



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Yüksek Lisans Tezi

BİYOJENİK ÇİNKO NANOPARTİKÜLÜN FARKLI BUĞDAY
TÜRLERİNDE ÇİMLENME ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yüksel DURAKLI

Biyoloji Anabilim Dalı

Botanik Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Elif YÜZBAŞIOĞLU

Haziran, 2024

İSTANBUL

Bu çalışma, 28.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı, Botanik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Elif YÜZBAŞIOĞLU (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Gül ÖZ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Filiz VARDAR
Marmara Üniversitesi
Fen Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FLY-2023-39842 numaralı projesi ile desteklenmiştir. |

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım süresince bana her konuda destek olan, bilgilerini ve deneyimlerini cömertçe paylaşan, tezimin hazırlanmasında her türlü yardımı sağlayan değerli hocalarım ve tez danışmanlarım Doç. Dr. Elif YÜZBAŞIOĞLU'na ve Dr. Eda DALYAN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Destekleri ve rehberlikleri için minnettarım.

Çinko nanopartikül sentezi ve karakterizasyonunda yardımlarını esirgemeyen Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Anabilim Dalı'ndaki değerli hocalarım Doç. Dr. Namık AKÇAY ve Doç. Dr. Gökhan ALGÜN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince bana maddi destek sağlayan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2211-Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı'na teşekkürlerimi sunarım. Verdikleri destek, bilimsel araştırmalarımı gerçekleştirmemde büyük bir katkı sağlamıştır. TÜBİTAK'a sonsuz minnettarlığımı ifade ederim.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans ve lisans arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım. Destekleri benim için çok değerliydi.

Göstermiş olduğu dayanışma ve samimi dostluğuyla bu süreci daha anlamlı ve keyifli kılan sevgili arkadaşım Zeynep AYTEN'e çok teşekkür ediyorum.

Bana her zaman inanan ve destek veren aileme sonsuz minnettarlığımı ifade etmek istiyorum. Sevginiz ve desteğiniz bu yolculukta bana güç verdi.

Son olarak, sevgili eşim Efkan DURAKLI'ya sabır ve anlayışı, desteği ve motivasyonu için en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Yanımda olduğun için sonsuz teşekkürler.

Haziran, 2024

Yüksel DURAKLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. TOHUM ÇİMLENMESİ	3
2.2. BİTKİLERDE MİNERAL BESLENME	5
2.2.1. Bitkilerde Çinko	8
2.3. NANOTEKNOLOJİ VE NANOPARTİKÜLLER	9
2.3.1. Nanopartiküllerin Tarımdaki Uygulamaları	12
2.3.2. Yeşil Sentez	16
2.3.3. Nano-Priming	21
2.3.4. Bitkilerde Nanopartiküllerin Alımı ve Taşınması	24
2.3.4.1. Nanopartiküllerin Yapraktan Alımı ve Taşınması	25
2.3.4.2. Nanopartiküllerin Kökten Alımı ve Taşınması	27
2.4. BİTKİ MATERYALLERİ	31
2.4.1. Ekmeklik Buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.)	31
2.4.2. Siyez Buğdayı (<i>Triticum monococcum</i> L.)	32
2.4.3. Kavılca Buğdayı (<i>Triticum dicoccum</i> S.)	33
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	35
3.1. BİTKİ MATERYALLERİ VE ÇİNKO NANOPARTİKÜL.....	35
3.2. NANO-PRİMİNG UYGULAMASI	35
3.3. ÇİMLENME YÜZDESİ	36
3.4. BİTKİ BÜYÜMESİ	36
3.5. KLOOROFİL TAYİNİ	37
3.6. TOTAL PROTEİN MİKTARI TAYİNİ	37

3.7. HİDROJEN PEROKSİT (H ₂ O ₂)'İN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ.....	38
3.8. LİPİT PEROKSİDASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ	38
3.9. KATALAZ (CAT) AKTİVİTESİNİN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ.....	38
3.10. PEROKSİDAZ (POD) AKTİVİTESİNİN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ.....	39
3.11. İSTATİSTİKSEL HESAPLAMALAR.....	39
4. BULGULAR.....	40
4.1. ÇİNKO NANOPARTİKÜL İLE PRİMİNG.....	40
4.2. CANLILIK İNDEKSİ.....	44
4.3. KİOROFİL İÇERİĞİ	46
4.4. TOTAL ÇÖZÜNEBİLİR PROTEİN İÇERİĞİ	48
4.5. HİDROJEN PEROKSİT (H ₂ O ₂) MİKTARI.....	51
4.6. MALONDİALDEHİT (MDA) İÇERİĞİ.....	53
4.7. KATALAZ (CAT) AKTİVİTESİ	56
4.8. PEROKSİDAZ (POD) AKTİVİTESİ	59
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	62
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1: Tohum çimlenmesi ve fide büyümesi ile ilgili olayların zaman çizelgesi (Aydın, 2009).....	5
Şekil 2: Farklı boyutlara sahip maddelerin karşılaştırılması (Gökçe, 2019).....	10
Şekil 3: Nanopartiküllerin sınıflandırılması (Akpınar, 2021).	11
Şekil 4: Nanoteknolojinin tarımdaki çeşitli uygulama alanları (Nile ve diğ., 2022).	15
Şekil 5: Nanopartiküllerin sentezi için kullanılan yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı sentez yöntemleri (Alsaiari ve diğ., 2023).....	16
Şekil 6: Nanopartikül sentezinde kullanılan yöntemler (Jadoun ve diğ., 2021).	17
Şekil 7: Nanopartiküllerin yeşil sentezinin genel anlatımı A) Bitki özütünün hazırlanması; B) Yeşil sentez reaksiyonunu etkileyen faktörler ve sentezlenen NP'lerin özellikleri (Miu ve Dinischiotu, 2022).	20
Şekil 8: Tohum çimlenmesi, abiyotik stres toleransı, bitki büyüme ve gelişiminin priming uygulamasıyla artırılmasının genel mekanizması (Salam ve diğ., 2022).	24
Şekil 9: Bitkilerde NP'lerin alınma ve taşınma yollarının şematik gösterimi (Lv ve diğ., 2019).....	30
Şekil 10: Bereketli Hilal bölgesinin haritası (Tek, 2020).	31
Şekil 11: Buğday türlerinin evrimi ve kültüre alınması (Kaya, 2018).	34
Şekil 12: Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarının canlılık indeksi I yüzdeleri (%).....	44
Şekil 13: Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarının canlılık indeksi II yüzdeleri (%)	45
Şekil 14: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki total protein miktarı.....	48
Şekil 15: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki total protein miktarı.....	50

Şekil 16: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarı	51
Şekil 17: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarı.....	52
Şekil 18: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki malondialdehit (MDA) içeriği.....	54
Şekil 19: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki malondialdehit (MDA) içeriği.....	55
Şekil 20: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki katalaz enzim aktivitesi	56
Şekil 21: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki katalaz enzim aktivitesi	57
Şekil 22: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki peroksidaz enzim aktivitesi.....	59
Şekil 23: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki peroksidaz aktivitesi	60

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: Bitkiler tarafından gereksinim duyulabilecek elementlerin dokudaki miktarları (Kösesakal, 2005).	7
Tablo 2: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarının çimlenme yüzdeleri (%).....	40
Tablo 3: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarında ortalama çimlenme süresi (gün)	41
Tablo 4: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarında çimlenme oranı indeksi (%/gün).....	42
Tablo 5: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan siyez (<i>Triticum monococcum</i> L.) tohumlarına ait çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve çimlenme oranı indeksi değerleri	43
Tablo 6: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan kavrıca (<i>Triticum dicoccum</i> S.) tohumlarına ait çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve çimlenme oranı indeksi değerleri	43
Tablo 7: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan ekmeklik buğday (<i>Triticum aestivum</i> L.) tohumlarına ait çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve çimlenme oranı indeksi değerleri	44
Tablo 8: Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan siyez, kavrıca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid miktarları	47

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

α	: Alfa
%	: Yüzde
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
Δ	: Delta

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

AgNP	: Gümüş nanopartikül
AuNP	: Altın nanopartikül
BSA	: Bovin albumin serum
C	: Karbon
CAT	: Katalaz
CeO₂	: Seryum oksit
CNP	: Kitosan nanopartikül
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
DNA	: Deoksiriboz nükleik asit
EDTA	: Etilendiamintetraasetik asit
FeS₂-NP	: Demir sülfür nanopartikül
H	: Hidrojen
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
IAA	: Indol-3-asetik asit
kg	: Kilogram
m	: Metre
MDA	: Malondialdehit
mg	: Miligram
mRNA	: Mesajcı RNA

MS	: Murashide-Skoog
MWCNTs	: Çok duvarlı karbon nanotüpler
NaBH₄	: Sodyum borohidrat
N₂H₄	: Hidrazin
nm	: Nanometre
nmol	: Nanomol
NP	: Nanopartikül
O	: Oksijen
PNC	: Seryum oksit nanopartikül
POD	: Peroksidaz
ppm	: Parts per million
PVPP	: Polivinilpirolidon
ROS	: Reaktif oksijen türleri
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
-SH	: Sülfhidril grubu
SiO₂	: Silikon dioksit
SOD	: Süperoksit dismutaz
SnO₂	: Kalay dioksit
SWCNTs	: Tek duvarlı karbon nanotüpler
TEM	: Geçirimli elektron mikroskobu
Ti	: Titanyum
TiO₂	: Titanyum dioksit
UV-Vis	: Ultraviyole ve görünür ışık
Zn	: Çinko
ZnO	: Çinko oksit

|

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOJENİK ÇİNKO NANOPARTİKÜLÜN FARKLI BUĞDAY TÜRLERİNDE ÇİMLENME ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yüksel DURAKLI

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Elif YÜZBAŞIOĞLU

Bu tez çalışmasında bitki metabolizmasında yer alan mikro elementlerden biri olan çinkonun nanopartikül formunun farklı buğday türlerinde çimlenme üzerine etkisi incelenmiştir. Çinko nanopartikülünün sentezi, çevre dostu, güvenli ve biyolojik temele dayalı bir yöntem olan yeşil sentez yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP priming yöntemi ile siyez (*Triticum monococcum*, $2n=2x=14$), kavılca (*Triticum dicoccum*, $2n=4x=28$) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*, $2n=6x=42$) tohumlarına uygulanmıştır. Yapılan ön çalışmalar ile nano-priming süresi 18 saat, kurutma işlemi ise 48 saat olarak belirlenmiştir. Petri kaplarına ekilen tohumlar belirli şartlar altında bitki büyütme kabinde çimlenmeye bırakılmış ve ekimin 7. gününde fideler hasat edilmiştir. ZnO nanopartikülünün buğday tohumlarının çimlenmesi üzerine morfolojik ve fizyolojik etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda bitkilerin kök ve gövdelerinden klorofil ve total protein miktarı, hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği ve lipid peroksidasyonunun son ürünü olan

malondialdehit (MDA) içeriği, çimlenme sürecinde önemli olan antioksidan enzimlerden katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) aktivitesi belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasının sonuçları incelendiğinde, yeşil sentez yöntemiyle üretilen 15-18 nm byklğindeki biyojenik çinko nanopartiküllerinin siyez, kavılca ve ekmeklik buğdayda bir dizi önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu etkiler arasında çimlenme, tohum gelişimi, bitki büyüme ve gelişimi, biyokütle artışı, kök ve sürgün gelişimi, klorofil ve protein sentezi gibi temel fizyolojik süreçlerde artış sağlanması yer alırken, aynı zamanda lipid peroksidasyonunu azaltma ve oksidatif stresin yönetimini iyileştirme gibi koruyucu mekanizmaları harekete geçirdiği gözlemlenmiştir. Bu alışma, nanoteknolojinin tarımsal uygulamalarına yeni bir potansiyel sunmuştur. |

Haziran 2024, [96] sayfa.

Anahtar kelimeler: | Buğday, imlenme, nanoprimering, ZnO-NP |

SUMMARY

[M.Sc. THESIS]

[INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BIOGENIC ZINC NANOPARTICLES ON GERMINATION IN DIFFERENT WHEAT SPECIES]

[Yüksel DURAKLI]

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

[Department of Biology]

Supervisor : [Assoc. Prof. Dr.] [Elif YÜZBAŞIOĞLU]

[In this study, the effect of zinc, one of the microelements involved in plant metabolism, in nanoparticle form on germination in different wheat species was examined. The synthesis of zinc nanoparticle was carried out by the green synthesis method, which is an environmentally friendly, safe and biologically based method.

ZnO-NPs with different concentrations were applied to einkorn (*Triticum monococcum*, $2n=2x=14$), kavılca (*Triticum dicoccum*, $2n=4x=28$) and bread wheat (*Triticum aestivum*, $2n=6x=42$) seeds by priming method. With the preliminary studies, the nano-priming duration was determined as 18 hours and the drying process was determined as 48 hours. The seeds planted in Petri dishes were allowed to germinate in the plant growth chamber under certain conditions, and the seedlings were harvested on the 7th day of planting. The morphological and physiological effects of ZnO nanoparticle on germination of wheat seeds were examined. At the same time, the amount of chlorophyll and total protein in the roots and stems of plants, the

content of hydrogen peroxide (H_2O_2), which is a free oxygen radical, and the content of malondialdehyde (MDA), which is the end product of lipid peroxidation, and the activity of catalase (CAT) and peroxidase (POD), which are antioxidant enzymes that are important in the germination process has been determined.

When the results of this study were examined, it was seen that 15-18 nm biogenic zinc nanoparticles produced by the green synthesis method had a number of important effects on einkorn, kavlca and bread wheat. While these effects include an increase in basic physiological processes such as germination, seed development, plant growth and development, biomass increase, root and shoot development, chlorophyll and protein synthesis, it has also been observed that it activates protective mechanisms such as reducing lipid peroxidation and improving the management of oxidative stress. This study offers new potential for agricultural applications of nanotechnology. |

June 2024, 96 pages.

Keywords: | Germination, nanopriming, ZnO-NP, wheat |

1. GİRİŞ

Çinko (Zn), bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gerekli mikro elementlerden biridir ve birçok enzimatik reaksiyonun gerçekleştirilmesinde hayati bir rol oynar.

Nanoteknoloji, nano boyutta yapılan çalışmaların anlaşılması, kontrolü, bu boyutta materyallerin üretilmesi ve taklit edilmesi amacıyla yapılan çalışmaları konu edinen mühendislik ve bilim dalıdır. Nanoteknolojik çalışmalar kapsamında genellikle boyutları 1-100 nm aralığında yer alan partiküller kullanılmaktadır.

Son yıllarda, nanomalzemelerin bitkiler üzerindeki olumlu etkilerinin keşfedilmesiyle birlikte bitki-nanomalzeme etkileşimleri üzerine yapılan çalışmalar hızla artmıştır. Bu tez çalışmasında bitki metabolizmasında yer alan mikro elementlerden biri olan çinkonun nanopartikül formunun farklı buğday türlerinde çimlenme üzerine etkisi incelenmiştir. Çinko nanopartikülünün sentezi, çevre dostu, güvenli ve biyolojik temele dayalı bir yöntem olan yeşil sentez yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çinko nanopartiküllerinin buğday tohumlarının çimlenmesi üzerindeki morfolojik etkileri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır; ancak, özellikle yeşil sentez yöntemi ile sentezlenen ZnO-NP'nin buğday tohum çimlenme fizyolojisi üzerindeki etkisi sınırlı sayıda çalışma ile gösterilmiştir.

Son yıllarda hem üretim hem de tüketim olarak yerel buğday tohumlarına ilgi artmaktadır. Yerel buğday tohumlarının modern buğdaya göre daha az glisemik indekse sahip olmasının yanında, zor iklim koşullarına dayanıklılık göstermesi tarımsal pazarda yer bulmalarını sağlamıştır. Bu nedenle, modern buğdayın yanı sıra atalık buğday tohumları ile de fizyolojik çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu tez çalışmasında literatürden farklı olarak hekzaploid genoma sahip ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*, $2n=6x=42$) ile diploid genoma sahip siyez (*Triticum monococcum*, $2n=2x=14$) ve tetraploid genoma sahip kavılca (*Triticum dicoccum*, $2n=4x=28$) tohumlarında da ZnO-NP'nin çimlenme fizyolojisi üzerine etkisi incelenmiştir. ZnO-NP'nin büyümeye olan etkisinin yanı sıra klorofil ve total protein miktarı, serbest oksijen radikali olan hidrojen peroksit (H_2O_2) içeriği ve lipid peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehit (MDA) içeriği, çimlenme sürecinde önemli olan antioksidan enzimlerden katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) aktivitesi belirlenmiştir.

Tez çalışma konusu biyojenik çinko nanopartikülün farklı buğday türlerinde çimlenme üzerine etkisinin incelenmesidir. Tezin “Genel Kısımlar” bölümünde tohum çimlenmesi, bitkilerde mineral beslenme, nanoteknoloji ve nanopartiküller ve tez çalışmasında kullanılan bitki materyalleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. “Malzeme ve Yöntem” bölümünde ZnO nanopartikülün priming uygulaması ve deneylerde kullanılan metotlar detaylı olarak anlatılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda elde edilen veriler “Bulgular” kısmında tablo ve şekil olarak özetlenmiştir. Çalışmanın “Tartışma ve Sonuç” bölümünde ise bulgular kısmında sunulan veriler değerlendirilerek konuyla ilgili literatürde yer alan çalışmalar ile yorumlanmıştır.

Farklı konsantrasyonlardaki ZnO-NP’nin siyez, kavlca ve ekmeklik buğday tohumlarının çimlenmesi, büyüme ve gelişme üzerindeki etkileri incelenmiş, buğday fidelerinin kök ve gövde örnekleri kullanılarak çeşitli biyokimyasal analizler yapılmıştır. Biyojenik çinko nanopartikülün tohum çimlenmesi ve bitki gelişimine etkisi anlaşılmaya çalışılarak sürdürülebilir ve çevre dostu bir bitki besini olarak kullanılıp kullanılamayacağı anlaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca buradan elde edilen veriler konu ile ilgili literatürdeki eksikliği kapatmaya yardımcı olabilecektir. |

2. GENEL KISIMLAR

2.1. TOHUM ÇİMLENMESİ

Tohumlu bitkilerin (Spermatophyta) üreme ve yayılma organları olan tohumlar bitkilerin neslinin devamını ve yayılmasını sağlamaktadır. Tohumun yapısında embriyo, testa ve endosperm yer almaktadır (Aydın, 2009; Barış, 2012). Embriyo, yeni bir bitkinin gelişimine başlamak için gerekli olan ilk hücreleri içermektedir. Embriyo, genellikle radikula, hipokotil, kotiledonlar, epikotil ve plumula gibi farklı bölümlerden oluşmaktadır. Testa (tohum kabuğu), tohumun dışındaki sert ve koruyucu tabaka olup tohum yapılarını çevresel etkilere karşı korumaktadır. Endosperm, tohumun yapısında bulunan besin dokusunu oluşturmaktadır. Genellikle tohumun kotiledonları tarafından geliştirilir ve yeni bitkinin ilk büyümesi sırasında besin kaynağı olarak kullanılmaktadır (İşler; Kurt, 2019).

Tohum çimlenmesi, kuru ve uyku halindeki tohumun su alması ile başlayan, embriyonik eksenin (genellikle radikula) testadan dışarı çıkması ile tamamlanan bir dizi olaylar zincirinden oluşmaktadır (Kösesakal, 2005). Tohumun su alması enzimatik aktiviteyi teşvik ederek embriyonun büyümesini sağlayan metabolik süreci başlatmaktadır (Yalçınkaya, 2013). Çimlenme sırasında suyun yanı sıra oksijene ve ortalama sıcaklık derecesine de ihtiyaç duyulmaktadır. Tohum çimlenmesi kuru ve uyku halindeki tohum tarafından suyun alındığı evre (I), devamında protein sentezinin olduğu evre (II) ve sonrasında fide gelişiminin başladığı son evre (III) olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. I. ve II. evre çimlenmenin başlangıç ve bitiş evrelerini, son evre ise fide büyümesinin olduğu evreyi temsil etmektedir (Kösesakal, 2005). Çimlenme sırasında tohumda var olan besin maddeleri yıkılarak büyüyen organlara taşınır ve devamında da fidelerin kullandığı yedek besin maddeleri dokuların oluşumuna katılmaktadır (Barış, 2012).

Kuru ve uyku halindeki (dormant) tohumlar, su içeriği olarak genellikle toplam ağırlıklarının %5 ila %20'si oranında su içermektedirler. Bu tohumlar, düşük metabolizma hızı ve düşük solunum aktivitesi göstermektedir. Ayrıca, hücre zarları ve çeşitli hücre organelleri yapısal olarak belirsiz ve işlevsizdirler. Su alımı (imbibisyon) başladığında, tohum zarları geçirgendir ve bu süreç sırasında düşük molekül ağırlıklı maddeler, iyonlar, şekerler ve amino asitler gibi bileşenler tohum içine alınmaktadır. Membranlar, hidrasyonun hemen ardından yeniden yapılandırılarak normal işlevlerine ve seçici geçirgen yapılarına geri dönmektedir. Bu yeniden

yapılanma süreci birkaç saat içinde olmaktadır. Ayrıca, I. evrede mitokondri ve nükleus gibi organellerin yenilenmesi ve protein sentezinin başladığı görülmektedir. (Aydın, 2009).

II. evre plato evresi olarak da adlandırılmaktadır. Plato evresi, az miktarda suyun alındığı bir dönemi temsil eder ve bu aşamada tohum çimlenmesi için temel metabolik hazırlıklar gerçekleştirilir. Tohum çimlenmesine ilişkin fizyolojik süreçler bu dönemde başlar. Bu evrede yeni mRNA'lar kullanılarak protein sentezi gerçekleşmektedir. Tohumun mevcut besin depolara kullanılarak enerji üretimi sağlanmaktadır. Bu aşamanın en önemli noktalarından biri de plato evresi sona ermeden önce çimlenme olayının tersine çevrilebilmesidir. Bu durum tohumun çevresel koşullara tepki verme yeteneğini göstermektedir. Tohumlar yeniden kurutulduğunda depolama süresi boyunca canlı kalabilir ve uygun koşullar altında çimlenmeye devam edebilirler (Aziz, 2018).

III. evre radikulanın uzayarak testadan çıkması ile çimlenmenin tamamlandığı evredir. Genç fidenin topraktan çıkarak fotosentez yapmaya başlamasına kadar geçen sürede depo maddelerinin büyük bir kısmı bu aşamada kullanılmaktadır. Genç fidenin büyümesi hücre bölünmesi ve uzaması ile gerçekleşmektedir. Bu aşamada fazla miktarda suya ve enerjiye ihtiyaç duyulduğu için su alımı ve solunumun arttığı görülmektedir (Kösesakal, 2005).

1. Eksikliğinde bitki yaşam döngüsünü tamamlayamaz.
2. Yerine başka bir element getirilemez.
3. Yapısal veya fonksiyonel bir bileşik olarak bitki metabolizmasında doğrudan yer almalıdır (Jones, 1930; Kutman, 2013).

Bitkilerde 17 tane esas element tanımlanmıştır. Karbon (C), hidrojen (H) ve oksijen (O) su ve karbondioksitten (CO_2) elde edilir. Geriye kalan 14 element ise bitki kökleri tarafından topraktan alınmaktadır (Ohyama, 2010).

Esas elementler bitki dokusundaki bulunuş miktarlarına göre ikiye ayrılmaktadır. 1 kg kuru ağırlıkta 1000 mg ya da daha fazla bulunanlar makro element, 100 mg'a eşit ya da daha az bulunanlar ise mikro element olarak adlandırılır (Aydın, 2009). Tablo 1'de bitkiler için gerekli esas elementlerin listesi verilmiştir.

Tablo 1: Bitkiler tarafından gereksinim duyulabilecek elementlerin dokudaki miktarları (Kösesakal, 2005).

Element	Kimyasal Formül	Kuru ağırlıktaki konsantrasyon (% ya da ppm)*
Su ya da karbondioksitten elde edilenler		
Hidrojen	H	6
Karbon	C	45
Oksijen	O	45
Topraktan elde edilenler		
Makro elementler		
Azot	N	1.5
Potasyum	K	1.0
Kalsiyum	Ca	0.5
Magnezyum	Mg	0.2
Fosfor	P	0.2
Kükürt	S	0.1
Silisyum	Si	0.1
Mikro elementler		
Klor	Cl	100
Demir	Fe	100
Bor	B	20
Mangan	Mn	50
Sodyum	Na	10
Çinko	Zn	20
Bakır	Cu	6
Nikel	Ni	0.1
Molibden	Mo	0.1

Kaynak: Epstein 1972, 1999 [15, 16]

(*): Mineral olmayan elementlerin (C, H, O) ve makro elementlerin değerleri yüzde (%) olarak, mikro elementlerin değerleri ise ppm olarak gösterilmiştir.

2.2.1. Bitkilerde Çinko

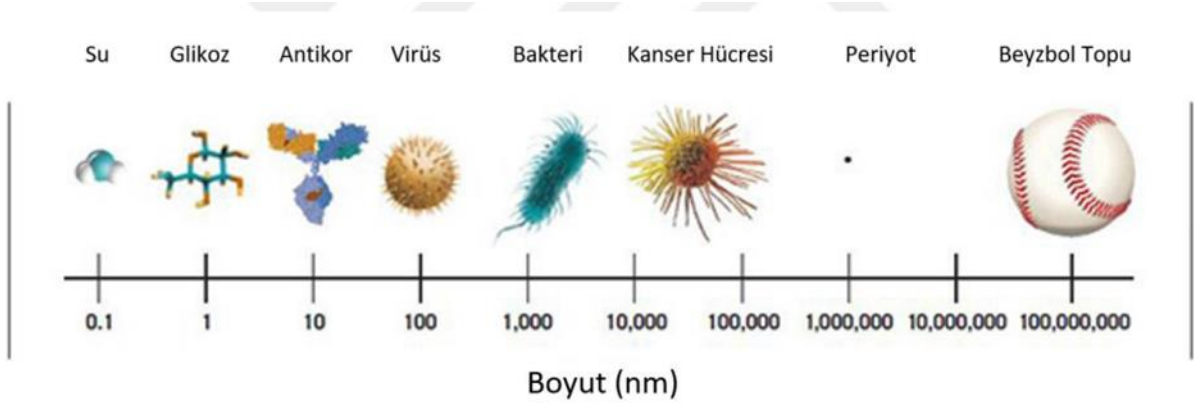
Çinko (Zn), bitkilerin normal büyüme gelişmesi için gerekli sekiz mikro elementten biridir (Sadeghzadeh, 2013). Çinkonun biyolojik rolü 1869 yılında Raulin tarafından keşfedilmiş ve bu keşiften sonra artan çalışmalarla 1926 yılında bitkiler için zorunlu bir mikro element olduğu belirlenmiştir (Öztürk, 2009). Çinko, bitkide birçok metabolik reaksiyonu gerçekleştiren oksidoredüktazlar, transferazlar, hidrolazlar, liyazlar, izomerazlar ve ligazlar enzim sınıflarının hepsinde gerekli olan tek metaldir. Karbonhidratlar, proteinler ve nükleik asitlerin sentezinde rol oynamaktadır. Bitki büyüme hormonlarından biri olan oksin oluşumu için önemlidir. Çinko, hücre zarının yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünün korunmasına yardımcı olmaktadır. Membran bileşenlerinin fosfolipit ve sülfidril (-SH) gruplarına bağlanarak ya da polipeptit zincirlerinin sistein çıkıntıları ile tetrahedral yapılar oluşturarak hücre zarı lipitlerini ve proteinleri reaktif oksijen türlerine (ROS) karşı korumaktadır. Bitkinin biyotik ve abiyotik streslere karşı direncinde, fotosentezde, polen oluşumunda, antioksidan enzimlerinin ve klorofil miktarının artırılmasında, hücre bölünmesinde ve gen ekspresyonunda rol oynamaktadır (Çakmak ve diğ., 2023; Reddy ve Kumari, 2022; Rudani ve diğ., 2018; Sadeghzadeh, 2013).

Bitkiler çinkoyu Zn^{+2} olarak alırlar. Bitkilerin normal büyüme ve gelişmeleri için ihtiyaç duydukları çinko miktarı 25-150 mg/kg'dır. Bu miktarın 20 mg/kg'ın altına düşmesi bitkilerde çinko eksikliği olarak değerlendirilmektedir (Sönmez ve diğ., 2008). Dünya'daki tarım alanlarının %30'unda Zn eksikliği olduğu belirtilmiştir. Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan toprak örneklerinin analizine dayanarak ekili alanların %50'sinde Zn eksikliği olduğu gösterilmiştir. Çinko eksikliğinin Türkiye'deki buğday tarımının büyük bir kısmının yapıldığı Orta Anadolu bölgesinde yaygın olduğu bilinmektedir (Barut, 2012; Çakmak ve diğ., 1998). Çinko eksikliği en yaygın mikro besin eksikliklerinden biridir. Bu durumun sebebi toprakta çinko miktarının düşük olması değil, çinkonun topraktaki çözünürlüğünün düşük olmasıdır (Çakmak, 2008). Toprağın sahip olduğu bir takım fiziksel ve kimyasal özelliklerden dolayı bitkiler çinkoyu yeterli miktarda alamamaktadırlar. Toprağın kireç içeriğinin yüksek olması, pH'nın yüksek olması, toprağın kil minerali bakımından zengin olması, organik madde miktarının az olması, toprak neminin az olması, toprağın kumlu olması, toprağın fosfor veya fosfor içerikli gübreler tarafından zengin olması gibi faktörler çinkonun bitki kökleri tarafından alımını engellemektedir (Çakmak, 1996).

