



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GÜMÜŞ NANOPARTİKÜL İÇEREN
POLİMER ESASLI ANTİBAKTERİYEL
NANOLİFLERİN ELEKTROSPİN
YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ

TANSU SAYGILI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Tansu SAYGILI
Tarih: 12.07.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜMÜŞ NANOPARTİKÜL İÇEREN POLİMER ESASLI ANTİBAKTERİYEL NANOLİFLERİN ELEKTROSPİN YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ

Tansu SAYGILI

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erol PEHLİVAN

2021, 77 Sayfa

Bu çalışmada yeşil sentez metoduyla Altınbaşak bitkisi (*Solidago virgaurea* L.) ve Öksürük bitkisi (*Tussilago farfara* L.) bitki özütlerinden, gümüş nanopartikül sentezi için optimum koşullar belirlenmiştir. Gümüş nanopartikül sentezi için gerekli olan AgNO_3 miktarı, karışım süresi, sıcaklık, pH etkisi incelenmiştir. Gümüş nanopartikül sentezi için; bitki ekstraktına (1:1) oranlarda AgNO_3 , 25 °C sıcaklık ve 24 saat karışım süresi belirlenmiştir. Gümüş nanopartiküllerin yüzey karakterizasyonu ve yapısal özelliklerini belirlemek için; TEM, FTIR, UV-Vis Spektrofotometre analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları, partiküllerin nanoboyutta olduğunu ve gümüş içerdiğini göstermiştir. Elektrospon metodu ile PLA polimerinden gümüş nanopartikül katkılı nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça %8 PLA içerikli çözeltiye %0.5 ve %1 oranlarında gümüş nanopartikül eklenerek nanolif üretilmiştir. Nanoliflerin yapısal özellikleri ve yüzey karakterizasyonu için SEM, TEM, XRD ve FTIR analizleri yapılmıştır. Nanoliflerin antibakteriyel etkinliği *Escherichia coli* bakterilerine agar difüzyon metodu uygulanarak belirlenmiştir. Gümüş nanopartikül miktarının artmasına bağlı olarak antibakteriyel etkinlik artma göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Antibakteriyel özellik, elektrospon, gümüş nanopartikül, nanolif, PLA

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION OF POLYMER BASED ANTIBACTERIAL NANOLIFS WITH SILVER NANOPARTICLE BY ELECTROSPIN METHOD

Tansu SAYGILI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Chemical Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Erol PEHLİVAN

2021, 77 Pages

In this study, optimum conditions for silver nanoparticle synthesis were determined from Altınbaşak plant (*Solidago virgaurea L.*) and Öksürük (*Tussilago farfara L.*) plant extracts using green synthesis method. The amount of AgNO₃ required for silver nanoparticle synthesis, mixing time, temperature, and pH effects were investigated. For silver nanoparticle synthesis; the ratio of AgNO₃ to plant extract (1:1), temperature (25 °C) and mixing time (24 hours) were determined. To determine the surface characterization and structural properties of silver nanoparticles; TEM, FTIR, UV-Vis Spectrophotometer analyzes were completed. Analysis results indicated that the particles are nanosized and contain silver. Silver nanoparticle doped nanofiber production from PLA polymer was completed by electrospin method. Nanofiber was produced by adding 0.5% and 1% silver nanoparticles to 8% PLA solution. SEM, TEM, XRD and FTIR analyzes were performed for the structural properties and surface characterization of nanofibers. Antibacterial activity of nanofibers was determined by applying agar diffusion method to *Escherichia coli* bacteria. Antibacterial activity increased due to the increase in the amount of silver nanoparticles.

Keywords: Antibacterial, electrospin, silver nanoparticle, nanofiber, PLA

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erol PEHLİVAN'a, tez konumun belirlenmesi ve uygulanması aşamalarında laboratuvar desteği sağlayan, değerli bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren Sayın Prof. Dr. Ahmet AVCI'ya ve sevgili hocam Doç. Dr. Havva TUTAR KAHRAMAN'a ilgi ve alakalarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans laboratuvar çalışmalarında desteklerini esirgemeyen aynı laboratuvar ortamını paylaştığım arkadaşlarıma, yüksek lisans eğitimim süresince manevi destekleriyle daima yanımda olan sevgili dostlarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın bu aşamalara gelmesinin en büyük mimarları olan, beni sevgiyle ve saygıyla yetiştiren, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, kıymetli annem Elmas SAYGILI'ya, değerli babam Resul SAYGILI'ya, sevgili kardeşim Furkan SAYGILI'ya tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında daima yanımda olan sevgili Deniz ÖZLÜ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tansu SAYGILI
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Nanoteknoloji Hakkında.....	2
1.1.1. Nanoteknolojiye ait uygulamalar	4
1.1.1.2. Elektronik alanda nanoteknoloji çalışmaları	5
1.1.1.3. Çevre ve enerji alanında nanoteknoloji çalışmaları	5
1.1.1.4. Gıda alanında nanoteknoloji çalışmaları	6
1.1.1.5. Tekstil alanında nanoteknoloji çalışmaları	6
1.2. Nanopartikül	7
1.2.1. Nanopartiküllerin üretim metotları	8
1.3. Gümüş nanopartikül (AgNP) ve Sentez Yöntemleri	9
1.4. Nanolif ve Üretim Metodları	11
1.4.1. Elektrospin yöntemi ile nanolif üretimi	12
1.4.1.1. Elektrospin ile nanolif üretim düzeneği	14
1.4.1.2. Nanolif üretimini etkileyen parametreler	15
1.4.2.1. Çözelti parametreleri	16
1.4.2.2. İşlem parametreleri	17
1.4.2.3. Ortam parametreleri	20
1.4.2. Nanoliflerin uygulama alanları	20
1.5. Gümüş Nanopartikül ve Nanoliflerin Karakterizasyon Metodları	22

1.5.1. Ultraviyole ve görünür bölge spektroskopisi (UV-Vis)	22
1.5.2. X ışını difraksiyonu (XRD).....	22
1.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	23
1.5.4. Transmisyon elektron mikroskobu	24
1.5.5. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	24
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller	29
3.1.1 Gümüş nitrat (AgNO_3).....	29
3.1.2. Polilaktik asit (PLA)	29
3.1.3. Dimetilformamid (DMF)	30
3.1.4. Diklorometan (DCM)	30
3.1.5. Öksürük bitkisi (<i>Tussilago farfara L.</i>).....	31
3.1.6. Altınbaşak bitkisi (<i>Solidago virgaurea L.</i>)	31
3.2. Çalışmada Üretilen Gümüş Nanopartikül ve Nanoliflerin Analizlerinde Kullanılan Cihazlar	32
3.3. Yeşil Sentez Metodu ile Gümüş Nanopartikül Sentezi.....	32
3.3.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi	35
3.3.2. Optimum zamanın belirlenmesi	35
3.3.3. Optimum sıcaklık değerinin belirlenmesi	35
3.3.4. Optimum AgNO_3 miktarının belirlenmesi.....	36
3.4. Elektrospin Metodu ile Nanolif üretimi	36
3.4.1. Polimer çözeltisinin hazırlanması.....	37
3.4.2. Nanopartikül içeren çözeltinin hazırlanması.....	37
3.4.3. AgNP içeren polimer çözeltisi ile elektrospin işlemi	37
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	38
4.1. Gümüş Nanopartikül Optimum Sentez Koşullarının Belirlenmesi	38
4.1.1. AgNP sentezinde optimum pH değeri	40
4.1.1.1. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışması.....	40

4.1.1.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışması	41
4.1.2. AgNP sentezinde optimum zaman	42
4.1.2.1. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için zaman çalışması	42
4.1.2.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için zaman çalışması	43
4.1.3. AgNP sentezinde optimum sıcaklık değeri	44
4.1.3.1. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için sıcaklık çalışması	44
4.1.3.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için sıcaklık çalışması	45
4.1.4. AgNP sentezinde optimum AgNO ₃ miktarının belirlenmesi	45
4.1.4.1. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için AgNO ₃ çalışması	45
4.1.4.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için AgNO ₃ çalışması	46
4.2. AgNP FTIR Analiz Sonuçları	47
4.3. Gümüş Nanopartiküllere ait TEM Analizi Sonuçları	49
4.4. Gümüş nanopartiküller için EDS Analizi Sonuçları	50
4.5. PLA Esaslı AgNP Katkılı Nanoliflerin Elektrospon Metodu ile Üretimi	51
4.6. Nanoliflerin FTIR Analiz Sonuçları	53
4.7. Nanoliflerin SEM Analiz Sonuçları	56
4.8. Nanoliflerin TEM Analizi Sonuçları	62
4.10. AgNP katkılı PLA esaslı nanoliflerin antibakteriyel etkinliği	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
5.1. Sonuçlar	71
5.2. Öneriler	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Nanometre boyut sıralaması.....	3
Şekil 1.2. Lotus çiçeğinin kiri uzaklaştırması elektron mikroskobu görüntüsü.....	7
Şekil 1.3. Nanopartiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri	7
Şekil 1.4. Nanopartikül sentezindeki yaklaşımlara ait örnekler	9
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan PLA polimeri ve kimyasal yapısı	29
Şekil 3.2. DMF kimyasal yapısı.....	30
Şekil 3.3. DCM kimyasal yapısı	30
Şekil 3.4. Öksürük bitkisine ait genel görünüm.....	31
Şekil 3.5. Altınbaşak bitkisine ait genel görünüm	32
Şekil 3.6. Bitki ekstraktı elde etme işlemleri	33
Şekil 3.7. Bitki ekstraktının AgNO ₃ ile 24 saat karıştırılması sonucu oluşan çözelti	33
Şekil 3.8. Santrifüj işleminin ardından kurutma öncesi ön hazırlık işlemi.....	34
Şekil 3.9. AgNP sentez çalışmalarında kullanılan UV-Vis cihazı.....	34
Şekil 3.10. Nanolif üretiminde elektrospin işlemi için kullanılan cihaz düzeneği	36
Şekil 4.1. Altınbaşak bitki ekstraktına ait UV-vis spektrofotometresi sonuçları.....	38
Şekil 4.2. Öksürük bitki ekstraktına ait UV-Vis spektrofotometresi sonuçları	39
Şekil 4.3. Bitki ekstraktına ait çözeltilerin görünümü.....	39
Şekil 4.4. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışmasındaki renk değişimi	40
Şekil 4.5. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için optimum pH sonuçları	41
Şekil 4.6. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışması renk değişimi	41
Şekil 4.7. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi pH çalışması sonuçları.....	42
Şekil 4.8. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezinde optimum zaman sonuçları.....	43
Şekil 4.9. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait optimum zaman sonuçları	43
Şekil 4.10. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezine ait optimum sıcaklık sonuçları	44
Şekil 4.11. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait optimum sıcaklık sonuçları.....	45
Şekil 4.12. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi optimum gümüş nitrat sonuçları	46
Şekil 4.13. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait optimum gümüş nitrat sonuçları	46
Şekil 4.14. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için FTIR sonuçları.....	47
Şekil 4.15. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için FTIR sonuçları	48
Şekil 4.16. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait TEM görüntüleri	49
Şekil 4.17. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezine ait TEM görüntüleri.....	49
Şekil 4.18. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait EDS sonuçları	50

