



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

**GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİNİN DOMATES (*Lycopersicon
esculentum* Mill.) TOHURLARI ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Zeyneb Zişan GÖKÇE

Biyoloji Anabilim Dalı

Biyoloji Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Muammer ÜNAL**


Temmuz, 2019

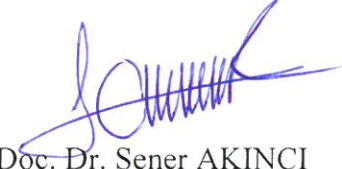
İSTANBUL

Bu çalışma, 25.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı, Biyoloji Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Prof. Dr. Muammer ÜNAL(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi


Prof. Dr. Gül CEVAHİR ÖZ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi


Doç. Dr. Şener AKINCI
Marmara Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

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 abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca engin bilimsel ve mesleki tecrübelerinden faydalandığım ve desteğini gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. Muammer ÜNAL'a teşekkür ederim.

Bilgi ve deneyimlerine başvurduğum Botanik Anabilim Dalı öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Erdal ÜZEN'e, laboratuvar deneyimlerini benimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen değerli Arş. Gör. Dr. Elif YÜZBAŞIOĞLU ve Biyolog Eda DALYAN hocalarıma teşekkür ederim.

Tez araştırmalarım boyunca tecrübelerinden faydalandığım her halimi hoşörü ile karşılayan ve her zaman desteğini gördüğüm sevgili arkadaşım İlgin AKPINAR'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Gerek bilgi birikimi gerekse desteği ile yardımını benden hiçbir zaman esirgemeyen Mehmet Emin URAS'a,

Yüksek lisans eğitim sürecine birlikte başladığımız sevgili arkadaşlarım Tuğçe İŞGÜZAR ve Fatıma ÖZDEMİR'e,

Her zaman yanımda olduğunu bildiğim kıymetli dostum Demet YILMAZ'a,

Bugünlere gelmemi sağlayan ve fedakarlıklarını asla ödeyemeyeceğim en büyük destekçilerim başta annem Bedia GÖKÇE, babam Süleyman GÖKÇE, kardeşlerim Ekrem ve Fazilet GÖKÇE'ye

desteklerinden ötürü en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Temmuz, 2019

Zeyneb Zişan GÖKÇE

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1.NANOTEKNOLOJİ VE NANOPARTİKÜLLER	3
2.1.1.Nanopartiküllerin Kullanım Alanları	6
2.1.2.Nanopartiküllerin Bitkiler Üzerindeki Uygulamaları.....	8
2.1.2.1.Tohum Çimlenmesi ve Büyümesi Üzerine Etkisi	8
2.1.2.2.Bitki Koruma Amaçlı Kullanımına Göre Etkisi	8
2.1.3. Nanopartiküllerin Biyosentezi.....	9
2.1.4. Gümüş Nanopartikülü (AgNP).....	9
2.1.4.1.Gümüş Nanopartiküllerinin Etki Mekanizması	10
2.2.DOMATES	11
2.3. ANTİOKSİDANLAR	13
2.3.1. Makromoleküllerin ve İyonların Homeostazisi.....	14
2.3.2. Koruyucu Moleküllerin Sentezi	14
2.3.3. Reaktif Oksijen Türleri (ROS)	14
2.3.3.1.Singlet oksijen (1O_2).....	15
2.3.3.2.Süperoksit Radikali (O_2^-).....	15
2.3.3.3. Hidrojen peroksit (H_2O_2).....	15
2.3.3.4. Hidroksil Radikali ($OH^\cdot$)	16
2.4. BİTKİLERDE ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ.....	16
2.4.1. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar	17
2.4.1.1. Askorbik asit	17
2.4.1.2. Tokoferoller (Vitamin E).....	17

2.4.1.3. Karotinoidler	18
2.4.1.4. Fenolik bileşikler (Flavonoidler, Antosiyaninler)	18
2.4.2. Enzimatik Antioksidanlar	18
2.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (SOD)	18
2.4.2.2. Katalaz (CAT)	18
2.4.2.3. Peroksidaz (POX)	19
2.4.2.4. Askorbat Peroksidaz (APOX)	19
2.4.2.5. Glutasyon Redüktaz (GR)	19
2.4.2.6. Glutasyon S-transferaz (GST)	19
3. MALZEME VE YÖNTEM	20
3.1. BİTKİ MATERYALİ	20
3.1.1 <i>Lycopersicon esculentum</i> Miller	20
3.1.2. Test Materyali Temini, Hazırlanması ve Uygulanması	20
3.1.3. Bitki Materyalinin Sterilizasyonu ve Çimlendirilmesi	21
3.2. ÇİMLENME PARAMETRELERİ	21
3.3. MORFOLOJİK YÖNTEMLER	22
3.3.1. Kök ve Gövde Uzunluğu	22
3.3.2. Taze Ağırlık Miktarının Ölçülmesi	22
3.3.3. H ₂ O ₂ içeriğinin spektrofotometrik olarak belirlenmesi	22
3.3.4. Lipid Peroksidasyonunun Belirlenmesi	22
3.3.5. Antioksidan Enzim Aktivitesi Tayini	22
3.3.5.1. Enzim Ekstraktlarının Hazırlanması	22
3.4. İSTATİSTİKSEL ANALİZ	24
4. BULGULAR	25
4.1. KÖK UZUNLUĞU	25
4.2. GÖVDE UZUNLUĞU	26
4.3. BİREY TAZE AĞIRLIĞI	26
4.4. ÇİMLENME YÜZDESİ	27
4.5. CANLILIK İNDEKSİ VE TOLERANS İNDEKSİ	28
4.6. KLOROFİL VE KAROTİNOİD İÇERİĞİ	29
4.7. ANTOSİYANİN İÇERİĞİ	32
4.8. HİDROJEN PEROKSİT İÇERİĞİ	33
4.9. MALONDİALDEHİT İÇERİĞİ	35
4.10. SÜPEROKSİT DİSMUTAZ (SOD) AKTİVİTESİ	37

4.11. KATALAZ (CAT) AKTİVİTESİ	39
4.12. PEROKSİDAZ (POX) AKTİVİTESİ	41
4.13. ASKORBAT PEROKSİDAZ (APOX) AKTİVİTESİ.....	43
4.14. GLUTATYON REDÜKTAZ (GR) AKTİVİTESİ	45
4.15. GLUTATYON S-TRANSFERAZ (GST) AKTİVİTESİ	47
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Farklı boyutlara sahip maddelerin karşılaştırılması (Particle science, 2019).	3
Şekil 2.2: Nanomalzemelerin kullanım alanları (Entekno, 2019).	7
Şekil 2.3: Dünya’da domates üretilen başlıca ülkeler ve üretim yüzdeleri (%).	12
Şekil 2.4: Askorbat-Glutatyon döngüsü (Smirnoff 2005).	17
Şekil 3.1: <i>Lycopersicon esculentum</i> Miller’in sistematikteki yeri.	20
Şekil 4.1: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kök uzunluğu (cm).	25
Şekil 4.2: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin gövde uzunluğu (cm).	26
Şekil 4.3: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin birey taze ağırlığı (gr).	27
Şekil 4.4: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış domates tohumlarının çimlenme yüzdesi (%).	28
Şekil 4.5: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış domates tohumlarının tolerans indeksi yüzdesi (%).	29
Şekil 4.6: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış domates tohumlarının canlılık indeksi yüzdesi (%).	29
Şekil 4.7: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında klorofil a, klorofil b ve total klorofil içeriği (µg/ml).	30
Şekil 4.8: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 4 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında klorofil a, klorofil b ve total klorofil içeriği (µg/ml).	31
Şekil 4.9: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 8 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında klorofil a, klorofil b ve total klorofil içeriği (µg/ml).	31
Şekil 4.10: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında total karotinoid içeriği (µg/ml).	32

Şekil 4.11: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kotiledonlarında antosiyanin içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	33
Şekil 4.12: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında H_2O_2 içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	34
Şekil 4.13: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında H_2O_2 içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	35
Şekil 4.14: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında MDA içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	36
Şekil 4.15: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında MDA içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	37
Şekil 4.16: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında süperoksit dismutaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	38
Şekil 4.17: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında süperoksit dismutaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	39
Şekil 4.18: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında katalaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	40
Şekil 4.19: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında katalaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	41
Şekil 4.20: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	42
Şekil 4.21: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	43
Şekil 4.22: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında askorbat peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	44
Şekil 4.23: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında askorbat peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	44

Şekil 4.24: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında glutatyon redüktaz aktivitesi (Unit/mg-protein).....	46
Şekil 4.25: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında glutatyon redüktaz aktivitesi (Unit/mg-protein).....	46
Şekil 4.26: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında glutatyon s-tranferaz aktivitesi (Unit/mg-protein).....	48
Şekil 4.27: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında glutatyon s-tranferaz aktivitesi (Unit/mg-protein).....	48

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Partiküllerin çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması.	5
Tablo 4.1: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kotiledonlarında antosiyanin içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	32
Tablo 4.2: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında H_2O_2 içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	34
Tablo 4.3: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında MDA içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).	35
Tablo 4.4: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında süperoksit dismutaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	37
Tablo 4.5: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında katalaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	39
Tablo 4.6: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	41
Tablo 4.7: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında askorbat peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	43
Tablo 4.8: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında glutatyon redüktaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	45
Tablo 4.9: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında glutatyon s-tranferaz aktivitesi (Unit/mg-protein).	47

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
AgNP	: Gümüş Nanopartikülü
cm	: Santimetre
DAB	: 3, 3'-diaminobenzidine tetrahidroklorid
DNA	: Deoksiribonükleik asit
EDTA	: Etilendiamin tetraasetik asit
Fe	: Demir
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
mg	: Miligram
mM	: Milimolar
Mn	: Mangan
nm	: Nanometre
ppm	: Milyonda bir
Zn	: Çinko
µg	: Mikrogram
µM	: Mikromolar
%	: Yüzde
°C	: Santigrad derece

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
APOX	: Askorbat peroksidaz
CAT	: Katalaz
FAO	: Dünya Gıda ve Tarım Örgütü
GR	: Glutasyon redüktaz
GST	: Glutasyon S-transferaz
MDA	: Malondialdehit
NBT	: Nitro-blue tetrazolium
POX	: Peroksidaz
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri
SOD	: Süperoksit dismutaz
TBA	: Tiyoarbiturik Asit
CAT	: Katalaz
FAO	: Dünya Gıda ve Tarım Örgütü
GR	: Glutasyon redüktaz

ÖZET

GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİNİN DOMATES (*Lycopersicon esculentum* Mill.) TOHURLARI ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeyneb Zişan GÖKÇE

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Muammer ÜNAL

Son yıllarda nanoteknolojinin hızla gelişmesi ile geniş yüzey alanları, hızlı etki mekanizmaları ve az toksik olmaları nedeniyle metal bazlı nanopartiküllerin kullanımı giderek artmaktadır. Gümüş nanopartikülü (AgNP); sağlık, gıda, tekstil, tarım ve kozmetik sektörlerinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada 10 nm boyutlu gümüş nanopartiküllerinin domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tohumları üzerindeki morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal etkileri araştırılmıştır. Çalışmada distile su (Kontrol) ve 10, 20, 40 ppm konsantrasyonda hazırlanan gümüş nanopartikül çözeltileri kullanılmıştır. Tohumlar dört farklı çözelti ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulamaya (imbibisyon) bırakıldıktan sonra içinde distile su ile ıslatılmış filtre kağıtları bulunan petrilere transfer edildi ve büyüme odasında 24 °C’de çimlenmeye bırakıldı. 7 günlük domates fideleri hasat edilip kök ve gövde uzunluğu, çimlenme oranı (%), canlılık ve tolerans indeksi (%), antosiyanin, klorofil ve karotinoid içerikleri, hidrojen peroksit (H₂O₂) ve malondialdehit (MDA) miktarı, antioksidan savunma sistemi enzimlerinden APOX, CAT, GR, GST, POX ve SOD aktiviteleri ölçüldü.

2, 4 ve 8 saatlik AgNP ön uygulamalarında konsantrasyon artışına bağlı olarak kök ve gövde uzunluklarının azaldığı görülmektedir. Bu etki canlılık ve tolerans indeksinde de görülür iken çimlenme oranlarında kayda değer bir farklılık görülmemiştir. Klorofil ve karotinoid içeriği analizlerinde, 2 saatlik AgNP ön uygulaması fotosentetik pigmentlerde artışa sebep olurken, 4

ve 8 saatlik ön uygulamalarda ise azalmaya neden olduğu görülmüştür. 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm AgNP ön uygulamalarının 7 günlük domates bitkilerinin çeşitli dokularında MDA, H₂O₂ miktarlarında ve antioksidan savunma sistemi enzimlerinden APOX, CAT, GR, GST, POX ve SOD aktivitelerinde konsantrasyona ve ön uygulama süresine bağlı olarak artışlar ve azalmalar tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; domates tohumlarının Ag nanopartikülü (10 nm) içeren farklı konsantrasyonlardaki 2, 4 ve 8 saatlik ön uygulamalarının 7 günlük fidelerde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal olarak fitotoksik etkiye neden olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda gümüş nanopartikülleri içeren pestisitlerin tarımda kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek sorunlara da ışık tutacaktır.

Temmuz 2019, 89 sayfa.

Anahtar kelimeler: Gümüş nanopartikülü, *Lycopersicon esculentum* Mill., Fitotoksisite

SUMMARY

INVESTIGATION ON THE BIOCHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF SILVER NANOPARTICLES ON TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) SEEDS

M.Sc. THESIS

Zeyneb Zişan GÖKÇE

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr. Muammer ÜNAL

With the rapid development of nanotechnology in recent years, the use of metal-based nanoparticles has been increasing due to their large surface areas, rapid action mechanisms and low toxicity. Silver nanoparticles (AgNP) are widely used in health, food, textile, agricultural and cosmetic industries. In this study, the morphological, physiological and biochemical effects of 10 nm silver nanoparticles on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds were investigated. Distilled water (Control) and silver nanoparticle solutions prepared at 10, 20, 40 ppm concentration were used in the study. The seeds were soaked to pretreat (imbibition) with four different solutions for 2, 4 and 8 hours, then transferred to sterile Petri dishes with filter papers soaked in distilled water and allowed to germinate in the growth chamber at 24 °C temperature. 7-day-old tomato seedlings were harvested and root and shoot length, germination rate (%), vigour and tolerance index (%), anthocyanin, chlorophyll and

carotenoid contents, hydrogen peroxide (H₂O₂) and malondialdehyde (MDA) amount, antioxidant enzyme (APOX, CAT, GR, GST, POX, SOD) activities were measured.

It is seen that root and shoot lengths decrease with 2, 4 and 8 hours AgNP pre-treatment. This effect was also observed in the vigour and tolerance index, but there was no significant difference in germination rates. In chlorophyll and carotenoid content analyzes, 2 hours AgNP pre-treatment was increased photosynthetic pigments while 4 and 8 hours pre-treatment was decreased photosynthetic pigments. In 7-day-old tomato seedlings' various tissues MDA, H₂O₂ content and antioxidant enzymes (APOX, CAT, GR, GST, POX, SOD) activities were determined. Increases and decreases were determined depending on the concentration and pre-treatment hours.

As a result; 2, 4 and 8 hours pre-treatment of tomato seeds with solutions containing Ag nanoparticle (10 nm) caused morphological, physiological and biochemical phytotoxic effects on 7-day-old seedlings. This study will also shed light on the problems that may arise during the use of pesticides containing silver nanoparticles in agriculture.

July 2019, 89 pages.

Keywords: Silver nanoparticle, *Lycopersicon esculentum* Mill., Phytotoxicity

1. GİRİŞ

Çağımızın yeni sanayi devrimi olarak nitelendirilen nanoteknoloji; bilişimden sanayiye, uzay ve uçak teknolojileri, moleküler biyoloji ve gen mühendisliğine kadar uzanan çok çeşitli alanlarda hızla yaşamımıza girmektedir. Nanoteknolojik metot ile üretilen nanomalzemelerin popüler olmasının sebebi, nano ölçekli boyutlara sahip olmalarından dolayı hızlı etki mekanizması, biyolojik sistemlere kolayca dahil olabilmeleri gibi işlevsel ve olağandışı özellikler göstermeleridir. Sistemlerin fonksiyonelliğinde devrim yaratan yeni nesil nanoteknolojik malzemelerin temelini, boyutları 1 ile 100 nm arasında değişen ve boyutlarına özgü özelliklere sahip olan tozlar ya da katı maddeler olarak tanımlanan nanopartiküller oluşturmaktadır (Rejeski ve Lekas, 2008). Son yıllarda sağlık, ilaç sanayi, tekstil, elektronik, otomotiv, gıda ve tarım gibi farklı sahalarda birçok üründe yaygın olarak kullanılan nanopartiküllerin; canlılar ve çevre üzerindeki etkileri üzerine yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Antibakteriyel özelliği sebebiyle nanolosyon, nanojel ve nanopestisit gibi değişik uygulamalarda en sık kullanılan materyal olan gümüş; bu uygulamalardan dolayı iyonik ve nanopartikül formunda doğaya salınır. Bitkilerde ve hayvanlarda toksisiteye sebep olan bu nanopartiküllerin etkileri çeşitli yönlerden analiz edilmiştir (Ikram ve diğ., 2015).

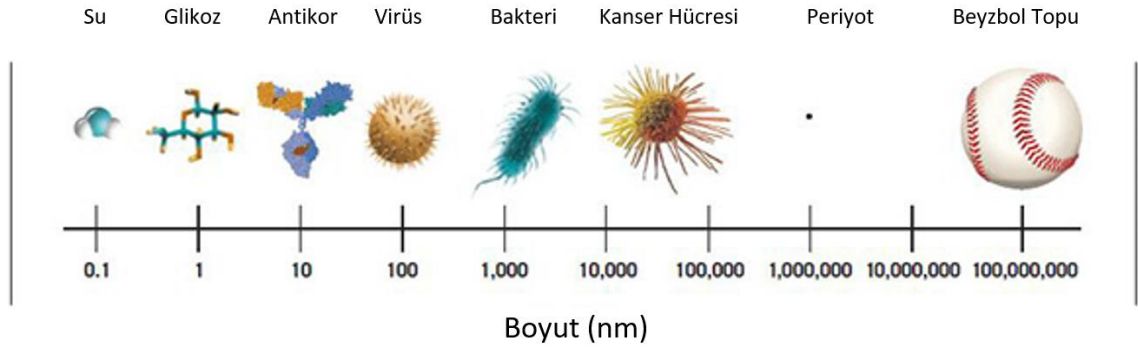
AgNP'lerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki pozitif ve negatif etkileri araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. AgNP'lerin bitki büyüme stimülatörleri olarak (Steinitz ve Bilavendran, 2011), küf ve diğer hastalıkları önleyici (Alavi ve Dehpour, 2009) bitki hücrelerdeki yağ içeriğini arttıran ajanlar olarak kullanımı da araştırılmıştır (Sahandi ve diğ., 2011). *Brassica juncea* L.'nın AgNP uygulaması sonrası kök ve gövde dokularında; karbohidrat ve protein içerikleri, klorofil ve antioksidan enzimler gibi biyokimyasal parametrelerinde artış gözlemlendiği belirtilmiştir (Sharma ve diğ., 2012). Ayrıca *Boswellia ovalifoliolata*'da AgNP uygulanması sonucunda tohum çimlenmesinin ve fide gelişiminin arttığı da rapor edilmiştir (Savithramma ve diğ., 2012). AgNP'lerin, *Arabidopsis* fidelerinde kök uzamasını inhibe eden aminosiklopropan-1-karboksilik asiti aktive ederek fidelerin gelişimini etkilediği gözlemlenmiştir. Ancak 10 nm boyutuna sahip Ag nanopartiküllerinin imbibisyon esnasında uygulamasına bağlı olarak domates tohum çimlenmesi ve fide gelişmesi üzerine fizyolojik etkileri ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada ülkemiz ve dünya tarımında önemli bir yere sahip olan *Lycopersicon esculentum* Miller tohumlarının 10 nm partikül boyutuna sahip AgNP'nin 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm konsantrasyonlarındaki çözeltilerde 2, 4 ve 8 saatlik ön uygulama (imbibisyon) yapılarak 7 günlük domates bitkilerinde morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik etkileri araştırılacaktır. Yapılacak deneysel çalışmalar ile nanopartikülün; tohum çimlenme oranına (%), kök ve gövde uzamasına, canlılık ve tolerans indeksine (%), antosiyanin, klorofil ve karotinoid içeriklerine, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve malondialdehit (MDA) miktarına, antioksidan savunma sistemi enzimlerinden APOX, CAT, GR, GST, POX ve SOD aktiviteleri üzerine etkisi incelenerek literatüre katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.NANOTEKNOLOJİ VE NANOPARTİKÜLLER

“Nano” kelimesinin kökeni Yunancaya dayanmakta ve “cüce” anlamına gelmektedir. Ölçü sisteminde nanometre (nm) “bir metrenin milyarda biri (10^{-9} m)” olarak tanımlanır. Dolayısıyla makroskobik boyutun ötesinde oldukça küçük boyutlu nicelikleri ifade etmek için kullanılmaktadır. Nanoteknoloji kapsamında geliştirilen materyallerin, boyutlarını daha anlaşılabilir şekliyle ifade edebilmek için; bir bakteri hücresinin boyutunun 1.000-10.000 nm arasında değiştiğini, virüslerin yaklaşık 100 nm boyuta, DNA molekülünün ise yaklaşık 2 nm’lik bir boyuta sahip olduğunu bilmek yardımcı olacaktır (Prasanna, 2007). Farklı materyallerin boyutlarına göre karşılaştırılması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1: Farklı boyutlara sahip maddelerin karşılaştırılması (ParticleScience, 2019).

Nanoteknoloji en genel şekliyle, metrik sistemde nanometre ile ifade edilebilen boyutlara sahip, doğal ve sentetik nanopartiküllerin özelliklerini ve çalışma prensiplerini araştıran, bu standart dışı nanometrik materyalleri geliştirmeyi ve çeşitlendirmeyi hatta tasarlanabilen işlevsel özelliklere sahip ürünler üretmeyi ve geliştirmeyi hedefleyen bir bilim dalıdır. Ayrıca nanoteknoloji, daha fazla işlevi olan, daha az ham madde ve enerji tüketen, daha küçük, ucuz ve hızlı cihazların üretiminin önünü açmaktadır (Ceylan, 2017). Nanoteknoloji terimi 1970’li yıllarda literatüre geçmiş olsa da Ediz’in (2018) de belirttiği gibi kullanımının çok eski çağlara kadar dayandığı bilinmektedir. Orta çağlarda yaklaşık olarak 9. ve 17. yüzyıllar

arasında Avrupa'da inşa edilen mabetlerin mozaiklerinde, renklendirme ve kalıcılık işlemleri için metalik nanopartiküller kullanılmıştır. Yine 13. ve 18. yüzyıllar arasında Persler dönemine ait kılıçlara bakıldığında karbon nanotüpü içerdiği görülmüştür. İlk defa Amerikan Fizikçiler Derneği toplantısında nano-teknoloji kavramı Nobel ödüllü Amerikan fizikçi Richard Feynman (1959) tarafından gündeme gelmiş ve bilim camiasında büyük bir yankı uyandırmıştır. Çoşkunçay'ın (2012) belirttiği gibi Tokyo Bilim Üniversitesi'nden Prof. Dr. Norio Taniguchi 1974 yılında yayımladığı bilimsel makalesinde ilk defa nanoteknoloji terimini kullanmıştır. 1996 yılında ise 60 karbon atomundan meydana gelen ve sadece bir nanometre çapındaki fullerenleri keşfinden dolayı Robert F. Curl Jr., Sir Harold Kroto ve Richard E. Smalley'e Kimya dalında Nobel ödülü verilmiştir. 2005 yılında Amerikan Kimya Konseyi bünyesindeki ilk nanoteknoloji paneli düzenlenmiştir (Roco ve Mihail, 2011). 2008'de Amerikan Hükümeti tarafından nanoteknolojik araştırmalar için 5 milyar \$ harcama yapılmıştır. Bu rakamın 2020 yılına kadar toplam 3 trilyon \$ olacağı tahmin edilmektedir (Yardımcı, 2012). Nanoteknolojik alandaki gelişmelerin, nanopartiküllerin üretimi ile başladığı görülmektedir.

İki ya da üç boyuta sahip olan ve boyutları 1-100 nm arasındaki parçacıklar olarak tanımlanan nanopartiküller, nanoteknolojinin temelini oluşturmaktadır (Rao ve diğ., 2005). Nanopartiküller, nanometrik boyutlarda olmalarından kaynaklı olarak, nano ölçekli boyutlara yaklaştıkça makro boyutlardaki özelliklerine kıyasla farklı ve üstün kabul edilen ve eski formunda sahip olmadığı yeni fiziksel ve kimyasal özellikler sergilemektedirler (Miralles ve diğ., 2012). Örnek vermek gerekirse makro boyutlu altın partikülü birçok madde ile reaksiyona girmez ve *Salmonella typhimurium* bakterileri üzerinde toksik etki göstermezken altın nanopartikülleri daha reaktif özellikler gösterip *S. typhimurium* üzerinde toksisiteye neden olmaktadır (Wang ve diğ., 2011). Burada nanomateryallerin, farklı özellik ve fonksiyon göstermesine neden olan temel iki etken vardır. Bunlardan biri yüzey etkisi, diğeri ise kuantum etkisidir. Partiküllerin büyüklüğü, nanometre ölçülerine indiğinde, yüzey/hacim oranının artmasıyla yüzey enerjisi de artmakta ve daha reaktif bir hale dönüşmektedir. Ayrıca elektronik, manyetik ve optik özelliklerinde de değişimler gözlenir. Fiziksel olarak elastiklik, sertlik-yumuşaklık gibi özellikleri de değiştiği bilinmektedir (Lopez-Serrano ve diğ., 2013). Nanopartiküllerin reaktivitesi, partikül boyutunun küçültülmesi ile arttırılabildiği gibi farklı yüzey kaplama yöntemleri ve partikül yüzeyinde modifikasyon uygulamalarıyla da arttırılabilmektedir (Buzea ve diğ., 2007).

Nanopartiküllerin morfolojilerinin kontrol edilebilmeleri üstün materyaller olarak kabul edilmesinin sebeplerinden bir tanesidir. Özelliklerindeki değişimler kullanılacakları polimerler veya sıvılar içerisindeki bu nanopartiküllerin koagülasyon ve agregasyonuna engel olmaktadır. Nanoteknolojik çalışmalarda, homojen olarak dağılım gösteren partiküllerin, termal özelliklerindeki değişimden kaynaklı olarak reaksiyon süresini de azaltabileceği savunulmaktadır. Boyutu küçülen partiküllerin manyetik davranışında pozitif yönlü bir artış görülmektedir. Nanopartiküllerin boyut, şekil ve kimyasal yapılarındaki bu çeşitlilikler ve modifiye edilebilirlikleri nedeniyle bilim dünyasında önemli alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır (Pekdemir, 2011). Günümüzde nanopartiküller çok geniş kategorilere ayrılabilir. En temel haliyle, partikülün elde edildiği kaynağa göre; doğal ve antropojenik nanopartiküller, partikülün yüzeylerine göre; tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu nanopartiküller, morfolojilerine göre; küresel ve silindirik nanopartiküller olarak Tablo 2.1’de gösterildiği şekilde sınıflandırılabilir. Ayrıca nanopartiküllerin bileşimine göre; karbon bazlı, metal bazlı, yarı iletken bazlı nanopartiküller şeklinde basitçe sınıflandırılmaktadır.

Tablo 2.1: Partiküllerin çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması.

