

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Phaseolus vulgaris L.'DEN GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN BİYOSENTEZİ
VE ANTİFUNGAL ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ

EGE EDİZ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2018

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAY SAYFASI

Ege EDİZ tarafından hazırlanan “*Phaseolus vulgaris* L.’den Gümüş Nanopartiküllerin Biyosentezi ve Antifungal Etkinliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 13/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. E. Sümer ARAS
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri:

Başkan : Prof. Dr. Ekrem GÜREL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. E. Sümer ARAS
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

13.07.2018



Ege EDİZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Phaseolus vulgaris L.'DEN GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN BİYOSENTEZİ VE ANTİFUNGAL ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ege EDİZ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. E. Sümer ARAS

Bu tez çalışmasında, protein içeriği yüksek bir baklagil olan *Phaseolus vulgaris* L. (Yunus-90) bitkisinin farklı bölümlerinden fito-nano teknolojik yöntemle hazırlanmış gümüş nanopartiküllerin, hedef bitkide patojenik etki gösterdiği bilinen çeşitli fungus türlerine karşı antifungal etkinliklerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Araştırmanın ilk bölümünde, çalışma kapsamında kullanılacak bitki örnekleri, steril edilen bitki tohumlarından, perlit ortamında Hoagland besisi çözeltisi kullanılarak iklim kabininde yetiştirilmiştir. Takip eden aşamada; bitkinin yaprak, gövde ve kök bölgelerinden fito-nanogümüş partiküllerin elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Sentezi başarılı bir biçimde gerçekleştirilen nanopartiküllerin yapısı uygun spektral analiz yöntemleri (UV-vis, FT-IR, TEM, SEM ve DLS) kullanılarak aydınlatılmıştır. Tez çalışmasının son bölümünde, *Colletotrichum* sp., *Fusarium oxysporum*, *F. acuminatum*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. incarnatum*, *F. culvarum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria alternata* ve *Sclerotium rolfsii* fungal patojen türlerinin gelişimlerinin baskılanmasında, hem fito-nano yöntemle hem de standart kimyasal yöntemlerle sentezlenen gümüş nanopartiküllerin etkinlikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Temmuz 2018, 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fito nanobiyoteknoloji, Yeşil sentez, *Phaseolus vulgaris*, Gümüş nanopartikül, Antifungal aktivite.

ABSTRACT

Master Thesis

BIOSYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES FROM *Phaseolus vulgaris* L. AND INVESTIGATION OF THEIR ANTIFUNGAL ACTIVITIES

Ege EDİZ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. E. Sümer ARAS

In this thesis, we aimed to synthesize silver nanoparticles by the phyto-nanotechnological method from the different parts of *Phaseolus vulgaris* L. (Yunus-90), a highly proteinaceous plant legume, and to determine their antifungal activities against various fungi species known to have a pathogenic effect on the target plant organism.

In the first part of the study, plant samples to be used during the study were grown from the sterilized plant seeds in a climate cabinet using Hoagland's nutrient solution in the perlite medium. The following step; includes the preparation of phyto-nanoparticles from leaf, stem and root regions of the plant. The structure of the successfully synthesized nanoparticles was elucidated using appropriate spectral analysis methods (UV-vis, FT-IR, TEM, SEM, and DLS). In the last part of the study, the efficacy of silver nanoparticles synthesized by both phyto-nano method and standard chemical methods in the suppression of *Colletotrichum* sp., *Fusarium oxysporum*, *F. acuminatum*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. incarnatum*, *F. culvarum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria alternata*, and *Sclerotium rolfsii*'s fungal pathogen isolate development has been comparatively investigated.

July 2018, 48 pages

Key Words: Phyto nanobiotechnology, Green synthesis, *Phaseolus vulgaris*, Silver nanoparticles, Antifungal activity.

TEŞEKKÜR

Bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana büyük katkıda bulunan, yenilikçi fikirlere ve projelere açık tavrıyla desteğini her zaman arkamda hissettiğim çok değerli hocam Prof. Dr. E. Sümer ARAS'a teőekkürlerimi sunarım.

Deneyimleri, yol gösterici kiőilięi ve pozitif enerjisi ile çalıőmalarımda büyük katısı olan değerli hocam Doç. Dr. İlker BÜYÜK'e, bilgi birikimi ve anlayıőlı kiőilięiyle her zaman yanımda olan ve gece gündüz demeden çalıőmalarıma destek veren, değerli hocam Arő. Gör. Dr. Gülbin KURTAY'a, sabırlı ve anlayıőlı kiőilięi, bilgi birikimiyle bana çalıőmalarımda yol gösterici olmuő olan değerli hocam Arő. Gör. Dr. Başar KARACA'ya ve Bitki Moleküler Biyolojisi Laboratuvarı'ndaki tüm arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve bu noktaya gelmemde en büyük pay sahibi olan başta canım anneannem Sermin BULUT ve canım annem Ömür GÜNEŞ'e, ayrıca beni destekleyen ve zor zamanlarımda hep yanımda olan Gökçe ASLANER'e ve çalışma periyodumuzda bana anlayıő göstererek yüksek lisansım için gerekli zamanı ayırmama kolaylık sağlayan müdürüm Ömer ÇÖMEZ'e teőekkürlerimi sunarım.

Ege EDİZ

Ankara, Temmuz 2018

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1 Nanoteknolojinin Tanımı	6
2.2 Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi.....	7
2.3 Nanoteknolojide Sentez Yaklaşımları	8
2.3.1 Yukarıdan aşağıya doğru yaklaşım.....	8
2.3.2 Aşağıdan yukarıya doğru yaklaşım.....	8
2.4 Nanoteknolojinin Uygulama Alanları	9
2.4.1 Biyoteknoloji.....	9
2.4.2 Tarım.....	9
2.4.3 Tıp ve sağlık sektörü	10
2.4.4 Elektronik ve enerji depolama	13
2.4.5 Biyomedikal teknolojiler	14
2.4.6 Malzeme ve imalat sanayisi	15
2.4.7 Gıda Endüstrisi	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1 Bitkinin Yetiştirilmesi.....	17
3.1.1 Yunus-90 çeşidi <i>Phaseolus vulgaris</i> L.'nin fitolojik özellikleri	17
3.1.2 Tohumun sterilizasyonu ve bitkinin yetiştirilmesi	17
3.2 Bitki Özütünün Hazırlanması.....	19
3.3 AgNO ₃ Çözeltisinin Hazırlanması	20
3.4 Gümüş Nanopartiküllerin Eldesi.....	21
3.5 Gümüş Nanopartiküllerin Yapısal Karakterizasyonu	21

3.6 Antifungal Aktivite Çalışmaları	22
3.6.1 Aktif kültürlerin eldesi	22
3.6.2 Agar kuyu difüzyon yöntemi ile antimikrobiyel etkinliklerin saptanması.....	23
3.6.3 Fungal koloni gelişimlerdeki inhibisyonun belirlenmesi.....	23
3.6.4 Hif gelişimindeki gerilemenin mikroskopik analizi	24
3.6.5 Minimum inhibisyon konsantrasyon testi.....	24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	26
4.1 Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi ve Karakterizasyonu	26
4.2 Antifungal Aktivite Sonuçları.....	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	39
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ.....	47

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat
A.	Alternaria
AgNO ₃	Gümüş nitrat
AgNP	Gümüş nanopartikül
ATR	Attenuated Total Reflectance
BSD	Yüzey topolojisi dedektörü
C=O	Karbonil Grubu
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	Kalsiyum nitrat tetrahidrat
Ca(NO ₃) ₂	Kalsiyum nitrat
Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	Hidroksi apatit
CO ₂	Karbondioksit
CuSO ₄ .5H ₂ O	Bakır sülfat pentahidrat
ddH ₂ O	İki defa distillenmiş su
Dk	Dakika
DLS	Dinamik ışık saçılım spektroskopisi
EDTA	Etilendiamin tetraasetik asit
EDTA.2Na	Etilendiamin tetraasetik asit disodyum tuzu
EDX	X-ışınları difraksiyon dedektörü
F.	Fusarium
Fe ₃ O ₄	Demir oksit
FeEDTA	Ferrik EDTA
FeSO ₄ .7H ₂ O	Demir sülfat heptahidrat
FT-IR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
G	Gram
H ₃ BO ₃	Borik asit
KBr	Potasyum bromür
KH ₂ PO ₄	Potasyum fosfat
KNO ₃	Potasyum nitrat
KOH	Potasyum hidroksit
kV	Kilowatt
L	Litre
Mg	Miligram
MgSO ₄	Magnezyum sülfat
MgSO ₄ .7H ₂ O	Magnezyum sülfat heptahidrat
MİK	Minimum inhibisyon konsantrasyonu
mL	Mililitre

mM	Milimolar
mm	Milimetre
MnCl ₂ .4H ₂ O	Mangan (II) klorür tetrahidrat
NaClO	Sodyum hipoklorit
NaMoO ₄	Sodyum molibdik asit
Nm	Nanometre
NP	Nanopartikül
OH	Hidroksil
PD	Potato Dextrose Broth
PDA	Potato Dextrose Agar
PEG	Polietilen glikol
PLGA	Polilaktik-ko-glikolik asit
Pt	Platin
PVP	Polivinilpirolidin
R.	Rhizoctonia
rpm	Dakikadaki devir
S.	<i>Sclerotinia</i>
SE	Sekonder elektron dedektörü
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SiO ₂	Silisyum dioksit
sp.	Spesiyes
TEM	Geçirimli elektron mikroskobu
TiO ₂	Titanyum dioksit
UV- <i>vis</i>	Ultraviyole-görünür bölge spektroskopisi
V	Watt
VPSE	Düşük Vakum Sekonder Elektron dedektörü
YPG	Yeast-Peptide-Glucose
ZnSO ₄ .7H ₂ O	Çinko sülfat heptahidrat
µL	Mikrolitre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Nanoteknolojide sentez yaklaşımları	8
Şekil 2.2 Nano-Enkapsülasyon Yöntemi	10
Şekil 2.3 PLGA-Enkapsülasyonu yapılmış SiO ₂ partikülleri	12
Şekil 2.4 Dişçilikte Nanoteknoloji Uygulamaları	13
Şekil 3.1 Yunus-90 türü fasulye bitkisinin yetiştirilmesi ve bölümlere ayrılması	19
Şekil 3.2 Bitki özütlerinin hazırlanması ve filtrasyonu.....	20
Şekil 3.3 Gümüş nanopartiküllerin oluşması esnasında gözlemlenen renk değişimi	21
Şekil 4.1 Nanopartikül içeren yaprak, gövde ve kök özütlerinin UV-vis spektrumları	27
Şekil 4.2 Gümüş nanopartiküllerin oluşumu ve yüzey plazmon rezonansı	28
Şekil 4.3 Nanopartikül içeren yaprak, gövde ve kök özütlerinin FT-IR spektrumları	28
Şekil 4.4 Yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin TEM görüntüleri	30
Şekil 4.5 Yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin SEM görüntüleri	30
Şekil 4.6 Yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin DLS analiz sonucu.....	31
Şekil 4.7 Gümüş nanopartikül konsantrasyonuna bağlı koloni çapının değişimi	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Gümüş nanopartiküllerin antifungal etkinliklerinin değerlendirilmesi.....	32
Çizelge 4.2 Agar kuyu difüzyon tekniği ile gümüş nanopartikül uygulanmış petrilerde zon oluşumları.....	33
Çizelge 4.3 Yüksek konsantrasyonda nanopartikül içeren besiyerlerindeki fungal tür gelişiminin kontrol grubuyla karşılaştırılması.....	34
Çizelge 4.4 Gümüş nanopartikül konsantrasyonundaki değişime göre fungal türlerin koloni çaplarındaki değişim	35
Çizelge 4.5 Yüksek gümüş nanopartikül konsantrasyonunun fungal türlerin hif çapları üzerindeki etkisinin kontrol grupları ile karşılaştırılması	37
Çizelge 4.6 Yeşil sentez ve kimyasal yollarla elde edilen gümüş nanopartiküllerin MİK değerlerinin karşılaştırması.....	38

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, en genel ifadeyle nanometre (10^{-9} m) skalasında boyut dağılımına sahip, doğal ve sentetik fonksiyonel malzemeleri hedef alan ve içinde bulunduğumuz yüzyılda ivme kazanan teknolojik ilerlemelere paralel gelişim gösteren önemli bir bilim dalı olarak kabul görmektedir. Makro düzeyde gerçekleştirilen çalışmalara kıyasla birçok avantajı bünyesinde barındıran ve nano boyutta geliştirilen ileri teknoloji malzemelerinden özellikle tıp, biyoteknoloji, çevre, enerji, savunma sanayi, tekstil, elektronik ve uzay araştırmaları gibi birçok alanda aktif olarak yararlanılmaktadır.

Bu tez çalışmasının da temel dayanaklarından bir tanesini oluşturan ve nanoteknolojinin bir alt dalı olarak son yıllarda önemli gelişmeler kaydeden, bitkisel özütlerin kullanılmasıyla nanopartikül sentezi esasına dayanan *fito nanobiyoteknoloji* yaklaşımı da popüler bir araştırma alanı olarak ilgi uyandırmaktadır. Bu bağlamda kullanılan prosedürlerin “yeşil sentez” perspektifine sahip olması, dolayısıyla da klasik yöntemlere kıyasla oldukça etkin ve çevreye duyarlı bir yaklaşım getirerek enerji tasarrufu sağlaması, bunun yanı sıra yine geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında maliyet bakımından da daha ekonomik olmasından ötürü bu alanda çalışmalarını sürdüren araştırmacılara oldukça ilgi çekici ve yenilikçi bir alternatif sunmaktadır (Griffin vd. 2017)

Nanoteknoloji alanının temelinde yer alan nanopartiküllerin geliştirilmeye ve çeşitlendirilmeye açık yapıları sayesinde önceden tasarlanabilen fonksiyonel özelliklere sahip nihai ürünler elde edilebilmektedir. Son on yılda bilhassa metal nanopartiküllerin -sıklıkla Au, Ag, Pt, Pd olmak üzere- “yeşil yöntemlerle” sentezi ve karakterizasyonu ile ilgili çok sayıda araştırma literatürde yer bulmuştur. Ayrıca, yeşil sentez çalışmalarında doğrudan bitki özütlerinin kullanımı, klasik yöntemlerde hücre kültürlerini oluşturmak için ayrılması gereken süreyi ortadan kaldırdığı için önemli bir avantaj kazandırmaktadır (Moreno-Álvarez vd. 2010).

Bu çalışma kapsamında incelenen ve gerek klasik kimyasal gerekse de fito nanobiyoteknoloji esasına dayanan yöntemlerle hazırlanan gümüş nanopartiküller;

literatürde biyosensör, fotonik, fotokataliz, farmasötik teknoloji, mikroelektronik, vb. geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Li vd. 2010). Ayrıca, gümüş nanopartiküllerin antifungal, antimikrobiyel, antiviral, antibakteriyel, anti-enflamatuar ve antikanser etki gösterdiği de tespit edilmiştir (Vaidyanathan vd. 2009). Bu üstün nitelikleri gümüş nanopartiküllerin biyomedikal alan başta olmak üzere tekstil, kozmetik ve farklı tüketim ürünlerinin üretiminde geniş bir uygulama potansiyeline sahip olmasını sağlamaktadır (Rai vd. 2009).