Bitki yaşadığı ortamdan yeterli miktarda çinko alamadığı zaman eksiklik semptomları ortaya çıkmaktadır. Zn eksikliğinde bitki büyümesi gerilemekte, boğumlar arası kısalmakta ve yapraklar küçülmektedir. Yaprığın normal yeşil rengi değişerek açık yeşil, sarı veya beyaza dönüşür ve damarlar arası kloroz görülmektedir (Bahadır, 2011; Rudani ve diğ., 2018). Çinko eksikliğinde protein sentezi gerilemekte, buna bağlı olarak da aminoasit ve amin birikimi görülmektedir. Çinko, indol-3-asetik asitin (IAA) öncü maddesi olan triptofan aminoasitinin sentezlenmesi için gereklidir. Zn eksikliğinde yeterli düzeyde triptofan olmasına rağmen IAA düşük düzeydedir ve bu da oksin hormonunun yetersizliği anlamına gelmektedir (Öztürk, 2009; Reddy ve Kumari, 2022; Sönmez ve diğ., 2008). Çinko, yapısında bulunduğu enzimlerle hücrede ROS dengesini sağlamaktadır. Zn eksikliğinde reaktif oksijen türleri membran lipidlerine ve sülfhidril gruplarına zarar vererek zar bütünlüğünü bozmaktadırlar. Bu durum kök hücrelerinden organik bileşiklerin, karbonhidratların ve aminoasitlerin sızmasına ve bitkinin *Fusarium graminearum* gibi kök hastalıklarına yakalanmasına sebep olmaktadır (Sadeghzadeh, 2013). Ek olarak, fotosentez miktarı azalmakta, karbonhidrat metabolizması bozulmakta ve yapraklardaki şeker ve nişasta konsantrasyonu artmaktadır (Rudani ve diğ. 2018).

2.3. NANOTEKNOLOJİ VE NANOPARTİKÜLLER

Yunancada ‘cüce’ anlamına gelmekte olan ‘nano’ kelimesi bir fiziksel büyüklüğün milyarda birine karşılık gelmektedir. 1 nanometre (nm), metrenin milyarda birini (10^{-9} m) ifade etmektedir ve 6 karbon atomu veya 10 su molekülünün eni kadardır (Gökçe, 2019; Kondak, 2019). Farklı materyallerin boyutlarına göre karşılaştırılması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Farklı boyutlara sahip maddelerin karşılaştırılması (Gökçe, 2019).

Nanoteknoloji, nano boyutta yapılan çalışmaların anlaşılması, kontrolü, bu boyutta materyallerin üretilmesi ve taklit edilmesi amacıyla yapılan çalışmaları konu edinen mühendislik ve bilim dalıdır. Nanoteknolojik çalışmalar kapsamında genellikle boyutları 1-100 nm aralığında yer alan partiküller kullanılmaktadır. Bu yapılar nanokristaller, nanotüpler, nanoçubuklar, nanopartiküller ve nanoteller gibi materyallerden oluşmaktadır (Nalcı, 2017).

Nanoteknoloji kavramının ilk defa 1959 yılında ünlü fizikçi Richard Feynman'ın bir konferansta söylediği "There is a plenty of room at the bottom" (Aşağıda herkese yetecek yer var) sözüyle ortaya çıktığı düşünülmektedir (Kondak, 2019). 1974 yılında Prof. Dr. Norio Taniguchi bilimsel yayınında ilk defa nanoteknoloji kavramını kullanmıştır. 1996 yılında ise 60 karbon atomundan oluşan ve 1 nm çapındaki fullereneri keşfinden dolayı Robert Curl, Harry Kroto ve Richard Smalley adlı bilim insanlarına Nobel Kimya ödülü verilmiştir. (Gökçe, 2019). Yapılan çalışmalarla birlikte nanoteknolojinin kullanım alanları da artmaktadır. Bu alanlar tarım, sağlık, endüstri, kimya, biyomedikal, tekstil, enerji, çevre, elektronik, eczacılık ve bilgisayar bilimlerini içermektedir (Akpınar, 2021; Nalcı, 2019).

Nanopartiküller (NP), 1 ile 100 nm arasında boyutlara sahip, nanoteknolojinin temelini oluşturan materyaller olarak tanımlanmaktadır. Nanopartiküller kendilerini oluşturan makro bileşenlerle kıyaslandığında farklı ve üstün sayılabilecek fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler. Bu parçacıkların nano boyuta yaklaştıkça farklı özellik kazanmasının iki nedeni bulunmaktadır. Bunlar; yüzey ve kuantum etkisidir (Akpınar, 2021). Nanopartiküllerin boyutları küçüldükçe yüzey alanı/hacim oranı artmaktadır. Bu oranın artmasıyla birlikte

partikülün yüzey enerjisi ve reaktivitesi artmaktadır. Örneğin; 10 nm boyutundaki parçacıklarda atomların %35-40'ı yüzey alanını oluştururken 30 nm'den daha büyük parçacıklarda yüzey alanını oluşturan atomların oranı %20 daha azdır. Bir nanopartikülün boyutu ne kadar küçük olursa bu oran ile orantılı olarak yüzey reaktivitesi de o kadar yüksek olmaktadır. Bu özelliklere ek olarak elektronik, manyetik ve optik özelliklerinde değişimler gözlenmekte, elastiklik, sertlik ve yumuşaklık gibi fiziksel özelliklerinde de değişimler olmaktadır (Bilgiseven, 2019; Gökçe, 2019). Ayrıca, nanopartiküllerin reaktivitesi yüzey kaplama yöntemi veya yüzeyinde yapılacak değişiklikler ile de artırılabilir. NP'lerin morfolojilerinin kontrol edilebilmesi üstün özelliklerinden birini oluşturmaktadır. Bu özellik parçacıkların sıvı veya polimer içerisinde topaklanmasını ve yığılmasını önlemektedir. NP'lerin boyutu küçüldükçe manyetik alandaki davranışlarında pozitif yönde artış görülmektedir. Nanopartiküller sahip oldukları bu özelliklerinden dolayı çok farklı alanlarda aktif olarak kullanılmaktadır (Akpınar, 2021; Gökçe, 2019).

Nanopartiküller, partikülün elde edildiği kaynağa, boyutuna, morfolojisine ve bileşimine göre dört grup altında sınıflandırılmaktadır. Nanopartiküllerin sınıflandırılması Şekil 3'te verilmiştir (Akpınar, 2021).



Şekil 3: Nanopartiküllerin sınıflandırılması (Akpınar, 2021).

Nanopartiküller sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özelliklerden dolayı tarım, tıp, elektronik, katalizörler, boya sanayi, ambalaj, sensörler, kozmetik, mühendislik, otomobil, güneş pilleri, tekstil ve gıda gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır (Kondak, 2019).

Tıp alanında nanopartiküller manyetik rezonans, ultrason, floresan ve tomografi gibi cihazlarda görüntüleme, hastalıkların daha erken teşhisi ve tedavisi, ilaç geliştirme sistemleri, hedefe yönelik tedavi ve aşı geliştirilmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Berk ve Akkurt, 2012). Tıp alanında kullanımının yanı sıra bilgisayarlar, bataryalar, elektronik cihazlar, mobil iletişim sistemleri, transistörler, solar enerji panelleri, LED ekranlar ve diyot lazerler gibi çeşitli sektörlerde de nanopartiküllerden yararlanılmaktadır (Bilgiseven, 2019; Kondak, 2019). Filtreler veya katalizörler kullanılarak toprak ve sudaki kirleticilerin temizlenmesinde ve çevrenin korunmasında nanopartiküller dolaylı olarak rol almaktadır (Prasad ve diğ., 2014). Ayrıca, işlenmiş gıdaların paketlenmesinde, kontaminasyonu ve bozulmayı engelleyerek gıdaların raf ömrünün uzatılmasında kullanılır (Chhipa, 2019).

2.3.1. Nanopartiküllerin Tarımdaki Uygulamaları

Nanoteknoloji tarımda hastalıkların tespit edilmesi ve moleküler yönetimi, bitkilerin besin alımının ve verimliliğin artırılması ve çevresel koşulların takibi gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Nanoteknoloji tabanlı sensörler nanopartiküllerin özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiş, hızlı ve doğru sonuçlar veren ve uygun maliyetli araçlardır. Nanosensörler toprak koşullarını ve mahsul koşullarını gerçek zamanlı izleme olanağı sunmaktadır. Tarım yapılan arazideki toprağın nem durumu, biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin varlığı ve topraktaki bitki besinlerinin durumunu takip etmekte kullanılmaktadır. Tarım arazilerindeki pestisit ve herbisit kalıntılarının tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu teknik, tarlada toprağın ve mahsulün kontrol edilmesi için harcanan süreyi kısaltmaktadır. Kısa zamanda kolay ve doğru sonuçlar almayı sağlamaktadır (Fiol ve diğ., 2021; Kumar, 2020; Prasad ve diğ., 2014).

Nanoteknolojinin tarımdaki diğer bir kullanım alanı geleneksel gübrelere alternatif ve çevre dostu nanogübrelerin kullanılmasıdır. Nanogübreler, nanopartiküller kullanılarak besinlerin kapsülleme veya adsorpsiyon yoluyla bitkiler tarafından daha etkili bir şekilde alınmasını sağlamaktadır. Besinin kontrollü bir şekilde ve bitkinin ihtiyaç duyduğu miktarda toprağa salınmasını sağlar. Aynı zamanda besin elementinin topraktaki çözünürlüğünü ve

yarayışlılığını arttırmaktadır. Besinin topraktan kayıp oranının azalmasına yardımcı olmaktadır. Besinlerin bitkiler tarafından emilim oranlarının artmasına katkıda bulunmaktadır (Fiol ve diğ., 2021).

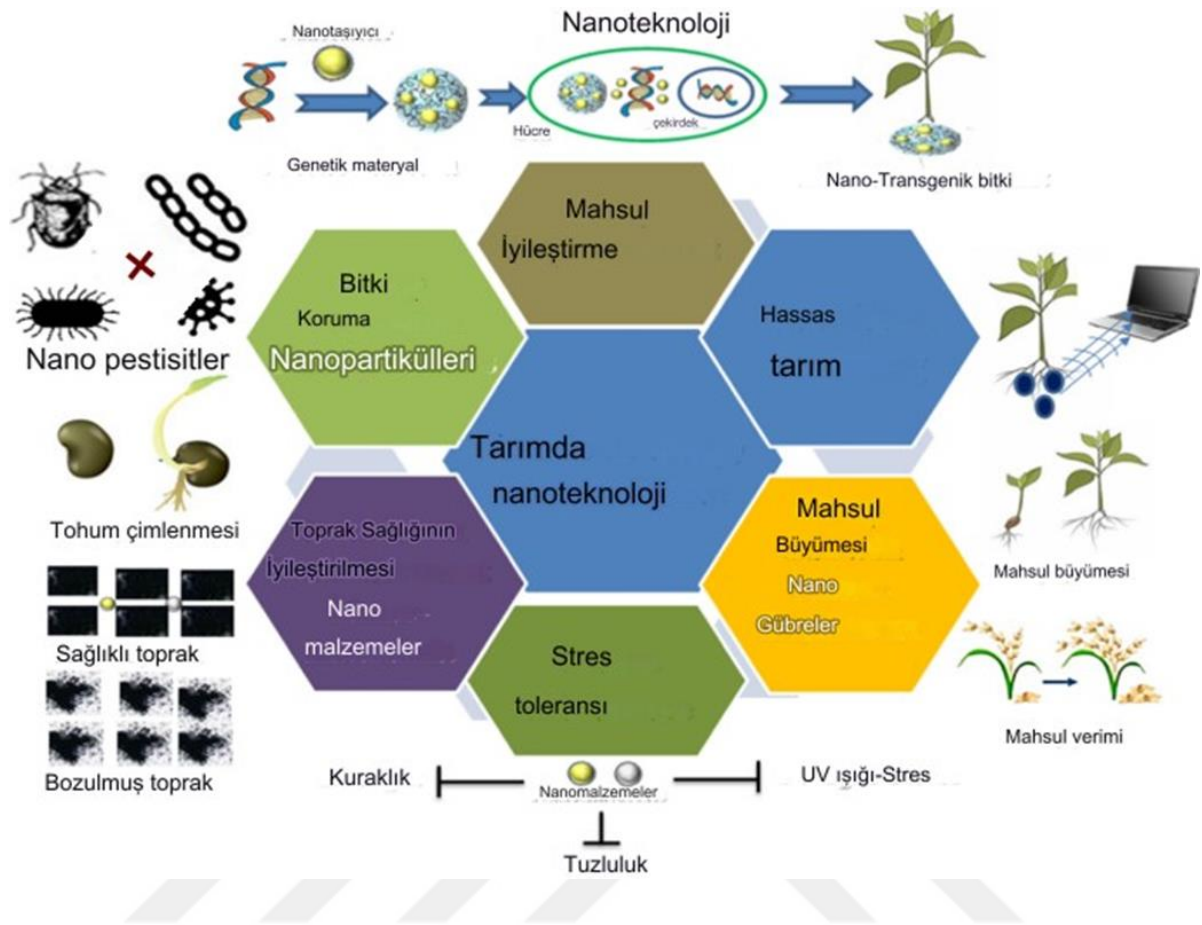
Diğer bir uygulama nanopestisit kullanarak tarım zararlılarının kontrolüdür. Bakteri, mantar, virüs, nematod, böcek ve protozoa gibi çeşitli patojenler bitki hastalıklarına sebep olmaktadır. Bu tarım zararlılarının kontrolü için kullanılan kimyasal pestisitler çevresel dengeyi bozmakta ve zararlıların direnç kazanmasına sebep olmaktadır (Chhipa, 2019). Bitkide biyotik strese sebep olan etmenlerin daha etkin bir şekilde kontrol edilmesi ve çevresel dengeyi korumak amacıyla çeşitli nanomalzemelerden oluşan nanopestisitler kullanılmaktadır. Nanopartiküller etkin maddenin kapsüllenmesi için kullanılır ve ortama yavaş ve sürekli şekilde verilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem ile sadece hedef organizma ortadan kaldırılırken diğer canlılara zarar verilmemesi hedeflenmiştir (Chhipa, 2019; Fiol ve diğ., 2021).

Farklı nanopartiküller nükleik asitleri hücreye iletmek için taşıyıcı olarak kullanılabilirler. Bu nanopartiküller nükleik asitlerin bozulmadan hücreye iletilmesi ve hücre tarafından kolayca alınabilmesi amacıyla tasarlanmışlardır. Nanopartiküllerin bu amaçla kullanılması ve genetik modifikasyonlar ürün verimini, kalitesini ve stres toleransını arttırmayı hedeflemektedirler (Fiol ve diğ., 2021).

Karbon kaynaklı NP'ler (karbon nanotüpler ve grafen) ve inorganik NP'ler (metal oksit ve metal nanopartiküller) toprakta ve suda bulunan ağır metallerin temizlenmesi amacı ile kullanılmaktadır. Ağır metallerin temizlenmesi tarımda verimliliği arttırmaktadır. Aynı zamanda karbon temelli NP'ler sularda bulunan organik ve inorganik kirleticilerin temizlenmesi için de kullanılmaktadır (Kumar, 2020). Karbon nanotüpler tek duvarlı karbon nanotüpler (SWCNTs) ve çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNTs) olarak ikiye ayrılır. Tek duvarlı karbon nanotüplerin hücre duvarına nüfuz etme eğilimi vardır ve hücreye nükleik asit transferinde kullanılmaktadır. Çok duvarlı karbon nanotüpler gen ekspresyonunu, çimlenmeyi, besin alımını ve bitki gelişimini arttırmaktadır (Goswami ve diğ., 2019).

Farklı bitki türlerine uygulanan gümüş nanopartikülünün (AgNP) kök ve sürgün uzunluğunu, yaprak alanını, enzim, protein ve antioksidan içeriğini, karbonhidrat ve klorofil miktarını ve büyüme oranını arttırdığı gösterilmiştir. Aynı zamanda, bakteri hücrelerinin zar yapısını bozarak bitki doku kültüründe ve gıda sektöründe kontaminasyonu engellemek amacıyla

kullanılmaktadır (Goswami ve diğ., 2019; Gökçe, 2019). Doku kültürü çalışmalarında MS (Murashige-Skoog) besiyerine eklenen demir, çinko ve bakır nanopartiküllerin biber (*Capsicum annuum*) bitkisinde kök uzunluğunu ve aktivitesini ve klorofil miktarını arttırdığı görülmüştür (Hui ve diğ., 2019). Silikon dioksit nanopartikülü ($\text{SiO}_2\text{-NP}$) domates tohumlarında çimlenmeyi artırırken mısır bitkisinde besin alımını arttırmaktadır. Tuz stresi altında $\text{SiO}_2\text{-NP}$ uygulanan domates bitkilerinde antioksidan enzim miktarının arttığı gösterilmiştir. $\text{SiO}_2\text{-NP}$ fotosentez hızının iyileşmesine, bitki büyüme gelişiminin artmasına katkıda bulunmuştur (Siddiqui ve diğ., 2015). Yapılan birçok çalışma çinko oksit nanopartikülünün (ZnO-NP) bitki büyüme ve gelişimini arttırdığını belirtmiştir. Örneğin, ZnO-NP 'lerin *Cyamopsis tetragonoloba* bitkisinde biyokütle, sürgün ve kök büyümesi, kök alanı, klorofil ve protein sentezi ve rizosferik mikrobiyal popülasyonda önemli iyileşmelere neden olduğu bildirilmiştir. MS besiyerine eklenen çinko oksit nanopartikülünün somatik embriyogenez, rejenerasyon ve filizlenmeyi teşvik ettiği aynı zamanda prolin, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) enzim aktivitelerini arttırarak biyotik strese karşı tolerans sağladığı belirtilmiştir (Siddiqui vd., 2015). Titanyum dioksit nanopartikülü ($\text{TiO}_2\text{-NP}$) abiyotik stres altındaki buğday (*Triticum aestivum*) bitkisinde büyüme, gelişme ve ürün verimliliğini arttırmıştır. Azot metabolizmasında yer alan glutamin sentaz, nitrat redüktaz gibi enzimlerin aktivitesi $\text{TiO}_2\text{-NP}$ 'ler tarafından düzenlenmektedir. Ayrıca, antioksidan enzim aktivitesini arttırarak kloroplastı yüksek ışıktan korumaktadır (Goswami ve diğ., 2019).

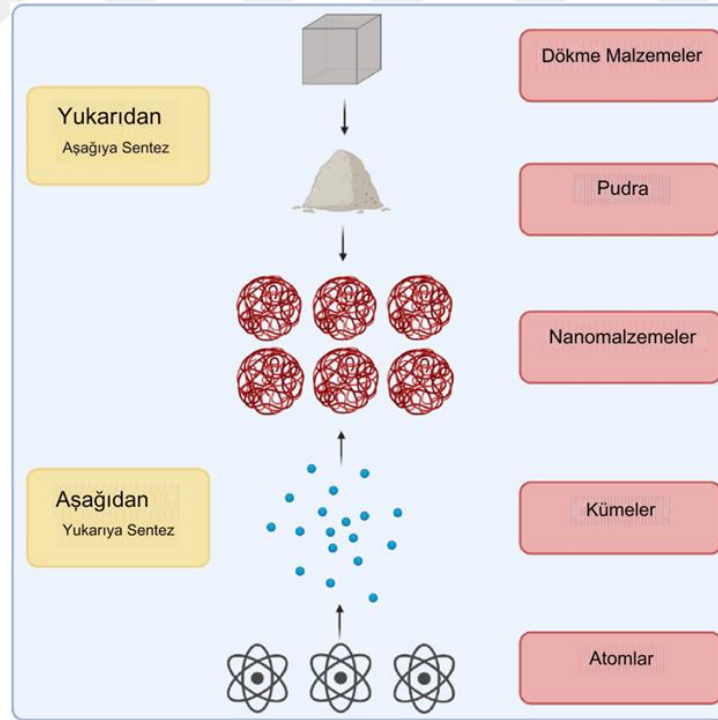


Şekil 4: Nanoteknolojinin tarımdaki çeşitli uygulama alanları (Nile ve diğ., 2022).

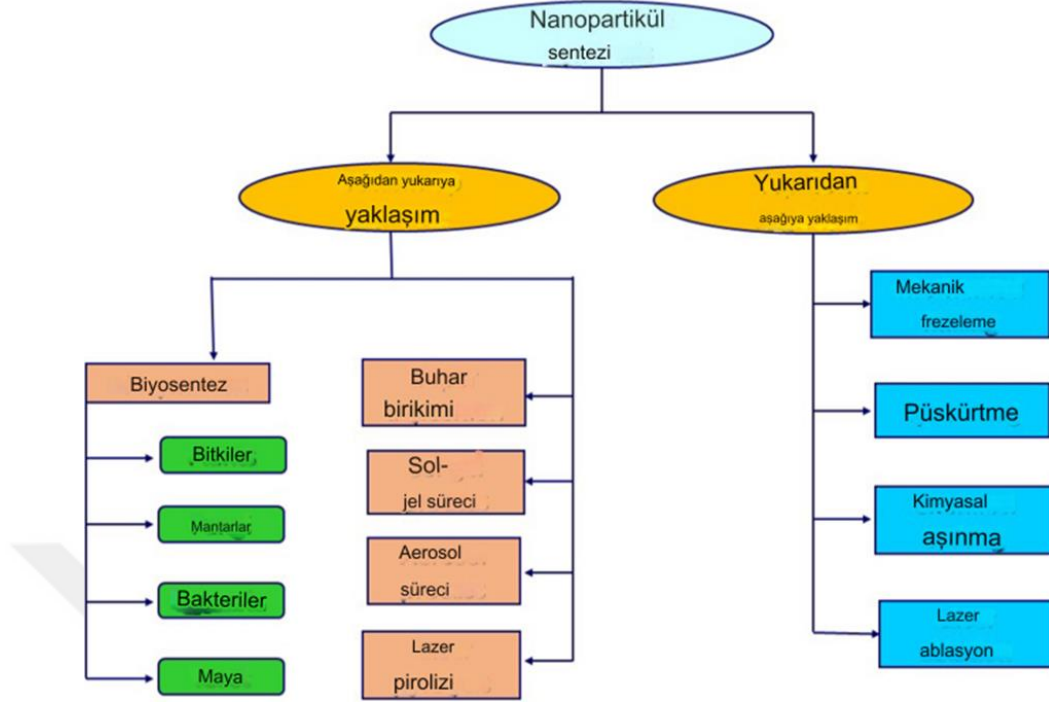
Nanopartiküllerin tohum çimlenmesini, bitki büyüme ve gelişimini desteklediği ve metabolik aktiviteyi arttırdığı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. NP'lerin pozitif etkilerinin yanı sıra bitki büyümesinin baskılanması, klorofil sentezi ve fotosentez etkinliğinin inhibisyonu gibi olumsuz etkileri de gösterilmiştir. NP'lerin etkinliği bitki türüne, uygulanan nanopartikülün konsantrasyonuna, uygulama süresine, şekline ve boyutuna bağlıdır. NP'lerin toksik etkisinin temel mekanizması reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışı ile ilgili olduğu bilinmektedir. ROS artışı hücrede oksidatif dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Oksijen radikalleri hücre içerisinde serbest bir şekilde dolaşmaya başladıklarında sahip oldukları negatif yükten dolayı hücresel yapılar için son derece tehlikelidir. Hücre zarının yapısının bozulması, lipid peroksidasyonu, DNA hasarı, protein oksidasyonu gibi hücreye geri dönüşü olmayan zararlar vererek programlanmış hücre ölümüne sebep olmaktadır (Goswami ve diğ., 2019; Nalcı, 2017).

2.3.2. Yeşil Sentez

Nanopartiküllerin sentezinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Tüm bu yöntemler yukarıdan aşağı 'top-down' ve aşağıdan yukarı 'bottom-up' olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Yadi ve diğ., 2018). Yukarıdan aşağıya sentez yöntemi malzemenin nano boyutlara kadar parçalanması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan malzemeye dışarıdan mekaniksel veya kimyasal işlemler uygulanarak ve enerji verilerek parçalanması sağlanmaktadır. Yukarıdan aşağıya sentezde kullanılan en genel yöntemler mekanik öğütme, püskürtme ve kimyasal aşındırmadır (Karakaya, 2021; Yadi ve diğ., 2018). Aşağıdan yukarıya nanopartikül sentezinde atomlar veya moleküller birleşerek nano ölçekli parçacık haline gelen yeni çekirdeklere dönüşmektedirler. Aşağıdan yukarıya sentezde kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Gaz yoğunlaştırma tekniği aşağıdan yukarıya sentezde kullanılan ilk yöntemdir. Kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel ve sprej piroliz yöntemleri de bu yaklaşımın en çok bilinen diğer örnekleridir (Gürmen ve Ebin; Jadoun ve diğ., 2021R; Rafique ve diğ., 2017).



Şekil 5: Nanopartiküllerin sentezi için kullanılan yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı sentez yöntemleri (Alsaiani ve diğ., 2023).



Şekil 6: Nanopartikül sentezinde kullanılan yöntemler (Jadoun ve diğ., 2021).

Nanopartikül sentezinde hızlı tepkime süreleri, aynı boyut ve şekilde homojen NP üretilmesi gibi nedenlerden dolayı kimyasal yöntem tercih edilmektedir. Kimyasal indirgeme, elektrokimyasal indirgeme, foto-kimyasal indirgeme ve ısı buharlaşması gibi yöntemler, NP sentezi için yaygın olarak kullanılan kimyasal metotlardır. Tüm bu yöntemler NP sentezinde başarılı olsalar bile birçok dezavantaja sahiptirler (Yadi ve diğ., 2018). Kimyasal sentez metotları oldukça pahalıdır ve operatör bilgisi gerektirmektedir. Kullanılan çözücülerin ve indirgeyici ajanların toksik olması insan sağlığını ve çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin sitrik asit, NaBH_4 ve oleil amin gibi indirgeyici maddeler aşındırıcı, formaldehit, CO , N_2H_4 ise çok toksik, yanıcı ve tahriş edicidir. Ayrıca yoğun enerjiye ihtiyaç duyulması da diğer bir dezavantajdır. Bu şekilde sentezlenen NP'lerin farklı uygulamalarda kullanılması ve çevreye salınımı ekosistemlerde ciddi sorunlara sebep olabilmektedir (Alsaiari ve diğ., 2023; Nguyen ve diğ., 2023). Geleneksel yaklaşımların dezavantajları bilim insanlarını sürdürülebilir ve çevre dostu bir yöntem arayışına yöneltmiştir.

Yeşil sentez, sürdürülebilir üretim prensiplerine dayanan yeşil kimyanın bir alt dalıdır. Yeşil kimya, tehlikeli bileşenlerin üretimini ve kullanımını azaltan veya ortadan kaldıran daha güvenli ürünler ve prosedürler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Yeşil sentez yöntemi çevre

kirliliğinin azaltılması, yenilenebilir ham madde kullanılması, daha güvenli çözücülerin kullanılması, yardımcı madde kullanımının en aza indirilmesi ve atıkların önlenmesi veya azaltılması gibi temel ilkeleri uygulamayı hedeflemektedir (Alsaiari ve diğ., 2023). Yeşil sentez çevre dostudur ve büyük ölçekli sentezler için uygulaması kolaydır. Bu yöntemde yüksek basınç, sıcaklık, enerji ve toksik bir kimyasal kullanılmasına gerek bulunmamaktadır. Aynı zamanda uygun maliyetli, yüksek biyoyoumluluğa sahip, hızlı ve kolayca ölçeklendirilebilen bir yöntemdir (Bouafia ve diğ., 2020; Hathout, 2022; Nguyen ve diğ., 2023; Rafique ve diğ., 2017).

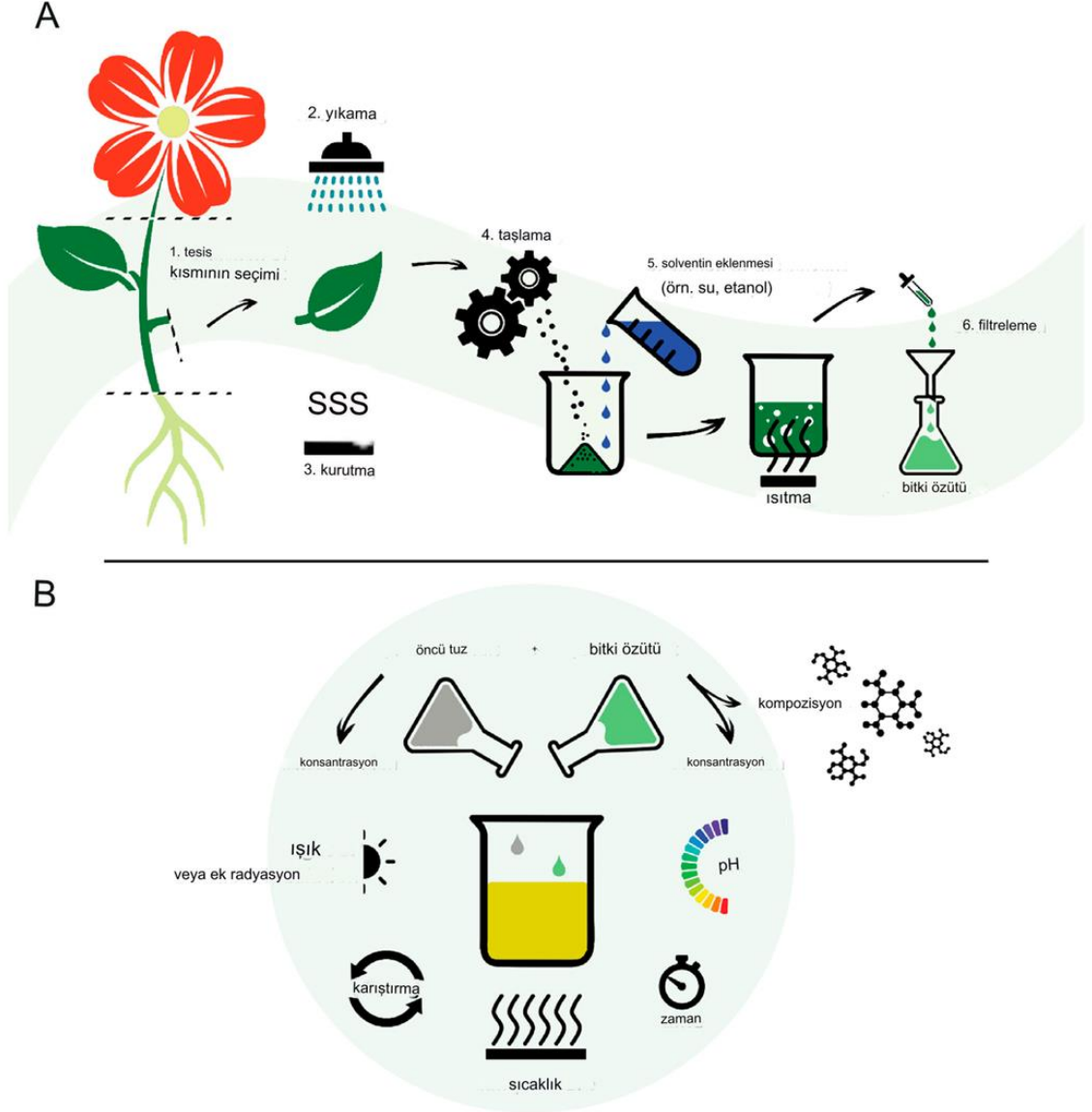
Yeşil sentezde mantarlar, mayalar, bakteriler ve aktinomisetler gibi mikroorganizmalar, bitki ve bitki özütleri, membranlar, virüs DNA'sı ve diatomlar kullanılmaktadır (Rafique ve diğ., 2017). Nanomateriyallerin yeşil sentezinde diğer biyolojik kaynaklar yerine sıklıkla bitkiler tercih edilmektedir. Bitkiler kolaylıkla bulunabilen, kullanışlı, işlenmesi kolay ve uygun maliyetli kaynaklardır. Bazı mantarlar ve bakterilerin sentez sırasında toksik madde salgılamasına karşın bitki materyallerinin kullanımı oldukça sağlıklıdır. Sentez sonrası oluşan bitki atıkları çevre için tehdit oluşturmamaktadır. Buna ek olarak, mikroorganizmaların kültüre alınması çoğunlukla uzun zaman ve çaba gerektirmektedir. Aynı zamanda kültür ortamında farklı kolonilerin üremesine ve kontaminasyon meydana gelmesine sebep olabilmektedir. Bitkilerin yaprak, sap, çiçek, ağaç kabuğu, meyve ve kök gibi kısımları bol miktarda fitokimyasal içermektedir. Bu fitokimyasallar indirgeyici ve sabitleyici olarak kullanılmaktadır. Nanopartiküllerin biyosentezi mikroorganizmalar ile günlerce sürerken bitki materyalleri ile birkaç dakika veya birkaç saat kadar kısa bir zamanda gerçekleşmektedir (Hussain ve diğ., 2016; Nguyen ve diğ., 2023; Rafique ve diğ., 2017).