Kaynağına göre nanopartiküller	Doğal
	Antropojenik
Yüzeyine göre nanopartiküller	Tek boyutlu
	İki boyutlu
	Üç boyutlu
Morfolojisine göre nanopartiküller	Küresel
	Silindirik
Bileşimine göre nanopartiküller	Karbon bazlı
	Metal bazlı
	Yarı iletken bazlı

2.1.1.Nanopartiküllerin Kullanım Alanları

Nanoteknoloji uygulamaları ile daha sağlam, kaliteli, işlevsel, hafif, küçük ve ucuz materyaller geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Minyatürizasyon adıyla da bahsedebileceğimiz bu uygulama ile üretimlerde daha az malzeme, enerji, maliyet ve kolay nakliyat ile daha fonksiyonel materyaller geliştirilebilmesi birçok mühendislik çalışmalarının da temelini oluşturmaktadır. Nanopartiküllerin tüm bu gelişmiş özellikleri, insanoğlu için birçok alanda potansiyel vadetmekte ve dolayısıyla kullanımı hızla artmaktadır. Son yıllarda nanometre boyutunda geliştirilen ileri teknoloji materyallerin başta fizik, kimya, biyoloji bilimlerinde olmak üzere sağlık, biyoteknoloji, kozmetik, yiyecek, çevre, enerji, savunma sanayi, tekstil, elektronik, tarım ve uzay araştırmaları gibi birçok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır (İkram ve diğ., 2015).

Sağlık sektöründe, nanoteknolojik yöntemlerle geliştirilmiş nanopartiküller, hastalıkların tanısı ve görüntüleme amacıyla MR (Manyetik Rezonans), BT (Bilgisayarlı Tomografi), USG (ultrason) cihazlarında, ilaç geliştirme araştırmalarında, hastalıklarda spesifik olarak geliştirilen hedefe yönelik tedavilerde kullanıldığı görülmektedir (Berk ve Akkurt, 2012). Günümüzde, yan etkileri minimum seviyeye düşürerek, yalnızca hastalıklı dokuların veya bölgelerin tedavi edilebilmesi için tasarlanan nanopartiküllerden de çok yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır. Nanoenkapsülasyon yöntemi ile istenen zamanda ve dozda ilaç salınımı; manyetik özellik gösteren nanopartiküllerin de bulunduğu bir kapsül içerisine kimyasal veya fiziksel yöntemler kullanılarak tutturulur ve ardından bir ışıma kaynağı (özel geliştirilmiş cihazlar) aracılığıyla yönlendirilip hedeflenen bölgelere ulaşması sağlanır (Srilatha, 2011). Özellikle canlı organizmalar üzerine odaklanan çalışmalarda kullanmak için tasarlanan nanomateriyallerde aranan özelliklerin başında biyo-uyumluluk, kolay bulunabilirlik ve taşıyıcı özelliğinin olması gelmektedir (Paul ve Robeson 2008).

bitkide oluşturduğu toksik etkinin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır (Bhushan, 2012). Ziraat alanında, daha etkili fakat üretimi etkilemeyen yardımcı malzemeler geliştirmek için yeni tekniklerden fayda sağlanabilir (Fraceto ve diğ., 2016).

Gıda endüstrisinde, günümüzde özellikle kullanım alanı genişleyen ve artan paketlenmiş, konserve gıda ürünlerinde de nanopartikülleri içeren gıda teknolojisi uygulamalarına yer verilmektedir. Bu amaçla katkı maddelerinin içerisine, çeşitli nanopartikülleri ilave edilmektedir. Böylece raf ömrünü uzatmak, doğal aroma, renk, koku ve besin içeriğini korumak veya canlı renge, kokuya ve aromaya sahip ürünlerin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir (Sürengil ve Kılınç, 2011).

2.1.2.Nanopartiküllerin Bitkiler Üzerindeki Uygulamaları

2.1.2.1.Tohum Çimlenmesi ve Büyümesi Üzerine Etkisi

Günümüzde, birçok araştırmacı nanomateriyallerin bitkiler üzerindeki özellikle kültür bitkileri üzerindeki etkilerini araştırmak için çalışmalarına devam etmektedir. 2005’de Zheng ve diğ. yaptıkları bir çalışmada ıspanak tohumlarına makro ve nano TiO₂ uygulamışlar ve nano boyutlu materyal uygulanan tohumlarda büyüme parametrelerinde artış gözlemlemişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada karbon nanotüp uygulamasına maruz bırakılan domates tohumlarında nanomateriyallerin çimlenme oranını arttırdığı kaydedilmiştir. Buradaki mekanizmanın domates tohumlarının içine nüfuz eden nanopartiküllerin su alınımlarını arttırmak yoluyla çimlenme oranını da arttırdığı düşünülmektedir (Khodakovskaya ve diğ., 2009).

2.1.2.2.Bitki Koruma Amaçlı Kullanımına Göre Etkisi

Nanopestisitler olarak adlandırılan nanomateriyaller, klasik pestisitlerin aktif bileşeni kullanılarak dizayn edilmiş çok daha etkili bitki koruma sağlayan maddelerdir (Kookana ve diğ., 2014). Gerekli dozdan fazla ve tüm alana uygulanan pestisit uygulamalarını kısıtlamak için patojenleri tespit edip gerekli dozda salınımı sadece ilgili bölgelere yapan sistemlerin geliştirilmesi için yapılan araştırmalar sürdürülmektedir (Khot, 2012). Tarım arazilerinde pestisit kalıntılarının tespit edilebilmesi için nanomateriyaller kullanılarak tasarlanan nanosensörlerin gelişimi de hızla devam etmektedir. Bu sensörler sayesinde daha hassas ölçümler ve kısa sürede uygulaması yapılmaktadır (Liu ve diğ., 2008).

2.1.3. Nanopartiküllerin Biyosentezi

Nanopartiküllerin sentetik yollardan istenilen boyutta ve morfolojik yapıda sentezlenmesinin maliyeti yüksektir. Çevre dostu ve ekonomik olması sebebiyle mikroorganizmalar ve bitkisel sistemler üzerinden nanopartikül sentezi önemli bir yere sahiptir (Iravani ve diğ., 2015). Bitkiler metabolik faaliyetleri neticesinde metal biriktirmekte ve bunları indirgeyerek doğal yollardan nanopartiküle dönüştürmektedir (Bali ve diğ., 2006). Nanopartikül sentezlemek için kullanılan *Origanum syriacum* uçucu yağından gümüş nanopartikülü sentezlendiği bilinmektedir (Demir, 2015). Yeşil sentez olarak bilinen bu yöntem ile en çok Ag (gümüş), Au (altın), Pd (paladyum) ve Pt (platin) nanopartikül sentezi üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Nanopartikül uygulamaları sonucu bitkilerin verdiği cevaplar bitkilerin türüne ve uygulanan nanopartikülün boyut, şekil, doz ve yöntemine göre değişmektedir. Aynı partiküle bir bitki türü olumlu cevap verirken başka bir tür olumsuz tepki verebilmektedir (Wang ve diğ., 2015).

2.1.4. Gümüş Nanopartikülü (AgNP)

Gümüş elementi, iyileştirici etkisinden dolayı milattan önce 400'lü yıllardan beri aktif olarak kullanılan metaller arasında yer almaktadır. Gümüş, periyodik cetvelde 1B grubunda bir geçiş metali olarak yer almaktadır. Atom numarasının 47 olduğu bilinen gümüş metalinin atom ağırlığı ise 107,8 dir. Doğada 2 adet kararlı izotopu Ag-107 ve Ag-109 olmakla birlikte 14 adet radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Yarılanma süresi 4,5 saniye ile 40 gün arasında değişmektedir. Doğada bol bulunmakla birlikte genellikle gümüş yataklarından çıkarılırlar veya altın, civa, bakır gibi metallerle alaşım şeklinde bulunabilirler. Serbest halde ise çok az bulunurlar. Diğer metallere kıyasla daha yüksek oranda ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olan saf gümüş aynı zamanda yüksek optik yansıtıcılığa sahiptir. Günümüzde gümüş metalinin; diş dolguları, fotoğrafçılık uygulamaları, elektronik, sağlık gibi pek çok sektörde kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca endüstride katalitik özelliklerinden dolayı oksidasyon reaksiyonlarında katalizör olarak kullanılmaktadır. Gümüş ile oluşan en yaygın bileşiklere Ag₂O (gümüş oksit), Ag₂S (gümüş sülfür), AgCN (gümüş siyanür), AgNO₃ (gümüş nitrat) ve AgNP (gümüş nanopartikülü) örnek verilebilir. Gümüş nanopartikülleri, doğada kendiliğinden oluşabilir, bunun yanında endüstriyel olarakta üretilbildiği gibi birçok endüstriyel üretim sürecinde yan ürün olarak meydana gelmektedir. Çeşitli metotlar ile üretilen gümüş nanopartiküllerinin

karakterizasyonu için kullanılan tekniklerdeki gelişmelerle, nanopartiküller atom boyutunda görülebilmektedir. Elde edilen gümüş nanopartiküllerinin optik, mekanik ve elektron yapıları gibi özellikleri birçok karakterizasyon yöntemi sayesinde belirlenmektedir. Son yıllarda gümüş nanopartiküllerin karakterizasyonu ve üretimi nanoteknoloji ve temel bilimler için çok önemli bir boyuta ulaşmıştır (Bergeson, 2010).

Woodrow Wilson International Center for Scholars ve Project on Emerging Nanotechnology, Nanotechnology Consumer Product Inventory 2017 yılında hazırladığı listede yaygın olarak kullanılan ürünlerin toplam 442 tanesinde gümüş nanopartikülü bulunmaktadır (Woodrow Wilson Database, 2017). Ayrıca gümüş nanopartikülleri, çinko oksit nanopartikülleri ve TiO_2 nanopartikülleri ile birlikte en fazla oral yolla alınan nanopartiküller arasında yer almaktadır (Frohlich ve Frohlich, 2016).

Normal boyutlu gümüş elementi ile kıyaslandığında geniş yüzey alanına sahip olması, sıradışı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması, teknolojik alanda birçok potansiyel kullanım alanının bulunması ve ticari açıdan ekonomik oluşuyla gümüş nanopartikülü sık kullanılan nanomateriyallerdendir. Metalik gümüş ile kimyasal özellikleri açısından karşılaştırıldığında ise gümüş nanopartikülleri daha büyük yüzey alanına sahip olmasından dolayı daha geniş spektrumlu antimikrobiyal özellik ve antikanser etki göstermektedir (Vaidyanathan ve diğ. 2009). Özellikle insan hücrelerine karşı toksisitesinin az olması çok yaygın olarak kullanılmasının temel sebeplerinden biridir (Prakash, 2013). Gümüş nanopartikülleri bugün implantlar, kateterler, arıtma sistemleri, yara iyileştirici malzemeler, gıda işleme, tekstil, tarım, farmasötik teknoloji, sensörler, kozmetik ve dedektörler gibi farklı alanlarda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Kheybari ve diğ., 2010). Ticari nanomateriyaller arasında en sık kullanılan materyallerden olan gümüş % 24 lük bir paya sahiptir (Vance ve diğ., 2015).

Gümüş nanopartikülünün boyutunun dışında küresel, çubuk veya üçgen şeklinde olması farklı antibakteriyel etkiler göstermesine neden olmaktadır. İçlerindeki en aktif gümüş nanopartikülü üçgen şekline sahip olanlar iken çubuk şekline sahip olanların en düşük aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir (Pal ve diğ., 2007).

2.1.4.1. Gümüş Nanopartiküllerinin Etki Mekanizması

Son yıllarda gümüş elementinin birbirinden farklı birçok mikroorganizmayı inaktif hale getirdiği ve canlılık faaliyetlerini sonlandırdığı bilinmektedir. Bu nedenle günümüzde

tüketilen birçok üründe kullanılan başlıca katkı maddeleri gümüş temelli materyallerdir (Nowack ve Buchelli, 2007).

Bakterilerde hücre zarından besinlerin geçişini kontrol eden proteinlerin tiyol gruplarına bağlanarak bu proteinleri etkisiz hale getirmekte ve zar geçirgenliğini bozmakta ve hücrenin ölmesine neden olmaktadır (Yavuz ve diğ., 2011). Aynı zamanda gümüş nanopartikülleri bakteri hücresinin içine de girerek DNA’nda dahil olduğu fosfor içeren bileşiklerle reaksiyona girerler. Solunum zincirine veya hücre bölünmesine de dahil olarak hücre ölümüne sebep olurlar (Feng ve diğ., 2000). Yukarda kısaca bahsedildiği gibi AgNP’leri hücre zarını deforme ederek, DNA hasarına neden olarak, hayati metabolik enzimleri inhibe ederek, bakteriyal büyümeye ket vururlar.

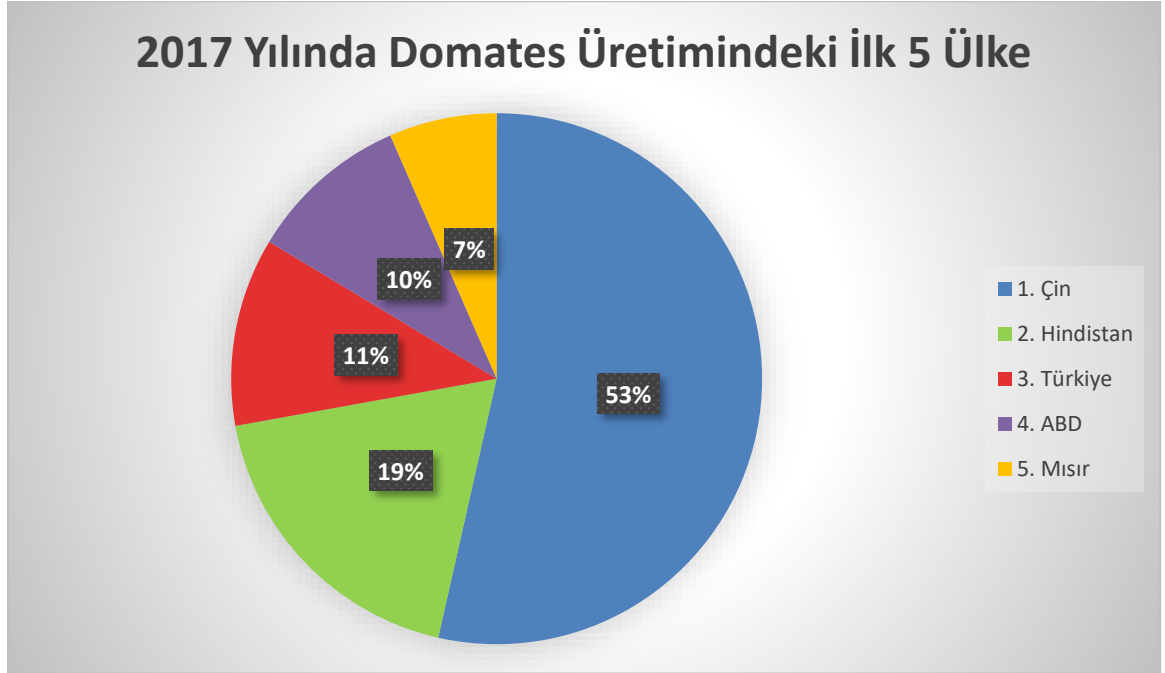
2.2.DOMATES

Bu tez kapsamında kullanılan domates bitkisine Philip Miller 1754’te “*Lycopersicon esculentum*” bilimsel adını vermiş ve bitki sistematığına dahil etmiştir. Domates anavatanı kabul edilen Amerika kıtasının orta ve güney kesimlerinde, özellikle Peru’da yetişen tek yıllık bir bitkidir (Küçüker, 1994). İspanyollar tarafından önce Avrupa’ya ardından tüm dünyaya taşınmıştır. On dokuzuncu yüzyılda ülkemize Suriye topraklarından giriş yaparak “Frenk patlıcanı” adı ile Adanaya getirilmiştir. Getirildiği tarihten beri ülkemizde tarımı yapılmaya devam etmektedir (Kütevin ve Türkeş, 1987). Biber, patlıcan, tütün ve patates gibi ekonomik değere sahip bitkilerin dahil olduğu Solanaceae (Patlıcangiller) familyası üyelerinden, çift çenekli ve tek yıllık bir kültür bitkisidir (Bai ve Lindhout, 2007).

Domates tohumunun çimlenmesi ile radikula büyüyerek primer kökü meydana getirir. 2-3 yaprağı bulunan fideler olarak geliştiğinde yan kök oluşumu başlayarak saçak kök sistemi gelişmeye başlar. Gövdesi erken fide döneminde yuvarlak ve otsu iken olgunlaştıkça köşeli bir yapı ve odunlaşma gösterir ayrıca gövdeleri ve birleşik tipteki yaprakları koku kapsülleri içeren tüylerle kaplıdır. Erkek ve dişi organları aynı çiçek üzerinde bulunan hermafrodit çiçeklere sahiptir. *Solanaceae* familyasının çiçeklerinin özelliği olan 5 sepal (çanak yaprak) ve petal (taç yaprak), 5 stamen (erkek organ) ve 1 ginekeum (dişi organ) bulunur. Erken dönemde yeşil, bakka (üzümsü) şeklindeki meyveleri olgunlaşma sonrası pembe, kırmızı veya sarı renklerde ve yaklaşık 10 cm çaplarındadır. Karpel sayısı 2-9 arasında değişkenlik

göstermekle birlikte 2-4 cm büyüklüğünde beş yıl çimlenme yeteneğini koruyabilen, tüylü ve kül rengi tohumlara sahiptir (Günay, 1992; Davis, 1978).

Domates ılıman ve sıcak iklime sahip bölgelerde 15-28 °C sıcaklıklarda ve pH'ı 5-7 arasındaki topraklarda verimli gelişim göstermektedir (Ata, 2015). Domates meyvesi, vitaminler (A, B, C, E ve K), mineraller (potasyum, kalsiyum, demir), karotinoidler (bilhassa likopen) yönünden oldukça zengin içeriğe sahip, kalori ve yağ oranı düşük lifli bir meyvedir (Rhodes, 2008). İçerdiği vitaminlerin ve antioksidatif etkiye sahip karotenoidlerin özellikle likopenin, farklı kanser türlerinde ve kalp hastalıklarında koruyucu, bağışıklık sisteminde ise güçlendirici etkiye sahip olması kısacası sağlığın korunmasına olan etkilerini göz önüne aldığımızda son yıllarda domatesler üzerinde yapılan çalışmalar hayli artmıştır (Raiola ve diğ., 2014). Domates sadece taze haliyle değil, gıda sanayisinde salça, ketçap, çorba, turşu, konserve ve domates suyu şeklinde işlenerek çok fazla kullanım alanına sahip olmasından ötürü dünyada en çok üretilen ve tüketilen ürünlerden bir tanesidir (Dorais ve diğ., 2001).



Şekil 2.3: Dünya’da domates üretilen başlıca ülkeler ve üretim yüzdeleri (%).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)’un son verilerine göre dünyada domates üretiminde Türkiye’nin’de önemli bir payı vardır. Bu verilere göre 2017 yılında domates üretiminde en fazla payı olan ilk beş ülkenin sıralaması Şekil 2.3’de verilmiştir.

- 1- Çin 60 milyon ton
- 2- Hindistan 21 milyon ton
- 3- Türkiye 13 milyon ton
- 4- ABD 11 milyon ton
- 5- Mısır 7 milyon ton üretimi ile 2017 yılında dünya sıralamasındaki ülkeler arasında yer almaktadır (FAO, 2019).

Türkiye, günümüzde dünyanın en önemli domates üreticilerinden birisi olarak kabul edilmektedir. Dünya tarımında önemli bir paya sahip olan domates, ülkemiz tarımında da önemli bir yere sahiptir. Yetiştirilen bölgelerde çiftçilik faaliyetleri ile uğraşan halkın geçim kaynağını oluşturmaktadır. Ülkemizin iklim şartlarının domates yetiştiriciliği için uygun oluşu ve bu meyveyi işleyecek sanayinin 1970’li yıllardan beri aktif bir şekilde devam ediyor oluşu domates meyvesine olan ticari yönelimi hızlandırmıştır (Akpınar, 2014).

2.3. ANTİOKSİDANLAR

Yeryüzünde yaşayan tüm canlı organizmalar çevrelerinde bulunan canlı ve cansız varlıklar ile sürekli iletişim halindedir. Canlılar bulundukları bu çevrede, yaşamsal faaliyetlerine olumsuz yönde etki yapan birtakım faktörlere maruz kalırlar (Büyük ve diğ., 2012).

Bitkisel organizmaların yaşamsal faaliyetleri üzerinde negatif etkilere neden olan dış faktörler yani bitkinin metabolizmasını, büyümesini ve gelişmesini engelleyen koşullar veya maddeler “stres” olarak adlandırılır. Bitkiler doğal süreçleri gereği birçok stres faktörüne devamlı veya aralıklı zamanlarda maruz kalmaktadır. Başlangıçta stres faktörüne maruz kalmak bitkilerin büyüme ve gelişme gibi canlılık fonksiyonlarını olumsuz yönde geçici olarak etkilese de ilerleyen süreçlerde geri dönüşümü olmayan hasarlara neden olabilir. (Gürel ve Avcıoğlu, 2001). Bitkilerde birtakım hasarlara neden olan stres faktörleri mikroorganizmaların enfeksiyonu ve hayvanların saldırıları neticesinde oluşan “biyotik faktörler” ve tuzluluk, kuraklık, sıcaklık, radyasyon ve kimyasallar gibi çevresel etmenler neticesinde oluşan “abiyotik faktörler” olarak gruplandırılmaktadır (Levitt, 1980). Stres faktörlerinin sebep olduğu zarar; bitkinin türüne, tolerans ve adaptasyon yeteneğine göre değişiklik göstermektedir (Madhova ve diğ., 2005).

Bitkisel organizmalar hayvan, bakteri, fungus, virüs ve nematod gibi pek çok organizma için besin kaynağı olmakla birlikte stres faktörlerinden kendilerini korumak, patojen saldırılarını algılamak ve karşı koymak için spesifik proteinlerin sentezi, inaktif yolların aktivasyonu, reaktif oksijen türlerinin oluşumu gibi pek çok savunma mekanizması geliştirmiştir (Plaz 2003). Geliştirilen savunma mekanizmaları üç ana başlık altında toplanmıştır.

2.3.1. Makromoleküllerin ve İyonların Homeostazisi

Abiyotik stres faktörlerinden tuzluluk, kuraklık, kirlilik, radyasyon, ve sıcaklık bitki hücrelerinde dehidrasyona yol açmakta ve iç denge olarak adlandırılan homeostazi bozmaktadır. Örneğin; tuz stresine maruz kalan bitki hücrelerde artan Na^+ iyonları hücre içerisine K^+ iyonlarının alınmasını engelleyerek Na^+/K^+ dengesini bozmakta ayrıca hücrelerde birikerek toksik etki göstermektedir. Bitkilerdeki iyon ve metabolitlerin homeostasisi H-ATPazlar ve H-pirofosfatazların ortamdaki Na^+ iyonlarını uzaklaştırması ile sağlanır. Bitkiler stres faktörleri altında hücrelerinde gerçekleşen dehidrasyon tepkimelerine su iletiminin kontrol ederek, aquaporinler ve iyon taşıma sistemlerini uyararak veya baskılayarak karşı koymaktadır (Wang, 2003).

2.3.2. Koruyucu Moleküllerin Sentezi

Bitkisel organizmaların stres elemanlarına maruz kaldığında verdiği bir diğer tepki mekanizması ise hücrelerinde koruyucu molekülleri sentezletmesidir. Bu özelleşmiş moleküller; hücre içerisinde normal seviyenin üzerine çıkan reaktif oksijen türlerini temizleme reaksiyonlarında rol alan ozmolitler (Smirnoff ve Cumbes, 1989), yanlış katlanmalar sonucu oluşan hasarlı proteinleri bağlayarak stresi engelleyen Heatshock proteinleri (Henle ve diğ., 1999) ve su bağlama fonksiyonu ile su stresine karşı mücadele eden LEA proteinleridir (Chiba ve diğ., 2006).

2.3.3. Reaktif Oksijen Türleri (ROS)

Bitki hücrelerinde çeşitli metabolik aktiviteler neticesinde atomlara veya moleküllere bir elektron eklenmesi ya da çıkarılması sonucunda kararlı bir yapıya sahip olmayan serbest oksijen türleri (ROS) üretilmektedir. Strese maruz kalan bitkide artan ROS'a karşı enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanların oluşumu strese karşı verilen moleküler cevaplardan sonuncusudur. Normal bir bitki hücresinde üretilen ROS konsantrasyonu, bitkinin normal

büyüme ve gelişme sürecinde belirli düzeyde olup ROS'lara karşı sentezlenen antioksidan sistemler ile aralarında bir denge bulunmaktadır (Halliwell ve Gutteridge, 1998). Hücrelerde metabolik aktiviteleri sonucunda oluşan başlıca reaktif oksijen türlerine aşağıda değinilmiştir.

2.3.3.1. Singlet oksijen (1O_2)

Eşleşmemiş elektrona sahip olmamasına rağmen birçok biyolojik molekül ile reaksiyona girmekte ve serbest radikal zincir reaksiyonlarını başlatmaktadır. Bitkilerde Elektron Taşıma Sisteminde O_2 molekülünün dışarıdan aldığı enerji sonucu yörüngesinin ve dönüş yönünün değişmesi ile oluşabileceği gibi superoksit radikalının dismutasyonu sonucunda ve H_2O_2 'nin hipoklorit (ClO^-) ile reaksiyonu sonucunda da ortaya çıkmaktadır. Singlet oksijeni karbon-karbon çift bağları ile doğrudan tepkime meydana getirir. Ayrıca lipid peroksidasyonunu da başlatabilmektedir (Das ve Das, 2000; Nobel, 1974).

2.3.3.2. Süperoksit Radikali (O_2^-)

Bitki kloroplastlarında ETS'de görev alan moleküler oksijen (O_2), aldığı elektron ile indirgenerek kararsız bir yapı olan superoksit radikale dönüşür. Stres faktörleri karşısında sentezi artan bu radikaller sahip oldukları yükten dolayı hücrelerin ve organellerin zarını geçemez ve sentezlendikleri bölgede etkilerini gösterirler (Berghlund ve diğ., 2002).

Superoksit radikalleri, proteinlere bağlı olan metalleri indirgeyerek çeşitli radikaller açığa çıkan tepkimeleri hızlandırmakta veya perhidroksil radikalini oluşturarak membranlarda lipid peroksidasyonunu başlatmaktadır (Asada, 2006). O_2^- anyonu, asidik ortamlarda kendiliğinden veya yüksek katalitik etkiye sahip superoksit dismutaz enziminin etkisi ile daha az zararlı olan H_2O_2 'e katalizlenerek etkisiz hale getirilir (Harbinson ve diğ., 1993).

2.3.3.3. Hidrojen peroksit (H_2O_2)

H_2O_2 yüksek katalitik aktiviteye sahip süperoksit dismutaz'ın süperoksitlere bir elektron eklemesiyle veya O_2 -lerin direkt olarak indirgenmesiyle oluşup difüzyon ile membranları kat edebilen bu serbest radikal, sentezlendiği yerden farklı hücre kısımlarına dağılmaktadır (Liochev ve Fridovich, 2007). H_2O_2 , proteinlere bağlı olan geçiş metalleri ile reaksiyonu sonucunda güçlü oksidasyon yeteneğine sahip metal formlarını meydana getirerek membranlarda lipid peroksidasyonunu başlatmaktadır (Li ve diğ., 2006). H_2O_2 in neden olduğu hasarlar askorbat-

glutasyon döngüsü ile ve antioksidan savunma sistemi enzimlerinden katalaz ve peroksidazla önlenir (Lepeduš ve dig., 2004).