Şekil 4.19. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezine ait EDS sonuçları.....	51
Şekil 4.20. PLA esaslı AgNP (%0.5) katkılı nanolif.....	52
Şekil 4.21. PLA esaslı AgNP katkılı (%1) nanolif.....	52
Şekil 4.22. AgNP katkılı nanolif üretimi için uygulanan adımlar	53
Şekil 4.23. AgNP içermeyen PLA esaslı nanolife ait FTIR spektrumu	53
Şekil 4.24. Öksürük bitkisi içerikli AgNP ile katkılı nanoliflere ait FTIR spektrumları	54
Şekil 4.25. Altınbaşak bitkisi içerikli AgNP ile katkılı nanoliflere ait FTIR spektrumları	55
Şekil 4.26. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri.....	57
Şekil 4.27. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%1) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri.....	58
Şekil 4.28. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri.....	59
Şekil 4.29. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP(%1) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri.....	60
Şekil 4.30. AgNP katkısız PLA esaslı nanoliflerin SEM görüntüleri	61
Şekil 4.31. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri.....	62
Şekil 4.32. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP (%1) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri.....	63
Şekil 4.33. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri.....	64
Şekil 4.34. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%1) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri.....	65
Şekil 4.35. Gümüş katkılı nanoliflerin elektron mikroskobu görüntüleri; a. Altınbaşak bitki içerikli AgNP katkılı, b. Öksürük bitki içerikli AgNP katkılı	66
Şekil 4.36. AgNP katkısız PLA esaslı nanolife ait XRD grafiği	66
Şekil 4.37. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı PLA esaslı nanolif XRD grafiği	67
Şekil 4.38. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı PLA esaslı nanolif XRD grafiği	68
Şekil 4.39. Öksürük ve Altınbaşak bitki içerikli AgNP katkılı (%0.5 ve %1) nanoliflerin antibakteriyel etkinliğinin belirlenmesi	69

Şekil 4.40. Üretilen nanolifler ile <i>Escherichia coli</i> bakterisi üzerinde oluşan inhibisyon zon çapları.....	70
---	----



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1. Nanoteknolojide ticarileşmeye ait dönem adları	4
Çizelge 1.2. Nanoteknolojinin son dönemlerdeki popüler uygulama alanları.....	4
Çizelge 1.3. Elektrospin metodunda kullanılan polimerler ve uygun çözücüler	13
Çizelge 1.4. Elektrospin ile nanolif üretimine etki eden faktörler	16
Çizelge 3.1. Nanolif ve nanopartiküllerin analizinde kullanılan cihazlar	32



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm	:	Santimetre
g	:	Gram
h	:	Saat
ml	:	Mililitre
mM	:	Milimolar
m ²	:	Metrekare
nm	:	Nanometre
μL	:	Mikrolitre
rpm	:	Dakikadaki devir sayısı
s	:	Saniye

Kısaltmalar

AgNP	:	Gümüş Nanopartikül
AFM	:	Atomik Kuvvet Mikroskobu
BİLTEM	:	Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama Araştırma Merkezi
CVD	:	Kimyasal buhar biriktirme
DCM	:	Diklorometan
DMF	:	Dimetilformamid
EDS	:	Enerji Dağılımı X- ışını Spektroskopisi
FTIR	:	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
İLTEK	:	İleri Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi
PAN	:	Poliakrilonitril
PCL	:	Polikaprolakton
PEG	:	Polietilen glikol
PLA	:	Polilaktik asit
PMMA	:	Polimetilmetakrilat
PS	:	Polistiren
PMMA	:	Polimetil Metakrilat

PVDF	:	Polivinil Florür
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	:	Geçirimli Elektron Mikroskobu
UV-Vis	:	Ultraviyole ve Görünür Bölge Spektroskopisi
XRD	:	X-Işını Difraksiyonu



1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında teknoloji, toplumların gelişmesinde aktif rol almaktadır. Teknoloji kendini yenileyen bir unsurdur. Teknolojinin gelişmesi yenilenmeyi sürekli kılarak sağlanmaktadır. Günümüz dünyasında son dönemlerde teknolojiye en büyük yenilenme hareketi nanoteknolojinin sağladığı yararlar neticesinde ortaya çıkmıştır. Nanoteknoloji çalışmaları yapısal ve moleküler olarak iki farklı dalda ilerlemektedir. Yapısal dalda, nanokristaller ve karmaşık moleküllere benzeyen çok küçük yapılarla çalışılmaktadır. Yapısal nanoteknoloji endüstriyel malzemeleri daha iyi hale getirmeyi amaçlar. Örneğin; bilgisayarların hızlı çalışması, ilaçların daha etkin olması, malzemelerin dayanımını artırma, motor verimliliğini artırarak endüstriyel faaliyetlere yeni bir boyut kazandırma amaçlanmaktadır. Moleküler nanoteknolojide ticari faaliyetlerden çok yapının daha küçük halleriyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Hücre ve molekül bazında araştırmalar devam etmektedir (Yusuf, 2019).

Malzemeler nanoboyuta indirgendiğinde temel halden farklı üstün özellikler gösterdiğinden dolayı nanoboyuttaki malzemeler üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Nanoboyuttaki malzemeler; nanopartikül, nanokristal, nanotüp ve ince film gibi benzer gruplara ayrılmaktadır (Gürmen ve ark., 2008).

Nanopartiküllerin üretim yöntemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotları içerir. Bu yöntemler kendi arasında kıyaslandığında fiziksel ve kimyasal yöntemlerin maliyetinin fazla olması, çevreye zararlı kimyasal içeriğe sahip olması nedeniyle biyolojik yöntem daha avantajlı hale gelmektedir. Çünkü biyolojik metotta maliyeti az, çevreye zararı olmayan sentezler gerçekleştirilebilir. Biyolojik metotta nanopartikül sentezinde bitkiler, mantarlar ve algler tercih edilmektedir (Fıratbaran, 2019).

Nanoliflerin sentezi için kullanılan elektrospin metodu ise basit ve etkin olmasının yanında fiberlerin yüksek yüzey alanına sahip olması, mekanik dayanımının iyi olmasından dolayı tercih edilir. Sağlık ile ilgili uygulamalardan, tekstil ve askeri uygulamalara kadar birçok alanda nanolifler etkin olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bitkilerden AgNP sentezinde az maliyetli, çevre dostu bir yöntem olan yeşil sentez metodu kullanılacaktır. Polimer çözeltisinden elektrospin metodu ile elde edilen nanoliflere yeşil sentez ürünü AgNP yardımıyla antibakteriyel özellik kazandırmak amaçlanmaktadır.

1.1. Nanoteknoloji Hakkında

Nanoteknoloji, bir fiziksel büyüklüğün milyarda biri boyutundaki atomların, istenilen şekilde işlenmesi ile gelişmiş üretim teknolojileri yöntemlerinin belirlenmesini, bilinenden daha üstün özellikte malzemeler elde edilmesini sağlayan bilim dalıdır. Nanoteknolojinin temelini oluşturan nanometre metrenin milyarda biri karşılığına denk gelir. İnsan saç teli, toplu iğne ucu gibi çok küçük boyutlardaki nesnelerle kıyaslandığında bir nanometrenin binlerce kat büyüklüğündedirler. Bundan dolayı nanoteknoloji çok küçük nesnelerin teknolojisi olarak nitelendirilebilir. Nanoteknolojide aynı atomlar gruplarına sahip maddelerin atom seviyelerinin farklılaştırılması sonucu istenilen formlarda farklı maddeler elde edilebilir, bunun doğadaki en güzel örneği elmas ve kömürdür. Elmas ve kömür aynı atomlardan oluşmasına rağmen atomların farklı şekillerde yer alması sonucu birbirinden farklı özellikte ve kimlikte iki madde ortaya çıkmıştır.