Önceki bölümde detaylı bir biçimde ifade edildiği gibi tarım alanında nanoteknolojiden doğal kaynakların verimli bir biçimde yararlanarak, ekinlerin ve hayvancılık ürünlerinin ileri teknolojik yöntemlerle hazırlanması ve patojenlere karşı korunması için faydalanılmaktadır. Enerji sektöründe nanopartiküllerden güneş enerjisi dönüşümü ve su arıtımı gibi geniş kitleleri ilgilendiren alanlardaki mevcut teknolojik altyapı yetersizliklerine ve çevre faktöründen kaynaklı zorluklara akılcı çözümler getirmesi aşamasında yararlanılmaktadır (Khan vd. 2014). Toprak mikroorganizmaları ve bitki özütleri önemli birer biyo ajan olarak hedef nanopartiküllerin sentezinde büyük bir kullanım potansiyeline sahiptir. Gerçekleştirilen hemen hemen bütün nanobiyoteknoloji uygulamaları nihayetinde elde edilecek nanopartiküllerin verimli ve çevre dostu bir sentez yöntemiyle elde edilmesi konusunda yeni yaklaşımlara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Khan vd. 2009).

Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında, öncelikli amaç, çevre dostu olarak bilinen ve çözücü olarak sadece suyun kullanıldığı bir yeşil prosesle, gümüş nanopartiküllerin sentezlenmesidir. Akabinde, elde edilen bu nanopartiküllerin, farklı familyadan fungal türler üzerindeki antifungal etkinliğinin araştırılması ve potansiyel etkisinin en yüksek olduğu fungal türlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Tezin tamamlanmasını takiben, süreç içerisinde ilerleyen çalışmalarda bu partiküllerden elde edilmesi planlanan ticari ürünler yardımıyla, ülkemizde ekim ve ticaret alanı potansiyeli yüksek bir bitki türü olan fasulye bitkisini, fungal patojenlerden koruyacak veya var olan patojenik etkenin daha fazla gelişmesini engelleyecek bir yaklaşım geliştirilebileceğini öngörmekteyiz. Ayrıca, bu çalışmadan ileri vadede elde edilecek ve yeşil sentezle hazırlanan antifungal preparatların hem hedef bitki hem de toprak ve bileşenleri üzerinde herhangi toksik bir

etki yaratmayacağı bekleneceğinden, önemli bir katma değer yaratma potansiyeline sahip olduğu ve günümüzde hala yaygın olarak kullanımı devam eden kimyasal pestisit ve diğer tarım ilaçlarına nazaran insan ve çevre sağlığını tehdit etmeyeceği düşünülmektedir.



2. KURAMSAL TEMELLER

Yunanca kaynaklarda “cüce” anlamına gelen “nano” kelimesi, ölçü sisteminde metrenin milyarda birini ifade etmektedir. Yaklaşık olarak bahse konu malzeme boyutunun ne kadar küçük olduğunun göz önüne alınabilmesi için yeniden bir örnek vermek gerekirse, insandaki bir saç telinin çapının sekiz binde biri, bir nanometre mertebesinde olduğu bilinmektedir (Zhu vd. 2004). Burada gözden kaçırılmaması gereken önemli bir konu, bir makro malzeme, nano boyuta indirildiğinde, makro boyuttaki özelliklerine kıyasla daha farklı davranış göstermekte ve hatta eski formunda sahip olmadığı yeni özelliklere de kavuşmaktadır (Dubchak vd. 2010). Örneğin, altın nanopartikülleri *Salmonella typhimurium* türü bakteri üzerinde toksik etki gösterirken, makro boyuttaki altın partikülleri bu etkiyi göstermemektedir (Wang vd. 2011). Benzer şekilde gümüş nanopartiküllerin, antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahip olduğu bilinirken, makro gümüş parçacıkları bu niteliklere sahip değildir (Sofi vd. 2012). Metal nanopartiküllerin, yüksek biyolojik etkinlikleri ve gerek spektroskopik gerekse de fiziksel ve kimyasal özellikleri, yüksek yüzey alanına sahip olmalarına bağlıdır (Dubchak vd. 2010).

Nanoteknolojinin tıp ve sağlık sektöründe, endüstriyel uygulamalarda ve tarımda geniş bir potansiyel kullanım alanına sahip olması, özellikle elde edilecek toplumsal fayda da gözetilerek, gelişmiş ülkelerde devlet kanadında önemli yatırım araçlarını kendisine bağlamaktadır. Metal nanopartiküller üzerine gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalar, araştırmacılara bu parçacıkların antimikrobiyel ve antioksidan etkilerini keşfetme fırsatını sunmuştur (Shankar vd. 2004, Mohanpuria vd. 2008, Ramaswamy vd. 2015).

Bitkilerden su ortamında elde edilecek özütler aynı zamanda nanopartiküllerin sentezi için hem düşük maliyetli hem de çevre dostu bir malzeme olarak değerlendirilmektedir. Günümüze kadar gerçekleştirilen literatür çalışmaları incelendiğinde, birçok bitki türü özütünün, farklı metal nanopartiküllerin üretiminde kullanıldığını göstermektedir. Örneğin, şimdiye kadar gümüş nitrat çözeltisi ile gümüş nanopartiküllerinin (AgNP) sentezinde *Ocimum tenuiflorum*, *Solanum trilobatum*, *Syzygium cumini*, *Centella asiatica* ve *Citrus sinensis*'den elde edilen bitki özütleri kullanılmıştır (Patil vd. 2012).

Bitki patojenleri, bakteriler, mantarlar, virüsler ve nematodlar gıda maddelerinin üretiminde önemli risk faktörleridir (Khan vd. 2011, 2012, Khan 2012). Patojenleri kontrol altında tutarak, kontaminasyonlarını engellemek birçok yöntem kullanılmaktadır ancak bunların hiçbir tanesi patojenin kusursuz bir şekilde kontrolünü sağlamamaktadır. Bu nedenle bitki patojenlerinin engellenmesi için son dönemlerde nanoteknolojik proseslerin kullanılmasına ağırlık verilmiştir. Nanopartiküller mantar patojenlerine karşı baskılayıcı olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Han ve Jairajpuri 2010a, b, 2012).

Bitki hastalıklarının kontrolünde nanopartiküllerin kullanımı, gelecekte nanoteknolojinin uygulama tekniklerinin daha da gelişmesi ile oldukça etkili olabilecek yeni bir stratejik silahtır. Nanoteknoloji, bitki hastalıklarının yönetiminde klasik yöntemlerden farklı metodlar kullanarak, alternatif çözüm yolları vaat etmektedir. En basit ve en açık yöntemde, bitkileri patojen istilasından korumak için tohumla, bitki üzerine veya toprağa nanopartiküllerin doğrudan uygulanmaktadır. Bu şekilde, nanopartiküller, patojenleri kimyasal ilaçlar ile etkileri kıyaslanabilir bir şekilde durdurabilmektedir. Nanopartiküller doğrudan toprağa uygulanacağı zaman, hedef olmayan organizmalara, özellikle mineral fikse edebilen ve/veya çözebilen mikroorganizmalara etkileri araştırılıp buna göre uygulama yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bunun yanı sıra, sentezlenen nanopartiküller, çeşitli feromonların, SAR indükleyici kimyasalların, poliamin sentez inhibitörlerinin, hatta pestisitlerin kontrollü serbest salınımları için taşıyıcı olarak kullanım potansiyeli bulunmaktadır (Khan vd. 2014).

Makro boyuttaki gümüş parçacıklarının, belirli bir doz limiti aşılmadıkça, yararlı mikroorganizmalar üzerinde toksik bir etkisinin bulunmadığı bilinmektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda gümüş nanopartiküllerinin, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* ve *Klebsiella pnömonisi*'nin kolonizasyonunu engellediği görülmüştür. *Solanum tricobatum* ve *Ocimum tenuiflorum* yaprak özleriyle sentezlenen gümüş nanopartiküllerinin (30 nm) en yüksek antimikrobiyel aktivitesi sırasıyla *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli*'ye karşı bulunmuştur. Bu yönüyle şu ana kadar elde edilen bilgiler gümüş nanopartiküllerin bakteri ve mantarların baskılanması üzerinde kesin bir etkisi olduğunu göstermektedir

(Khan ve Rizvi 2014). Ayrıca, manganez ve çinko gibi mikro elementlerin, ayçiçeğinde sönümleme ve odun kömürü hastalıklarında da etkili olduğu tespit edilmiştir (Abd El-Hai vd. 2009). Gümüş nanopartiküllerin (hibrit malzeme – PVP katkılı), *Candida albicans*, *C. krusei*, *C. tropicalis*, *C. glabrata* ve *Aspergillus brasiliensis* gibi farklı mayalara ve küflere karşı mantar öldürücü etkinlik açısından test edilmiş ve hibrit malzemenin, test edilen funguslara karşı güçlü antifungal etki gösterdiği belirlenmiştir (Bryaskova vd. 2011). Literatürde, çinko oksit nanopartiküllerinin, iki hasat sonrası patojen fungi, *Botrytis cinerea* ve *Penicillium expansum*'a karşı fungusidal etkisi de bildirilmiştir. Krishnaraj vd. (2012), gümüş nanopartiküllerinin bitki patojenik mantarları olan *Alternaria alternata*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea* ve *Curvularia lunata*'ya olan etkisini incelemiş ve 15 mg L⁻¹ NP konsantrasyonunun patojenlerin tüm aktivitelerini büyük ölçüde inhibe ettiği rapor edilmiştir.

Güncel literatür verileri genel olarak değerlendirilecek olursa, tez çalışması kapsamında sentezi hedeflenen gümüş nanopartiküllerin önceki çalışmalarda genellikle çevre dostu olmayan -dolayısıyla yeşil sentez yaklaşımına uygun olmayan organik çözücüler varlığında- sentetik makromoleküllerin ve diğer kimyasal bileşiklerin katalizör veya reaktif olarak işlev gördüğü komplike yöntemlerle elde edildiği görülmektedir (Sondi vd. 2003).

2.1 Nanoteknolojinin Tanımı

Etimolojik kökeni Yunancaya dayanan “nano” sözcüğü, Türkçe karşılığını “cüce” olarak bulmaktadır. Metrik sistemdeki tanımı gereğince, bir nanometre (nm), metrenin milyarda birine karşılık gelmekte ve dolayısıyla algı sınırlarımızın ötesinde oldukça küçük boyutlu -atom boyutu mertebesinde- bir niceliği ifade etmektedir. Nanoteknoloji ve nanobilim, bu standart dışı nanometrik boyuttaki maddelerin özelliklerini ve çalışma dinamiklerini araştıran bilim dalıdır. Daha teknik ve genel geçer bir tanım yapılacak olursa büyüklüğü 100 nm'den küçük olan sistemler, nanoteknoloji kapsamında incelenmektedir. Bu kapsamda geliştirilen malzemelerin boyutlarının ne derece küçük

olduğunu daha iyi ifade etmek amacıyla bilinen bazı örnekler ortalama boyutları ile karşılaştırılacak olunursa; gerçekleştirilen bir çalışmada alyuvar hücresinin 7.000 nm, su molekülünün ise 0,3 nm boyutuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Ultraviyole ışınlarının 400 nm ile 700 nm dalga boyu arasında kalan görünür bölgesinde yürütülen başka bir çalışmada ise bir lökosit hücresinin 10.000 nm, bakteri hücresinin 1.000-10.000 nm, virüslerin 75-100 nm, proteinlerin 5-10 nm, DNA'nın ise yaklaşık 2 nm boyutuna sahip olduğu belirlenmiştir (Prasanna 2007).

2.2 Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi

Her ne kadar “nanoteknoloji” sözcüğünün literatürde teknik bir terim olarak yer alması 1970’li yılları bulmuş olsa da 9. ve 17. yüzyıllar arasında Orta Çağ Avrupası’ndaki katedrallerin, günümüzde hala renk canlılığını korumakta olan mozaiklerinin yapımında metalik nanopartiküllerin kullanıldığı bilinmektedir. Benzer şekilde 13. ve 18. yüzyıllar arasında kullanılan Pers dönemine ait kılıçların yapısı incelendiğinde karbon nanotüp ve sementit içeriği tespit edilmiştir. 1875 yılına gelindiğinde, Micheal Faraday nano boyuttaki altın yapısını yani kolloidal altını keşfetmiştir. 1959 yılında Richard Feynman’ın atomik boyutta mühendislik ve teknoloji üzerine yaptığı ilk konferans (There’s Plenty of Room at the Bottom) bilim çevrelerinde yankı uyandırmıştır. 1974 yılına gelindiğinde, Tokyo Bilim Üniversitesi’nde Prof. Dr. Norio Taniguchi hazırladığı bilimsel makalede ilk kez “nanoteknoloji” terimini kullanmıştır (Taniguchi 1974). 1990’lı yıllarda, nanoteknoloji üzerine şirketler kurulmaya başlanmıştır. 1985’de fulleren molekülünün yapısı aydınlatılmıştır (Kroto vd. 1985). 2000 yılında nanoteknoloji uygulamalarını ticarileştirmek amacıyla “Ulusal Nanoteknoloji” girişimleri başlatılmıştır. 2005’te Amerikan Kimya Konseyi’nde “Nanoteknoloji” paneli ilk defa düzenlenmiştir (Roco ve Mihail 2011). 2008’de Amerikan Hükümeti tarafından nanoteknolojik araştırmalar için 5 milyar \$, diğer ülkeler tarafından ise 10 milyar \$ harcama yapılmıştır. Bu rakamın 2020 yılına kadar toplam 3 trilyon \$ olacağı tahmin edilmektedir (Yardımcı 2012).

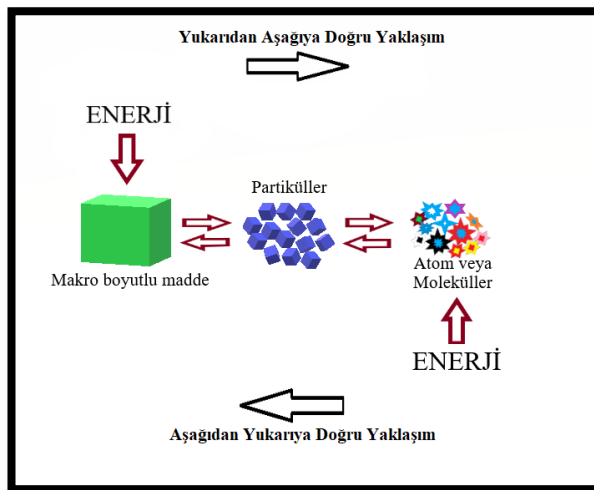
2.3 Nanoteknolojide Sentez Yaklaşımları

2.3.1 Yukarıdan aşağıya doğru yaklaşım

Bu yaklaşım uyarınca hammaddeye kimyasal veya mekanik olarak enerji verilerek, maddenin makro boyuttan, nano boyuta küçültülmesi amaçlanmaktadır (Şekil 1.1). Bu proseslerde sıklıkla öğütme, aşındırma ve kimyasal yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu şekilde üretilen metal nanopartiküller genellikle yüksek boyut dağılımına sahiptir. Yüksek enerjili bilyeler ile öğütme metodu bu yaklaşıma örnek olarak verilebilmektedir (Bhushan 2012).