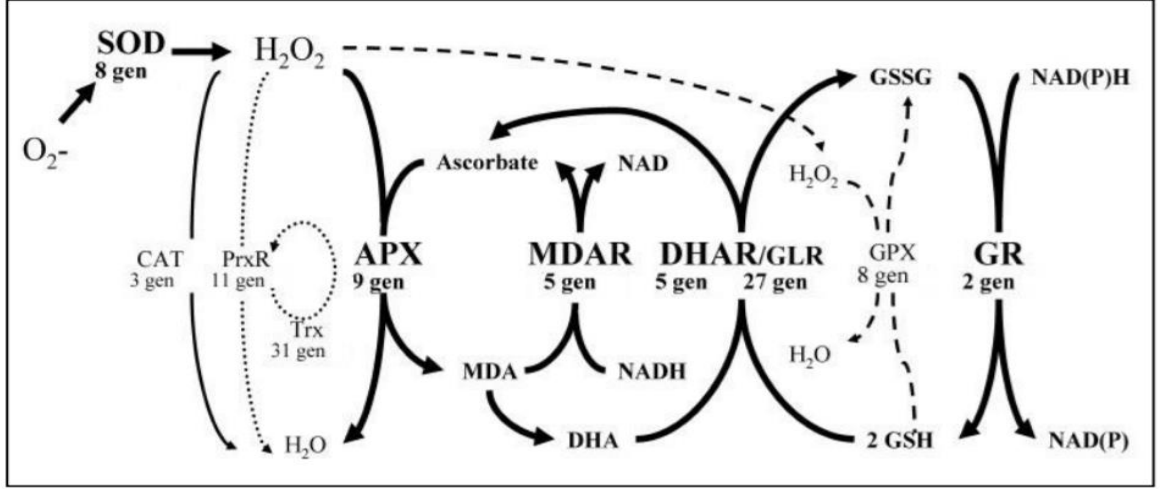
2.3.3.4. Hidroksil Radikali (OH⁻)

Hidroksil radikali (OH⁻), hücrelerde su da dahil karşılaştığı tüm biyomoleküller ile kolaylıkla etkileşime girebilen en etkili reaktif oksijen türlerinden bir tanesidir. OH⁻, biyolojik sistemlere daha az zarar veren hidrojen peroksit ve süperoksit'in bulunduğu ortamlarda meydana gelen Haber–Weiss ve Fenton reaksiyonları neticesinde üretilmektedir (Sigel ve Sigel, 1999; Haber ve Weiss, 1934). Her ne kadar hidroksil radikali tüm biyomoleküller ile reaksiyona girme eğiliminde olsa da elektronca zengin olan proteinler, lipitler ve nükleik asitlerle reaksiyon meydana getirme yeteneği daha yüksektir. Bu reaksiyonlar sonucunda proteinler ile proteolitik yıkım, nükleik asitler ile baz modifikasyon ve zincir kırılmaları, lipit peroksidasyonu ile zincirleme tepkimeler meydana gelmektedir. Lipit peroksidasyonu zarların seçici geçirgenlik işlevini bozarak hücre ölümüne kadar giden hasarlara neden olur (Genestra, 2007).

2.4. BİTKİLERDE ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMLERİ

ROS'lar bitkisel organizmaların tüm yaşam döngüsü boyunca hücreleride sentezlenmektedir. Kararsız olmaları nedeniyle güçlü oksidatif etkiye sahip ROS'lar hücrelerde birikerek memrana ve makromoleküllere saldırma, protein oksidasyonu ve lipit peroksidasyonu gibi sitotoksik etkilere sahiptir. Kararsız atom veya moleküllerin oksidatif etkilerini azaltan veya engelleyen mekanizma, antioksidan savunma sistemidir. Normal şartlarda bitki hücrelerinde metabolik aktiviteler sonucunda meydana gelen reaktif oksijen türleri ve oksidatif hasarları azaltan veya önleyen antioksidanlar arasında bir denge söz konusudur ve antioksidan aktiviteye sahip bileşiklerin bulunması canlıların yaşamlarının devam ettirebilmesi için bir ihtiyaçtır. Bu denge stres faktörleri varlığında bozulmakta ve ROS'ların hücrelerde sebep olduğu hasarlar artarak hücrelerin ölümüyle dahi sonuçlanabilmektedir (Akkus, 1995). Şekil

2.4’de antioksidan savunma mekanizmalarından askorbat-glutatyon döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Askorbat-Glutatyon döngüsü (Smirnoff 2005).

2.4.1. Enzimatik Olmayan Antioksidanlar

2.4.1.1. Askorbik asit

Askorbik asit normal fizyolojik reaksiyonlar ve stres faktörleri neticesinde üretilen ROS’ların temizlenmesinde ve ROS’ların neden olduğu hasarları azaltmada rol oynayan önemli bir antioksidan aynı zamanda suda çözünebilen bir vitamindir (Athar, 2008). Stres koşullarına maruz kalan bitkilerde artan serbest radikallere paralel olarak indirgeme özelliğine sahip askorbik asitin hücredeki düzeyi de artmaktadır. Hücrelerde özellikle superoksit, hidrojen peroksit, hidroksit ve singlet oksijen radikallerini ortamdan temizlemektedir (De Gara ve diğ., 2000).

2.4.1.2. Tokoferoller (Vitamin E)

Tokoferoller bitki hücrelerinde üretilen ROS’ları temizleyen en önemlisi lipid peroksidasyonun zincir reaksiyonlarını durdurmada ve membran kararlılığını korumada görev alan güçlü bir antioksidan ve yağda çözünen bir vitamindir. Bitki hücrelerinde en çok membranlarda özellikle tilakoid membran ve lipoproteinlerde yer almaktadır. Bitkisel hücrelerde α -, β -, γ - ve δ - şeklinde 4 izomeri bulunur. Hücrelerde en yoğun bulunan ve kimyasal yapılarında üç metil grubu bulundurmalarından dolayı antioksidan aktivitesi en fazla olanı ise α tokoferollerdir (Munné-Bosch, 2007).

2.4.1.3. Karotinoidler

Karotinoidler 600 den fazla çeşide sahip olup fotosentetik pigment olmalarının yanı sıra aktif olarak antioksidan savunma sisteminde de görev alan moleküllerdir. Ayrıca bazı karotinoid molekülleri bitkilere renk vermekten sorumludur. Karotinoidler hidroksil, superoksit ve bilhassa singlet oksijen radikallerini hücrelerden temizlemede görev almaktadır. Ayrıca peroksil, alkoksil radikalleri ile tepkimeye girerek lipid peroksidasyonun zincir reaksiyonlarını engellemektedir (Yentür, 2003).

2.4.1.4. Fenolik bileşikler (Flavonoidler, Antosiyaninler)

Fenoller, temelde bir fenol iskeleti ve bu iskeletin etrafına bağlı farklı gruplara göre ayrılmaktadırlar. Fenolik asitler, fenilpropanoidler, flavonoidler, izoflavonoidler, antosiyaninler gibi geniş bir dağılıma sahiptir. Bitkilerde enfeksiyon, yaralanma, ultraviyole ışınından korunma gibi pek çok amaç için kullanılan sekonder metabolitlerin ana kaynağı olan fenolik bileşikler aynı zamanda antioksidan aktiviteye sahiptir (Quan ve diğ., 2008).

2.4.2. Enzimatik Antioksidanlar

2.4.2.1. Süperoksit Dismutaz (SOD)

İlk olarak Mc Cord ve Fridovich in 1968 yılında bulduğu etkili bir antioksidan olan Süperoksit Dismutaz enzimi organizmlardaki reaktif oksijen türleri ile reaksiyon giren ilk savunma sistemi enzimidir. Bu enzimler, merkezlerinde yer alan metal çeşidine göre 3 gruba ayrılır; bakır/çinko (Cu/Zn) SOD, mangan (Mn) SOD, demir (Fe) SOD. Strese karşı üretilen antioksidan bileşikler arasında çok önemli bir yere sahip olan SOD'lar organizmadaki süperoksiti daha az reaktif olan hidrojen peroksit ve serbest oksijene dönüştürerek, dismutasyon reaksiyonlarını gerçekleştirmektedir (Liochev ve Fridovich, 2007).

2.4.2.2. Katalaz (CAT)

İlk defa 1937 yılında saflaştırılan Katalaz (CAT), yapısında demir atomu barındıran bir antioksidandır. CAT, bitkilerin günlük metabolik aktiviteleri ve stres faktörlerine maruz kalması sonucunda üretilen H₂O₂'nin tamamını H₂O ve O₂ moleküllerine dönüştürerek detoksifikasyon mekanizmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Willekens ve diğ., 1997).

2.4.2.3. Peroksidaz (POX)

Peroksidazlar, moleküler yapılarında demir grubu içeren, bitkilerde ligninleşme mekanizmalarında, oksin metabolizmasında, patojen enfeksiyonlarında rol almasının yanı sıra antioksidan savunma sisteminde de aktif olarak rol alarak hidrojen peroksitleri indirgeyen enzimlerdir. Peroksidazlar diğer birçok enzimin inaktif olduğu koşullarda kendi işlevlerini yerine getirebilen, çok geniş pH ve sıcaklık koşullarında çalışabilen enzimlerdir (Demirevska-Kepova ve diğ., 2006).

2.4.2.4. Askorbat Peroksidaz (APOX)

Lignin biyosentezinde, enfeksiyon durumlarında suberin birikiminde görev alan APOX enzimi, kloroplast, sitosol ve peroksizomlarda bulunurlar. Hidrojen peroksit radikallerinin askorbat peroksidazlara bağlanabilme kapasiteleri CAT enzimine kıyasla daha yüksektir. Bu sebeple H₂O₂ detoksifikasyonunda aktif bir role sahiptir (Asada, 2006).

2.4.2.5. Glutasyon Redüktaz (GR)

Glutasyon, askorbat-glutasyon reaksiyonlarında görev alan Glutasyon Redüktaz (GR) enzimini aktif hale getiren koenzimi olarak rol almaktadır. GR, lipid peroksidasyonunun önlenmesinde ve ortaya çıkan okside olmuş glutasyonları (GSSH), redükte glutasyona dönüştürmede görev alan bir antioksidandır. Glutasyonun hücreleri stres faktöründen aktif olarak koruyabilmesi için çoğunluğunun redükte halde bulunması gerekir. Bitki hücrelerindeki GSH/GSSH oranı organizmadaki stresin bir göstergesi aynı zamanda da ölçütüdür (Noctor ve Foyer, 1998).

2.4.2.6. Glutasyon S-transferaz (GST)

Glutasyon S-transferazlar, bir kosubstrat veya koenzim olarak glutasyon (GSH) kullanarak bitki hücrelerinde bir dizi fonksiyonel rol gerçekleştirmektedirler. GST'ler ağırlıklı olarak herbisitlerin detoksifikasyonunu ve oksidatif stres sırasında oluşan organik hidroperoksitlerin indirgenmesini sitosolde gerçekleştirir. Son çalışmalar, GST'leri ultraviyole uyarılabilir hücre sinyal yollarının bileşenleri ve apoptozun potansiyel düzenleyicileri olarak da göstermiştir (Dixon ve ark., 2002).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmamızda çeşitli endüstriyel ortamlarda kullanılan gümüş nanopartikülünün (AgNP) bitkilerdeki fitotoksik etkilerini incelemek amacıyla *Lycopersicon esculentum* Miller'in primer kökleri ve gövdeleri materyal olarak kullanıldı.

3.1. BİTKİ MATERYALİ

3.1.1 *Lycopersicon esculentum* Miller

Bu tez çalışmasında gümüş nanopartikülünün fitotoksik etkilerini incelemek amacıyla Balıkesir Küçükçiftlik Tohumculuk Anonim Şirketin'den temin edilen domates *Lycopersicon esculentum* Miller (SC2121) sertifikalı tohumları kullanıldı. Domates bitkisinin sistematikteki yeri Şekil 3.1.'de verildi.



Alem : Plantae

Bölüm : Magnoliophyta

Sınıf : Magnoliopsida

Takım : Solanales

Aile : Solanaceae

Cins : *Lycopersicon*

Tür : *Lycopersicon esculentum* Miller

Şekil 3.1: *Lycopersicon esculentum* Miller'in sistematikteki yeri.

3.1.2. Test Materyali Temini, Hazırlanması ve Uygulanması

Araştırmada test materyali olarak Nanografi firmasından temin edilen 10 nm boyutlarında gümüş nanopartikülü kullanılmıştır. AgNP; 2000 ppm stok konsantrasyonda (sulu dispersiyon) ve 20 ml'lik analitik standartlar temin edilmiştir. AgNP, literatür araştırmasından elde edilen verilere göre 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm konsantrasyonlarda steril distile suda seyreltilerek uygulanmıştır. Belirlenen konsantrasyonlarda AgNP içeren çözeltilerde domates

tohumları 2, 4 ve 8 saat boyunca imbibisyona bırakılmıştır. Kontrol grubuna ise aynı zamanlarda distile su muamele edilmiştir. Daha sonra aşağıda belirtilen çimlendirme şartlarına uygun olarak cam petrilere ekimler yapılmıştır.

3.1.3. Bitki Materyalinin Sterilizasyonu ve Çimlendirilmesi

Domates tohumlarından morfolojik olarak düzgün olan ve birbirlerine yakın boyutlarda olanlar seçilerek % 0,1'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 5 dk bekletilerek sterilize edildi. Bekleme süresi sonunda domates tohumları distile su ile durulandı ve 10 kez double-distile sudan geçirildi. Otoklavda sterilize edilmiş ve etüvde kurutulmuş, içlerinde distile su ile nemlendirilmiş filtre kağıdı bulunan cam petri kaplarına çimlendirilmek üzere konuldu. Her bir petri kabında (15 cm), 20 adet bulunan tohumlar 16 saat aydınlık, 8 saat karanlıkta, 25 ± 2 °C sıcaklığa, % 45-50 neme ayarlanmış bitki yetiştirme odası şartlarında çimlendirildi. Çimlenen tohum sayısı ve çimlenme oranları 7. günün sonunda belirlenmiştir. Çimlenen tohumların primer kök ve gövde uzunlukları, birey ağırlıkları, tohumların canlılık ve AgNP'ne karşı tolerans indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca 7. günün sonunda çimlenen domates bitkilerinin kök ve gövde dokularından; klorofil, antosiyanin, hidrojen peroksit, malondialdehit, total protein ve antioksidan enzim aktivitelerinin miktarları belirlenmiştir.

3.2. ÇİMLENME PARAMETRELERİ

Çimlenme kayıtları günlük olarak yapılmıştır ve çimlenme yüzdesi 7. günün sonunda hesaplanmıştır. Deneyler üç tekrarlı olarak yapıldı. Çimlenme parametreleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır;

$$\text{Çimlenme Yüzdesi: } (Gf/n) \times 100$$

Gf, deney sonunda toplam çimlenmiş tohum sayısını ve n deneyde kullanılan toplam tohum sayısıdır.

$$\text{Canlılık İndeksi (VI): bitkinin uzunluğu} \times \text{çimlenme yüzdesi (\%)}$$

$$\text{Tolerans İndeksi Yüzdesi (TI): (AgNP'e maruz kalan en uzun kök uzunluklarının ortalaması/en uzun kontrol grubu uzunluğu) \times 100.}$$

3.3. MORFOLOJİK YÖNTEMLER

3.3.1. Kök ve Gövde Uzunluğu

Bitki büyüme odasında; 2, 4 ve 8 saat boyunca 10, 20 ve 40 ppm konsantrasyonunda AgNP içeren sulu dispersiyonu ile ön uygulama yapılmış olan domates tohumlarının 7. gününde kök ve gövde uzunlukları milimetrik taksimatlı cetvel kullanılarak ölçüldü.

3.3.2. Taze Ağırlık Miktarının Ölçülmesi

Kontrol ve AgNP ön uygulaması yapılmış 7 günlük domates fideleri, darası önceden belirlenmiş alüminyum folyo ile tartılarak taze ağırlıkları tespit edildi.

3.3.3. H₂O₂ İçeriğinin Belirlenmesi

Yaklaşık 1 gr donmuş materyal 4 ml % 0.1 (w\w) TCA içeren tamponda homojenize edilmiştir. Homojenat 12000 g'de 20 dk santrifüjlenecektir. 1 ml supernatant, 1 ml 10 mM potasyum fosfat (pH: 7.0) ve 2 ml 1 M KI tamponu karıştırılmıştır. Spektrofotometrik olarak 390 nm dalga boyunda H₂O₂ içeriği belirlendi. H₂O₂ standart grafiği yardımı ile hesaplanmıştır (Velikova ve diğ., 2000).

3.3.4. Lipid Peroksidasyonunun Belirlenmesi

Lipidlerde meydana gelen oksidasyon, tiobarbiturik (TBA) reaksiyonu sonucu oluşan MDA içeriğinin ölçülmesi ile belirlendi (Jiang ve Zhang, 2001). 0.5 gr materyal 10 ml % 0.65 TBA içeren % 10 TCA preparatında homojenize edildi. 95 °C de 25 dk ısıtıldı ve sonrasında buz ortamına alındı. 5000 xg de 10 dk santrifüj yapılmıştır. MDA içeriği 532 nm de ölçülmüştür ve non-spesifik bulanıklık 600 nm de ölçülmüştür. MDA seviyesi ekstinksiyon katsayısı (155 mM⁻¹ cm) kullanılarak nmol g⁻¹ taze ağırlık cinsinden hesaplandı.

3.3.5. Antioksidan Enzim Aktivitesi Tayini

3.3.5.1. Enzim Ekstraktlarının Hazırlanması

Bu aşamadaki işlemlerin tümü proteaz aktivitesini minimum seviyede tutmak amacıyla +4 °C' de gerçekleştirilmiştir. Protein ve enzim ekstraktlarının hazırlanması için 0,1 gr gövde ve kök örnekleri ilk olarak 0,5 ml ekstraksiyon tamponu ile (50 mM Sodyum Fosfat pH: 6.8, 0,1 mM

etilendaimin tetra asetikasit (EDTA) ve %1 (w/v) PVPP homojenize edilmiştir. Askorbat peroksidaz aktivitesi analizi için ise ayrıca homojenizasyon tamponuna 5 mM askorbik asit eklenmiştir. Ardından homojenizasyonu yapılan örnekler 14000 g' de 30 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüjden sonrası ise elde edilen süpernatantlar protein miktarı ve enzim aktivitesi belirlenmede kullanılmıştır.

- **Protein ölçümü:** Bradford (1976) yöntemine göre belirlenmiştir. Ölçüm Coomassie Brilliant Blue G-250 boyasının asidik şartlarda proteine bağlandığında kırmızı ve/veya maviye dönüşmesine dayanmaktadır. Bu mavi renk oluşumu 595 nm'de ölçülmüştür. Standart olarak bovine serum albumin (BSA) kullanılmıştır. Standart aralığı 0,02 – 0,2 mg/ml'dir. Bitki ekstraktlarının protein miktarları elde edilen bu standart ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır.
- **Superoksit Dismutaz enzim aktivitesinin belirlenmesi:** Nitro blue tetrazolium (NBT) un fotokimyasal inhibisyonunun izlenmesi metoduna dayalı olarak Giannopolitis ve Ries (1977)'e göre yapılmıştır. 3 ml reaksiyon karışımı: 50 mM potasyum fosfat buffer (pH: 7.8), 13 mM methionin, 75 μ M NBT, 2 μ M riboflavin, 0.1 mM EDTA, 100 μ M enzim ekstraktı içermektedir. Reaksiyon karışımı 5000 lüks ışık şiddetinde 15 dk bekletilmiştir. Ölçüm 560 nm'de yapılmış ve SOD aktivitesi, NBT'nin %50 inhibisyonu sebep olan enzim miktarı olarak belirlenmiştir.
- **Katalaz enzim aktivitesinin belirlenmesi:** 240 nm dalga boyunda 3 dk boyunca H_2O_2 'nin tükenme oranının belirlenmesi metoduna (Aebi, 1984) göre yapılmıştır. 3 ml reaksiyon karışımı, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH: 7.8), 2 mM Na_2EDTA , 10 mM H_2O_2 ve 100 μ L enzim ekstraktı içermektedir.
- **Glutatyon Reduktaz enzim aktivitesinin belirlenmesi:** NADPH'ın 3 dk boyunca 340 nm'de oksidasyonunun belirlenmesine göre (Schaedle ve Bassham, 1977) ölçülmüştür. Reaksiyon karışımı 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH: 7.8), 2 mM Na_2EDTA , 0.15 mM NADPH, 0.5 mM GSSG ve 200 μ M enzim ekstraktı içermektedir. NADPH'ın eklenmesi ile reaksiyon başlamıştır. NADPH eklenmeyen karışım kör olarak kullanılmıştır.
- **Askorbat Peroksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi:** Nakano ve Asada (1987) metoduna göre yapılmıştır. 1 ml reaksiyon tamponu 50 mM potasyum fosfat (pH: 7), 0.5 mM Askorbat, 0.1 mM H_2O_2 , 200 μ M enzim ekstraktı içermektedir. Enzim ekstraktının eklenmesi ile reaksiyon başlamış ve kör olarak enzim eklenmemiş karışım kullanılmıştır.

- **Total Peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi:** Total Peroksidaz (POX) aktivitesi Herzog ve Fahimi (1973)'e göre belirlenmiştir. Aktivite 465 nm'de 3,3-diaminobenzidin tetrahidroklorid (DAB)'ın oksidasyonu ile absorbansta meydana gelen artış takip edilerek hesaplanmıştır. Reaksiyon karışımı, DAB preparatı, % 0,6'lık H₂O₂ ve enzim ekstraktından oluşmaktadır. Reaksiyon H₂O₂'nin katılmasıyla başlatılacak ve 3 dk boyunca absorban artışı takip edilmiştir.
- **Glutasyon S-Transferaz enzim aktivitesinin belirlenmesi:** Glutasyon S-transferaz aktivitesi Habig ve diğ. (1974) yöntemine göre belirlenmiştir. Glutasyon S-transferaz, 1-kloro-2,4-dinitrobenzen (CDNB) ile glutasyonun –SH grubu arasındaki tepkimeleri katalizlemiştir. Enzim aktivitesi 340 nm'de dakikada oluşan S-2,4-dinitrofenilglutasyonun 1 mikro molünü katalizleyen enzim miktarının ölçülmesiyle belirlenmiştir.
- **Klorofil ve Karotinoid içeriğinin tayini:** Klorofil tayini yapılacak olan materyalin taze ağırlığı alınarak bir miktar CaCO₃ tozu ile % 90 aseton içinde ekstre edilmiştir. Ekstreler 24 saat boyunca +4 °C de bekletildikten sonra 3000 g'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra supernatant spektrofotometrede 480, 630, 645, 665 ve 750 nm dalga boylarında absorpsiyon değerleri ölçülerek herbir örneğin klorofil a, b, ve karotinoid içerikleri µg/ g.T.A. cinsinden tayin edilmiştir (Antia ve diğ., 1963).
- **Antosiyanin içeriğinin belirlenmesi:** Antosiyanin içeriği Mancinelli (1990) metoduna göre tayin edilmiştir. Taze ağırlıkları alınan bitki kısımları %1 oranında asitlendirilmiş 6 ml metanolde ekstre edilir ve 2 gün boyunca +4 °C de bekletildikten sonra 5000 g'de santrifüj edilmiştir. Supernatantdaki antosiyanin içeriği spektrofotometrede 530 ve 657 nm dalga boylarında ölçüldü ve ($A_{530} - 0.33 A_{657}$) formülünde yerine konularak örneklerin birim taze ağırlığındaki antosiyanin içeriği optik yoğunluk olarak ifade tayin edilmiştir.

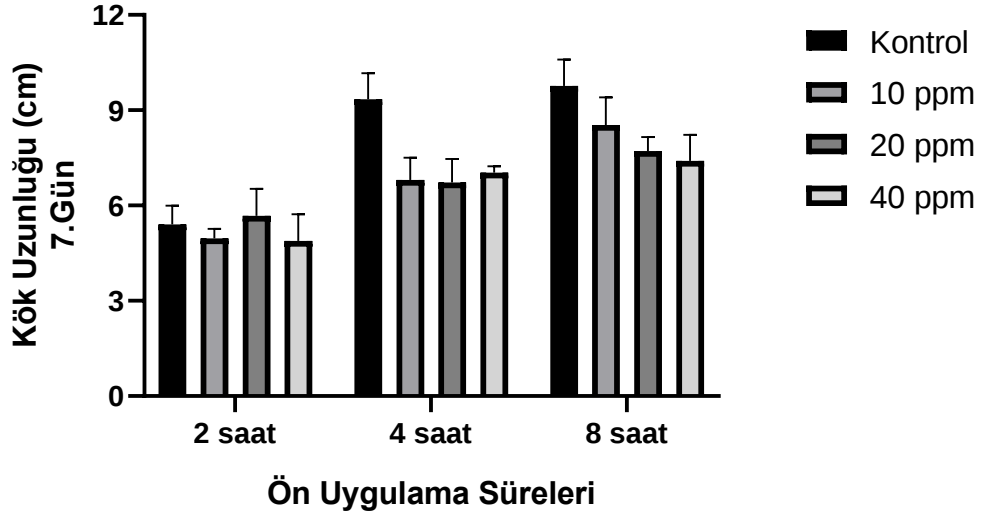
3.4. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Yürütülen çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizleri Graphpad 8.1 paket programında iki yönlü varyans analizi ile ortalama standart sapma değerleri ve Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. KÖK UZUNLUĞU

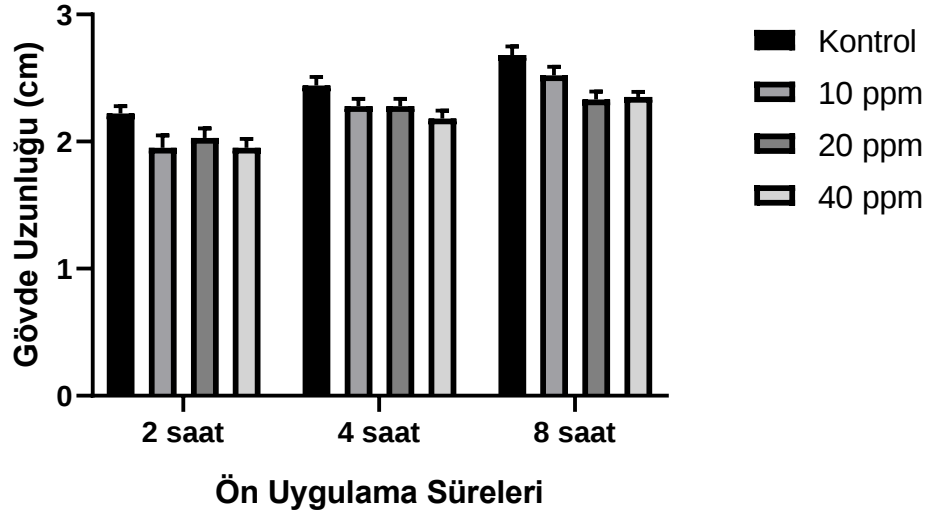
2, 4 ve 8 saat boyunca AgNP içeren çözelti ve distile suda imbibe edilmiş domates tohumları; distile su ile ıslatılmış 2 kat filtre kağıdı içeren cam petrilere ekilmiştir. Çimlenen tohumların, 7 günün sonunda kök uzunlukları ölçüldü. 2 saat boyunca şişmeye bırakılan domates tohumlarının çimlenmesi sonucu, kontrol grubunun kökleri ile AgNP içeren gruplar karşılaştırıldığında, uygulama gruplarının kök uzunluklarında anlamlı bir fark gözlenmedi (Şekil 4.1). Bütün yapılan uygulamalar arasında 2 saat şişmeye bırakılan grup içinde 20 ppm AgNP içeren çözelti uygulanan domates tohumlarının kök uzunluklarında, kontrole kıyasla %5'lik bir artış gözlemlendi. 4 saat imbibisyonun sonucunda ise Ag nanopartikülü uygulanmış köklerde uzunluğun, kontrole göre 10 ppm'de %27, 20 ppm'de %28 ve 40 ppm'de %24 oranında inhibe olduğu gözlemlendi. 8 saatlik uygulamadan sonra ekimi yapılan domates tohumlarının kök uzunluklarında, konsantrasyon (10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm) artışına bağlı olarak sırasıyla %12, %21 ve %24 oranında kısalma kayıt edildi.



