



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FISTIKÇAMI (*Pinus pinea* L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME
FİZYOLOJİSİ ÜZERİNE Fe₂O₃ VE ZnO
NANOPARTİKÜLLERİNİN ETKİSİ

MEHMET ÖZDEMİR

DANIŞMAN

PROF. DR. HALİL BARIŞ ÖZEL

BARTIN-2023



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FİSTİKÇAMI (*Pinus pinea* L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME FİZYOLOJİSİ
ÜZERİNE Fe₂O₃ VE ZnO NANOPARTİKÜLLERİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÖZDEMİR

BARTIN-2023

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL danışmanlığında hazırlamış olduğum "FISTIKÇAMI (*Pinus pinea* L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME FİZYOLOJİSİ ÜZERİNE Fe₂O₃ VE ZnO NANOPARTİKÜLLERİNİN ETKİSİ" başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

25.08.2023

Mehmet ÖZDEMİR

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca yaptığı katkıları ve doğru yönlendirmeleri ile bana her zaman destek olan danışmanım sayın Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL'e şükranlarımı sunmayı zevkli bir borç bilirim. Diğer taraftan tez çalışmam kapsamında bana önerileri ile önemli destekler sağlayan değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Tuğrul VAROL ve sayın Doç. Dr. Hakan ŞEVİK'e teşekkürlerimi sunarım. Arazi ve laboratuvar çalışmalarında bana destek olan ve yardım eden meslektaşım Berkant IŞIK'a teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında olduğu gibi yüksek lisans öğrenimim boyunca da beni destekleyen değerli aileme ve eşime destekleri için teşekkür ederim.

Mehmet ÖZDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FISTIKÇAMI (*Pinus pinea* L.) TOHUMLARININ ÇİMLENME FİZYOLOJİSİ ÜZERİNE Fe₂O₃ VE ZnO NANOPARTİKÜLLERİNİN ETKİSİ

Mehmet ÖZDEMİR

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL

Bartın-2023, sayfa: 35

Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) türüne ait Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucaşile ve Kastamonu-Cide orijinlerinden toplanan tohumlarda gerçekleştirilen bu araştırmada da yaygın olarak nanopartikül kirliliğinde görülen Fe₂O₃ ve ZnO türlerine ait 4 farklı doz konsantrasyon uygulamasının tohumların çimlenme yüzdesi ve çimlenme hızı değişkenleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve toksik eşik düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Varyans analizi sonucuna göre Fe₂O₃ nanopartikülünün kontrol ve 4 farklı dozunun tohumlara uygulanması sonucunda tüm gruplar arasında çimlenme yüzdesi değişkeni yönünden P<0,01 güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda çimlenme yüzdesi yönünden dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin homojen grupların oluşturulması amacıyla %95 güven düzeyinde Duncan testi yapılmıştır. Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı Fe₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre %87,33 ve %83,48 çimlenme yüzdeleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla %77,59 ile 800mg/l dozu, %53,26 ile 1200mg/l dozu ve %38,75 ile 1600mg/l dozu izlemiştir. Çimlenme hızı yönünden yapılan değerlendirmelerde de uygulanan varyans analizi sonucunda kontrol dahil farklı Fe₂O₃ nanopartikül dozu konsantrasyon gruplarında istatistiki açıdan P<0,01güven düzeyinde anlamlı farklılığın ortaya çıktığı belirlenmiştir. Duncan testi

sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçami tohumlarına uygulanan 4 farklı Fe₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre 35,13 ve 31,57 çimlenme hızı değerleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla 29,63 ile 800mg/l dozu, 21,48 ile 1200mg/l dozu ve 18,37 ile 1600mg/l dozu izlemiştir. Araştırmada ZnO nanopartikülüne ait dört farklı konsantrasyon dozu uygulamasının çimlenme hızı üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Bu amaçla yapılan tek yönlü Varyans analizi sonucunda kontrol ve doz grupları arasında çıkan P<0,01 güven düzeyindeki anlamlı farklılığa bağlı olarak homojen grupların oluşturması amacıyla %95 güven düzeyinde Duncan Testi uygulanmıştır. Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçami tohumlarına uygulanan 4 farklı ZnO nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre 36,53 ve 34,28 çimlenme hızı değerleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla 30,64 ile 800mg/l dozu, 23,41 ile 1200mg/l dozu ve 19,28 ile 1600mg/l dozu izlemiştir. Her iki nanopartikül türünün 4 farklı doz konsantrasyonunun uygulanması sonucunda tohumlarda yapılan çimlenme testleri sonucunda ortaya çıkan çimlenme yüzdesi ve çimlenme hızı değerleri incelendiğinde; kontrol ve düşük doz (400mg/l) grubunda her iki çimlenme parametresi yönünden önemli farklılıklar ortaya çıkmamıştır. Ancak 1200mg/l dozundan itibaren her iki nanopartikül türünün uygulandığı tohumların çimlenme yüzdesi ve hızında belirgin azalmalar meydana gelmiştir. Buna göre ön değerlendirme amaçlı yapılan bir yılda tamamlanan bu çalışmada yerel fıstıkçami orijinlerinden toplanan fıstıkçami tohumlarında nanopartikül toksik eşik değerinin mevcut verilere göre 1200mg/l düzeyi olduğunu söylemek mümkündür. Diğer taraftan her iki nanopartikül türünün 4 farklı dozunda da hem çimlenme yüzdesi hem de çimlenme hızı yönünden orijinler arasında istatistiki olarak önemli bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Bu durumun orijinlerin birbirine yakın olması ve benzer ekolojik koşullara sahip bulunmasından kaynakladığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fıstıkçami, orijin, nanopartikül, kirlilik, tohum, çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı

Bilim Alanı Kodu: 120517

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF Fe₂O₃ AND ZnO NANOPARTICLES ON GERMINATION PHYSIOLOGY OF STONE PINE (*Pinus pinea* L.) SEEDS

Mehmet ÖZDEMİR

**Bartın University
Graduate School
Department of Forest Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL

Bartın-2023, pp: 35

In this study, which was carried out on seeds collected from the origins of Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucaşile and Kastamonu-Cide belonging to the Stone Pine (*Pinus pinea* L.) species, the effects of 4 different dose concentrations of Fe₂O₃ and ZnO species, which are commonly seen in nanoparticle pollution, on the germination percentage and germination rate variables of the seeds were investigated and toxic threshold levels were determined. According to the variance analysis results, as a result of the application of control and 4 different doses of Fe₂O₃ nanoparticle to the seeds, there was a statistically significant difference at the P<0.01 confidence level in terms of the germination percentage variable between all groups. In this context, Duncan test was performed at 95% confidence level in order to form homogeneous groups for four different doses and control groups in terms of germination percentage. According to Duncan test results, 4 homogeneous groups emerged as a result of 4 different Fe₂O₃ nanoparticle concentrations applied to nut pine seeds in terms of germination percentage, including the control group. Accordingly, with germination percentages of 87.33% and 83.48%, the seeds in the control and the lowest dose 400mg/l group were included in the first group, followed by 77.59% to 800mg/l dose, 53.26% to 1200mg/l dose and 38.75% to 1600mg/l dose, respectively. As a result of the variance analysis applied in the evaluations made in terms of germination rate, it was determined that there was a statistically significant difference in the P<0.01 confidence level in different

Fe₂O₃ nanoparticle dose concentration groups, including the control. According to Duncan test results, 4 homogeneous groups emerged as a result of 4 different Fe₂O₃ nanoparticle concentrations applied to stone pine seeds in terms of germination percentage, including the control group. Accordingly, with germination rate values of 35.13 and 31.57, the seeds in the control and the lowest dose 400mg/l group were included in the first group, followed by 29.63 and 800mg/l doses, 21.48 and 1200mg/l doses, and 18.37 and 1600mg/l doses, respectively. In the study, the effects of four different concentration doses of ZnO nanoparticles on the germination rate were also investigated. Based on the significant difference in the P<0.01 confidence level between the control and dose groups as a result of the one-way analysis of variance performed for this purpose, the Duncan Test was applied at 95% confidence level in order to form homogeneous groups. According to Duncan test results, 4 homogeneous groups emerged as a result of 4 different ZnO nanoparticle concentrations applied to nut pine seeds in terms of germination percentage, including the control group. Accordingly, with germination rate values of 36.53 and 34.28, the seeds in the control and the lowest dose 400mg/l group were included in the first group, followed by 30.64 and 800mg/l doses, 23.41 and 1200mg/l doses and 19.28 and 1600mg/l doses, respectively. When the germination percentage and germination rate values obtained as a result of the germination tests performed on the seeds as a result of the application of 4 different dose concentrations of both nanoparticle types; There were no significant differences in terms of both germination parameters in the control and low dose (400mg/l) groups. However, starting from the dose of 1200mg/l, the germination percentage and speed of the seeds applied to both nanoparticle types decreased significantly. Accordingly, in this study, which was completed in one year for the purpose of preliminary evaluation, it is possible to say that the nanoparticle toxic threshold value in the nut pine seeds collected from local pine origins is 1200mg/l according to the available data. On the other hand, there was no statistically significant difference between the origins in terms of germination percentage and germination rate in 4 different doses of both nanoparticle types. This is thought to be due to the fact that the origins are close to each other and have similar ecological conditions.

Keywords: Stone pine, nanoparticles, pollution, seed, germination percentage, germination rate

Scientific Field Code: 120517

İÇİNDEKİLER

BEYANNAME	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLOLAR DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1.NANOPARTİKÜL KİRLİLİĞİ VE ORMANLAR.....	3
1.2. FISTIKÇAMI (PİNUS PİNEA L.)’NİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ..	6
1.3.ÇALIŞMANIN AMACI	7
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	7
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1.MATERYAL	12
3.2.METOT	13
3.2.1.TOHUMLARIN TOPLANMASI, HAYATİYET TESTLERİ VE ÇİMLENME ENGELİNİN GİDERİLMESİ.....	13
3.2.2 FE ₂ O ₃ VE ZNO NANOPARTİKÜLLERİNE AİT KONSANTRASYONLARIN HAZIRLANMASI VE TOHUMLARA UYGULANMASI	16
3.3.3TOHUMLARIN ÇİMLENME TESTLERİNE ALINMASI.....	18
3.3.İSTATİSTİK ANALİZLER	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. FE ₂ O ₃ NANOPARTİKÜLÜNE AİT BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.2. ZNO NANOPARTİKÜLÜNE AİT BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	29
KAYNAKLAR.....	333

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
3.1: Temizlenerek poşetlenmiş ve laboratuvar ortamına getirilmiş fıstıkçamı tohumu	14
3.2: Tohumların kesme deneyi ile hayatiyet testlerinin yapılışı	15
3.3: Çimlenme engelinin giderilmesi için cam kırıkları ile çizikleme işlemi.....	16
3.4: Nanopartiküllerin farklı dozdaki konsantrasyonlarının hazırlanması	17
3.5: Nanopartiküllere ait konsantrasyonların tohumlara uygulanması	17
3.6: Tohumların çimlenme testleri için petri kaplara yerleştirilmesi.....	18
3.7: Petrilerdeki tohumların çimlendirme dolabına yerleştirilmesi	19