2.3.2 Aşağıdan yukarıya doğru yaklaşım

Bu teknikte, atomik veya moleküler boyuttaki malzemelere, kimyasal reaksiyonlar aracılığı ile enerji verilerek nanopartikül eldesinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir (Şekil 2.1). Bu yaklaşım nanopartikül sentezinde daha ucuz ve etkili olduğu için tercih edilmektedir. Bu yaklaşıma ait uygulamalar buhar (gaz) fazı yöntemleri (örn; piroliz, inert gaz yoğunlaşması) ve sıvı faz yöntemleri (örn; solvotermal reaksiyon, sol-jel ve mikroemülsiyon metodu) olarak iki kategoride incelenebilmektedir (Bhushan 2012).



Şekil 2.1 Nanoteknolojide sentez yaklaşımları

2.4 Nanoteknolojinin Uygulama Alanları

Nanoteknoloji temelli malzeme hazırlama prensiplerine göre üretilen ve yüksek dayanıklılık, metallerle kıyaslanabilir ölçüde iletkenlik, klasik malzemelere göre düşük maliyet vb. ticari açıdan tercih edilebilir nitelikleri bulunan nanopartiküller, daha önceki bölümlerde de vurgulandığı gibi artık günlük hayatımızın birçok alanında uygulama alanı bulmaktadır. Aşağıdaki bölümde, metal nanopartiküllerin sıklıkla kullanıldığı sektörlerin güncel bir değerlendirmesi yer almaktadır.

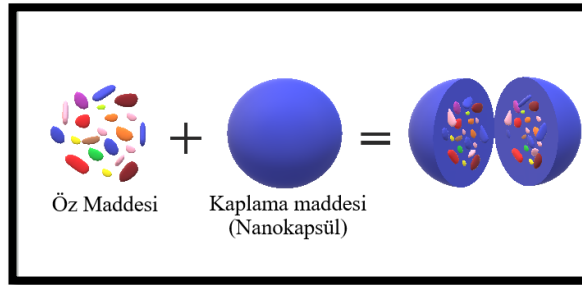
2.4.1 Biyoteknoloji

Son yıllarda, bilhassa biyo-uyumlu malzemelerin geliştirilmesinin hayati önem kazandığı klinik uygulamalarda, farklı organik ve/veya anorganik fonksiyonlu gruplarla modifiye edilerek çeşitlendirilen karbon nanotüpler, üzerinde en fazla araştırmanın yapıldığı ileri teknoloji malzemelerinin başında gelmektedir. Öyle ki bu malzemelerin potansiyel uygulamaları; doku mühendisliğinde yoğun olarak yararlanılan biyosensörlerden, yapay doku iskelelerine ve hatta mimik ilaç dağıtım araçlarına kadar uzanmaktadır. Bu çalışmalara; kontrollü ve hedefli ilaç dağıtımında karbon nanotüplerin kullanımı ve enzimlerin karbon nanotüplere tutturulması, yine biyoanalitik uygulamalar için elektrokimyasal sensörler olarak karbon nanotüplerin geliştirilmesi, biyotıpta polietilen glikol (PEG) ile modifiye edilmiş karbon nanotüplerin sentezi, biyo-uyumlu ve biyolojik olarak parçalanabilir fonksiyonlandırılmış karbon nanotüplerin tasarımına yönelik geliştirilen malzemeler ve bu ileri teknoloji ürünlerinin *in vitro* ve *in vivo* uygulamaları, biyomedikal görüntüleme sistemleri için tek duvar yapısına sahip karbon nanotüplerin kullanımı öncül örnekler olarak verilebilir (Paul ve Robeson 2008).

2.4.2 Tarım

Günümüzde doğal kaynakların ve tarım arazilerinin artan dünya nüfusu ile birlikte hızlı bir süreçle tükenme trendi gösterdiği, daha da vahim olarak, parazit bitki ve konakçılar tarafından kontamine edilme tehlikesi ile karşı karşıya kaldığı bilinmektedir.

Dolayısıyla, daha küçük ekim alanlarında, daha verimli ve etkin, ancak ilk aşamada çevre ve insan sağlığına dost olacak bir biçimde tarımsal faaliyetlerin yürütülmesi gerekliliği kendiliğinden doğmaktadır. Bu gerçeklikten hareketle, bilim insanları tarımsal faaliyetlerdeki mevcut ve gelecekteki potansiyel tehlikeleri bertaraf etmek amacıyla yeni teknikler geliştirmeye çaba sarf etmektedir. Örnek olarak, son yıllarda özellikle nano-enkapsülasyon (Şekil 2.2) kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda, tarım alanında kısa vadeli uygulamalarda oldukça umut verici sonuçlar alınmaktadır. Nano-enkapsülasyon tekniğine uyumlu olarak geliştirilen nanomalzemelerin en önemli uygulamaları arasında, bitki koruma çalışmaları gelmektedir. Ekim alanında potansiyel parazit bitkileri kontrol etmek amacıyla kullanılan kapsülleme tekniği, parazitlere karşı kullanılan herbisitlerin bitkide oluşturduğu fitotoksisite ile ilgili sorunları bertaraf etmek için kullanılmaktadır. Örnek olarak literatürde bu kapsamda gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada; glifosat, dazolinon ve sülfonilür bileşenlerini içeren formülasyon, polimerik bir nanokabuk içerisinde kapsüllenmiştir. Böylelikle, çimlenme için gerekli olan nem, anorganik bileşenler ve diğer uyarıcıların bitki tohumuna iletimi, nanokapsül içerisinde toprakta bozunmaya uğramadan gerçekleştirilebilmiştir (Bhushan 2012).



Şekil 2.2 Nano-Enkapsülasyon Yöntemi

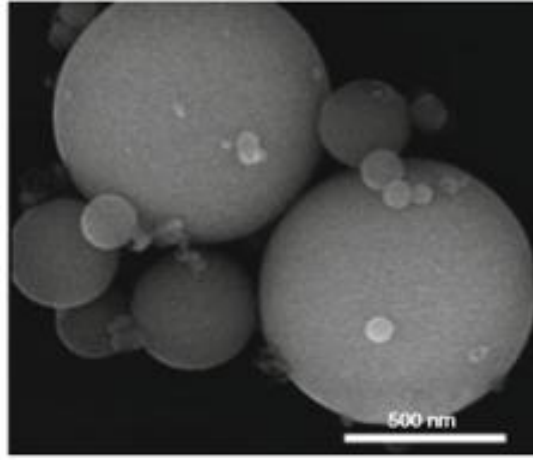
2.4.3 Tıp ve sağlık sektörü

Bir önceki başlıkta, tarım alanında yaygın olarak kullanıldığı belirtilen nano-enkapsülasyon tekniğinden tıp ve sağlık sektöründe de etkin olarak faydalanılmaktadır. Böylelikle; canlı organizma içerisinde hedef bölgeye, doğru zamanda ve gerektiği kadar ilaç transferi yapabilme olanağı doğmaktadır. Başka bir ifadeyle, tasarlanan metal nanopartiküller aracılığıyla daha kontrollü ve uygun dozlamada, hedef dokuya ilaç

penetrasyonu sağlanabilmektedir. Bu bağlamda geliştirilen güncel literatür örnekleri incelendiğinde, ilaç dağıtım/salım uygulamaları için sıklıkla polimer nanokompozitlerine başvurulduğu görülmektedir. Bu alanda yürütülen çalışmalarda özellikle küresel veya silindirik demir oksit nanopartiküllerinin, hedef dokuya ilaç salınımı, manyetik rezonans görüntüleme kontrast oranının geliştirilmesi, immünolojik test ve hücresel tedavi gibi çeşitli uygulamalar için kullanım potansiyelleri detaylı bir biçimde araştırılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında çoğunlukla, biyolojik olarak bozunabilir (biyo-uyumlu) veya doğal polimerler içeren bir polimerik mikrosfer veya mikrokapsül içinde dağılmış manyetik (Fe_3O_4) kullanılmaktadır. Daha spesifik bir örnek vermek gerekirse, yürütülen bir araştırma projesi kapsamında koaservasyon yöntemiyle hazırlanan manyetik demir oksit nanopartikülleri içeren poli (L-lisin) mikro kürecikleri hazırlanmış ve hedeflenen ilaç verme uygulamalarında potansiyel kullanımı değerlendirilmiştir. Polidimetilsiloksan kafesi içerisinde kapsüllenmiş demir ve kobalt nanopartiküllerinin, retina dekolman bozukluklarının tedavisinde önemli etkinlik gösterme potansiyeline sahip olabileceği yine bu alandaki çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Poli (laktik asit) gibi biyolojik olarak bozunabilir polimerler de dahil olmak üzere, organik polimerlerden muntazam mikro ve nanopartiküllerin elde edilmesi için, çapraz bağlanmış bir perfloroeter kalıplama kalıbına dayanan yeni bir imprint litografi yöntemi de geliştirilmiştir (Paul ve Robeson 2008).

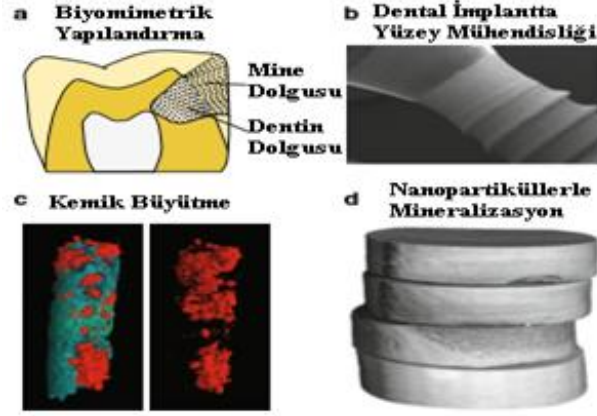
Günümüz sanayi toplumlarında oldukça yaygın bir biçimde karşılaşmakta olduğumuz kanser hastalığının standart tedavi prosedürlerinin hemen hemen hepsinde yan etki olarak bağışıklık sisteminin zayıfladığı, hastalıklı dokular kadar sağlıklı dokuların da kontrollü hücre ölümü döngüsü üzerinden kemoterapi ilacından etkilendiği bilinmektedir. Son yıllarda, olası bu yan etkileri en aza indirerek, sadece hastalıklı organ ve/veya dokuların tedavi edilebilmesi için tasarlanan çalışmalarda, nanopartiküllerden de sıklıkla yararlanıldığı görülmektedir. Her ne kadar bu konuda yürütülen araştırmalarda oldukça farklı stratejiler geliştirilmekte ise de çalışmalar genellikle hedef ilacın manyetik özellik gösteren nanopartiküllerin de bulunduğu bir kafes içerisine kimyasal veya fiziksel (adsorpsiyon) yöntemlerle tutturulması, ardından dışarıdan bir magnet veya ışın kaynağı/cihaz vasıtası ile yönlendirilerek hedef dokuya ulaştığında salınımının gerçekleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Kanserli doku ortamının, sağlıklı

dokulara kıyasla daha asidik olması bu çalışmaların tasarlanmasında yararlanılan önemli bir stratejidir (Shilatta 2011). Ayrıca yine ağız yoluyla uygulanan ilaçların, mide asidinin güçlü asidik ortam etkisinden koruyarak, bazik karakterdeki barsak florasında emilimini sağlamak için dizayn edilen nanokapsüllerin aktif bileşenleri kitosan ve PLGA (Polilaktik-ko-glikolik asit) olarak seçilmektedir (Şekil 2.3). Beklenildiği üzere, söz konusu çalışmalarda kullanılacak nanopartiküller dizayn edilirken; biyo-uyumluluk, kolay bulunabilirlik ve taşıyıcı özelliğinin yüksek olmasına dikkat edilmektedir (Paul ve Robeson 2008).



Şekil 2.3 PLGA-Enkapsülasyonu yapılmış SiO₂ partikülleri (Kongsombut vd. 2009)

Bir başka örnek olarak, diş hekimliğinde nanopartiküllerden implantların, dental cerrahi malzemelerinin, diş bakım ürünlerinin ve genel muayenede kullanılan teşhis malzemelerinin geliştirilmesinde kullanıldığı bilinmektedir (Şekil 2.4) (Anonim 2010, Bhushan 2012).



Şekil 2.4 Dişçilikte Nanoteknoloji Uygulamaları (Bhushan 2012)

2.4.4 Elektronik ve enerji depolama

Elektrik enerjisinin yüksek verimle depolanması, günümüzün görece eski ama hala önemini koruyan ve yeni stratejilerle geliştirilmeye devam edilen araştırma konularından bir tanesidir. Yüksek kapasiteli enerji depolama aygıtlarının geliştirilmesi, elektronik cihaz endüstrisinde devrim niteliğinde yeniliklerin de ortaya çıkmasına doğrudan etkili olmaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek güç depolama kapasiteli bu yeni jenerasyon enerji depolama aygıtlarından, mevcut santrallerde yük takviyesi olarak ve elektrikli araçlar gibi mobil uygulama alanlarında da faydalanılmaktadır (Bhushan 2012).

Nanomalzemeler, daha önce de belirtilen ve klasik yöntemlerle elde edilen makro malzemelere kıyasla sahip oldukları üstün niteliklerinden ötürü önemli yatırım bütçeleri ayrılan yüksek enerji ve güç yoğunluğuna sahip enerji depolama aygıtlarının geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Enerji depolama aygıtlarındaki enerji dönüşümü, elektrotların yüzeyinde cereyan eden kimyasal bir reaksiyon, sıklıkla da yük transferi üzerinden gerçekleşmektedir. Nanopartikül destekli olarak geliştirilen sistemlerde doğal olarak bu süreçler de nano ölçekte meydana gelmektedir. Nanomalzemeler, düşük boyutlarına nazaran sahip oldukları geniş yüzey alanları sebebiyle doğal olarak standart malzemelere kıyasla daha yüksek oranda bir yük depolama alanı sağlamaktadır. Bir diğer ifadeyle, daha geniş bir yüzey alanı, elektrolit ile daha geniş bir temas alanına denk gelmekte, dolayısıyla da ilgili yük transfer reaksiyonunun gerçekleşmesi için daha

geniş bir reaksiyon bölgesi yaratılmaktadır. Hatta bazı özel durumlarda, mikrometre boyutunda parçacıklardan oluşan malzemeler kullanıldığında gerçekleşmeyen elektrot reaksiyonları, nanopartiküllerin kullanıldığı reaksiyon ortamında başarılı bir biçimde meydana gelebilmektedir (Bhushan 2012).