Bitkiler bulundukları ortama uyum sağlayıp üreyebilen ve geniş alanlara yayılabilen organizmalardır. Bu nedenle bitkiler nanopartikül sentezi için uygun bir kaynak olarak düşünülmektedir. NP sentezinde kullanılmak üzere seçilen bitkinin yerel olarak bulunabilmesi ve hasadının kolay olması gerekmektedir. Bu durum nakliye ve hasat maliyetlerinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Temas halinde insanları ve hayvanları etkileyen alerjik ve zehirli türlerden kaçınılmalıdır. Bitki materyali seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer kriter de seçilen bitkinin önemli birçok fitokimyasal içermesi gerekmektedir. Fitokimyasallar reaksiyon sırasında indirgeyici olarak rol alırlar (Nguyen ve diğ., 2023).

Gardea-Torresdey ve diğ.'nin (2003) çalışması metalik NP sentezinde bitki kullanımına dair ilk yaklaşımdır. *Medicago sativa* (yonca) filizleri kullanılarak canlı bitki sistemi üzerinde altın ve gümüş NP sentezi gerçekleştirilmiştir. Armendariz ve diğ. (2004) buğday biyokütlesi kullanarak ilk kez çubuk şekilli biyojenik Au-NP sentezlemeyi başarmışlardır (Armendariz ve diğ., 2004; Gardea-Torresdey ve diğ., 2003; Iravani, 2011).

Yeşil sentez reaksiyonları, NP'lerin öncüsünü temsil eden bir metal tuzu çözeltisi ile bitki ekstraktının karıştırılmasıyla gerçekleştirilir. Bitki özütleri alkaloidler, polifenoller (kateşin, flavonlar, taksifolin, epikateşin ve fenolik asitler), alkollü bileşikler, glutatyonlar, polisakkaritler, antioksidanlar, organik asitler (askorbik, oksalik, malik, tartarik ve protokatekuik asit) gibi çeşitli bitki metabolitleri, kinonlar, proteinler ve amino asitler içermektedir. Bu metabolitler sahip oldukları elektronları metalik iyonlara aktararak onların NP'lere biyolojik olarak indirgenmesini sağlayarak sabitleyici maddeler olarak görev yapmaktadırlar. Reaksiyona dışarıdan hiçbir sabitleme/kapatma ajanı eklenmez çünkü farklı fitokimyasallar indirgeyici ve sabitleme/kapatma ajanları olarak görev yaparlar. Bu sayede sodyum borohidrat (NaBH_4) gibi toksik kimyasalların kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Bitki özütleri sayesinde bir veya iki değerlikli metal iyonları sıfır değerlikli duruma indirgenmektedir. İndirgenmiş metal iyonları çekirdek adı verilen kristallenmiş düzenli yapıyı oluştururlar. Çekirdekler birbirlerinin yüzeylerine yerleşerek genişlemeye ve büyümeye devam etmektedirler. Büyüme, kapatma ajanı olarak görev yapan biyomoleküller tarafından durdurulmaktadır. Biyomoleküller parçacıkların yüzeyine bağlanarak boyutlarını sabitlemektedirler (Bharadwaj ve diğ., 2021; Miu ve Dinischiotu, 2022).

Nanopartikül sentezinde reaksiyon parametrelerine dikkat etmek oldukça önemlidir. Yeşil sentezde kullanılan bitki özütünün ve metal tuz çözeltisinin konsantrasyonu, reaksiyon süresi, karıştırma hızı, sıcaklık, pH, ışık, bitki özütünde yer alan biyomoleküller ve ekstraksiyon sırasında kullanılan solvent sentezlenecek olan nanopartikülün boyut ve şekil gibi birçok morfolojik özelliğini etkilemektedir (Bharadwaj ve diğ., 2021; Hussain ve diğ., 2016; Miu ve Dinischiotu, 2022; Vanlalveni ve diğ., 2021).



Şekil 7: Nanopartiküllerin yeşil sentezinin genel anlatımı **A)** Bitki özütünün hazırlanması; **B)** Yeşil sentez reaksiyonunu etkileyen faktörler ve sentezlenen NP'lerin özellikleri (Miu ve Dinischiotu, 2022).

Nanopartiküller herhangi bir uygulamada kullanılmadan önce özelliklerini belirlemek amacıyla karakterizasyon yapılmaktadır. NP'lerin özelliklerini belirlemek için çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılır. Kullanılan bu teknikler NP'lerin uygulama türüne göre farklılık göstermektedir. Karakterizasyon teknikleri kullanılarak NP'lerin yüzey alanı, şekil, boyut, bileşim, topografya, pürüzlülük, yüzey kimyası, stabilite ve dağılım gibi birçok özellikleri tanımlanabilir (Alsaieri ve diğ., 2023).

2.3.3. Nano-Priming

Tohumlar, bitkilerin büyümesi, gelişmesi ve ürün verimi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Itrautwar ve diğ., 2020). Artan nüfus nedeniyle hızlı tohum çimlenmesi ve fide büyümesine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun süreli depolamalarda tohumlar bozulmaya maruz kalmaktadır. Bu durum tohum çimlenmesinde kayıplara ve mahsul verimliliğinde azalmaya yol açmaktadır (Adhikary ve diğ., 2022; Mahakham ve diğ., 2017; Sharma ve diğ., 2021). Tohum kalitesinin ve ürün verimliliğinin iyileştirilmesi için tohum ön hazırlık uygulamalarının kullanımı önem kazanmaktadır.

Priming, ekim öncesinde tohuma uygulanan bir ön hazırlık tekniğidir. Priming tekniğinde tohumlar doğal veya sentetik bileşikler içeren bir ortamda belirli şartlar altında nemlendirilmektedir. Belirli bir süre nemlendirilen tohumlar daha sonra normal nem içeriğine kadar yeniden kurutularak ekim, paketlenme veya depolamaya hazır hale getirilmektedir. Nemlendirme işlemi sırasında tohumda çimlenmeyle ilgili metabolik süreçler başlamakta ancak radikulanın ortaya çıkışı gerçekleşmemektedir (Mahakham ve diğ., 2017; Nile ve diğ., 2022). Uygulaması kolay, düşük riskli ve uygun maliyetli bir tekniktir. Priming uygulaması bitkinin stres direncini artırarak mahsullerin verim ve kalitesini yükseltmektedir. Bu sayede bitki, tarladaki çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörleriyle etkili bir şekilde mücadele etmektedir. Aynı zamanda tohum dormansisinin azalmasında rol oynamaktadır. Çimlenmenin daha hızlı gerçekleşmesini, çimlenme oranının ve bitki büyüme ve gelişiminin artmasını sağlamaktadır. Bu uygulama, tohum embriyosunun büyüme ve gelişmesini destekleyen antioksidan enzimler, amilazlar, proteazlar ve lipazlar gibi enzimlerin aktivitesinin artmasını sağlamaktadır (Abou-Zeid ve diğ., 2021; Nile ve diğ., 2022; Perfileva ve diğ., 2023). Yaygın olarak kullanılan tohum ön hazırlık yöntemleri arasında hidro-priming (su kullanımı), halo-priming (organik çözücülerin kullanımı), ozmo-priming (polietilen glikol ve inorganik tuzların kullanımı), hormonal priming (hormon çözeltilerin kullanımı), katı matris priming (katı bir malzeme ve su karışımı), biyo-priming (faydalı organizmaların kullanımı) ve nano-priming (nanomateryallerin kullanımı) bulunmaktadır (Rai-Kalal ve Jajoo, 2021; Shelar ve diğ., 2021).

Nanopriming uygulaması, tohumların metabolizmasını fiziksel, biyokimyasal ve moleküler yollarla değiştiren, tohum çimlenmesini ve bitki büyüme ve gelişimini teşvik eden etkili yöntemlerden biridir (Kandhol ve diğ., 2022; Salam ve diğ., 2022). Nanopriming tekniği, daha az nanopartikül kullanımı ile öne çıkan, düşük maliyetli ve NP'lerin çevreye zarar verme riskini

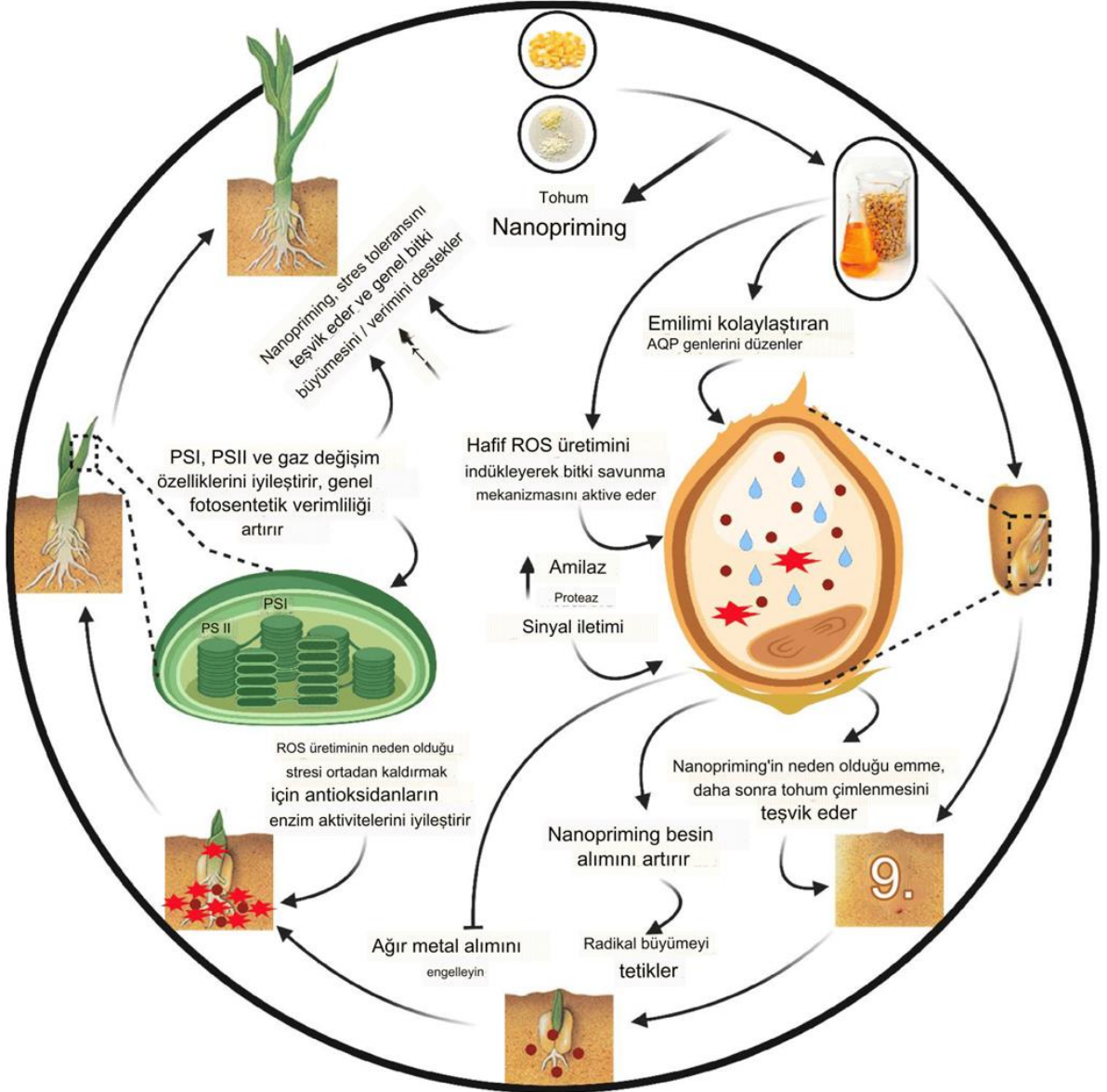
azaltan bir yöntemdir. Aynı zamanda gübre ve pestisit kullanımını da azaltmaktadır (Cembrowska-Lech ve Rybak, 2023; Waqas Mazhar vd., 2022). Yapılan çalışmalar tohum nanopriming uygulamasının çeşitli avantajlara sahip olduğunu göstermiştir. Hızlı ve düzenli çimlenmeyi teşvik ettiği, fidelerin çıkış süresini en aza indirdiği ve bitki gelişimini arttırdığı ortaya koyulmuştur. Lignin/çinko oksit hibrit nanopartikül sistemi ile priming uygulaması yapılan mısırdaki (*Zea mays* L.) tohum çimlenmesinin önemli ölçüde teşvik edildiği görülmüştür. Başka bir çalışmada, kolza tohumuna priming yöntemi ile uygulanan nanotüpler 24 saat içinde çimlenmeyi %20,2'den %91'e çıkarmıştır. Araştırmacılar, FeS₂ NP'lerle priming uygulamasının tohum çimlenmesini arttırdığını ve ıspanak, hardal, yonca, çemen otu, nohut, havuç ve susam bitkilerinin üretimini iyileştirdiğini bildirmiştir (Buono ve diğ., 2022; Salam ve diğ., 2022).

Tohum çimlenmesini düzenlemenin yanı sıra bitkilerin stabilite, büyüme ve fizyoloji gibi diğer özelliklerini de etkilemektedir. Bu etki, bitkinin abiyotik strese karşı toleransını artırarak, besin alımını, biyokimyasal mekanizmaları, hücresel antioksidanları, fotosentetik etkinliği ve moleküler mekanizmayı değiştirerek elde edilmektedir. Pirinç (*Oryza sativa* L.) tohumuna uygulanan kitosan nanopartikülün (CNP) tuzluluk stresi altında fide büyümesini iyileştirdiği gösterilmiştir. Başka bir çalışmada *Triticum aestivum* tohumlarına uygulanan ZnO-NP tuzluluk stresi altında sürgün yüksekliğini artırmış ve bitki fizyolojisinin iyileşmesini sağlamıştır. Benzer şekilde *Brassica napus* (kolza)'a uygulanan ZnO-NP kök ve sürgün uzunluğunu ve fide büyümesini önemli ölçüde arttırmıştır (Salam ve diğ., 2022; Somi ve diğ., 2023).

Nanopartiküller tohum çimlenmesini üç yolla etkilemektedir. Bunlar; tohum kabuğunda nanoporların oluşmasını sağlamak, tohumda reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesini sağlamak ve enzim aktivitesini arttırmak şeklindedir. Tohum kabuğuna nüfuz eden NP'ler kabukta küçük deliklerin oluşmasına, suyun hızlı bir şekilde alınmasına ve aquaporin gen ifadesinin artmasına yol açmaktadırlar. Nanopriming uygulaması tohumlarda ROS üretimini teşvik etmektedir. Hücredeki ROS miktarı belli bir seviyeye kadar sinyal molekülü olarak kullanılmaktadır. Hücre duvarının gevşemesini sağlayarak çimlenmenin hızlanmasına yardımcı olmaktadır. Aquaporinler su alımının yanı sıra ROS'ların biyolojik membranlardan geçişini de kolaylaştırmaktadır. Tohumda ROS miktarının artmasıyla birlikte antioksidan enzim aktivitesi de artmaya başlar. Antioksidan enzim miktarının artmasıyla hücredeki ROS miktarı dengede tutulmaktadır. NP'ler tohumda nişastayı parçalayarak çözülebilir şekere dönüştüren α -amilaz

enzim miktarının artmasını sağlamaktadırlar. Nişasta hidrolizi sonucunda artan çözülebilir şeker miktarı ozmotik potansiyelin azalmasına, bu da su potansiyelinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu sayede dokuların içindeki ve dışındaki su potansiyeli arasındaki fark artarak suyun tohumlara hareket etmesi sağlanır. Jing ve diğ. poli(akrilik asit) kaplı seryum oksit nanopartikülleri (PNC) ile muamele edilmiş ve daha sonra tuz stresine maruz bırakılmış pamuk (*Gossypium hirsutum*) tohumlarında bu durumu gözlemlemişlerdir. Nanopriming yapılmış tohuma tuz stresi uygulandığında ROS sinyal yollarıyla ve iyon dengesiyle ilgili genlerin ekspresyonunun arttığı tespit edilmiştir. ROS miktarının artmasıyla bitki oksidatif hasarı önlemek için antioksidan enzim miktarını arttırmıştır (An ve diğ., 2020; Shelar ve diğ., 2021).

Nanopartiküller ile priming uygulaması tohumlarda su alımını arttırmasının yanı sıra topraktan besin alımını arttırma, tohumda antioksidan savunma sistemini ve fotosentez mekanizmasını pozitif yönde düzenlemektedir (Salam ve diğ., 2022). Pirinç tohumlarına uygulanan gümüş nanopartikül (AgNP) çimlenme indeksini ve çimlenme oranını kontrole göre arttırmıştır. Priming uygulaması yapılan tohumlarda su alımının arttığı gözlenmiştir. Aynı zamanda α -amilaz aktivitesinin, *PIP1;1* ve *PIP2;1* aquaporin genlerinin, süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) antioksidan enzim miktarlarının arttığı belirtilmiştir (Mahakham ve diğ., 2017). Başka bir çalışmada buğday tohumlarına uygulanan ZnO-NP'nin fide kuru ve yaş ağırlığı, su alımı, α -amilaz aktivitesi ve fotosentetik pigmentleri (klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriği) önemli ölçüde arttırdığı gösterilmiştir (Rai-Kalal ve Jajoo, 2021). ZnO-NP ile muamele edilen buğday tohumlarında tuz stresi altında başta Zn olmak üzere mikro element alımı, hormon ve protein biyosentezi ve fotosentetik pigment miktarı artmıştır (Abou-Zeid ve diğ., 2021). Selenyum ve çinko nanopartikülleriyle priming yapılan pirinçte çimlenme ve canlılık indeksi artmıştır. Aynı zamanda toplam klorofil, fenol ve çözülebilir protein miktarı, çözülebilir karbonhidrat miktarı, su ve besin alımı da yükselmiştir (Adhikary ve diğ., 2022). Tüm bu çimlenme, büyüme ve gelişme parametreleri nanopartiküllerin boyutu, zeta potansiyeli, priming uygulamasında kullanılan konsantrasyonu ve uygulama süresi gibi farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerden etkilenmektedir (Khan ve diğ., 2023).



Şekil 8: Tohum çimlenmesi, abiyotik stres toleransı, bitki büyüme ve gelişiminin priming uygulamasıyla artırılmasının genel mekanizması (Salam ve diğ., 2022).

2.3.4. Bitkilerde Nanopartiküllerin Alımı ve Taşınması

Bitkiler çok sayıda özelleşmiş dokuya sahip karmaşık organizmalardır. Örneğin, yaprakların yapıları ve görevleri köklerinkinden oldukça farklıdır. Benzer şekilde, bitkilerin taşıma sistemini oluşturan ksilem ve floem de hem yapı hem de işlev olarak birbirinden farklıdır. Tüm bu dokular nanopartiküllerin bitkiye nüfuz etmesini, alınmasını ve taşınmasını farklı şekilde etkilemektedir (Su ve diğ., 2019).

NP'ler tohum ön işlemleri (priming), yaprak yüzeyine spreyleme, kök uygulaması, gövde enjeksiyonu ve biyolistik gibi çeşitli yöntemler ile bitkilere verilebilmektedir (Proença ve diğ., 2022; Rani ve diğ., 2023).

2.3.4.1. Nanopartiküllerin Yapraktan Alımı ve Taşınması

Yaprağa uygulanan NP'ler kütikula ya da stomalar yolu ile alınarak floem aracılığıyla bitkinin diğer kısımlarına taşınmaktadır. Yaprak epidermisinin mumsu kütikula tabakası çoğunlukla mum, kütin ve pektinden oluşmaktadır. Bu kütikül, bitkinin büyüme sürecinde su kaybını kontrol eder ve aynı zamanda yapraklara NP girişini engellemek için doğal bariyer görevi görmektedir. Yaprağa uygulanan bir maddenin kütikülden geçebilmesi için iki farklı yol vardır; bunlar lipofilik yol ve hidrofilik yoldur. Polar olmayan çözücüler lipofilik yollarla, polar çözücüler de hidrofilik yollar aracılığıyla taşınabilmektedir. Hu ve diğ. (2020) boyutu 2 nm'den küçük olan karbon noktalarının kütiküler yoldan pamuk (*Gossypium hirsutum*) bitkisinin yapraklarına girebildiğini kanıtlamışlardır. Boyutu 4.8 nm'den küçük olan NP'ler kütiküler yolla hücreye alınabilmektedir. 5.0 nm'den büyük boyutlu partiküller stoma yoluyla alınmaktadır (Hu ve diğ., 2020; Rani ve diğ., 2023; Wang ve diğ., 2023).

Stomalar ortamdaki CO₂ konsantrasyonu, nem, sıcaklık ve ışık yoğunluğuna göre açılıp kapanarak bitkilerde su ve gaz alışverişinin düzenlenmesinde rol oynamaktadır (Proença ve diğ., 2022). Stomaların boyutu ve yapısı farklı bitki türleri arasında farklılık göstermektedir (Wang ve diğ., 2023). Stomaların gözenek boyutu yaklaşık 25 µm uzunluğunda ve 3-10 µm genişliğindedir. Bu nedenle, boyutu 50 nm'den küçük olan NP'ler stoma gözeneklerinden alınabilmektedir. *Arabidopsis thaliana* ile yapılan bir çalışmada 43 nm boyutundaki NP'lerin stoma yoluyla alınabildiği ancak 1.1 µm boyutundakilerin alınamadığı gösterilmiştir. NP'ler, taşıyıcı protein komplekslerinin oluşumu, iyonik yollar, endositoz, hücrenin organik maddesine bağlanma veya fiziksel hasar yoluyla bitki hücrelerine girebilmektedir. (Rani ve diğ., 2023).

Yaprağa uygulanan nanopartiküllerin alınmasını çeşitli faktörler etkilemektedir. Bitki ile ilgili faktörler arasında bitkinin türü, yaşı, konumu, terleme oranı, bitkinin büyüme aşaması, filosferde yer alan mikroorganizmalar, biyotik ve abiyotik stres faktörleri yer almaktadır. Nanomateryal ile ilgili faktörler arasında NP'lerin boyutu, kimyasal bileşimi, fizikokimyasal

özellikleri, yüzey fonksiyonelliği, stabilitesi ve maruz kalma süresi yer almaktadır (Proença ve diğ., 2022).

Zhu ve diğ. (2020) buğday (*Triticum aestivum*) yapraklarına 30 nm boyuta sahip ZnO nanopartikülleri uygulamışlar ve ZnO nanopartiküllerinin stoma yolu ile alınıp kloroplastta biriktiğini bulmuşlardır (Zhu ve diğ., 2020). Yapılan başka bir çalışmada 2.8 ± 1.2 nm boyuta sahip TiO_2 24 saat *Arabidopsis thaliana* yapraklarına uygulanmıştır. NP'ler stomalar üzerinde birikirken epidermal hücrelerde TiO_2 'ye rastlanmamıştır (Su ve diğ., 2019). Nanopartikül boyutunun yanı sıra, NP'lerin şekli ve yükü de bitki hücrelerine girişi için önemlidir. Farklı şekillere sahip NP'lerin yapraklardan emilimi de farklılık göstermektedir. Zhang ve diğ. aynı şartlar altında çubuk şekilli ve küresel altın nanopartiküllerinin (AuNP) *Arabidopsis* yaprakları tarafından alımını karşılaştırmışlar ve çubuk şekilli NP'lerin daha kolay absorbe edildiğini bulmuşlardır. Aynı zamanda, yapılan çalışmalar pozitif yüklü NP'lerin alımının negatif yüklü NP'lerden daha güçlü olduğunu göstermiştir (Zhang ve diğ., 2022; Wang ve diğ., 2023). Bitki türleri, nanopartiküllerin yapraklardan emilimini etkileyen kritik faktörlerden biridir. NP'lerin yapraklardan alınması, stomaların dağılımı, sayısı ve şekli ile ilişkilidir. Örneğin, tek çenekli bitkilerde stomalar düzenli bir şekilde dağılmış ve düzgün bir yapıya sahiptir. Ayrıca, bitkilerin büyüme evresi ve yaşam döngüsü, yapraklardan NP'lerin alınmasını etkilemektedir. Çoğu bitki türünün yalnızca alt epidermiste stomaları bulunurken, birkaçının hem üst hem de alt epidermiste stomaları bulunmaktadır. Aynı zamanda sıcaklık, nem, ışık gibi çevre şartları stomaların açılıp kapanmasını etkilediği için NP alımını da etkilemektedir. Yüksek sıcaklık epidermisin büzülmesine sebep olarak NP alımını engellemektedir. Yaprığın ozmotik potansiyeli yüksek bağıl nem altında azalır ve bu da NP'lerin emilimini artırır. Filosfer mikroorganizmaları NP'ler ile bitkiler arasındaki etkileşimde önemli bir rol oynamaktadır. Bunlar, NP'leri çeşitli şekillerde etkileyebilen organik ve inorganik bileşikler salgırlar. Bu bileşiklerden bazıları, NP'lerin asitleşmesine, indirgenmesine veya şelat oluşumuna yol açabilir ve bu da NP'lerin bitki yapraklarına girişini etkileyebilir. Örneğin, hümit asit ZnO-NP ile şelat oluşmasında rol oynar (Rani ve diğ., 2023; Wang ve diğ., 2023).

Kütikula ve epidermis katmanını geçen NP'ler mezofil tabakasına ulaşır. NP'ler apoplastik veya simplastik yolla mezofil tabakasını geçerek iletim demetlerine, oradan da floeme ulaşmaktadır. Apoplastik taşınım hücre duvarları aracılığıyla gerçekleşen madde taşınımıdır ve maddeler hücreler arası boşlukta ilerlemektedir. Simplastik madde taşınımı, bitki hücreleri

arasındaki sitoplazma ile bağlantılı olarak gerçekleşen madde taşınımını ifade etmektedir. Bu taşıma, hücreler arasındaki sitoplazmatik geçitler olan plazmodesma adı verilen yapılar aracılığıyla gerçekleşmektedir. 50-200 nm gibi büyük boyutlu NP'ler genellikle apoplast yolu ile taşınırken, 10-50 nm gibi küçük boyutlu NP'ler simplast yoluyla aktarılmaktadır. Spreyleme yöntemi ile yaprağa uygulanan nanopartiküllerin bitkilerin çeşitli kısımlarına yayılabildiği, yani sap, çiçekler, genç yapraklar, meyveler, tohumlar ve kökler gibi farklı bitki bölgelerine ulaşabildiği birçok araştırma tarafından doğrulanmıştır. Hatta bu NP'lerin rizosfer toprağına geçebildiği de gözlemlenmiştir (Rani ve diğ., 2023; <http://www.biyolojiportali.com/konu-anlatimi/12/24/bitkilerde-madde-tasinmasi>).

2.3.4.2. Nanopartiküllerin Kökten Alımı ve Taşınması

Nanopartiküllerin alımını sağlayan diğer bir organ bitki kökleridir. Monokot bitkiler genellikle fibrous (lifli) bir kök sistemine sahiptir. Bu, birincil kökün az gelişmiş veya kısa olması ve birçok ince kökün oluşarak bitkinin alt toprak katmanlarını tutmasına neden olmaktadır. Dikotil bitkilerin kök sistemleri ise genellikle uzun ömürlü bir ana kök tarafından karakterize edilmektedir. Bu ana kök, yan köklerin gelişimine katkıda bulunur ve bitkinin toprak altındaki derin katmanlara ulaşmasını sağlamaktadır. Bitki kök sistemi epidermis, korteks, endodermis, periskl ve vasküler sistemden oluşmaktadır. Endodermiste ince duvarlı geçiş hücreleri ve kalın duvarlı su geçirmez endodermal hücreler olmak üzere iki tip hücre bulunmaktadır (Su ve diğ., 2019).

Kökler aracılığıyla topraktan alınan nanopartiküller apoplastik ya da simplastik yolla taşınmaktadır. Kökte yer alan endodermal hücreler apoplastik yolla madde taşınımını engelleyen Kaspary şeritleri içermektedirler. Bu yolla taşınan NP'ler endodermiste yer alan geçiş hücrelerini kullanırlar. Bununla birlikte, hasar görmüş kökler ya da yeni çıkmış ikincil kökler de NP girişi için etkili noktalardır (Su ve diğ., 2019). Nanopartiküllerin bitkiye alınmasındaki diğer bir ihtimal hücre duvarında oluşacak porlardır. NP'lerin hücre duvarının geçirgenliğini artırabileceği ve delikler oluşturabileceği düşünülmektedir. NP girişi için bir başka olası yol kök ucunda yer alan apikal meristem dokudur. Bu bölgede hücre bölünmesinin fazla olmasından dolayı gözeneklilik yüksektir. Aynı zamanda kökün bu kısmında Kaspary

şeritleri tam olarak oluşmadığından NP'lerin ksileme ulaşma olasılığı daha yüksektir (Zhu ve diğ., 2012).