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
4.1: Fe ₂ O ₃ nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme yüzdesine ilişkin varyans analizi sonucu.....	22
4.2: Çimlenme yüzdesine ait Fe ₂ O ₃ nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu.....	23
4.3: Fe ₂ O ₃ nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme hızına ilişkin varyans analizi sonucu.....	24
4.4: Çimlenme hızına ait Fe ₂ O ₃ nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu.....	25
4.5: ZnO nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme yüzdesine ilişkin varyans analizinin sonucu.....	26
4.6: Çimlenme yüzdesine ait ZnO nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu.....	26
4.7: Çimlen ZnO nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme hızına ilişkin varyans analizinin sonucu.....	27
4.8: Çimlenme hızına ait ZnO nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ha	: hektar
km	: kilometre
m	: metre
m ²	: metrekare
d	: Kalın ağaçlık çağı
a	: Gençlik ve sıklık çağı

KISALTMALAR

ANOVA	: Analysis of Variance
NP	: Nanopartikül

1. GİRİŞ

Yaşamın temel bileşenlerinin elde edildiği doğal kaynakların devamlılığı, tüm canlı popülasyonlarının varlığını koruması ve sürdürmesi açısından çok önemlidir. Ekolojik dengenin ve sistemin temel ve bileşik parçalarını oluşturan biyotik ve abiyotik unsurlar doğru yönetildiklerinde ve optimal fayda ve değer unsuruna göre işletildiklerinde yaşamın sorunsuz olarak sürdürülmesi ve tüm yerküre sisteminin korunması için hizmet ettikleri gibi yanlış işletildiklerinde ve kullanıldıklarında da yaşamsal sistemlerde önemli sorunların ortaya çıkmasına yol açacak potansiyele sahiptirler. Tüm ekosistemlerde dışardan herhangi bir müdahale olmadığında devam eden ekolojik denge spesifik şartların oluşmasında ve olgunlaşmasında etkili olduğu gibi doğal çevrenin varlığının tehdit altına girmesine neden olan olumsuz tabloların ortaya çıkmasında da yanlış faydalanma koşullarında etkili olabilmekte ve birçok türün, toplumun veya popülasyonun geleceğinin tehlike altına girmesine yol açabilmektedir. Nitekim 19. yüzyılın ortalarından itibaren başlayan ve toplumun belirgin bir yüksek ivme ile farklı talep ve ihtiyaçlarının şekillenmeye başladığı modern yaşam süreçlerinde ve dönemlerinde başta nüfus artışı ve teknolojik ilerlemeler doğal kaynaklardan elde edilen ürünlerin spektrumunda ve çeşitliliğinde farklı seviyelerin ortaya çıkmasına neden olduğu gibi yine doğadan elde edilen hammadde temelindeki yarı ve nihai son ürünlerde de aşırı faydalanmaların söz konusu olmasına ve adeta bu kaynakların plansız ve bilinçsiz bir şekilde sömürülmesine yol açmıştır. Bu durum öncelikle gelişmişlik düzeylerine göre dünyanın farklı coğrafyalarındaki toplumlar tarafından farklı şekillerde gerçekleştirilen yararlanma düzeylerine bağlı olarak şekillenmekle birlikte tüm toplumsal yaşam standartlarında faydalanmanın dozu ve şiddeti artmış, doğal kaynaklar sömürü düzeni içerisinde önemli ölçüde tahrip edilmiş ve tüm ekosistemlerde çarkın dişlileri zarar görmeye başlamış ve denge durumu maalesef ortadan yavaş yavaş ve sinsi bir şekilde kalkmıştır. İleri projeksiyonlarla toplumun sosyolojik ve demografik yapısını inceleyen ve modelleyen bilim insanları doğanın ve yaşamın en acımasız parçası ve ögesi olan insanoğlunun her geçen gün şiddetli bir şekilde artan ve yaygınlaşan açgözlülüğünün ve tahripkarlığının beklenenden çok önce tüm yaşamsal kaynakların önemli ölçüde bitmesine ya da en iyimse tablo ile tamiri mümkün olmayacak şekilde tükenmesine veya zarar görmesine yol açacağını bildirmektedir (Baho vd., 2017).

Son yıllarda tamamen yaşamın şekillenmesinde etkili olan en önemli faktör teknolojidir. Teknoloji bir taraftan hayatta karşılaşılan önemli sorunların belirlenmesinde, incelenmesinde ve kalıcı çözümlere kavuşturulmasında çok yararlı bir araç olmakla birlikte bir taraftan da çok fazla enerji kullanımına yol açması nedeniyle doğal kaynaklardan elde edilen başta fosil kökenli enerjilerin (kömür, doğal gaz, petrol vb.) aşırı kullanılmasına ve bitme noktasına gelmesine yol açmaktadır. Bu durum yeni fosil kökenli enerji kaynaklarının elde edilmesi için birçok doğal popülasyonun ve yaşam birliğinin tahrip edilmesine ve bu alanlarda başta bitkiler ve hayvanlar olmak üzere çok sayıdaki canlı türünün sahip olduğu biyolojik çeşitlilik alt yapısının daralmasına ve geleceğinin tehlike altına girmesine neden olmaktadır. Bu yaşamsal birlikteliklerin özellikle enerji elde etmek için tahrip edilmesi yakın gelecekte toplum, ülke ya da tüm dünya için tamiri mümkün geçici sorun setlerinin oluşmasına neden olmakla birlikte uzun vadede bu durumun etkilerinin katlanarak artması dünya ekosisteminin tamamen bozulmasına ve ekolojik dengenin kalıcı tahriplere maruz kalmasına yol açmaktadır. Bugün yapılan yeni enerji kaynakları arama faaliyetleri kapsamında savan ve tundra gibi ekosistem koşullarının oldukça güç olduğu ve ekosistem oluşturmanın önemli zorluklar içinde gerçekleştiği alanlarda dahi çok önemli tahripler meydana gelmiş ve bu durum beraberinde çok daha etkili ve çözümü güç çevre sorunlarının oluşmasına yol açmıştır (Borer vd., 2014). Bu sorunlardan birisi küresel iklim değişikliği olurken bir diğeri teknolojik madde kullanımında ortaya çıkan farklılıklara bağlı olarak ortaya sonradan sekonder unsur olarak çıkan ve iklim değişikliğinin etkileri ile çevresel sorunlara yol açma potansiyeli daha da etkili olan nanopartiküler kirliliktir (Barrena vd., 2009). Boyutu 30nm çok daha küçük olan bu parçacıklar özellikle çip ve bilgi teknolojileri başta olmak üzere tüm evsel ve endüstriyel kullanıma sahip olan yaşamın her alanında yer alan cihazların üretilmesi sırasında doğada var olan doğal elementlerden ve madenlerden elde edilen ürünlerin geliştirilmesinde ve üretim, sırasında ortaya çıkan ve tüm biyolojik yaşam döngülerini zarar vererek çok yavaş bir şekilde işlemez ve çözümlenemez işlevsellik boyutuna taşıyan parçacıkların oluşturduğu bir kirlilik seviyesi olarak açıklanmaktadır (Cañas vd., 2008). Söz konusu bu nanopartiküler kirlilik her geçen gün etkisini tüm canlı sistemlerinde hissettirmekte, hayvan, bitki ve insan toplumlarında önemli canlılık fonksiyonlarına zarar vermekte, çok ciddi boyutlarda kayıplara yol açmakta ve ekolojik dengeyi tahrip ederek geri dönüşü mümkün olmayan sistemsel sorunların yaşanmasına sebebiyet vermektedir. Ancak tüm bu zararlı etkilerine rağmen yeni materyal kullanım sektörü içinde nano teknolojilerin ilerlemesine bağlı olarak nanopartiküllerin ve bunlardan

elde edilen ürünlerin kullanımını hızla artmaktadır. Bu itibarla söz konusu malzeme teknolojilerinde geri kullanımlar da söz konusu olmakla birlikte atmosfere çıkan ve buldukları ortamda hızla yayılan nanopartiküller yaşama ciddi zararlar vermeye devam etmektedir. Bu kapsamda son yılların küresel ısınma etkileri ile birlikte tüm yerkürenin en ücra ve ulaşılamaz denilen noktalarında dahi yer alan sistemlere ulaşarak zarar veren nanopartiküller ve nanopartiküler kirlilik oluşumları ve bunların zararları konusunda yeterli sayıda araştırma sonucunun bulunduğundan söz etmek mümkün değildir. Özellikle gelişim düzeyleri düşük olan az gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerde gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerin endüstriyel tesislerini inşa etmesi nedeniyle daha yüksek boyutlara ulaşan nanopartiküler kirlilik nedeniyle daha önceden görülmemiş yaşamsal aksamaların, hastalıkların, doğal dejenerasyonların ve doğal kaynaklarda birden bire ortaya çıkan kayıpların görülmeye başlandığı birçok ulusal ve uluslararası çevre örgütü ve kuruluşu tarafından rapor edilmektedir. Bu kapsamda yayımlanan son raporlara göre nanopartiküler kirlilik nedeniyle bitki, hayvan ve insan popülasyonlarında gelecek 20-40 yıllık süreçte yıllık kayıpların %12,5'den başlayan artışlarla %33 seviyelerine kadar ulaşacağı ve hiç görülmemiş yeni virolojik unsurların şekilleneceği ifade edilmektedir (Lahiani vd., 2015). Bu kapsamda nanopartiküller kirlilikten en fazla ve ön sıralarda etkilenen canlı topluluğunun başında da bitkiler gelmektedir. Savunma mekanizmaları açısından diğer canlı unsurlara ve popülasyonlara göre daha zayıf olan ve ara konukçu olarak kullanım olanakları ve ihtimalleri çok yüksek olan bitkiler nanopartiküller içinde etkileşim potansiyeli anlamında oldukça uygun şartların oluşmasına hizmet etmekte ve gerek bireysel gerekse toplumsal düzeyde önemli zararlar görmektedir.