Enerji depolama aygıtlarının çalışma prensibi, aygıt elemanları arasındaki difüzyon kinetiğiyle doğrudan ilişkilidir. Nanomalzemeler, difüzyon mesafesinin düşürülmesine yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla da bu malzemeler, enerji depolama aygıtından alınacak kinetik verimi belirgin ölçüde yükseltmektedir. Enerji depolama aygıtlarının fonksiyon göstermesi için esas olduğu belirtilen yük transfer reaksiyonları çoğunlukla nanopartiküllerin yüzeyinde gerçekleştiğinden, birbirini takip eden şarj-deşarj döngüleri sırasında klasik depolama aygıtlarına kıyasla sistem içerisinde indüklenen stres ve kristal örgü parçalanması daha az olmaktadır. Bir diğer ifadeyle, nanomalzemeler, şarj-deşarj döngüsünün etkinliğini arttırmaktadır. Ayrıca, elektrot yüzeyinden elektrolit ortamına elektron taşınımı da nanopartiküller aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Sayılan bu özellikler sebebiyle, nanopartikül esaslı enerji depolama aygıtlarından alınan verim artmaktadır (Bhushan 2012).

2.4.5 Biyomedikal teknolojiler

Doku mühendisliği alanında yürütülmekte olan çalışmalar kapsamında, biyo-uyumlu nanofiber iskelelerin geliştirilmesi, güncel araştırmaların yoğunluklu olarak sürdürüldüğü bir araştırma başlığıdır. Sonuç itibarıyla elde edilen nanofiber iskeleler, hedeflenen spesifik hücrelerin uygun ortamda gelişimine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak, biyolojik bir canlı sisteminde yer alan sinir hücrelerinin büyümesi ve/veya yenilenmesi için yapılarında konjüge sistemler içeren iletken polimerlere dayalı nanofiber yapılardan yararlanılması verilebilir. Literatürde mevcut olan bir başka çalışmada ise nanopartikül tanımına uygun boyutlarda gümüş, gümüş oksit ve diğer gümüş tuzları, antimikrobiyel veya biyosidal aktivite sağlamak için polimer matrislerine eklenmiştir. Çalışma sonunda, nano ölçekteki gümüşün, gümüş iyonu salınımının çok daha yüksek oranda olması nedeniyle, daha iyi antimikrobiyel etkisi olduğu tespit edilmiştir (Paul ve Robeson 2008).

2.4.6 Malzeme ve imalat sanayisi

Malzeme biliminde kullanım alanı bulan ileri teknoloji ürünlerinin, gün geçtikçe artan payı göz önüne alındığında, akıllara ilk gelecek örneklerden bir tanesi, karbon nanotüp uygulamalarıdır. Buharlaştırma tekniği ile üretilen bu malzemeler, altıgen şeklinde birbirlerine bağlı karbon atomlarından oluşan silindirik yapılardır. Olağanüstü mukavemet ve çekme özelliğine sahip olmaları nedeniyle karbon nanotüpler, çimento esaslı malzemelerde nanomalzeme takviyesi olarak kullanılabilen potansiyeli fazlasıyla taşımaktadır. Ne var ki, endüstriyel ölçekte karbon nanotüplerin üretilmesi hala oldukça pahalı bir süreçtir ve bu durum potansiyel kullanımlarını kısıtlamaktadır. Bunun yanı sıra, yapılarının oldukça yüksek hidrofobik karakter taşıması sebebiyle, karbon nanotüplerle polar çözücü ortamında çalışılması oldukça zorlaşmakta, bu da yine uygulama kolaylığını sınırlayıcı önemli bir faktör oluşturmaktadır (Bhushan 2012).

Buna karşın, elektrotlarda veya optimize edilmiş proton değişim zarlarında nano yapıları katalizörlerin geliştirilmesi, ticari değeri bulunan yakıt hücresi uygulamaları için aktif bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu malzemelerin proton değişim membranını iletken özelliğe sahip polimerler oluşturmakta, yapılarında ayrıca elektrotlar için bağlayıcı ve iki kutuplu plakalar arasında uygun bir matris de içermektedir. Elektrotlar tipik olarak 2-5 nanometre boyutundaki platin (Pt) parçacıkları, uygun bir polimerik bağlayıcı (genellikle Nafion) ile karbon siyahı parçalarından (0,5-1,0 mm) meydana gelmektedir. Bağlayıcı olarak kullanılan Nafion ile tekli karbonlu nanotüplere tutturulan platin nanopartiküllerin, geleneksel karbon siyahından imal edilen elektrotlara göre geliştirilmiş performans gösterdikleri tespit edilmiştir. Proton değişim membranı içerisindeki nanopartiküllerin, hücrenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve proton iletkenliğini arttırdığı da belirlenmiştir (Bhushan 2012).

Tekstil alanında da nanopartiküller sayesinde su ve kir tutmayan, kendi kendisini temizleme özelliğine sahip kumaşların üretimi yapılabilmektedir. Bu çalışmaların temel prensibinde, klasik üretim koşullarında modifiye edilecek liflere hedef nanopartiküllerin püskürtülmesiyle, tekstil malzemelerinin özelliklerinin iyileştirilmesi yer almaktadır (Qian vd. 2004).

2.4.7 Gıda Endüstrisi

Günümüzde sıklıkla başvurulmuş ileri gıda teknolojisi uygulamalarında; gıdanın tadını, aromasını ve/veya dokusunu bozmamak kaydıyla, gıdaların besin içeriğini geliştiren ve raf ömrünü uzatarak, gıda bileşenlerinin veya nihai gıda ürününün kararlılığını arttırmak amacıyla nanopartikül içerikli katkı maddeleri kullanılmaktadır (Brody 1990). Bu şekilde hazırlanan gıda malzemelerine ise “fonksiyonel gıda” adı verilmektedir (Siegrist vd. 2008). Nano-enkapsülasyon tekniği, duyarlı gıda bileşenlerini (diğer bir deyişle aroma kimyasalları, organik yağlar, vitaminler) korumak, canlı renklere ve çekici bir aromaya sahip gıda ürünleri geliştirmek ve gerekli durumlarda bu ürünlerdeki tat, koku ve/veya renk maskeleyişini gerçekleştirebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknoloji aynı zamanda gıda şirketleri ve hammadde sağlayıcı firmalar tarafından farklı niteliklere sahip mineral, vitamin, aroma kimyasalları ve uçucu yağların geliştirilmesine de olanak sağlamaktadır (Chaudhry vd. 2008). Ayrıca nanokapsüller gıda içerisindeki biyoaktif maddelerin istenmeyen etkileşimlere girmesini, gıda kalitesini bozmadan engellemektedir (İlyasoğlu ve El 2010, Sürengil ve Kılınç 2011).

Yukarıda detaylı bir biçimde verilen bilgiler ışığında genel bir değerlendirme yapılacak olursa, günümüz koşullarında nanopartiküllerin çok sayıda potansiyel uygulama alanına sahip olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Gerek klasik kimyasal yöntemlerle gerekse de bu tez kapsamında da ağırlıklı olarak ifade edilen ve bitki özütlerinden fito nanoteknoloji esaslı yöntemlerle hazırlanacak nanopartiküllerin, katma değeri yüksek ürün gamına katkıda bulunduğu da aşikardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Bitkinin Yetiştirilmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan Yunus-90 türü *Phaseolus vulgaris* L. tohumları ‘T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Eskişehir’ den temin edilmiştir. Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’nden alınan bilgilere göre fasulye çeşidine ait morfolojik özellikler aşağıda detaylı bir biçimde verilmiştir.

3.1.1 Yunus-90 çeşidi *Phaseolus vulgaris* L.’nin fitolojik özellikleri

1990 yılında tescil ettirilmiş olan bu çeşit, ortalama 115-120 günde olgunluk seviyesine ulaşan bodur bir kuru fasulye çeşididir. Bitki boyu yaklaşık 60 cm olmakla birlikte yaprakları yeşil ve oval, çiçekleri beyaz renkli, dik gelişim gösteren bir bitkidir. Bakla tane sayısı 4-5, renkleri ise açık yeşildir. Tanelerinin eni 7,0-7,5 mm, boyu 14,5-15,0 mm, kalınlığı ise 5,5-6,0 mm'dir. Protein oranı dikkate alındığında tanelerde bu oran % 3-26 arasında değişmektedir. Normal yetiştirme koşulları sağlandığı takdirde ortalama verim 200-250 Kg/Da dolayındadır. Yunus-90 türünün diğer bir özelliği bakteriyel ve virüs hastalıklarına karşı dirençli olmasıdır (Anonim 2013, Büyük 2014).

3.1.2 Tohumun sterilizasyonu ve bitkinin yetiştirilmesi

Çalışma kapsamında temin edilen *Phaseolus vulgaris* Yunus-90 çeşidine ait tohumlar ekimden önce sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla çeker ocak içerisinde ve pepton alevi yakınında gerçekleştirilen tohum sterilizasyon işlemi; öncelikle %5’lik sodyum hipoklorit (NaClO) ile 3 dakika muamele, ardından otoklavlanmış ve iki defa distillenmiş (ddH₂O) ile yine 3 dakika süresince yıkama basamaklarının toplamda beş kez ardışık tekrarını içermektedir. Bu işlem süresince, manyetik karıştırıcılı ısıtıcı üzerinde, oda sıcaklığında ve sabit karıştırma hızında çalışılmıştır. Ardından tohumlar

steril kabin içerisinde kurumaya bırakılmıştır. Buna paralel olarak, çalışma kapsamında ekim yapılacak olan perlit, % 1'lik NaClO ile yıkandıktan sonra ddH₂O ile durulanmış ve ardından 15 dakika süresince 121 °C'de otoklavlanarak steril hale getirilmiştir. Ayrıca ekim yapılacak bitki yetiştirme tepsi, çözelti şişeleri vb. malzemeler de otoklavlanarak, steril edilmiştir. Ekim basamağının hemen öncesinde sulama işlemlerinde kullanılacak olan Hoagland çözeltisi hazırlanmış ve ilgili besi ortamının makro ve mikro besin içeriği çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Hoagland besi ortamı makro ve mikro (iz element) besin çözeltisi içerikleri

Makro besin çözeltisi	KNO₃	101,1 g	Mikro besin çözeltisi	H₃BO₃	2,8 g
	KH₂PO₄	136,1 g		MnCl₂.4H₂O	1,8 g
	MgSO₄.7H₂O	246,5 g		CuSO₄.5H₂O	0,100 g
	Ca (NO₃)₂.4H₂O	236,1 g		NaMoO₄	0,025 g
	FeEDTA EDTA.2Na	10,4 g		ZnSO₄.7H₂O	0,200 g
	FeSO₄.7H₂O	7,8 g		Bütün bileşenler, 1 L saf su içerisinde çözülür.	
	KOH	56,1 g			
	Her bir bileşen 1 L saf su içerisinde çözülür.				

Hoagland besi ortamını hazırlamak için, çizelge 2.1'de belirtilen miktarlarda kalsiyum nitrat (Ca(NO₃)₂), potasyum nitrat (KNO₃), potasyum fosfat (KH₂PO₄), magnezyum sülfat (MgSO₄), ferrik EDTA (FeEDTA) ve iz element çözeltisinden eklenip saf su ile 1 L'ye tamamlanmış ve daha sonra manyetik karıştırıcıda 5-10 dk. boyunca karıştırılmıştır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken bir nokta, eklenen FeEDTA çözeltisinin pH değerinin 5,5 olmasıdır. Aksi takdirde, bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkiler meydana getirebilmektedir. Ayrıca hazırlanan çözeltiler, FeEDTA'nın ısıya karşı dayanıksız olması ve ısıl işlemler sonucunda bozunmaya uğraması nedeniyle, yüksek sıcaklıkta çalışılmamalıdır (Hoagland ve Arnon 1950).

Tescillenmiş fasulye çeşitleri arasından seçilen, yukarıda açıklanan prosedüre uygun olarak steril edilmiş Yunus-90 çeşidi tohumları, hazırlanan steril perlit ortamında, 20

gün boyunca 25 °C sıcaklık ve % 70 nispi nem içeren Mikrotest iklim kabinde, 20 gün boyunca Hoagland besin çözeltisi ile sulanarak büyütülmüştür. İstenen olgunluğa ulaşan bitkilerin perlitlerden ayıklanmasının ardından, kök, gövde ve yaprak örnekleri olmak üzere bölümlere ayrılıp özüt hazırlama işlemine geçilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Yunus-90 türü fasulye bitkisinin yetiştirilmesi ve bölümlere ayrılması

3.2 Bitki Özütünün Hazırlanması

Yetiştirilen sağlıklı fasulye bitkisinin yaprak, gövde ve kök bölümlerinden alınan 200 gramlık örnekler, laminar kabin (Delta Laboratuvar, İstanbul, Türkiye) içerisinde 3 defa saf sudan geçirilerek yıkanmış ve 200 mL steril distile su içerisinde kaynatılmıştır. Kaynama işlemi takiben, 60 °C'lik su banyosunda bir saat süresince inkübasyona bırakılmıştır. Bu aşama bitki özütünün daha yüksek madde konsantrasyonu elde etmesini sağlaması bakımından kritiktir. İnkübasyon işlem basamağını takiben, bitki özütleri filtre kağıdı (Whatmann No:1) ile süzülerek deney aşamasına kadar -20 °C'de derin dondurucu içerisinde saklanmıştır (Şekil 3.2).



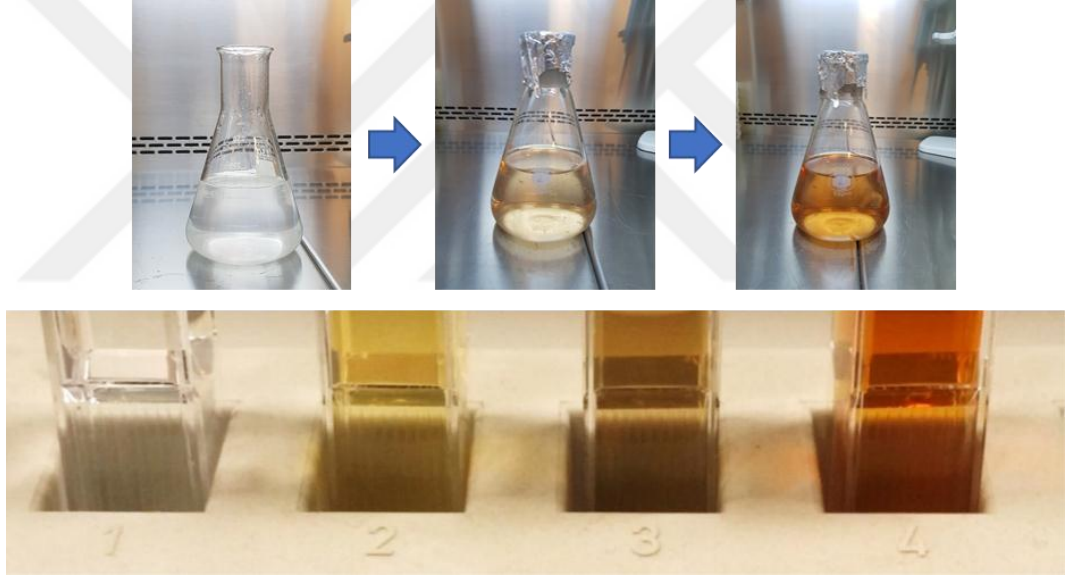
Şekil 3.2 Bitki özütlerinin hazırlanması ve filtrasyonu

3.3 AgNO₃ Çözeltisinin Hazırlanması

Gümüş nanopartiküllerin hazırlanması amacıyla kullanılacak gümüş nitrat (AgNO₃) çözeltisi (1 mM), 100 mL distile su içerisinde, 0,026 g AgNO₃ (Merck, Darmstadt, Germany) eklenip, manyetik ısıtıcılı karıştırıcı üzerinde, oda sıcaklığında karıştırılmasıyla elde edilmiştir (Saranyaadevi vd. 2014).