Nanopartiküllerin kökler tarafından alınmasını partikül boyutu, yüzey işlevselliği, morfoloji, maruz kalma koşulları, bitki türleri, bitki büyüme aşaması, kök bütünlüğü (hasar veya hastalık) ve rizosfer gibi birçok faktör etkilemektedir (Lv ve diğ., 2019). Bir boyutlu ve 50 nm'den küçük olan NP'ler daha verimli taşınmaktadır. Larue, buğdaydaki (*Triticum aestivum*) TiO₂ NP'lerin boyuta bağlı alımını ve taşınmasını ortaya çıkarmak için yaptığı deneyde 36 nm'den küçük olan NP'lerin kökler tarafından alınıp tüm bitki boyunca dağıldığını fakat 36-140 nm aralığında olan NP'lerin köklerde yığıldığını göstermiştir. 7 nm CeO₂ salatalık (*Cucumis sativus*) sürgünlerinde NP içeriğini arttırırken 61 nm SnO₂ NP'ler domates köklerine nüfuz edememiştir (Laure ve diğ., 2012; Lv ve diğ., 2019; Su ve diğ., 2019).

Yüzey yükü nanopartikül alımını ve taşınımını etkileyen diğer bir faktördür. Yapılan çalışmalar pozitif yüklü NP'lerin kök yüzeyinde ve kök yapısının içinde biriktiğini, çok az bir kısmının bitkinin diğer kısımlarına taşındığını göstermiştir. Diğer taraftan negatif yüklü NP'ler kök yüzeylerinde daha az miktarda birikmekte ve verimli bir şekilde bitki sürgünlerine doğru hareket etmektedir. Bitki hücre duvarları negatif yüklüdür ve bu negatif yük, özellikle galakturonik asit veya glukuronik asit birimlerini içeren polisakkaritlerin (pektinlerin) varlığına bağlıdır. Pozitif yüklü NP'ler ile negatif yüklü kök yüzeyi arasında oluşan elektrostatik etkiden dolayı bu NP'ler kök yüzeyine çekilerek orada birikmektedir. Bu durum pirinç (*Oryza sativa*), çavdar (*Lolium perenne* L.), turp (*Raphanus sativus*) ve kabak (*Cucurbita mixta*) bitkilerine uygulanan AuNP (+), AuNP (-) ve AuNP (0) ile yapılan çalışmada gösterilmiştir (Zhu ve diğ., 2012). Buğday bitkisine uygulanan CeO₂ (+), CeO₂ (-), CeO₂ (0) ile benzer sonuç elde edilmiştir (Lv ve diğ., 2019). Başka bir çalışma pozitif yüklü CeO₂ NP'lerin kök yüzeylerinde birikmeye daha yatkın olduğunu, negatif yüklü NP'lerin ise domates bitkilerinin içinde daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, çoğu toprak partikülündeki negatif yük nedeniyle, kök yüzeyine ulaşan pozitif yüklü NP'lerin toplam kütlesi azalabilir ve bu da NP'lerin kullanılabilirliğini sınırlayabilmektedir (Su ve diğ., 2019).

NP'lerin yüzeylerinde oluşan ve NP'lerin etrafındaki çevresel koşullara veya moleküllere bağlı olarak değişen moleküler tabaka veya yüklü yapıya 'nano-korona' denilmektedir. Negatif yüklü kök sızıntıları pozitif yüklü NP'lerin yüzeylerini kaplayarak nano-korona oluşumuna sebep

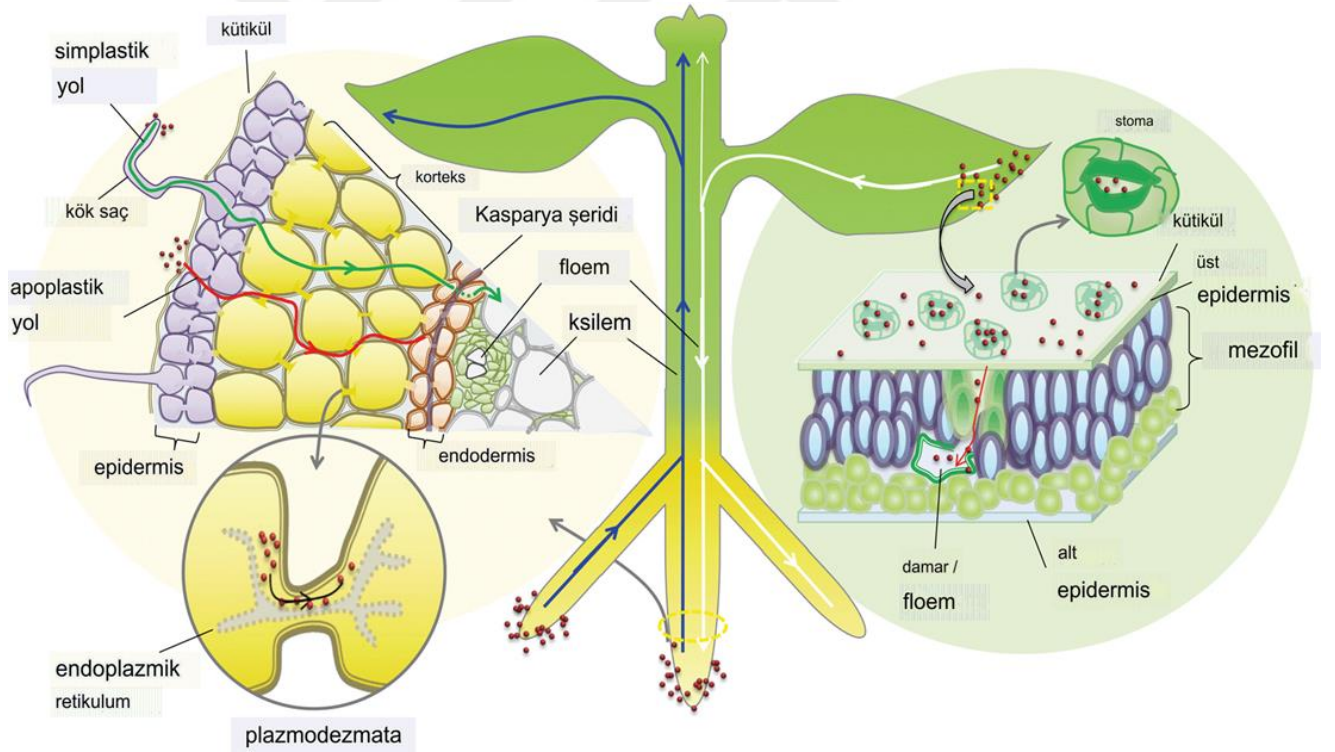
olabilmektedir. Bu durumda bu NP'ler negatif yüklü gibi davranarak kök sistemi boyunca taşınmaktadır (Lv ve diğ., 2019).

Farklı bitki türleri fizyolojik ve metabolik fonksiyonlarının farklılığından dolayı, NP'ler için farklı alım kapasitesine sahiptir. Gleen ve diğ. yaptıkları çalışmada AuNP'lerin kökler tarafından alınımının bitki türüne bağlı olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada 4 nm ve 18 nm boyutundaki AuNP'ler *Azolla caroliniana* Willd tarafından alınırken, yalnızca 4 nm boyutundaki AuNP'ler *Myriophyllum simulans* Orch tarafından alınmıştır. *Egeria densa* Planch ise her iki boyuttaki NP'leri de alamamıştır (Gleen ve diğ., 2012). Judy ve diğ. 10-50 nm AuNP'lerin bütün kökleri tarafından alınırken buğday bitkisi tarafından alınmadığını göstermişlerdir (Judy ve diğ., 2012). Mikoriza mantarları yüksek yapıli bitkilerle simbiyotik ortaklık kurarak onların kök yüzey alanını arttırmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum bitkinin su besin alımını arttırırken aynı zamanda NP alımını da teşvik edebilir. NP girişine karşı fizyolojik bariyerlerin zarar görmesine sebep olan kök çürüğü, kök düğümü ve rhizopus gibi kök hastalıkları da NP alımını etkilemektedir (Lv ve diğ., 2019).

Rizosfer, bitkilerin köklerinin etkisi altındaki toprak bölgesini tanımlanmaktadır. Kök sızıntıları ve mikroorganizmalar ile zenginleştirilmiş kimyasal ve biyolojik olarak aktif bir bölgedir. Bu bölge NP'lerin kök yüzeylerine ulaşmadan önce dönüşümüne sebep olabilir (Lv ve diğ., 2019). Huang ve diğ. kök sızıntılarının CuNP'lerin indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları ile Cu (I)'den Cu (II)'ye dönüşmesine sebep olarak salatalıkta (*Cucumis sativus*) Cu alımını önemli ölçüde azalttığını bulmuşlardır (Huang ve diğ., 2017). Toprak-kök yüzeyindeki nanopartikül çözünmesi ve dönüşümü oldukça karmaşık bir mekanizmaya sahiptir ve bu mekanizma çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Rizosfer, toprak pH'sını, organik madde miktarını, mineral bileşenleri ve mikrobiyal topluluğu etkilemekte ve değiştirebilmektedir. Toprak faktörlerindeki değişiklikler NP'leri de etkileyebilir. Bu nedenle, NP'lerin toprak-kök yüzeyindeki davranışlarını anlamak ve etkilerini değerlendirmek için toprak pH'ı, organik madde içeriği, mineral bileşenler ve mikrobiyal topluluk gibi faktörleri dikkate almak önemlidir (Lv ve diğ., 2019).

Nanopartiküllerin farklı bölgelere taşınması ksilem ve floem yoluyla gerçekleşmektedir. Köklerden alınan su ve besinler ksilem aracılığıyla sürgünlere, fotosentez sırasında sentezlenen şeker ise yapraklardan floem yoluyla meyvelere, fotosentez yapamayan gelişmekte olan yapraklara ve köklere taşınmaktadır. NP'lerin yaprağa uygulanmasından sonra köklerde ve

hatta rizosferde metal birikimin tespit edilmesi floem taşınmasını doğrulamıştır. Yaprğa uygulamadan sonra NP'ler floeme ulaşır. NP'ler ile yüklü floemde çözünen madde potansiyeli yüksektir dolayısıyla komşu ksilem hücrelerine göre daha düşük su potansiyeline sahiptir. Potansiyel farkından dolayı suyun hareketi ksilemden floeme doğru ozmoz yoluyla gerçekleşmektedir. Suyun hareketi floemde basınç oluşturarak nanopartiküllerin yukarıya doğru yapraklara, çiçeklere, meyvelere ve tohumlara veya aşağıya doğru köklere aktarılmasına neden olan çok yönlü bir akışın oluşmasına neden olmaktadır. Boşaltma sonrasında floemdeki parçacık konsantrasyonu yani çözünen madde potansiyeli azalır ve ksileme kıyasla su potansiyeli artar. Böylece su floemden ksileme doğru hareket eder. Bu nedenle, ikisi arasındaki ozmotik değişim, ksilem ve floem arasında NP değişimi olasılığını düşündürmektedir (Rani ve diğ., 2022).

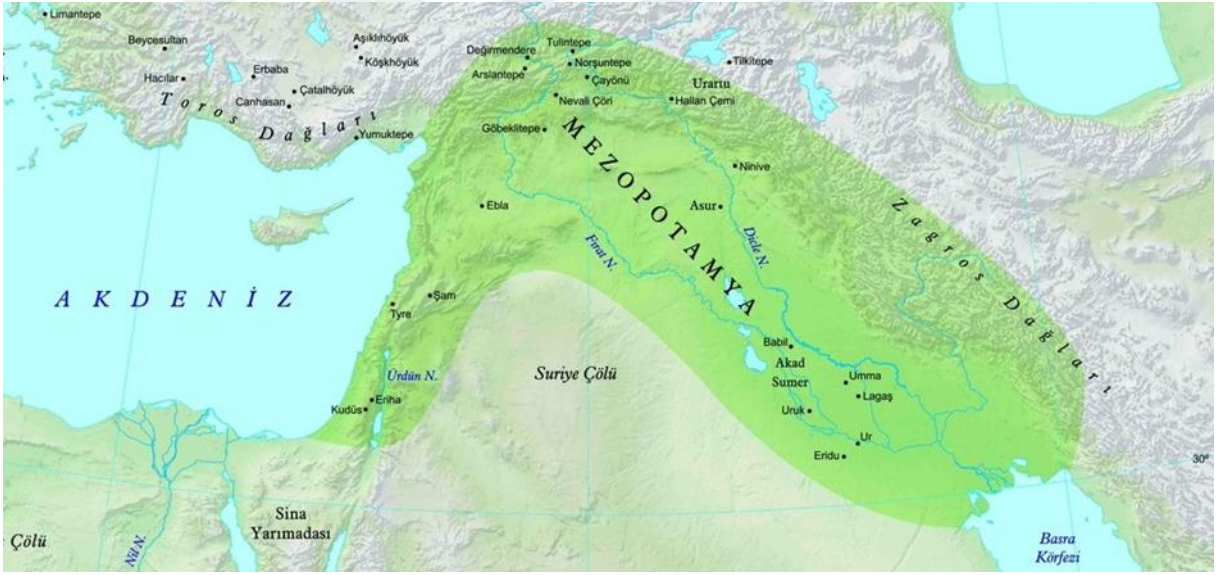


Şekil 9: Bitkilerde NP'lerin alınma ve taşınma yollarının şematik gösterimi (Lv ve diğ., 2019).

2.4. BİTKİ MATERYALLERİ

2.4.1. Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.)

Buğday (*Triticum aestivum* L.), Poaceae familyasına ait olan gıda, yem, tohum ve endüstriyel olarak kullanılan, en yaygın şekilde yetiştirilen tahıl ürünlerinden biridir (Akter ve Islam, 2017; Yiğider, 2023). Buğday, yaklaşık on bin yıl önce Neolitik Çağ'da tarımın başlamasıyla birlikte en erken kültüre alınan bitki türüdür (Toprak, 2022). İlk yetiştirildiği yer ise James Henry Breasted tarafından 1916 yılında 'Bereketli Hilal' olarak ifade edilen, Türkiye'nin de bir kısmını içine alan bölgedir. Bereketli Hilal, Akdeniz ikliminin etkisi altında olan ve tarım için uygun koşulların bulunduğu bir alandır (Koç, 2023).



Şekil 10: Bereketli Hilal bölgesinin haritası (Tek, 2020).

Buğday, dünya nüfusunun temel besinlerinden biri olarak kabul edilmekte olup, yaklaşık olarak nüfusun %35'ini beslemektedir. Ayrıca, alınan kaloringin yaklaşık %20'sini karşılamaktadır. Günümüzde tüketilen buğdayın büyük bir çoğunluğu (%90), genellikle ekmek yapımında kullanılan *Triticum aestivum* L. türünden gelmektedir (Paksoy, 2020). Buğday karbonhidratlar, proteinler, B ve E vitaminleri, kalsiyum ve demir gibi çeşitli besin öğeleri ve sekonder bitki metabolitleri bakımından oldukça zengin bir tahıldır (Ereku ve diğ., 2016; Iqbal ve diğ., 2021).

Buğday tanesinin yapısı üç ana bölümden oluşur. Dış tabaka, fibrous yapısı nedeniyle genellikle lif olarak adlandırılan, içinde önemli miktarda vitamin ve mineral içeren koruyucu bir kılıftan oluşmaktadır. Tane içindeki en büyük kısım, nişasta ve protein içeren endosperme aittir. Son olarak, birçok enzim, iki önemli protein (gliadin ve glutenin), vitaminler, mineral tuzları ve özellikle E vitamini bakımından zengin bir embriyo kısmından oluşur (Danza ve diğ., 2014).

Buğday türleri, bitkinin vegetatif hücresinde bulunan kromozom sayısına göre (i) diploid ya da einkorn ($2n=14$); (ii) tetraploid ya da emmer ($2n=28$) ve (iii) hekzaploid ($2n=42$) olmak üzere üç gruba ayrılır. Kültürü yapılan buğday türleri diploid; *T. monococcum* ssp. *monococcum* ($2n=14$, AA), iki tetraploid; *T. turgidum* ssp. *dicoccoides* ($2n=28$, AABB) ve *T. timopheevii* ($2n=28$, AAGG) ve bir hekzaploid buğday; *T. aestivum* ($2n=42$, AABBDD) olarak dört grupta toplanır (Demirel, 2013).

Günümüzde kültürü yapılan modern buğday çeşitleri heksaploid ekmeklik buğday *T. aestivum* L. ($2n=6x=42$, AABBDD) ve tetraploid makarnalık buğday *T. durum* ($2n=4x=28$, AABB) türlerine aittir. Heksaploid ekmeklik buğday; AABB ($2n=4x=28$) ile temsil edilen tetraploid buğday (*T. turgidum* ssp. *dicoccum*) ve DD ($2n=2x=14$) olarak ifade edilen *Aegilops tauschii* arasındaki hibridizasyon sonucunda meydana gelmiş olup, yaklaşık 17 Gb genom boyutuna sahiptir. A, B ve D genomlarını içermektedir. A genomunun kaynağı *T. urartu* (AA), B genomunun kaynağı ise *Aegilops speltoides*'dir (Ma, 2005; Paksoy, 2020; Yiğider, 2023).

2.4.2. Siyez Buğdayı (*Triticum monococcum* L.)

Einkorn ve emmer buğday türleri günümüz buğdaylarının atası olarak kabul edilmektedir. Einkorn buğdayı (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) diploid olup ülkemizde siyez buğdayı olarak, emmer buğdayı da (*Triticum turgidum* L. ssp. *dicoccum*) tetraploid bir buğday olup ülkemizde “Gernik buğdayı” olarak bilinmektedir. Siyez buğdayı, tarımın başlangıcında önemli bir rol oynayan en eski buğday türlerinden biridir. Günümüzden yaklaşık 10-12 bin yıl önce, Diyarbakır/ Karacadağ bölgesinde siyez buğdayının kültüre alındığı ve buradan Orta Doğu, Balkanlar, Kafkasya, Güney Afrika ve Avrupa gibi bölgelere yayılarak buğday tarımının genişlemesine katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Türkiye'de Kastamonu, Bolu, Samsun, Sinop, Karabük illerinde yetiştirilmektedir (Hidalgo ve Brandolini, 2014; Noğay, 2023).

Einkorn kelimesi, Almanca "Ein" (tek) ve "Korn" (tane, çekirdek) kelimelerinden türetilmiştir. Einkorn buğdayının başakçıklarında genellikle tek bir tanenin bulunması ve buğday tanelerini saran kavuzun daha sıkı ve katı olması, bu ismin seçilmesine neden olmuştur. Einkorn, bu özellikleriyle diğer buğday türlerinden ayrılan bir antik buğday çeşididir. Siyez buğdayının hasadı kavuzlu yapısı ile gerçekleştirilmektedir. Genellikle siyez bulguru ve unu olarak işlenmekte, tanenin yaklaşık %30'unu oluşturan kavuz tabakası da hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Emeksizoglu, 2016; Noğay, 2023).

Triticum monococcum, besleyici özellikleri ve diğer buğday türlerine göre daha yüksek mineral, protein, lutein, yağ, kül ve lif içeriği ile dikkat çekmektedir. Aynı zamanda antioksidan etkiye sahip fenolik asitler, karotenoidler, tokoller, konjuge polifenoller, alkilresorsinoller ve fitosteroller gibi fitokimyasallar bakımından da zengin bir gıda kaynağıdır (Noğay, 2023; Şahin, 2022). Besin değeri yüksek olması, zararlılara karşı yüksek direnç sahip olması, mineral madde bakımından fakir topraklarda yetişebilmesi ve organik tarım için uygun olması gibi özelliklere sahip siyez buğdayının kabuklu olma, düşük verim ve özellikle çavdar ve makarnalık buğdaylarla düşük melezleme yeteneği gibi bazı kısıtlamalara rağmen gelecekte üretiminin artması beklenmektedir (Zaharieva ve Monneveux, 2014).

2.4.3. Kavılca Buğdayı (*Triticum dicoccum* S.)

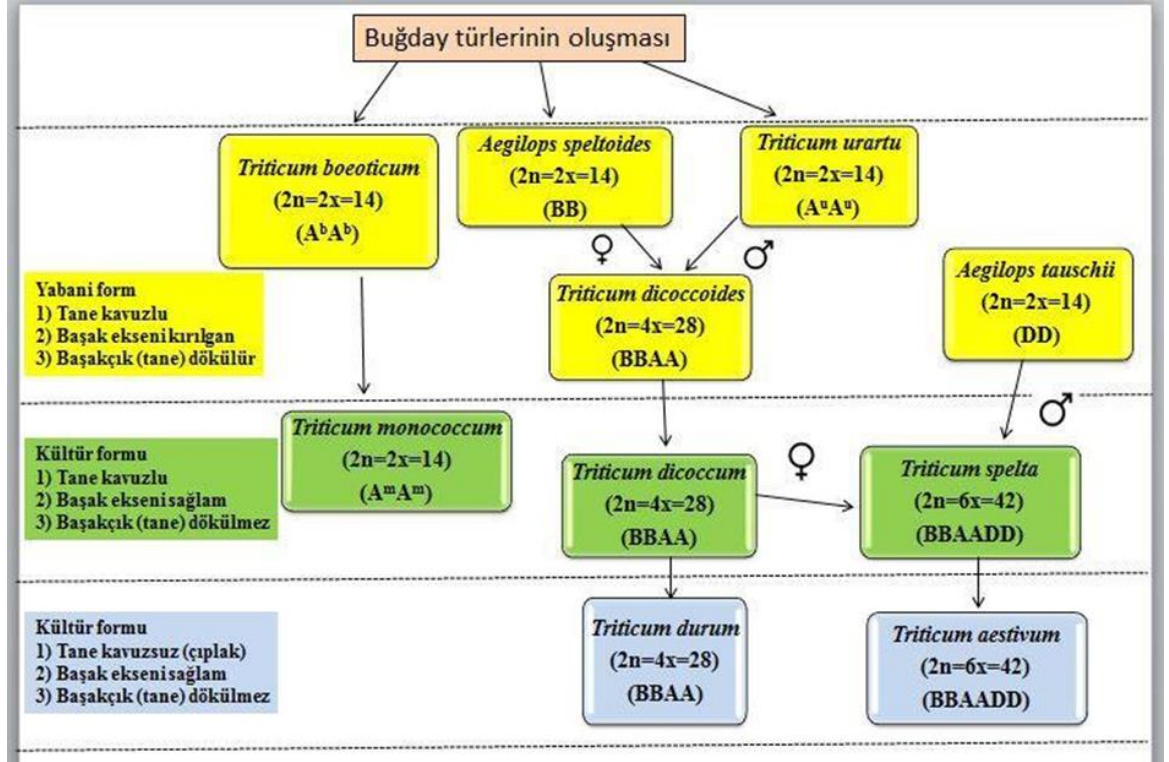
Kavılca buğdayı (*Triticum dicoccum*), Emmer (Gernik) grubu buğdaylar içinde değerlendirilen, yaklaşık 9500 yıl önce Diyarbakır/Karacadağ bölgesinde yetiştirilmeye başlanmış ve oradan Balkanlar, Avrupa, Kuzey Afrika ve Orta Asya'ya yayılmış kavuzlu bir buğday türüdür (Aydar, 2022; Çetinkaya-Turkey ve Gülbaz, 2022; Sazak, 2022). *T.dicoccum* Fas, İspanya, Çek ve Slovak Cumhuriyetlerinin sınırındaki Karpat Dağları, Arnavutluk, Türkiye, İsviçre, Hindistan ve İtalya'da yetiştirilmektedir (Dhanavath ve Rao, 2017). Ülkemizde ise Kastamonu, Sinop, Kars, Ardahan ve Kayseri illerinde yetiştirilmektedir (Aydar, 2022; Sazak, 2022).

Triticum urartu (Yabani diploit buğday, $2n=14$, AA) ve *Aegilops speltoides* (yabani çim bitkisi, $2n=14$, BB) doğal olarak melezlenmesi sonucunda *T. dicoccoides* (yabani Emmer, $4n=28$, AABB) oluşmuştur. *T. dicoccoides* türünden yapılan doğal ve yapay seleksiyonlar sonucu *T. dicoccum* (kültür Gernik buğdayı, kavılca buğdayı $4n=28$ ve AABB) meydana gelmiştir.

T.diccocum modern makarnalık buğdayın(*Triticum durum*, $2n=4x=28$ ve AABB) atası olarak kabul edilmektedir. (Atak, 2017; Demir, 2020).

Kavılca buğdayı, besin değeri oldukça yüksek bir tahıl türüdür. Protein, lif, mineraller, mikro elementler, A ve B vitaminleri ile antioksidan içeriği bakımından zengin, ancak gluten oranı düşük bir besindir (Çetinkaya-Turkey ve Gülbaz, 2022; Demir, 2020).

Kavılca, kavuzlu bir buğday türüdür. Bu sayede abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı direnç göstermektedir. Dağlık ve soğuk bölgelerde yetişebilmektedir. Sınırlı kaynaklar kullanılarak verimi düşük topraklarda tarımı yapılabilir (Dhanavath ve Rao, 2017).



Şekil 11: Buğday türlerinin evrimi ve kültüre alınması (Kaya, 2018).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. BİTKİ MATERYALLERİ VE ÇİNKO NANOPARTİKÜL

Bu tez çalışmasında deney materyali olarak Poaceae familyasına ait diploid *Triticum monococcum* L. (siyez buğdayı, $2n=2x=14$), tetraploid *Triticum dicoccum* S. (kavılca buğdayı, $2n=4x=28$) ve heksaploid *Triticum aestivum* L. (ekmeklik buğday, $2n=6x=42$) tohumları tercih edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan bu tohumlar Tarım ve Orman Bakanlığı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü (Ankara)’nden temin edilmiştir.

İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler birimi tarafından desteklenen 39080 nolu “Çeşitli bitki özütleri kullanılarak Gümüş (Ag), Çinko (Zn) ve Titanyum (Ti) nanopartiküllerin yeşil sentezi ve tohum çimlenmesi ile genotoksisite üzerine etkilerinin incelenmesi” başlıklı proje kapsamında yeşil sentezi gerçekleştirilen 15-18 nm büyüklüğündeki ZnO nanopartikülü kullanılacaktır. Bu proje kapsamında Antalya bölgesinden uzman botanikçi Doç.Dr. Sırrı Yüzbaşıoğlu tarafından toplanan *Salvia fruticose* Mill. (Anadolu adaçayı, $2n=14$)’in kurutulmuş yaprakları yeşil sentez yönteminde kullanılmıştır. Kurutulmuş adaçayı yaprakları %2 ve %1 oranında tartılarak, 1 ve 2 saat boyunca 100 °C’de kaynatılmıştır. Ekstraktların antioksidan kapasitesi DPPH radikal süpürme ve folin-ciocalteu yöntemi ile tayin edilmiştir. Antioksidan kapasitesi tayini sonucunda kurutulmuş adaçayı yapraklarının %2 oranında tartılıp 2 saat kaynatılmasıyla elde edilen ekstraktın yeşil sentez reaksiyonunda kullanılmasına karar verilmiştir. ZnO nanopartikülü yukarıda belirtilen proje kapsamında İ.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyelerinden Doç.Dr. Namık Akçay ve Doç.Dr. Gökhan Algül tarafından sentezlenmiştir. ZnO-NP’nin karakterizasyonu Fizik Bölümü Nanoteknoloji Araştırma Laboratuvarında bulunan Ultraviyole-görünür bölge spektroskopisi (UV-vis), geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır.

3.2. NANO-PRİMING UYGULAMASI

Buğday tohumları %10 sodyum hipoklorid (ticari çamaşır suyu) çözeltisinde 10 dakika steril edildikten sonra bolca distile su ile yıkanmıştır. Tohumlar 0 (kontrol), 5, 10, 25, 50, 100 ve 200 ppm ZnO-NP ortamlarında 4, 8 ve 18 saat 25 °C etüv ortamında imbibisyona bırakılmıştır. İmbibisyon ortamından alınan tohumlar çift katlı kuru filtre kağıdı serili petri kaplarına transfer

edilerek 25 °C etüv ortamında 24 ve 48 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutulan tohumlar 15 ml dH₂O ile nemlendirilmiş çift katlı filtre kağıdı serili 14 cm'lik cam petrilere ekilmiştir. Her bir petriye 16 adet tohum ekilmiş ve 3 tekrar yapılmıştır. Ekimi yapılan buğday tohumları 25 °C sıcaklıkta % 60 nem ve 12-12s fotoperiyot programında bitki büyütme kabininde çimlenmeye bırakılmıştır (VB 0714, Bioline, Vötsch Industrietechnik, Germany; internal dimensions: 970x750x1400cm; lighting intensity: 450mmol m⁻²s⁻¹ @ 200mm). Tohumlara 7 gün boyunca gün aşırı su verilerek gözlem yapılmıştır. 7 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. Yapılan ön çalışma sonucunda çimlenme yüzdesi, kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş-kuru ağırlığı verilerine bakılarak ZnO-NP priming uygulaması için 18 saat imbibisyon, 48 saat kurutma ve 0, 5, 10, 25, 50, 100 ve 200 ppm konsantrasyon uygulanması seçilmiş ve deneye bu parametreler ile devam edilmiştir.

3.3. ÇİMLENME YÜZDESİ

Kontrol (0), 5, 10, 25, 50, 100, 200 ppm ZnO-NP ortamlarında 18 saat imbibisyona bırakılıp 48 saat kurutularak priming uygulaması yapılan tohumlar 15 ml dH₂O ile ıslatılmış petri kaplarına aktarılmıştır. Buğday tohumlarının çimlenmeleri sabit kalana kadar günlük olarak izlenmiş ve çimlenme oranları yüzde olarak ifade edilmiştir. Radikulanın testadan dışarı çıkması çimlenme kriteri olarak kabul edilmiştir. Çimlenme yüzdesi (%), ortalama çimlenme süresi (gün) ve çimlenme oranı indeksi (%/gün) Kader (2005)'in kullandığı yöntemle göre hesaplanmıştır.