1.1. Nanopartikül Kirliliği ve Ormanlar

Son yıllarda etkisi hızla artan nanopartiküler kirliliği meydana getiren unsurlar doğadaki maden kaynakları ve doğal elementler ile yakından ilişki içindedir. Bu nedenle özellikle bu doğal hammadde kaynaklarının elde edildiği ortamlarda yaşayan basit ve yüksek yapılı tüm bitkiler ve bitki toplulukları her türlü nanopartiküler kirlilikten zarar görmekte ve bu durum birçok bitki türünün doğadan kaybolmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra sadece küresel ısınmanın meydana getirdiği ekolojik yaşam döngülerindeki farklılaşmalar dahi çok sayıda türün, alt türün, varyetenin ve taksonların kaybolmasına neden olduğu gibi çok yakın bir zaman diliminde genetik açıdan da çok önemli kısır döngülerin oluşmasına ve önemli genetik sorunlara sahip yeni generasyonların ortaya çıkmasına yol açacaktır. Bu durumun

incelenmesi mevcut zarar düzeyinin ve boyutlarının ortaya konulması oldukça önemli olmakla birlikte elde edilecek veriler bu anlamda gelecek çalışmalar için ve bu konuda alınabilecek tedbirlerin ve etki düzeylerinin belirlenmesi için de önemli bir değer arz etmektedir. Ancak bitki türlerinin önemli bir bölümüne farklı ekolojik koşullarda sahip oldukları farklı özellikler ile ev sahipliği yapan orman kaynakları, nanopartiküler kirlilik açısından zarar görecektir en önemli doğal kaynakların başında gelmektedir. Nitekim ormanları sahip olduğu çalı ve ot katından başlayarak ağaççık ve ağaç katına kadar olan yaşamsal formasyonlarında sadece bitkisel kümülatifler açısından değil aynı zamanda algler, nematodlar, mikorizalar ve diğer mikro ve makro fauna açısından da nanoprtikül kirliliğinin orman kaynaklarında meydana getireceği zararların boyutu ve etkileri çok yüksek olacaktır. Bu itibarla nanopartiküllerin meydana getirdiği ve üretim süreçleri ile yaşamsal fonksiyonlarda önemli kayıplara yol açan kirlenmelerde bitkilerle olan ilişkilerin incelendiği araştırmalar daha çok kısa rotasyon sürelerine sahip olan tarımsal ürünler üzerinde ve yem bitkilerinde yoğunlaşmış durumdadır. Özellikle yenilerek ya da dolaylı olarak tüketilen ve besin zincirinin önemli parçası olan bu bitkilerin hem hayvansal hem de insan sağlığı üzerindeki etkileri dikkate alındığında bu çalışmaların başlangıç noktasını bu tür bitki gruplarının ve ailelerinin oluşturması oldukça anlamlıdır. Nitekim tarım ve yem bitkileri üzerinde gerçekleştirilen ve nanopartiküler kirlilik üzerinde yoğunlaşan araştırma çalışmalarında başta fotosentez olmak üzere azot ve karbon döngülerinde çok önemli zararların, gerilemelerin ve kesintilerin meydana geldiği ayrı ayrı bitkiler üzerinde gerçekleştirilen araştırmalardan elde edilmiş bulgular ile ortaya konulmuştur (Ghodake vd., 2010; Begum vd., 2012).

Nanopartiküler kirlilik etkilerinin özellikle küresel ısınmanın ortaya koyduğu beklenmedik zararlı etkileşimler ile çok yakın zamanda zarar düzeyinin daha da üst seviyelere ulaşacağına yönelik beklentiler ve bu beklentilere ait doğadan alınan sinyaller hızla artmaktadır. Özellikle bitkilerde ve onların doğal yaşam süreçlerinde ortaya çıkan olumsuz ve beklenmedik olaylar çevresel sorunlarla ilişkilendirilirken özellikle çevre kirliliğinin farklı tür ve tipleri bu konuda oldukça etkili olmaktadır. Nitekim başta nanopartiküler kirlenmeler olmak üzere birçok çevre kirliliği süreçleri tüm bitki yaşam formlarında başta çimlenme yani üreme ve gelecek nesilleri oluşturma aşamalarında önemli zararlara yol açmaktadır. Bilhassa yüksek yapılı bitkiler grubunda yer alan ve orman ekosistemlerinin oluşmasında başrol oynayan ağaç türlerinin tohumlarının oluşması, çimlenmesi ve fidecik oluşturma aşamaları oldukça uzun süreçler olması ve özellikle asimilasyon bakımında çok önemli madde taşınımı

ve kullanımının söz konusu olması nedeniyle nanopartiküler kirlilikten ve bu süreçlerden önemli ölçüde zarar görmektedir. Bu konuda başta Avrupa ve Amerika kıtalarında bazı orman ağaçlarının tohumları ve çimlenme süreçleri üzerinde nanopartiküllerin etkileri üzerine birtakım araştırmalar yapılmış olsa da bunların dünya genelindeki ağaç türleri, tipleri ve üreme süreçleri dikkate alındığında hiç de yeterli olmadığı ortadadır. Bu nedenle başta ülkemiz olmak üzere zengin orman kaynaklarına sahip olan ve bu kaynakların ülke ekonomisinde önemli etkilerinin bulunduğu ülkelerde orman ağaçlarının başta tohumları, çimlenmeleri, gelişimleri ve diğer biyolojik fonksiyonları üzerindeki etkileri kapsamlı araştırmalar ile yakından incelenmelidir. Diğer taraftan başta tarım ve yem bitkileri olmak üzere kısa ömürlü ve çok hızlı çimlenme yeteneğine ve enerjisine sahip olan türlerin tohumları ve çimlenme süreçlerinde de nanopartiküler kirlenme konusunda ve nanopartiküllerin çimlenme süreçleri başta olmak üzere etkilerinin belirlenmesinde yapılan araştırmalarda dahi nanopartiküllerin çimlenmeyi çok önemli ölçüde zayıflattığı ve belli bir toksikolojik eşik değerinden sonrada tamamen durduğu belirlenmiştir. Bazı kserofit bitki türlerinde ise oldukça düşük doğal nano malzemelere ait partiküllerin kuraklık tehlikesi karşısında bitkisinin belirli bir yaşamsal döngüye kadar desteklendiği ancak belirli bir düzeyden sonra bu tür bitkilerde de toksik etkiler meydana getirdiği saptanmıştır (Krishnaraj vd., 2012; Kumar vd., 2013; Mahakham vd., 2017).

Ülkemizde gerek odun hammaddesi üretiminde gerekse odun dışı orman ürünlerinin elde edilmesinde önemli fonksiyonel özelliklere sahip olan orman ağaçlarının tohum çimlenme aşamalarından itibaren gelişim süreçlerinde nanopartiküllerin yarattığı kirlilik düzeylerinin etkileri konusunda gerekli çalışmalar yapılmadığı gibi bu konuda temel çalışmalar dahi henüz yapılmamıştır. Bu kapsamda asli orman ağacı türlerinde başta yaygın ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmalarında farklı ekolojik koşullarda yapılan teknik uygulamalarda kullanılan türlerde bu çalışmaların gerçekleştirilmesi gerektiği artık mevcut modern teknoloji çağında ormanlarımızın devamlılığının sağlanması ve sürdürülebilir yönetimi açısından oldukça büyük bir önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra özellikle dünya ticareti ve ihracat sektörü açısından çok önemli olan odun dışı orman ürünlerinin üretiminin sağlandığı fonksiyonel öneme sahip olan türlerin tohumlarının oluşumu, çimlenme süreçleri, fidecik ve fidan gelişimleri, gelişim çağlarının normalliği ve performansı konularında nanopartiküllerin meydana getirdiği çevresel kirliliğin etkileri de yakından araştırılması gereken önemli konuların başında gelmektedir. Özellikle ıhlamur, kestane, fıstıkçami, ceviz, sığla gibi önemli odun dışı ürün üretime katkı sağlayan türlerde dış ortam koşullarının

özellikle nanopartiküler kirliliğin etkileri türlerin tüm yaşam ve gelişim aşamalarında yakından incelenerek ortaya konulması hem türlerin devamlılığının sağlanması hem de bu türlerden gerekli üretimin elde edilerek milli ekonomiye olan katkının sürekliliğinin sağlanması açısından çok değerli bulguları içerecek niteliktedir. Bireysel düzeyde ağaçların ve orman toplumlarının varlıklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi açısından çevre kirliliği ve etkilerinin ortaya konulması oldukça önemlidir. Bu kapsamda tüm orman toplumların çevre kirliliği unsurlarından etkilenme düzeylerinin farklı tip ve şekillerde gerçekleştiği düşünüldüğünde ekolojik faktörlerin kompleks etkileri de bu kirliliğin etkilerinin artması ya da azalması hususunda önemli etkenler oluşturabilmektedir. Bu kapsamda özellikle nanopartiküler kirliliklerin etkileri ormanlar üzerinde de toplum ekolojisi nitelikleri ve orman ekosisteminin özel karakteristikleri dikkate alınarak incelenmelidir.

1.2. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)'nın Karakteristik Özellikleri

20-25 m'ye kadar boylanabilen asli orman ağacı türlerimizden olan fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) Akdeniz iklim tipinin karakteristik ağaç türlerinden birisidir. Dolgun ve düzgün gövde formuna sahip olan tür ilk yıllardan itibaren yüksek miktarda ışık ihtiyacı olan önemli bir ışık ağacı türüdür. Bu özelliği nedeniyle uzun süre üst ve yan siperin etkisi altında kalarak yaşamını sürdürümez (Saatçioğlu, 1969). Diğer taraftan hızlı gelişen tür özelliğine sahip olan fıstıkçamı çok erken yaşlardan itibaren gerçekleştirdiği hızlı boy ve çap gelişimi ile çok kısa sürede tam dolu ışık altında biyolojik bağımsızlığını kazanmaktadır. İlerleyen yaşlarında derin kabuk çatlaklarına sahip olan tür, ilk yıllardan itibaren tepe yapısını yayma (azmanlaşma) eğiliminde olan bir özelliğe sahiptir (Saatçioğlu, 1969). Tepe azmanlaşması özelliği türe hem iç fıstık üretimi (kozalak verimi) açısından önemli avantajlar sağlamakla birlikte doğal peyzaj içinde de önemli bir görsel güzellik kazandırmakta ve doğal peyzaj değerini yükseltmektedir (Kılıcı vd., 2011). Akdeniz havzasında yer alan İspanya, Portekiz, Yunanistan, İtalya ve Türkiye'de ana doğal yayılışını gerçekleştiren fıstıkçamı, ülkemizde daha çok Batı Anadolu (Ege Bölgesinde) Bölgesinde Aydın ve Muğla İllerine ait Bergama ve Kozak yörelerinde doğal yayılışını gerçekleştirmekte ve 70-80km içerilere kadar sokulabilmektedir (Bilgin ve Ay, 1997). Kahramanmaraş-önsen yöresinde doğal yayılışından ayrılan marjinal popülasyona sahip olan fıstıkçamı 150-900m yükselti kademelerinde dikey yayılışını gerçekleştirmekte ancak asıl yayılışı daha çok deniz iklimine paralel şeritler şeklinde gerçekleşmektedir. Bununla birlikte ülkemizde de diğer Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi tür doğal yayılış alanı dışında başta iç fıstık üretimi olmak üzere

kurak mıntıka kumul ağaçlandırmalarında yaygın olarak tercih edilir (Kılıcı vd.,2011).

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu araştırmada, ÷lkemizin önemli asli orman ağacı türlerinden olan fıstıkçamına (*Pinus pinea* L.) ait iç fıstık üretiminin yaygın olarak gerçekleştirildiği ÷lkemizdeki en önemli kaynaklarından ve lokasyonlarından olan Bartın ve Kastamonu yörelerine ait 3 farklı yerel orijinden (Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucaşile ve Kastamonu-Cide) toplanan tohumların çimlenme parametrelerine doğada yaygın olarak nanopartik÷ler kirlilik meydana getiren ZnO ve Fe₂O₃ nanopartik÷lerinin farklı dozlarının etkilerinin belirlenmesi ve bu iki nanopartik÷ özelinde fıstıkçanı tohumlarının toksikolojik eşik değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. ÷lkemizde fıstıkçamında ilk olarak gerçekleştirilen bu araştırmadan elde edilen bilimsel bulgular ile türün tohumlarının çimlenme parametrelerine yaygın bazı nanopartik÷lerin oluşturduğu kirlilik etkisinin düzeyleri belirlenerek gelecekte bu konuda yapılacak daha ayrıntılı çalışmalara da önemli bir veri kaynağının sağlanması da gerçekleştirilen bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

TiO₂, Ag₈, demir oksitler ve CeO₂ gibi inorganik üretilmiş nanoparçacıklar, çeşitli üretilmiş

ürünlerde ve sulu ortamda (TiO₂) giderek daha fazla bulunmaktadır. Yaşam döngüleri boyunca ekosistemlerdeki dağılımları, biyota (bitkiler, bakteriler, balıklar) ile etkileşimleri ile ilişkilendirilecektir. Mevcut çalışma, çok küçük nanopartiküllerin (boyut <30 nm) belirli fiziksel kimyasal özellikleri ile biyolojik aktivite bozulmaları arasında güçlü ilişkiler göstermektedir. Ag₈ ve CeO₂'nin çok düşük konsantrasyonlarda etki gösterdiği belirlenmiştir. TiO₂, fotoreaktiviteleri nedeniyle bitkisel üretimde önemli zararlara yol açmaktadır (Bottero vd., 2011).