3.4 Gümüş Nanopartiküllerin Eldesi

Hedef gümüş nanopartiküllerin hazırlanması için öncelikli olarak oda sıcaklığına soğutulan her bir bitki özütünden 10 mL alınarak, 100 mL 1 mM AgNO₃ çözeltisi içerisine eklenmiş ve oda sıcaklığında 45 dk. süre ile karıştırılmıştır. Bu süreçte, literatürde de bilinen bir olgu olan ve gümüş nanopartiküllerin oluşmasıyla açıklanan, çözeltide belirgin bir renk değişimi gözlemlenmiştir (Asha vd. 2016). Sonuçta oluşan çözelti, 10.000 rpm'de 30 dk. boyunca santrifüjlenerek, nanopartiküller çöktürülmüştür. Partiküller önceden darası alınmış 1,5 mL'lik ependorf tüplerinde toplanmış ve 3 defa distile su ile yıkama işleminden geçirilmiştir. Son olarak, etüvde 65 °C'de kurutulduktan sonra hassas terazide izole edilen nanopartikül miktarı belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Gümüş nanopartiküllerin oluşması esnasında gözlemlenen renk değişimi

3.5 Gümüş Nanopartiküllerin Yapısal Karakterizasyonu

Sentezi başarılı bir biçimde gerçekleştirilen gümüş nanopartiküllerin yapısal karakterizasyonları, uygun spektral analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ahmed vd. 2016, Singh vd. 2013). Bu amaçla sırasıyla Ultraviyole-görünür bölge spektroskopisi (UV-vis), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), Geçirimli elektron mikroskobu (TEM), Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) ve Dinamik Işık Saçılım spektroskopisi (DLS) tekniklerinden yararlanılmıştır. UV-vis

spektrumları, Cary 100 Scan UV-vis spektrofotometresi (Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Merkez Laboratuvarı) kullanılarak, kuantz küvetler (3.500 µL, 10 mm ışık yolu, Hellma 110-QS) içerisinde 300-800 nm aralığında, 1 nm tarama hızında alınmıştır. UV-vis spektrumları alınırken, deneysel koşullarla paralellik göstermesi ve tutarlı sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla çözücü olarak steril distile su kullanılmıştır. FT-IR spektrumları; Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR (Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü) spektrometre cihazının aksi belirtilmedikçe ATR kiti kullanılarak veya KBr pelleti hazırlanarak incelenmiştir. Parçacıkların yüzey morfolojisi hakkında gerekli bilgilerin edinilebilmesi için gerekli olan TEM analizleri FEI, Tecnai G2 F30 (LaB6 tipi elektron tabancalı, 20x-910.000x büyütme aklı, 0.2±0.04 nm nokta çözüm gücü) mikroskobunda (Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü) ve SEM analizleri ise Zeiss EVO-40 Model (500V-30kV Yüksek Gerilimli; SE, BSD, EDX, VPSE dedektörlü, W-flaman elektron tabancalı) (Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü) elektron mikroskopu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parçacıkların boyut analizinde, Malvern ZetaSizer NanoZS90 tipi cihaz (Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü) kullanılmıştır. Analiz esnasında steril distile su ortamında 25 °C’de, 20 saniyelik ölçüm süresinde çalışılmıştır.

3.6 Antifungal Aktivite Çalışmaları

3.6.1 Aktif kültürlerin eldesi

Phaseolus vulgaris Yunus-90 türü fasulye varyetesinde patojenik etki gösterdiği bilinen *Colletotrichum* sp., *F. oxysporum*, *F. acuminatum*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. incarnatum*, *F. culvarum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria alternata* ve *S. rolfsii* fungal patojen izolatları, Ankara Üniversitesi Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü’nden temin edilmiştir. İzolatların aktif kültürlerinin hazırlanmasında PDA (Potato Dextrose Agar; Merck, Darmstadt, Germany) besiyeri kullanılmıştır. Hazırlanan besiyerlerine izolatlardan tek kullanımlık steril özeler ile parça ekim yöntemi uygulanmıştır. Petriyerler 25 °C’de 24 saat ve 48 saat sürelerince inkübasyona bırakılmış ve izolatların gelişimleri düzenli aralıklarla takip edilmiştir.

3.6.2 Agar kuyu difüzyon yöntemi ile antimikrobiyel etkinliklerin saptanması

Çalışmaya konu olan fasulye varyetesinden, yeşil sentez yoluyla elde edilen gümüş nanopartiküllerinin, fungal patojenler üzerindeki antimikrobiyel etkinliğini belirlemek için Magaldi vd. tarafından 2003 yılında gerçekleştirilen çalışma esas alınmıştır (Magaldi vd. 2003). Söz konusu çalışmada yararlanılan agar kuyu difüzyon tekniği, tez kapsamında incelenen sisteme uyarlanmıştır. Buna göre yöntem dahilinde bitkinin farklı kısımları (kök, gövde ve yaprak) kullanılarak sentezlenen gümüş partiküllerinin antimikrobiyel etkinlikleri belirlenerek, bitkinin farklı kısımlardan sentezlenen partiküllerin etkinlikleri karşılaştırılmıştır.

Aktif fungal kültürlerinden steril özeler aracılığıyla alınan inokülasyonlar, 5 mL steril serum fizyolojik (% 0,85 NaCl) içeren tüplere transfer edilmiş ve 0,5 MacFarland standardı esas alınarak süspansiyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu süspansiyonlardan 100'er µL alınarak eriyik haldeki 5'er mL soft PD (% 0,75 agar) içeren tüplere aşılacak ve tüpler vortekslenmiştir. Bu aşamadan sonra soft besiyerleri PDA içeren petrilerin yüzeylerine yayılmıştır. Petriler 10 dakika süresince işlemden önce kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan petriler yüzeyinde aseptik koşullarda 9 mm'lik kuyular açılmıştır. Açılan kuyulara kök, gövde ve yapraktan hazırlanan gümüş nanopartiküllerinden steril distile su içerisinde süspansiyon edilmiş 1 mg/mL'lik stoklardan 100'er µL transfer edilmiştir. Petriler son olarak 25 °C'de 24 saat süresince inkübasyona kaldırılmıştır. İnkübasyon sonunda zon çapları "mm" cinsinden ölçülmüş ve antimikrobiyel etkinlikler saptanmıştır.

3.6.3 Fungal koloni gelişimlerdeki inhibisyonun belirlenmesi

Hazırlanan PDA besiyeri petrilere dağıtılmadan önce (20 mL) besiyerinde toplam konsantrasyonlar 0,125 mg, 0,25 mg, 0,5 mg, 1 mg, 2 mg ve 4 mg olacak şekilde bitkinin yaprağından hazırlanmış gümüş nanopartikülleri transfer edilmiştir. Belirtilen konsantrasyonda partikül içeren besiyerleri petrilere dökülmüş ve petriler kurumaya bırakılmıştır. İlgili çalışmada, agar kuyu difüzyon yönteminde pozitif sonuç alınan fungal izolatlar kullanılmıştır (*F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. incarnatum*, *F.*

acuminatum, *F. tricinctum*, *Colletotrichum* sp.). Kùltür gelişimleri daha önce belirtildiği şekliyle yapılmıştır. Hazırlanan aktif kùltürlerden birer parça alınarak farklı konsantrasyon partikùl içeren petrilerin merkezine bırakılmıştır. Negatif kontrol grubu olarak partikùl içermeyen PDA besiyerleri kullanılmıştır. Petriler 25 °C’de 24 ve 48 saat sùrelerince inkùbasyona kaldırılmıştır. İnkùbasyon sùresince her 24 saat sonunda gelişen kolonilerin çapları “mm” cinsinden ölç÷lmüştür. Koloni gelişimlerindeki gerilemeler kontrol gruplarındaki koloni gelişimleri dikkate alınarak gelişimdeki gerilemeler % cinsinden hesaplanmıştır.

3.6.4 Hif gelişimindeki gerilemenin mikroskopik analizi

Bir önceki çalışmada en yüksek konsantrasyonda partikùl içeren petrilere ve kontrol gruplarından alınan fungal örneklerin mikroskop slaytları üzerine yayılarak preparasyonları yapılmıştır. Hazırlanan preparatlar metilen mavisi ile boyanmış ve aydınlık alan mikroskopunda 40X ve 100X büy÷tmelerde incelenmiştir (Leica, Germany).

3.6.5 Minimum inhibisyon konsantrasyon testi

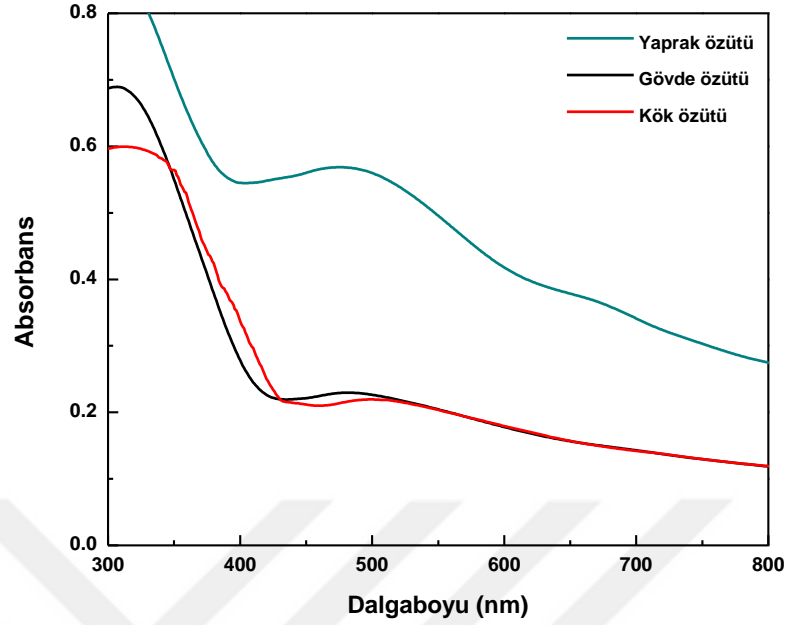
Söz konusu çalışmada, daha önceki çalışmalarda antifungal etkinlik saptanan fungal izolatlar tercih edilmiştir. Fungal izolatların kùltüre alma işlemleri çalışmadan önce YPG besiyeri (Yeast-Peptone-Glucose; Yeast extract 10 g/L, Peptone 20 g/L, Glucose 20 g/L) içeriğinde gerekleştirilmifitir. Kùltürlerin gelişimi için 25°C’de her bir izolat için uygun inkùbasyon sùreleri belirlenmiştir (*F. graminearum*, *F. incarnatum*, *F. acuminatum*, *F. oxysporum*; 48 saat, *F. tricinctum*, *Colletotrichum* sp.; 96 saat). Uygun inkùbasyon sùrelerinin sonunda aktif hale gelen kùltürler MİK testleri için kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca bitki yapraklarından yeşil sentez yolu ile elde edilen gümüş nanopartikùllerin ve kimyasal sentez yoluyla elde edilen gümüş antimikrobiyel etkinlikleri de karşılaştırılmıştır. Kimyasal sentez yoluyla elde edilen gümüş nanopartikùlleri ticari olarak firmadan temin edilmiştir (Merck, Ürün Kodu: 730785, Germany). U tabanlı 96’lık mikrotitre plakalarda (LP Italiana, Italy) yine YPG besiyeri kullanılarak (100’er µL), iki paralel olacak şekilde, ve son konsantrasyonlar 0.0, 0.312,

0.625, 1.25, 2.5 ve 5.0 mg/mL olacak şekilde gümüş nanopartiküllerin (yeşil sentez ve kimsayal sentez) konsantrasyonları bir seri seyreltmeyle ayarlanmıştır. 0.0 mg/mL'lik kuyular pozitif kontrol olarak kullanılırken, yalnızca besiyeri içeren kuyular negatif kuyular olarak değerlendirilmiştir. Aktif hale getirilen fungal kültürler uygulamadan önce en yüksek devirde vortekslenmiş ve elde edilen kültür süspansiyonlardan 10'ar µL alınarak test kuyularına ve pozitif kontrol kuyularına aşılanmıştır. Plakalar 48 ve 96 saat sürelerince 25 °C'de inkübasyona kaldırılmıştır. İnkübasyon sürelerinin sonunda kuyuların içerisindeki karışımlar pipetaj işlemi ile süspanse edilerek pozitif kontrol kuyularından ve test kuyularından 50'şer µL alınarak PDA içeren petrilere damla ekim yöntemi ile transfer edilmiştir. Petriler 25 °C'de 48 saat süresince inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon sonunda fungal gelişimin tamamen durduğu petriler MİK değeri olarak saptanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi ve Karakterizasyonu

Yöntem bölümünde detaylı bir biçimde anlatıldığı üzere, steril ortamda hazırlanan bitki özütlerinden gümüş nanopartiküllerin sentezi fito nanoteknolojik bir yöntemle elde edilmiştir. Yaprak özütünden mL başına elde edilen ortalama nanopartikül kütlesi 1,8 ile 2,5 mg arasında değişmektedir. Gövde özütünden mL başına izole edilen nanopartikül kütlesi en fazla 0,8 mg olarak tespit edilmiştir. Kök özütünden ise benzer koşullarda mL özüt başına sadece 0,3 mg nanopartikül izolasyonu sağlanabilmiştir. Elde edilen nanopartiküllerin yapısal analizi için öncelikle UV-vis spektroskopisine başvurulmuştur. Buna göre; yaprak, gövde ve kök özüt çözeltilerinin UV-vis spektrumları değerlendirilecek olursa, *Phaseolus vulgaris* L.'nin doğal biyo-indirgen özüt ortamında, gümüş (I) katyonlarının, nötral gümüş (0) türüne indirgendiği ve hedeflenen gümüş nanopartiküllerin oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 4.1'de görülebileceği üzere, özellikle yaprak özütünde 450-480 nm aralığında gözlemlenen yayvan bant (Şekil 4.1), çözelti içerisinde polidispers gümüş nanoparçacıklar için karakteristiktir. Benzer bant oluşumu zayıf da olsa gövde özütü için de tespit edilebilmekte ancak; kök özütünde bu bölgede belirgin bir bant oluşumu gözlenmemektedir.