Nanoteknolojiyi 1959 senesinde Richard Feynman tanıtmıştır. Konuşmasında küçük yapılar olan moleküller ve atomların kontrolünün, küçük boyutlarda malzeme ve cihazların geliştirilmesiyle sağlanabileceğini dile getirmiştir. “Altta Çok Yer Var” adını verdiği bu konuşmasında bir dizi ansiklopedik bilginin toplu iğnenin ucuna sığdırabilmenin mümkün olduğunu da savunmuştur. Bunun üzerine bilim insanları tarafından atomların hareketini ve kontrolünü sağlayan cihaz ve ekipmanın geliştirilmesi sayesinde daha küçük ama işlevsel bilgisayarların tasarımı gibi düşünceler dile getirilmiştir. O güne kadar sadece düşünceler ile ifade edilen bu sözler bugün yapılan uygulamaların temelini oluşturmuştur (Köroğlu, 2013).

Nanoteknoloji sözcüğü ise 1974 senesinde Tokyo Üniversitesinden Taniguchi tarafından dile getirilmiştir. Nanoteknolojiyi malzemelerin atom ve molekül bazında birleşmesi ya da ayrılması olarak nitelendirmiştir (Katırcıoğlu, 2012).

Nanoteknolojideki ilerlemeler nanoboyutta değişim ve ölçümü sağlayan taramalı tünelleme mikroskopunun bulunması ile başlamıştır. Ardından atomik kuvvet mikroskopunun keşfedilip özelliklerinin iyileştirilmesi sonucu nanometre boyutlarında ölçümler alınabilmıştır (Turgut ve ark., 2011).

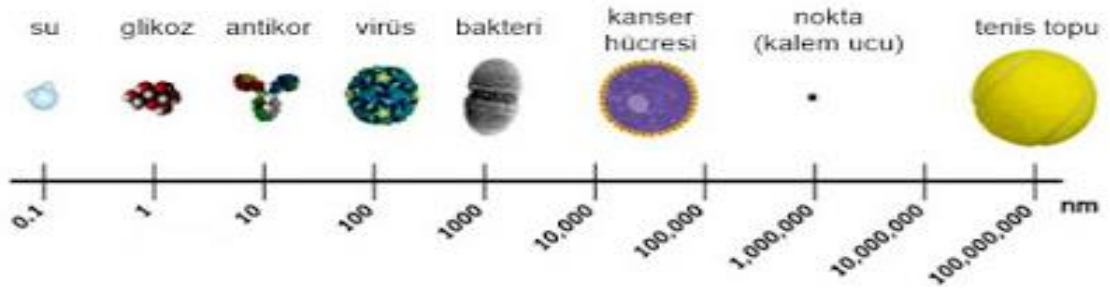
Nano yapılar içerisinde 60 karbon atomundan oluşan fulleren yapısı 90’lı yılların başında keşfedilmiştir. Keşfedildiğinde çelikten daha güçlü olmasına rağmen daha hafif yapıda olması ilgi çekmiştir. Daha sonra bunu fulleren yapısına benzer ama daha esnek haline sahip nanotüplerin keşfi takip etmiştir.

2000 yılında ise nanoteknolojinin Avrupa ülkelerinde yapılan araştırmalarda öncelikli alan haline gelmesiyle bu yapıların keşfine dair çalışmalar hız kesmeden artmaya devam etti (Özdoğan ve ark., 2006a).

Nanoteknolojiye dair araştırma ve geliştirme çalışmalarında hedefler;

- Nanometre büyüklüğe sahip yapıların analizi,
- Nanoboyutta malzemenin fiziksel yapısının belirlenmesi,
- Üstün özelliklerde malzeme sentez metotlarının belirlenmesi
- Az maliyetli ve üstün özellikli malzeme üretimidir.

Nanometre düzeyindeki çalışmalar üstün özellikte malzemeleri daha kolay üretebilme açısından tercih edilir. Maddenin yapıtaşları olan atomun yan yana dizilmesi sonucu 2 veya 3 atomdan oluşan atom grubu yaklaşık 1 nanometre yer kaplar. Örneğin; en küçük atomlardan biri olan hidrojen atomunun yarıçapı nanometrenin onda birine denk gelmektedir. Şekil 1.1’de küçük yapılar olarak bilinen virüs, bakteri, hücre nanometrik olarak kıyaslanmıştır.



Şekil 1.1. Nanometre boyut sıralaması (Beşergil, 2020)

Malzeme nanoboyuta indirgendiğinde kuantum etkilerinin sonucu olarak makro boyuta göre farklılıklar sergilemeye başlar. Örnek olarak makro boyutta iken etkileşime girmeyen bir madde nanoboyutta başka maddeler ile etkileşim gösterebilir. Bu boyutlar arasındaki en önemli farklılık birleşmeyi ve ayırabilmeyi sağlayan iletim farklılığıdır. Bununla birlikte nano boyuta inildikçe malzemede yüzey alanı/hacim oranı artış göstermesi sonucuyla malzemede elektriksel, mekaniksel özelliklerinde dayanım ile üstün özellikli yapı sağlanır. Nanoboyuta sahip malzemelerde;

- Atomda yer değiştirebilmeyi sağlama,
- Atom seviyesinde malzeme sentezi,
- Maliyetin az olması avantaj sağlar (Turgut ve ark., 2011).

1.1.1. Nanoteknolojiye ait uygulamalar

Nanoteknolojiye ait uygulamalar, belirli zaman aralığındaki baskın uygulama alanına göre o döneme adını vermiştir.

Çizelge 1.1. Nanoteknolojide ticarileşmeye ait dönem adları (*Beşergil 2016*)

Zaman aralığı	Nanoteknolojide ticari ürün üretim dönemi	Ticari ürüne ait örnekler
2000-2005	Pasif nanoyapılar dönemi	Nanopartikül katkılı kompozit Nanoyapılı polimer, metal ve seramikler
2005-2010	Aktif nanoyapılar dönemi	Nano-biyoteknoloji Hibrid nanoüretim
2010-2015	Nanosistemler dönemi	Nanorobotlar Rejeneratif ilaçlar
2015-2020	Moleküler nanosistemler	Kompleks sistemler

Nanoteknolojide nanoboyut düzeyinde malzemeler üzerinde çalışmalara ait araştırma geliştirme faaliyetleri daha fonksiyonlu ve üstün özellikli cihazlar geliştirebilmek adına yürütülür. Her gelişme malzeme bilimine farklı bir boyut kazandırır. Günümüz teknolojisi kabul edilen nanoteknoloji, her bilim dalı ile koordinasyon içerisinde çalışmalar yapılması sonucu elektrik alanında nanoçiplerden, sağlık alanında nanorobotlara kadar birçok sektörde uygulama alanına sahip olmuştur (Doğan, 2006).

Çizelge 1.2. Nanoteknolojinin son dönemlerdeki popüler uygulama alanları

<u>Nanoteknolojiye ait uygulamalar</u>		
<i>Medikal Alanda Uygulamalar</i>	<i>Elektrik Alanında Uygulamalar</i>	<i>Çevre Alanında Uygulamalar</i>
✓ Kontrollü ilaç salınımı	✓ Elektronik devre üretimi	✓ Hidrofobik yüzeyler
✓ Cerrahi özelliğe sahip nanorobotlar	✓ Nanotransistörler	✓ Güneş ve yakıt pilleri
✓ Antimikrobiyal ve antibakteriyel kaplamalar	✓ Elektronik özellikli kaplamalar	✓ Fotokatalizörler

1.1.1.1. Medikal alanında nanoteknoloji çalışmaları

Nanoteknoloji ile canlı sistemlere moleküler seviyede uygulamalar yapılabilmektedir. Bu özellik nano düzeyde cihazlar üretilmesini ve etkin tedavi yöntemlerinin uygulanabilmesini etkin kılar. Vücutta istenilen yerlere ilaç gönderen cihazlar, vücut içerisinde hareket ederek teşhis etmeyi sağlayan makineler, nanoteknolojinin medikal alanda uygulamalarındandır. Son dönemlerde gen çalışmaları bazı organların ve kemiklerin tedavisi günümüzde üzerinde çalışılan araştırma konularıdır (Özdoğan ve ark., 2006a).

1.1.1.2. Elektronik alanda nanoteknoloji çalışmaları

Elektrik ve elektronik alanındaki çalışmalar yeni cihaz ve aletlerin tasarlanabilmesi açısından önem taşır. Nanoteknoloji boyutunda çalışmalar ile üretilen elektronik devreler, daha büyük kapasiteli, daha hızlı işlemcilerin üretilebilmesiyle birlikte daha az enerjinin tüketilebilmesine olanak sağlar.

1.1.1.3. Çevre ve enerji alanında nanoteknoloji çalışmaları

Nanoteknoloji fosil yakıtlar ile çalışan sistemlerde verimlilik arttırmayı sağlamaktadır. Bu alandaki nanokompozitler ise verimliliğin yüksek olmasının yanı sıra, ucuz ve çevreci özelliklerinden dolayı tercih edilir. Taşıt sektöründe nanokompozitlerin uygulama alanı bulması sonucu daha hafif ürünler elde edilirken hafif olmasından ötürü maliyet ve enerji tasarrufu da sağlanır.