Nanomalzemeler endüstrisindeki hızlı büyüme ile birlikte, çevreye girme riski daha yüksektir. Bu parçacıkların potansiyel etkileri çoğu durumda bilinmemektedir. Bu nedenle, nanomalzemelerin (NM'ler) potansiyel toksik ve genotoksik etkilerini belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bugüne kadar, karasal ekosistemler hakkında su ekosistemleriyle karşılaştırılan çok az çalışma vardır. Titanyum NM'leri ile ilgili olarak, tüm çalışmalar TiO₂ ile yapılmıştır. Bu çalışma ile farklı konsantrasyonlarda titanyum silikon oksit (TiSiO₄) genotoksik olup olmadığını ve ayrıca karasal organizmalarda bir antioksidan tepki olup olmadığını belirlemeye çalıştık. *Eisenia andrei*, toprak özelliklerinin korunması için gerekli oldukları ve ayrıca toprak toksisitesinde model türler olarak kabul edildikleri için seçilmiş türlerdi. Bu amaçla, solucanlar (ağırlık: 300–500 mg) 30 gün boyunca farklı konsantrasyonlarda TiSiO₄ ile kontamine olmuş OECD yapay toprağına maruz bırakıldı. Maruz kaldıktan sonra, solucanlardan sömösitler çıkarıldı ve kuyruklu yıldız tahlili ile DNA hasarı değerlendirildi. Ek olarak, antioksidan enzimlerin aktivitesi (örneğin, glutatyon peroksidaz, glutatyon redüktaz ve glutatyon-S-transferazlar) ve ayrıca lipit peroksidasyonu değerlendirildi. İstatistiksel analiz, en yüksek TiSiO₄ konsantrasyonlarına maruz kalan organizmaların kontrol ile karşılaştırıldığında önemli farklılıklara sahip olduğunu ortaya koydu. Bu nedenle, sonuçlar komet testinin TiSiO₄'ün solucanlar üzerindeki genotoksik etkilerini ortaya çıkarabileceğini gösterdi. TiSiO₄'ün neden olduğu gözlenen genotoksik etkiler üzerinde farklı antioksidan enzimlerin rolü, farklı aktivitelerinin sonuçlarına dayalı olarak tartışılmıştır (Bouguerra vd., 2014).

Yeşil sentezlenmiş gümüş nanopartiküllerin (Ag-NP'ler) *Moringa oleifera* yaprağı ekstresi kullanılarak *Oreochromis niloticus*'un hematolojik ve biyokimyasal parametreleri üzerindeki toksikolojik etkilerinin tespit edilmesini amaçlanan çalışmada; yetişkin balıklar, sodyum selenite (0.1 ppm) ve biyosentezlenmiş selenyum nanoparçacıklarına (Se-NP'ler) karşı iki ölümcül olmayan Ag-NP konsantrasyonuna (1.95 ve 3.9 ppm) maruz bırakıldı; 0,1

ppm; 2 ve 4 hafta koruma rolü. Hematolojik parametreler; eritrosit sayısı (RBC'ler), hemoglobin içeriği (Hb), hematokrit değeri (Hct), ortalama eritrosit hacmi (MCV), Ortalama Corpuscular Hemoglobin Konsantrasyon (MCHC), lökositler (WBC'ler), diferansiyel sayı ile Mikronükleus (MN) ve uyarılmış hücreler ve biyokimyasal parametreler; aspartat aminotransferaz (AST), alanin aminotransferaz (ALT), alkalın fosfataz (ALP) enzim aktiviteleri, serum protein (total protein, albumin ve globulin) konsantrasyonu, üre, kreatinin, glukoz, kolesterol (Cho) ve trigliserid (Tg) saptandı. Mevcut araştırma, farklı dozlardaki Ag-NP'lerin RBC'ler, Hb, Hct, MCV, WBC'ler, LYM ve serum proteinleri konsantrasyonunda önemli bir azalmaya ($p < 0.05$) yol açtığını gösterdi. Ancak MCHC, MN, uyarılmış hücreler, NEUT, AST, ALT, ALP enzim aktiviteleri, üre, kreatinin, glukoz, Cho ve Tg'de kontrol grubu ile karşılaştırıldığında anlamlı artışlar ($p < 0.05$) görüldü. Sodyum selenit (Se) ve biyosentezlenmiş selenyum nanoparçacıkları (Se-NP'ler), Ag-NP'lerin toksisitesinin detoksifikasyonunda iyimser bir rol oynar. Sonuçlar, Ag-NP'lerin balıkların hematolojisi ve biyokimyasal parametreleri üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir. Ayrıca Se-NP'ler, Ag-NP'lerin toksisitesinin ortadan kaldırılmasında sodyum selenitinkinden daha fazla hematolojik ve biyokimyasal parametrelerde tam bir iyileşme göstermiştir (İbrahim, 2020).

Tohum hazırlama, tohumların çimlenmesini iyileştirmek ve böylece potansiyel olarak büyümeyi ve verimi artırmak için tedaviler kullanır. Düşük maliyetli, çevre dostu, etkili tohum muamelesi, karpuz (*Citrullus lanatus*) gibi yüksek değerli özel mahsuller için birden fazla lokasyonda optimize edilmeli ve test edilmelidir. Bu, arzu edilen çekirdeksiz karpuzları üreten, ancak düşük çimlenme oranları gösteren triploidler için özellikle akut bir problem olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, tarımsal-endüstriyel yan ürünlerden sentezlenen zerdeçal yağı nanoemülsiyonları (TNE) ve gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), diploid ve triploid karpuz tohumları için nanopriming ajanları olarak kullanılmıştır. Nanomalzemelerin içselleştirilmesi, nötron aktivasyon analizi, transmisyon elektron mikroskobu ve gaz kromatografisi-kütle spektrometresi ile doğrulandı. Ekimden 14 gün sonra fide çıkış oranı, diğer uygulamalara kıyasla AgNP ile muamele edilmiş triploid tohumlarda önemli ölçüde daha yüksekti. Çözünür şeker (glukoz ve fruktoz) içerikleri, AgNP ile muamele edilmiş tohumlarda 96 saatte çimlenme sırasında arttı. İlk yıl sonuçlarını doğrulamak için, her iki çeşidin işlenmiş ve işlenmemiş tohumları 2018'de Teksas, Weslaco'da ekildi. karpuz meyveleri kontrolden önemli ölçüde farklı değildi. Bu çalışmanın sonuçları, AgNP'lerle tohum hazırlamanın, çevre dostu ve sürdürülebilir bir nanoteknolojik yaklaşımla meyve

kalitesini korurken tohum çimlenmesini, büyümesini ve verimini artırabileceğini göstermiştir (Acharya vd., 2020).

Endüstride Nanoparçacıkların kullanımındaki önemli artış, günümüzde çevresel bir endişe olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma, *Moringa oleifera* yaprağı ekstresi kullanılarak yeşil sentezlenmiş kadmiyum nanoparçacıklarının [Cd]NP'lerin dört haftalık maruziyetten sonra *Oreochromis niloticus*'ta çoklu biyobelirteçler üzerindeki toksisite etkilerini araştırmayı amaçladı. Sonuçlar, 24, 48, 72 ve 96 saat için [Cd]NP'lerin LC50 değerlerinin sırasıyla 2.17, 1.75, 1.49 ve 1.22 mg l⁻¹ olduğunu gösterdi. [Cd]NP'lere maruz kalan balıklarda beyaz ve kırmızı kan hücrelerinin sayısında, hemoglobinde, hematokritte, ortalama korpüsküler hemoglobin konsantrasyon değerinde önemli bir azalma oldu. Ortalama alyuvar hacmi ve nötrofiller arttı. [Cd]NP'lerin balığa maruz kalması eritrositlerde sitotoksik ve genotoksik değişikliklere yol açmıştır. [Cd]NP'lere maruz kalan balıkların kortizol, triiyodotironin ve tiroksin seviyelerinde önemli değişiklikler gözlemlendi. Aspartat aminotransferaz ve alanin aminotransferaz aktiviteleri artmıştır. [Cd]NP'lere maruz kalan balıkların serumunda glikoz, toplam lipidler, üre ve kreatinin seviyeleri artarken, toplam protein içeriği ve alkalın fosfataz aktivitesi azaldı. [Cd]NP'lere maruz kalan balıkların glikojen, toplam antioksidan seviyeleri ve süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon S-transferaz aktivitelerinde önemli bir azalma gözlemlendi. Buna karşılık, [Cd]NP'lere maruz kalma, farklı dokularda DNA parçalanma yüzdelerinde, lipid peroksidasyonunda ve karbonil protein seviyelerinde önemli bir artışla sonuçlandı. Bu çalışmanın sonuçları, [Cd]NP'lerin balıkta Sito-genotoksisiteye, oksidatif hasarlara, hematolojik ve biyokimyasal değişikliklerde değişikliklere ve endokrin bozucuya neden olacak toksisite potansiyeline sahip olduğunu doğruladı (İbrahim vd., 2021).

Toprağın kimyasal kirlenmesine ve küresel iklim değişikliğine yol açan antropojenik faaliyetler, bitkiler için stres seviyesini artırabilir. Son yıllarda yapılan araştırmalar (esas olarak iki faktörlü), toprak kirleticilerinin ekotoksisitesinin iklim faktörleri tarafından değiştirilebileceğini bildirmiştir. Bugüne kadar şunlar hakkında çok az şey biliniyor: bitkiler üzerindeki birleşik iklim-kimyasal stres; kimyasalların yüksek toprak nemi koşullarıyla etkileşimi; toprak özelliklerinin kombine iklim-kimyasal stres üzerindeki etkisi ve tarla koşullarında kimyasalların ekotoksisitesini etkileyen tüm kilit faktörlerin birleşik etkisine organizmaların tepkisine ilişkin sorular cevapsız kalmaktadır. Çalışmamız, kirli alanlarda karşılaşılan dört ana faktörün (toprak kimyasal kontaminasyonu: ağır metal (Zn); sıcaklık:

10, 23, 35°C, nem: %55, 80 WHC; toprak) çok faktörlü etkileşimi hakkındaki bilgi boşluğunu doldurmaya çalıştı. Birden çok ANCOVA modeline (n=108; düzeltilmiş R²=0.68) ve hesaplanan göstergelere dayalı olarak birden çok stres etkeninin birleşik etkisinin değerlendirilmesi şunları gösterdi: 1) incelenen tüm faktörler önemli ölçüde etkileşime girdi ve Zn'nin fitotoksik etkisini etkiledi; 2) Zn, nem koşullarına ve toprak özelliklerine bağlı olarak bitkinin sıcaklık stresine tepkisini değiştirmiştir. Bu çalışma, gerçek ortamda toprak kimyasal kirlenmesinin tehlikeli etkilerini değerlendirmek için yöntemler geliştirmektedir (Suszek-Łopatka vd., 2021).