Şekil 4.1: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kök uzunluğu (cm).

4.2. GÖVDE UZUNLUĞU

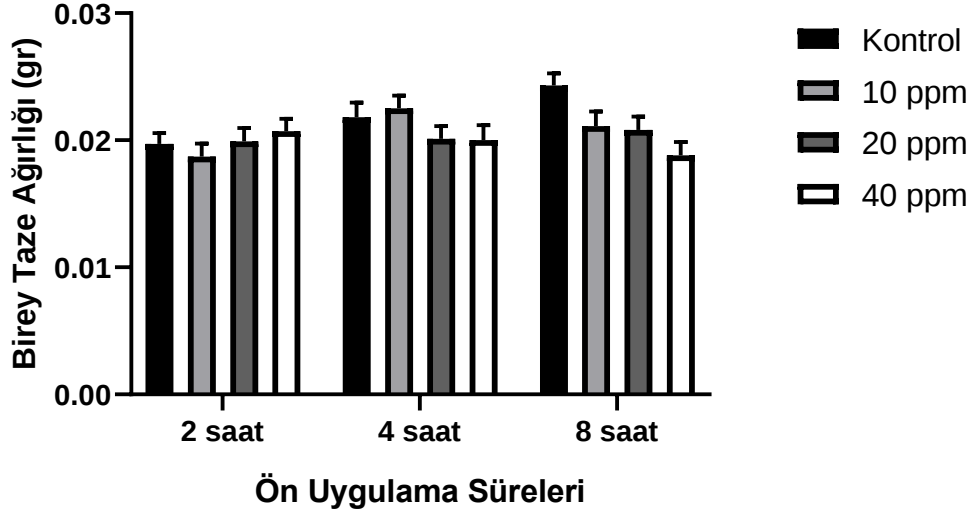
AgNP ile yapılan ön uygulama sonucunda 7 günlük domates bitkisinin gövde uzunlukları, 2 ve 4 saatlik uygulama gruplarında kontrol grubuna kıyasla istatistiksel açıdan anlamlı olarak tespit edilmedi. 8 saat şişmeye bırakılan domates tohumlarının gövde uzunlukları, konsantrasyon artışına bağlı olarak kontrole göre, 20 ve 40 ppm'de %12-14 arasında kısalmaya başladığı saptanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin gövde uzunluğu (cm).

4.3. BİREY TAZE AĞIRLIĞI

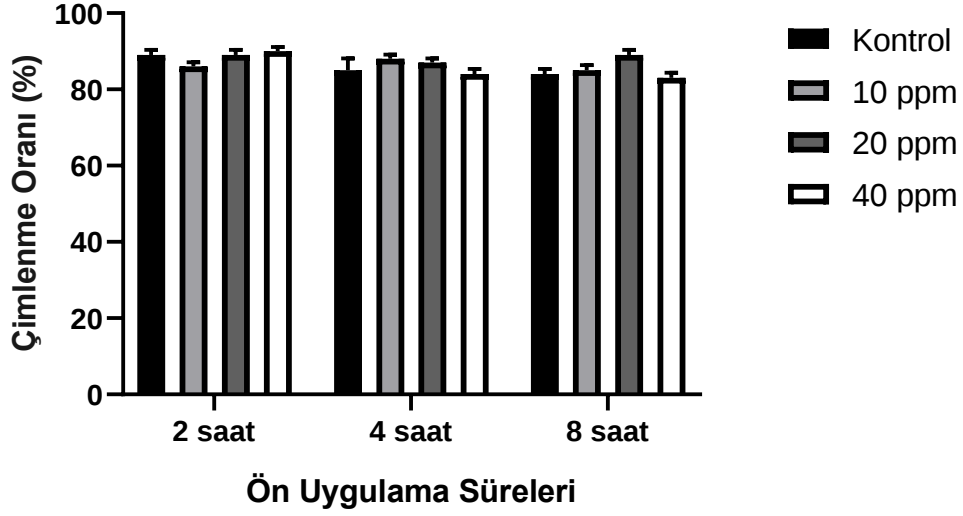
Normal çevre koşullarında yetiştirilen 7 günlük domates fidelerinin yaş birey ağırlığında, AgNP ve distile su ile yapılan uygulamalarda kontrol grubu ile 2 saatlik ön uygulamanın 20 ppm AgNP uygulanan grubu ile 4 saatlik ön uygulamanın 10 ppm grubu hariç diğer bütün gruplarda negatif yönde bir eğilim görülmektedir. 2 saatlik ön uygulamanın 20 ppm AgNP uygulanan grubunda %1,24 ve 4 saatlik ön uygulamanın 10 ppm grubunda %3'lük oranda yaş birey ağırlığı artmıştır. 8 saatlik ön uygulamanın 40 ppm grubunda birey taze ağırlığı %22 oranda azalmıştır. Taze birey ağırlığı, 4 saatlik uygulamada ise 20 ppm ve 40 ppm AgNP içeren gruplarda %8 oranında düşmüştür. Bu oranın, 2 saatlik ön uygulamanın 10 ppm ve 40 ppm AgNP içeren grubunda ise %5'te kaldığı görülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin birey taze ağırlığı (gr).

4.4. ÇİMLENME YÜZDESİ

Her deney grubu için alınan 300 tohum 2, 4 ve 8 saat'lik zaman dilimlerinde deney çözeltisi içinde bekletilmiş ve kontrol, 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm AgNP'nin tohum çimlenmesi üzerindeki etki yüzdeleri hesaplanmıştır. Kontrol grubunda tohumlar 3. gün çimlenmeye başlamıştır. Uygulama dozlarında ise çimlenmenin geciktiği gözlenmiştir. Yapılan ölçümlerde hem kontrol grubu ile deney konsantrasyonlardaki uygulama grupları arasında, hem de uygulama süreleri (2, 4 ve 8 saat) arasındaki çimlenme oranlarında %2 ile %5 oranında artış ve azalış tespit edilmiştir. 2 saatlik ön uygulama yapılan bitkilerde çimlenme oranları kontrol grubuyla kıyaslandığında 10 ppm %3'lük bir azalma, 20 ve 40 ppm AgNP gruplarında ise yaklaşık olarak %2'lik bir artma görülmektedir. 4 saatlik ve 8 saatlik ön uygulama yapılan grup bitkilerinde kontrol grubu ile 10 ppm ve 20 ppm karşılaştırıldığında sırasıyla %3'lik ve %2'lik artma görülürken, 40 ppm AgNP uygulamasında %2'lik düşüş gözlenmektedir (Şekil 4.4).



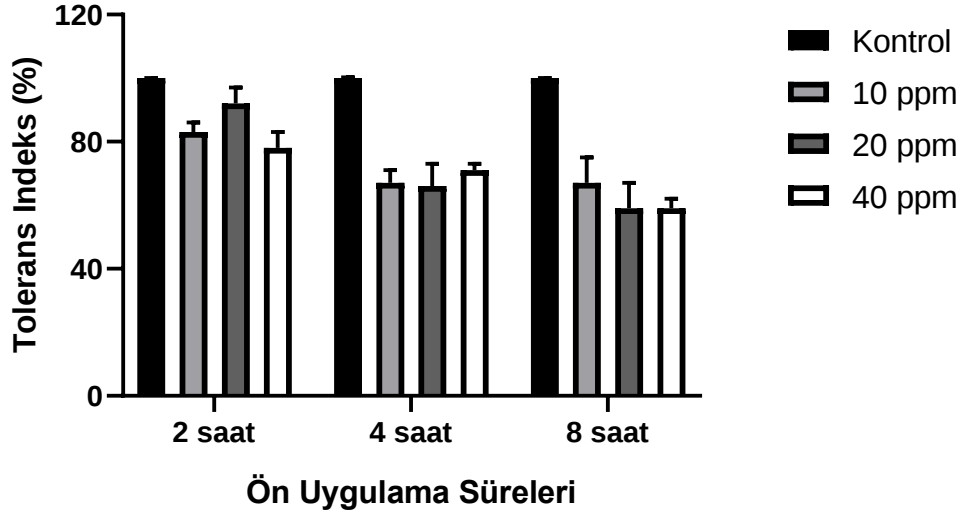
Şekil 4.4: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış domates tohumlarının çimlenme yüzdesi (%).

4.5. CANLILIK İNDEKSİ VE TOLERANS İNDEKSİ

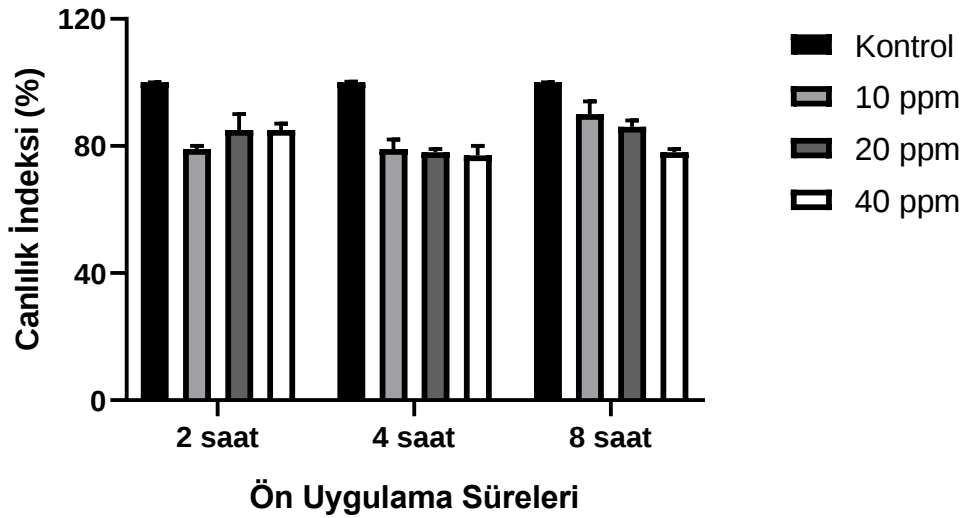
7 günlük domates bitkilerinde yapılan tohum çimlenme oranı, kök ve gövde boyu ölçümlerinin sonucunda hem kontrol grubu ile deney konsantrasyonlardaki uygulama grupları arasında, hem de ön uygulamanın yapıldığı süreler arasındaki canlılık ve tolerans indeksi (%) oranlarında istatistiksel bakımdan anlamlı bir fark tespit edilmiştir. Domates tohumlarına yapılan 2 saatlik ön uygulamanın sonucu olarak canlılık indeksinde kontrole göre 10 ppm’de %21’lik, 20 ve 40 ppm’de ise %15’lik bir oranda düşüş saptanmıştır. Diğer uygulama sürelerinde, 4 saatlik uygulama grubunda %21-24 arasında, 8 saatlik uygulamalar sonucunda ise %10-22 arasında bir düşüş kaydedilmiştir (Şekil 4.6).

Tolerans indeksinin sonuçları değerlendirildiğinde, 2 saatlik ön uygulama grupları arasında en yüksek AgNP tolerans gösteren grup %8’lik bir azalma ile 20 ppm AgNP uygulanan grup olmuştur. Buna ek olarak en az tolerans gösteren grup ise konsantrasyon artışına bağlı olarak 40 ppm AgNP (%22) içeren grup olmuştur. 4 saatlik ön uygulama da ise 2 saatlik ön uygulama ile ters olan bir sonuç elde edilmiştir. En toleranslı grup %29’luk bir azalma ile 40 ppm AgNP içeren grup olmuştur. Yapılan AgNP uygulamalarına en uzun süre maruz kalan ve tohumlardaki enzimatik reaksiyonun en hızlı olduğu period olan 8 saatlik uygulamada kontrol

grubu ile diğer gruplar arasında konsantrasyon artışına bağlı olarak tolerans indeksinde %33-41 arasında düşüş tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış domates tohumlarının tolerans indeksi yüzdesi (%).

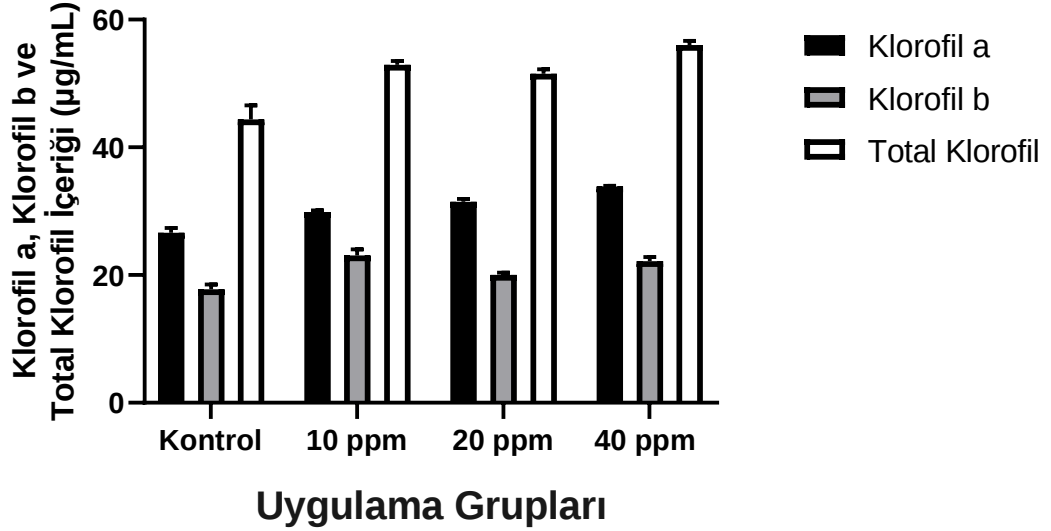


Şekil 4.6: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış domates tohumlarının canlılık indeksi yüzdesi (%).

4.6. KLOROFİL VE KAROTİNOİD İÇERİĞİ

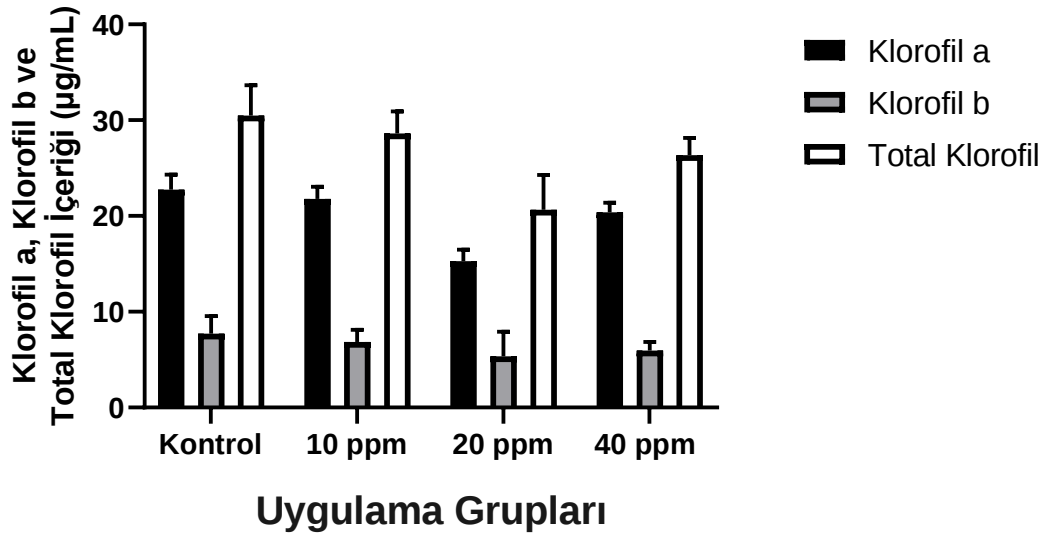
Kontrol ve 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm AgNP serileri ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılan tohumların 7 gün sonunda kotiledonlarında klorofil a, klorofil b, total klorofil ve total karotinoid miktarları Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterildi.

AgNP konsantrasyonlarındaki artışın ve farklı uygulama sürelerinin; pigment içeriği üzerinde önemli etkileri olduğu saptanmıştır. Domates tohumlarına yapılan 2 saatlik AgNP ön uygulamasından 7. gününde kotiledon klorofil a değeri kontrol ile karşılaştırıldığında konsantrasyon artışına paralel olarak artmıştır. En yüksek konsantrasyon olan 40 ppm’de %27’lik bir artış gözlenmiştir. Klorofil b değerlerinde 10 ppm ve 40 ppm’de sırasıyla kontrole göre %29 ve %24 düzeylerinde, 20 ppm’de ise %12 oranında artış saptanmıştır. Total klorofil oranında kontrole göre tüm konsantrasyonlarda yükseliş gözlemlenmiş ve 40 ppm’de bu artış %26 oranına varmaktadır. Total karotinoid miktarında 2 saatlik ön uygulamada ise 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm AgNP deney gruplarındaki bitkilerin yapraklarında kontrole göre sırasıyla %4, %24 ve %35’lik bir artış görülmüştür.

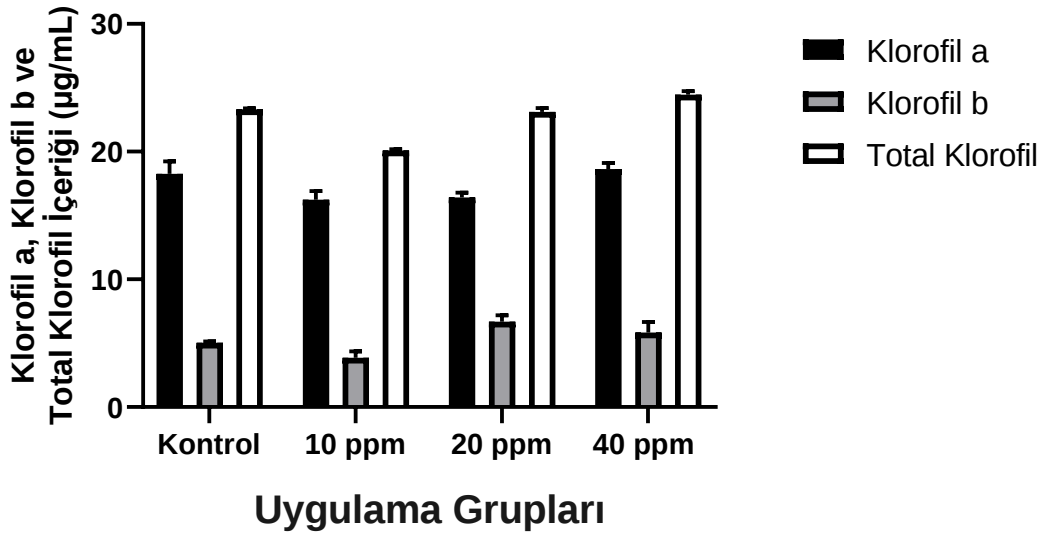


Şekil 4.7: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında klorofil a, klorofil b ve total klorofil içeriği (µg/ml).

4 saatlik ön uygulamanın tüm AgNP konsantrasyonlarında klorofil a seviyeleri kontrole göre en fazla 20 ppm AgNP içeren grupta %33 oranında indirgenmiştir. Klorofil b değerlerinde kontrole kıyaslandığında 20 ppm ve 40 ppm’de sırasıyla %31 ve %27’lik düzeylerde eksilmeler açığa çıkmıştır. Total klorofil oranında kontrole göre 20 ppm ve 40 ppm’de sırasıyla %23 ve %14’lük oranında eksilme belirlenmiştir (Şekil 4.8). 10 ppm ve 40 ppm’deki karotinoid seviyesi kontrole göre yaklaşık olarak %8 oranında azalırken, 20 ppm’de karotinoidin %31’lik indirgenme gösterdiği tespit edilmiştir.



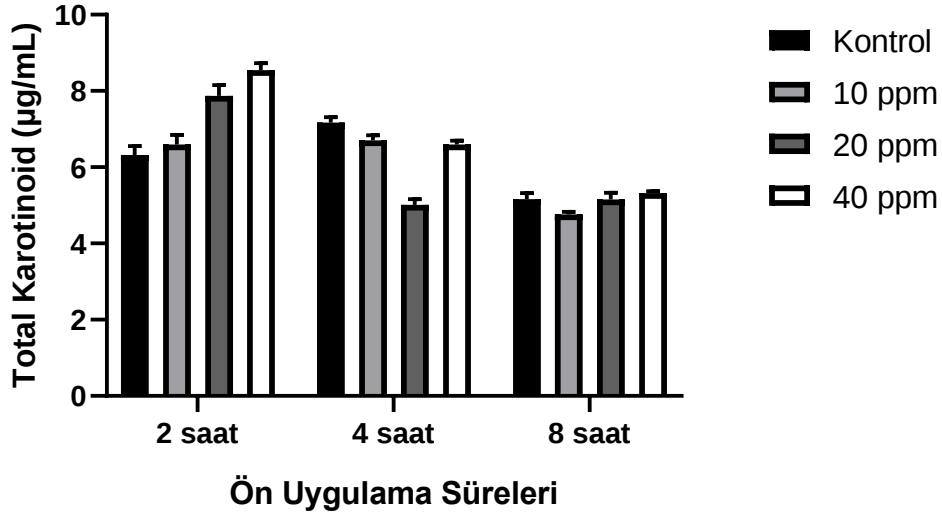
Şekil 4.8: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 4 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında klorofil a, klorofil b ve total klorofil içeriği (µg/ml).



Şekil 4.9: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 8 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında klorofil a, klorofil b ve total klorofil içeriği (µg/ml).

Yapılan ön uygulamalar içinde 8 saatlik periyotta, klorofil a değerlerinde kontrole oranla 10 ppm ve 20 ppm’de sırasıyla %12 ve %11’lik düşüşler gözlenmektedir (Şekil 4.9). Klorofil b değerinde 10 ppm’de %24 düzeyinde bir düşüş yaşanırken 20 ppm değerinde %32’lik bir oranda artış tespit edilmiştir. Total klorofil oranında kontrole göre 40 ppm’de %5’lik artış yaşanırken ve diğer konsantrasyonlarda bir düşüş gözlenmiştir. En yüksek azalma 10 ppm’de

%14 seviyesindedir. Karotinoid seviyelerinde ise; 20 ppm AgNP uygulanan deney grubunun değerleri kontrole çok yakinken, 10 ppm’de %8’lik bir azalma ve 40 ppm’de %3 lük bir artma istatistiksel açıdan anlamlı görülmemiştir.



Şekil 4.10: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saatlik ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkilerinin kotiledonlarında total karotinoid içeriği (µg/ml).

4.7. ANTOSİYANİN İÇERİĞİ

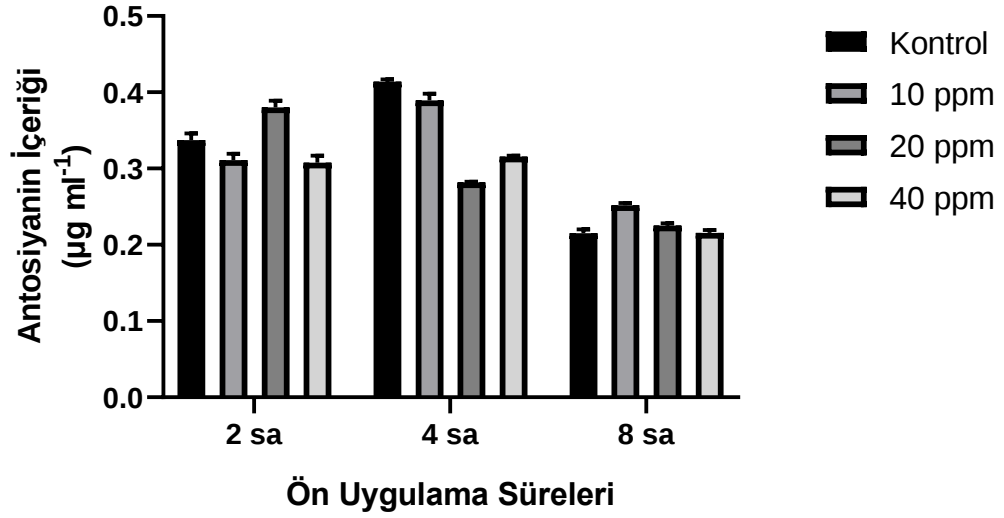
Tablo 4.1: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kotiledonlarında antosiyanin içeriği (µg ml⁻¹).

AgNP Konsantrasyonu	Antosiyanin içeriği (µg ml ⁻¹)		
	2 saat	4 saat	8 saat
Kontrol	0,3371 ± 0,0090	0,4140 ± 0,0028	0,2152 ± 0,0049
10 ppm	0,3108 ± 0,0086	0,3892 ± 0,0090	0,2520 ± 0,00286
20 ppm	0,3801 ± 0,0089	0,2819 ± 0,0008	0,2253 ± 0,0028
40 ppm	0,3075 ± 0,0093	0,3156 ± 0,0011	0,2154 ± 0,0039

Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin ilk yapraklarındaki antosiyanin içerikleri Tablo 4.1 ve Şekil

4.11’de gösterildi. Çeşitli AgNP konsantrasyonları uygulanan domates bitkisinin kotiledonlarındaki antosiyanin içeriklerinin konsantrasyon artışına bağlı olarak azaldığı, 2 saatlik ön uygulama yapılan gruptaki yalnızca 20 ppm AgNP içeren çözelti (%13) ve 8 saatlik ön uygulama yapılan gruptaki AgNP içeren bütün konsantrasyonlarında kontrole göre antosiyanin miktarında artış gözlemlendi.

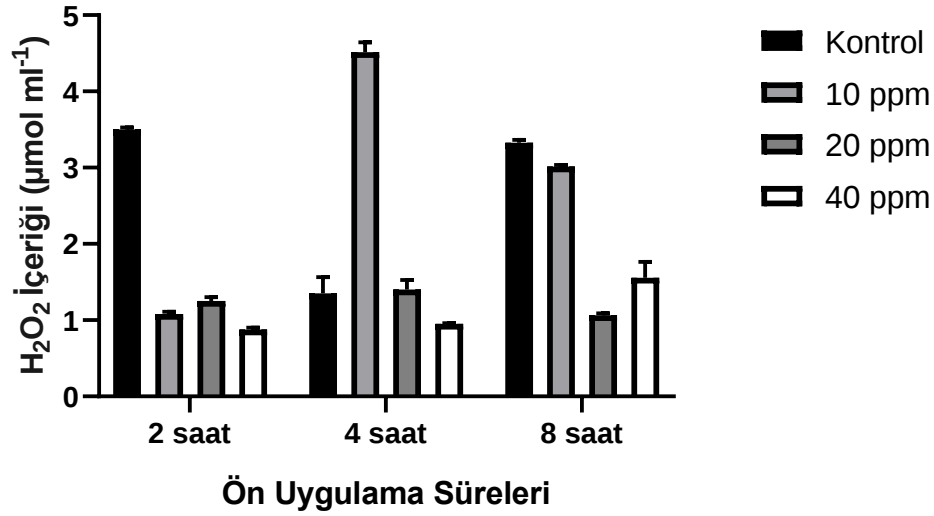
4 saatlik AgNP ön uygulamasında 10, 20 ve 40 ppm’de antosiyanin miktarında kontrole oranla sırasıyla %6, %32 ve %24 düzeylerinde azalma tespit edilmiştir. AgNP içeren çözelti ile 8 saat ön uygulama yapılmış olan grupta ise 10, 20 ve 40 ppm’de kontrole kıyasla sırasıyla %17, %4 ve %1 düzeylerinde artış yaşanmıştır.



Şekil 4.11: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kotiledonlarında antosiyanin içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).

4.8. HİDROJEN PEROKSİT İÇERİĞİ

Kontrol ve 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm AgNP serileri ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılan domates tohumlarının çimlenmeye başladıktan 7 gün sonra; kök ve gövde dokularındaki H_2O_2 miktarları Tablo 4.2, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de gösterildi. Domates tohumlarına yapılan 2 saatlik AgNP ön uygulamasından sonra kök dokularındaki H_2O_2 miktarları kontrol ile karşılaştırıldığında konsantrasyon artışının tam tersi oranında azalma tespit edildi. En yüksek konsantrasyon olan 40 ppm’de %75’lik bir azalma gözlemlenmiştir. Aynı uygulama süresine ait olan gövde dokularında ise 10 ppm ve 40 ppm’de sırasıyla %40’lık ve %23’lük bir eksilme görülür iken, 20 ppm’de kontrole yakın bir değer izlendi.