1.1.1.4. Gıda alanında nanoteknoloji çalışmaları

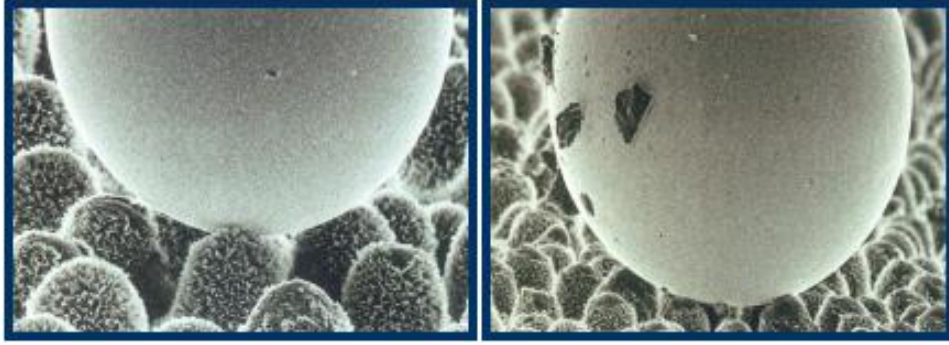
Gıda alanında nanoteknolojiye ait çalışmalarda; malzemenin kalite standartlarını arttırma amacıyla akıllı paketlenme sistemleri kullanılmaktadır. Ayrıca biyosensör yardımıyla malzemenin kalite takibi yapılmaktadır.

Buradaki nanosensörler: gıdanın tüketiciye varıncaya kadar olan sürece ait tüm olumsuz etkenleri tespit etmeye olanak sağlar. Bu amaçla ucuz ve çevreci özelliğe sahip karbon nanotüp yapıdan oluşan biyosensörler ile besindeki bozulma takip edilebilir. Akıllı paketlenme sistemleriyle besini uzun süre koruyarak uzun raf ömrü sağlanır. Yapılan ambalajlama ile gıdayı dış etkilerden korumakla birlikte iç ortamda kontrol edilebilir. Akıllı ambalajlamada kullanılan çeşitli belirteçler (tazelik, raf ömrü, sıcaklık), ve sensörler (gaz sensörleri, biyosensörler) ile tüketiciye gıda hakkında gerçek bilginin ulaşması sağlanır (Saka ve Gülel, 2015).

1.1.1.5. Tekstil alanında nanoteknoloji çalışmaları

Tekstil alanındaki nanoteknoloji çalışmalarının asıl amacı uygulama alanı olan kumaş türlerine istenilen özelliklerin kazandırılmasıdır. Bunları kumaşa yerleştirilen nano malzemelerle sağlamak mümkündür. Bu çalışmalar sonucu; antibakteriyel, hidrofobik ve kir tutmayan yüzeyler elde edilebilir. Nanopartiküller bu noktada liflere yerleştirilerek istenilen özelliklerin kazanılmasına yardımcı olarak kumaş üzerindeki koku, antifungal kontrolünü sağlar. AgNP liflere yerleştirilerek antibakteriyel özellik kazandırılabilir. Kumaşa üretim esnasında yapılan müdahalelerle, buruşmazlık ve çekmezlik gibi birçok özellik kazandırılabilir (Özdoğan ve ark., 2006a).

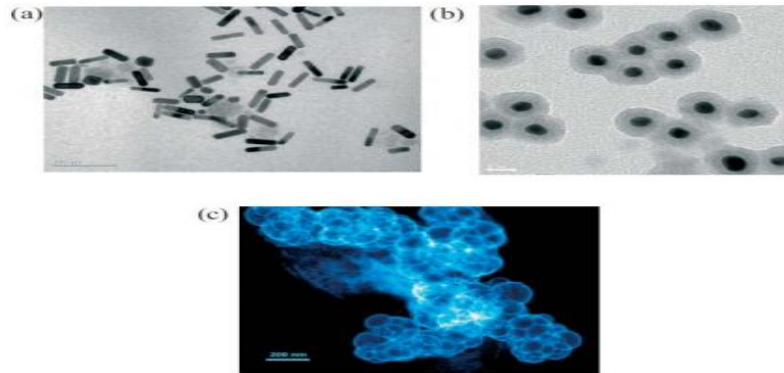
Nanoteknolojide kumaşa kir tutmama ya da su tutmama özelliği lotus çiçeğinin doğadaki yapısından örnek alınarak geliştirilmiştir (Şekil 1.2). Bu tip yüzeyler lotus etkili olarak isimlendirilir. Kiri ve suyu uzaklaştırma özelliğine sahiptir. Örneğin lotus yüzeye sahip nanoliflerin farklı kombinasyonları ile vücuttan ter hızlı bir şekilde atılarak uzaklaştırılabilir (Özdoğan ve ark., 2006b).



Şekil 1.2. Lotus çiçeğinin kiri uzaklaştırması elektron mikroskobu görüntüsü (Özdoğan ve ark., 2006b)

1.2. Nanopartikül

1-100 nm aralığında boyutlara sahip olan yapılara nanopartikül denilir. Nano boyutlu malzemeler içerisinde önemli yere sahip bu yapılar nanoteknolojik gelişmelere de öncülük eder. Nanopartiküllerin boyutları çok küçük, yüzey alanları geniş olmasından dolayı malzemede istenilen değişimler daha kolay sağlanır. Malzemede yüksek iletkenlik, yüksek mukavemet gibi üstün özellikler atom hareketiyle kolaylıkla gerçekleştirilir. Nanopartiküllerin tercih edilmesindeki en büyük sebep, yapı üzerinde kolaylıkla yüzey üzerinde oynanabilmesidir. Kimyasal ajanlar olan yüzey aktif maddeler sayesinde yüzey özellikleri değiştirilebilir. Yüzey aktif maddelerin eklenmesi toplanma sorununu ortadan kaldırır. Bunun haricinde farklı kompozisyonlarda istenilen değişimleri nanopartiküller ile sağlamak mümkündür (Ateş ve Bahceci, 2015).

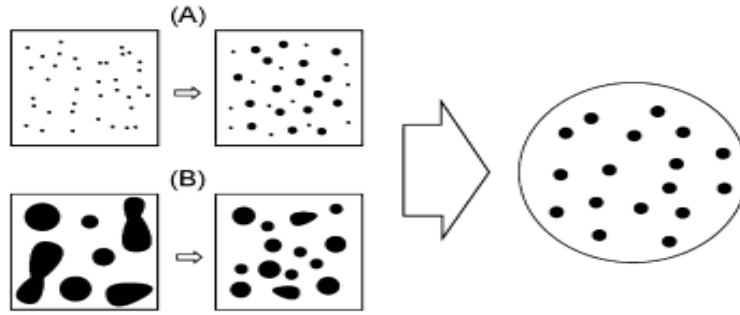


Şekil 1.3. Nanopartiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri; (a) altın nano çubuklar, (b) altın nanopartiküller, c) platin nanopartiküller (Gürmen ve ark., 2008)

Nanopartiküller; kuantum boyut etkilerinin yanı sıra yüksek yüzey alanına sahip olması, yapı özelliklerinin kolay değiştirilebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Bu özellikleri süperiletkenler, ilaç salınımı ve özel teşhis aletleri gibi birçok teknolojik ve farmakolojik ürünlerin geliştirilmesinin önünü açmıştır. Nanoyapılı malzemelerin ve cihazların geliştirilebilmesi amacıyla birinci adım olarak nanopartikül sentezinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla sentezlenecek olan nanopartiküller geniş skalada sentez aralığına sahiptir. Polimer ve seramik bazlı farklı morfolojilere sahip nanopartiküllerin üretimi son dönemlerde çalışılmaktadır (Köroğlu, 2013). Altın ve platin nanopartiküller için elektron mikroskobu görüntüleri alınmaya başlanmıştır (Şekil 1.3).

1.2.1. Nanopartiküllerin üretim metotları

Nanopartiküllerin üretilmesi iki yaklaşıma dayanmaktadır (Şekil 1.4). Birinci yaklaşımda bütün haldeki malzeme küçük parçalara ayrılır. Diğer yaklaşımda malzemenin atom ve moleküllerinin birleşmesi ile oluşturulması esastır. Birinci yaklaşım yukarıdan aşağıya (top-down) yaklaşımı olarak adlandırılır. Malzeme mekanik ve kimyasal işlemlerle küçük parçalara dönüştürülür. İkinci yaklaşıma göre daha büyük cihazlar gerektirir. Yukarıdan aşağıya yaklaşımında malzemeyi parçalara ayırabilen kimyasal veya fiziksel güç uygulanması gerekir. Yukarıdan aşağıya yaklaşımı ile çalışan yöntemler mekanik öğütme ve aşındırma yöntemleridir. Aşağıdan yukarıya yaklaşımında birinci yaklaşıma göre tam tersi işlemler uygulanmaktadır. Bu yaklaşımda atomik veya moleküler boyuttaki parça kimyasal reaksiyonlar yardımıyla birleştirilerek büyütülür. Kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel yöntemleri bu yaklaşıma aittir.



Şekil 1.4. Nanopartikül sentezindeki yaklaşımlara ait örnekler ; a) Aşağıdan yukarıya yaklaşım, b)Yukarıdan aşağıya yaklaşım (Wang ve Xia, 2004)

Metal nanopartiküllerin sentezinde fiziksel ve kimyasal metotlar kullanılmaktadır. Hidrotermal metot, ultraviyole ışınlama tekniği, aerosol teknolojileri ve kimyasal buhar biriktirme bu yöntemlerden birkaçıdır. Kimyasal yöntemler maliyetli, toksik içerikli olması açısından tercih edilmemektedir (Akçay ve Avcı, 2018)

1.3. Gümüş nanopartikül (AgNP) ve Sentez Yöntemleri

Gümüş, yüzyıllardır çeşitli rahatsızlıklarda alternatif tedavi yöntemleri arasında tercih edilmektedir. Deride oluşan yara ve yanıkların tedavisinde kullanılmaya başlanarak günümüzde son teknoloji tedavi yöntemlerinde uygulamaya hala devam edilmektedir.