Uygun tohum hazırlama maddeleri, tek tip tohum çimlenmesini ve daha iyi fide üretimini sağlayarak bu zorlukların üstesinden gelmeye yardımcı olabilir. Sodyum selenit (Na-selenit), sodyum selenat (Na-selenat), çinko oksit nanoparçacıkları (ZnO-NP'ler) ve bunların kombinasyonlarının DSR tohumları için hazırlama maddeleri olarak etkinliğini incelemek için, kontrollü bir saksı deneyi ve ardından bir saha deneyi yapıldı. Hindistan, Batı Bengal'de kumlu killi tınlı bir toprakta (Inceptisol) iki yıl üst üste yürütüldü. Tüm hazırlama ajanlarının kombinasyonları ile hazırlamanın, hidro-astarlama işlemine (kontrol) göre avantajları vardı. Üç hazırlama maddesinin tüm kombinasyonları, gelişmiş canlılığa sahip fidelerin erken ortaya çıkmasıyla sonuçlandı. Tarla deneyinde, tüm kombinasyonlar bitki klorofil, fenol ve protein içeriklerini, yaprak alanı indeksini ve süresini, mahsul büyüme hızını, besin maddelerinin alımını (N, P, K, B, Zn ve Si) artırmıştır (Adhikary vd., 2022).

Nanopartiküller için kapsamlı bir toksisite profili geliştirmek için bitkilerin dahil edilmesi gerekir. Beş tür nanopartikülün (çok duvarlı karbon nanotüp, alüminyum, alümina, çinko ve çinko oksit) altı yüksek bitki türünün (turp, kolza, çavdar otu, marul, mısır ve salatalık) tohum çimlenmesi ve kök büyümesi üzerindeki etkileri araştırıldı. 2000 mg/L'de çavdar otu üzerinde nano ölçekli çinko (nano-Zn) ve mısır üzerinde çinko oksit (nano-ZnO) inhibisyonu dışında tohum çimlenmesi etkilenmedi. Kök büyümesi üzerindeki inhibisyon, nanopartiküller ve bitkiler arasında büyük farklılıklar göstermiştir. 2000 mg/L nano-Zn veya nano-ZnO süspansiyonları, test edilen bitki türlerinin kök uzamasını fiilen sonlandırdı. Nano-Zn ve nano-ZnO'nun yüzde elli inhibitör konsantrasyonlarının (IC₅₀) turp için yaklaşık 50 mg/L ve kolza ve çavdar otu için yaklaşık 20 mg/L olduğu tahmin edilmiştir (Lin ve Xing, 2007).

Tohum çimlenmesini iyileştirmek için uygun araçların kullanılması, tarım ve ormancılıkta

büyük önem taşımaktadır. Burada, metal nanoparçacık tedavilerinin tarımsal türlerin tohum çimlenmesi ve fide büyümesi üzerinde belirli bir etkisinin olup olmadığını incelemek için bir meta-analiz kullanılmıştır. Sonuçlara göre, gümüş (Ag)-NP alt grubu için 1,97 (0,96, 2,98), diğer NP alt grubu için 1,21 (0,34, 2,09), NP tiplerine dayalı olarak toplam için 1,40 (0,88, 1,92) ortalama fark (MD) (yani genel etki) ile nanoparçacık (NP) uygulamalarının nihai çimlenme yüzdesi (FGP) üzerinde önemli ölçüde pozitif bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, genel etkinin %95 güven aralığında, nanoparçacık konsantrasyonları ile sürgün uzunluğu (SL) arasında istatistiksel bir ilişki ortaya çıkmamıştır (Guo vd., 2022).

Kısa idare süreli söğüt türünde terleme testi ile TiO₂ nanoparçacıklarının ağaçlar üzerindeki toksisitesinin incelendiği bir çalışmada, 25- ve 100-nm çaplı TiO₂ partikülleri, 0, 1, 10 ve 100 mg/L (ilk test) ve 0, 10, 20 ve 50 mg/L (ikinci test) konsantrasyonlarında damıtılmış suda süspanse edilmiştir. Açıkta kalan söğüt kesimlerinin terleme, büyüme ve su kullanım verimliliği üzerindeki etkileri izlenmiştir. Ölçülen etki parametrelerinin hiçbiri (büyüme, terleme ve su kullanım verimliliği) test sırasında önemli bir değişiklik göstermemiştir. Parçacıklar, muhtemelen agregasyonun bir sonucu olarak çökme ve ayrıca köklere adsorpsiyon nedeniyle çözüldükten hızla kaybolmuştur (Seeger vd., 2009).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Fe₂O₃ ve ZnO nanopartiküllerine ait farklı dozların fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) tohumlarının çimlenme parametreleri üzerine etkilerinin incelendiği bu araştırmada materyal olarak kullanılan fıstık çamı tohumları Batı Karadeniz Bölgesi alt öksin kuşağında bulunan Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucaşile ve Kastamonu-Cide orijinlerinden toplanmıştır. Tohumların toplandığı orijinlerde yükselti kuşağı 100-150m arasında değişmekte olup, bakılar genel olarak tohumların toplandığı ağaçlandırma alanlarında kuzeydir. Tohumların toplandığı alanda toprak derin, yüzeysel taşlılık zayıf, organik madde içeriği ise yeterli durumda olup, toprak tekstürü kumlu-kil ve kumlu-killi-balçık şeklindedir (Kılıcı vd., 2000; Tunçtaner vd., 2007). Toprak strüktürü ise genel olarak kırıntılı bünyeye sahiptir. Tohumların toplandığı alanlarda ortalama yıllık sıcaklık 14,2-17,3°C arasında, yıllık ortalama yağış ise 868-1024mm arasında değişmektedir. Ayrıca tohumların toplandığı Bartın ve Kastamonu yörelerine ait yerel lokasyonlarında ortalama vejetasyon süresi 6 aydır (MGM, 2022).

3.2. Metot

3.2.1. Tohumların Toplanması, Hayatiyet Testleri ve Çimlenme Engelinin Giderilmesi

Araştırmada öncelikle çalışmalara, araştırmanın materyalini oluşturan Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucaşile ve Kastamonu-Cide orijinlerindeki ağaçlandırma alanlarında bulunan ağaçlardan tohumlanmasıyla başlanmıştır. Bu amaçla tohumların toplandığı ağaçlandırma alanlarının normal kuruluş özelliklerine sahip merkez bölgelerindeki ağaçlardan tohum toplanmış, alanların yola ya da açıklıklara komşu olan ve serbest büyüme koşullarına sahip olan kenar kısımlarından tohum toplama işlemi gerçekleştirilmemiştir. Araştırmada kullanılan tüm tohumlar ağaçlardaki olgun kozalaklardan temin edilmiştir. Daha sonra kozalaklardan dikkatli bir şekilde çıkarılan tohumlar gerekli temizlik işlemlerinin gerçekleştirilmesinden sonra hava almayacak şekilde poşetlenmiş, uygun sıcaklık ve nem koşullarında laboratuvar ortamına taşınmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Temizlenerek poşetlenmiş ve laboratuvar ortamına getirilmiş fıstıkçami tohumu

Bu işlemi takiben, tohumlar sağlık testlerine tabi tutulmuştur. Bu amaçla poşetlerden çıkarılan tohumlara kesme ve yüzdürme deneyleri uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda embriyo ve endosperm kısımlarında sorun görünmeyen, sağlık ve normal gelişim performansına sahip olan fıstıkçami tohumları çimlendirme testlerinde kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Tohumların kesme deneyi ile hayatiyet testlerinin yapılışı

Önceki yıllarda fıstıkçamı tohumlarında gerçekleştirilen araştırmalar ve uygulamada kazanılan deneyimler sonucunda fıstıkçamı tohumlarının kabuk kalınlığı nedeniyle çimlenme engeline sahip olduğu belirlenmiştir (Ürgeç, 1998). Bu nedenle fıstıkçamı tohumlarının çimlenme testlerine alınmadan önce cam kırıkları ile dolu bir kaptaki çizikleme ya da zımparalamak suretiyle kabuk kalınlığının azaltılması ya da su alımını kolaylaştırmak için çizilmesi veya embriyoya zarar vermeden çatlatılması önerilmektedir (Ürgeç, 1998). Bu kapsamda söz konusu bu yüksek lisans tez çalışmasında da araziden getirilen ve hayatiyet testi yapılan fıstıkçamı tohumları cam kırıkları doldurulmuş kavanozlara örnekler halinde konulmuş ve kavanozlarda sallamak suretiyle fiziksel çiziklendirme şeklinde çimlenme engelinin giderilmesi için ön işlemlere tabi tutulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Çimlenme engelinin giderilmesi için cam kırıkları ile çizikleme işlemi

3.2.2. Fe₂O₃ ve ZnO Nanopartiküllerine Ait Konsantrasyonların Hazırlanması ve Tohumlara Uygulanması

Araştırmanın en önemli amaçlarının başında Fe₂O₃ ve ZnO nanopartiküllerinin fıstıkçami tohumlarının çimlenme parametreleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması ve toksik eşik değerlerinin belirlenmesi gelmektedir. Bu amaçla, laboratuvar ortamında steril ve hijyenik koşullarda her iki nanopartikül için de 400, 800, 1200 ve 1600 mg/l şeklinde 4 farklı nanopartikül konsantrasyonu hazırlanmış ve steril konsantrasyon şişelerinde tohumlara uygulanmak üzere bekletilmiştir (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



Şekil 3.4: Nanopartiküllerin farklı dozdeki konsantrasyonlarının hazırlanması



Şekil 3.5: Nanopartiküllere ait konsantrasyonların tohumlara uygulanması

3.3.3. Tohumların Çimlenme Testlerine Alınması

Her iki nanopartikül türüne ait dört farklı dozda hazırlanan konsantrasyonların uygulandığı fıstıkçamı tohumları çimlendirme testlerine alınmak üzere kantitatif filtre kağıtlarıyla hazırlanan tek kullanımlık steril petri kaplara alınmıştır. Her bir doz için 3 tekerrür gerçekleştirilmiş ve her bir tekerrürde 30 adet sağlıklı tohum olmak üzere her bir nanopartikül dozu için 90 adet tohum kullanılarak çimlenme testleri 3M Climacell marka çimlendirme dolabında gerçekleştirilmiştir. Çimlendirme dolabında çimlenme ortamının sıcaklığı 10°C, nisbi nem %70 ve ışıklandırma süresi 6 saat şeklinde fıstıkçamı tohumlarının çimlenmesi için en uygun koşullar oluşturularak yapılmıştır (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7). Ayrıca çimlenme testlerinde her bir nanopartikül türü için gerekli çimlenme parametresi değerlerini karşılaştırabilmek amacıyla hiçbir uygulamanın yapılmadığı ve her bir 30 adet tohumdan oluşan kontrol numuneleri de hazırlanmış ve çimlendirme testleri için kontrol numunesi olarak çimlendirme dolabına konulmuştur.