3.4. BİTKİ BÜYÜMESİ

Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan tohumlar 7 gün boyunca çimlenmeye bırakılmıştır. Fidelerin 7. günündeki kök ve gövde uzunlukları milimetrik taksimatli cetvel kullanılarak ölçülmüştür. Fidelerin kök ve gövdeleri rastgele seçilip sekizer adet gruplar halinde tartılarak taze ağırlıkları alınmıştır. Taze ağırlıkları belirlenen fideler 70 °C etüvde ağırlık sabit kalana kadar (3-4 gün) bekletilerek kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Taze ve kuru ağırlık miktarları 'g' cinsinden ifade edilmiştir. Bitki büyüme verilerine göre canlılık indeksi değerleri Kataria ve diğerlerinin (2015) kullandığı formüle göre hesaplanmıştır.

Canlılık indeksi I: çimlenme yüzdesi x fide uzunluğu (kök + gövde)

Canlılık indeksi II: çimlenme yüzdesi x fide kuru ağırlığı (kök + gövde)

3.5. KLOROFİL TAYİNİ

Klorofil tayini yapılacak olan bitki kısımlarının (kotiledon ve yaprak) taze ağırlığı alınarak %90 aseton içeren havan içerisinde ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstraktlar bir süre +4'te bekletildikten sonra 3000 g'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra süpernatantların spektrofotometrede 630, 645, 665, 480 ve 750 nm dalga boyundaki absorpsiyon değerleri belirlenmiştir ((Parsons ve Strickland, 1963). Bu değerlerin birim taze ağırlıktaki klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotinoid içerikleri hesaplanmıştır. Klorofil ve karotinoid miktarları “g/g T.A” olarak ifade edilmiştir.

3.6. TOTAL PROTEİN MİKTARI TAYİNİ

Bitki kök ve gövdelerindeki total çözünebilir protein miktarının kantitatif tayini için Bradford (1976) metodu kullanılmıştır. 0,30 g bitki materyali 3 ml 50 mM, pH 6.8 potasyum fosfat (0.1 mM EDTA ve %1 PVPP) tamponu kullanılarak soğuk havanda ezilmiştir. Homojenatlar falcon tüplere alınarak 13.000 devir/dakika 30 dakika santrifüj yapılmıştır. Santrifüj sonunda suda çözünen proteinleri içeren üst sıvı (süpernatant) alınmıştır. 10 µl süpernatant alınarak üzerine 190 µl Comassi Blue Brilliant boyası (50 mg Coomassie Brilliant Blue G-250, 50 ml metanol, 100 ml %85 H₃PO₄, 850 ml distile su) eklenip iyice karıştırılmış ve 15 dakika karanlıkta bekletildikten sonra 595 nm dalga boyunda spektrofotometrik ölçüm yapılmıştır. Tüm spektrofotometrik ölçümler BioTek Epoch 2 mikropate spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen absorpsiyon değerleri standart eğride yerine konarak bu absorpsiyona karşılık gelen total protein miktarı belirlenmiştir. Bu yöntemde, bovin serum albuminin (BSA) suda çözülmesiyle hazırlanan 16 mg/ml stok çözeltisinden 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 µl alınarak 0,1 ml'ye tamamlanmıştır. BSA'nın farklı konsantrasyonlarının 595 nm dalga boyundaki absorpsiyon değerleri ölçülerek standart protein eğrisi çizilmiştir. Total protein miktarı “µg/ml” türünden ifade edilmiştir.

3.7. HİDROJEN PEROKSİT (H₂O₂)'İN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ

Kök, gövde ve yaprak kısımlarının taze ağırlıkları yaklaşık 0,3 g olacak şekilde alındıktan sonra 3 ml %0,1 TCA içeren tampon eklenerek soğuk havanda ezilmiştir. Ekstraktlar 12.000 devir/dakika 30 dakika santrifüj yapılmıştır. Reaksiyon karışımı süpernatant, 0,1 mM EDTA, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH: 6.8) ve 1 M potasyum iyodür içermektedir. 390 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır. Elde edilen absorban değerleri H₂O₂ standart grafiğine göre hesaplanmıştır.

3.8. LİPİT PEROKSİDASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ

Lipit peroksidasyonu sonucunda oluşan malondialdehid (MDA) gibi ürünlerin ölçümü Heath ve Packer (1968) yöntemine göre yapılmıştır. Kök, gövde ve yaprak kısımlarının taze ağırlıkları yaklaşık 0,3 g olacak şekilde alındıktan sonra 3 ml %0,25 TBA ve %10 TCA içeren tampon eklenerek soğuk havanda ezilmiştir. Ekstraktlar 95 °C'de 30 dakika su banyosunda inkübe edildikten sonra +4 °C'de bir miktar soğutulmuş ve 5000 g'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatantların absorbanı 532 ve 600 nm dalga boylarında ölçülmüştür.

3.9. KATALAZ (CAT) AKTİVİTESİNİN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ

Taze ağırlıkları alınan bitki kısımları (kök, hipokotil, yaprak) total protein tayininde anlatıldığı şekilde ekstraksiyonları yapıldıktan sonra santrifüj edilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen süpernatantlar -20°C de saklanmıştır. Katalaz enzimi aktivitesinin belirlenmesi Bergmeyer (1970)'in metoduna göre gerçekleştirilmiştir. CAT ölçümü için reaksiyon karışımı 0,1 mM EDTA, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH: 6.8) ve %0,3 H₂O₂'den oluşmaktadır. Reaksiyon H₂O₂'nin eklenmesiyle başlatılıp 3 dakika boyunca 240 nm dalga boyundaki absorbanstaki azalış takip edilmiştir. H₂O₂ miktarında oluşan azalma 240 nm dalga boyunda gösterdiği maksimum absorbanstaki düşüşle belirlenmiştir. CAT aktivitesi dakikada harcanan ünite/mg-1 H₂O₂ olarak ifade edilmiştir.

3.10. PEROKSİDAZ (POD) AKTİVİTESİNİN SPEKTROFOTOMETRİK TAYİNİ

Taze ağırlıkları alınan bitki kısımları (kök, hipokotil, yaprak) total protein tayininde anlatıldığı şekilde ekstraksiyonları yapıldıktan sonra santrifüj edilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen süpernatantlar -20°C de saklanmıştır. POD ölçümü için polystrene küvetteki reaksiyon karışımı -20 °C den alınan enzim örnekleri, 3,3'-diaminobenzidin tetrahidrokloroid (DAB) solüsyonu, %0,6 H₂O₂ ve dH₂O dan oluşmaktadır. Reaksiyon H₂O₂'nin katılmasıyla başlatılıp 2 dakika boyunca 465 nm dalga boyundaki absorbans artışı takip edilmiştir. POD aktivitesi 465 nm dalga boyundaki DAB'ın oksidasyonu ile absorbansta meydana gelen artış takip edilerek hesaplanmıştır. Enzim aktivitesi dakikada tüketilen ünite/mg-1 H₂O₂, olarak ifade edilmektedir (Herzog ve Fahimi, 1973).

3.11. İSTATİSTİKSEL HESAPLAMALAR

Bu tez çalışmasındaki her bir uygulama üç tekrarlı olarak ve her bir deney en az üç farklı zamanda gerçekleştirildi. Elde edilen tüm veriler, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile analiz edildi ve ardından Tukey Post HocTest analizi p<0.05 düzeyinde yapıldı. Her bir uygulamanın ortalaması ve standart sapması (SD) hesaplandı. Tüm istatistiksel analizler, GraphPad Prism sürüm 10.2.3 yazılımı (GraphPad Software, San Diego, CA) ile yapıldı. |

4. BULGULAR

4.1. ÇİNKO NANOPARTİKÜL İLE PRİMING

Anadolu adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.) bitki özütü kullanılarak yeşil sentezi gerçekleştirilen 15-18 nm büyüklüğündeki ZnO-NP priming amacıyla kullanılmıştır. Steril edildikten sonra Kontrol, 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP sulu çözeltisinde $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip etüvde 4 saat, 8 saat ve 18 saat imbibisyona bırakılan ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumları priming süresini belirlemek amacıyla ön çalışma için kullanılmıştır. Farklı imbibisyon sürelerinden sonra çift katlı kuru filtre kağıdı serili petri kaplarına alınan tohumlar $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde 48 saat kurutulmuş ve distile su ile ıslatılan petri kaplarına ekilerek bitki büyütme kabininde 7 gün boyunca çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenme yüzdeleri Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarının çimlenme yüzdeleri (%)

Çimlenme yüzdesi (%)			
ZnO-NP Konsantrasyonları	4 saat	8 saat	18 saat
Kontrol	93,75	100	95,83
5 ppm	100	100	95,83
10 ppm	100	100	100
25 ppm	100	96,87	97,92
50 ppm	100	100	97,92
100 ppm	96,87	96,87	100
200 ppm	100	100	97,92

Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarında bütün konsantrasyonlar için çimlenme yüzdelerinin yüksek olduğu ve değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. 4 saat priming uygulamasının sonuçlarına bakıldığında en düşük çimlenme yüzdesinin kontrol grubunda olduğu, ardından 100 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu görülmektedir. Diğer ortamlarda ise çimlenmenin %100 verimle gerçekleştiği belirlenmiştir. ZnO-NP ile 8 saat imbibisyona bırakılan ekmeklik buğday tohumlarında en düşük çimlenme yüzdesi 25 ppm ve 100 ppm ZnO-NP ile priming uygulaması sonucunda elde edilmiştir. Diğer konsantrasyonlarda çimlenme %100 verimle

gerçekleşmiştir. 18 saatlik imbibisyonun ardından en düşük çimlenme yüzdesinin aynı değerlere sahip kontrol grubu ve 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 3: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarında ortalama çimlenme süresi (gün)

Ortalama çimlenme süresi (gün)			
ZnO-NP Konsantrasyonları	4 saat	8 saat	18 saat
Kontrol	1,37	1,16	1,04
5 ppm	1,31	1,12	1
10 ppm	1,37	1,09	1,04
25 ppm	1,22	1,19	1,02
50 ppm	1,37	1,06	1,04
100 ppm	1,19	1,16	1,04
200 ppm	1,44	1,06	1

Belirli şartlarda bitki büyütme kabiniinde 7 gün boyunca çimlenmeye bırakılan ekmeklik buğday tohumlarında radikulanın çıkışı çimlenme parametresi olarak kabul edilmiş ve çimlenme her gün kontrol edilmiştir. 3-4. günden sonra çimlenmenin sabit kaldığı görülmüştür. ZnO-NP ile 4 saat priming yapıp 48 saat kurutulan tohumlarda kontrole göre ortalama çimlenme süresi en kısa olan ortam 100 ppm iken en uzun olan ortam 200 ppm'dir (Tablo 3). 5 ppm, 25 ppm ve 100 ppm ZnO-NP ile imbibisyon yapılarak ekilen tohumlarda ortalama çimlenme süresi kontrole göre daha kısa bulunmuştur. 10 ppm, 50 ppm ve 200 ppm ZnO-NP ile imbibisyon yapılarak ekilen tohumlarda ortalama çimlenme süresi kontrole göre daha uzun bulunmuştur.

ZnO-NP ile 8 saat priming yapıp 48 saat kurutulan tohumlarda kontrole göre ortalama çimlenme süresi en kısa olan ortam 50 ppm ve 200 ppm iken en uzun çimlenme süresine sahip olan ortam 25 ppm'dir (Tablo 3). 5 ppm, 10 ppm, 50 ppm ve 200 ppm ZnO-NP ile imbibisyon yapılarak ekilen tohumlarda ortalama çimlenme süresi kontrole göre daha kısa bulunmuştur. 25 ppm ve 100 ppm ZnO-NP ile imbibisyon yapılarak ekilen tohumlarda ise çimlenme süresi kontrole göre daha uzun bulunmuştur.

ZnO-NP ile 18 saat priming yapıp 48 saat kurutulan tohumlarda en uzun çimlenme süresine sahip olan ortam Kontroldür (Tablo 3). Diğer ortamlar kontrole göre daha kısa çimlenme süresine sahip iken en kısa çimlenme süresine sahip ortamlar ise 5 ppm ve 200 ppm'dir.

Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarında üç farklı imbibisyon süresi için en kısa çimlenme süresi 18 saatlik priming sonucunda elde edilmiştir.

Tablo 4: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarında çimlenme oranı indeksi (%/gün)

Çimlenme oranı indeksi (% / gün)			
ZnO-NP Konsantrasyonları	4 saat	8 saat	18 saat
Kontrol	76,56	92,19	94,44
5 ppm	85,42	93,75	95,83
10 ppm	81,25	95,31	98,61
25 ppm	89,06	87,5	96,87
50 ppm	81,25	96,87	96,53
100 ppm	87,5	89,06	97,92
200 ppm	79,17	96,87	97,92

Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan ekmeklik buğday tohumlarında çimlenme oranı indeksi (%/gün) en düşük olan ortam kontrol iken en yüksek olan ortam 25 ppm'dir. 4 saatlik imbibisyon yapılan tohumlar için diğer konsantrasyonlarda çimlenme oranı indeksi kontrolden yüksek bulunmuştur (Tablo 4).

ZnO-NP ile 8 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan tohumlarda kontrole göre çimlenme oranı indeksi en düşük olan ortam 25 ppm iken en yüksek olan ortam 50 ppm ve 200 ppm'dir (Tablo 4). 25 ppm hariç diğer ortamlarda çimlenme oranı indeksi kontrolden yüksek bulunmuştur.

ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan tohumlarda çimlenme oranı indeksi en düşük olan ortam kontrol iken en yüksek olan ortam 10 ppm'dir (Tablo 4). ZnO-NP ile priming yapılan bütün ortamlarda çimlenme oranı indeksi kontrolden yüksek bulunmuştur.

Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 4 saat, 8 saat ve 18 saat priming uygulaması yapılan ekmeklik buğday tohumlarında üç farklı imbibisyon süresi için en yüksek çimlenme oranı indeksi 18 saat priming sonucunda elde edilmiştir.

Yapılan ön çalışma sonucunda bütün değerlendirme kriterleri için en iyi sonucun 18 saate ait olduğu görülmüş ve çalışmanın devamı bütün bitki materyalleri için ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması ve 48 saat kurutma şeklinde devam etmiştir. Ekmeklik buğday, siyez ve kavılcaya ait çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve çimlenme oranı indeksi verileri sırasıyla Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 5: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan siyez (*Triticum monococcum* L.) tohumlarına ait çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve çimlenme oranı indeksi değerleri

ZnO-NP Konsantrasyonları	Çimlenme yüzdesi (%)	Ortalama çimlenme süresi (gün)	Çimlenme oranı indeksi (%/gün)
Kontrol	100	100	100
5 ppm	95,83	1,07	92,71
10 ppm	93,75	1,02	92,71
25 ppm	95,83	1,04	93,75
50 ppm	100	1,12	95,84
100 ppm	100	1,08	95,84
200 ppm	97,92	1,08	93,75

Tablo 6: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan kavılca (*Triticum dicoccum* S.) tohumlarına ait çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve çimlenme oranı indeksi değerleri

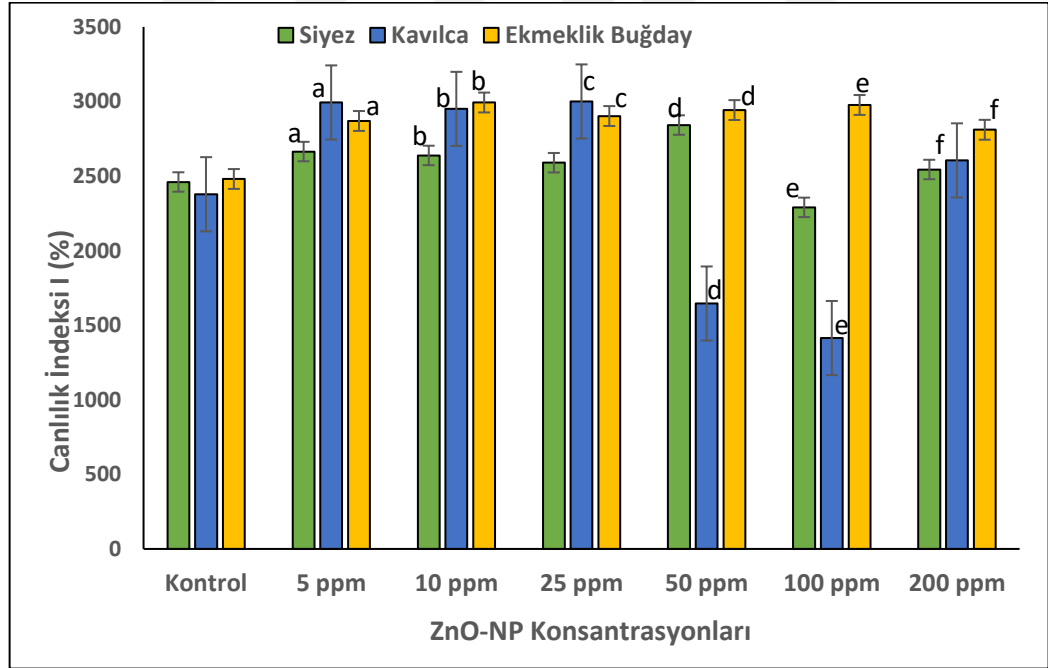
ZnO-NP Konsantrasyonları	Çimlenme yüzdesi (%)	Ortalama çimlenme süresi (gün)	Çimlenme oranı indeksi (%/gün)
Kontrol	93,75	1,13	87,5
5 ppm	100	1,02	98,96
10 ppm	100	1,02	98,96
25 ppm	100	1,06	97,6
50 ppm	87,5	1,02	80,21
100 ppm	89,58	1,28	79,86
200 ppm	91,67	1,11	86,46

Tablo 7: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile 18 saat priming uygulaması yapıp 48 saat kurutulan ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumlarına ait çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve çimlenme oranı indeksi değerleri

ZnO-NP Konsantrasyonları	Çimlenme yüzdesi (%)	Ortalama çimlenme süresi (gün)	Çimlenme oranı indeksi (%/gün)
Kontrol	95,83	1,04	94,44
5 ppm	95,83	1	95,83
10 ppm	100	1,04	98,61
25 ppm	97,92	1,02	96,87
50 ppm	97,92	1,04	96,53
100 ppm	100	1,04	97,92
200 ppm	97,92	1	97,92

4.2. CANLILIK İNDEKSİ

Kontrol, 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP ile priming uygulamasının siyez, kavılca ve ekmeklik buğdayda canlılık indeksi üzerine etkisi aşağıda yer alan grafiklerde gösterilmiştir.



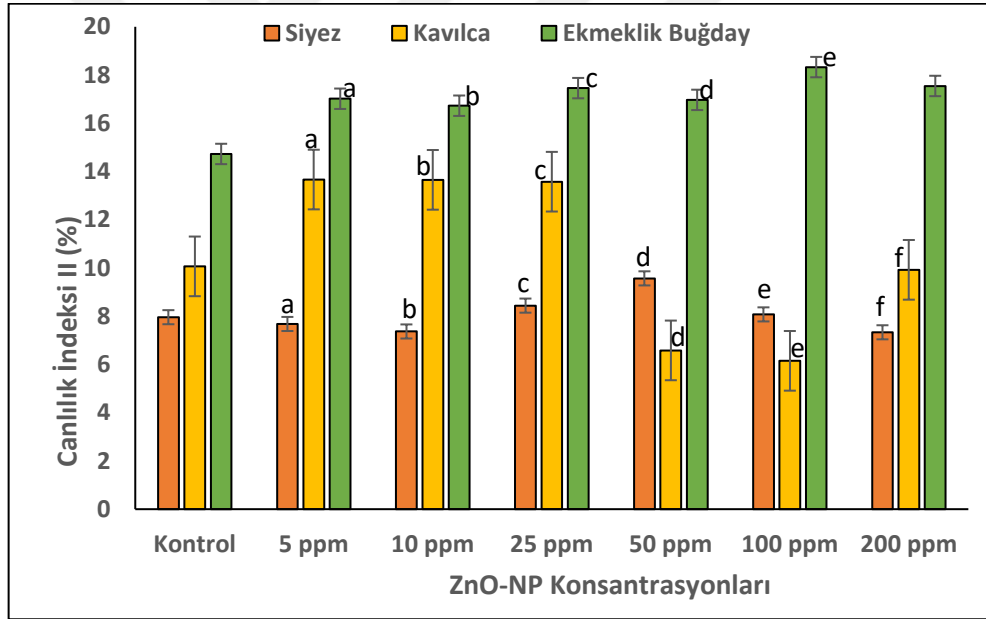
Şekil 12: Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarının canlılık indeksi I yüzdeleri (%). Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Artan konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması siyez buğdayında canlılık indeksi I değerlerini kontrole göre arttırmıştır. En düşük değere sahip 100 ppm ZnO-NP

konsantrasyonda %6 oranında azalış olduğu, en yüksek değere sahip 50 ppm'de %15 artış olduğu tespit edilmiştir.

Kavılca buğdayında canlılık indeksi I değerleri 50 ppm ve 100 ppm ZnO-NP konsantrasyonuna sahip ortamlarda kontrole oranla azalırken diğer ortamlarda artış göstermiştir. En düşük değere sahip 100 ppm'de kontrole göre %40 oranında azalış olduğu bulunmuştur. En yüksek canlılık indeksi I değeri 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonuna sahip ortamda tespit edilmiştir ve kontrole göre %26 artış olduğu bulunmuştur.

Ekmeklik buğday tohumlarında bütün ZnO-NP konsantrasyonları için canlılık indeksi I değerleri kontrole göre artmıştır. En yüksek değere sahip 10 ppm konsantrasyonda kontrole oranla %20 oranında artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 13: Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarının canlılık indeksi II yüzdeleri (%). Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Siyez buğdayında 5 ppm, 10 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında canlılık indeksi II değerlerinin kontrole göre düştüğü, diğer ortamlarda ise artış gösterdiği belirlenmiştir. En düşük değere sahip 200 ppm'de %7 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir. En yüksek canlılık indeksi II değerine sahip 50 ppm konsantrasyonda kontrole oranla %20 artış olduğu tespit edilmiştir.

Kavılca buğdayına ait verilere bakıldığında canlılık indeksi II değerlerinin 50 ppm konsantrasyona kadar artış gösterdiği, 50 ppm'den sonra ise düştüğü tespit edilmiştir. En yüksek canlılık indeksi II değerine sahip olan 5 ppm konsantrasyonda kontrole göre %35 oranında artış olduğu bulunmuştur. 100 ppm'de ise kontrole göre %38 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir.

ZnO-NP ile priming uygulaması ekmeklik buğdayda canlılık indeksi II değerlerini kontrole göre arttırmıştır. En yüksek değere sahip olan 100 ppm'de kontrole kıyasla %24 oranında artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13).

4.3. KLOROFİL İÇERİĞİ

Kontrol ve 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonları ile priming uygulaması yapıldıktan sonra ekimi gerçekleştirilen siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fideleri 7. günde hasat edilmiştir. 7 günlük fidelerin gövdelerindeki klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 8: Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid miktarları. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

SİYEZ				
ZnO-NP Konsantrasyonları	Klorofil a	Klorofil b	Total klorofil	Karotenoid
Kontrol	28,71 ± 0,93	9,74 ± 0,50	38,45 ± 13,41	7,94 ± 0,23
5 ppm	30,57 ± 1,05	10,05 ± 0,44	40,62 ± 14,51	8,20 ± 0,27
10 ppm	37,47 ± 1,31 b	12,59 ± 0,61 b	50,06 ± 17,59 b	10,10 ± 0,40 b
25 ppm	23,12 ± 0,44 c	8,04 ± 0,14 c	31,17 ± 10,66 c	5,72 ± 0,10 c
50 ppm	38,85 ± 1,85 d	13,55 ± 0,78 d	52,40 ± 17,89 d	10,71 ± 0,59 d
100 ppm	30,08 ± 1,08	10,04 ± 0,36	40,12 ± 14,16	8,42 ± 0,34
200 ppm	25,09 ± 0,30 f	8,36 ± 0,15 f	33,45 ± 11,82 f	6,09 ± 0,06 f

KAVILCA				
ZnO-NP Konsantrasyonları	Klorofil a	Klorofil b	Total klorofil	Karotenoid
Kontrol	13,53 ± 0,54	4,12 ± 0,20	17,64 ± 6,65	3,21 ± 0,12
5 ppm	16,59 ± 0,46 a	4,9 ± 0,18 a	21,49 ± 8,26 a	3,85 ± 0,14 a
10 ppm	25,32 ± 0,92 b	7,31 ± 0,37 b	32,63 ± 12,74 b	5,81 ± 0,24 b
25 ppm	17,24 ± 0,62 c	5,21 ± 0,22 c	36,7 ± 13,26 c	4,51 ± 0,15 c
50 ppm	21,61 ± 0,37 d	6,23 ± 0,05 d	27,84 ± 10,87 d	5,57 ± 0,07 d
100 ppm	15,4 ± 0,53 e	4,53 ± 0,17	19,94 ± 7,68	4,04 ± 0,22 e
200 ppm	18,78 ± 0,42 f	5,73 ± 0,16 f	24,51 ± 9,22 f	4,82 ± 0,12 f

EKMELİK BUĞDAY				
ZnO-NP Konsantrasyonları	Klorofil a	Klorofil b	Total klorofil	Karotenoid
Kontrol	25,5 ± 1,51	6,69 ± 0,56	32,19 ± 13,29	2,92 ± 0,13
5 ppm	29,28 ± 0,49 a	8,09 ± 0,30	37,37 ± 14,98 a	3,49 ± 0,03 a
10 ppm	35,38 ± 1,04 b	10,63 ± 0,53	46,01 ± 17,50 b	3,53 ± 0,53 b
25 ppm	29,6 ± 0,53 c	7,64 ± 0,23	37,24 ± 15,52 c	4,13 ± 0,23 c
50 ppm	31,83 ± 0,47 d	8,58 ± 0,26	40,42 ± 16,44 d	4,6 ± 0,26 d
100 ppm	43,8 ± 2,86 e	39,88 ± 7,00 e	83,68 ± 2,77 e	4,97 ± 7,00 e
200 ppm	31,96 ± 0,62 f	9,89 ± 0,24	41,85 ± 15,60 f	4,45 ± 0,24 f

Bulgulara göre, siyez buğdayında 25 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid miktarlarının kontrol grubuna göre düşük olduğu, diğer konsantrasyonlarda ise kontrolden yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid miktarlarının 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonda olduğu görülmüştür ve kontrole kıyasla sırasıyla %19, %17, %18 ve %27'lik düşüşler olduğu tespit edilmiştir. 50 ppm ZnO-NP konsantrasyonda ise maksimum değerler saptanmıştır ve kontrole göre sırasıyla %35, %39, %36 ve %34 oranında artışlar olduğu belirlenmiştir.

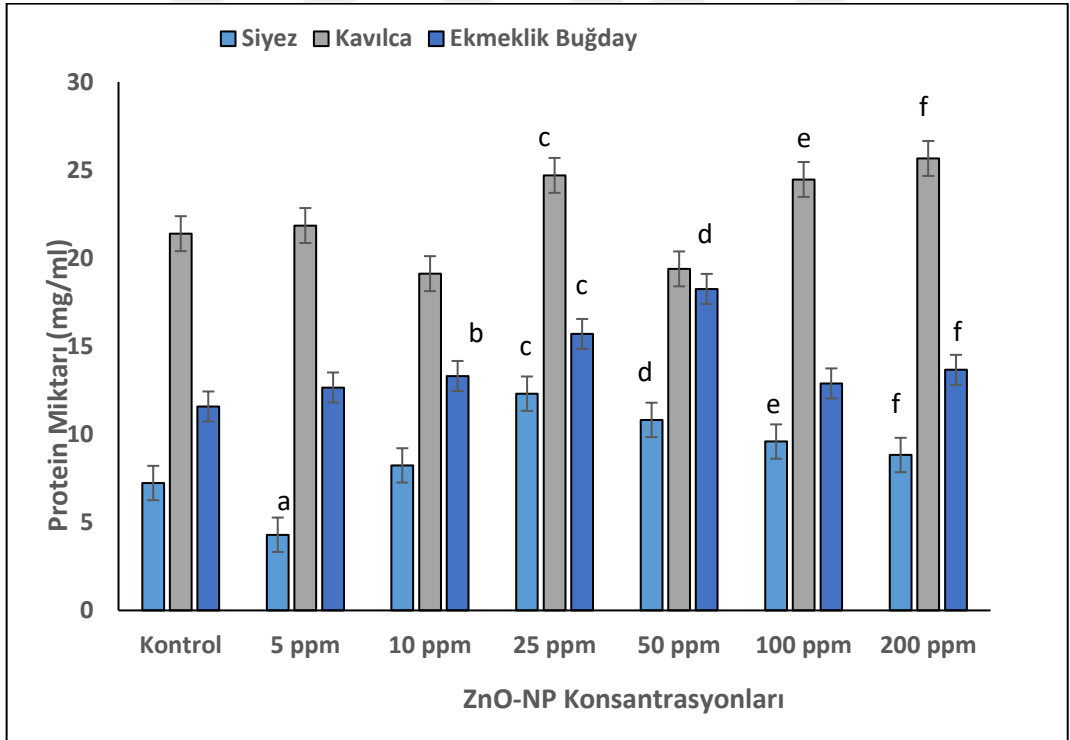
Kavılcada klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid miktarlarına bakıldığında bütün konsantrasyonlar için kontrolden yüksek değerler elde edilmiştir. En yüksek klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarının 10 ppm ZnO-NP konsantrasyonda olduğu görülmüş ve kontrole göre sırasıyla %87, %77 ve %80 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Maksimum total klorofil

miktarı ise 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonda tespit edilmiş ve kontrol grubuna kıyasla %108 oranında artış olduğu saptanmıştır.

Ekmeklik buğday verilerine göre bütün ZnO-NP konsantrasyonlarında klorofil a, klorofil b, total klorofil ve karotenoid miktarlarının kontrole göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek değerlerin 100 ppm ZnO-NP konsantrasyonda olduğu görülmüş ve kontrole göre sırasıyla %71, %496, %159 ve %70 oranlarında artış olduğu belirlenmiştir (Tablo 8).