Gümüşün antibakteriyel olarak tercih edilmesinde; geniş skalaya sahip antibiyotik olması ve gümüşe karşı bakterilerin zayıf, dirençsiz kalması büyük etkiye sahiptir. Ortaya çıkan antibakteriyel etkinin tiyol gruplarıyla oluşturduğu reaksiyonlar sonucu bakterileri etkisiz hale getirerek sağladığı düşünülmektedir. AgNP mikrobiyal etki gösteren DNA'lara bağlanarak bakteri replikasyonunu engeller ve bakterinin metabolik enzimlerindeki tiyol gruplarıyla reaksiyona girip onları etkisiz hale getirir.

Bu nedenlerden dolayı AgNP; yanık tedavisi gibi çeşitli tıbbi tedavilerde, su arıtma sistemlerinde ve medikal cihazlarda yaygın olarak kullanılır (Keskin, 2011).

Gümüş iyonları, bakteri ve mikroplara karşı antimikrobiyal özellik gösteren en geniş aralığa sahip maddelerden biridir. Bakteri ve virüslere etkili olmasına rağmen insan vücuduna zararlı etkileri bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı gümüş iyonları insanlara uygulaması yapılacak yapay organ vb. ürünlerde yüzey kaplamada tercih edilir.

Gümüş bakteri ve mikropların oksijen metabolizmasını etkisiz hale getirerek yok eder. Yok edilen bu organizmalar lenfatik, boşaltım ve bağışıklık sistemi tarafından vücuttan gönderilir. Antibiyotik ilaçlar bunlar ile birlikte yararlı enzimleri de etkisiz hale getirebilir.

Çok hücrelilerin enzimleri ilkel tek hücrelilerin enzimlerinden farklılık gösterdiği için kolloidal gümüş bu yararlı enzimlere zarar vermez. Bu sebepten gümüş çok hücreli canlılarda kullanılabilir (Yer, 2012).

Nanopartiküller kimyasal ve fiziksel yollarla sentezlenir. Bunla arasından kimyasal indirgeme, gama ışını radyasyonu, mikro emülsiyon, elektrokimyasal yöntem, otoklav, mikrodalga ve fotokimyasal indirgeme tercih edilen yöntemlerdendir. AgNP ise daha çok kimyasal metotlarla sentezlenir. Gümüş nitratin hidrat ile indirgeyici olarak kullanılmasıyla sentezlenir. Reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, pH gibi unsurlar nanopartiküllerin boyutunu etkileyen faktörlerdendir. Farklı boyutlardaki nanopartiküller; kataliz, optik, mikro elektronik sektörlerinde farklı işlevlerde kullanılmaktadır (Zargarova, 2013).

Bitki ekstraktları ile AgNP sentezi son dönemlerde popüler çalışmalardandır. Nanopartiküllerin sentezlenmesinde çevre dostu, az maliyetli, güvenilir olmasından dolayı yeşil sentez yöntemi tercih edilmektedir. Yeşil sentez metodu ile elde edilen nanopartiküller biyomedikal çalışmalarda toksik etki bırakmadığından dolayı kullanılmaktadır. Kolay ulaşılabilirlik de bitki ekstraktlarından nanopartikül sentezini cazip kılmaktadır (Doğanyigit ve ark., 2019).

Yeşil sentezde indirgeyici ajan olarak bitki ekstraktlarının yanı sıra mantar, alg gibi mikroorganizmalar da kullanılır. Nanopartiküllerin üretiminin daha çok yapılması istendiğinde ise kök, tohum, meyve suyu vb. kullanılmaktadır.

Polifenol ve proteinler kaynaklarından dolayı üzüm posası, çay ve şarap vb. nanopartikül eldesinde kullanılan biyoekstrelerdir. Yeşil kimyanın amacı, kimyasal kullanımını en aza indirgeyerek çevreyi koruma amacı taşır (Sekmen, 2019).

Yeşil kimyanın amacı;

- Atıkları engelleme
- Kimyasal sentezleri azaltma
- Kullanılan kimyasalların güvenilirliğini arttırma

- Enerjide verimlilik sağlama
- Yenilenebilir hammaddeler kullanma
- Tek adımda reaksiyonlar ile yan ürün oluşumunu azaltmadır

Bu amaçlar hali hazırda kullanılan kimyasal prosesleri daha güvenli, verimli ve çevreci proseslere dönüştürme ilkesini taşır (Söğüt ve Çelebi, 2020).

1.4. Nanolif ve Üretim Metodları

Nanolif en fazla bir mikron çapa sahip, polimer ya da seramikler kullanılarak mikrometre altı boyutlarda üretilen liflere verilen isimdir. Çap aralığı mikrometre ile nanometre arasında değişmektedir. Bir boyutlu nano yapılar arasında nanoliflerin sahip olduğu büyük uzunluk/çap oranı onların kütle başına büyük bir yüzey alanına sahip olmalarını sağlar. Nanolifler diğer bir boyutlu yapılara göre daha kolay bir şekilde üretilibildikleri için diğer yapılara göre çeşitli uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılabilir. Çekme kalıp, faz ayrılması, kendi kendine oluşum ve elektroegirme gibi yöntemler kullanılarak polimer, metal, seramik tabanlı lifler üretilmektedir. Elektroegirme yardımıyla iki ve üç boyutlu nanolifler üretmek mümkündür. Üç boyutlu yapılar, yüksek yüzey alanına sahip olmasından dolayı farklı uygulamalar için tercih edilir. Biyobozunur malzemelerle meydana getirildiğinde; iskelet ve doku mühendisliğinde ayrıca yüksek enerji depolama özelliğinden dolayı; güneş ve yakıt pillerinde kullanılır. Elektroegirme metodu ile istenilen yapıda, uzunlukta ve sırada nanolifler üretmek mümkündür (Yalçın, 2020).

Nanolif üretiminde en çok tercih edilen üretim yöntemi elektrospin olmasına karşın; çizme yöntemi, Kimyasal buhar çöktürme (CVD), lazer buharlaştırma gibi yöntemler de kullanılmaktadır.

Nanolif üretiminde kullanılan yöntemlerden bazıları;

a) Çizme yöntemi

Çizme yönteminde mikrometre büyüklüğe sahip pipetin polimer çözeltisi içerisinden damla çekip, pipetin damladan hızla çekilmesiyle fiberin yüzey üzerinde toplanması sonucu üretim gerçekleştirilir (Ramakrishna, 2005)

b) Faz ayırma yöntemi

Nanolif üretimi için, polimerin çözülerek jelleşmesi sağlanır. Jelleşme sonrası numune filtrelenerek önce dondurulur ardından soğuk kurutma işlemi ile $-550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 1 hafta bekletilerek gözenekli yapıda nanolif üretilir (Ramakrishna, 2005).

c) Elektrospin yöntemi

Elektrospin metodu nanolif üretiminde uygulanabilirlik ve az maliyetli olmasından dolayı tercih edilir. 10 nanometre boyutlarına kadar ince çaplarda nanolifler üretilir. Polimer en çok tercih edilen kaynak olmasına karşın, seramik ve kompozitlerde tercih edilir. Üretilen nanolifler boşluklu yüzeye sahiptir. Aynı zamanda yüksek yüzey alanına sahip olması fiberleri cazip kılar. İstenilen değişimler kimyasal ve fiziksel yollardan gerçekleştirilerek farklı fiberler çeşitli kullanım alanları içi elde edilir. Nanoliflerin bu yöntemle üretildiğinde uygulama alanı genişir (Çelebioğlu ve ark., 2010).

d) Kimyasal buhar biriktirme yöntemi

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD), daha çok karbon nanotüp üretiminde tercih edilir. Karbon kaynağı olarak metan ve asetilen ile ısıtma bobinleri kullanılır. Enerji kaynağı karbon atomuna çarpması sonucu karbon, nikel veya demir içerikli altlığa yayılır. Gerekli üretim koşullarının sağlanmasıyla karbon nanotüp üretimi gerçekleştirilir. CVD yöntemi ile nanotüp üretiminde ilk olarak, geçiş elementi altlığa gönderilir Amonyak ile dağlama işlemi yapılarak katalizör çekirdeklenmesi sağlanır. Dağlama sonucu altlıkta nanotüp oluşumu gerçekleşir. $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklara kadar üretim yapabilmek mümkündür (Süslü, 2009).

1.4.1. Elektrospin yöntemi ile nanolif üretimi

Elektrospin metodu ile nanolif üretimi, polimer içerikli viskoz sıvıya düşük voltajda elektrik sağlanması ile ilerler. Belirlenen akış hızıyla enjektör ucuna viskoz çözelti beslenir. Enjektör ucuna ulaşan çözeltiye elektrik alan yaratılmasıyla yüzey gerilimlerinin de etkisiyle yuvarlak halde bulunan damlacık önce konikleşip ardından uzayarak nanolifler halinde toplayıcı ulaşmaya başlar.

Yöntemin ana prensibini, elektriksel kuvvetler yardımıyla viskoelastik ve yüzey gerilim kuvvetlerinin aşılarak, uzun ve ince yapıda nanoliflerin eldesi oluşturmaktadır. Elde edilen nanolifler nanometre boyutlarında çapa sahip ağ halinde yapılardır. Üretim yönteminin işleyişi ilk olarak polimerin uygun bir çözücü yardımıyla belirli sürede çözülmesi ile başlar. Ardından belirlenen sayıda enjektör içerisine çözelti eklenerek istenilen akış hızıyla pompalama sağlanır. Enjektör ucundaki damlacığa uygulanan elektriksel kuvvetler damlacığın konikleşerek uzayıp toplayıcıya ulaşmasını sağlar. Yüzey gerilim kuvvetinin aşılması için voltaj değeri arttırılarak jet oluşumu için kritik değer belirlenir. Bu kritik değerin aşılması nanolif oluşumu için önemli bir etkidir. Ayrıca çözeltinin bulunduğu iğne ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe arttırılarak çözücülerin bu mesafe arasında uçarak uzaklaşması hedeflenir (Çelebioğlu ve ark., 2010).