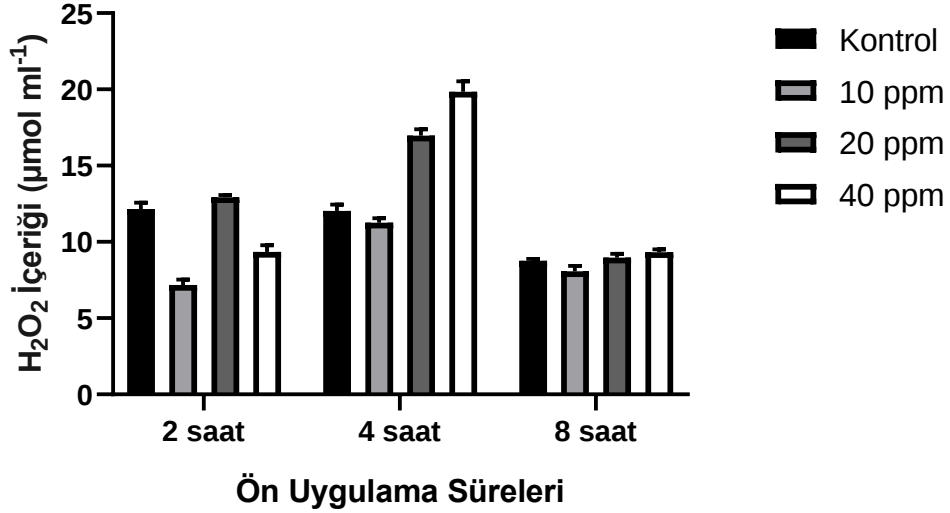
Şekil 4.12: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında H₂O₂ içeriği (µg ml⁻¹).

10 ppm AgNP içeren çözeltilerde 4 saat ön uygulama yapılmış 10 ppm serilerinde H₂O₂ birikiminin köklerde kontrole göre yaklaşık 3 kat arttığı saptandı. 4 saatlik uygulama grubu içerisinde 20 ve 40 ppm AgNP uygulamasında kök kontrole göre önemli bir değişim görülmezken gövde dokularında AgNP konsantrasyonu artışı H₂O₂ oluşumunu teşvik ettiği tespit edildi (20 ppm’de %41, 40 ppm’de %65).

Tablo 4.2: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında H₂O₂ içeriği (µg ml⁻¹).

AgNP	H ₂ O ₂ içeriği (µg ml ⁻¹)					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	3,5000 ± 0,0810	12,1525 ± 0,4393	1,3500 ± 0,6094	12,0250 ± 0,4234	3,3250 ± 0,1165	8,7625 ± 0,1302
10 ppm	1,0830 ± 0,0752	7,1700 ± 0,3743	4,5125 ± 0,3720	11,250 ± 0,3121	3,0125 ± 0,0641	8,0750 ± 0,3454
20 ppm	1,2500 ± 0,1512	12,924 ± 0,1670	1,4000 ± 0,3627	16,9625 ± 0,4406	1,0625 ± 0,0744	8,9750 ± 0,2493
40 ppm	0,8750 ± 0,1512	9,34375 ± 0,4387	0,9525 ± 0,0293	19,8588 ± 0,0690	1,5571 ± 0,5878	9,3125 ± 0,1959

Yapılan ön uygulamalar içinde 8 saatlik periyotta domates bitkisinin kök dokularında H_2O_2 miktarında kontrole oranla 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm’de sırasıyla %9, %68 ve %53’lük düşüş gözlenmektedir. Gövde dokularında ise kontrol ile karşılaştırıldığında 10 ppm’de %7 oranda H_2O_2 miktarında azalma olurken, 20 ppm ve 40 ppm’de ise %2 ve %6’lık birikim belirlendi.



Şekil 4.13: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında H_2O_2 içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).

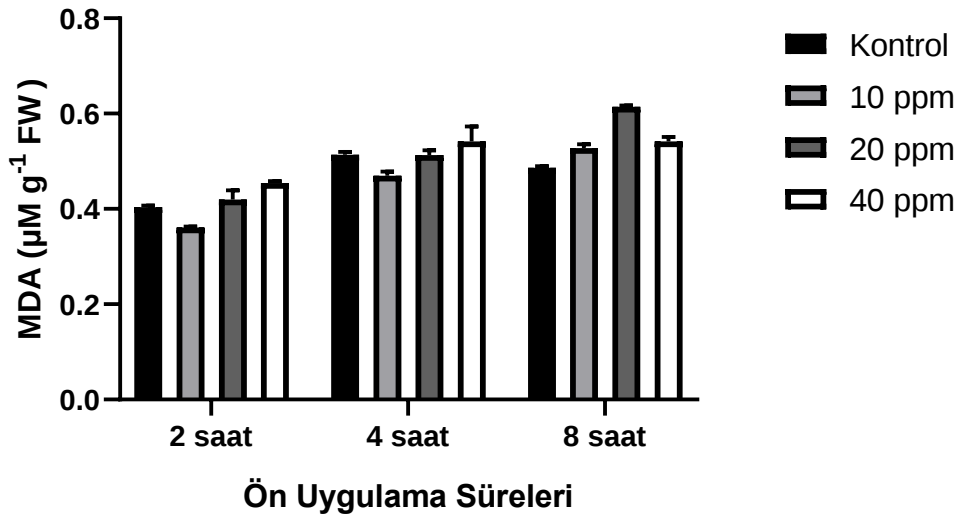
4.9. MALONDİALDEHİT İÇERİĞİ

Tablo 4.3: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında MDA içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).

AgNP	MDA içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$)					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0,4039 $\pm$ 0,0074	2,0232 $\pm$ 0,0217	0,5135 $\pm$ 0,0134	1,9897 $\pm$ 0,0174	0,4865 $\pm$ 0,0074	1,4039 $\pm$ 0,0315
10 ppm	0,3613 $\pm$ 0,0046	1,8232 $\pm$ 0,0367	0,4697 $\pm$ 0,0196	1,4168 $\pm$ 0,0515	0,5277 $\pm$ 0,0179	1,4116 $\pm$ 0,0473
20 ppm	0,4194 $\pm$ 0,0442	1,6532 $\pm$ 0,0186	0,5129 $\pm$ 0,0227	1,9129 $\pm$ 0,0186	0,6145 $\pm$ 0,0062	1,5070 $\pm$ 0,0319
40 ppm	0,4542 $\pm$ 0,0098	1,7001 $\pm$ 0,0083	0,5419 $\pm$ 0,0689	1,6310 $\pm$ 0,0324	0,5419 $\pm$ 0,0204	1,2865 $\pm$ 0,0126

AgNP ön uygulamalarının 7 günlük domates bitkilerinin kök ve gövde dokularındaki lipid peroksidasyonu üzerindeki etkileri yıkım ürünlerinden birisi olan malondialdehit (MDA) miktarının ölçülmesi ile tespit edildi. Kök ve gövdedeki MDA içeriğinin AgNP konsantrasyonun ve uygulama sürelerinin artışına bağlı olduğu tespit edildi. 2 saatlik AgNP ön uygulaması neticesinde domates bitkilerinin kök dokusundaki MDA miktarları 10 ppm'de %10 oranında düşerken 20 ppm'de kontrole yaklaşmakta ve 40 ppm'de hafif yükselmektedir. Aynı saatlik ön uygulamanın gövde dokularında ise kontrole göre bütün uygulama gruplarında MDA miktarında bir eksilme olduğu gözlenmiştir. En büyük azalma miktarı 20 ppm AgNP uygulanan gruptadır (%18).

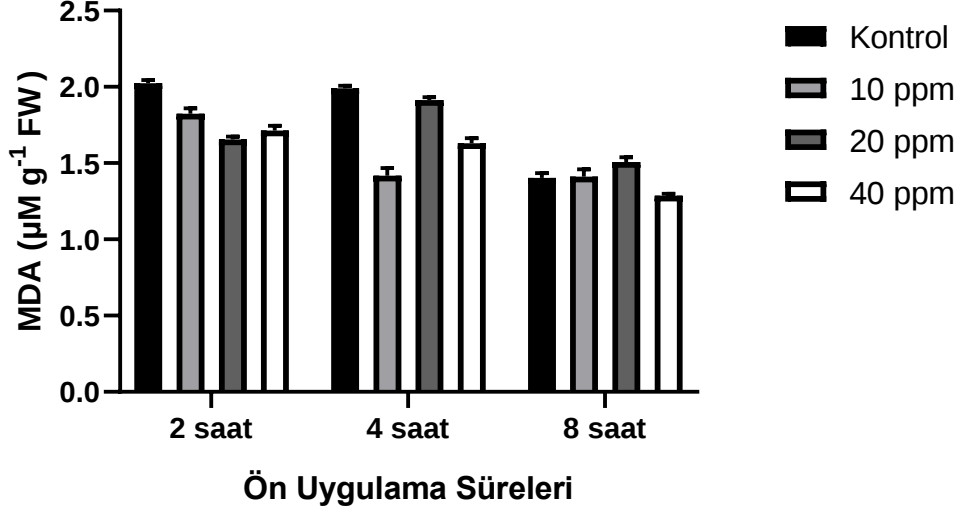
4 saatlik AgNP ön uygulaması sonrasında ekilen domates bitkilerinin köklerindeki MDA miktarı incelendiğinde kontrol grubuna en yakın değerlerin 2 saatlik uygulamalarda olduğu gibi 20 ppm serilerinde görüldüğü dikkat çekmiştir. Bu ön uygulama gruplarının gövde dokusunda ise kontrol kıyasla 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm'de sırasıyla %28, %4 ve %18'lik bir oranda eksilme görülmektedir.



Şekil 4.14: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında MDA içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$).

8 saatlik ön uygulamanın domates bitkisinin kök dokularındaki MDA miktarına etkisinde kontrole göre artış gözlenmektedir. Hem kök hem de gövde dokularında MDA miktarında en fazla miktarın görüldüğü grup 20 ppm'dir, sırasıyla %26 ve %7. Gövde dokusu açısından

diğer gruplar değerlendirildiğinde ise 10 ppm kontrole yakın çıkmasına rağmen 40 ppm’de MDA miktarında %8 bir oranda azalma saptandı.



Şekil 4.15: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında MDA içeriği (µg ml⁻¹).

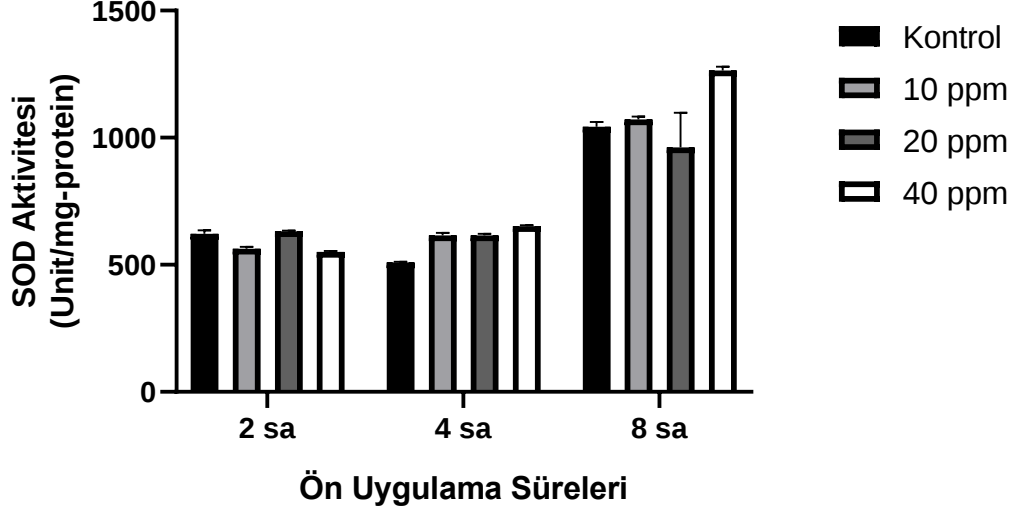
4.10. SÜPEROKSİT DİSMUTAZ (SOD) AKTİVİTESİ

Tablo 4.4: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında süperoksit dismutaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

AgNP	SOD içeriği (Unit/mg-protein)					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0,6222 ± 0,0134	1,3901 ± 0,0195	0,5090 ± 0,0028	1,6497 ± 0,0204	1,0431 ± 0,0193	3,3226 ± 0,1442
10 ppm	0,5634 ± 0,0070	0,8009 ± 0,0758	0,6157 ± 0,0093	1,4061 ± 0,0691	1,0724 ± 0,0104	3,0873 ± 0,1334
20 ppm	0,6317 ± 0,0056	1,2058 ± 0,0707	0,6161 ± 0,0108	1,3471 ± 0,0554	1,0981 ± 0,0829	2,3715 ± 0,2554
40 ppm	0,5502 ± 0,0047	0,0047 ± 0,0601	0,6523 ± 0,0038	1,7624 ± 0,0433	1,2687 ± 0,0373	2,4319 ± 0,2145

10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm lik konsantrasyonlarda AgNP ön uygulamalarından sonra 7 günlük domates bitkilerinin kök ve gövde dokularında Süperoksit Dismutaz enzim aktiviteleri ile ilgili veriler Tablo 4.4, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Elde edilen bulgular

incelendiğinde kök dokularında en yüksek orandaki artış 4 saatlik ön uygulamanın 40 ppm grubunda %28 ile görülmektedir. Gövde dokularda ise genel itibarıyla düşüş gözlenmektedir.

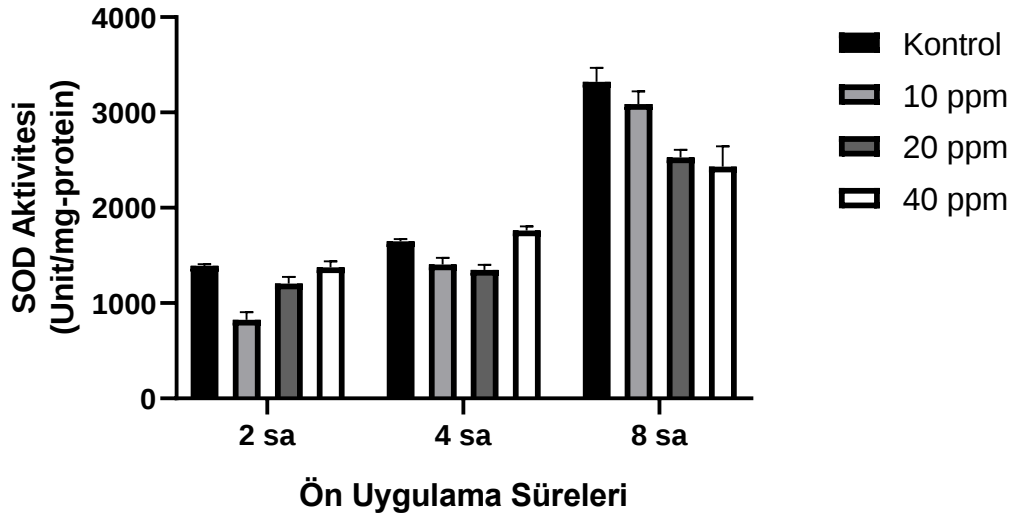


Şekil 4.16: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında süperoksit dismutaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

2 saatlik AgNP ön uygulamalarına maruz bırakılan domates tohumları 7. gün sonunda incelendiğinde köklerdeki SOD aktivitesi 10 ve 40 ppm'de %9 ve %11.5, gövdede ise 10 ve 20 ppm %42 ve %13 lık oranda düşerken; köklerde 20 ppm ile gövdede 40 ppmde istatistiksel açıdan anlamlı bir değişim görülmemiştir.

Yapılan 4 saatlik ön uygulamada domates bitkisinin kök dokularında konsantrasyon artışına paralel olarak sırasıyla %20.5, %21 ve %28'lik bir oranda SOD etkinliklerinde yükselmeler olduğu kaydedilirken, gövde dokusunda ise 10 ppm, 20 ppm ve 40ppm'de sırasıyla %15, %18 ve %7'lik düşüş olduğu gözlenmektedir.

8 saatlik ön uygulamalarda domates bitkisinin kök dokularında SOD aktivitesinde kontrole göre artış istatistiksel açıdan anlam ifade etmezken kontrol ile kıyaslanan gövde dokularında ise artan 20 ve 40 ppm'lik gruplarda %29 ve %27'lik oranda SOD etkinliklerinde azalma saptanmıştır.



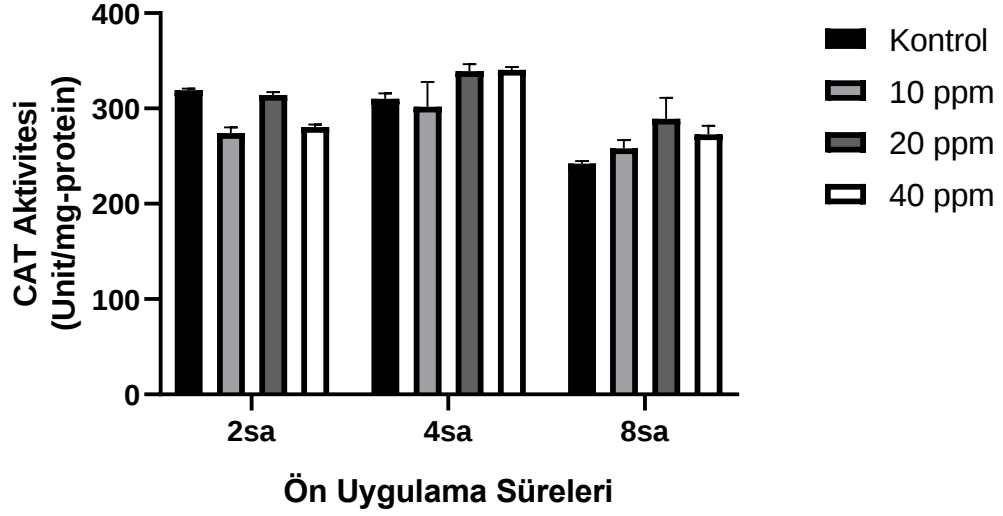
Şekil 4.17: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında süperoksit dismutaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

4.11. KATALAZ (CAT) AKTİVİTESİ

Tablo 4.5: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında katalaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

AgNP	CAT içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$)					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0,0319 $\pm$ 0,0005	0,0219 $\pm$ 0,0011	0,0310 $\pm$ 0,0015	0,0227 $\pm$ 0,0007	0,0242 $\pm$ 0,0002	0,02553 $\pm$ 0,0027
10 ppm	0,0274 $\pm$ 0,0016	0,0215 $\pm$ 0,0015	0,0302 $\pm$ 0,0069	0,0185 $\pm$ 0,0012	0,0258 $\pm$ 0,0024	0,01947 $\pm$ 0,0027
20 ppm	0,0314 $\pm$ 0,0008	0,0222 $\pm$ 0,0007	0,0339 $\pm$ 0,0019	0,0211 $\pm$ 0,0013	0,0289 $\pm$ 0,0051	0,01903 $\pm$ 0,0016
40 ppm	0,0280 $\pm$ 0,0008	0,0210 $\pm$ 0,0007	0,0341 $\pm$ 0,0008	0,0208 $\pm$ 0,0004	0,0273 $\pm$ 0,0018	0,01499 $\pm$ 0,0011

2, 4 ve 8 saat boyunca farklı konsantrasyonlarda AgNP içeren çözelti serileri ile imbibisyona bırakılan domates tohumlarının 7. günün sonunda kök ve gövde dokularında katalaz enzim aktivitesi ölçümleri Tablo 4.5, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.

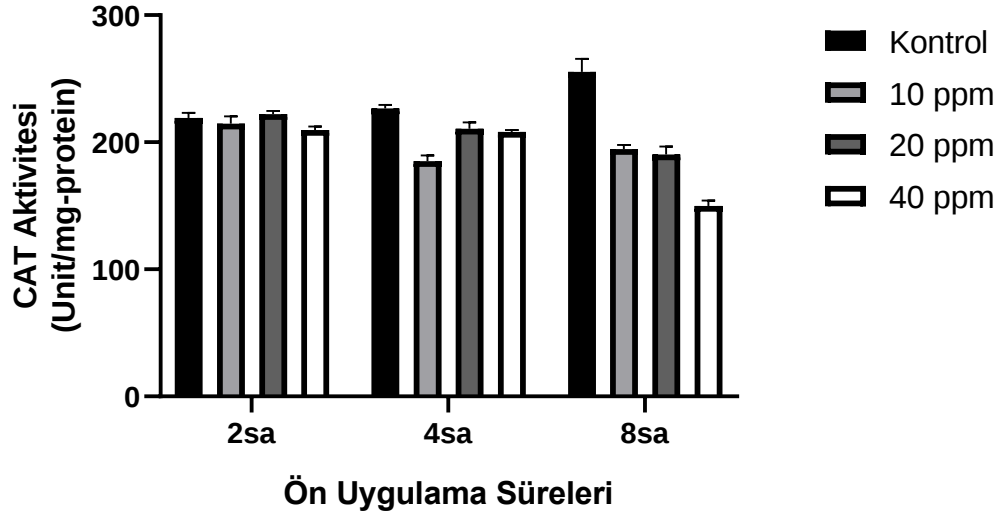


Şekil 4.18: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında katalaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

CAT enzim aktivitelerinin seviyelerinde meydana gelen değişimler incelendiğinde köklerde en yüksek %19.5'lik artış ile 20 ppm konsantrasyonlu çözeltiliye 8 saat maruz kalan domateslerde görüldüğü buna karşılık ise gövde dokularında en düşük değerlerin 8 saatlik serilerin 40 ppm'lik ön uygulamalarında (%41) meydana geldiği saptanmıştır.

Şekil 4.18 ve 4.19 incelendiğinde farklı konsantrasyonlardaki 2 saatlik ön uygulamalarda köklerde CAT enzimi aktivitesinde sırasıyla 10 ppm ve 40 ppm de %14 ve %12'lik azalma görülmüştür. Gövdelerde ise kontrol serileri ile kıyasla 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm'de istatistiksel açıdan anlamlı bir fark görülmediği tespit edilmiştir.

4 saatlik ön uygulamalarda kontrole kıyasla 20 ppm ve 40 ppm'de %9'luk artış istatistiksel açıdan anlamsızken gövde dokularında 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppmde sırası ile %18, %7 ve %8 oranında bir düşüş gözlenmektedir. Domates bitkisinin 8 saatlik ön uygulamalarında kontrole kıyasla kök dokularında CAT aktivitesinde görülen sonuçlar anlam ifade etmemektedir. Gövde dokularında ise kontrol serileri ile doğru orantılı olarak artan konsantrasyon değerlerine bağlı olarak sırasıyla %24, %25.5 ve %41'lik azalma ile en düşük enzim seviyeleri görülmektedir.



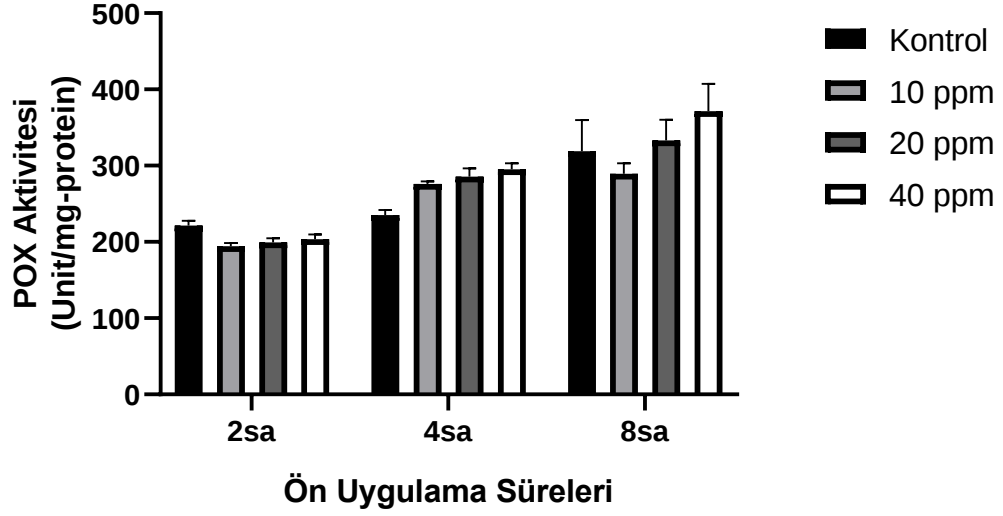
Şekil 4.19: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında katalaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

4.12. PEROKSİDAZ (POX) AKTİVİTESİ

Tablo 4.6: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

AgNP	POX içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$)					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0,0222 $\pm$ 0,0017	0,0148 $\pm$ 0,0010	0,0235 $\pm$ 0,0018	0,0162 $\pm$ 0,0012	0,0399 $\pm$ 0,0031	0,0276 $\pm$ 0,0070
10 ppm	0,0194 $\pm$ 0,0011	0,0097 $\pm$ 0,0006	0,0276 $\pm$ 0,0009	0,0125 $\pm$ 0,0015	0,0290 $\pm$ 0,0036	0,0217 $\pm$ 0,0036
20 ppm	0,0200 $\pm$ 0,0014	0,0174 $\pm$ 0,0016	0,0286 $\pm$ 0,0028	0,0066 $\pm$ 0,0009	0,0333 $\pm$ 0,0071	0,0200 $\pm$ 0,0042
40 ppm	0,0204 $\pm$ 0,0017	0,0208 $\pm$ 0,0013	0,0295 $\pm$ 0,0022	0,0198 $\pm$ 0,0248	0,0372 $\pm$ 0,0095	0,0184 $\pm$ 0,0042

Farklı konsantrasyonlarda AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat boyunca imbibisyona bırakılan domates tohumlarının 7. günün sonunda kök ve gövde dokularında POX enzim aktivitesi ölçümleri Tablo 4.6, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de yer almaktadır.

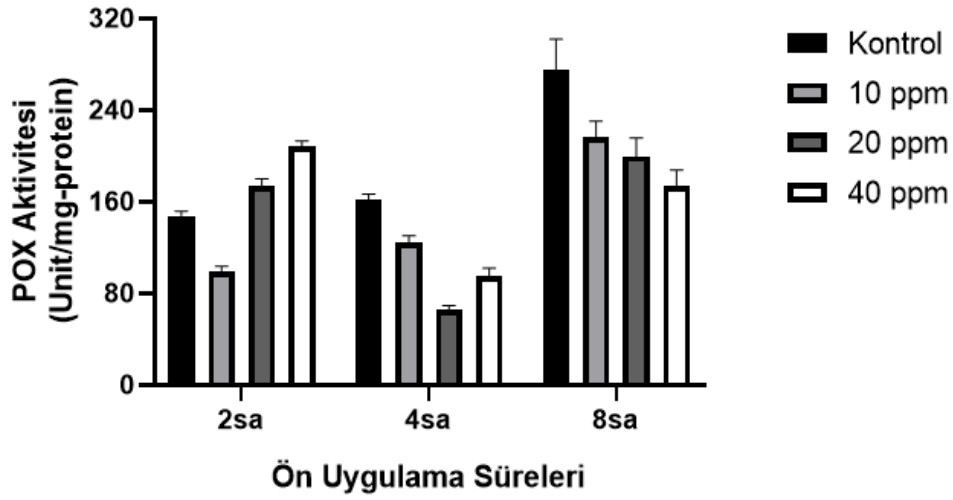


Şekil 4.20: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

POX enzim aktivitelerinin düzeylerindeki değişimlere bakıldığında köklerde farklı konsantrasyonlarda 2, 4 ve 8 saatlik ön uygulamalarda azalan ve artan değerler görülmektedir. Gövde dokularında ise 4 ve 8 saatlik uygulamada artan konsantrasyon değerlerine bağlı olarak enzim aktivitesinde azalan oranlar gözlenmektedir.