4.4. TOTAL ÇÖZÜNEBİLİR PROTEİN İÇERİĞİ

Kontrol ve 5, 10, 25, 50, 100, 200 ppm ZnO-NP priming uygulamasından sonra ekilen ve 7. günde hasat edilen siyez, kavlca ve ekmeklik buğday fidelerinin kök ve gövdelerinin total protein içerikleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

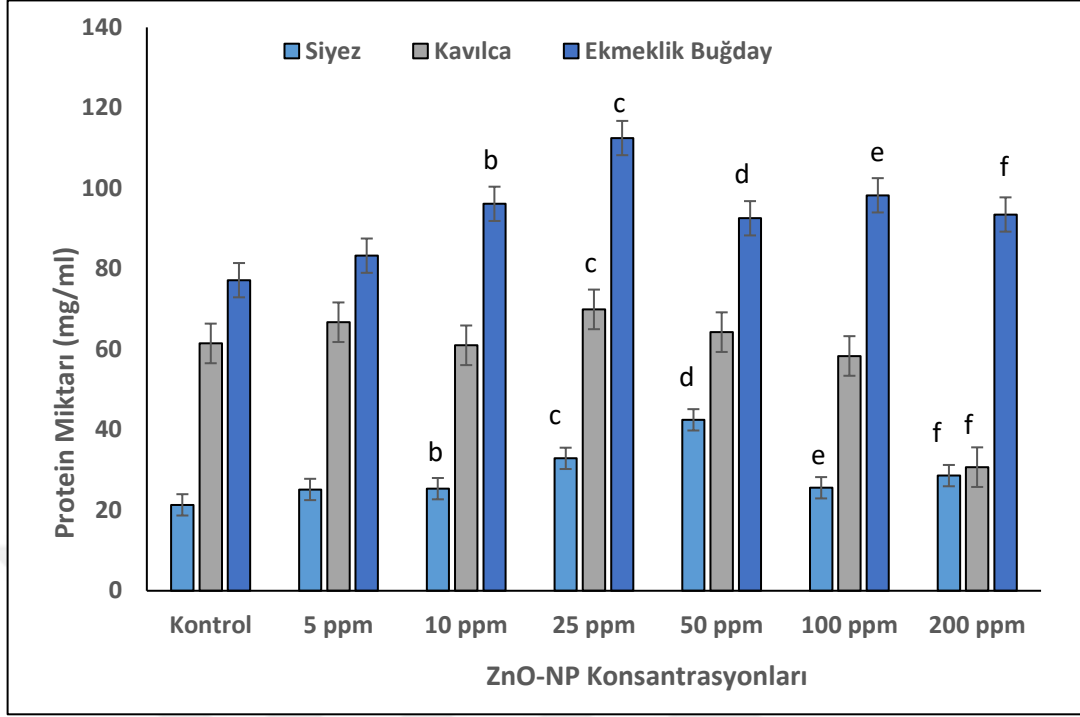


Şekil 14: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavlca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki total protein miktarı. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Siyez buğdayı fidelerinin köklerindeki protein miktarına bakıldığında, 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda kontrole kıyasla düşüş olmasıyla birlikte diğer serilerde artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek total protein içeriğinin 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu ve bu oranın %70 olduğu belirlenmiştir. En düşük protein miktarına sahip olan 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda kontrole kıyasla %40 oranında düşüş olduğu saptanmıştır.

Kavılca fidelelerinin köklerindeki total protein miktarında 10 ppm ve 50 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrol grubuna göre düşüş olduğu, diğer konsantrasyonlarda ise artış olduğu belirlenmiştir. En düşük protein içeriğinin 10 ppm'de olduğu belirlenmiştir. Bu düşüşün kontrol grubuna göre %10 oranında olduğu tespit edilmiştir. Maksimum protein içeriğine sahip 200 ppm konsantrasyonunda kontrole kıyasla %19 oranında artış olduğu gözlenmiştir.

Kontrol ve ZnO-NP uygulaması yapılan 7 günlük ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki protein miktarına bakıldığında kontrol grubuna kıyasla ZnO-NP uygulamasının yapıldığı tüm konsantrasyonlarda köklerdeki protein miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Verilere göre 50 ppm ZnO-NP uygulamasının yapıldığı bitkilerin köklerinde en yüksek protein içeriği tespit edilmiştir. Bu artışın kontrol grubuna göre %57 oranında olduğu belirlenmiştir (Şekil 14).



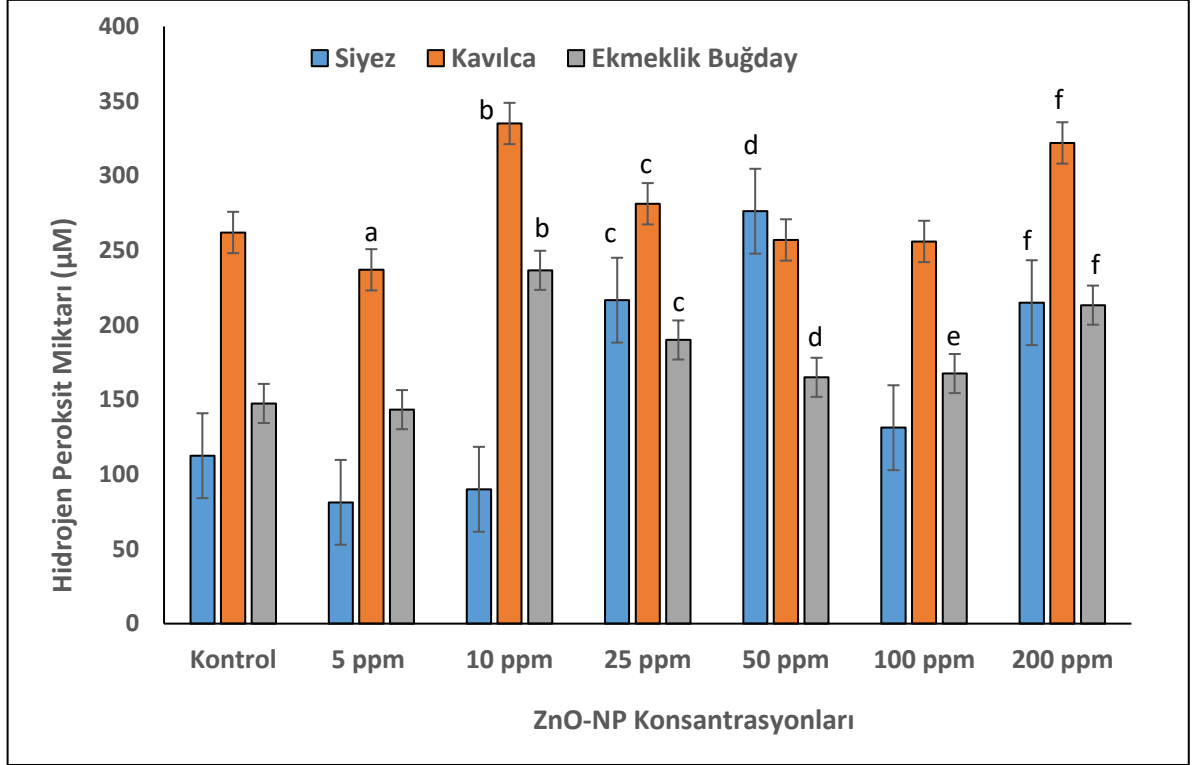
Şekil 15: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki total protein miktarı. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

7 günlük fidelerin gövdelerindeki protein miktarına bakıldığında siyez ve ekmeklik buğdayda bütün ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrole göre artış olduğu görülmektedir. En yüksek total protein miktarlarının siyezde ise 50 ppm konsantrasyonda, ekmeklik buğdayda 25 ppm'de olduğu saptanmıştır. Kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %44 ve %45 oranında artış olduğu bulunmuştur.

Bulgular incelendiğinde, kavılca buğdayında 10 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrol grubuna göre bir düşüş gözlemlenmiştir. Diğer konsantrasyonlarda ise protein miktarında artış olduğu belirlenmiştir. 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda en düşük protein içeriği tespit edilmiştir. Bu düşüşün kontrol grubuna göre %50 oranında olduğu belirlenmiştir. 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda en yüksek protein içeriği gözlemlenmiştir. Bu artışın kontrol grubuna göre %13 oranında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 15).

4.5. HİDROJEN PEROKSİT (H₂O₂) MİKTARI

Kontrol ve 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonları ile priming uygulaması yapıldıktan sonra ekimi gerçekleştirilen siyez, kavrıca ve ekmeklik buğday fideleri 7. günde hasat edilmiştir. 7 günlük fidelerin kök ve gövdelerindeki hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarı ile ilgili bulgular aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

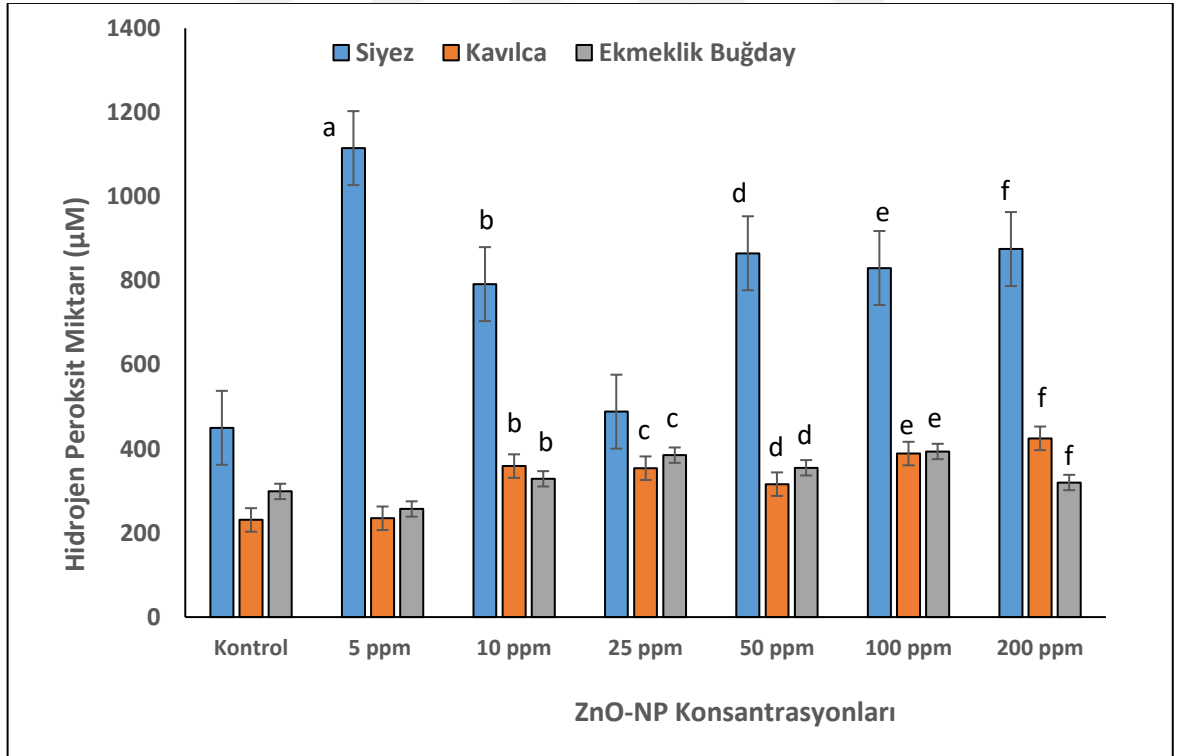


Şekil 16: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavrıca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarı. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Elde edilen bulgulara göre, siyez buğdayında 5 ppm ve 10 ppm ZnO-NP ile priming yapılan bitkilerde köklerdeki H₂O₂ miktarının kontrol bitkilerine kıyasla düşük olduğu, diğer konsantrasyonlarda ise H₂O₂ miktarının arttığı görülmüştür. Maksimum H₂O₂ miktarının 50 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiş ve kontrol grubu ile kıyaslandığında %145 oranında artış olduğu belirlenmiştir. En düşük H₂O₂ miktarı 5 ppm ZnO-NP ile priming yapılan fidelerin köklerinde tespit edilmiş ve kontrole oranla %27'lik bir düşüş olduğu belirlenmiştir.

Kavılca buğdayı köklerindeki H_2O_2 miktarının 5 ppm, 50 ppm ve 100 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrol grubuna göre düşük olduğu belirlenirken diğer konsantrasyonlarda artış gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek değerin 10 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu görülmüş ve kontrole göre %27 oranında artış olduğu saptanmıştır. Kavılca fidelerinin köklerindeki en düşük H_2O_2 miktarının 5 ppm’de olduğu tespit edilmiş ve kontrole göre %9 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir.

5 ppm ZnO-NP ile priming yapılan ekmeklik buğday fideleri dışında, diğer tüm konsantrasyonların köklerindeki H_2O_2 miktarının kontrol bitkilerine kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. 10 ppm ZnO-NP konsantrasyondaki bitkilerin köklerindeki H_2O_2 miktarının kontrole göre %60 artmış olduğu saptanmıştır. En düşük H_2O_2 miktarının 5 ppm’de olduğu tespit edilmiş ve kontrol grubu ile kıyaslandığında %2 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir (Şekil 16).



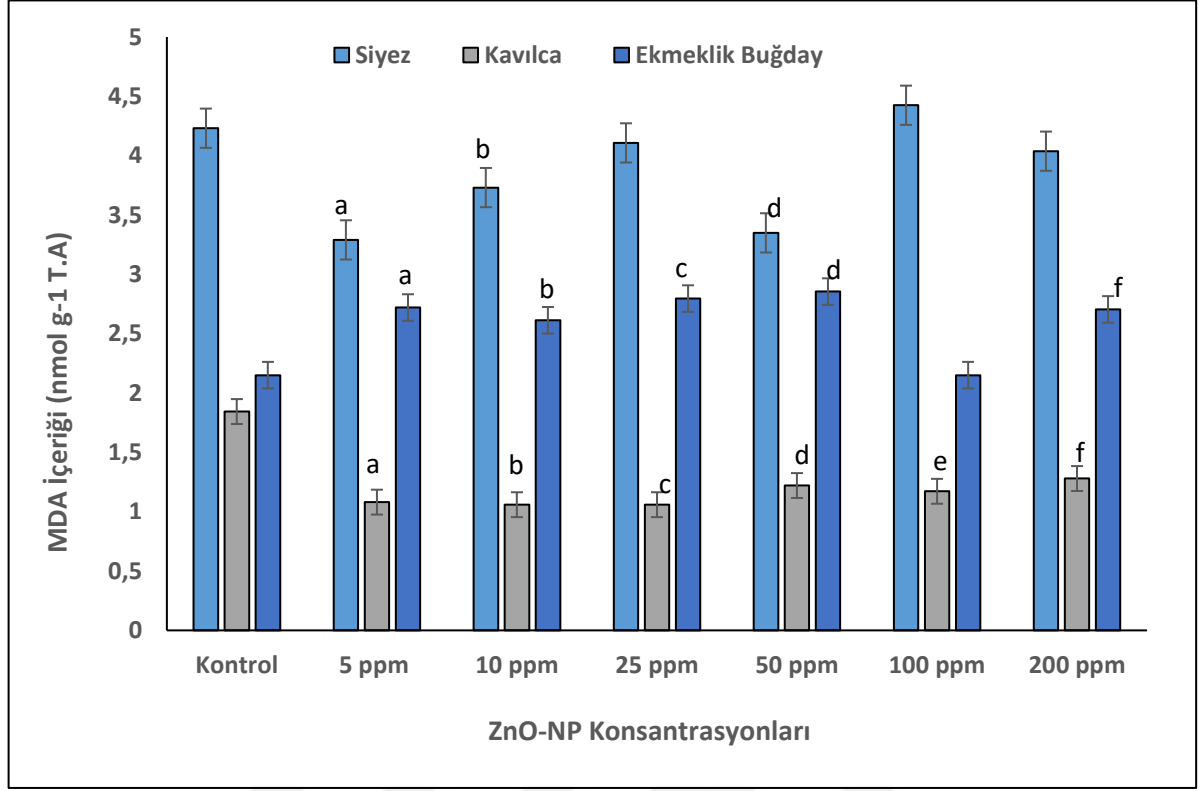
Şekil 17: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarı. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Siyez buğdayı ve kavılca buğdayı fidelerinin gövdelerindeki H_2O_2 miktarı kontrol grubundan yüksek bulunmuştur. En yüksek miktar sırasıyla 5 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında tespit edilmiş ve kontrole kıyasla %147 ve %83 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

Bulgulara göre, ekmeklik buğdayda 5 ppm ZnO-NP grubu gövdelerindeki H_2O_2 miktarı diğer serilere göre düşük bulunmuştur. Kontrol grubu fideleri ile kıyaslandığında %13 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir. En yüksek H_2O_2 miktarı 100 ppm ZnO-NP ile priming yapılan buğday fidelerinde tespit edilmiş ve kontrol grubuna oranla %31 artış olduğu saptanmıştır (Şekil 17).

4.6. MALONDİALDEHİT (MDA) İÇERİĞİ

Kontrol ve 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonları ile priming uygulaması yapıldıktan sonra ekimi gerçekleştirilen siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fideleri 7. günde hasat edilmiştir. 7 günlük fidelerin kök ve gövdelerindeki malondialdehit (MDA) içeriği ile ilgili veriler aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

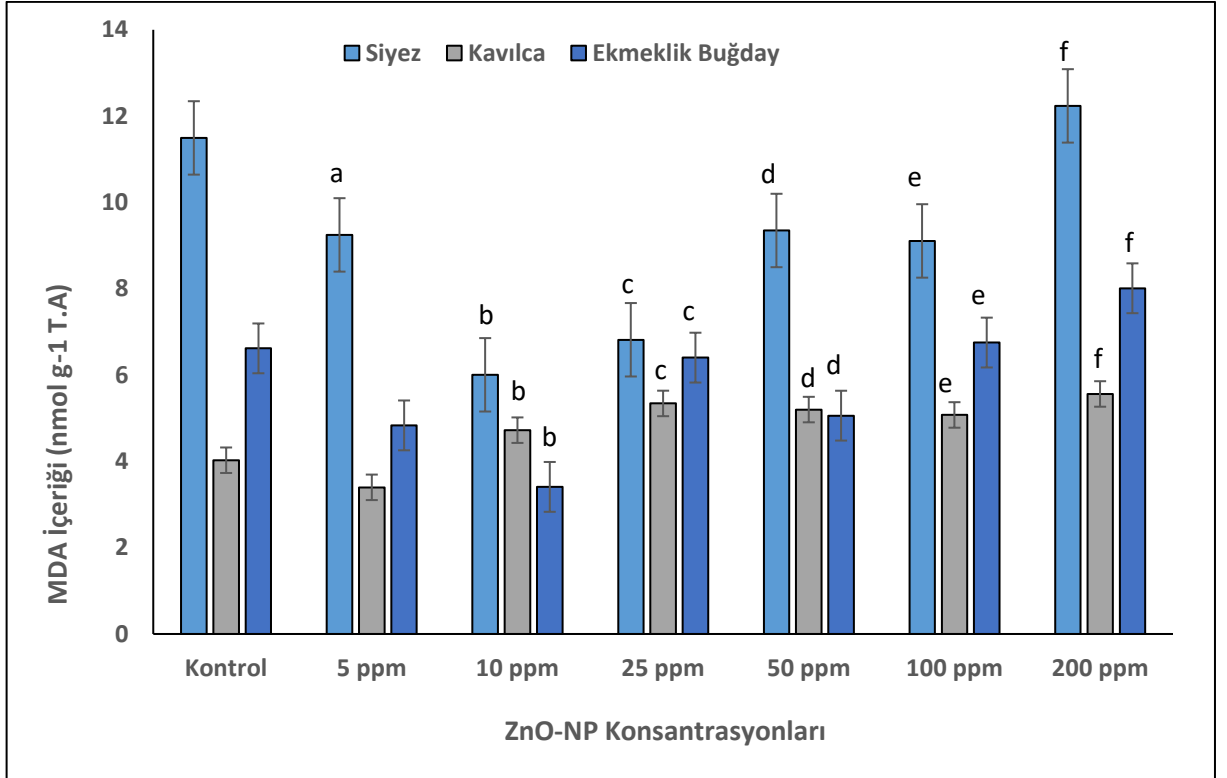


Şekil 18: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki malondialdehit (MDA) içeriği. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Kontrol ve farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming yapılan 7 günlük siyez fidelerinin köklerindeki MDA içeriğine bakıldığında en yüksek değerin 100 ppm konsantrasyonda olduğu, diğer konsantrasyonlarda kontrol grubuna oranla düşüş olduğu belirlenmiştir. En düşük MDA içeriğinin 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiş ve kontrol grubu ile kıyaslandığında %22 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Maksimum MDA içeriği 100 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda belirlenmiş ve kontrole oranla %4 artış olduğu saptanmıştır.

Kavılca buğdayı verilerine bakıldığında bütün konsantrasyonlarda MDA içeriğinin kontrol grubu bitkilerine kıyasla düşük olduğu görülmüştür. En düşük MDA içeriğine sahip 10 ppm ve 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında köklerdeki MDA içeriği kontrole göre %42 oranında düşmüştür.

Ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki MDA içeriğine bakıldığında 100 ppm'in kontrol ile eşit olduğu, diğer konsantrasyonlarda ise kontrole göre artış olduğu görülmektedir. En yüksek MDA içeriğinin görüldüğü 50 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda kontrol grubuna oranla %32'lik artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 18).



Şekil 19:Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki malondialdehit (MDA) içeriği. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Fidelerin gövdelerindeki MDA içeriğine bakıldığında siyez buğdayında sadece 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda MDA içeriği kontrolden yüksek bulunmuştur. Kontrol grubu bitkilerine kıyasla %6 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Diğer konsantrasyonlarda MDA içeriği kontrolden daha düşüktür. Minimum değere sahip 10 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda kontrole oranla %47 düşüş olduğu saptanmıştır.

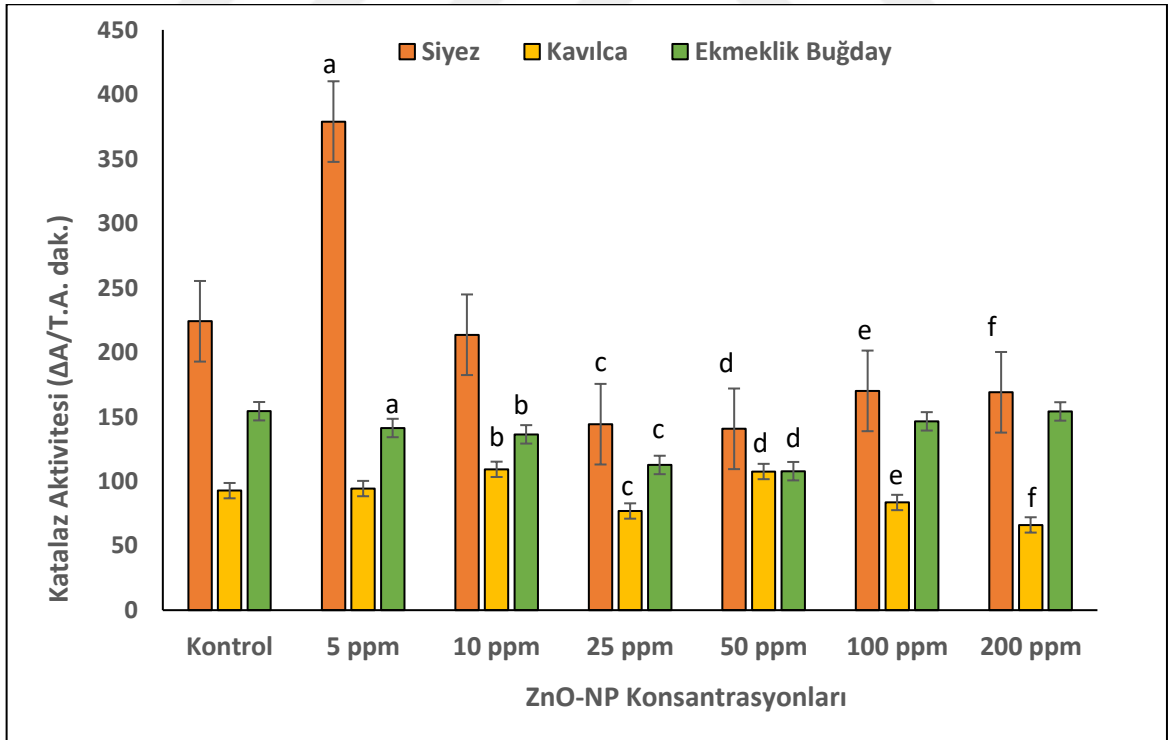
Kavılca buğdayı verilerine göre sadece 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda gövdedeki MDA içeriği kontrolden düşük bulunurken diğer konsantrasyonlarda kontrole göre artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek MDA içeriğine sahip 200 ppm'de kontrole göre %38'lik bir artış olduğu

görülmüştür. En düşük değerin 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu belirlenmiş ve kontrole göre %15 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Ekmeklik buğdayda 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında MDA içeriği kontrol grubuna göre yüksek bulunurken diğer konsantrasyonların kontrolden düşük olduğu görülmüştür. En yüksek değere sahip 200 ppm’de kontrole göre %21 oranında artış olduğu belirlenmiştir. En düşük MDA içeriği 10 ppm konsantrasyonda tespit edilmiş ve kontrole kıyasla %48 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir (Şekil 19).

4.7. KATALAZ (CAT) AKTİVİTESİ

Kontrol ve 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonları ile priming uygulaması yapıldıktan sonra ekimi gerçekleştirilen siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fideleri 7. günde hasat edilmiştir. 7 günlük fidelerin kök ve gövdelerindeki katalaz (CAT) enzimi aktiviteleri ile ilgili veriler aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

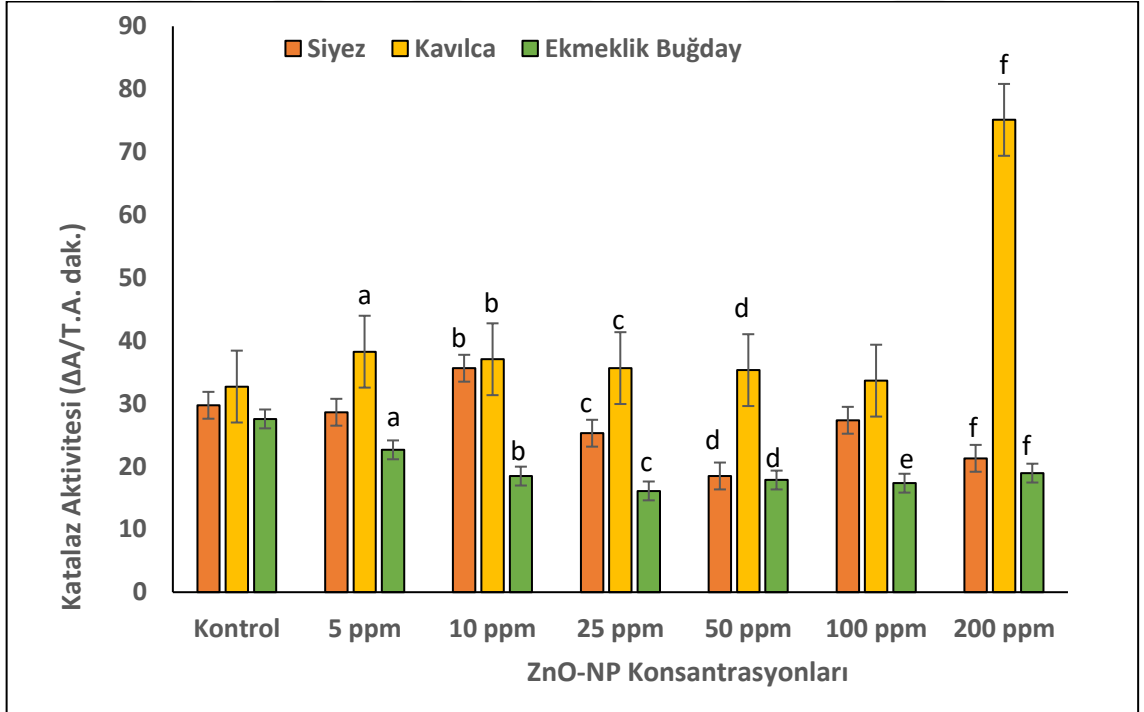


Şekil 20: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki katalaz enzim aktivitesi. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Kontrol ve artan konsantrasyonlardaki ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez buğdayı fidelerinin köklerindeki enzim aktivitesine bakıldığında en yüksek değerin 5 ppm’de olduğu görülmüştür. 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda kontrole göre %69’luk bir artış olurken 50 ppm konsantrasyonda %37 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Kavılca buğdayı verilerine göre 25 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında katalaz aktivitesi kontrole kıyasla düşerken diğer konsantrasyonlarda artış olduğu görülmüştür. 10 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda maksimum değere ulaşan CAT aktivitesinin %17’lik bir artış sergilediği belirlenmiştir. Kavılca köklerindeki en düşük CAT aktivitesi 200 ppm ZnO-NP uygulamasında belirlenmiş ve kontrole göre %28 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki katalaz enzim aktivitesine bakıldığında bütün konsantrasyonlarda aktivitenin kontrole oranla düştüğü görülmektedir. En düşük katalaz enzim aktivitesinin 50 ppm’de olduğu tespit edilmiş ve kontrole göre %30 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir (Şekil 20).