Çizelge 1.3. Elektrospın metodunda kullanılan polimerler ve uygun çözücüler (Zahedi ve ark., 2010)

Polimer	Çözücü Kimyasal
Polistiren (PS)	Dimetilformamid ve dietilformamid
Polikaprolakton (PCL)	Diklorometan ve dimetilformamid
Polimetilmetakrilat (PMMA)	Toluen ve dimetilformamid
Polietilen glikol (PEG)	Su ve Kloroform
Selüloz asetat	Aseton
Polivinil klorür (PVC)	DMF ve Tetrahidrofur
Poliüretan	İzopropil alkol ve DMF
Poliakrilonitril (PAN)	DMF
Kitosan	Trifloroasetik asit

Elektrospın ile nanolif üretiminde oluşan nano yapıların morfolojisi 3 ana etkene bağlıdır. Bunlar;

- ✓ Polimer özellikleri ve çözeltiye ait özellikler (viskozite, yüzey gerilimi, iletkenlik)
- ✓ Üretim parametreleri (uygulanan voltaj, iğne ucu-toplayıcı arası mesafe, iğne çapı, debi)
- ✓ Ortam parametreleri (ortam sıcaklığı ve nemi) gibidir.

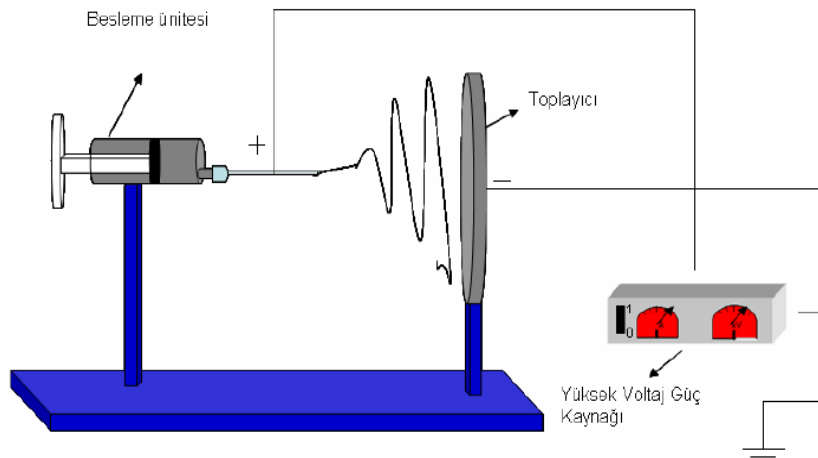
Çözelti ve polimere ait özellikler, ortam ve üretime dair parametrelerden bazıları doğrudan nanolif yapısını etkilerken bazı parametreler dolaylı yoldan etkilemektedir. Voltaj ve viskozite değeri birincil etkiye sahip parametrelerdendir (İçoğlu, 2019).

1.4.1.1. Elektrospin ile nanolif üretim düzeneği

Elektrospin yöntemine ait düzenek; polimerden hazırlanan çözeltinin elektriksel olarak yüklenerek, topraklama hattına bağlı toplayıcı üzerine belirlenen parametreler dahilinde gönderilerek nano boyutta liflerin oluşmasını sağlar (Çiftçi ve ark., 2015).

Elektrospin işleminin etkisiyle polimer çözelti elektrik alandan etkilenecek fiberleri oluşturur. Elektrospin işlemi 3 adımda gerçekleşir. Bunlar sırasıyla;

- Elektrik alan sayesinde oluşan jetlerin uzaması,
- Uzun haldeki jetlerin elektrik etkisiyle ayrılmaya başlaması,
- Jetlerin katılarak fiberleri oluşturmasıdır (Yalçın, 2020).



Şekil 1.5. Elektrospin metoduyla nanolif üretim düzeneği (Çiftçi ve ark., 2015)

Üretim düzeneği üç temel parçadan oluşmaktadır. Bunlar;

- Besleme ünitesi
- Toplayıcı
- Yüksek voltaj sağlayıcı güç kaynağıdır.

Düzenekte bulunan besleme pompasına polimerin uygun çözücü ile çözülmesinden sonra elde edilen çözelti enjektör yardımıyla yerleştirilir.

Belirlenen akış hızında toplayıcıya doğru püskürtme işlemi başlar. Voltaj değeri arttırılarak viskoz sıvının damlacık halinden kurtulması sağlanır. Voltaj arttırılıp kritik değere ulaşırken küresel yapı ‘Taylor konisi’ adı verilen koni halini alır. Voltaj değeri biraz daha arttırılarak kritik seviye aşılar, koninin yüzey gerilimini aşarak uzamasıyla toplayıcıya lif halinde gönderilir (Arıcı, 2018).

Elektrospin işleminin polimer çözeltisinin düzeneğe verilmesiyle başlayıp, nanolif oluşumuna kadar geçen süreçler;

- a) Damlacık oluşumu,
- b) Taylor konisi oluşumu,
- c) Jet oluşumu,
- d) Jetin uzaması,
- e) Lif formunda katılaşmadır.

Nanolif üretiminde; lif çaplarının kontrol edilebilir olması, yüzey hatasının kontrol edilebilir olması, monofilament tabaka halinde lif oluşumu önemli faktörlerdendir (Üstün, 2011).

Elektriksel yüke maruz kalan jetlerin yarıçapları, enjektör ucundan uzaklaştıkça verilen voltaj sonucu azalmaya başlar. Uzun ve ince yapıya sahip jetlerin üzerindeki aşırı yük zamanla azalmaya başlar. Jetler uzayarak ve eğilip bükülerek toplayıcıya ulaşır. Buradaki yük dağılımı düzensiz olursa kararsızlık meydana gelir. Nanoliflerin oluşmasında uzun liflerin oluşmasından çok eğilip bükülmenin düzgün dağılması ideal oluşumu sağlar. Düzensiz halde bükülmelerin oluşması liflerde fiber çapının azalıp, boyun uzamasına sebep olur. Bükülmeler, yük dağılımına bağlı olan kararsızlık ile meydana gelir ve üç farklı formdadır. Birinci kararsızlık, yüzey gerilimi ve elektrik alanına bağlı klasik Rayleigh kararsızlığıdır. Diğer kararsızlık Rayleigh gibi simetrik eksenli kararsızlığa bağlıdır. Üçüncü kararsızlık eğilmenin yüksek voltaj değerine bağlı artması sonucu oluşan Whipping kararsızlığıdır (Yalçın, 2020).

1.4.1.2. Nanolif üretimini etkileyen parametreler

Elektrospin metoduyla nanolif üretiminde düzenek ve kullanılan polimer özellikleri, ortam ile alakalı birçok parametre nanolife farklı morfolojide özellikler kazandırmaktadır. Çizelge 1.4’de üretimde etkili parametreler kendi içerisinde gruplandırılmıştır.

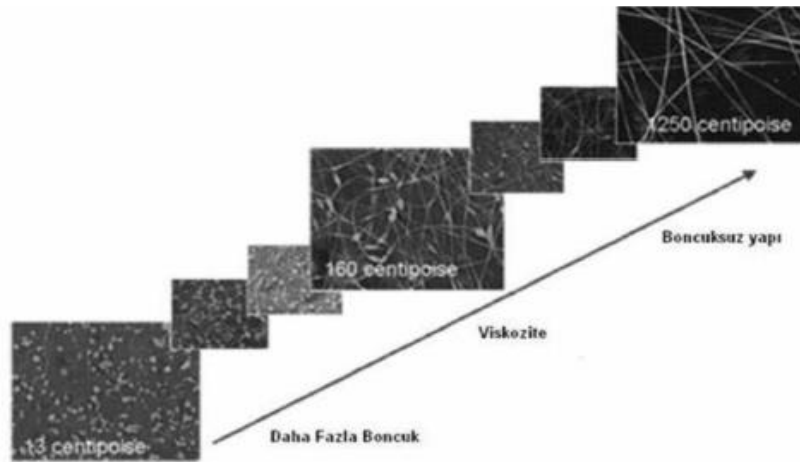
Çizelge 1.4. Elektrospin ile nanolif üretimine etki eden faktörler

Çözelti Parametreleri	İşlem parametreleri	Ortam parametreleri
Moleküler ağırlık ve viskozite	Uygulanan voltaj	Nem
Yüzey gerilim kuvveti	Akış hızı	Basınç
Çözelti iletkenliği ve pH	Şırınga uç ve toplayıcı mesafesi	Atmosfer cinsi
Çözücünün uçuculuğu	İğne çapı	Sıcaklık

1.4.2.1. Çözelti parametreleri

Nanolif üretiminde tercih edilen polimer çözeltisi nanolifin içerik ve morfolojisini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Yüzey gerilim kuvvetlerinin aşılamaması yapıda boncuklu oluşumlara neden olur. Çözeltinin viskozitesi jet oluşumu için önemli bir faktördür (Ramakrishna, 2005).

Molekül ağırlığının artması ve viskozitenin düşmesi boncuk yapının oluşmasında rol oynar. Yüksek viskozitede yüzey gerilimi kuvvetlerinin aşılması ile uzun ve ince lif elde edilir.