Şekil 3.6: Tohumların çimlenme testleri için petri kaplara yerleştirilmesi



Şekil 3.7: Petrilerdeki tohumların çimlendirme dolabına yerleştirilmesi

Bir yıl süreyle gerçekleştirilen bu araştırmada farklı nanopartikül dozlarının ülkemizin önemli asli orman ağacı türlerinden birisi olan ve odun dışı orman ürünleri sektöründe de ülkemizin ihracatında başı çeken fıstıkçamı tohumlarının çimlenme parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek ve toksik eşik değerlerini ortaya koyabilmek için ortalama çimlenme yüzdesi ve ortalama çimlenme hızı değişkenleri hesaplanmıştır. Bu amaçla, ISTA (1996) standartlarında belirtilen yaygın hesaplama yöntemleri kullanılmıştır.

3.3. İstatistik Analizler

Araştırma kapsamında her iki nanopartikül türüne ait 4 farklı dozda 3 tekerrüre göre rastlantı blokları deneme deseninde hazırlanan konsantrasyonlarının uygulandığı ve kontrol numunelerindeki fıstıkçamı tohumlarına ait ortalama çimlenme yüzdesi ve ortalama çimlenme hızı değişkenlerine ait belirlenen ham veriler üzerinden özellikle nanopartiküllerin

toksik eşik değerlerini belirlemek amacıyla ham verilere bazı önemli istatistik analizler uygulanmıştır. Bu amaçla öncelikle ham verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini tespit etmek için Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hem orijinler hem de uygulanan dört farklı doz ve kontrol numunelerinde ortalama değerler üzerinde çimlenme yüzdesi ve çimlenme hızı değişkenlerinde herhangi bir istatistiki farklılığın bulunup bulunmadığını saptamak için $P < 0,01$ güven düzeyinde tek yönlü varyans analizi (One Way ANOVA) uygulanmıştır. İşlem grupları ve kontrol numunesi arasında tek yönlü varyans analizi sonucunda istatistiki açıdan farklılık çıkması durumunda yine $P < 0,05$ güven düzeyinde homojen grupları belirlemek için Duncan Testi yapılmıştır. Tüm bu istatistik analizler SPSS paket istatistik programında gerçekleştirilmiştir (SPSS, 2002)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fe₂O₃ Nanopartikülüne Ait Bulgular ve Tartışma

Günümüzdeki modern toplum yaşamının en önemli sorunlarının başında küresel ısınma ve çevre kirliliği gelmektedir. Ortaya çıkan çevre kirliliği sorunlarının küresel ısınmanın etkileri üzerindeki artırıcı etkileri dikkate alındığında tüm doğal kaynaklarda ve doğal yaşam biçimlerinde meydana gelen çevre kirliliği tiplerinin ve zarar düzeylerinin yakından incelenip değerlendirilmesi ve takip edilmesi gerekmektedir. Bu önemli yaşam biçimlerinin başında yüksek yapılı bitkiler grubunda yer alan ve dünyanın en önemli kaynağı olan ormanların önemli bileşenlerinden birisi olan ağaçlar gelmektedir. Ağaçlar farklı ekolojik koşullara hızla adapte olan ve bu kapsamda doğal plastisitesi oldukça yüksek bitki toplumdur. Bu nedenle başta kuraklık, don gibi çevresel stres koşullarına farklı ekolojik koşulların ve farklı işletme biçimlerinin etkisi ile yöresel durumların da aktif olması sonucunda farklı tepkiler göstermektedir. Bu kapsamda önemli çevresel stres faktörlerinden birisi olan çevre kirliliğine adaptasyon ve rezistant durum konusunda da tür ve genetik yapıya bağlı olarak farklı eko rejyonlarda ağaç türlerinin dayanıklılık ve adaptasyon yeteneklerinin birbirinden bariz farklılıklar ortaya koyan düzeylerde gerçekleştiği görülmektedir. Çevre kirliliği streslerinin başında ağır metal ve nanopartikül kirlilikleri diğer tüm canlı popülasyonlarında olduğu gibi ağaçların bireysel ve toplumsal yaşamları üzerinde hem gelişimleri hem de yayılımları açısından önemli sınırlamalar meydana getirmektedir. Günümüz koşullarında özellikle ağır metallerin artan dozlarında meydana getirdiği ciddi çevre kirliliği problemleri hem açık alan koşullarında hem de kapalı alan koşullarında birçok araştırma ile ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ancak nanopartiküllerin yaygın endüstriyel faaliyetler sonucunda meydana getirdikleri kirlilik düzeyleri ve bunların özellikle ağaçların bireysel ve toplumsal yaşamları üzerinde meydana getirdiği zararlar konusunda özellikle ülkemizde yeterli düzeyde araştırma çalışmasının olduğundan söz etmek mümkün değildir. Bu konuda çalışmalar ve ağaç türlerinin nanopartiküller tarafından meydana getirilen kirlilik düzeylerine dayanma ve toksik eşik oluşturma düzeyleri ve yetenekleri henüz çalışılan konular olarak dünya bilim toplumunun gündemine girmiştir. Bu kapsamda ülkemizde yeterli sayıda ve ayrıntıda çalışmanın yer almadığı nanopartiküllerin ağaç türlerinin ve özellikle neslinin devamlılığı konusunda çok önemli olan tohumlarının çimlenme

parametrelerinin üzerindeki çalışma sayısının artırılması ve bu konuda detay bilgilere ulaşılması için henüz hakkında araştırma bulunmayan fıstıkçamı tohumları üzerine iki farklı ve yaygın nanopartikül türünün farklı dozlarının etkileri araştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Araştırmada öncelikli olarak, 3 farklı yerel fıstıkçamı orijininin (Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucaşile ve Kastamonu-Cide) toplanan ve sağlık testlerinden geçirilen kaliteli ve sağlıklı tohumlara yaygın olarak endüstriyel faaliyetler sonucunda ortaya çıkan nanopartiküllerden birisi olan Fe_2O_3 'e ait 4 farklı dozdaki konsantrasyon (400mg/l, 800mg/l, 1200mg/l ve 1600mg/l) uygulanmıştır. Yapılan çimlendirme testlerinde en önemli çimlenme parametreleri olan çimlenme yüzdesi ve çimlenme hızı değişkenleri üzerindeki nanopartiküllerin farklı dozlarının etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece fıstıkçamı tohumlarının çimlenme parametreleri yönünden dört farklı dozdaki Fe_2O_3 nanopartikül düzeylerine ilişkin toksik etki düzeyleri belirlenmiştir. Bu amaçla ilk incelenen çimlenme parametresi çimlenme yüzdesi olmuştur. Çimlenme yüzdesi ilişkin olarak dört farklı dozdaki Fe_2O_3 nanopartiküllerine ait ham verilere uygulanan tek yönlü varyans analizinin sonucu Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Fe_2O_3 nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme yüzdesine ilişkin varyans analizinin sonucu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplararası	596,63	3	198,88	46,50	P<0,01
Gruplarıçi	239,51	86	4,28		
Toplam	836,14	89			

Tablo 4.1'deki varyans analizi sonucuna göre Fe_2O_3 nanopartikülünün kontrol ve 4 farklı dozunun tohumlara uygulanması sonucunda tüm gruplar arasında çimlenme yüzdesi değişkeni yönünden P<0,01 güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda çimlenme yüzdesi yönünden dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin homojen grupların oluşturulması amacıyla %95 güven düzeyinde Duncan testi yapılmış ve elde edilen test sonuçları Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Çimlenme yüzdesine ait Fe₂O₃ nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu

Dozlar (mg/l)	Homojen Gruplar			
	1	2	3	4
Kontrol	87,33			
400	83,48			
800		77,59		
1200			53,26	
1600				38,75

Tablo 4.2’de yer alan Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı Fe₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre %87,33 ve %83,48 çimlenme yüzdeleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla %77,59 ile 800mg/l dozu, %53,26 ile 1200mg/l dozu ve %38,75 ile 1600mg/l dozu izlemiştir. Fıstıkçamı türünde ülkemizde ya da yurt dışında nanopartikül kirliliğine ilişkin herhangi düzeyde araştırma çalışmasının bulunmaması nedeniyle elde edilen veriler diğer yerli çam türlerinde gerçekleştirilen diğer nanopartikül doz uygulama çalışmalarının sonuçları ile karşılaştırılarak bir ön yaklaşım ve değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Buna göre Kastamonu-Taşköprü orijinli karaçam tohumlarında gerçekleştirilen benzer çalışmada Fe₂O₃ nanopartiküle ait farklı dozların tohum çimlenme yüzdesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek çimlenme yüzdesi kontrol ve düşük doz uygulaması olan 400mg/l’de elde edilirken çimlenme yüzdesinde özellikle 800mg/l dozunun üzerinde yer alan 1200mg/l ve 1600mg/l şeklindeki yüksek dozlarda önemli düşüşlerin meydana geldiği ve çimlenme yüzdesi yönünden 800mg/l’nin karaçam türü tohumları için toksik eşik değerini oluşturduğu belirlenmiştir (Çelikbaş, 2019). Sarıçamda yapılan bir başka çalışmada ise Fe₂O₃ nanopartikülüne ait kontrol grubunda en yüksek çimlenme yüzdesi değerleri tespit edilirken 600mg/l doz değerinden itibaren uygulanan Fe₂O₃ nanopartikül konsantrasyonlarında çimlenme yüzdesinin hızla azaldığı ve özellikle 2000mg/l dozunda tamamen sona erdiği belirlenmiştir (Çelikbaş, 2019). Bu karşılaştırmalara göre çimlenme yüzdesi yönünden bu araştırma kapsamında yerel orijinlerden toplanan fıstıkçamı tohumlarına uygulanan dört farklı dozdaki Fe₂O₃

konsantrasyonlarında kontrol grubunun en yüksek çimlenme yüzdesine sahip olduğu özellikle 1200mg/l dozundan itibaren bariz şekilde tohumların sağlıklı olmasına rağmen çimlenme yüzdesinin azaldığı saptanmıştır (Tablo 4.2). Buna göre sarıçam ve karaçamda elde edilen veriler ile bu araştırma kapsamında bir yıllık değerlendirmeler sonucunda fıstıkçamında elde edilen verilerin birbirine çok yakın eğilimler gösterdiği belirlenmiştir. Hatta fıstıkçami tohumlarında çimlenme yüzdesi yönünden dayanıklılık düzeyinin karaçam ve sarıçama göre bir seviye daha üst düzeyde olduğunu da söylemek mümkün olup, bu durumun tohumun büyüklüğünden ve depoladığı besin maddelerinin fazlalığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çimlenme hızı yönünden yapılan değerlendirmelerde de uygulanan varyans analizi sonucunda kontrol dahil farklı nanopartikül dozu konsantrasyon gruplarında istatistiki açıdan $P<0,01$ güven düzeyinde anlamlı farklılığın ortaya çıktığı belirlenmiştir (Tablo 4.3)

Tablo 4.3: Fe₂O₃ nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme hızına ilişkin varyans analizinin sonucu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplararası	695,43	3	231,81	50,74	P<0,01
Gruplarıçi	255,84	86	4,57		
Toplam	951,27	89			