Şekil 21:Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki katalaz enzim aktivitesi. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

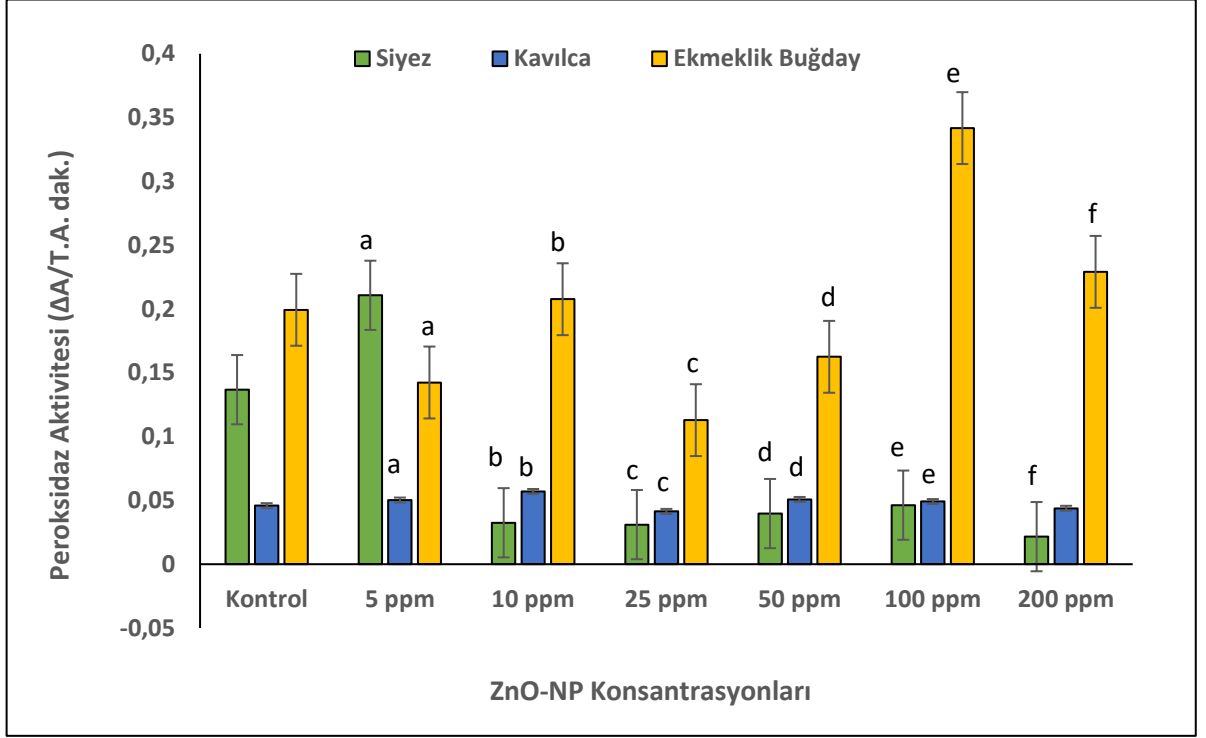
Elde edilen verilere göre, siyezde 5 ppm hariç diğer bütün konsantrasyonlarda CAT aktivitesinin kontrole göre düştüğü tespit edilmiştir. 5 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda maksimum değere ulaşan CAT aktivitesinin %69'luk bir artış sergilediği belirlenmiştir. En düşük enzim aktivitesinin 50 ppm'de olduğu tespit edilmiş ve kontrol grubu bitkilerine göre %37 oranında azalış olduğu saptanmıştır.

Kavılcada bütün ZnO-NP konsantrasyonlarında gövdedeki CAT aktivitesi kontrole göre artış göstermiştir. %129 oranında artışla maksimum enzim aktivitesinin 200 ppm'de olduğu belirlenmiştir.

Ekmeklik buğdayda bütün ZnO-NP konsantrasyonlarında gövdedeki CAT aktivitesinin kontrol bitkilerine kıyasla düşük olduğu görülmüştür. 50 ppm ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan bitkilerin gövdelerindeki enzim aktivitesinin kontrole göre %30 oranında düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 21).

4.8. PEROKSİDAZ (POD) AKTİVİTESİ

Kontrol ve 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonları ile priming uygulaması yapıldıktan sonra ekimi gerçekleştirilen siyez, kavlca ve ekmeklik buğday fideleri 7. günde hasat edilmiştir. 7 günlük fidelerin kök ve gövdelerindeki peroksidaz (POD) enzimi aktiviteleri ile ilgili veriler aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



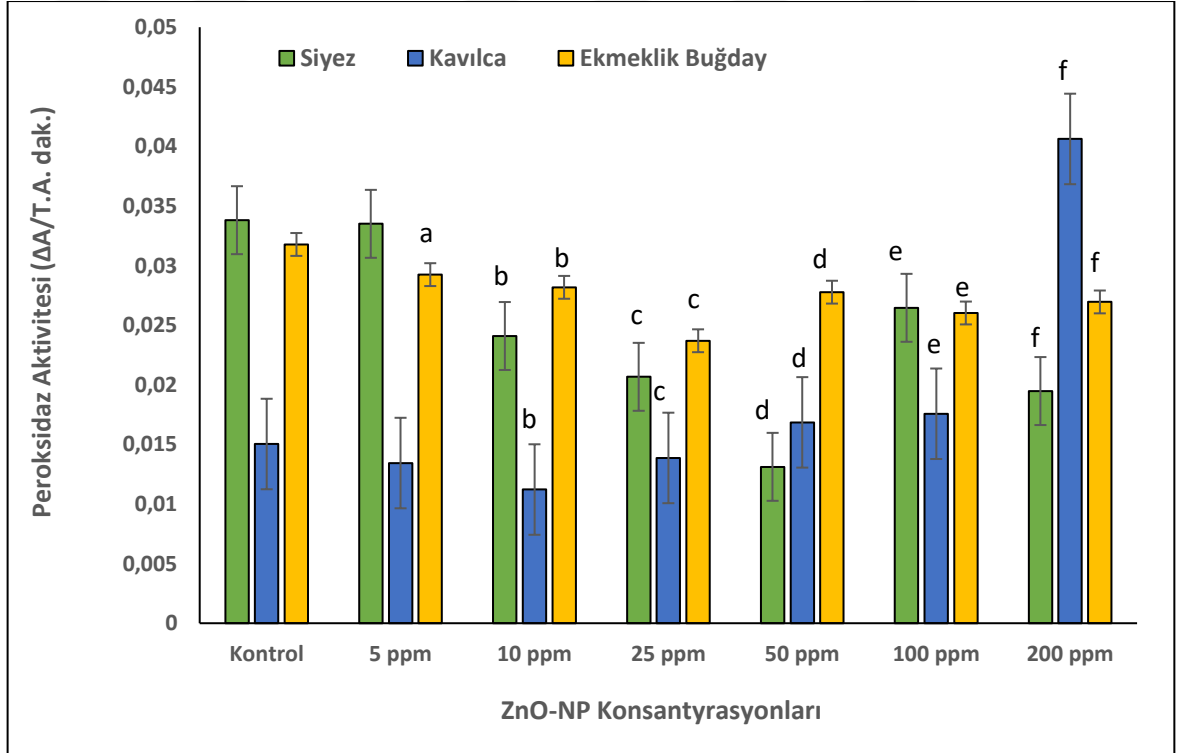
Şekil 22: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavlca ve ekmeklik buğday fidelerinin köklerindeki peroksidaz enzim aktivitesi. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Elde edilen bulgulara göre, siyezde 5 ppm ZnO-NP dışındaki diğer konsantrasyonlarda köklerdeki POD aktivitesinin kontrol grubu bitkilerine göre düşük olduğu görülmüştür. 5 ppm ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan fidelerde maksimum değere ulaşan POD aktivitesinin %54'lük bir artış gösterdiği belirlenmiştir. En düşük POD aktivitesinin 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiş ve kontrole göre %84 oranında bir düşüş görülmüştür.

Kavlca buğdayı köklerindeki POD aktivitesi 25 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrole göre düşüş gösterirken, diğer konsantrasyonlarda aktivite kontrolden daha yüksek bulunmuştur. Maksimum POD aktivitesine sahip 10 ppm ZnO-NP

konsantrasyonunda kontrole oranla %24 artış olduğu tespit edilmiştir. En düşük aktivitenin 25 ppm’de olduğu belirlenmiş ve kontrol grubuna oranla %9 düşüş olduğu saptanmıştır.

Ekmeklik buğdayda 5 ppm, 25 ppm ve 50 ppm ZnO-NP konsantrasyonları ile priming yapılan bitkiler hariç, diğer tüm konsantrasyonlarda köklerdeki POD aktivitesinin kontrol grubuna kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. En düşük aktivitenin 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiş ve kontrol grubu ile kıyaslandığında %43 oranında bir azalma olduğu belirlenmiştir. 100 ppm ZnO-NP ile priming yapılan bitkilerin köklerindeki POD aktivitesinin kontrole göre %71 oranında artmış olduğu saptanmıştır (Şekil 22).



Şekil 23: Farklı konsantrasyonlara sahip ZnO-NP ile priming uygulaması yapılan 7 günlük siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki peroksidaz aktivitesi. Farklı harfler, kontrol ve ZnO-NP konsantrasyonlarından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları temsil eder.

Bulgulara göre, siyez ve ekmeklik buğday fidelerinin gövdelerindeki peroksidaz aktivitesi bütün ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrolden düşük bulunmuştur. Siyez ve ekmeklik buğday için en düşük enzim aktivitesi sırasıyla 50 ppm ve 25 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında tespit edilmiş ve kontrole göre %61 ve %25 oranlarında düşüş olduğu kaydedilmiştir.

Kavılca verilerine göre gövdedeki peroksidaz enzim aktivitesi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrolden yüksek iken diğer konsantrasyonlarda düşüş olduğu saptanmıştır. En yüksek değerin 200 ppm konsantrasyonda olduğu ve kontrole göre %170 oranında ani bir artış olduğu belirlenmiştir. Minimum enzim aktivitesi 10 ppm’de tespit edilmiş ve %25 oranında düşüş olduğu kaydedilmiştir (Şekil 17).

|



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Mevcut iklim senaryosunda, hızla büyüyen küresel nüfusun beslenme ihtiyaçlarını karşılamak, tarım üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak ve üretimi artırmak için yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda nanoteknoloji, gıda güvenliği sağlayarak ve esnek tarım sistemlerinde reform yapma potansiyeli sunarak agroteknolojik devrime önemli bir katkı sağlamaktadır. Nanoparçacıklar, modern tarım uygulamalarına yeni bir boyut kazandıracak önemli materyal kaynakları olarak öne çıkmaktadır.

Nano boyutlu pestisitler, herbisitler, mantar öldürücüler, gübreler ve sensörler dahil olmak üzere çeşitli nanoparçacık bazlı formülasyonlar, bitki sağlığı yönetimi ve toprak iyileştirme için geniş çapta araştırılmaktadır. Bu bağlamda, metal oksit nanopartiküller arasında çinko oksit nanopartikülleri (ZnO NP'ler), düşük maliyetli, güvenli ve toksik olmayan malzemeler olarak öne çıkmaktadır. ZnO nanopartikülleri, ilaç dağıtımı, tarım ve gıda endüstrisi gibi büyük endüstriyel sektörlerde yenilikler sağlamaktadır.

Çinko minerali, bitki beslenmesi için gerekli elementlerden biridir. Bu nedenle, gübrelerde kullanılan Zn-NP'ler, tarım sektörünün hem nicelik hem de nitelik olarak daha verimli hale gelmesini sağlamaktadır (Elshayb vd., 2021). Yapılan birçok çalışmada ZnO nanopartiküllerinin, çimlenme, tohum gelişimi, bitki büyüme ve gelişimi, bitki biyokütlesi, kök ve sürgün gelişimi, kök-sürgün taze ve kuru ağırlığı, kök-sürgün uzunluğu, klorofil ve protein sentezi ile rizosferdeki mikrobiyal popülasyonu artırdığı gösterilmiştir (do Espirito Santo Pereira vd., 2021; Li vd., 2021; Siddiqui vd., 2015).

ZnO nanopartikül ile yapılan priming uygulaması, tohumlarda su alımını artırmakta ve bu da çimlenmeyi ve fide gelişimini hızlandırmaktadır (Sharma vd., 2021). ZnO-NP, tohumlardaki α -amilaz aktivitesini artırarak nişasta hidrolizini teşvik eder, bu da tohum çimlenmesi ve fide oluşumunu hızlandırır (Li vd., 2021; Rawashdeh vd., 2020; Sharma vd., 2021). Nanopartikül uygulaması ayrıca tohumlardaki toplam protein seviyesini artırarak çimlenme sırasındaki metabolik olayları gerçekleştiren enzimlerin sentezlendiğini gösterir (Rawashdeh vd., 2020). ZnO-NP uygulanan tohumlarda antioksidan enzim seviyeleri artarak strese karşı dayanıklılık sağlanmaktadır (Sharma vd., 2021).

Bitki doku kültüründe, besiyeri ortamına eklenen ZnO nanopartiküller somatik embriyogenezi, sürgün oluşumunu ve rejenerasyonu teşvik etmektedir. ZnO-NP ile priming yapılan tohumlarda mineral besin olan çinkonun miktarının arttığı gözlenmiştir. Diğer nanopartiküllerde olduğu gibi ZnO nanopartikülün etkinliği de konsantrasyona ve bitki türüne bağlıdır. Örneğin, yapılan bir çalışmada düşük dozda ZnO nanopartikülün soğanda çimlenmeyi teşvik ederken, yüksek dozda engellediği gösterilmiştir (Sharma vd., 2021; Siddiqui vd., 2015).

Buğday, dünya nüfusunun %50'sinden fazlası için temel gıda maddesi olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz için ekonomik öneminin yanı sıra buğday, toplumsal, kültürel, tarihi ve arkeolojik değer taşımaktadır. Anadolu'da yaklaşık 10 bin yıldır tarımı yapılan buğdayın yabani akrabalarından ilk olarak kavuzlu formları, daha sonra da çıplak taneli formları kültüre alınmıştır. Modern tarım öncesinde, heksaploid ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) çeşitleri yaygınlaşmadan önce Anadolu'da; siyez (kavlıca, einkorn – *Triticum monococcum*) ve kavılca (gernik, çatal kaplıca, çatal siyez – *Triticum dicoccom*) ata tohumlarının tarımı yapılmaktaydı (Cabi, 2016). Son yıllarda, gıda güvenliği ve sağlıklı besin içeriği konularının önem kazanmasıyla birlikte, atalık buğday tohumlarının tarımı ve ürün olarak tüketilmesi popüler hale gelmiştir. Genetik kaynaklarımız arasında yer alan atalık buğday tohumları, ekmeklik buğday tohumlarına göre verimi daha az olmakla birlikte, stres faktörlerine karşı daha dayanıklıdır (Demir, 2020)

Geçmişten günümüze giderek önem kazanan buğday üretiminde, aşırı kimyasal gübre ve pestisit kullanımlarını azaltacak sürdürülebilir tarım uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, nanoteknoloji, nano-pestisitler ve nano-gübreler gibi tarım uygulamalarında kullanılarak bitki büyüme ve veriminde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, yapılan çalışmalar nanopartiküllerin bitkilerde pozitif veya negatif etkilerinin olabileceğini, bu durumun da nanopartikülün konsantrasyonuna, büyüklüğüne ve sentez yöntemine göre değişebileceğini göstermektedir (Goswami vd., 2019). Bitki beslenmesinde nano boyutlu metallerin küçük boyutları, geniş yüzey alanı ve yavaş salınma oranları, bitki verimliliğini artırmada etkili olmaktadır (Siddiqui vd., 2015)

Tohum priming tekniği, çimlenme öncesi metabolik süreci aktif hale getirerek, çimlenme sürecini daha verimli hale getirmektedir. Hidro-priming, osmopriming ve hormon-priming gibi yaygın olarak kullanılan priming solüsyonlarının yanı sıra, metal-bazlı (Ag-NP, Zn-NP, Fe-NP) ve karbon-bazlı nanopartiküller de priming solüsyonu olarak tohum ön işlemlerinde

kullanılmaktadır (Liv vd., 2021). Metal nanopartiküllerin priming solüsyonu olarak kullanıldığı birçok çalışmada, metal nanopartiküller ile priming yapılmış tohumlarda abiyotik streslere karşı oluşan tepkiler araştırılmıştır (Hussain vd., 2018; El-Sharkawy vd., 2022). Ancak, nanopriming uygulanan tohumların çimlenme ve büyüme fizyolojisi üzerine etkilerini belirleyen çalışma sayısı oldukça azdır.

Bitki beslenmesinde mikro besin olan çinko, 300'den fazla enzimin ve proteinin bileşeni olarak metabolizmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu mikro besin, fotosentez, protein sentezi, antioksidan aktivite ve biyolojik zarların yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünün korunması gibi birçok biyokimyasal ve fizyolojik süreçte gereklidir. Metal oksit nanopartikülleri arasında, çinko oksit (ZnO) nanopartikülü, fotokatalitik ve foto oksitleme kapasitesinden dolayı birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir.

ZnO nanopartikülü ile priming işlemi uygulanan tohumlarda çinko içeriği artmış, bu da fide büyümesini ve verimini artırmıştır (Goswami vd., 2019). Rai-Kalal ve Jajoo (2021), ticari olarak kimyasal yöntemle sentezlenmiş 20-30 nm büyüklüğünde ZnO nanopartiküllerini kullanarak, buğday tohumlarına ZnO-NP ile priming uygulamışlar ve çimlenme ile büyümede fotosentez veriminin olumlu yönde etkilendiğini bulmuşlardır. Meher ve diğ. (2020) ise *Catharanthus roseus* yapraklarından hazırlanan ekstraktı kullanarak sentezledikleri ZnO-NP'nin, buğday tohumlarında çimlenme üzerine etkisini belirlemiş ve kök ile gövde büyümesini %50 oranında teşvik ettiğini gözlemlemişlerdir. Singh ve diğ. (2019), buğday tohumlarını 10 dakika distile su içinde beklettikten sonra, yeşil sentez yöntemi ile sentezlenen 15, 62, 125, 250 ve 500 mg/L ZnO-NP ortamında çimlendirmişler ve 62 mg/L konsantrasyonunda kök ile gövde uzunluğunda kontrole göre artış bulmuşlardır. Alsuwayyid ve diğ. (2022) ise buğday tohumlarına kimyasal yöntemle sentezlenmiş yüksek konsantrasyonda ZnO-NP (2500, 5000, 7500, 10,000, 15,000 ppm) uygulayarak tüm konsantrasyonlarda çimlenme ve büyüme parametrelerinde azalma tespit etmişlerdir. Srivastav ve diğ. (2021), çalışmalarında ticari olarak temin edilen ZnO-NP'yi (Sigma-Aldrich) buğday ve mısır tohumlarına 50, 100, 150 ve 200 mg/L konsantrasyonlarında 21 gün süreyle uygulamışlar ve artan konsantrasyonlarda toksik etki gözlemlemişlerdir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda nanopartiküllerin tohum çimlenmesi üzerine etkisi çoğunlukla morfolojik olarak gösterilmiş olup, fizyolojik etkileri sınırlı sayıda çalışmada belirlenmiştir. Literatür özetinde belirtildiği gibi, çinko nanopartikülünün heksaploid genoma

sahip ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*, $6n=42$) tohumlarının çimlenmesi üzerine morfolojik çalışmaları bulunmaktadır. Ancak, bu tez çalışmasının konusu olan ZnO-NP'nin siyez ve kavılca tohumlarının çimlenme fizyolojileri üzerine yapılmış çalışma literatürde bulunamamıştır.

Bu çalışmada, son yıllarda tarım üretiminde ve gıda tüketiminde önemli bir yer tutan atalık buğday tohumlarından diploid genoma sahip siyez (*Triticum monococcum*, $2n=14$) ve tetraploid genoma sahip kavılca (*Triticum dicoccum*, $4n=28$) kullanılmıştır. Çalışmada, farklı konsantrasyonlarda çinko nanopartikülü ile priming uygulanan ekmeklik buğday, siyez ve kavılca tohumlarının çimlenme ve erken fide gelişimindeki farklılıklar ortaya konarak, ZnO-NP'nin priming ajanı olarak verimli bir şekilde kullanımına yönelik etkisi araştırılmıştır. ZnO-NP'nin 0, 5, 10, 25, 50, 100 ve 200 ppm olarak uygulanması ile konsantrasyona bağlı etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Son yıllarda çevre dostu ürünlerden biri olan biyogenik metal nanopartiküllerin bitki verimini artırmaya yönelik çalışmalarda kullanılması önem kazanmaktadır. Bu kapsamda, bu çalışma ile nano-priming yöntemi uygulanan ZnO-NP'nin ekmeklik buğday, siyez ve kavılca tohumlarında çimlenme ve büyümeyi artırması, ekim öncesi tohum verimini desteklemeye yönelik çözümlere katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Farklı konsantrasyonlarda çinko nanopartikülü ile 4, 8 ve 18 saat priming işlemine tabi tutulan ekmeklik buğday tohumlarında çimlenme yüzdesi, çimlenme oranı indeksi ve ortalama çimlenme süresi değerlendirilmiş ve uygun priming süresi ile ZnO-NP konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, 18 saatlik priming işlemi kontrole göre bütün ZnO-NP konsantrasyonlarında çimlenme yüzdesi ve çimlenme oranı indeksinde artış olduğu ve çimlenme süresinin de kısaldığı tespit edilmiştir (Tablo 2, 3, 4). Rai-Kalal ve Jajoo (2021), buğday tohumlarını 10 mg/L ticari olarak satın alınan ZnO-NP ile 18 saat boyunca priming işlemine tabi tutarak, buğday tohumlarında çimlenme, büyüme ve fotosentez etkinliğinin arttığını bulmuşlardır. Bu nedenle, çalışmamızda siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarına 0, 5, 10, 25, 50, 100 ve 200 ppm ZnO-NP ile 18 saat priming işlemi uygulanmıştır. Siyez ve kavılcada da 18 saatlik ZnO-NP uygulaması ile genel olarak çimlenme yüzdesi ve çimlenme oranının iyileştiği, çimlenme süresinin kısaldığı tespit edilmiştir (Tablo 5, 6). Elde edilen verilere göre, ZnO-NP ile priming uygulamasının siyez, kavılca ve ekmeklik buğdayda çimlenme fizyolojisine olumlu etki yaptığı görülmüştür.

Domates (*Solanum lycopersicum*) tohumlarına ZnO-NP uygulaması yapılan bir çalışmada, priming uygulanan tohumların kontrol grubuyla karşılaştırıldığında çimlenme parametrelerinde gelişme olduğu ve yüksek çimlenme yüzdesi gösterdiği tespit edilmiştir (Włodarczyk ve Smolińska, 2022). Pandya ve arkadaşlarının (2024) inci darısı (*Pennisetum glaucum* L.) üzerine yaptıkları çalışmada ise ZnO-NP'nin laboratuvar koşullarında çimlenmeyi %20'ye kadar arttırdığı ve sera denemelerinde priming uygulanan tohumların daha iyi tarımsal özellikler sergilediği gözlenmiştir (Pandya ve ark., 2024). Elde edilen sonuçlar, bu araştırmacıların bulguları ile uyumlu olup, ZnO-NP'nin çeşitli bitki türlerinde çimlenmeyi artırıcı etkisine işaret etmektedir.

Canlılık indeksi I ve II, tohumun çimlenme kalitesini ve verimliliğini belirlemek için kök-gövde uzunluğu ve kuru ağırlık verilerinin ölçülmesiyle hesaplanan önemli bir parametredir. Siyez tohumlarında, canlılık indeksi I, artan ZnO-NP konsantrasyonları ile artış göstermiş ve en etkili konsantrasyonun 50 ppm olduğu belirlenmiştir. Ancak, kavılca tohumlarında 5-25 ppm ZnO-NP konsantrasyonları canlılık indeksi-I değerlerini artırırken, 50 ve 100 ppm konsantrasyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Diğer bir varyete olan ekmeklik buğdayda ise tüm konsantrasyonlar için canlılık indeksi-I değerlerinde artış görülmüştür (Şekil 12). ZnO-NP ile priming uygulanan siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarında canlılık indeksi farklı konsantrasyonlarda artmış göstermiştir.

Farklı ZnO-NP konsantrasyonlarının siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarının gövde büyümesi üzerine etkisi canlılık indeksi II ile değerlendirilmiştir. Siyez tohumlarında 25, 50 ve 100 ppm ZnO-NP ile yapılan priming işlemi gövde büyümesini teşvik ederken, kavılca tohumlarında 5, 10 ve 25 ppm konsantrasyonlarının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ekmeklik buğday tohumlarında ise tüm ZnO-NP konsantrasyonlarının canlılık indeksi II üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13). Siyez, kavılca ve ekmeklik buğday tohumlarının canlılık indeksi üzerine ZnO-NP'nin farklı konsantrasyonlarda etkili olmasının, tohumların yapısında bulunan çinko içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. ZnO-NP'nin kök ve gövde uzunluğunu teşvik etmesi, çinkonun endojen bitki hormonlarından oksin ve giberellin sentezinde kritik bir rol oynamasıyla açıklanabilir (Çakmak, 2008; Prasad ve ark., 2012). Ayrıca, çinkonun karbonhidrat ve protein metabolizmasında önemli bir bileşen olması, ZnO-NP ile priming işleminin çimlenmeyi desteklemesiyle uyumlu bir şekilde değerlendirilebilir (Broadley ve ark., 2007).

Bulgularımıza paralel olarak Abbas ve diğ.'nin 2023 yılında yaptığı çalışmada buğday tohumlarının ZnO-NP ile priming yapılmasının hem sürgün hem de kök uzunluğunu arttırdığı gösterilmiştir. Zeytin ağaçları eksplantları ile yapılan başka bir çalışmada 6 ve 18 mg/L konsantrasyonlarındaki ZnO NP'lerin sürgün sayısı, taze ağırlık ve toplam kuru ağırlık gibi büyüme parametrelerini iyileştirdiğini gösterilmiştir (Regni ve diğ., 2022). Awasthi ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptıkları çalışmada, ZnO-NP'nin etkisini hidroponik ortamda yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisi üzerinde test etmişlerdir. 50 mg/L konsantrasyon da ZnO NP'nin tohum çimlenmesi, kök sayısı, bitki biyokütlesi ve genel kök, filiz ve sürgün büyümesi üzerinde olumlu etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Bitkilerde fotosentetik pigment içeriğindeki değişim, büyüme ve çevresel değişikliklere yanıtta önemli bir parametre olarak kabul edilir. Biyojenik ZnO-NP ile yapılan priming uygulaması, konsantrasyona bağlı olarak siyez, kavılca ve buğday fidelerinde fotosentetik pigment içeriğini artırmıştır. Çimlenme sonrası 7 gün boyunca yetiştirilen siyez fidelerinde 50 ppm, kavılca fidelerinde 25 ppm ve ekmeklik buğday fidelerinde 100 ppm çinko nanopartikül uygulaması, klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil pigment içeriğini kontrol grubuna göre artırmıştır. (Tablo 8). Çinkonun enzimlerin sülfidril (--SH) gruplarına bağlanarak klorofil biyosentezini etkileyebildiği düşünülmektedir. Çinkonun --SH grupları ile bağ yaparak enzim ve protein yapısını tiol oksidasyonu ve disülfid oluşumundan koruduğu ileri sürülmektedir. Bu korumayı üç farklı yolla yapabileceği düşünülmektedir; doğrudan --SH grubuna bağlanarak, --SH grubuna yakın bir yerde konumlanarak ya da enzimlerin, membran proteinlerinin ve lipidlerin yapısında değişiklikler yaparak. Çalışmamızda klorofil miktarının kontrol grubunun üzerinde olması ZnO-NP'nin klorofil yapısının korunmasında ve klorofil biyosentezinde rol oynamasıyla açıklanabilir (Barış, 2012; Kösesakal, 2005).

Karotenoidler, 600'den fazla çeşide sahip olup, fotosentetik pigmentler olmanın yanı sıra, aktif olarak antioksidan savunma sisteminde de görev almaktadır. Bu moleküller hem bitkilere renk vermektedir hem de hidroksil, süperoksit ve singlet oksijen radikallerini hücrelerden süpürmektedir. Ayrıca, peroksil ve alkoksil radikalleri ile tepkimeye girerek lipid peroksidasyonunun zincir reaksiyonlarını azaltmaktadır (Gökçe, 2019). Tez çalışmamızda karotenoid analizi de klorofil içeriği ile benzer sonuçlar vermiştir. Siyez fidelerinde 50 ppm, kavılca fidelerinde 25 ppm, ekmeklik buğday fidelerinde 100 ppm çinko nanopartikül priming işlemi karotenoid biyosentezini yüksek oranda teşvik etmiştir (Tablo 8). Çalışmamıza benzer

şekilde Srivastav ve diğ.'nin (2021) yapmış olduğu çalışmada artan ZnO-NP konsantrasyonlarında mısır (*Zea mays* L.) ve buğdayda klorofil a, klorofil b ve total klorofil miktarının arttığı, maksimum değerlerin ise 200 ppm'de elde edildiği tespit edilmiştir. Her iki bitkide de Zn konsantrasyonu arttıkça klorofile benzer şekilde karotenoid miktarının da arttığı belirlenmiştir. Çinko birikimi bitkilerde klorofil ve karotenoid sentezini pozitif yönde etkileyerek fotosentetik verimliliğin artmasını sağlamıştır. Karbonik anhidraz enzimi kloroplastlarda CO₂'nin bikarbonata dönüşümünde rol oynamaktadır. Çinko, karbonik anhidraz enziminin aktivitesi için önemli bir elementtir (Srivastav ve diğ., 2021). Yapılan başka bir çalışmada hardal bitkilerinde (*Brassica juncea*) ZnO-NP uygulaması klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriğini önemli ölçüde arttırmıştır. 200 mg/L ZnO NP konsantrasyonunda kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %51, %46 ve %56 oranlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir (Geremew ve diğ., 2023).

Reaktif oksijen türleri (ROS) kloroplast, mitakondri ve peroksisom gibi farklı hücresel bölümlerde meydana gelen metabolik yolların yan ürünleri olarak üretilmektedir. Normal koşullarda, bu moleküller antioksidan savunma sistemi tarafından denge içinde tutulur. Ancak, bitki hücrelerinde stres koşullarında ROS'ların hızla arttığı bilinmektedir. ROS'ların aşırı birikimi oksidatif hasara neden olabilir, bu da hücre membranlarında lipid peroksidasyonuna ve membran sızıntısına yol açabilir. Lipid peroksidasyonunun bir metabolik ürünü olan malondialdehit (MDA), membran lipid peroksidasyonunun önemli bir göstergesidir. MDA, çoklu doymamış yağ asitlerinin peroksidasyonu ile üretilen üç karbonlu bir yan üründür ve oldukça reaktif özelliklere sahiptir.

Bitkiler, kendilerini oksidatif stresin zararlı etkilerinden korumak için çeşitli mekanizmalar geliştirmiştir. Bu mekanizmalar arasında ilk savunma hattını peroksidaz ve katalaz enzimlerini içeren antioksidan enzim sistemleri oluşturur. Bu tez çalışmasında, biyojenik çinko nanopartikülünün siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin kök ve gövdelerindeki stres etkisi, H₂O₂ ve MDA içeriği ile antioksidan enzimlerde peroksidaz ve katalaz enzim aktivitesi tayin edilerek belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda ZnO-NP uygulaması, siyez kök dokusunda 25 ve 50 ppm, kavılca kök dokusunda 10-200 ppm ve ekmeklik buğday kök dokusunda ise 25-200 ppm uygulamalarında H₂O₂ miktarını artırmıştır (Şekil 16). Bununla birlikte, MDA içeriği siyez ve kavılca kök dokularında ZnO-NP uygulamasıyla azalmıştır.