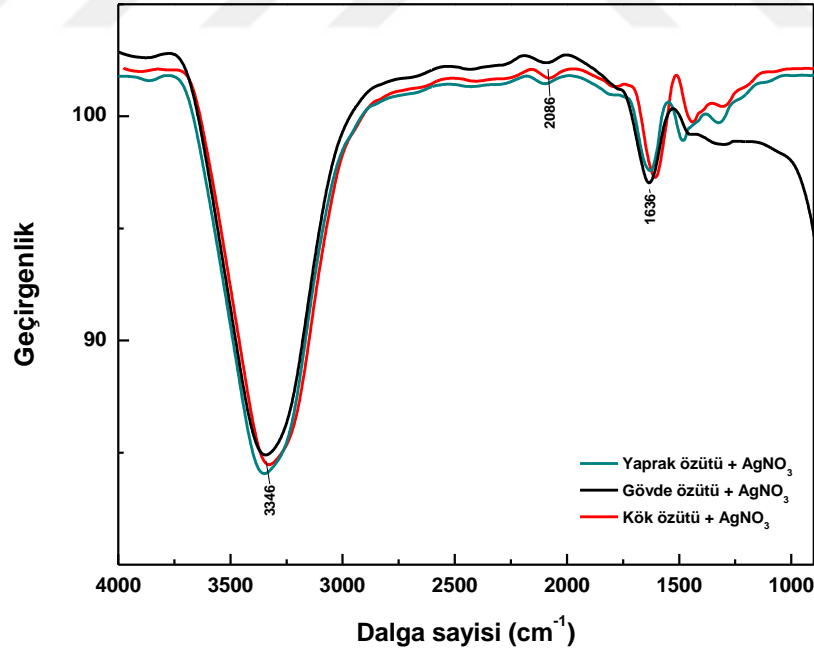
Şekil 4.1 Nanopartikül içeren yaprak, gövde ve kök özütlerinin UV-vis spektrumları

Literatürde bu konuda gerçekleştirilen öncül çalışmalar gözden geçirildiğinde, çözelti içerisinde zamanla konsantrasyonu artmakta olan gümüş nanoparçacıkların, yüzey plazmon rezonansı olarak adlandırılan prensip uyarınca titreşim hareketleri dolayısıyla çözeltilerinde sarı-kahverengi bir renk alarak, kalitatif olarak da tespit edilebildikleri bilinmektedir. Yüzey plazmon rezonansı, kısaca ifade edilecek olursa düzlem polarize ışığın, metal bir yüzeye çarpıp yansımaları esnasında metal yüzeyinde meydana gelen titreşim hareketlerine bağlı olarak gelişen fiziksel bir olgudur. Nitekim, çalışmalarımız esnasında, başlangıçta renksiz olan bitki özütlerine gümüş nitrat çözeltisinin ilavesiyle birlikte başlangıçta sarı, ardından da kahverengiye yaklaşan renk değişimleri gözlemlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Gümüş nanopartiküllerin oluşumu ve yüzey plazmon rezonansı

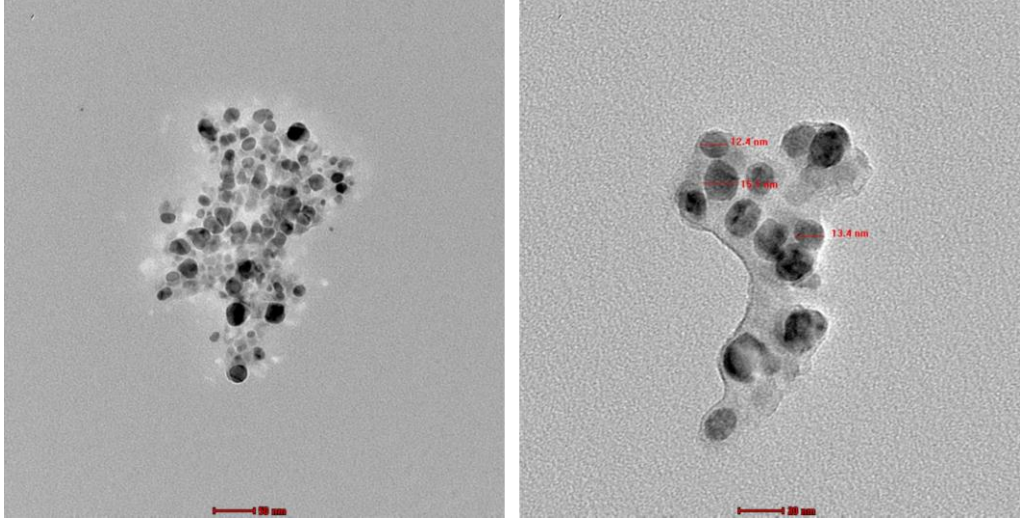
Gümüş nanopartiküllerin çevresinin, bitki özütünde yer alan aminoasit ve proteinlerin yapısında bulunan polar karakterdeki karbonil ve hidroksil fonksiyonlu grupları tarafından sarılarak, ortamdaki kararlılıklarının arttırıldığı, böylelikle de olası aglomerasyonları engelleyerek, parçacık boyutunun büyümesini engelledikleri düşünülmektedir (Awwad vd. 2013). Nitekim FT-IR analizi alınarak yapılan incelemede, yaprak, kök ve gövde özütlerinin benzer fonksiyonlu grup dağılımına sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Nanopartikül içeren yaprak, gövde ve kök özütlerinin FT-IR spektrumları

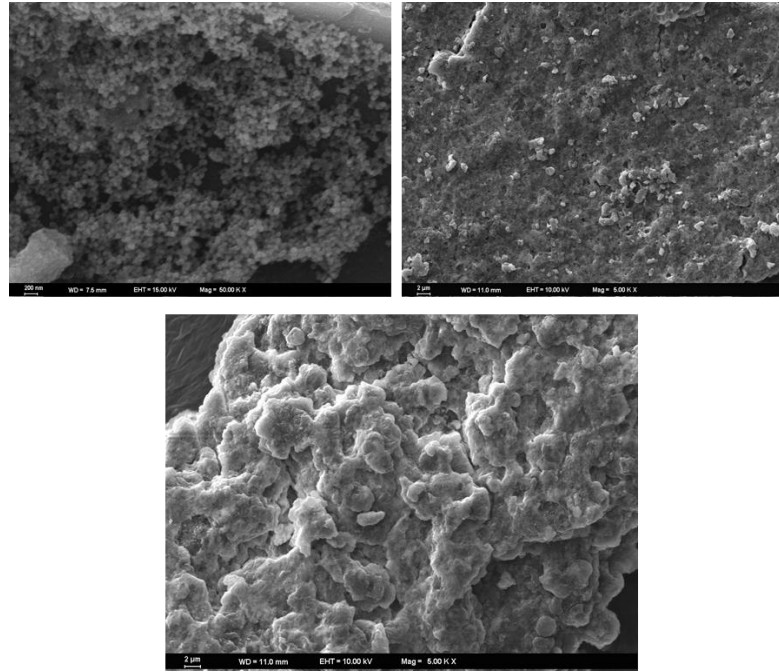
FT-IR spektrumunda, 3500 – 3200 cm⁻¹ aralığındaki şiddetli ve yayvan bant, genellikle fenollerde ve hidrojen bağlı alkollerde karakteristik olarak gözlemlenen O-H gerilmesine aittir. 2086 cm⁻¹ de gözlemlenen zayıf pik, poliol gruplarına ait aromatik C-O gerilmesine karşılık gelmektedir. 1636 cm⁻¹ de yer alan görece keskin pik ise süstitüe edilen sistemlerindeki C-H düzlem dışı eğilme titreşimlerini göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi bitki özütünün yapısında yer alan ve karbonil (C=O) fonksiyonlu grubunu ve bu grubun indirgenmesi ile meydana gelen hidroksil (OH) grupları, metal nanopartikülleri ile kuvvetli bir biçimde etkileşime girerek, bağ yapabilme potansiyeline sahiptir. Gümüş nanoparçacıkların çevresi bu biyoyapılar tarafından tıpkı bir kapsül gibi çevrenmekte, böylelikle metal parçacıkların bir araya gelerek aglomerasyon oluşturma potansiyelleri düşerek, çözelti ortamındaki kararlılıkları artmaktadır (Abd vd. 2013)

Yaprak özütünden elde edilen parçacıklardan alınan TEM görüntüleri, hazırlanan gümüş nanopartiküllerin oldukça düzgün bir yüzey morfolojisine ve küresel bir geometriye sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 4.4). Elde edilen nanopartiküllerin ortalama çapları 12 ila 16 nm arasında değişmektedir. TEM görüntülerinin net bir şekilde gösterdiği üzere, parçacıklar oldukça tek düze olarak dağılmaktadır. Bu da bitki özütünde yer alan bazı önemli biyoorganik moleküllerin, ortamdaki gümüş nanopartiküllerini stabilize eden bir ligand gibi davrandığı sonucuna götürmektedir. Bir diğer ifadeyle, bitkideki bileşenler, nanopartiküllerin büyümesini ve kümelenme kinetiklerini kontrol etmektedir.



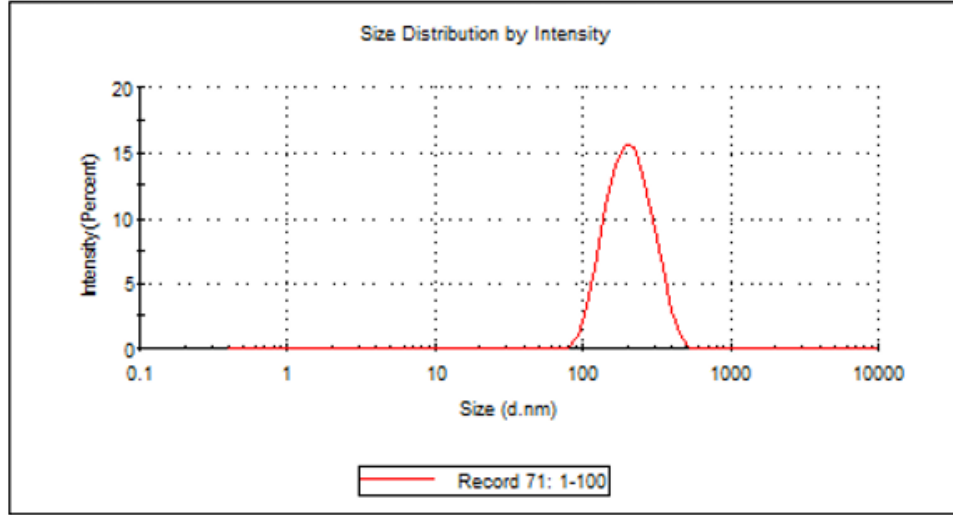
Şekil 4.4 Yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin TEM görüntüleri

Çalışmanın devamında, yine yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin yüzey morfolojisi SEM tekniği kullanılarak incelenmiştir. TEM görüntülerine paralel biçimde, nanopartiküllerin küresel şekilde olduğu ve ortalama olarak 10 ila 20 nm çapında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin SEM görüntüleri

Nanopartiküllerin yapısal karakterizasyon çalışmalarında son olarak DLS tekniğinden yararlanılarak, çözelti içerisindeki parçacık boyut dağılımları incelenmiştir. Ortalama parçacık boyutunun 188 nm olarak tespit edildiği ölçümler, nanopartiküllerin ufak kümeler halinde bulduklarını ve aglomerat yığınlar oluşturmadığını desteklemektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin DLS analiz sonucu

4.2 Antifungal Aktivite Sonuçları


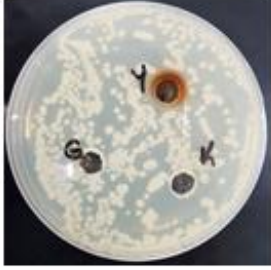


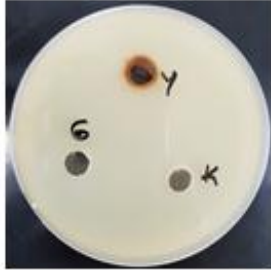

Yeşil sentez yöntemi kullanılarak elde edilen gümüş nanopartiküllerin antifungal aktiviteleri *F. acuminatum*, *F. incarnatum*, *F. graminarum*, *F. oxysporum*, *F. tricinctum*, *A. alternata*, *R. solani*, *S. sclerotiorum* ve *Colletotrichum* sp. fungal patojenleri kullanılarak test edilmiştir. Aktif kültürlerin eldesini takiben uygulanan agar kuyu difüzyon tekniğinde bitkinin çeşitli bölgelerinden elde edilen nanopartiküllerin antifungal etkileri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Gümüş nanopartiküllerin antifungal etkinliklerinin değerlendirilmesi

Tür Adı	Yaprak	Gövde	Kök
<i>F. acuminatum</i>	14 mm	11 mm	-
<i>F. incarnatum</i>	18 mm	-	-
<i>F. graminarum</i>	12 mm	-	-
<i>F. tricinctum</i>	15 mm	-	-
<i>F. oxysporum</i>	13 mm	-	-
<i>R. solani</i>	-	-	-
<i>S. sclerotiorum</i>	-	-	-
<i>Colletotrichum</i> sp.	18 mm	-	-
<i>A. alternata</i>	-	-	-










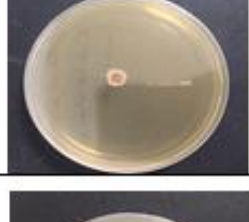


Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bitkinin yaprak kısmından elde edilen partiküllerin antimikrobiyel etki açısından kök ve gövdeden elde edilen partiküllerin aksine etkili oldukları kanısına varılmıştır. Çizelge 4.1’de yapraktan elde edilen nanopartiküllerin eklendiği kuyuların büyük bir kısmında zon oluşumu gözlenirken, gövde ve kökten elde edilen partiküllerin eklendiği kuyuların neredeyse tamamında zon oluşumu gözlenmemiştir. *R. solani*, *S. sclerotiorum*, *A. alternata* türlerinin oluşum ve gelişimlerini baskılama açısından yeşil sentezle elde edilmiş gümüş nanopartiküllerden pozitif bir sonuç alınamamıştır. İlerleyen çalışma basamaklarına *R. solani*, *S. sclerotiorum*, *A. alternata* alınan negatif sonuçlar nedeni ile dahil edilmemiştir. Kuyulara yüklenen gümüş nanopartiküllerin oluşturduğu zonlara ait görüntüler çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Agar kuyu difüzyon tekniği ile gümüş nanopartikül uygulanmış petrilerde zon oluşumları

Tür Adı		Tür Adı	
<i>F. acuminatum</i>		<i>F. tricinctum</i>	
<i>F. incarnatum</i>		<i>F. oxysporum</i>	
<i>F. graminearum</i>		<i>Colletotrichum sp.</i>	

Fungal koloni gelişimlerdeki inhibisyonun belirlenmesi aşamasında agar kuyu difüzyon tekniğinde gümüş nanopartiküllerin etki gösterdiği tespit edilmiş fungal patojen türlerinin, belirli konsantrasyonlar içeren besiyerlerine ekimleri yapılmış ve türlerin yayılım gösterdiği zon çapları ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre besiyerinde bulunan partikül miktarının artmasına bağlı olarak fungal patojenlerin gelişimlerinde gerileme gözlenmiştir. Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere *F. tricinctum* ve *Colletotrichum sp.* türlerinde gelişim durdurulmuş ve besiyerinde yayılım gözlenmemiştir. Diğer türlerde ise kontrol grubu ile karşılaştırıldığında zon çaplarının partikül oranı yüksek olan besiyerlerinde ciddi oranda düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3 Yüksek konsantrasyonda nanopartikül içeren besiyerlerindeki fungal tür gelişiminin kontrol grubuyla karşılaştırılması