Tablo 4.3'deki sonuçlar itibarıyla varyans analizi sonucunda kontrol ve doz grupları arasında çıkan $P<0,01$ güven düzeyindeki anlamlı farklılığa bağlı olarak homojen grupların oluşturması amacıyla %95 güven düzeyinde Duncan Testi uygulanmış ve sonucu Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Çimlenme hızına ait Fe₂O₃ nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu

Dozlar (mg/l)	Homojen Gruplar			
	1	2	3	4
Kontrol	35,13			
400	31,57			
800		29,63		
1200			21,48	
1600				18,37

Tablo 4.4’de yer alan Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme hızı yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı Fe₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre 35,13 ve 31,57 çimlenme hızı değerleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla 29,63 ile 800mg/l dozu, 21,48 ile 1200mg/l dozu ve 18,37 ile 1600mg/l dozu izlemiştir. Bu konuda karaçamda yapılan bir araştırmada 800mg/l ve 1200mg/l Fe₂O₃ nanopartikülü doz değerlerinden sonra tohumlarda çimlenme hızının kontrol ve düşük doz numunelerine göre bariz oranda azaldığı saptanmıştır (Çelikbaş, 2019). Yine sarıçamda gerçekleştirilen bir başka araştırmada da özellikle 600mg/l Fe₂O₃ nanopartikülü dozundan itibaren çimlenme yüzdesinde olduğu gibi çimlenme hızında da kontrol grubuna göre bariz kayıpların ortaya çıktığı ve özellikle 2000mg/l dozundan sonra çimlenme hızının neredeyse durma noktasına ulaştığı belirlenmiştir (Çelikbaş, 2019). Bu karşılaştırma çerçevesinde fıstıkçamı tohumlarının yerel orijinlerden toplanması, kalite seviyesinin yüksekliği ve mineral içerik bakımından sarıçam ve karaçam tohumlarına göre daha zengin ve daha uzun süreli dayanma yeteneğine sahip olması nedeniyle toksik etki derecesinin 1200mg/l’den itibaren çimlenme yüzdesinde olduğu gibi çimlenme hızında da meydana geldiği ortaya çıkmıştır (Tablo 4.4).

4.2. ZnO Nanopartikülüne Ait Bulgular ve Tartışma

Araştırmada 3 yerel orijinden (Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucaşile ve Kastamonu-Cide) toplanan sağlıklı fıstıkçamı tohumlarından farklı dozlarda uygulanan diğer bir nanopartikül türü ZnO nanopartiküldür. Gerçekleştirilen yoğun endüstriyel uygulamalar sonucunda ortam kirliliğinde en yaygın olarak rastlanan ZnO nanopartikülü diğer canlı toplumlarında

olduğu gibi orman ağaçlarında ve üreme materyali olan tohum gelişim ve fizyolojilerinde etkili olmaktadır. Bu kapsamda kontrol ve 4 farklı doz uygulamasının gerçekleştirildiği ZnO nanopartiküllerine tabi tutulan tohumların çimlenme yüzdesi değerlerine uygulanan tek yönlü varyans analizinin sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5: ZnO nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme yüzdesine ilişkin varyans analizinin sonucu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplararası	1095,21	3	365,07	26,91	P<0,01
Gruplarıçi	759,65	86	13,56		
Toplam	1854,86	89			

Tablo 4.5’deki varyans analizi sonuç tablosundaki verilere göre kontrol grubu ve 4 farklı ZnO nanopartikül doz uygulaması arasında P<0,01 güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık belirlenmiştir. Bu kapsamda %95 güven düzeyinde gerçekleştirilen ve homojen grupların çimlenme yüzdesine göre belirlendiği Duncan Testi sonucu Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Çimlenme yüzdesine ait ZnO nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu

Dozlar (mg/l)	Homojen Gruplar			
	1	2	3	4
Kontrol	88,75			
400	86,39			
800		68,23		
1200			50,47	
1600				34,85

Tablo 4.6’da yer alan Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı ZnO nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre %88,75 ve %86,39 çimlenme yüzdeleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla %68,23 ile 800mg/l dozu, %50,47 ile 1200mg/l dozu

ve %34,75 ile 1600mg/l dozu izlemiştir (Tablo 4.6). Karaçamda gerçekleştirilen bir araştırmada da kontrol ve düşük doz olan 400mg/l’de uygulanan ZnO konsantrasyonlarında çimlenme yüzdesinde önemli bir farklılık gözükmezken 600mg/l doz uygulamasından sonra çimlenme yüzdesinin bariz şekilde azaldığı ve özellikle 1600mg/l doz uygulamasından sonra çimlenme yüzdesinde en düşük değerlerin gözlenmeye başladığı ortaya çıkmıştır (Çelikbaş, 2019). Diğer taraftan sarıçamda gerçekleştirilen bir başka araştırmada da özellikle 600-800mg/l doz bandından itibaren kontrol gruplarına göre çimlenme yüzdesinin %36-51 oranında azaldığı ve 2000mg/l dozundan itibaren çok önemli ölçüde çimlenme yüzdesinin azaldığı saptanmıştır (Çelikbaş, 2019). Bu karşılaştırmalara göre fıstıkçamında yaklaşık 800-1200mg/l doz düzeyinden itibaren tüm orijinlerde çimlenme yüzdesinin kontrol gruplarına göre azalmaya başladığı belirlenmiş ve özellikle 1200mg/l doz düzeyinden itibaren diğer nanopartikül türünde olduğu gibi çimlenme yüzdesinin belirgin olarak azalmaya başladığı tespit edilmiştir.

Araştırmada ZnO nanopartikülüne ait dört farklı konsantrasyon dozu uygulamasının çimlenme hızı üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Bu kapsamda kontrol ve doz uygulama grupları arasında gerçekleştirilen çimlenme hızına ait tek yönlü varyans analizinin sonucu Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: ZnO nanopartikülüne ait dört farklı doza ait çimlenme hızına ilişkin varyans analizinin sonucu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplararası	485,52	3	161,84	25,35	P<0,01
Gruplarıçi	358,88	86	6,41		
Toplam	844,40	89			

Tablo 4.7’deki sonuçlar itibarıyla varyans analizi sonucunda kontrol ve doz grupları arasında çıkan $P<0,01$ güven düzeyindeki anlamlı farklılığa bağlı olarak homojen grupların oluşturması amacıyla %95 güven düzeyinde Duncan Testi uygulanmış ve sonucu Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Çimlenme hızına ait ZnO nanopartiküllerinin dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin Duncan Testi sonucu

Dozlar (mg/l)	Homojen Gruplar			
	1	2	3	4
Kontrol	36,53			
400	34,28			
800		30,64		
1200			23,41	
1600				19,28

Tablo 4.8’de yer alan Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı ZnO nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre 36,53 ve 34,28 çimlenme hızı değerleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla 30,64 ile 800mg/l dozu, 23,41 ile 1200mg/l dozu ve 19,28 ile 1600mg/l dozu izlemiştir. Bu konuda karaçamda yapılan bir araştırmada 1200mg/l ZnO nanopartikülü doz değerlerinden sonra tohumlarda çimlenme hızının kontrol ve düşük doz numunelerine göre bariz oranda azaldığı saptanmıştır (Çelikbaş, 2019). Yine sarıçamda gerçekleştirilen bir başka araştırmada da özellikle 800mg/l ZnO nanopartikülü dozundan itibaren çimlenme yüzdesinde olduğu gibi çimlenme hızında da kontrol grubuna göre bariz kayıpların ortaya çıktığı ve özellikle 1600mg/l dozundan sonra çimlenme hızının neredeyse durma noktasına ulaştığı belirlenmiştir (Çelikbaş, 2019). Bu karşılaştırmalı verilere göre araştırma kapsamında ele alınan ve üç yerel orijinden toplanan fıstıkçamı tohumlarında ZnO nanopartikülünün farklı dozlarının ortalama 800mg/l dozundan başlayan ancak 1200mg/l dozunda bariz olarak ortaya çıkan toksik eşik düzeyinde çimlenme hızının çimlenme yüzdesinde olduğu gibi açık bir şekilde düştüğü görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevre kirliliğinin tüm canlılar ve ekolojik denge üzerindeki olumsuz etkileri başta küresel ısınma olmak üzere birçok şekilde günümüz modern toplumunu tehdit eden niteliklere ve düzeylere ulaşmıştır. Bu itibarla özellikle evsel ve endüstriyel atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği ve onun doğru ya da dolaylı etkileri tüm ekosistemleri bozmuş ve yaşam koşullarını tüm canlılar için daha da zor bir hale getirmiştir. Bu durumda özellikle büyüme gerilikleri ve doğal kaynaklarda ortaya çıkan yüksek düzeyli azalmalar tüm canlıların geleceğini de tehlike altına sokmaktadır. Bu nedenle çevre kirliliğini meydana getiren tüm etkenler ve türevlerinin yakından izlenmesi ve farklı organizmalar ve toplumlar üzerindeki etkilerinin ve sebep olduğu değişimlerin yakından takip edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yaygın olarak ortaya çıkan çevre kirliliği türlerinden birisi olan nanopartiküler kirlenme özellikle ağır metal kirliliğinden sonra dünya ekosistemleri üzerinde hızla artan ve derin izler bırakan kirlilik çeşidi olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak bu kirlilik türünün ve düzeylerinin canlıların bireysel yapıları ve oluşturdukları toplumlar üzerindeki etkileri konusunda ülkemizde ve dünyada yeterli sayıda araştırmanın yapıldığından söz etmek mümkün değildir. Özellikle karbon depolama açısından çok önemli olan ve her gelişim safhasında küresel ısınmanın etkilerinin en aza indirgenmesinde çok fonksiyonel faydaları olan ormanları meydana getiren ağaçların gelişimleri ve nesillerin devamlılığı üzerinde özellikle döllenme ve tohum çimlenme fizyolojilerinde ağır metal ve nanopartikül kirliliğinin etkileri hem kent hem de doğal orman kaynaklarından yoğun bir şekilde hissedilmektedir. Bu araştırmada da yaygın olarak nanopartikül kirliliğinde görülen Fe_2O_3 ve ZnO türlerine ait 4 farklı doz konsantrasyon uygulamasının tohumların çimlenme yüzdesi ve çimlenme hızı değişkenleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve toksik eşik düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ön yaklaşım sağlamak amacıyla bir yıl süreyle gerçekleştirilen bu araştırma sonucunda elde edilen bulguların bu konuda önemli boşlukların doldurulması konusunda uygulamacılara önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Varyans analizi sonucuna göre Fe_2O_3 nanopartikülünün kontrol ve 4 farklı dozunun tohumlara uygulanması sonucunda tüm gruplar arasında çimlenme yüzdesi değişkeni yönünden $P < 0,01$ güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık ortaya çıkmıştır (Tablo 4.1). Bu kapsamda çimlenme yüzdesi yönünden dört farklı doz ve kontrol grubuna ilişkin homojen grupların oluşturulması amacıyla %95 güven düzeyinde Duncan testi yapılmıştır

(Tablo 4.2). Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı Fe₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre %87,33 ve %83,48 çimlenme yüzdeleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla %77,59 ile 800mg/l dozu, %53,26 ile 1200mg/l dozu ve %38,75 ile 1600mg/l dozu izlemiştir.