Ekmeklik buğday kök dokusunda ise çinko nanopartikül uygulaması kontrole göre MDA içeriğini az miktarda artırmıştır (Şekil 18).

Reaktif oksijen türleri, stres koşullarında üretilmelerinin yanı sıra, bitki büyüme ve gelişmesinde birçok sürecin düzenleyicisi olarak bilinmektedir (Waszczak ve diğ., 2018). Özellikle apoplastik ROT üretimi, polen tüpü büyümesi ile kök ve kök tüyü büyümesi gibi polar büyüme mekanizmalarında gözlenmiştir (Waszczak ve diğ., 2018). Biyojenik ZnO-NP uygulamaları siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin büyümesini teşvik ettiği konsantrasyon aralıklarında (10-50 ppm) katalaz ve peroksidaz antioksidan enzim aktivitelerini kontrol grubuna göre azaltmıştır (Şekil 20, 22). Elde edilen veriler, biyojenik çinko nanopartikülünün siyez, kavılca ve ekmeklik buğday köklerinde stres etkisi oluşturmadığı sonucuna varılmasını sağlamıştır. ZnO-NP uygulamaları, H₂O₂ miktarını siyez, kavılca ve ekmeklik buğday gövde dokusunda kök dokusuna benzer şekilde kontrol grubuna göre artırmıştır (Şekil 17). MDA içeriği ise ZnO-NP'nin etkili konsantrasyonlarında kontrol grubu altında bulunmuştur (Şekil 19). Katalaz ve peroksidaz enzim aktivitesi, siyez, kavılca ve ekmeklik buğday gövde dokusunda büyümenin teşvik olduğu düşük ZnO-NP konsantrasyonlarında kontrol grubuna göre azalmıştır (Şekil 22, 23). Siyez, kavılca ve ekmeklik buğday fidelerinin kök ve gövde dokularında ZnO-NP'nin düşük konsantrasyonlarının stres etkisi oluşturmadığı bulunmuştur.

Elde ettiğimiz verilere benzer şekilde, Carbone ve diğ.'nin (2023) yapmış olduğu çalışmada *Vicia faba* L. tohumlarına uygulanan inülin kaplı ZnO-NP'lerin MDA seviyesini düşürüp H₂O₂ seviyesini arttırarak fidelerde büyümeyi desteklediğini göstermişlerdir.

Başka bir çalışmada, ZnO-NP'lerin MDA ve H₂O₂ içeriğini azaltarak ve katalaz ve peroksidaz enzim aktivitesini düşürerek mısır bitkilerinde kadmiyumun fitotoksik etkilerini iyileştirdiğini göstermiştir. Çalışmada ZnO-NP'lerin bitkilerde lipid peroksidasyonunu azalttığı ve oksidatif stres yönetimini iyileştirdiği gösterilmiştir (Hussain ve diğ., 2024).

Bu tez çalışmasının sonuçları incelendiğinde, yeşil sentez yöntemiyle üretilen 15-18 nm büyüklüğündeki biyojenik çinko nanopartiküllerinin siyez, kavılca ve ekmeklik buğdayda bir dizi önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu etkiler arasında çimlenme, tohum gelişimi, bitki büyüme ve gelişimi, biyokütle artışı, kök ve sürgün gelişimi, klorofil ve protein sentezi gibi temel fizyolojik süreçlerde artış sağlanması yer alırken, aynı zamanda lipid

peroksidasyonunu azaltma ve oksidatif stresin yönetimini iyileştirme gibi koruyucu mekanizmaları harekete geçirdiği gözlemlenmiştir. Ancak, nanomateriyallerin bitki besini veya nanogbre olarak kullanımında, nanopartiküllerin etkisinin partikül boyutu, şekli, konsantrasyonu, uygulama süresi ve bitki türü gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır. Bu faktörler, nanopartiküllerin bitkiler üzerindeki etki mekanizmalarını belirlemede önemli bir rol oynar ve dikkate alınmalıdır. Bu alışma, nanoteknolojinin tarımsal uygulamalarında yeni bir potansiyel sunarken, aynı zamanda bu teknolojinin etkilerini daha iyi anlamak için daha fazla araştırmanın gerekliliğini vurgular.



KAYNAKLAR

- Armendariz, V. ve diğerleri, 2004. HRTEM characterization of gold nanoparticles produced by wheat biomass. *REVISTA MEXICANA DE FÍSICA*, Cilt 50, pp. 7-11.
- Abbas, S. ve diğerleri, 2023. Seed nanoprimering with zinc oxide improves wheat growth and photosynthetic performance in wheat under drought stress. *Research Square*.
- Abou-Zeid, H. M., Ismail, G. S. M., Ahmed, S. & Abdel-Latif, 2021. Influence of seed priming with ZnO nanoparticles on the salt-induced damages in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, 44(5), pp. 629-643.
- Adhikary, S. ve diğerleri, 2022. Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific reports*, Cilt 12, p. 7103.
- Adil, M. ve diğerleri, 2022. Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, Cilt 13.
- Akpınar, I., 2021. *Gümüş nanopartiküllerin domateste Fusarium Oxysporum F.Sp. Radicis Lycopersici Jarvis & Shoemaker'a karşı etkilerinin araştırılması*. İstanbul: Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akter, N. & Islam, M. R., 2017. Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, Cilt 37, p. 37.
- Alsaiani, N. S. ve diğerleri, 2023. Plant and Microbial Approaches as Green Methods for the Synthesis of Nanomaterials: Synthesis, Applications, and Future Perspectives. *Molecules*, Cilt 28, p. 463.
- Alsawayid, A. A. ve diğerleri, 2022. Effect of zinc oxide nanoparticles on *Triticum aestivum* L. and bioaccumulation assessment using ICP-MS and SEM analysis. *Journal of King Saud University - Science*, 34(4).
- An, J. ve diğerleri, 2020. Emerging investigator series: molecular mechanisms of plant salinity stress tolerance improvement by seed priming with cerium oxide nanoparticles. *Environmental Science: Nano*, Cilt 7, pp. 2214-2228.
- Atak, M., 2017. Buğday ve Türkiye Buğday Köy Çeşitleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), pp. 71-88.
- Awasthi, A., Bansal, S., Jangir, L. K. & Awasthi, G., 2017. Effect of ZnO Nanoparticles on Germination of *Triticum aestivum* Seeds. *Macromolecular Symposia*, Cilt 376.
- Aydar, E. F., 2022. *Kars yöresine ait ata buğdayı kavılca ve modern ekmeklik buğdaydan hazırlanan un ve ekmeğin fonksiyonel özelliklerinin ve sağlık etkilerinin incelenmesi*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Aydın, N., 2009. *Domateste ((Lycopersicon esculentum Mill) tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine selenyumun etkisi*. İstanbul: Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Aziz, T., 2018. *Improving chilling tolerance by seed priming in chickpea (Cicer arietinum L.) during seed germination and early growth stages*. basım yeri bilinmiyor: PhD Thesis, Ondokuz Mayıs University Graduate School of Science.
- Bahadırılı, M., 2011. *Sera koşullarında çinko noksanlığına sahip bir toprakta farklı çinko düzeylerinde ve organik kaynakların buğdayın büyümesi üzerine etkisi*. Adana: Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balpınar Nalcı, Ö., 2017. *ZnO, CuO ve γ -Fe₃O₄ nanopartiküllerin yeşil sentezi ve buğday genotipleri üzerindeki etkilerinin doku kültüründe araştırılması*. Erzurum: Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Barış, Ç., 2012. *Nikel'in brokoli (Brassica oleracea var. italica) tohumlarının çimlenmesi ve büyümesi üzerine etkileri*. İstanbul: Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Barut, H., 2012. *Farklı doz ve zamanlarda uygulanan çinko ve azotun buğdayda tane çinko konsantrasyonu üzerine etkisi*. Adana: Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bergmeyer, H. U., 1970. *Methoden der Enzymatischen Analyse*. Verlag Chemie.
- Berk, S. & Akkurt, İ., 2012. Nanopartikül: Geleceğin korkulu rüyası. *Tuberk Toraks*, 60(2), pp. 180-184.
- Bharadwaj, K. K. ve diğerleri, 2021. Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Plant Extracts as Beneficial Prospect for Cancer Theranostics. *Molecules*, Cilt 26, p. 6389.
- Bilgiseven, I., 2019. *Nano TiO₂ partiküllerinin yüksek CO₂ içerikli sularda yaşayan japon balıkları (Carassius auratus) üzerindeki genotoksik ve sitotoksik etkilerinin değerlendirilmesi*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bouafia, A., Laouini, S. E. & Ouahrani, M. R., 2020. A Review on Green Synthesis of CuO Nanoparticles using Plant Extract and Evaluation of Antimicrobial Activity. *Asian J. Research Chem.*, 13(1), pp. 65-70.
- Bradford M., 1976. Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Aral. Biochem.*, Issue 72, pp. 248-254.
- Broadley, M. R. ve diğerleri, 2007. Zinc in plants. *New Phytol.*, Cilt 173, pp. 677-702.
- Buono, D. D. ve diğerleri, 2022. Synthesis of a Lignin/Zinc Oxide Hybrid Nanoparticles System and Its Application by Nano-Priming in Maize. *Nanomaterials*, Cilt 12, p. 568.
- Cabi, E., 2016. Türkiye'nin Buğday Atlası.
- Cembrowska-Lech, D. & Rybak, K., 2023. Nanopriming of Barley Seeds—A Shotgun Approach to Improve Germination under Salt Stress Conditions by Regulating of Reactive Oxygen Species. *Plants*, Cilt 12, p. 405.
- Chhipa, H., 2019. Chapter 6-Applications of nanotechnology in agriculture. *Methods in Microbiology*, Cilt 46, pp. 115-142.

- Çakmak, İ., 1996. Bitki ve insan sağlığına yansımaları ile toprakta çinko eksikliği. *Bilim ve Teknik*.
- Çakmak, İ., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. *Plant Soil*, Cilt 302, pp. 1-17.
- Çakmak, İ., 2018. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. *Plant and Soil*, Cilt 302, pp. 1-17.
- Çakmak, İ., Brown, P., Colmenero, J. & Husted, S., 2023. Chapter 7- Mikronutrients. *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, pp. 283-385.
- Çakmak, İ. ve diğerleri, 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-science for stability project. *Field Crops Research*, Cilt 60, pp. 175-188.
- Çetinkaya-Turkey, A. & Gülbaz, G., 2022. Physicochemical and microbiological properties of Kavılca Bulgur (A traditional cereal product of Turkey). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 34(11), pp. 931-937.
- Danza, A. ve diğerleri, 2014. Effect of Wholemeal Durum Wheat Varieties on Bread Quality. *Food and Nutrition Sciences*, Cilt 5, pp. 977-988.
- Demirel, F., 2013. *Kastamonu'dan toplanan diploid (T. monococcum) ve tetraploid (T. dicoccum) kavuzlu buğday köy çeşitlerinin moleküler ve morfolojik tanımlanması*. Kayseri: Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demir, H., 2020. *Kars yöresine ait kavılca (Triticum dicoccum Schrank) bitkisinin SSR yöntemi ile genotiplendirilmesi*. Kars: Doktora Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dhanavath, S. & Rao, U. P., 2017. Nutritional and Nutraceutical Properties of Triticum dicoccum Wheat and Its Health Benefits: An Overview. *Journal of Food Science*, 82(10).
- Elshayb, O. M., Farroh, K. Y., Amin, H. E. & Atta, A. M., 2021. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles: Fortification for Rice Grain Yield and Nutrients Uptake Enhancement. *Molecules*, 26(3), p. 584.
- Emeksizoglu, B., 2016. *Kastamonu yöresinde yetiştirilen siyez (Triticum monococcum L.) buğdayının bazı kalite özellikleri ile bazlama ve erişte yapımında kullanımının araştırılması*. Samsun: Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ereku, O. ve diğerleri, 2016. Bazı Ekmeklik Buğday (Triticum aestivum L.) Çeşitlerinin Kalite Potansiyelleri ve Beslenme Fizyolojisi Açısından Önemi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel sayı-1), pp. 31-36.
- Fiol, D. ve diğerleri, 2021. Nanotechnology in plants: recent advances and challenges. *Society of Chemical Industry (SCI)*, Cilt 96, pp. 2095-2108.
- Gardea-Torresdey, J. ve diğerleri, 2003. Alfalfa Sprouts: A Natural Source for the Synthesis of Silver Nanoparticles. *Langmuir*, Cilt 19, pp. 1357-1361.
- Geremew, A. ve diğerleri, 2023. Effect of zinc oxide nanoparticles synthesized from Carya illinoensis leaf extract on growth and antioxidant properties of mustard (Brassica juncea). *Frontiers in Plant Science*, Cilt 14.

- Glenn, J. B., White, S. A. & Klaine, S. J., 2012. Interactions of gold nanoparticles with freshwater aquatic macrophytes are size and species dependent. *Environ Toxicol Chem.*, 31(1), pp. 194-201.
- Goswami, P., Yadav, S. & Mathur, J., 2019. Positive and negative effects of nanoparticles on plants and their applications in agriculture. *Plant Science Today*, 6(2), pp. 232-242.
- Gökçe, Z. Z., 2019. *Gümüş nanopartiküllerinin domates ((Lycopersicon esculentum Mill.) tohumları üzerindeki fizyolojik ve biyokimyasal etkilerinin araştırılması*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gürmen, S. & Ebin, B., tarih yok Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1. *İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*.
- Hathout, R. M., 2022. Green synthesis of gold nanoparticles using plant products and plants extracts aiming for cancer therapy: helping the beauty to beat 'cure' the beast. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology An International Journal*, 50(1), pp. 275-277.
- Heath R. L., P. L., 1968. Photoperoxidation in Isolated Chloroplast. I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys*, Issue 125, pp. 189-198.
- Herzog & Fahimi, 1973. A colorimetric method for measurement of the (peroksidaz-mediated) oxidation of 3,3'-diaminobenzidine. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 21(5), pp. 499-503.
- Hidalgo, A. & Brandolini, A., 2014. Nutritional properties of einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.). *J Sci Food Agric*, Cilt 94, pp. 601-612.
- Huang, Y., Zhao, L. & Keller, A. A., 2017. Interactions, Transformations, and Bioavailability of Nano-Copper Exposed to Root Exudates. *Environ Sci Technol.*, 51(17), pp. 9774-9783.
- Hui, Z. ve diğerleri, 2019. Pepper plants response to metal nanoparticles and chitosan in nutrient media. *Australian Journal of Crop Science*, 13(03), pp. 433-443.
- Hu, P. ve diğerleri, 2020. Nanoparticle Charge and Size Control Foliar Delivery Efficiency to Plant Cells and Organelles. *ACS Nano*, 14(7), pp. 7970-7986.
- Hussain, A. ve diğerleri, 2018. Zinc oxide nanoparticles alter the wheat physiological response and reduce the cadmium uptake by plants. *Environmental Pollution*, Cilt 242, pp. 1518-1526.
- Hussain, I. ve diğerleri, 2016. Green synthesis of nanoparticles and its potential application. *Biotechnol Lett*, Cilt 38, pp. 545-560.
- Iqbal, N., Zain, M. & Deeba, F., 2021. Effect of Drought and Heat Stress on Physiological and Biochemical Characteristics of Wheat. *National Journal of Biological Sciences*, 2(1).
- Iravani, S., 2011. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, Cilt 13, p. 2638.
- İşler, N., tarih yok *Tohumun yapısı*. Hatay: Ders notları, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi.

- Ittroutwar, P. D. ve diğeri, 2020. Effects of biogenic zinc oxide nanoparticles on seed germination and seedling vigor of maize (*Zea mays*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Cilt 29.
- Jadoun, S., Arif, R., Jangid, N. K. & Meena, . R. K., 2021. Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, Cilt 19, p. 355–374.
- Jones, J. B., 1998. Chapter 1- Plant Nutrition Basics. %1 içinde *Plant Nutrition Manual*. basım yeri bilinmiyor:yazarı bilinmiyor, p. 149.
- Judy, J. D. ve diğeri, 2012. Bioavailability of gold nanomaterials to plants: importance of particle size and surface coating. *Environ Sci Technol.*, 46(15), p. 8467–8474.
- Kader, M., 2005. A Comparison of Seed Germination Calculation Formulae and the Associated Interpretation of Resulting Data. *Journal and Proceeding of the Royal Society of New South Wales*, Cilt 138, pp. 65-75.
- Kandhol, N. ve diğeri, 2022. Nano-priming: Impression on the beginner of plant life. *Plant Stress*, Cilt 5, p. 100091.
- Karakaya, F., 2021. Yeşil sentez yöntemiyle *Ruscus aculeatus L.* bitkisi kullanılarak gümüş nanopartiküllerin sentezi ve antibiyofilm, antimikrobiyal, antikanser aktivitelerinin incelenmesi. Bartın: Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kataria, S., Baghel, L. & Guruprasad, K. N., 2015. Acceleration of Germination and Early Growth Characteristic of Soybean and Maize after Pre-Treatment of Seeds with Static Magnetic Field. *National Academy of Agricultural Science*, 33(2).
- Kaya, Y., 2018. Buğdayın Kültüre Alınması, *Bilgi Notu 1 (19 Sayfa)*. Siirt: Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Khan, M. N. ve diğeri, 2023. Seed nanoprimering: How do nanomaterials improve seed tolerance to salinity and drought?. *Chemosphere*, Cilt 310, p. 136911.
- Koç, S., 2023. Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum L.*) çeşitlerinin verim ve kalite özellikleri bakımından performanslarının belirlenmesi. Bursa: Yüksek Lisans Tezi Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kondak, S., 2019. Magnezyum oksit (MgO) nanopartiküllerinin ve magnezyum sülfat ((MgSO₄))'ın buğday (*Triticum aestivum L.*) bitkisinin çimlenmesi üzerine etkisi. Iğdır: Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kösesakal, T., 2005. Domateste (*Lycopersicon esculentum Mill.*) tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine çinkonun etkisi. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kumar, P., 2020. Title: Role of Nanoscience in Agriculture. *Preprints*.
- Kurt, D., 2019. *Generatif Üretim/1. Tohumla Üretim*. basım yeri bilinmiyor:Tohumculuk ve Teknolojisi Ders Notları.
- Kutman, B. Y., 2013. *The essential and beneficial roles of nickel in growth of soybean and wheat plants*. İstanbul: PhD Thesis, Sabancı University Biological Sciences and Bioengineering.

- Larue, C. ve diğerleri, 2012. Accumulation, translocation and impact of TiO₂ nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* spp.): influence of diameter and crystal phase. *Sci Total Environ.*, Cilt 431, pp. 197-208.
- Ly, J., Christie, P. & Zhang, S., 2019. Uptake, translocation, and transformation of metal-based nanoparticles in plants: recent advances and methodological challenges. *Environmental Science Nano*, Cilt 6, pp. 41-59.
- Mahakham, W., Sarmah, A. K., S. M. & Theerakulpisut, P., 2017. Nanopriming technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific Reports*, Cilt 7, p. 8263.
- Ma, Y., 2005. Allelopathic studies of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Weed Biology and Management*, Cilt 5, pp. 93-104.
- Mazhar, M. W. ve diğerleri, 2022. Seed Priming with Iron Oxide Nanoparticles Raises Biomass Production and Agronomic Profile of Water-Stressed Flax Plants. *Agronomy*, Cilt 12, p. 982.
- Meher, B. B. ve diğerleri, 2020. Influence of Green Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles on Seed Germination and Seedling Growth in Wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), pp. 258-270.
- Miu, B. A. & Dinischiotu, A., 2022. New Green Approaches in Nanoparticles Synthesis: An Overview. *Molecules*, Cilt 27, p. 6472.
- Murtaza, G. & Asghar, R., 2012. α -amylase activities during seed development and germination in pea (*Pisum sativum* L.) treated with salicylic acid. *Pakistan Journal of Botany*, 44(6), pp. 1823-1829.
- Nguyen, N. T. T., Nguyen, T. T. T., Nguyen, D. T. C. & Tran, T. V., 2023. Green synthesis of ZnFe₂O₄ nanoparticles using plant extracts and their applications: A review. *Science of the Total Environment*, Cilt 872.
- Nile, S. H. ve diğerleri, 2022. Nano-priming as emerging seed priming technology for sustainable agriculture—recent developments and future perspectives. *Journal of Nanobiotechnology*, Cilt 20, p. 254.
- Noğay, O., 2023. *Siyez (Triticum monococcum L. ssp. monococcum) buğdayının kalite özelliklerinin belirlenmesi*. Tekirdağ: Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ohyama, T., 2010. Nitrogen as a major essential element of plants. *Nitrogen Assimilation in Plants*.
- Önal, E., 2020. *Bitkilerde Madde Taşınması*. [Çevrimiçi] Available at: <http://www.biyolojiportali.com/konu-anlatimi/12/24/bitkilerde-madde-tasinmasi> [Erişildi: Ekim 2023].
- Öztürk, M., 2009. *Bazı kışlık yem bitkilerinde çinkolu gübrelemenin verim ve kalite üzerine etkileri*. Aydın: Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

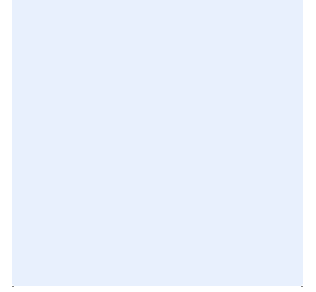
- Paksoy, A. H., 2020. *Ankara koşullarında farklı kromozom sayılarına sahip buğday genotiplerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma*. Kahramanmaraş: Doktora Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pandya, P. ve diğerleri, 2024. Impact of ZnO nanopriming on physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling. *Pandya et al. CABI Agriculture and Bioscience*, 5(27).
- Parsons, T. R. & Strickland, J. D. H., 1963. Discussion of spectrophotometric determination of marine pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J Mar. Res.*, Issue 21, pp. 115-163.
- Pereira, A. d. E. S., H. C. O., Fraceto, L. F. & Santaella, C., 2021. Nanotechnology Potential in Seed Priming for Sustainable Agriculture. *Nanomaterials*, 11(2), p. 267.
- Perfileva, A. I. ve diğerleri, 2023. Effect of Nanopriming with Selenium Nanocomposites on Potato Productivity in a Field Experiment, Soybean Germination and Viability of *Pectobacterium carotovorum*. *horticulturae*, Cilt 9, p. 458.
- Prasad, R., Kumar, V. & Prasad, K. S., 2014. Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*, 13(6), pp. 705-713.
- Prasad, T. S. P. S. Y. L. P. M. V. R. K. S. T. S. P. P. T., 2012. EFFECT OF NANOSCALE ZINC OXIDE PARTICLES ON THE GERMINATION, GROWTH AND YIELD OF PEANUT. *Journal of Plant Nutrition*, Cilt 35, pp. 905-927.
- Proença, P. L., Carvalho, L. B., Campos, . E. V. & Fraceto, L. F., 2022. Fluorescent labeling as a strategy to evaluate uptake and transport of polymeric nanoparticles in plants. *Advances in Colloid and Interface Science*.
- Rafique, M., Sadaf, I., Rafique, M. S. & Tahir, B., 2017. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology An International Journal*, 45(7), pp. 1272-1291.
- Rai-Kalal, P. & Jajoo, A., 2021. Priming with zinc oxide nanoparticles improve germination and photosynthetic performance in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, Cilt 160, pp. 341-351.
- Rai-Kalal, P., Tomar, R. S. & Jajoo, A., 2021. H₂O₂ signaling regulates seed germination in ZnO nanoprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds for improving plant performance under drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, Cilt 189.
- Rani, S., Kumari, N. & Sharma , V., 2023. Uptake, translocation, transformation and physiological effects of nanoparticles in plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 69(9), p. 1579–1599.
- Rawashdeh, R. Y. & AlHasan, A. M. H. M., 2020. Biological interaction levels of zinc oxide nanoparticles; let; tuce seeds as case study. *Heliyon*, 6(5).
- Reddy, N. S. & Kumari, K., 2022. Importance of zinc in plant nutrition: A review. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.*, 24(3), pp. 490-493.
- Regni, L. ve diğerleri, 2022. Effects of Biogenic ZnO Nanoparticles on Growth, Physiological, Biochemical Traits and Antioxidants on Olive Tree In Vitro. *Horticulturae*, 161(8).

- Rudani, K., Patel, V. & Prajapati, K., 2018. The importance of zinc in plant growth: A review. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, 5(2).
- Sadeghzadeh, B., 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.*, 13(4), pp. 905-927.
- Salam, A. ve diğerleri, 2022. Nano-Priming against Abiotic Stress: A Way Forward towards Sustainable Agriculture. *Sustainability*, Cilt 14, p. 14880.
- Sazak, F., 2022. *Yerel emmer buğdayının (Gacer) kompozisyonunun ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi*. Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Sazak, F., 2022. *Yerel emmer buğdayının (Gacer) kompozisyonunun ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi*. Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Sharma, D., Afzal, S. & Singh, N. K., 2021. Nanopriming with phytosynthesized zinc oxide nanoparticles for promoting germination and starch metabolism in rice seeds. *Journal of Biotechnology*, Cilt 336, pp. 64-75.
- Shelar, A. ve diğerleri, 2021. Sustainable Agriculture through Multidisciplinary Seed Nanopriming: Prospects of Opportunities and Challenges. *Cells*, Cilt 10, p. 2428.
- Shelar, A. ve diğerleri, 2021. Sustainable Agriculture through Multidisciplinary Seed Nanopriming: Prospects of Opportunities and Challenges. *Cells*, Cilt 10, p. 2428.
- Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H. & Firoz, M., 2015. Role of Nanoparticles in Plants. *Nanotechnology and Plant Sciences*.
- Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M. & Al-Khaishany, M. Y., 2015. Role of Nanoparticles in Plants. *Nanotechnology and Plant Sciences*, pp. 19-35.
- Singh, J. ve diğerleri, 2019. The potential of green synthesized zinc oxide nanoparticles as nutrient source for plant growth. *Journal of Cleaner Production*, Cilt 214, pp. 1061-1070.
- Soni, A. T., Rookes, J. E. & Arya, S. S., 2023. Chitosan Nanoparticles as Seed Priming Agents to Alleviate Salinity Stress in Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings. *Polysaccharides*, Cilt 4, pp. 129-141.
- Sönmez, O., Aydemir, S. & İnal, S., 2008. Çinkonun canlılar için önemi ve çinko biyoyararlılığının belirlenme yöntemleri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), pp. 69-76.
- Su, Y. ve diğerleri, 2019. Delivery, uptake, fate, and transport of engineered nanoparticles in plants: a critical review and data analysis. *Environmental Science Nano*, Cilt 6, p. 2311–2331.
- Şahin, B., 2022. *Siyez (Triticum monococcum) ve be buğday (Triticum aestivum) unu içerikli Kastamonu yaş tarhanasıyla tarhana çöreği ve tarhana çerezi geliştirilmesi: raf ömrü ve kalite parametrelerinin incelenmesi*. Kastamonu: Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Tek, H., 2020. *Hayati Tek.* [Çevrimiçi] Available at: <https://hayatitek.com/bereketli-hilal-kan-agliyor/> [Erişildi: 28 Kasım 2023].
- Toprak, S., 2022. *Fosforca zenginleştirilmiş organomineral gübre kombinasyonlarının kireçli bir toprakta yetiştirilen ekmeklik buğday (Triticum aestivum L.)'ın kalitatif ve kantitatif özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi.* Aydın: Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vanlalveni, C. ve diğerleri, 2021. Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and their antimicrobial activities: a review of recent literature. *Royal Society of Chemistry*, Cilt 11, p. 2804.
- Wang, X., Xie, H., Wang, P. & Yin, H., 2023. Nanoparticles in Plants: Uptake, Transport and Physiological Activity in Leaf and Root. *Materials*, Cilt 16.
- Waszczak, C., Carmody, M. & Kangasjärvi, J., 2018. Reactive Oxygen Species in Plant Signaling. *Annu Rev Plant Biol*, Cilt 69, pp. 209-236.
- Włodarczyk, K. & Smolińska, B., 2022. The Effect of Nano-ZnO on Seeds Germination Parameters of Different Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars. *Molecules*, 27(4963).
- Yadi, M. ve diğerleri, 2018. Current developments in green synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts: a review. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology An International Journal*, pp. 336-343.
- Yalçinkaya, T., 2013. *Tohum çimlenmesinin iyileştirilmesinde reaktif oksijen türlerinin rolünün araştırılması.* İzmir: Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yiğider, E., 2023. *Ekmeklik buğday (Triticum aestivum L.)'da biyoteknolojik yöntemlerle çinko biyoyararlılığının artırılması.* Erzurum: Doktora Tezi, Atatürk üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zaharieva, M. & Monneveux, P., 2014. Cultivated einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*): the long life of a founder crop of agriculture. *Genet Resour Crop Evol*, Cilt 61, p. 677–706.
- Zhang, H. ve diğerleri, 2022. Nanoparticle cellular internalization is not required for RNA delivery to mature plant leaves. *Nat Nanotechnol*, 17(2), pp. 197-205.
- Zhu, J. ve diğerleri, 2020. Mechanism of zinc oxide nanoparticle entry into wheat seedling leaves. *Environmental Science: Nano*, Cilt 7, pp. 3901-3913.
- Zhu, Z.-J. ve diğerleri, 2012. Effect of Surface Charge on the Uptake and Distribution of Gold Nanoparticles in Four Plant Species. *Environmental Science and Technology*, Cilt 46, p. 12391–12398.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	YÜKSEL DURAKLI
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Gebze Teknik Üniversitesi
Fakülte	Temel Bilimler Fakültesi
Bölümü	Moleküler Biyoloji ve Genetik (%100 İngilizce)
Mezuniyet Yılı	26.08.2020

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Biyoloji Anabilim Dalı
Programı	Botanik Programı

Makale ve Bildiriler
Ulusal ve Uluslararası Kongrelerde Yapılan Sözlü Sunumlar ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler:

Akpulat M., **Duraklı Y.**, Yüzbaşıoğlu E., Dalyan E., Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinde sıcaklık stresinin tohum çimlenmesi üzerine etkisi, 10. Ulusal Botanik Kongresi, İstanbul, 13-15 Eylül 2023. (Sözlü Bildiri)

Duraklı Y., Yüzbaşıoğlu E., Dalyan E., Akçay N., Algün G., Biyojenik Çinko Nanopartikülünün Farklı Buğday Türlerinde Çimlenme ve Büyüme Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 25. Ulusal Biyoloji Kongresi, İzmir, 13-15 Temmuz 2023. (Sözlü Bildiri)