Kökte AgNP'e maruz kalan 2 saatlik ön uygulamalarda POX enzimi aktivitesinde kayda değer bir fark görülmemiştir. Gövdelerde ise kontrol serileri ile kıyasla 10 ppm ön uygulamada %34'lük düşüş yaşanırken, 20 ppm ve 40 ppm de %17 ve %40'lık artış gözlenmektedir. 4 saatlik ön uygulamalarda kontrole kıyasla artan AgNP derişimlerine paralel olarak köklerde sırası ile %17, %21 ve %25'lik oranda artış meydana gelirken gövde dokularında 10 ppm ve 20 ppmde sırasıyla %23.18, %59.23'lük düşüş yaşanmıştır.

Domates bitkisinin 8 saatlik ön uygulamalarında kontrole kıyasla kök ve gövde dokularında artan ön uygulama derişimlerine paralel olarak POX enzimi aktivitesinde düşüş gözlenmektedir. Kök dokularındaki değişim anlamlı bulunmazken; gövde dokularında 20 ve 40 ppm gruplarında, %27 ve %33'lük oranlar ile düşük enzim seviyeleri görülmektedir.



Şekil 4.21: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

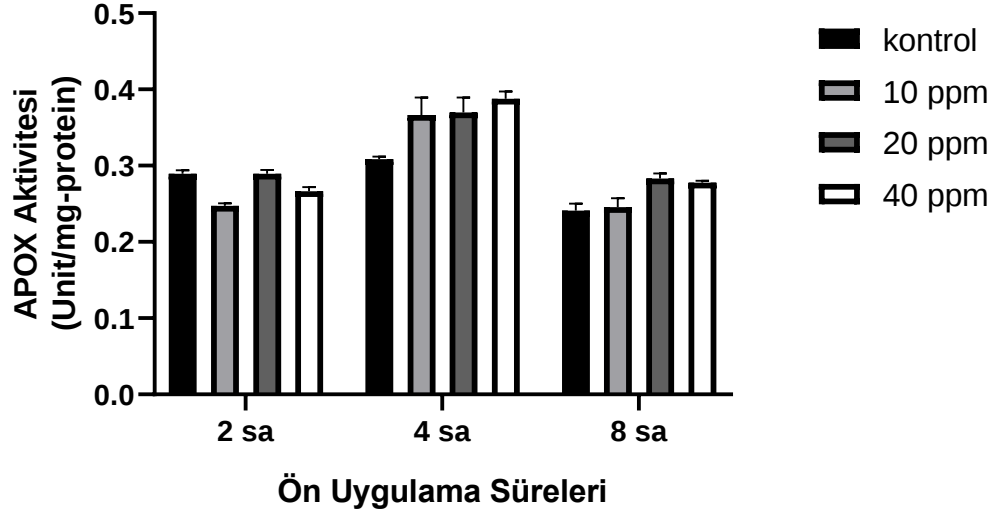
4.13. ASKORBAT PEROKSİDAZ (APOX) AKTİVİTESİ

Tablo 4.7: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında askorbat peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

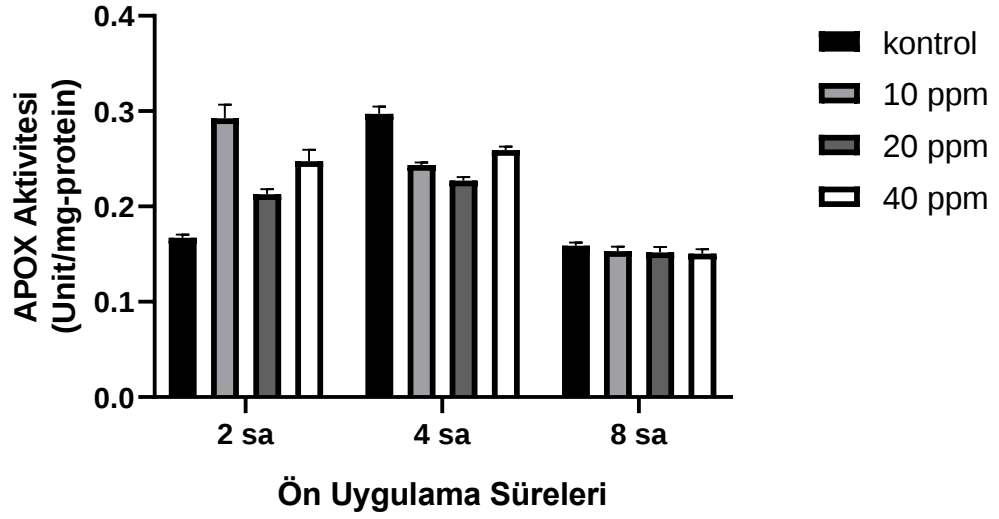
AgNP	APOX içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$)					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0,289 $\pm$ 0,004	0,167 $\pm$ 0,004	0,309 $\pm$ 0,003	0,297 $\pm$ 0,008	0,241 $\pm$ 0,009	0,159 $\pm$ 0,003
10 ppm	0,247 $\pm$ 0,003	0,292 $\pm$ 0,015	0,367 $\pm$ 0,023	0,243 $\pm$ 0,003	0,246 $\pm$ 0,012	0,153 $\pm$ 0,005
20 ppm	0,289 $\pm$ 0,005	0,213 $\pm$ 0,006	0,370 $\pm$ 0,019	0,227 $\pm$ 0,004	0,28 $\pm$ 0,007	0,152 $\pm$ 0,006
40 ppm	0,266 $\pm$ 0,006	0,248 $\pm$ 0,012	0,388 $\pm$ 0,010	0,259 $\pm$ 0,004	0,278 $\pm$ 0,003	0,151 $\pm$ 0,005

AgNP ön uygulamalarından sonra 7 günlük domates bitkilerinin kök ve gövde dokularında Askorbat Peroksidaz aktiviteleri ile ilgili veriler Tablo 4.7, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de gösterildi.

Analiz sonuçlarına göre kontrolde en yüksek enzim etkinliğinin köklerde 4 ve 8 saat ön uygulamasında meydana gelirken gövdelerde ise 2 saatlik ön uygulamada görülmektedir.



Şekil 4.22: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında askorbat peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).



Şekil 4.23: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında askorbat peroksidaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

2 saatlik periyotlarda kök dokusunda 10 ppm (%15) ve 40 ppm (%8) serilerinde APOX aktivitesinde düşüş görülmekte fakat 20 ppm serisinde anlamlı bir değişim görülmemektedir. Gövde dokularında ise artan konsantrasyon değerlerinde sırasıyla %75, %23 ve %48 oranında artış tespit edilmiştir.

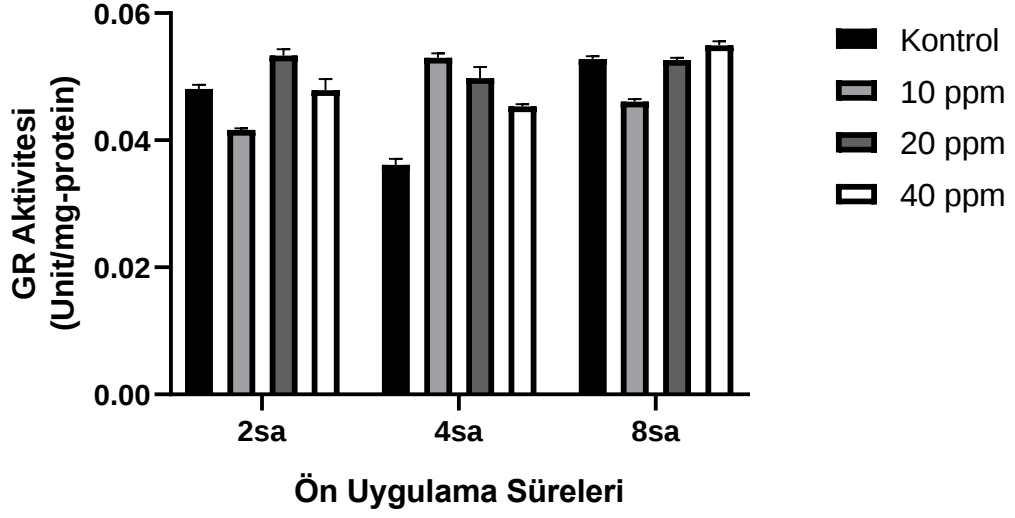
Yapılan 4 saatlik ön uygulamada domates bitkisinin kök dokularında AgNP'nin konsantrasyon artışına paralel olarak sırasıyla %19, %20 ve %25'lik oranda APOX etkinliklerinde yükselmeler olduğu kaydedilirken, gövde dokusunda ise sırasıyla %18, %23,5 ve %13'lük bir düşüş olduğu gözlenmektedir. 8 saatlik ön uygulamanın neticesinde domates bitkisinin kök dokularında APOX aktivitesinde kontrole göre artış gözlenmektedir. Kök dokularındaki artış 20 ppm'de %17 ve 40 ppm %15'dir. Gövde dokusu değerlendirildiğinde ise kontrole kıyasla AgNP konsantrasyon artışına bağlı olarak sırasıyla %3,5, %4,5 ve %5,30'luk oranda APOX etkinliklerinde hafif bir azalma saptanmıştır.

4.14. GLUTATYON REDÜKTAZ (GR) AKTİVİTESİ

Tablo 4.8: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında glutatyon redüktaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

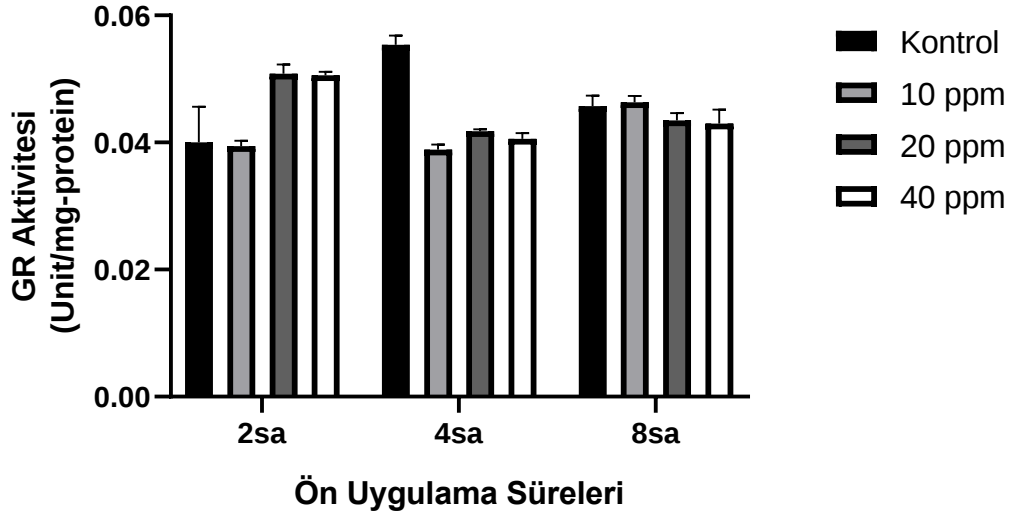
AgNP	GR içeriği ($\mu\text{g ml}^{-1}$)					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0,0481 $\pm$ 0,0018	0,0400 $\pm$ 0,0056	0,0361 $\pm$ 0,0027	0,0554 $\pm$ 0,0015	0,0528 $\pm$ 0,0012	0,0457 $\pm$ 0,0017
10 ppm	0,0416 $\pm$ 0,0008	0,0394 $\pm$ 0,0008	0,0530 $\pm$ 0,0020	0,0389 $\pm$ 0,0008	0,0461 $\pm$ 0,0012	0,0463 $\pm$ 0,0010
20 ppm	0,0533 $\pm$ 0,0029	0,0508 $\pm$ 0,0015	0,0498 $\pm$ 0,0049	0,0418 $\pm$ 0,0003	0,0526 $\pm$ 0,0012	0,0435 $\pm$ 0,0011
40 ppm	0,0479 $\pm$ 0,0048	0,0506 $\pm$ 0,0005	0,0453 $\pm$ 0,0010	0,0406 $\pm$ 0,0009	0,0549 $\pm$ 0,0018	0,0430 $\pm$ 0,0022

Domates tohumlarına uygulanan darklı derişimlerdeki AgNP ön uygulamalarından sonra 7 günlük bitkilerin kök ve gövde dokularında Glutatyon Redüktaz enzimi aktiviteleri ile ilgili elde edilen veriler Tablo 4.8, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de gösterildi. Elde edilen veriler incelendiğinde en çok GR enzimi birikimi köklereki 4 saatlik uygulamalarda görülmektedir. 2 saatlik uygulamalar incelendiğinde köklerde 20 ppm'lik AgNP ön uygulamalarında %11 oranda artış olduğu görülmektedir. Gövde dokularında ise 20 ppm lik ön uygulamada %27'lik ve 40 ppm'de ise %26'lık bir artış görülmektedir.



Şekil 4.24: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında glutatyon redüktaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

4 saatlik ön uygulama sonuçları incelendiğinde köklerde konsantrasyon artışına bağlı olarak sırası ile %47, %38, %25'lik bir artış olduğu gözlemlenmekteyken gövdelerde 10 ppm'de %21'lik, 20 ppm'de %25'lik ve 40 ppm'de ise %27'lik bir azalma tespit edilmiştir..



Şekil 4.25: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında glutatyon redüktaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

8 saatlik ön uygulama gruplarının verileri incelendiğinde kontrol gruplarına göre GR enzim aktivitesinde köklerde 10 ppm serisinde %12 oranında düşüş tespit edilmiştir. Gövde örneklerinde ise 20 ppm’de % 5 ve 40 ppm’de ise %6 oranında GR enzim aktivitesinde düşme tespit edilmiştir.

4.15. GLUTATYON S-TRANSFERAZ (GST) AKTİVİTESİ

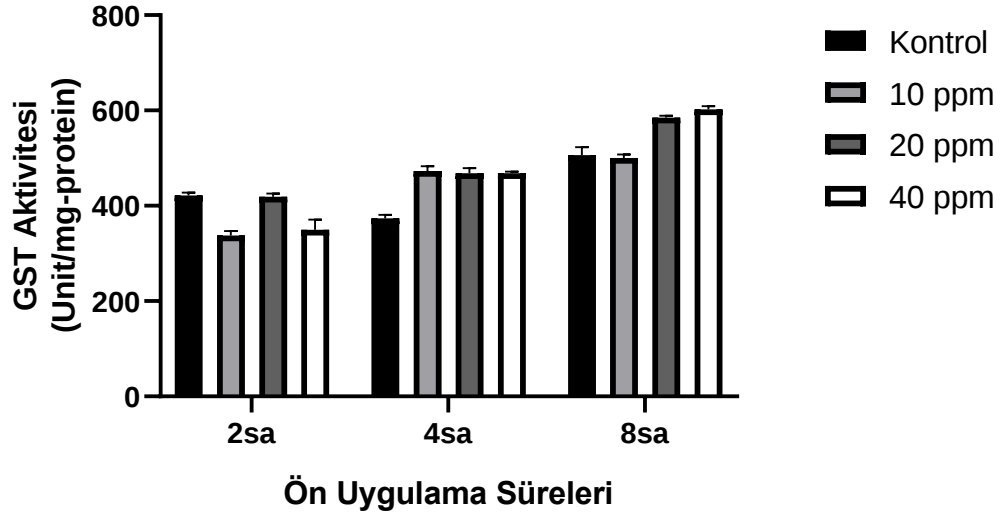
Tablo 4.9: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök ve gövde dokularında glutatyon s-transferaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

AgNP	GST içeriği (Unit/mg-protein).					
	2 saat		4 saat		8 saat	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0,0421 ± 0,0007	0,0173 ± 0,0005	0,0373 ± 0,0008	0,0227 ± 0,0008	0,0507 ± 0,0016	0,0237 ± 0,0009
10 ppm	0,0378 ± 0,0009	0,0215 ± 0,0021	0,0471 ± 0,0010	0,0235 ± 0,0003	0,0543 ± 0,0007	0,0212 ± 0,0004
20 ppm	0,0384 ± 0,0007	0,0190 ± 0,0003	0,0468 ± 0,0011	0,0245 ± 0,0002	0,0594 ± 0,0004	0,0220 ± 0,0005
40 ppm	0,0350 ± 0,0021	0,0192 ± 0,0004	0,0469 ± 0,0003	0,0252 ± 0,0005	0,0602 ± 0,0007	0,0224 ± 0,0009

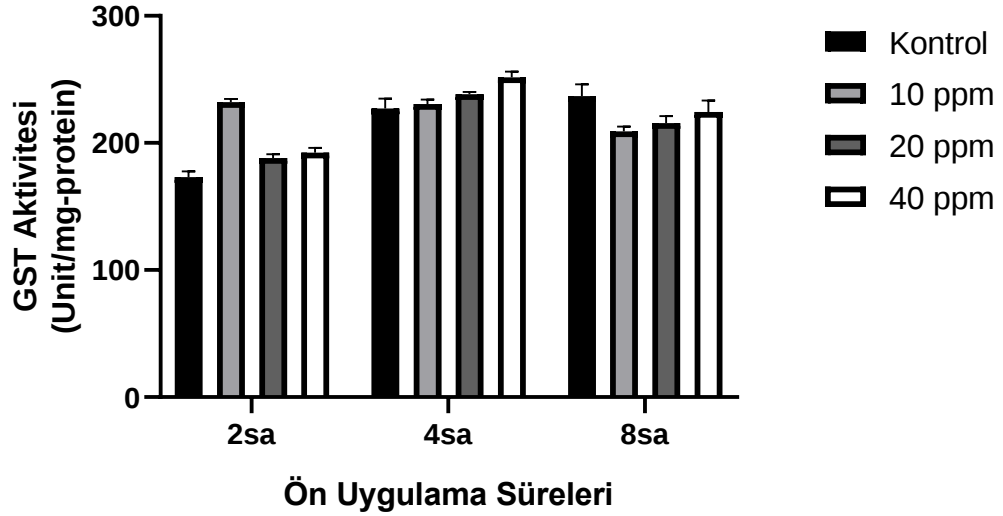
AgNP ön uygulamalarından sonra 7 günlük domates bitkilerinin kök ve gövde dokularında Glutatyon S-transferaz enzimi aktiviteleri ile ilgili veriler Tablo 4.9, Şekil 4.26 ve Şekli 4.27’de gösterildi.

İncelenen verilerde kontrole oranla en yüksek enzim etkinliğinin köklerde 4 saatlik ön uygulamalarda meydana gelirken, gövdede ise 2 ve 4 saatlik ön uygulamalarda enzim etkinliği artış gösterirken 8 saatlik uygulamanın tüm konsantrasyonlarında kontrole göre düşüş meydana geldiği gözlenmektedir.

2 saatlik farklı konsantrasyonlarda AgNP ön uygulamalarına maruz bırakılan domates tohumları 7. gün sonunda incelendiğinde köklerde GST aktivitesini indirdiği; gövdelerde ise aksine yükselttiği saptandı. GST aktivitesindeki düşüş oranı köklerde 10 ppm ve 40 ppm uygulama grubunda %10 ve %17, gövde de ise sırası ile 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm de %25, %10 ve %11’lik bir artış oranı tespit edilmiştir. Yapılan 4 saatlik ön uygulamada kök dokularında artan derişim gruplarında yaklaşık olarak %25’lik artış gözlenmiştir. Gövde örneklerinde 40 ppm grubunda %10.85’lik bir oranda GST etkinliklerinde yükselme olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin kök dokularında glutatyon s-tranferaz aktivitesi (Unit/mg-protein).



Şekil 4.27: Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP içeren çözeltiler ile 2, 4 ve 8 saat ön uygulama yapılmış 7 günlük domates bitkisinin gövde dokularında glutatyon s-tranferaz aktivitesi (Unit/mg-protein).

8 saatlik AgNP ön uygulamasında domates bitkisinin kök dokularında artan konsantrasyona bağlı olarak sırasıyla %7, %17, %18 oranında GST enzim aktivitesinde artış kaydedilmesine karşın gövdede artan konsantrasyon serilerine bağlı olarak sırayla %10, %7, %5'lik hafif bir azalma eğilimi gözlenmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Nanoteknolojinin gelişmesiyle beraber, nanopartiküller her geçen gün farklı kullanım alanları bulmaya başlamışlardır. Nanopartiküller tıptan kozmetik ürünlerine kadar değişik alanlarda kullanılmaya başlandıktan sonra ziraatte kullanılmaları da ilgi çeken bir konu olmuştur. Gün geçtikçe nanopartiküllerin bitkiler üzerindeki etkileriyle ilgili çalışmalar artmaktadır. Bu artan çalışmalar arasında nanopartiküllerin farklı özelliklerinden yararlanılarak, bitki veriminin artırılması, gelişiminin hızlandırılması ve bitki zararlıları ile mücadele gibi konular da yer almaktadır. Nanopartiküllerin kullanımının yaygınlaşmasıyla nanopartiküllerin çevreye olan etkileri ve bitkiler üzerindeki toksik etkileri de literatürde çok fazla yer alan konulardan biri haline almıştır. Araştırmacılar, bu durumun fiziksel ya da kimyasal olarak değil biyolojik olarak (doğal yoldan) elde edilen nanopartiküller üreterek önüne geçmeyi hedeflemişlerdir. Nanopartiküller, mikroorganizmalardan, alglerden ve bitkilerden doğal yollarla sentezlenebilirler. Biyolojik sentez yollarında kullanılan en etkili mekanizmanın bitkilerle olduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır.

Gümüş, yüzyıllar boyunca çok farklı amaçlarla kullanılan bir metaldir. Gümüşün en çok dikkat çeken özelliği antimikrobiyal aktivitesi nedeniyle tıp alanında da kullanılmasına neden olmuştur. Bu dikkat çeken özelliklerinin yanı sıra gümüş, nanopartikül haliyle de pek çok farklı özellik kazanarak en çok üretilen ve kullanılan metal nanopartiküllerinden biri haline gelmiştir. Gümüşün özellikle güçlü antimikrobiyal aktivitesi araştırmacıların kimyasallara dirençli bitki zararlılarıyla mücadelede kullanılabileceği fikrini ortaya çıkarmıştır.

Son yıllarda yapılan nanobiyoteknolojik yöntemler kullanılarak tasarlanan nanopartiküller üzerinde ki çalışmalar artmış olmakla birlikte, nanopartiküllerin çok farklı şekil ve boyutlara sahip olmalarından dolayı nanopartiküllerin büyük bir kısmının biyokimyasal ve fizyolojik etkileri detaylı olarak incelenmemiştir. Bu nedenle çalışmamızda *Lycopersicon esculentum* Miller tohumlarına antibakteriyel özelliği sebebiyle nanolosyon, nanojel ve nanopestisit gibi değişik ürünlerde kullanılan 10 nm boyutunda ki gümüş nanopartikülü 2, 4 ve 8 saatlik periodlarla uygulanmıştır. Bu uygulamaların sonucunda gümüş nanopartiküllerinin domates bitkisi üzerinde yarattığı etkiler; morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan literatür taramaları ve ön denemelerin sonucunda bulunan 3 ayrı

konsantrasyon (10, 20 ve 40 ppm) tespit edilmiştir. Bu konsantrasyonların bitkimizde meydana getirdiği etkiler incelenerek sonuçlar kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızda sofralık domates tohumlarına AgNP artan dozlarda ve periyotlarda uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, özellikle 4 saatlik ön uygulamada 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm olarak belirlenen dozlarda kök uzunluğunda %28'e varan azalma belirlenmiştir (Şekil 4.1). 8 saatlik ön uygulamada konsantrasyon artışına bağlı olarak sırasıyla kök gelişmesinde %12, %21 ve %24'lük inhibisyon saptanmıştır. 2, 4 ve 8 saatlik AgNP ön uygulamalarının sonucunda gövde boyunda maksimum %14'lük bir oranda azalma olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2). AgNP uygulamalarının sonuçları kök ve gövde uzunluğu açısından değerlendirildiğinde kök dokusu gövde dokusunun 2 katı kadar negatif yönde etkilenmiştir. Bu karşılaştırmada elde edilen ikinci bir sonuç ise, kök ve gövde dokularındaki konsantrasyona ve uygulama süresine bağlı etkileşimler arasında pozitif yönde bir korelasyon saptanmasıdır. AgNP uygulaması yapılmış köklerdeki büyümenin kontrole göre daha az olması, bu boyutlardaki nanopartikülün ve bu periyotlardaki ön uygulamaların kök boyu üzerinde negatif etki yarattığı şeklinde yorumlanabilir.

Gümüş nanopartikülü uygulaması yapılmış domates tohumlarının çimlenmesi üzerine yapılan araştırmamızda ise 2 saatlik ön uygulama yapılan denemelerde kontrol grubu ile uygulama konsantrasyonları arasında istatistiki olarak önemli bir fark bulunmamaktadır. Birey taze ağırlığı açısından yapılan değerlendirmelerde ise 2 saatlik ön uygulamada 20 ppm ve 4 saatlik ön uygulamada 10 ppm'lik AgNP uygulamalarında kontrole göre hafif bir artış görülürken 8 saatlik periyodun 40 ppm konsantrasyonunda kontrol göre birey taze ağırlıklarında %22 oranında azalma tespit edilmiştir.

Bulgularımıza paralel olarak El-Temsah ve Joner'in 2012 yılında yaptıkları çalışmada keten (*Linum usitatissimum* L., cv. Electra), çavdar (*Lolium perenne* L., cv. Tove), ve arpa (*Hordeum vulgare* L., cv. Annabell) tohumlarının çimlenmesi üzerine 3 farklı boyuttaki AgNP'nün etkisini incelediklerinde, arpa tohumlarında ki çimlenme oranı 5 ve 20 nm boyutunda çözeltielerde %20 oranında azalma görülür iken keten ve çavdar tohumlarının çimlenme oranlarında herhangi bir azalma saptanmamıştır. Çimlenen tohumlarının sürgün uzunluğu kontrol grubu ile karşılaştırıldığında ise, 3 farklı boyut ve 3 farklı tohumda da hassas bir şekilde yanıt verdi. En küçük boyutta ki AgNP için, keten ve çavdar 10 mg L⁻¹'de ve üç bitki türünün tamamında 20 mg L⁻¹'de sürgün uzunluğunda inhibisyon gözlemlendi. Orta

büyüklerdeki (5 nm) AgNP, 10 mg L⁻¹'de keten ve arpanın sürgün büyümesini azaltırken, yüksek konsantrasyonlarda aynı etki oluşmamıştır. Çavdarda ise uygulanan konsantrasyonun artışına paralel bir şekilde sürgün uzunluğundaki azalma dikkat çekmiştir. 20 nm boyutunda ki AgNP için, 10 mg L⁻¹'de arpada ve 20 mg L⁻¹'de üç bitki türünde de sürgün büyümesi üzerinde ket vurucu bir etki gözlenmiştir.

Mehrian ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptıkları çalışmada 7 farklı çeşit domates tohumlarını, 50 nm boyutunda tasarlanmış farklı konsantrasyonlardaki AgNP içeren solusyonlarda 1 saat boyunca imbibisyona bırakmışlardır ve daha sonra aynı konsantrasyonda çözelti içeren filtre kağıtlarına ekmişlerdir. Yaptıkları deneme sonrasında; çimlenme yüzdesi (GP), fide canlılığı indeksi (VI), çimlenme indeksi (GI), tolerans indeksi (TI), kök ve gövde uzunluğu üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Ekim yapıldıktan sonraki ilk 3 gün içinde, AgNP uygulaması yapılan Early urbanay VF, Super strain B ve Primo early tohumları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında daha erken çimlendikleri için erken dönemde çimlenme indeksinde artış görülmesine sebep olmuştur. 75 ve 100 mg L⁻¹ AgNP uygulaması yapılan Super strain B, ve Super stone tohumlarının çimlenme yüzdesinde sırasıyla %5 ve %10 gibi önemli bir oranda azalmaya sebep olmuştur. Diğer tohum türlerinde çimlenme oranlarında istatistiki anlamda önemli bir değişim tespit edilmemiştir. AgNP'nin tüm konsantrasyonları ile kontrol grubu karşılaştırıldığında uygulama yapılan domates türlerinin kök ve gövde uzunluklarında %30 ile %80 oranında ciddi bir düşüş kaydedilmiştir. Fide canlılığı indeksi (VI) ve tolerans indeksi (TI) tüm türlerde AgNP'nin konsantrasyon artışına bağlı olarak azalmıştır.