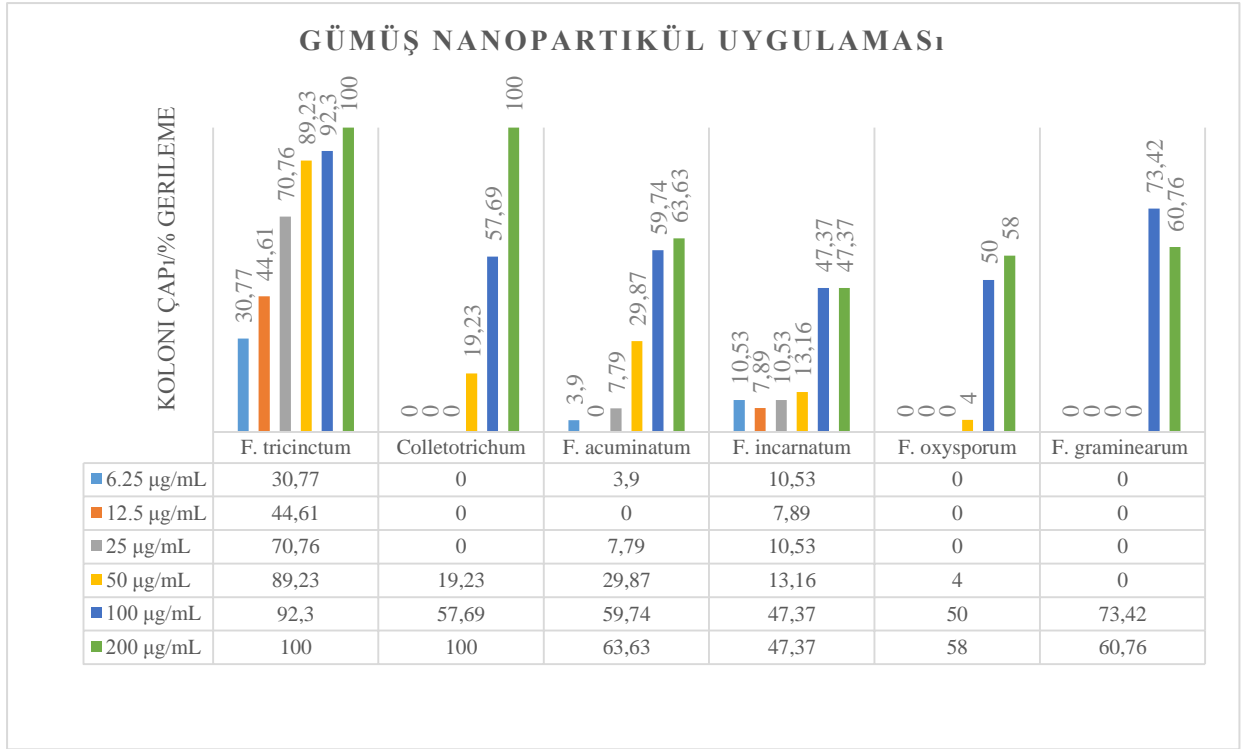
Tür	Kontrol	200 µg/mL partikül ilavesi
<i>F. tricinctum</i>		
<i>F. incarnatum</i>		
<i>F. oxysporum</i>		
<i>F. accuminatum</i>		
<i>Colletotrichum sp.</i>		
<i>F. graminearum</i>		

Farklı konsantrasyonlarda nanopartiküle maruz bırakılan fungal patojenlerin zon çapları ölçülerek, gösterdikleri gelişim eğilimi belirlenmiştir. Çizelge 4.4'te konsantrasyona bağlı zon çapındaki değişim yüzdesel olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4 Gümüş nanopartikül konsantrasyonundaki değişime göre fungal türlerin koloni çaplarındaki değişim

	Koloni Çapı Gerileme (mm/%)					
	6,25 µg/mL	12,5 µg/mL	25 µg/mL	50 µg/mL	100 µg/mL	200 µg/mL
<i>F. tricinctum</i>	20mm % 30,77	29 mm % 44,61	46 mm % 70,76	58 mm % 89,23	60 mm % 92,30	65 mm % 100
<i>Coletotrichum sp.</i>	0 mm % 0	0 mm % 0	0 mm % 0	5 mm % 19,23	15 mm % 57,69	26 mm % 100
<i>F. acuminatum</i>	3 mm % 3,90	0 mm % 0	6 mm % 7,79	23 mm % 29,87	46 mm % 59,74	49 mm % 63,63
<i>F. incarnatum</i>	4 mm % 10,53	3 mm % 7,89	4 mm % 10,53	5 mm % 13,16	18 mm % 47,37	18mm % 47,37
<i>F. oxysporum</i>	0 mm % 0	0 mm % 0	0 mm % 0	2 mm % 4	25 mm % 50	29 mm % 58
<i>F. graminearum</i>	0 mm % 0	0 mm % 0	0 mm % 0	0 mm % 0	58 mm % 73,42	48 mm % 60,76




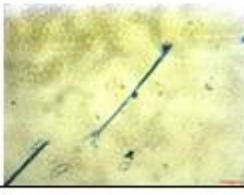








Yukarıdaki verilere bağlı olarak oluşturulan şekil 4.7’de ise fungus türlerinin gelişiminin partikül konsantrasyonuna bağlı olarak yüzde bazında gerileme oranlarını görmekteyiz. 100 ve 200 µg/mL partikül konsantrasyonunun yüzdeler baz alındığında incelenen türlerde diğer konsantrasyonlara göre patojen gelişimini daha etkili bir şekilde yavaşlattığını görmekteyiz. *F. tricinctum* türünde ise bu değer 25 ve 50 µg/mL’yi de içerisine almaktadır.



Şekil 4.7 Gümüş nanopartikül konsantrasyonuna bağlı koloni çapının değişimi

48 saatin sonunda elde edilen fungal patojen kültürlerinden alınan hif örnekleri metilen mavisi ile boyanmıştır. Takiben, 200 µg/mL gümüş nanopartikül içeren besiyeri örnekleri ile nanopartikül içermeyen kontrol grupları karşılaştırılıp antifungal etki değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre partikül konsantrasyonunun artmasıyla birlikte bütün patojenlerin hif çaplarında belirgin oranlarda düşüş meydana gelmiştir. Dolayısıyla, patojen türlerin yayılımı kontrol altına alınmıştır. Çizelge 4.5'te kontrol grupları ile yüksek konsantrasyonda gümüş nanopartikül içeren petrilere ekimleri yapılmış fungal türlerin mikroskop altındaki hif görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 Yüksek gümüş nanopartikül konsantrasyonunun fungal türlerin hif çapları üzerindeki etkisinin kontrol grupları ile karşılaştırılması

Tür	Kontrol	200 µg/mL partikül ilavesi
<i>F. tricinctum</i>		
<i>F. incarnatum</i>		
<i>F. oxysporum</i>		
<i>F. accuminatum</i>		
<i>Colletotrichum</i> sp.		
<i>F. graminearum</i>		

Gerçekleştirilen MİK analizinde ise patojenite gösteren fungus türlerinin gelişiminin durdurulması için gerekli olan minimum partikül konsantrasyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra ticari olarak alınan kimyasal yollarla elde edilmiş gümüş nanopartikülün yeşil sentez yoluyla elde edilen gümüş partiküller ile patojenlerin gelişimini durdurdukları konsantrasyonlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre *F.*

graminarum dışında yeşil sentez yoluyla elde edilen gümüş partiküller, kimyasal yolla elde edilenlere göre daha düşük konsantrasyonlarda patojen gelişimini baskıladıkları tespit edilmiştir. Çizelge 4.6'daki veriler türlere ve partikül cinsine bağlı olarak patojenlerin gelişimlerinin baskılandığı partikül konsantrasyonlarını göstermektedir.

Çizelge 4.6 Yeşil sentez ve kimyasal yollarla elde edilen gümüş nanopartiküllerin MIK değerlerinin karşılaştırması

Fungus	Yeşil sentezle elde edilen nanopartikül	Kimyasal yöntemle elde edilen nanopartikül
<i>F. oxysporum</i>	0,312 mg \geq x	1,25 mg
<i>F. graminarum</i>	1,25 mg	1,25 mg
<i>F. incarnatum</i>	0,312 mg \geq x	1,25 mg
<i>F. acuminatum</i>	0,312 mg \geq x	5 mg
<i>F. tricinctum</i>	0,312 mg \geq x	0,312 mg \geq x
<i>Colletotrichum</i> sp.	0,312 mg \geq x	0,625 mg

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Literatürde gümüş nanopartiküllerin sentezinde, mikrodalga ışınması, biyosentez, elektrokimyasal teknikler, termal parçalanma, lazer ablasyonu, fotokimyasal indirgeme, sonokimyasal sentez gibi yöntemlerden yararlanılmaktadır. Genellikle kullanılan kimyasal yöntemler, kaçınılmaz olarak, çevre faunasındaki türler için hayati tehlike yaratan bazı sonuçları da beraberinde getirmektedir. Sebep oldukları bu zararların yanı sıra, yüksek maliyetli prosedürler içermeleri ve işlemlerin fazla zaman alması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Singh vd. 2017).

Günümüzde gümüş partiküllerin kimyasal yöntemlerle sentezinde yaygın olarak, organik ve inorganik indirgen ajanlar kullanılmaktadır. Bu kimyasallara örnek olarak; sodyum sitrat, sodyum askorbat, sodyum borhidrür ve elementel hidrojen verilebilir. Genel bir ifadeyle bu indirgen ajanlar pozitif yüklü gümüş (I) iyonlarının, metalik form olan gümüş (0)'a indirgenmesini sağlamaktadır (Wiley 2005, Evanoff vd. 2004, Merga 2007, Iravani vd. 2014). Bu tez çalışmasında ise kimyasal yöntemlerde kullanılan toksik indirgen ajanların aksine, fasulye bitkisinden sulu ortamda elde edilen bitkisel özütler kullanılmıştır. Bu sayede daha çevreci ve ucuz bir sentez yönteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Literatürde bu yaklaşımla sentezi gerçekleştirilen gümüş nanopartikülleri incelendiğinde, yürütülen bir çalışmada çözücü olarak benzilamin, gümüş kaynağı olarak da gümüş asetat kullanılmıştır. Elde edilen karışım otoklav içerisine yerleştirilip, 48 saat boyunca 200 °C'de ısıtılmış ve elde edilen süspansiyonlar santrifüj edilip, çözücüden çöktürülerek ayrılan parçacıklar etanol ile yıkanarak, daha sonra 70 °C'de kurutulduğu belirtilmiştir (Küünal vd. 2015). Bu işlemler yaklaşık 3 gün gibi bir sürede tamamlanmıştır. Bu tez çalışmasında uygulanan yeşil sentez yönteminde ise nanopartikül eldesi gümüş nitrat çözültisi içine özüt eklenmesini takiben 30-45 dakika içerisinde tamamlanmıştır. Daha sonra yapılan santrifüj, partikül yıkanması ve kurutulması işlemleri ise yine aynı gün içerisinde tamamlanabilmiştir. Dolayısıyla geliştirilen metodolojinin, zaman açısından da kimyasal yöntemlere göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Gümüş nanopartiküllerde yüzey plasmon titreşimleri nedeniyle bitki özütü eklenmiş gümüş nitrat çözeltisinde sarımsı kahverengi bir çözelti elde edildiği bilinmektedir. Sushmita (2014) yaptığı çalışma ve bu çalışmada da aynı şekilde koyu kahverengi bir çözelti elde edildiğinden gümüş nanopartiküllerin başarılı bir şekilde sentezlendiği anlaşılmıştır. Ayrıca Sushmita (2014) çalışması kapsamında *Phaseolus vulgaris* (fasulye) türü dışında *Brassica oleracea capitata* (kabak) türünü de kullanarak aynı yöntemlerle gümüş nanopartikül elde etmiş ve antimikrobiyel çalışmalar dışında boya degradasyon işlemlerinde bu partikülün dekolazasyon etkinliğini araştırmıştır.

Metalik partiküllerin yeşil sentezi Schröfel vd. (2014) yılındaki derlemesinde de görüldüğü gibi sadece bitki özleri ile değil çeşitli mantar ve bakteri türleriyle de bu sentez işleminin gerçekleştirilip farklı uygulama alanlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Namita Soni ve Soam Prakash yeşil sentez ile ürettikleri gümüş nanopartikülleri farklı bir uygulama olarak sivrisinek yayılımının önlenmesi üzerinde denemiş ve üretilen partiküllerin malarya vektörü *Anopheles stephensi* ve filariyasis vektörü *Culex quinquefasciatus* 'un larvaları üzerinde larvasidal etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun gibi yeşil sentez yoluyla elde edilen partiküllerin antibakteriyel, antifungal, antiviral, antiparazit, boya degradasyonu, kimyasal maddelerin katalitik indirgenmesi ve biyoelektrokimya gibi geniş uygulama alanlarının olması gelecek için oldukça umut vadedicidir.

Bu tez çalışması kapsamında, *Phaseolus vulgaris* (Yunus-90) L. bitkisinin yaprak, gövde ve kök kısımlarından; yeşil kimya prensiplerine uygun olarak, fito-nano teknolojik yöntemle, ılımlı ve tekrarlanabilir reaksiyon koşullarında, çevre dostu, düşük maliyetli ve uygulanabilirliği açısından pratik kabul edilebilecek bir metodoloji ile hedef gümüş nanopartiküllerin eldesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen partiküllerin yapısal karakterizasyonu uygun spektral yöntemlerden (UV-vis, FT-IR, TEM, SEM ve DLS) yararlanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar literatür verileri ile uyumlu bulunmuştur.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, sentezi gerçekleştirilen nanopartiküllerin yüksek antifungal etkinliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Yeşil sentez ile elde edilen nanopartiküllerin düşük konsantrasyonlarda dahi çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan fungal bitki patojenleri üzerinde yüksek etkinlik göstermesi de yine tezdin elde edilen önemli çıktılardan bir diğeridir. Bu bağlamda tez kapsamında geliştirilen sentez metodolojisi dahilinde elde edilen gümüş nanopartiküllerinin fungal bitki patojenleriyle olan mücadelede kayda değer bir kullanım potansiyeli içerdiği de görülmektedir. Yaprak özütünden elde edilen nanopartiküllerin, diğer özütlerden (gövde ve kök) elde edilen nanopartiküllere oranla daha etkin antifungal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Tez kapsamında incelenen *Colletotrichum* sp., *F. oxysporum*, *F. acuminatum*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. incarnatum*, *F. culvarum*, *R. solani*, *S. sclerotiorum*, *A. alternata* ve *S. rolsii* fungal patojenlerinden *F. tricinctum* ve *Colletotrichum* sp. gelişimlerinin baskılanmasında gümüş nanopartiküllerin 200 µg/mL konsantrasyonun % 100 etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer fungal türlerde de görece etkili olan bu yeni nesil nanopartiküllerin, ekonomik açıdan önem taşıyan tarla bitkilerini korumak için fungisidal bir solüsyon halinde uygulama alanı bulması olanaklı görülmektedir.