Şekil 1.6. Viskozite değişimi ile boncuk oluşumu arasındaki ilişki (Karahan, 2017)

Çözeltinin konsantrasyon değişimi viskoziteyi de etkiler. İşlem boyunca etkili olan yüzey gerilim kuvveti çözeltinin ana bileşeni olan polimer ve çözücüye bağlı olarak değişim gösterir. Çözelti parametrelerinden iletkenlik ve yük yoğunluğu jet şeklini etkiler. Çözeltiye sodyum klorür eklenmesi yük yoğunluğunu artırır. Buna bağlı olarak jet şeklinin çabuk değişmesi yük yoğunluğunun yüzeye yakın olmasından kaynaklıdır. Düşük viskozite boncuk oluşumuna neden olurken, viskozitenin artması boncuklar arasındaki mesafeyi arttırarak boncukların uzayıp jet haline dönüşmesini sağlar. Yük yoğunluğunun artış göstermesi aynı şekilde boncuklu yapının ağ haline dönüşerek fiber oluşumuna etkisi vardır. Boncuk oluşumunu engellenmek için yüzey geriliminin düşük olması gerekir. Yüzey gerilimini azaltmak amacıyla çözeltiye etanol ilave edilebilir. Etanol sayesinde yüksek viskozite ile boncuk oluşumu gözlenmezken, çap atışı meydana gelebilir. Net yük yoğunluğunun artması ile daha düzgün ve ince çaplı fiber oluşumu gözlenir (Kozanoğlu, 2006).

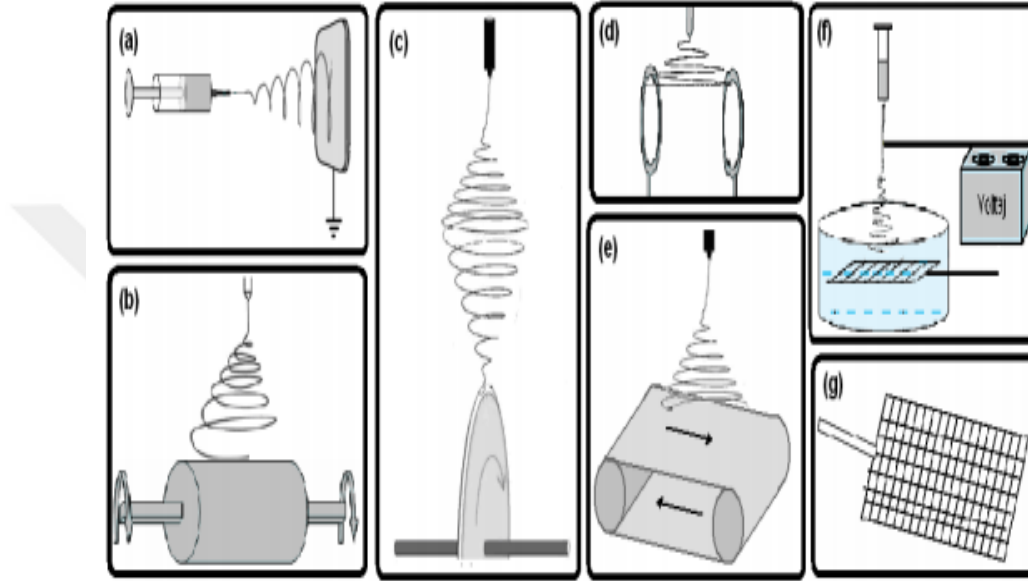
Çözeltinin özelliklerine bağlı fiber çapını etkileyen diğer bir parametre elektrik akımını taşımasına bağlı olarak değer veren elektrik iletkenliğidir. Elektrik iletkenliği, elektriksel kuvvetlere bağlı olarak çalışan elektrospin işleminde cihaz hareketini sağlayarak lif çapı üzerine etki eder. Elektrik iletkenliğine bağlı olarak farklı çalışmalarda ince veya büyük çaplı fiberler gözlemlenmiştir. Çözeltinin dielektrik sabitinin düşük olması avantajlıdır. Bu sayede istenmeyen yapı olan boncuk oluşumu azalırken fiberi çapında da küçülme görülür (Dinç, 2013)

1.4.2.2. İşlem parametreleri

Elektrospin işleminde polimer esaslı çözeltiye düşük voltaj uygulanarak nanolif oluşumu gerçekleştirilir. Elektrospin işleminde yüzey gerilim kuvvetlerinin aşılması elektromanyetik kuvvetler sayesinde olur. Başlangıçta iğne ucunda küresel halde bulunan çözeltiye uygulanan voltaj arttırılarak ağ yapının oluşması sağlanır. Voltajın kritik seviyesinin üzerine çıkarak arttırılması coulomb kuvvetlerinin etkisiyle elektromanyetik alanın artmasına, liflerin gergin hale gelmesine neden olur. Bu da fazla gerilen liflerin çaplarının incelmeye, çözeltinin çabuk uçarak lif yüzeyinin kuru olmasına sebep olur. Yüksek voltaj ve viskozite düşüklüğü ikincil jet oluşumu sonucu lif çapının azalmasına neden olur (Beypazar, 2013).

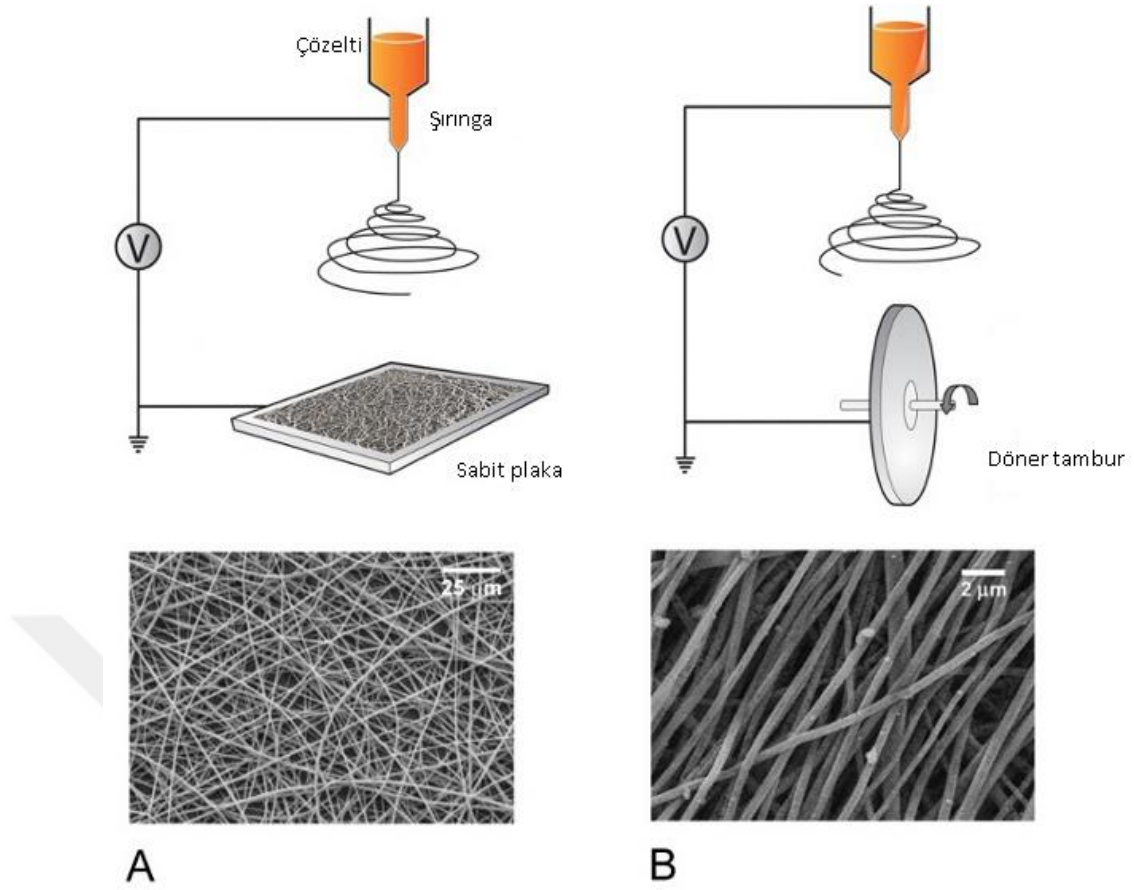
Farklı formlarda bulunan toplayıcılarda kaplama malzemesi olarak çoğunlukla alüminyum folyo tercih edilir. Toplayıcılar döner tambur veya disk, sabit plaka şeklinde

olabilir (Şekil 1.7). İğne ucu ile toplayıcı arasındaki uzaklık çözeltilerdeki çözücülerin buharlaşması açısından öneme sahiptir. İğne ucu ile toplayıcı arasındaki mesafenin az olması yeterli buharlaşmanın olmamasına neden olur. Buharlaşma yeterli olmadığına ise boncuklu yapı oluşurken ve lif çapında azalma meydana gelir. İğne ucunun dar olması çıkan çözeltiyi azaltacağı için çapın azalmasını sağlar. Dar uca sahip şırıngada tıkanmalar meydana gelirse boncuklu yapı oluşur (Karahana, 2017).