Tripathi ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptıkları araştırmada 22 nm boyutunda yeşil biyosentez yöntemi ile elde ettikleri AgNP'ünü farklı konsantrasyonlarda (1000 ve 3000 µM) bezelye bitkisine uygulamışlardır. Bu uygulamanın sonucu çalışmamız ile benzer olarak; 1000 µM ve 3000 µM AgNP uygulamalarının sonucunda kök uzunluklarında sırasıyla %28 ve %33 oranında inhibisyon görülür iken, gövde uzunluğunda aynı oran %22 ve %28 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Taze birey ağırlığı açısından uygulama grupları kontrol ile karşılaştırıldığında sırasıyla yaklaşık olarak 0,7 g ve 0,9 g kadar ağırlıklarında eksilme görülmüştür.

Ravindran ve arkadaşlarının 2012 yılında domates ve mısır bitkilerinin tohumlarına 100 nm'nin altındaki boyutlarda farklı konsantrasyonlarda (10, 15 ve 20 mg/L) AgNP

uygulamışlardır. Çimlenme deneylerinin 5. gününde yapılan ölçümlerde domates tohumlarının mısır tohumlarına göre daha hassas olduğu ve konsantrasyon artışına bağlı olarak çimlenme oranlarında ve kök uzunluklarından %20 ile %40 oranında bir inhibisyon görülmektedir.

Ma ve ark. (2010) doğada nadir olarak bulunan nano-CeO₂, nano-La₂O₃, nano-Gd₂O₃ ve nano-Yb₂O₃ nanopartiküllerinin 2000 mg/L konsantrasyonunda 7 farklı türün tohumları ile (turp, şalgam, domates, marul, buğday, lahana, salatalık) 5 gün boyunca muamele etmişlerdir. 2000 mg/L nano-CeO₂ süspansiyonu, marul hariç altı bitkinin kök uzamasını etkilememiştir. Bu durumun aksine nano-La₂O₃, nano-Gd₂O₃ ve nano-Yb₂O₃ uygulaması yapılan 7 türün kök uzamasında %50'den fazla bir oranda inhibisyon görülmüştür.

Barrena ve ark. Vicia faba tohumlarına farklı boyutlarda (65nm, 50nm ve 20 nm) AgNP uyguladıklarında çimlenme yüzdesinde kayda değer bir fark görülmez iken AgNP boyutu küçüldükçe kontrolde ölçülen 3.33 cm'den sırasıyla 2.97 cm, 1.65 cm, 0,87 cm'lik kök uzunluğu gözlenmiştir.

Tasarlanarak sentezlenen AgNP'lerin, pirinç bitkisinin sürgün ve kök büyümesinde azalmaya, yüksek oksidatif strese ve artan hücre hasarına neden olduğu belirtildi (Mazumdar ve Ahmed, 2011). Ayrıca yapılan çalışmalar tohum büyüklüğünün, nanopartiküllerin tohum üzerinde yaratabileceği toksik etkiyi yüzey/hacim oranından dolayı artırdığını veya azalttığını göstermiştir (Canas ve diğ., 2008; Ravindran ve diğ., 2012). Sonuç olarak yüksek konsantrasyonda ve uygulama süresinde gümüş nanopartiküllü uygulamalarının bitki büyüme ve gelişmesini negatif yönde etkilediği, literatür ve yaptığımız analizlerden elde ettiğimiz verilerle de örtüşmektedir.

Klorofil analizlerinin sonuçları incelendiğinde 2 saat AgNP'lü solüsyonda imbibisyona bırakılan örneklerden alınan yapraklarda 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm konsantrasyonlarda kontrole göre sırasıyla %19, %16 ve %26 oranında total klorofil değerlerinde artış izlenmektedir. Bu değerler 4 saat AgNP solüsyonuna maruz kalan bitki dokularında incelendiğinde ise %14-23 arasında değişen bir azalma eğilimi göstermektedir. 20 ppm konsantrasyonda 4 saat bekletilen grupta total klorofil değeri %23 ile en fazla düşüş gösteren değer olduğu görülmektedir. AgNP solüsyonuna 8 saat maruz kalan örneklerin total klorofil miktarlarında ise 10 ppm de %14'lük eksilme yaşanırken 20 ppm örneklerde kontrole benzer

sonuçlar görülmektedir. 40 ppm konsantrasyon değerinde ise kontrole kıyasla %5'lik yükselme dikkat çekmektedir.

Domates gövdelerinden alınan dokularda karotinoid içeriği incelemesi sonucunda kontrol ile kıyaslandığında 2 saatlik n uygulama sonuçlarında tüm konsantrasyon değerlerinde %4-35 oranında artış görülmektedir. 4 saat AgNP zeltielerinde imbibisyona bırakılan örneklerde ise %8 ile %31 arasında düşen karotinoid değerleri izlenmektedir. 8 saatlik uygulama sonuçlarında ise kontrol grubuna çok yakın olan değerler dikkat çekmektedir. Domates bitkisi gövde dokularında yapılan çalışmalar karotinoidler ve total klorofil değerleri açısından incelendiğinde 2 saatlik periyotlarda kontrole kıyasla artan değerler, 4 saatlik periyotlarda ise azalan değerler tespit edilmektedir. Hem total klorofil hemde karotinoid miktarında en fazla düşüş 20 ppm AgNP çözeltisine 4 saat maruz kalan bitkilerde görüldüğü tespit edilmiştir.

Homaee ve Ehsanpour 2015 yılında 1 aylık patates fidelerini farklı konsantrasyonlarda (0, 2, 10 ve 20 mg l⁻¹) AgNP içeren kültür ortamlarına aktardılar. Çalışmada kullanılan pvp kaplı AgNP 20 nm boyutunda ve küresel şekillidir. 4 hafta boyunca kültür odalarında yetiştirilen fideler daha sonra fotosentetik pigment analizleri yapılmak üzere hasat edilmiştir. Analiz sonucunda fidelerin yapraklarındaki total klorofil ve karotinoid miktarları kontrole göre 2 mg l⁻¹ AgNP uygulamalarında artış, 10 ve 20 mg l⁻¹ AgNP uygulamalarında ise düşüş tespit edilmiştir. Çalışmamızda 2 saat n uygulamaya maruz kalan örneklerde total klorofil miktarında %26, karotinoid miktarında %35'e kadar artış görülürken maruz kalma süresi artan 4 saatlik uygulamalarda ise total klorofil ve karotinoid miktarı kontrol seviyelerinden daha düşük değerleri göstermektedir.

Baskar ve arkadaşları 2015 yılında *Vitex negundo* L. bitkisinden boyutu 10-20 nm arasında değişen AgNP sentezlediler. Sentezlenen AgNP ile 0, 100, 250 ve 500 mg/L konsantrasyonlarda zeltieler hazırlayıp sterilize ettikleri *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* tohumlarını 2 saat farklı konsantrasyondaki zeltielerle imbibisyona bırakmışlardır. Tohumlar kültür kaplarında distile su ve üç farklı konsantrasyondaki zeltieler ile ıslatılmış filtre kağıtları üzerinde 10 gün 21 C altında 16/8 saat fotoperyot koşullarında çimlenmeye bırakılmışlardır. 10. gün sonunda fidelerde yapılan analiz sonuçlarında artan konsantrasyon değerlerine zıt ve kademeli olarak düşen total klorofil miktarları gözlenmiştir.

Gupta ve ark (2018) *Curculigo orchioides* Gaertn. bitkisinden 18 nm boyutunda küresel gümüş nanopartikülü elde ettiler. Dört farklı konsantrasyonda (0, 10, 20 ve 40 ppm) AgNP'li ortam hazırlayıp *Oryza sativa* L. tohumlarını çimlendirdiler. 14. günün sonundaki analizlerde kontrol grupları ile kıyaslandığında total klorofil değerleri artış göstermiştir. En yüksek değerler 10 ppm AgNP içeren ortamda çimlenen bitkilerde görülmektedir. Karotinoid değerleri ise AgNP konsantrasyonu ile paralel olarak artış göstermiştir.

Ramezani ve arkadaşları 2018 yılında laboratuvar ortamında sentezledikleri AgNP (küresel ve ortalama 25 nm boyutlu) ve ticari AgNP'den 0, 10, 20, 40 mM'lık dört farklı konsantrasyonda solüsyonlar hazırlamışlardır. Hazırlanan solüsyonlar 3 hafta içerisinde iki kere *Stevia rebaudiana* fideleri üzerine spreylenmiştir. Ardından hasat edilen bitkilerin analiz sonuçlarında ticari ve yeşil sentez AgNP uygulanan bitkilerdeki total klorofil içeriğinde kontrole kıyasla kademeli bir artış görüldü. En yüksek değerler ise 40 mM AgNP uygulamasında %22 (ticari nanopartikül) ve % 44 (yeşil sentez nanopartikül) olarak kaydedildi. Çalışma sonunda yeşil sentez AgNP'lerin Ticari AgNP'lerden daha etkili olduğu görülmektedir.

Bitki dokularının büyüme ve gelişmesinde primer metabolitler ön plana çıkarken, abiyotik ve biyotik stres faktörleri ortaya çıktığı zaman ise sekonder metabolitler sitosoldeki reaksiyonları düzenlemek için devreye girerler. Antosiyaninler, sitosolde önemli bir düzenleyici güce sahip olan doğal antioksidanlardır. Flavonoidlerin içinde yer alan antosiyaninler, sinyal molekül olarakta çalışmaktadırlar. UV ışınımı, soğuk stresi, sıcak stresi ve kuraklık dahil olmak üzere farklı biyotik ve abiyotik streslere cevap olarak antosiyaninlerin birikimi artmaktadır. Başlıca enzimatik olmayan antioksidan metabolitlerine (AsA ve GSH gibi) ek olarak; amino asitler (prolin gibi), fenolik asitler ve antosiyaninlerde bitkilerin nanopartiküllerle maruz kalmasından aktif olarak etkilenen metabolitlerdendir (Rao ve Shekhawat 2016).

Petri ortamında yetiştirilen 7 günlük domates fidelerinin kotiledonlarında incelenen antosiyanin içeriğinin ön uygulama süresi arttıkça kontrole göre uygulama gruplarında teşvik edildiği; 4 saatlik ön uygulama sonrasında ise uygulanan AgNP konsantrasyonu arttıkça antosiyanin sentezinde %32'ye varan azalma görülmektedir (Şekil 4.11). En toksik konsantrasyon 8 saatlik ön uygulamanın 10 ppm AgNP grubudur ve kontrolden yaklaşık %20 daha fazla antosiyanine sahiptir.

Baskar ve diğ. (2015) yaptıkları bir çalışmada ortalama 15 nm boyutlarındaki AgNP'lerin 10 günlük *Brassica rapa* bitkisinde neden olduğu morfolojik ve fizyolojik etkilerini incelenmişlerdir. Farklı konsantrasyonlarda (100, 250 ve 500 mg / L) AgNP içeren çözeltiler kullanmışlardır. Biyolojik olarak sentezlenen AgNP'lerin, *Brassica rapa* fidelerinde düşük dozda (100 mg/L⁻¹) bir büyüme promotörü ve daha yüksek dozda (500 mg/L⁻¹) bir büyüme inhibitörü olarak etki ettiklerini bulmuşlardır. Yüksek konsantrasyonlarda (250 ve 500 mg/L⁻¹) uygulanan AgNP'nin sitosolda ROS oluşumu ve MDA birikiminin arttırdığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde DNA hasarı, antosiyanin üretimi ve antioksidan gen ifadesi de yüksek dozlarda yükselmiştir. Artan ROS oluşumu; antosiyanin biyosentezini hızlandırmış ve klorofil içeriğini ise azaltmıştır. Yüksek konsantrasyonda (250 ve 500 mg/L⁻¹) uygulanan AgNP'lerinin neden olduğu yüksek oksidatif stresten kaynaklı olarak antosiyanin içeriğinde artış yaşanmıştır. Bitkilerin yüksek konsantrasyonlarda AgNP uygulamasına, sekonder metabolit (antosiyanin) ve antioksidan aktivite ile ilgili genleri indükleyerek moleküler tepki verdikleri düşünülmektedir. Yüksek derişimde AgNP uygulaması, *B. Rapa* fidelerinde ROS üretiminin ve diğer moleküler değişikliklerin indüksiyonu yoluyla büyümenin baskılanmasına neden olur. Genel olarak çok yüksek dozda AgNP uygulaması; büyüme ile ilgili parametreleri (moleküler ve fizyolojik) baskılayarak fitotoksositeye yol açar. Çalışmamızda yer alan 2 ve 8 saatlik ön uygulama sonrası artan antosiyanin içeriği, AgNP uygulamalarının neden olduğu yüksek oksidatif stres nedeniyle önceki çalışmalarla (*B. rapa*) benzerlik göstermektedir.

Syu ve arkadaşları 2014 yılında farklı morfolojiye sahip üç gümüş nanopartikülünü *Arabidopsis* tohumlarına 4 gün boyunca uygulamışlardır. 10 nm boyutundaki küresel AgNP'ler yüksek antosiyanin birikimine neden olmuşlardır. Bu birikimin konsantrasyon artışına paralel bir oranda oluştuğu gözlenmektedir. Sonuç olarak AgNP, *Arabidopsis*'te ROS birikimini indükler, hücre çoğalmasını, metabolik reaksiyonları ve hormon sinyal yollarını yöneten genlerin ekspresyonunu aktive eder.

Qian ve arkadaşları 2013 yılında farklı konsantrasyonlarda AgNP ve Ag⁺ iyonlarını *Arabidopsis* bitkilerine uygulamışlardır. Yapılan uygulamalar sonucunda konsantrasyon dozuna ve maruz kalma süresine bağlı olarak antosiyanin miktarının kontrol grubuna göre arttığı gözlemlenmiştir.

Kültür bitkileri ile yapılan çalışmalarda gümüş nanopartikülü gibi ağır metal olarak kabul edilen ksenobiyotiklerin oksidatif strese neden olduğu ve oksidatif strese bağlı olarak hücre

içindeki reaktif oksijen türlerinin miktarında değişimler görülmektedir. Çeşitli biyotik ve abiyotik stres koşulları altında ROS miktarının artması, oksidatif stresin yanında hücre ölümü ile de sonuçlanabilir. O₂'nin suya indirgenmesi sırasında gerçekleşen metabolik reaksiyonların ara ürünleri olan reaktif oksijen türleri; kloroplast, mitokondri, peroksizom, endoplazmik retikulum ve plazma membranları gibi yapılarda sürekli olarak üretilir (Karuppanapandian ve diğ., 2011). Nanopartiküllerin bitkilerde oluşturdukları oksidatif hasar H₂O₂ ve lipid peroksidasyonu ürünlerinden malondialdehit (MDA) miktarlarında ki değişiklikleri ölçerekte araştırılmaktadır (Cuypers ve diğ., 2005). H₂O₂, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı yanıt olarak üretilen sinyal moleküllerinden biridir. Düşük konsantrasyonlarda diğer reaktif oksijen türlerine göre toksisitesi daha az olan H₂O₂, ortamda gümüş gibi iyon haline dönüşebilen ağır metallerin olması durumunda en yüksek toksik etkiye sahip hidroksil'in birikimine sebep olmaktadır (Liochev ve Fridovich, 2007).

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 2 ve 8 saatlik AgNP ön uygulaması sonrasında 7 günlük domates fidelerinin kökleri ve gövdede ise özellikle 10 ppm AgNP uygulanan gruplarda H₂O₂ oluşumunu inhibe ettiği tespit edilmiştir. 4 saatlik AgNP ön uygulaması yapılan domates fidelerinin köklerinde ise, 10 ppm AgNP uygulanan domates fidelerindeki H₂O₂ birikimi kontrol göre yaklaşık 3 kat arttığı belirlenmiştir. Aynı uygulama grubunun gövdelerinde ise H₂O₂ oluşumunu AgNP'nin konsantrasyon artışına paralel bir oranda teşvik ettiği saptanmıştır.

Çalışmamıza benzer şekilde Vannini ve arkadaşları 2013 yılında 10 nm boyutunda ki AgNP içeren çözeltileri 5 gün boyunca *Eruca sativa* tohumlarına uygulamışlardır. Uygulanan çözeltilerin konsantrasyon artışına bağlı olarak farklı fizyolojik tepkiler görülmüştür. Bunlardan en önemlileri ROS detoksifikasyon yollarının aktivasyonuna neden olmaları, sistein biyosentezinde yer alan iki anahtar enzimin indüklenmesi, konsantrasyona bağlı kök boyunda değişikliklerdir. Sonuç olarak, AgNP'lerin oksidatif strese neden olduğu ve moleküler seviyede yapılan analizler ilede örtüşmektedir (Vannini ve diğ., 2013). Reaktif oksijen türlerinin miktarlarındaki artış, lipidlerinin peroksidasyonuna sebep olarak enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanların ortamdan süpürülmelerini yavaşlatır ve bir süre sonrada durdurmaktadır. Antioksidanların işlevselliğini kaybetmeleri ise bitkilerin fizyolojik ve yapısal olarak gerilemelerine yol açmaktadır. Bitki hücrelerinde, H₂O₂ miktarının artması

OH⁻ oluşumuna neden olarak lipit peroksidasyonu ve dolayısıyla membran yapısının bozmaktadır (Hegedus ve dig., 2001).

Bitki büyüme ortamında bulunan Ag iyonları lipit peroksidasyon hızını artırmakta ve reaksiyon sonucu farklı toksik ürünlere dönüşmektedir. Bu ürünlerden en çok bilinen ve ölçümü yapılan ise aldehit grubundan malondialdehittir. Nanopartikül uygulaması yapılmış olan bitkilerde MDA miktarının ölçülmesi, lipit peroksidasyonun ve oksidan zararların belirlenmesinde çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Girrotti, 1985).

Kontrol ve 10, 20, 40 ppm AgNP konsantrasyonlarında 2, 4 ve 8 saatlik periyotlarda domates tohumlarına ön uygulama yapılarak yetiştirilen 7 günlük domates fidelerinin çeşitli kısımlarında ilgili AgNP uygulamalarının lipit peroksidasyonu üzerindeki etkileri; yıkım ürünlerinden birisi olan MDA miktarının ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Buna göre; 8 saat 20 ppm AgNP ön uygulaması yapılmış olan domates fidelerinin kök ve gövdesindeki MDA içeriğinin teşvik edildiği dikkat çekmektedir. 2 saatlik ön uygulamanın yapıldığı domates tohumlarından elde edilen kök örneklerinde ise, 20 ppm AgNP uygulanan grubun MDA içeriğinde kontrole yakın bir değer elde edilmiştir ve 10 ppm uygulanan grubun kök dokusunda MDA miktarında %10'luk bir azalma tespit edilirken, 40 ppm AgNP uygulanan grupta %12'lik bir artma tespit edilmiştir. Aynı uygulamanın gövde dokularındaki MDA miktarında kontrole göre %18 'e kadar düşme gözlemlenmiştir. 4 saatlik ön uygulama yapılmış olan grupta ise 10 ppm ve 40 ppm AgNP konsantrasyonunun gövde dokularındaki MDA içeriğine etkisi sırasıyla %28 ve % 18 'lik azalma yönündedir. Kök dokularında ise 2 saatlik ön uygulamalara benzer şekilde 10 ppm AgNP uygulamasında MDA miktarında yaklaşık %10'luk azalma, 40 ppm'de ise hafif bir artma saptanmıştır.

Sharma ve arkadaşlarının 2012 yılında *Brassica juncea* bitkisine 7 günlük 25 ile 400 ppm konsantrasyonları arasında AgNP'ü uygulamışlardır ve uygulamanın sonunda AgNP'nin H₂O₂ üretimi ve MDA miktarı üzerinde ki etkisini incelemişlerdir. 25 ve 50 ppm AgNP uygulanan grupta H₂O₂ ve MDA birikiminde azalma saptamışlardır. Bu veri bizim çalışmamızda bulunan 2 saatlik ön uygulama yaptığımız grubun verileri ile birebir örtüşmektedir. Ayrıca bu veriler bize, AgNP'nin redoks reaksiyonlarında katalitik aktivitenin etkinliğini artıran elektron rol merkezi olarak hareket etme kabiliyetine dayanarak redoks reaksiyonlarının verimliliğini arttırdığını göstermiştir.

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda gümüş nanopartikülü içeren çözeltilere 2, 4 ve 8 saat maruz bırakılan 7 günlük domates fidelerinde savunma sisteminde aktif olarak rol alan POX, SOD, CAT, APOX, GR ve GST antioksidan enzimlerinin miktarlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Farklı konsantrasyonlara 2 saat maruz kalan domates fidelerinin köklerinde POX, SOD, CAT, APOX, GST, GR enzimi aktivitelerinde kontrole kıyasla bir azalma görülmektedir. %17 ile en büyük düşüş 40 ppm örneklerin GST enzimi miktarında görülmektedir. POX, CAT APOX ve GR enzim aktivitelerindeki en düşük miktarlar 10 ppm konsantrasyondaki uygulamalarda sırasıyla %12, %14, %15 ve %13'lük fark göstermektedir.

Dört saat boyunca nanopartiküllü çözeltide imbibisyona bırakılan örneklerin kök dokularındaki enzim oranları incelendiğinde ise tüm antioksidan enzim (POX, SOD, CAT, APOX, GR ve GST) oranlarında kontrole kıyasla artan miktarları dikkat çekmektedir. GR ve GST enzimlerinde en yüksek miktarlar 10 ppm lik uygulamalarda %47 ve %25; POX, SOD, CAT ve APOX enzimlerinin 40 ppm lik uygulamalarında sırasıyla %25, %28, %10 ve %25 oranda artış yaşanmıştır.

8 saatlik uygulama sonuçlarında ise APOX ve GST enzim içerikleri artıyorken GR (10ppm) enzim içeriklerinde azalmalar meydana gelmiştir. GST enzim değerleri en fazla 40 ppm lik uygulamada artarken (%22, %18), APOX değeri %17 ile 20 ppm lik uygulamada artış göstermiştir.

Gövde dokuları antioksidan enzim içerikleri açısından incelendiğinde 2 saatlik uygulama sonuçlarında APOX, GR, GST ve POX (20 ve 40 ppm) seviyelerinde artış yaşanmıştır. CAT değerlerinde dikkate değer bir fark görülmez iken SOD (10 ve 20 ppm) ve POX (10 ppm) içeriklerinde azalan değerler mevcuttur. Tüm konsantrasyon serileri arasında en yüksek değer 10 ppm APOX de %75lik artış iken en düşük miktar 10 ppmde %42 azalma ile SOD enzim miktarında incelenmiştir.

Farklı konsantrasyonlardaki AgNP'li çözeltiler içerisinde 4 saat bekletilen domates tohumlarının 7. gün sonundaki antioksidan enzim aktiviteleri incelenmiştir. CAT, APOX, GR, POX enzimlerinde, SOD enzimlerinin ise 10 ve 20 ppm'lik materyallerinde kontrole kıyasla azalan değerler izlenmiştir. Aksine GST ve 40 ppm'deki SOD enzimlerinin miktarlarında artış görülmektedir. 20 ppm'lik POX (%59) ve tüm GR (%21-27 arasında) enzimi konsantrasyonlarında kontrol seviyesinin altında değerler gözlenmiştir.

Ön uygulamanın 8 saatlik periyotlarında yapılan incelemelerde ise GR ve APOX enzim seviyeleri kontrole yakın değerler izlerken diğer enzimlerde (POX, SOD, CAT ve GST) azalan miktarlar görülmektedir. GST enzimi değerlerin içerisinde en yüksek fark 10 ppm örneklerde %10 ile görülürken POX ve CAT enzimlerinde ise bu değerler 40 ppm de %33 ve %41lik oranlarda incelenmiştir.

Cvjetko ve ark. (2017) iki aylık *Nicotiana tabacum L.* bitkisine farklı derişimlerde (kontrol ve 25, 50, 75, 100, 500 μM) 7 gün boyunca distile su ve AgNP içeren çözeltiler uygulamışlardır. Uygulanan nanopartikül içeriğinin %80'i yaklaşık 62 nm, %20'si ise 14 nm boyuta ve küresel şekle sahiptir. 7 günün sonunda SOD ve APOX enzim analizleri incelendiğinde gövde örneklerinde 100 ve 500 μM 'da kontrole göre azalmalar yaşandı fakat köklerde kayda değer bir değişime rastlanmadı. CAT değerlerinde ise gövdelerde kontrol grubu ile karşılaştırıldığında önemli bir değişim gözlenmez iken köklerde hafif bir düşüş yaşanmıştır. Benzer şekilde çalışmamızda da domates gövdelerindeki SOD enzim aktivitesinde azalmalar dikkat çekmektedir (Şekil 4.17). APOX örneklerinde ise 20 ppm derişime 2 saat ve 10 ppm'e 8 saat maruz kalan köklerde kontrole benzer değerler görülmekte, gövdelerde 4 ve 8 saatte ortalama %18 oranında düşme gözlemlendi. Çalışma sonucumuzda yine CAT aktivitesinde köklerde 2 saatlik uygulamalarda hafif bir düşüş görülürken gövdelerde 2 saatlik uygulamalarda kontrol grubuna yakın değerler görüldü.

Hidroponik kültüre alınan domates fidelerine Mehrian ve arkadaşları (2015), büyüme kabinde 15 gün boyunca 20 nm boyutlu farklı konsantrasyonlarda AgNP (0, 25, 50, 75 ve 100 mg l^{-1}) uyguladı. Analiz için hasat edilen örneklerde antioksidan savunma sistemi enzimlerinden SOD, CAT, POX değerleri incelendi. Gövde örneklerinde SOD enzim miktarı kontrol ile kıyaslanınca 50 mg l^{-1} ve üzerindeki konsantrasyonlarda artış gözlemlendi. Köklerde ise 25 ve 50 mg l^{-1} de artan değerler 75 ve 100 mg l^{-1} de düşmeye başlamış 100 mg l^{-1} de kontrol ile yakın değerler dikkat çekmiştir. CAT enzim miktarlarında ise gövde örneklerinde kontrolle kıyaslandığında artış izlenmiştir. POX enzim miktarların kök ve gövde örneklerinde kontrole göre yükselmiştir. Domateslerde yaptığımız çalışmada da benzer şekilde köklerde SOD enzim aktivitesi 2 saatlik uygulamada artıyor iken 8 saatlik ön uygulamada kontrole yaklaşan değerler görülmektedir. Gövdelerdeki CAT enzim miktarları ise 4 ve özellikle 8 saatlik denemelerde artmıştır. POX aktivitesi köklerde 4 saatlik uygulamalarda ve gövdelerde 2 saatlik uygulamalarda artmıştır.

2018 yılında (Gupta ve diğ.) yapılan çalışmada *Curculigo orchioides* bitkisinden sentezlenen 18 nm boyutlu AgNP, *Oryza sativa* tohumlarına 0, 10, 20 ve 40 ppm konsantrasyonda uygulanmıştır. Çimlenen tohumların 14. gün sonunda analizleri kontrol grupları ile kıyaslandığında pirinç yapraklarında ölçülen antioksidan enzim (POX, SOD, APOX, GR) miktarları kontrole oranla artmıştır. Benzer şekilde çalışmamızda domates fidesinin gövdelerinde APOX, SOD (40 ppm), POX (20 ve 40 ppm) ve GR (20 ve 40 ppm) miktarı 2 saatlik periyotlarda kontrol grubuna kıyasla artmıştır.