Özetle, bu yüksek lisans çalışması kapsamında, *Phaseolus vulgaris* (Yunus-90) L. farklı bölümlerinden, gümüş nanopartikül elde etme verimliliği incelenmiş ve sentezlenen nanopartiküllerin, bitki patojeni on bir farklı fungusa karşı etkinlikleri, standart kimyasal yöntemlerle elde edilen nanopartiküllerin etkinliğiyle karşılaştırılmıştır. Bahse konu araştırmalar süresince izlenen metodolojinin, literatürde mevcut örneklerden farklı bir yaklaşım sunması sebebiyle çalışmaya özgün değer kazandırdığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- El-Hai, K.A., El-Metwally, M.A., El-Baz, S.M., and Zeid, A.M. 2009. The Use of Antioxidants and Microelements for Controlling Damping-Off Caused by *Rhizoctonia solatii* and Charcoal Rot Caused by *Macrophomina phaseolina* on Sunflower. *Plant Pathology Journal*, 8(3); 79-89.
- Abd, E. A., Abeer, R., Al-Othman, M. R., Eifan, S. A., Mahmoud, M. A. and Majrashi, M. 2013. Green Synthesis Of Silver Nanoparticles Using *Aspergillus Terreus* (KC462061). *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 8(3).
- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L. and Ikram, S. 2016. Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1); 1-7.
- Anonim. 2013. Geçit Kuşığı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Web Sitesi: <http://www.ataem.gov.tr/tesces.asp?s1=147&s2=59>, Erişim Tarihi:02.02.17.
- Asha, A., Sivaranjani, T., Thirunavukkarasu, P. and Asha, S. 2016. Green synthesis of silver nanoparticle from different plants-a review. *Int J Pure Appl Biosci*, 4(2); 118-124.
- Awwad, A.M., Salem, N.M. and Abdeen, A.O. 2013. Green synthesis of silver nanoparticles using carob leaf extract and its antibacterial activity. *International Journal of Industrial Chemistry*, 4(1); 29.
- Bhushan, B. (Ed.). 2012. *Encyclopedia of nanotechnology*, Springer, No: 544.1 ENC. Dordrecht, Netherlands.
- Brody A.L. 1990. *Active Packaging*, *Food Engineering*, 62(4); 87-92.
- Bryaskova, R., Pencheva, D., Nikolov, S. and Kantardjiev, T. 2011. Synthesis and comparative study on the antimicrobial activity of hybrid materials based on silver nanoparticles (AgNps) stabilized by polyvinylpyrrolidone (PVP). *Journal of Chemical Biology*, 4(4); 185.
- Büyük, İ. 2014. Tuz ve kuraklık stresi altında geliştirilmiş farklı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinde *lea-3* geni mrna ifade seviyelerinin kantitatif real-time pcr yöntemiyle incelenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R., Watkins, R. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector, *Food Additives & Contaminants*, 25(3); 241-258.
- Paul, D.R., and Robeson, L.M. 2008. Polymer nanotechnology: nanocomposites. *Polymer*, 49(15); 3187-3204.
- Deb, S. 2014. Synthesis and characterisation of silver nanoparticles using *Brassica oleracea capitata* (Cabbage) and *Phaseolus vulgaris* (French Beans): A study on

- their antimicrobial activity and dye degrading ability. *International Journal of ChemTech Research*, 6(7); 3909-3917.
- Dubchak, S., Ogar, A., Mietelski, J. W. and Turnau, K. 2010. Influence of silver and titanium nanoparticles on arbuscular mycorrhiza colonization and accumulation of radiocaesium in *Helianthus annuus*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (1); 103-108.
- Evanoff, D. D. and Chumanov, G. 2004. Size-controlled synthesis of nanoparticles. 2. Measurement of extinction, scattering, and absorption cross sections. *The Journal of Physical Chemistry B*, 108(37); 13957-13962.
- Gürmen, S., Ebin, B. ve İTÜ, M. 2008. Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. *Metalurji Dergisi*, 150; 31-38.
- Griffin, S., Masood, M. I., Nasim, M. J., Sarfraz, M., Ebokaiwe, A. P., Schäfer, K. H. and Jacob, C. 2017. Natural nanoparticles: A particular matter inspired by nature. *Antioxidants*, 7(1); 3.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *Circular. California agricultural experiment station*, 347(2nd edit).
- İlyasoğlu, H., El, S.N. 2010. Nanoemülsiyonlar: Oluşumları, yapıları ve kolloidal salınım sistemleri olarak gıda sektöründe kullanım alanları, *Gıda*, 35(2); 143-150.
- Iravani, S. 2011. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 13(10); 2638-2650.
- Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S.V. and Zolfaghari, B. 2014. Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 9(6); 385.
- Khan, M.R. and Jairajpuri, M. S. 2012. Nematode infestation in horticultural crops, national scenario. *Nematode infestation part III: horticultural crops. National Academy of Sciences, India*, 1-30.
- Khan, M.M., M.R. Khan and F.A. Mohiddin, 2012. The relative performance of different inoculation methods with *Alternaria brassicae* and *A. brassicicola* on Indian mustard. *Plant Pathol. J.*, 11; 93-98.
- Khan, M.R. and Anwer, M.A. 2011. Fungal bioinoculants for plant disease management. In *Microbes and Microbial Technology*, pp. 447-488. Springer, New York, NY.
- Khan, M.R. and M.M. Khan, 2011. Plants response to diseases in sulphur dioxide stressed environment. *Plant Pathol. J.*, 10; 1-12.
- Khan, M.R., 2012. Nematodes, an emerging threat to global forests: Assessment and management. *Plant Pathol. J.*, 11; 99-113.

- Khan, M.R., Majid, S., Mohidin, F.A. and Khan, N. 2011. A new bioprocess to produce low cost powder formulations of biocontrol bacteria and fungi to control fusarial wilt and root-knot nematode of pulses. *Biological Control*, 59(2); 130-140.
- Khan, M.R. and Rizvi, T.F. 2014. Nanotechnology: scope and application in plant disease management. *Plant Pathol J*, 13(3); 214-231.
- Khan, M.R., Altaf, S., Mohiddin, F.A., Khan, U. and Anwer, A. 2009. Biological control of plant nematodes with phosphate solubilizing microorganisms. *Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement* (MS Khan, A. Zaidi, eds.). Nova Science Publishers, New York, NY, USA, 395-426.
- Khan, M.R., Haque, Z. and Kausar, N. 2014. Management of the root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* infesting rice in the nursery and crop field by integrating seed priming and soil application treatments of pesticides. *Crop Protection*, 63; 15-25.
- Kongsombut, B., Tsutsumi, A., Suankaew, N. and Charinpanitkul, T. 2009. Encapsulation of SiO₂ and TiO₂ fine powders with poly (DL-lactic-co-glycolic acid) by rapid expansion of supercritical CO₂ incorporated with ethanol cosolvent. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(24); 11230-11235.
- Krishnaraj, C., Ramachandran, R., Mohan, K. and Kalaichelvan, P.T. 2012. Optimization for rapid synthesis of silver nanoparticles and its effect on phytopathogenic fungi. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 93; 95-99.
- Kroto, H.W., Heath, J.R., O'Brien, S.C., Curl, R.F. and Smalley, R.E. 1985. C₆₀: Buckminsterfullerene. *Nature*, 318(6042); 162.
- Küünal, S., Kutti, S., Guha, M., Rauwel, P., Wragg, D., Nurk, G. and Rauwel, E. 2015. Silver nanoparticles study for application in green housing. *ECS Transactions*, 64(47); 15-24.
- Li, D., Li, C., Wang, A., He, Q. and Li, J. 2010. Hierarchical gold/copolymer nanostructures as hydrophobic nanotanks for drug encapsulation. *Journal of Materials Chemistry*, 20(36); 7782-7787.
- Magaldi, S., Mata-Essayag, S., De Capriles, C. H., Perez, C., Colella, M. T., Olaizola, C., and Ontiveros, Y. 2004. Well diffusion for antifungal susceptibility testing. *International Journal of Infectious Diseases*, 8(1); 39-45.
- Merga, G., Wilson, R., Lynn, G., Milosavljevic, B. H. and Meisel, D. 2007. Redox catalysis on "naked" silver nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(33); 12220-12226.
- Mohanpuria, P., Rana, N. K. and Yadav, S. K. 2008. Biosynthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications. *Journal of nanoparticle research*, 10(3); 507-517.

- Moreno-Álvarez, S. A., Martínez-Castañón, G. A., Niño-Martínez, N., Reyes-Macías, J. F., Patiño-Marín, N., Loyola-Rodríguez, J. P. and Ruiz, F. 2010. Preparation and bactericide activity of gallic acid stabilized gold nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(8); 2741-2746.
- Taniguchi, N., Arakawa, C. and Kobayashi, T. 1974. On the basic concept of 'nanotechnology'. In *Proceedings of the International Conference on Production Engineering*, 1974-8, vol. 2, pp. 18-23.
- Patil, R. S., Kokate, M. R. and Kolekar, S. S. 2012. Bioinspired synthesis of highly stabilized silver nanoparticles using *Ocimum tenuiflorum* leaf extract and their antibacterial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 91; 234-238.
- Paul, D.R. and Robeson, L.M. 2008. Polymer nanotechnology: nanocomposites. *Polymer*, 49(15); 3187-3204.
- Prasanna, B.M. 2007. Nanotechnology in agriculture. ICAR National Fellow, Division of Genetics, IARI, New Delhi, 110012.
- Qian, L. and Hinestroza, J.P. 2004. Application of nanotechnology for high performance textiles. *Journal of textile and apparel, technology and management*, 4(1); 1-7.
- Rai, M., Yadav, A. and Gade, A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, 27(1); 76-83.
- Ramaswamy, U., Mukundan, D., Sreekumar, A. and Mani, V. 2015. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using aqueous whole plant extract of *Vernonia cinerea* L. and its biological activities. *Materials Today: Proceedings*, 2(9); 4600-4608.
- Roco, M.C. 2011. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years, 427-445.
- Saranyaadevi, K., Subha, V., Ravindran, R. E. and Renganathan, S.A.H.A.D.E.V.A.N. 2014. Green synthesis and characterization of silver nanoparticle using leaf extract of *Capparis zeylanica*. *Asian J. Pharm. Clin. Res*, 7; 44-48.
- Schröfel, A., Kratošová, G., Šafařík, I., Šafaříková, M., Raška, I. and Šor, L. M. 2014. Applications of biosynthesized metallic nanoparticles—A review. *Acta biomaterialia*, 10(10); 4023-4042.
- Shankar, S.S., Rai, A., Ahmad, A. and Sastry, M. 2004. Rapid synthesis of Au, Ag, and bimetallic Au core–Ag shell nanoparticles using Neem (*Azadirachta indica*) leaf broth. *Journal of colloid and interface science*, 275(2); 496-502.
- Srilatha, B. 2011. Nanotechnology in agriculture. *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*, 2(7).

- Singh TD, Singh TG and Henam SD 2017. Green synthesis, growth and catalytic activity of silver nanoparticles. *Green Materials* 5(4); 165–172.
- Siegrist, M., Stampfli, N., Kastenholz, H. and Keller, C. 2008. Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging. *Appetite*, 51(2); 283-290.
- Singh, S.P. 1981. A key for identification of different growth habits of *Phaseolus vulgaris* L.
- Sondi, I., Goia, D.V. and Matijević, E. 2003. Preparation of highly concentrated stable dispersions of uniform silver nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 260(1); 75-81.
- Soni, N. and Prakash, S. 2014. Green nanoparticles for mosquito control. *The Scientific World Journal*.
- Sürengil, G. ve Kılınç, B. 2011. Gıda ve ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *Journal of Fisheries Sciences*. com, 5(4); 317-325.
- Vaidyanathan, R., Kalishwaralal, K., Gopalram, S. and Gurunathan, S. 2009. Retracted: Nanosilver—The burgeoning therapeutic molecule and its green synthesis, 924-937.
- Yardimci, A. 2012. Nanoteknoloji. *Ekonomik Forum*. 34-39.
- Wang, P., Lombi, E., Zhao, F.J. and Kopittke, P.M. 2016. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in Plant Science*, 21(8); 699-712.
- Wang, S., Lawson, R., Ray, P.C. and Yu, H. 2011. Toxic effects of gold nanoparticles on *Salmonella typhimurium* bacteria. *Toxicology and Industrial Health*, 27(6); 547-554.
- Wiley, B., Sun, Y., Mayers, B. and Xia, Y. 2005. Shape controlled synthesis of metal nanostructures: the case of silver. *Chemistry—A European Journal*, 11(2); 454-463.
- Zhu, W., Bartos, P. J. and Porro, A. 2004. Application of nanotechnology in construction. *Materials and Structures*, 37(9); 649-658.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ege EDİZ

Doğum Yeri : İzmir

Doğum Tarihi : 26.10.1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ayrancı Lisesi (2010)

Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü (2015)

: Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü Yan Dal Programı (2014)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü (devam etmekte.)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

İnvitrotek Sağlık Ürünleri ve Hizmetleri, Aplikasyon Uzmanı (2017-devam ediyor).

Yer Alınan Proje/Projeler

Yüksek hızlı fotokatalitik dekompozisyon için manyetik nanopartikül bazlı fotokatalizörlerin geliştirilmesi (Tübitak 214M351 2015-2016), Bursiyer

Ulusal Kongre Sunum

1. Erciyes Üniversitesi Ekoloji Sempozyumu 11-13 Mayıs 2017, Kayseri (Nitrofenol indirgenmesi için yeni tasarlanmış gümüş kaplı manyetik, monodispers polimerik mikropartiküller)
2. Uluslararası Enerji ve Isı Mühendisliği Konferansı 25-28 Nisan 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye (Manyetik mikropartiküller ile atık su arıtımı)

3. Uluslararası Enerji ve Isı Mühendisliği Konferansı 25-28 Nisan 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye (Altın nanopartiküllerin fotokatalize dayalı sentezi ve karakterizasyonu)
4. Uluslararası Enerji ve Isı Mühendisliği Konferansı 25-28 Nisan 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye (Manyetik kontrollü sürekli reaktör sistemi ile fenol giderimi)
5. 7. Kozmetik Kimyası, Üretimi ve Standardizasyonu Kongresi 24-26 Şubat 2017, Antalya (Nanopartiküllerin çevreye duyarlı bir şekilde sentezi ve kozmetik ürünlerinde kullanımı)
6. 3. Ulusal Çevre Kongresi 24-28 Eylül 2016, Marmaris. (Altın ve gümüş kaplı nanopartiküllerin 4-nitrofenol degradasyonu üzerindeki etkileri)
7. Hacettepe Üniversitesi 4. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Şubat 8-9, 2013 Ankara (Türkiye'deki bor minerali potansiyeli ve Türkiye'ye ait indikatör canlı türleri)