exposed to Silver Nanoparticles or Silver Nitrate. *PLOS ONE*, 8(7), 1-8.