Domates tohumlarının Ag nanopartikülü (10 nm) içeren farklı konsantrasyonlardaki 2, 4 ve 8 saatlik ön uygulamalarının 7 günlük fidelerin çimlenme oranlarını etkilemediği görülmüştür. Buna karşın kök uzunluğu, gövde uzunluğu ve birey taze ağırlığında 2 saatlik ön uygulamalar sonucunda dikkate değer bir fark görülmezken uygulama dozu ve süresi arttıkça bitkide strese neden olduğu görülmektedir. Canlılık ve Tolerans indeksleri incelendiğinde uygulamaların süresi ve dozu arttıkça düşen değerlerden fidelerde bariz bir strese neden olduğu görülmektedir. Tüm bu fizyolojik parametreler içerisinde 2 saat 20 ppm AgNP çözeltisi uygulanan grupların değerlerinin kontrol grubuna en yakın değerler olduğu dikkat çekmektedir.

Total klorofil ve karotinoid analizlerinde 2 saatlik ön uygulamalarda görülen artış; artan AgNP dozu ve sürelerine maruz kalan fidelerin (özellikle 4 saatlik ön uygulamalarda) inhibisyona uğradığını işaret etmektedir. Antosiyanin miktarında ise 2 (10 ve 40 ppm) ve 4 saatlik ön uygulama sonuçlarında eksilme görülürken 8 saat imbibisyona maruz kalan grubun antosiyanin miktarlarının arttığı dikkat çekmektedir.

Domates bitkisinin kök dokularının analizleri incelendiğinde 2 saatlik ön uygulamalarda H_2O_2 ve MDA miktarında meydana gelen eksilmenin artan doz ve sürelerde birikmelere neden olduğu görülmektedir. SOD, CAT, APOX ve GST aktivitelerinde 2 saatlik ön uygulamalarda düşüş yaşanırken kontrole en yakın değerlerin 20 ppm'lik seriler olduğu dikkat çekmektedir. SOD, POX, APOX, GR ve GST aktivitelerinin AgNP çözeltilerinin dozu ve süresindeki artışa bağlı olarak yükseldiği görülmektedir. Gövde analizleri sonucunda ise H_2O_2 miktarının 4 ve 8 saatlik ön uygulamaların ileri dozlarında ve MDA miktarının 8 saatlik (20 ppm) ön uygulamada artması AgNP nanopartikülünün ileri doz ve uzun sürelerde bitkilerde toksik etkileri olabileceğini düşündürmektedir. POX, APOX, GR ve GST değerlerinde kısa uygulama

sürelerinde görülen artışın özellikle 8 saatlik ön uygulamalarda düşmesi bitkinin strese karşı verdiği tepkinin yetersiz kaldığı şeklinde yorumlanabilir.

Sonuç olarak; kısa sürede ve düşük dozlarda 10 nm boyutlu AgNP'ye maruz kalmak *Lycopersicon esculentum* Mill. bitkisinde bariz bir toksik etkiye neden olmadığı fakat ön uygulama süresi (imbibisyon) ve/veya AgNP konsantrasyonu arttırıldığı zaman bitkilerde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal olarak fitotoksik etkiye neden olduğu görülmüştür. Ayrıca 2 saatlik ön uygulamaların tüm konsantrasyonları arasında çoğunlukla 20 ppm AgNP'e maruz kalan gruplarda kontrole en yakın değerlerin görülmesi dikkat çekmektedir.

Gümüş nanopartikülleri içeren pestisitlerin tarımda kullanımına ilişkin literatürdeki boşluğa katkı sağlayacağı ve ilerleyen zamanda yapılacak olan çalışmalar için kaynak niteliğinde olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Azeem, E. A., Elsayed, B. A., 2013, Phytotoxicity of silver nanoparticles on *Vicia faba* seedlings, *New York Science Journal*, 6(12), 148-156.
- Aebi, H., 1984, Catalase in vitro, *Methods in Enzymology*, Vol. 105, pp. 121-126.
- Akkuş, İ., 1995, Serbest Radikaller ve Fizyopatolojik Etkileri, *Mimosa Yayınları*, 38 (5), 42-45.
- Akpınar, I., 2014, *Thiramın Domates (Lycopersicon esculentum Miller) Bitkisi Üzerine Fizyolojik Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Alavi, S. V., Dehpour, A. A., 2009, April, Evaluation of the nanosilver colloidal solution in comparison with the registered fungicide to control greenhouse cucumber downy mildew disease in the North of Iran, In *VI International Postharvest Symposium 877* (pp. 1643-1646).
- Antia, N. J., McAllister, C. D., Parsons, T. R., Stephens, K., Strickland, J. D. H., 1963, Further measurements of primary production using a large-volume plastic sphere, *Limnology and Oceanography*, 8(2), 166-183.
- Asada, K., 2006, Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions, *Plant Physiology*, 141, 391-396.
- Ata, A., 2015, *Örtüaltı Domates Yetiştiriciliği*, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayınları (El Broşürü), 1 s.
- Athar H.R., Khan A., Ashraf M., 2008, Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat, *Environmental Experimental Botany*, 63: 224-31.
- Bai, Y., Lindhout, P., 2007, Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future, *Annals of botany*, 100(5), 1085-1094.
- Bali, R., Razak, N., Lumb, A., Harris, A. T., 2006, The synthesis of metallic nanoparticles inside live plants, In *2006 International Conference on Nanoscience and Nanotechnology*.
- Barrena, R., Casals, E., Colón, J., Font, X., Sánchez, A., Puentes, V., 2009, Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles, *Chemosphere*, 75(7), 850-857.
- Baskar V., Venkatesh J., Park S. W., 2015, Impact of biologically synthesized silver nanoparticles on the growth and physiological responses in *Brassica rapa ssp. Pekinensis*, *Environmental Science and Pollution Research*, 22:17672–17682.
- Bergeson, L.L., 2010, Nanosilver: US EPA's pesticide office considers how best to proceed, *Environmental Quality Management*, 19 (3), 79-85.

- Berglund, A.H., Quartacci, M.F., Calucci, L., Navari-İzzo, ve diğ., 2002, Alterations of wheat root plasma membrane lipid composition induced by copper stress result in changed physicochemical properties of plasma membrane lipid vesicles, *Biomembranes*, 1564 (2), 466-472.
- Berk, S., Akkurt, İ., 2012, Nanopartikül: Geleceğin korkulu rüyası, *Tuberk Toraks*, 60(2): 180-184.
- Bhushan, B., 2012, Encyclopedia of nanotechnology, *Springer*, No: 544.1, ENC Dordrecht, Netherlands.
- Bradford, M. M., 1976, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Buzea, C., Blandino, I. I. P., Robbie, K., 2007, Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, *Biointerphases*, 2:MR17 - MR172.
- Büyük, İ., Soydam Aydın, S., Aras, S., 2012, Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(2): 97 – 110.
- Canas, J.E., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L., Luo, M., Ambikapathi, R., Olszyk, E.H.L.D., 2008, Effect of functionalized and nonfunctionalized single walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27: 1922–31.
- Ceylan, S., 2017, *Kimyasal İndirgenme Yöntemi ile Gümüş Nanopartikül Partikül Boyutuna Tepkime Parametrelerinin Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi.
- Chiba S., Yokota S.I., Yonekuva K., Tanaka S., Furuyama H., Kubota H., ve diğ., 2006, Auto antibodies against HSP70 family proteins were detected in the cerebro spinal fluid from patients with multiplsclerosis, *Journal of the Neurological Sciences*, 241(1-2): 39-43.
- Cuyppers, A., Koistinen, K. M., Kokko, H., Kärenlampi, S., Auriola, S., Vangronsveld, J., 2005, Analysis of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) proteins affected by copper stress, *Journal of Plant Physiology*, 162(4), 383-392.
- Cvjetko, P., Zovko, M., Štefanić, P. P., Biba, R., Tkalec, M., Domijan, A. M., Balen, B., 2018, Phytotoxic effects of silver nanoparticles in tobacco plant, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5590-5602.
- Çoşkunçay, S., 2015, *Gümüş Nanopartiküllerinin Atkestanesi (Aesculus hippocastanum) Yaprak Özütü ile Biyosentezi, Biyolojik Aktivite ve İlaç Salınım Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.
- Das, K.C., ve Das, C.K., 2000, Thioredoxin, a singlet oxygen quencher and hydroxyl radical scavenger: redox independent functions, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 277 (2), 443-447.
- Davis, P.H., 1978, *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, 6: 444. Edinburg University Press, Edinburg.

- De Gara, L.D., Paciolla, C., Tullio, M.C., Motto, M., Arrigoni, O., 2000, Ascorbate-dependent hydrogen peroxide detoxification and ascorbate regeneration during germination of a highly productive maize hybrid: evidence of an improved detoxification mechanism against reactive oxygen species, *Physiologia Plantarum*, 109, 7–13.
- Demir, A. T., 2015, *Origanum syriacum* Uçucu Yağı-Gümüş Nanopartikül Kompleksinin Antikanser Etkisinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi.
- Demirevska-Kepova K., Simova-Stoilova L., Stoyanova Z.P., Feller U., 2006, Cadmium stress in barley: growth, leaf pigment, and protein composition and detoxification of reactive oxygen species, *Journal of Plant Nutrition*, 29: 451-68.
- Dixon, D. P., Laphorn, A., Edwards, R., 2002, Plant glutathione transferases, *Genome Biology*, 3(3), 3004-1.
- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., Gosselin, A., 2001, Greenhouse tomato fruit quality, *Horticultural Reviews*, 26: 239-319.
- Gupta, S. D., Agarwal, A., Pradhan, S., 2018, Phytostimulatory effect of silver nanoparticles (AgNPs) on rice seedling growth: An insight from antioxidative enzyme activities and gene expression patterns, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 161 (2018) 624–633
- Ediz, E., 2018, *Phaseolus vulgaris* L.'den Gümüş Nanopartiküllerin Biyosentezi ve Antifungal Etkinliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.
- El-Temsah, Y. S., Joner, E. J., 2012, Impact of Fe and Ag nanoparticles on seed germination and differences in bioavailability during exposure in aqueous suspension and soil, *Environmental Toxicology*, 27(1), 42-49.
- Entekno, 2019, <http://www.enteknomaterials.com/nano-malzemeler>, Erişim tarihi: Haziran 2019.
- Feng Q.L., Wu, J., Chen, G.Q., Cui, F.Z., Kim, T.N., Kim, J.O., 2000, A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, *Journal of Biomedical Material Research*, 52(4):662–8.
- Feynman, R.P., 1992, There's plenty of room at the bottom, *Journal of Microelectromechanical Systems*, 1(1), 60-66.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>, Erişim tarihi: Haziran 2019.
- Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., Bartolucci, C., 2016, Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have?, *Frontiers in Environmental Science*, 4, 20.
- Frohlich E.E., Frohlich E., Cytotoxicity of Nanoparticles Contained in Food on Intestinal Cells and the Gut Microbiota, *International Journal of Molecular Sciences*, 2016; 17(4): 509.

- Genestra, M., 2007, Oxyl radicals, redox-sensitive signalling cascades and antioxidants, *Cellular Signalling*, 19(9), 1807-1819.
- Giannopolitis, C. N., Ries, S. K., 1977, Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants, *Plant Physiology*, 59(2), 309-314.
- Girotti, A. W., 1985, Mechanisms of lipid peroxidation, *Journal of Free Radicals in Biology and Medicine*, 1(2), 87-95.
- Glossary of Drug Nanotechnology, 2012, Particle Sciences - Technical Brief, <https://www.particlesciences.com/news/technical-briefs/2012/glossary-of-drug-nanotechnology.html>, Erişim tarihi: Haziran 2019.
- Günay, A., 1992, *Özel Sebze Yetiştiriciliği. Patıcan, Domates, Biber, Patates, Tatlı Patates, Bakla, Fasule, Bezelye, Börülce*, Saypa Kitap ve Müzikeyi, Ankara, Cilt IV; 23-29.
- Haber F., Weiss J., 1934, The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by ion salts, *Proceedings of the Royal Society*, 147(A): 332-51.
- Habig, W. H., Pabst, M. J., Jakoby, W. B., 1974, Glutathione S-transferases the first enzymatic step in mercapturic acid formation, *Journal of Biological Chemistry*, 249(22), 7130-7139.
- Halliwell B., Gutteridge J.M.C., 1998, *Free radicals in biology and medicine*, 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 188-96.
- Harbinson J., Hedley CL., 1993 Changes in P-700 oxidation during the early stages of the induction of photosynthesis, *Plant Physiology*, 103: 649-60.
- Hegedüs, A., Erdei, S., Horváth, G., 2001, Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress, *Plant Science*, 160(6), 1085-1093.
- Henle K.J., Jethmalani S.M., Nagle W.A., 1999, Stress proteins and glycoproteins, *International Journal of Molecular Medicine*, (1): 25-32.
- Herzog, V., Fahimi, H. D., 1973, A new sensitive colorimetric assay for peroxidase using 3, 3'-diaminobenzidine as hydrogen donor, *Analytical Biochemistry*, 55(2), 554-562.
- Homaee M. B., Ehsanpour A. A., 2015, Physiological and biochemical responses of potato (*Solanum tuberosum*) to silver nanoparticles and silver nitrate treatments under in vitro conditions, *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(4):353-359.
- Ikram, S., Ahmed S., Ahmad, M., Swami, B.L., 2015, Review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise, *Journal of Advanced Research* (2016) 7, 17-28.
- Iravani, S., Korbekandi H., Zolfaghari B., 2015, Phytosynthesis of Nanoparticle, *Nanotechnology and Plant Sciences*.
- Jiang, M., Zhang, J., 2001, Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings, *Plant and Cell Physiology*, 42(11), 1265-1273.

- Karuppanapandian, T., Wang, H. W., Prabakaran, N., Jeyalakshmi, K., Kwon, M., Manoharan, K., Kim, W., 2011, 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid-induced leaf senescence in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and senescence inhibition by co-treatment with silver nanoparticles, *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(2), 168-177.
- Kheybari, S., Samadi, N., Hosseini, S. V., Fazeli, A., Fazeli, M. R., 2010, Synthesis and antimicrobial effects silver nanoparticles produced by chemical reduction method, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 18 (3) 168-172.
- Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., Biris, A. S., 2009, Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth, *ACS Nano*, 3(10), 3221-3227.
- Khot, L. R., Sankaran, S., Maja, J. M., Ehsani, R., & Schuster, E. W., 2012, Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review, *Crop Protection*, 35, 64-70.
- Kookana, R. S., Boxall, A. B., Reeves, P. T., Ashauer, R., Beulke, S., Chaudhry, Q., Lynch, I., 2014, Nanopesticides: guiding principles for regulatory evaluation of environmental risks, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(19), 4227-4240.
- Krishnaraj, C., Jagan, E. G., Ramachandran, R., 2012, Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. plant growth metabolism, *Process Biochemistry*, 47, 651.
- Küçüker, O., 1994, *Tıbbi Biyologlar için Botanik Ders Kitabı*, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul, 183-184.
- Kütevin Z., Türkeş T., 1987, *Sebzecilik, Genel Sebze Tarımı Prensipleri ve Pratik Sebzecilik Yöntemleri*, İnkılap Kitabevi, İstanbul, 201, 294, 295.
- Lepedus, H., Cesar, V., Krsnik-Rasol, M., 2004, Guaiacol peroxidases in carrot (*Daucus carota* L.) root, *Food Technol Biotechnol*, 42 (1), 33–36.
- Levitt, J., 1980, Responses of Plants to Environmental Stresses. Volume I: Chilling, freezing and high temperature stresses, Academic Press, London.
- Li, M., Hu, C., Chen, L., Kong, Z., Liu, Z., 2006, Copper and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in the microalga *Pavlova viridis* (Prymnesiophyceae), *Chemosphere*, 62 (4), 565-572.
- Liochev, S. I., Fridovich, I., 2007, The effects of superoxide dismutase on H₂O₂ formation, *Free Radical Biology and Medicine*, 42(10), 1465-1469.
- Liu, S., Yuan, L., Yue, X., Zheng, Z., Tang, Z., 2008, Recent advances in nanosensors for organophosphate pesticide detection, *Advanced Powder Technology*, 19(5), 419-441.
- Liveri, V. T., 2006, *Controlled Synthesis of Nanoparticles in microheterogeneous systems*, Springer Science and Business Media, Inc., New York.

- Lopez-Serrano, A., Olivas, R.M., Landaluze, J.S., Camara, C., 2013, Nanoparticles: a global vision. Characterization, separation, and quantification methods. Potential environmental and health impact, *Analytical Methods*, 6, 38.
- Ma, Y., Kuang, L., He, X., Bai, W., Ding, Y., et al., 2010, Effects of rare earth oxide nanoparticles on root elongation of plants, *Chemosphere*, 78(3), 273-279.
- Mancinelli, A. L., 1990, Interaction between light quality and light quantity in the photoregulation of anthocyanin production, *Plant Physiology*, 92(4), 1191-1195.
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S., Janardhan Reddy K., 2005, Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants, *Springer Science*, 345.
- Mazumdar, H., Ahmed, G. U., 2011, Phytotoxicity effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa*, *International Journal of ChemTech Research*, 3(3), 1494-1500.
- Mehrian, S. K., Heidari, R., Rahmani, F., 2015, Effect of silver nanoparticles on free amino acids content and antioxidant defense system of tomato plants, *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(3), 257-263.
- Mehrian, S. K., Heidari, R., Rahmani, F., Najafi, S., 2016, Effect of chemical synthesis silver nanoparticles on germination indices and seedlings growth in seven varieties of *Lycopersicon esculentum* Mill. (tomato) plants, *Journal of Cluster Science*, 27(1), 327-340.
- McCord, J.M., Fridovich, I., 1968, The reduction of cytochrome c by milk xanthine oxidase, *Journal of Biological Chemistry*, 243 (21), 5753-5760.
- Miller, J.C., Serrato, R., Represas-Cardenas, J.M., ve Kundahl, G., 2004, *The Handbook of Nanotechnology*, John Wiley & Sons, Hoboken.
- Miralles P., Church T.L., Harris A.T., 2012, Toxicity, Uptake, and Translocation of Engineered Nanomaterials in Vascular plants, *Environmental Science & Technology*, 46: 9224-9239.
- Munné-Bosch, S., 2007, α -Tocopherol: A multifaceted molecule in plants, *Vitamins & Hormones*, 76, 375-392.
- Nakano, Y., Asada, K., 1987, Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical, *Plant and Cell Physiology*, 28(1), 131-140.
- Nobel, P.S., 1974, *Introduction to Biophysical Plant Physiology*, Freeman and Company, San Francisco.
- Noctor, G., Foyer, C.H., 1998, Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control, *Ann. Rev. Plant Physiology*, 49, 249-279.
- Nowack, B., Bucheli, T. D., 2007, Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment, *Environmental Pollution*, 150(1), 5-22.

- Pal, S., Tak, Y. K., Song, J. M., 2007, Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle: A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*, *Applied and Environmental Microbiology*, 1712-1720.
- Paul, D.R., Robeson, L.M., 2008, Polymer nanotechnology: nanocomposites, *Polymer*, 49(15); 3187-3204.
- Pekdemir, M. H., 2011, *Manyetik Nanopartiküller kullanılarak Yüzeyde Güçlendirilmiş Raman Spektroskopisi İle İmmunoassay Sistemin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- Prakash, P., Gnanaprakasam, P., Emmanuel, R., Arokiyaraj, S., Saravanan, M., 2013, Green synthesis of silver nanoparticles from leaf extract of *Mimosa pudica* for enhanced antibacterial activity against multi drug resistant clinical isolates, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 108, 255-259.
- Prasanna, B.M., 2007, Nanotechnology in agriculture, *ICAR National Fellow, Division of Genetics*, IARI, New Delhi, 110012.
- Qian, H., Peng, X., Han, X., Ren, J., Sun, L., Fu, Z., 2013, Comparison of the toxicity of silver nanoparticles and silver ions on the growth of terrestrial plant model *Arabidopsis thaliana*, *Journal of Environmental Sciences*, 25(9), 1947-1956.
- Quan, L.J., Zhang, B., Shi, W.W., Li H.Y., 2008, Hydrogen peroxide in plants: A versatile molecule of the reactive oxygen species network, *Journal of Integrative Plant Biology*, 50: 2-18.
- Raiola, A., Rigano, M.M., Calafiore, R., Frusciante, L., Barone, A., 2014, Enhancing the human-promoting effects of tomato fruit for biofortified food, *Hindawi Publishing Corporation Mediators of Inflammation*, 10.1155/139873.
- Ramezani M., Gerami M., Majlesi Z., 2018, Comparison between various concentrations of commercial and synthesized silver nanoparticles on biochemical parameters and growth of *Stevia rebaudiana* B., *Plant Physiology Reports*, 24(1), 141-152.
- Rao, C.N.R., Müller, A., Cheetham, A. K., 2005, *The Chemistry of Nanomaterials Volume 1*, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Rao, S., Shekhawat, G. S., 2016, Phytotoxicity and oxidative stress perspective of two selected nanoparticles in *Brassica juncea*, *3 Biotech*, 6(2), 244.
- Ravindran, A., Prathna, T. C., Verma, V. K., Chandrasekaran, N., Mukherjee, A., 2012, Bovine serum albumin mediated decrease in silver nanoparticle phytotoxicity: root elongation and seed germination assay, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 94(1), 91-98.
- Rejeski, D., Lekas, D., 2008, Nanotechnology field observations: scouting the new industrial West, *Journal of Cleaner Production*, 16(8-9), 1014-1017.
- Rhodes, D., 2008, Department of Horticulture and Landscape Architecture Hort 410- Vegetable Crops Tomatoes-Notes

- Roco, M.C., 2011, The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years, *Journal of Nanoparticle Research*, 427-445.
- Savithramma, N., Ankanna, S., Bhumi, G., 2012, Effect of nanoparticles on seed germination and seedling growth of *Boswellia ovalifoliolata* an endemic and endangered medicinal tree taxon, *Nano Vision*, 2(1), 2.
- Seif, S. M., Sorooshzadeh, A., Rezazadeh, H. S., Naghdibadi, H. A., 2011, Effect of nanosilver and silver nitrate on seed yield of borage, *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 706-710.
- Schaedle, M., Bassham, J. A., 1977, Chloroplast glutathione reductase, *Plant Physiology*, 59(5), 1011-1012.
- Sigel, H., Sigel, A., 1999, *Interrelations Between Free Radicals and Metal Ions in Life Processes*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M. G. H., Saradhi, P. P., Khanna, P. K., Arora, S., 2012, Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(8), 2225-2233.
- Smirnoff N., Cumbes Q.J., 1989, Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes, *Phytochemistry*, 28: 1057-60.
- Srilatha, B., 2011, Nanotechnology in agriculture, *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*, 2(7).
- Steinitz, B., Bilavendran, A. D., 2011, Thiosulfate stimulates growth and alleviates silver and copper toxicity in tomato root cultures, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 107(2), 355-363.
- Sürengil, G., Kılınç, B., 2011, Gıda ve ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi, *Journal of Fisheries Sciences*, 5(4); 317-325.
- Syu, Y. Y., Hung, J. H., Chen, J. C., Chuang, H. W., 2014, Impacts of size and shape of silver nanoparticles on *Arabidopsis* plant growth and gene expression, *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 57-64.
- Taniguchi, N., Arakawa, C., Kobayashi, T., 1974, On the basic concept of 'nano-technology'. In Proceedings of the International Conference on Production Engineering, 1974-8.
- Thanh, N. V. K. and Phong, N. T. P., 2009, Investigation of antibacterial activity of cotton fabric incorporating nano silver colloid, *IOP Publishing, Conference Series* 187, 012072.
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Srivastava, P. K., Singh, S., et al Chauhan, D. K., 2017, Nitric oxide alleviates silver nanoparticles (AgNps)-induced phytotoxicity in *Pisum sativum* seedlings, *Plant physiology and biochemistry*, 110, 167-177.

- Vannini, C., Domingo, G., Onelli, E., Prinsi, B., Marsoni, M., Espen, L., Bracale, M., 2013, Morphological and proteomic responses of *Eruca sativa* exposed to silver nanoparticles or silver nitrate, *Plos One*, 8(7), e68752.
- Vance, M.E., Kuiken, T., Vejerano, E.P., McGinnis, S.P., Hochella Jr., M.F., Rejeski, D., Hull, M.S., 2015, Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory, *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6, 1769–1780.
- Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A., 2000, Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines, *Plant science*, 151(1), 59-66.
- Vijayaraghavan, K., Ashokkumar, T., 2017, Plant-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: a review of literature, factors affecting synthesis, characterization techniques and applications, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4866-4883.
- Wang, T.Y., Jiang, H.T., Wan, L., Zhao, Q.F., Jiang, T.Y., Wang, B., Wang S.L., 2001, Potential application of functional porous TiO₂ nanoparticles in light-controlled drug release and targeted drug delivery, *Acta Biomater*, 13, 354-363.
- Wang W., Vinocur B., Altman A., 2003, Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, *Planta*, 218: 1-14.
- Wang, S., Kurepa, J., Smalle, J.A., 2011, Ultra-small TiO₂ nanoparticles disrupt microtubular networks in *Arabidopsis thaliana*, *Plant, Cell & Environment*, 34 (5), 811–820.
- Willekens, H., Chamnongpol, S., Davey, M., ve diğ., 1997, Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defence in C3 plants, *EMBO Journal*, 16, 4806–4816.
- Woodrow Wilson, Project on Emerging Nanotechnologies, Erişim tarihi: 12.06.2017.
- Yardımcı, A., 2012, Nanoteknoloji, Ekonomik Forum, 34-39.
- Yavuz, E. Demirkapı, D., Battal, B., 2011, Antibakteriyel Boyar Kaplama Çözeltisi Hazırlanması, *Kimya Lisans Öğrencileri Araştırma Projesi Eğitimi Çalıştayı, Tübitak, Çanakkale*.
- Yentür, S., 2003, *Bitki Anatomisi*, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İstanbul, 975-404-351-5.
- Zheng, L., Hong, F., Lu, S., Liu, C., 2005, Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach, *Biological Trace Element Research*, 104, 83-91.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Zeyneb Zişan GÖKÇE
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	28.06.1993
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	zeynebzisang@ogr.iu.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Marmara Üniversitesi
Fakülte	Fen-Edebiyat Fakültesi
Bölümü	Biyoloji
Mezuniyet Yılı	17.06.2015

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

Makale ve Bildiriler	
Ozyigit, I. I., Uras, M. E., Sen, U., Gokce, Z. Z., Hocaoglu, A., Aygun, G. M., 2017, Investigation of Accumulation Capacity and Consequential Mineral Nutrient Status of Heavy Metal (CdCl₂) Treated <i>Ludwigia glandulosa</i> Walter in Aquatic Tanks, <i>The Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress</i>, 20-23 September 2017 Kyrgyzstan, Bishkek. Uras, M. E., Ozyigit, I. I., Sen, U., Yalcin, I. E., Tabanlı, F., Yilmaz, E., Hamzaoglu, N., Gokce, Z. Z., Vatansever, R., Filiz, E., Demir, G., 2016, Evaluation of Accumulation Capacity, Mineral Nutrient Status and Photosynthetic Pigment Contents in Aquatic Plant <i>Bacopa monnieri</i> (L.) Pennell in Relation to Heavy Metal Exposures, <i>International Conference on Environment and Natural Science (ICENS)</i>, 2 April 2016 Singapore. Tabanlı, F., Ozyigit, I. I., Gokce, Z. Z., Cilgin, K., Aygun, G. M.,	

2017, Assessment of Cd Induced Genotoxic Damage in *Ludwigia glandulosa* Walter Using RAPD Analysis, *Ecology 2017 International Symposium*, 11-13 May 2017 Turkey, Kayseri.

Uras, M. E., Ozyigit, I. I., Sen, U., Yalcin, I. E., Gokce, Z. Z., 2016, Bir Kaz Dağı Endemiği Olan *Centaurea odyseii* Wagenits Bitkisinin Mineral Beslenme Özelliklerinin Belirlenmesi, 23. *Ulusal Biyoloji Kongresi*, 5-9 Eylül 2016 Gaziantep.