Çimlenme hızı yönünden yapılan değerlendirmelerde de uygulanan varyans analizi sonucunda kontrol dahil farklı Fe₂O₃ nanopartikül dozu konsantrasyon gruplarında istatistiki açıdan P<0,01 güven düzeyinde anlamlı farklılığın ortaya çıktığı belirlenmiştir (Tablo 4.3). Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı Fe₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre 35,13 ve 31,57 çimlenme hızı değerleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla 29,63 ile 800mg/l dozu, 21,48 ile 1200mg/l dozu ve 18,37 ile 1600mg/l dozu izlemiştir (Tablo 4.4).

Araştırmada 3 yerel orijinden (Bartın-Çakraz, Bartın-Kurucuşile ve Kastamonu-Cide) toplanan sağlıklı fıstıkçamı tohumlarından farklı dozlarda uygulanan diğer bir nanopartikül türü ZnO nanopartikülüdür. kontrol grubu ve 4 farklı ZnO nanopartikül doz uygulaması arasında P<0,01 güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık belirlenmiştir (Tablo 4.5). Bu kapsamda %95 güven düzeyinde gerçekleştirilen ve homojen grupların çimlenme yüzdesine göre belirlendiği Duncan Testi sonucuna göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı ZnO nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre %88,75 ve %86,39 çimlenme yüzdeleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla %68,23 ile 800mg/l dozu, %50,47 ile 1200mg/l dozu ve %34,75 ile 1600mg/l dozu izlemiştir (Tablo 4.6).

Araştırmada ZnO nanopartikülüne ait dört farklı konsantrasyon dozu uygulamasının çimlenme hızı üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Bu amaçla yapılan tek yönlü Varyans analizi sonucunda kontrol ve doz grupları arasında çıkan P<0,01 güven düzeyindeki anlamlı farklılığa bağlı olarak (Tablo 4.7) homojen grupların oluşturması amacıyla %95 güven

düzeyinde Duncan Testi uygulanmıştır (Tablo 4.8). Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu da dahil olmak üzere çimlenme yüzdesi yönünden fıstıkçamı tohumlarına uygulanan 4 farklı ZnO nanopartikül konsantrasyonu sonucunda 4 adet homojen grup ortaya çıkmıştır. Buna göre 36,53 ve 34,28 çimlenme hızı değerleri ile kontrol ve en düşük doz olan 400mg/l grubundaki tohumlar ilk grupta yer almış, bu grubu sırasıyla 30,64 ile 800mg/l dozu, 23,41 ile 1200mg/l dozu ve 19,28 ile 1600mg/l dozu izlemiştir (Tablo 4.8).

Her iki nanopartikül türünün 4 farklı doz konsantrasyonunun uygulanması sonucunda tohumlarda yapılan çimlenme testleri sonucunda ortaya çıkan çimlenme yüzdesi ve çimlenme hızı değerleri incelendiğinde; kontrol ve düşük doz (400mg/l) grubunda her iki çimlenme parametresi yönünden önemli farklılıklar ortaya çıkmamıştır. Ancak 1200mg/l dozundan itibaren her iki nanopartikül türünün uygulandığı tohumların çimlenme yüzdesi ve hızında belirgin azalmalar meydana gelmiştir. Buna göre ön değerlendirme amaçlı yapılan bir yılda tamamlanan bu çalışmada yerel fıstıkçamı orijinlerinden toplanan fıstıkçamı tohumlarında nanopartikül toksik eşik değerinin mevcut verilere göre 1200mg/l düzeyi olduğunu söylemek mümkündür.

Diğer taraftan her iki nanopartikül türünün 4 farklı dozunda da hem çimlenme yüzdesi hem de çimlenme hızı yönünden orijinler arasında istatistiki olarak önemli bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Bu durumun orijinlerin birbirine yakın olması ve benzer ekolojik koşullara sahip bulunmasından kaynakladığı düşünülmektedir.

Fıstıkçamı türünün tohumlarında nanopartikül kirliliğinin etkilerinin ilk olarak incelendiği bu araştırmadan elde edilen veriler bir ön değerlendirme niteliğinde olup, söz konusu çalışmanın farklı ve yaygın nanopartikül türlerinin sık ve yakın dozları kullanılarak uzun süreli olarak tekrarlanması oldukça önemlidir. Bu çalışmaya benzer araştırmaların diğer asli ve tali orman ağacı türlerimizin farklı orijinlerinden temin edilen tohumları ile de yapılması türlerin ve orman kaynaklarımızın geleceğinin güvence altına alınması açısından ve sürdürülebilir yönetimi açısından önemi büyüktür. Bu kapsamda söz konusu çalışmanın moleküler genetik yöntemlerinden yararlanılarak da kapsamlı olarak etkilerini ortaya koyan nitelikte yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda stres koşulları sağlayan nanopartiküllerin türün ve diğer türlerin fidanlık aşamasında sebep olduğu fizyolojik etkilerin de ortaya konulması gerekli olup, özellikle endüstriyel kuruluşlara yakın alanlarda tesis edilene

ormanların, yeşil kuşak ağaçlandırmalarının veya gen kaynaklarının adaptasyon yeteneğinin yükseltilmesinde çok yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., Patil, B. S. (2020). Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific reports*, 10(1), 1-16.
- Adhikary, S., Biswas, B., Chakraborty, D., Timsina, J., Pal, S., Chandra Tarafdar, J., Banerjee, S., Hossain, A., Roy, S. (2022). Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific Reports*, 12(1), 1-14.
- Baho, D. L., Allen, C. R., Garmestani, A. S., Fried-Petersen, H. B., Renes, S. E., Gunderson, L. H., Angeler, D. G. (2017). A quantitative framework for assessing ecological resilience. *Ecology and Society*, 22(3), 1-21
- Barrena, R., Casals, E., Colón, J., Font, X., Sánchez, A., Puentes, V. (2009). Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles. *Chemosphere*, 75(7), 850-857.
- Begum, P., Ikhtari, R., Fugetsu, B., Matsuoka, M., Akasaka, T., Watari, F. (2012). Phytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes assessed by selected plant species in the seedling stage. *Applied Surface Science*, 262, 120-124.
- Bilgin, F., Ay, Z. (1997). Ege Bölgesinde Çamfıstığı İşletmeciliği Üzerine Araştırmalar. T.C. Orman Bakanlığı Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Orman Bakanlığı Yayın No: 045, Müdürlük Yayın No:008, Teknik Bülten Serisi No: 8, 36 s, İzmir.
- Borer, E. T., Seabloom, E. W., Gruner, D. S., Harpole, W. S., Hillebrand, H., Lind, E. M., Yang, L. H. (2014). Herbivores and nutrients control grassland plant diversity via light limitation. *Nature*, 508(7497), 517–520.
- Bottero, J. Y., Auffan, M., Rose, J., Mouneyrac, C., Botta, C., Labille, J., Maison, A., Thill, A., Chaneac, C. (2011). Manufactured metal and metal-oxide nanoparticles: Properties and perturbing mechanisms of their biological activity in ecosystems. *Comptes Rendus Geoscience*, 343(2-3), 168-176.
- Bouguerra, S., Gavina, A., Ksibi, M., da Graça Rasteiro, M., Rocha-Santos, T., Pereira, R. (2014). Ecotoxicological Evaluation Of Titanium Silicon Oxide Nanoparticules With Terrestrial Species. *Toxicology Letters*, (229), 1-10.
- Cañas, J. E., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L., Luo, M., Ambikapathi R., Lee E.H., Olszyk, D. (2008). Effects of functionalized and nonfunctionalized single-walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. *Environmental*

- Çelikbaş, A. (2019). Bazı nanopartiküllerin Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Lamb. (Holmboe)) tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkisi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 67s., Kastamonu.
- Çelikbaş, H.M. (2019). Bazı nanopartiküllerin sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkileri, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 76s., Kastamonu.
- Ghodake, G., Seo, Y. D., Park, D., Lee, D. S. (2010). Phytotoxicity of carbon nanotubes assessed by *Brassica juncea* and *Phaseolus mungo*. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 5(2), 157-160.
- 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.
- ISTA, (1996). International Rules for Seed Testing. *Seed Science & Technology* (Supplement) 24:1-335.
- Ibrahim, A.T.A. (2020). Toxicological impact of green synthesized silver nanoparticles and protective role of different selenium type on *Oreochromis niloticus*: hematological and biochemical response. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 61, 1-9.
- Ibrahim, A.T.A., Banaee, M., Sureda, A. (2021). Genotoxicity, oxidative stress, and biochemical biomarkers of exposure to green synthesized cadmium nanoparticles in *Oreochromis niloticus* (L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 242, 1-12.
- Kılıcı, M., Sayman, M., Akbin, G. (2000). Batı Anadolu'da Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)'nın Gelişmesini Etkileyen Faktörler, Orman Bakanlığı, İzmir Orman Toprak Laboratuvar Müdürlüğü, Bakanlık Yayın No: 115, Orman Top. Laboratuvar Müdürlüğü Yayın No: 09, 130 s., İzmir.
- Kılıcı M., Sayman, M., Akkaş M.E., Bucak C., Parlak S., Boza Z. (2011). Kozak Havzası Fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) Ormanlarında Kozalak Verimini Etkileyen Ekolojik Faktörler. Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Çeşitli Yayınlar Serisi No: 5., 57 s., İzmir.
- Krishnaraj, C., Jagan, E. G., Ramachandran, R., Abirami, S. M., Mohan, N., Kalaiichelvan, P. T. (2012). Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. plant growth metabolism. *Process biochemistry*, 47(4), 651-658.
- Kumar, V., Guleria, P., Kumar, V., Yadav, S. K. (2013). Gold nanoparticle exposure induces

growth and yield enhancement in *Arabidopsis thaliana*. *Science of the Total Environment*, 461, 462-468.

Lahiani, M. H., Chen, J., Irin, F., Poretzky, A. A., Green, M. J., Khodakovskaya, M. V. (2015). Interaction of carbon nanohorns with plants: uptake and biological effects. *Carbon*, 81, 607-619.

Lin, D., Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environmental pollution*, 150(2), 243-250.

Mahakham, W., Sarmah, A. K., Maensiri, S., Theerakulpisut, P. (2017). Nanoprimer technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific Reports*, 7(1), 8263-8271

MGM (2022). Bartın ve Kastamonu illeri 2002 yılı meteorolojik verileri, 4s., Ankara.

Saatçioğlu, F. (1969). Silvikültür I, Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, İÜ. Orman Fakültesi Yayını, No:1429/138, 183 s. İstanbul

Seeger, E. M., Baun, A., Kästner, M., Trapp, S. (2009). Insignificant acute toxicity of TiO₂ nanoparticles to willow trees. *Journal of Soils and Sediments*, 9, 46-53.

SPSS Inc, (2002). SPSS 11.0 guide to data analysis, Published by Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 637 pp.

Suszek-Łopatka, B., Maliszewska-Kordybach, B., Klimkiewicz-Pawlas, A., Smreczak, B. (2021). The multifactorial assessment of the Zn impact on high and low temperature stress towards wheat seedling growth under diverse moisture conditions (optimal and wet) in three soils. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 1-14.

Tunçtaner, K., Özel, H.B., Ertekin, M. (2007). Bartın yöresindeki ağaçlandırma alanlarında kullanılan yerli ve yabancı türlerin adaptasyon yetenekleri üzerine araştırmalar. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9(11), 11-25.

Ürgenç, S. (1998). Ağaçlandırma Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 94/441, İstanbul.