Şekil 1.7. Elektrosin işleminde kullanılan toplayıcı çeşitleri; a. sabit plaka, b) dönen tambur, c) dönen disk; d) paralel bilezikler, e) taşıyıcı bant, f) sıvı banyo, g) metal ızgara (Üstündağ, 2009)

Toplayıcı olarak sabit plaka kullanıldığında liflerin düzensiz biçimde atıldığı gözlemlenir (Şekil 1.8). Bu durum nanoliflerin uygulama alanını kısıtlamaktadır. Nanoliflerin düzenli halde sıralanmasını sağlamak farklı uygulama alanlarında kullanmak açısından faydalı olur. Hareketli toplayıcılardan olan döner tambur veya döner disk tipinde toplayıcı kullanmak fiberlerin daha düzenli ve hizalı sıralanmasıyla çok çeşitli alanlarda nanoliflerin kullanılmasını sağlar (Üstündağ, 2009).



Şekil 1.8. Farklı çeşitlerdeki toplayıcılarda toplanan nanoliflerin görüntüsü; a) sabit plaka toplayıcıda toplanan nanoliflerin görüntüsü b) döner tambur toplayıcıda toplanan nanoliflerin görüntüsü (Li ve ark., 2010).

Çözeltinin besleme pompasındaki akış hızı nanoliflerin morfolojisini etkileyen önemli bir etkidir. İğne ucunda boncuk halinde bulunan çözeltinin küresel halden konikleşmesi kritik değer altında meydana gelir. Bu kritik değerden hemen önce oluşan Taylor konisi çözeltinin akış hızına bağlıdır.

Kritik değer aşıldığında ise nanoliflerin çapında artış gözlenir. İğne çapının az olması daha ince fiber oluşumunu sağlar. Çapın küçük olması sonucu yüzey gerilimi artar.

Yüzey gerilimini aşabilmek için itme kuvvetinin artmasıyla jetin ivmesi azalır. Bu durumda jette daha fazla gerilme meydana gelir. Gerilmenin fazla olması ince çaplı fiberlere neden olur. Buradaki sorun çapta küçülmenin tıkanmaya sebep olarak boncuklu yapı oluşturmasıdır (Büyükbekar, 2015).

1.4.2.3. Ortam parametreleri

Ortamdaki sıcaklığın artışı, buharlaşmayı arttırarak viskozitenin düşmesine neden olur. Jetin uzayarak lif çapının azalmasını sağlar. Nem miktarının artışıyla su miktarının yüzeyde yükselmesine bağlı olarak gözenekli yapıda fiberler elde edilir. Fiberler yüksek gözenekliliğe sahiptir. Nemin ortamda fazla olması çözücülerin buharlaşma hızını azaltırken, nem az olduğu ortamlarda çözücüler daha hızlı buharlaşabilir (Söylemez, 2016).

Elektrospın işleminde ortam havası fiber oluşumuna etki eder. Havayı oluşturan gazların miktarı fiberler üzerinde farklı etkiler bırakabilir. Ortam basıncının düşük olması düzgün jet oluşumunu engeller (Üstündağ, 2009).

1.4.2. Nanoliflerin uygulama alanları

Nanoliflerin üstün özelliklere sahip olması uygulama alanını gün geçtikçe genişletmektedir. En belirgin özellikleri;

- Yüzey alanının yüksek olması,
- Çapa göre yüksek uzunluk oranına sahip olması,
- Doğadan ilham alan taklit yeteneğidir.

Nanoliflerin tekstil alanındaki uygulamaları üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Kumaşı oluşturan ipliklerin nanolifler ile oluşturulması sonucu sıcaklığa, kimyasala, kire ve suya karşı akıllı kumaşlar üretilebilir. Sağlık alanında ise ipliklerin nanoliflerden oluşması sonucu yara örtüsünde, doku mühendisliği ve iskeleti uygulamalarında hücre taşınmasında kullanılabileceği bilinmektedir (Göktepe ve Mülayim, 2015).

Elektrospın ile üretilen nanoliflerin yüzey alanının yüksek olması, lif çaplarının düşük olması, boşluklu yapıya sahip olması birçok alanda tercih edilme sebebidir.

Filtre ve membran uygulamalarıyla birlikte biyobozunur polimerlerden elde edilerek sağlık alanında sargı bezlerinde kullanılması da yaygındır. Biyobozunur olarak polikaprolakton, polilaktik asit , kitin vb. esaslı olması tercih edilir (Can ve Ersoy, 2014).

Filtrasyon uygulamaları: Filtrelemenin verimli olması küçük gözeneklerden geçebilmesine bağlıdır. Nanoliflerin çaplarının küçük olması filtrasyon işlemlerinde kullanılmasını sağlar. Nanolifler elektrospın yöntemiyle farklı polimelerden az enerji ve maliyet ile istenen kompozisyonda üretilebilir.

Polimer çeşitliliği ise nanolife iletkenlik , geçirgenlik konularında farklılıklar sağlar. İletken polimer içeriğine sahip liflerden düşük akımla ortamdan partikül yakalanması sağlanabilir (Dinçer ve ark., 2018).

Yara örtüsü uygulamaları: Nanolifler yüksek yüzey alanı ve boşluklu yapıya sahiptir. Nanometre çapında olan nanolifler vücuttaki yapıları örnek olarak tedavi amaçlı kullanılabilirler. Nanoliflerin yüksek yüzey alanına sahip olması absorpsiyon işleminde başarılı olmasını sağlar. Memelilerde bulunan doku yapısının örnek alınmasıyla tasarlanan nanoliften oluşan yara örtüleri biyobozunur polimerlerden biyouyumlu özellikte üretilerek tedavi amaçlı kullanılmaktadır (Tort ve Acartürk, 2015).

Doku iskelelerinde uygulamaları: Elektrospın işlemiyle üç boyutlu nanoliflerden oluşan doku iskeleri üretilmektedir. Üç boyutlu olmasıyla birlikte yüksek yüzey alana sahip olması, boşluklu yapı elde edilebilmesi farklı biyobozunur polimer kullanılarak çeşitli uygulamalar yapılabilmesini sağlar. Vücutta yer alan kas dokuda gerekli olan özellik sinir dokuda istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Bu amaçla tedavi edilecek doku özelliklerine göre polimer çeşitliliği sayesinde istenilen özellikte kombinasyonlar yapılabilir (Can ve Ersoy, 2014).

Tekstilde nanolif uygulamaları: Savunma alanında koruma sağlayan giysiler nanoliflerin uygulama alanlarından biridir. Giysilerin kimyasal ve biyolojik silahlar haricinde ısı değişimlerinden, nem ve sudan koruması gerekir. Yeterli korumayı sağlamadığında hayati tehlikeye neden olur. Saldırılarından uzun süre koruması bekleneneği için yormaması açısından hafif yapıda olması istenir. Geleneksel yöntemlerle hazırlanmış kumaşla bu mümkün değildir. Nanoliflerden elde edilen savunma amaçlı giysiler hafif yapıda olması, kimyasal saldırıları nötralize edebilmesi, ısıya dayanıklı üretilmesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilir (Celep ve Koç, 2007).

Elektronik ve optik alanında uygulamaları: Nanoliflerin elektriği iletebilme kabiliyeti, küçük boyutlu cihaz ve aletlerin üretilmesini sağlar. Nanoliflerin yüksek yüzey alanına sahip olması, elektrotların kimyasal reaksiyonlarını hızlandırdığı için pil üretiminde tercih edilir. Bununla birlikte boşluklu yapıya sahip olması iletme gücünü artırır. Uçak kanatlarında, uzay araçlarında kaplamalarda hafiflik ve yüksek iletkenlik gibi özelliklerinden dolayı kullanımı uygundur (Üstündağ, 2009).

1.5. Gümüş Nanopartikül ve Nanoliflerin Karakterizasyon Metodları

AgNP ve nanoliflerin karakterizasyon işlemleri için; ultraviyole ve görünür bölge spektroskopisi (UV-Vis), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDX), geçirimli elektron mikroskobu (TEM), fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) cihazları ile analizler yapılmaktadır.

1.5.1. Ultraviyole ve görünür bölge spektroskopisi (UV-Vis)

Fotometri işleminde çözeltiden geçen ışığın tutulmasına göre ölçüm gerçekleştirilirken, kullanılan cihazlara da fotometre adı verilir. Fotometrik ölçümde, renksiz çözeltilere ait konsantrasyonlar ölçülebilir. Analiz edilen örnek üzerine ışık demetinin bir kısmını filtreler kullanarak gönderen ekipman fotometre olarak adlandırılırken, seçiciliği sağlayanlara spektrofotometre denir.

Maddenin ışığı absorplamasını gözlemlemek için kullanılan cihaza absorpsiyon spektrometresi denir. Spektrofotometre, ışık kaynağı, dalga boyu seçicisi (monokromatör) ve dedektörden oluşmaktadır. Numune, istenilen dalga boyu bölgesinde ışığı geçiren maddeden yapılmış numune kaplarına (küvet) konularak ışık geçecek bölgeye konulur. UV-görünür bölgede tungsten, civa buhar lambası gibi sürekli ışık kaynakları kullanılarak ölçüm gerçekleştirilir (Altinişik, 2004).

1.5.2. X ışını difraksiyonu (XRD)

Kristale dair bilgi edinilmesinde XRD yöntemi kolaylığı ve sonuçlarının güvenilirliği açısından tercih edilir. Bu yöntem sayesinde kristaldeki atomların dizilimi hakkında bilgi alınabilir. XRD yöntemi, atom düzlemleri arasındaki mesafeyi belirler. X-ışınının içinden geçtiği madde elektronları arasındaki etkileşim sonucunda saçılma oluşturur.

Eğer X-ışınları bir kristaldeki düzenli ortam tarafından saçılırsa, saçılmayı yapan merkezler arasındaki uzaklık X ışınının dalga boyu ile aynı mertebeden olduğu için saçılan ışınlar olumlu ya da olumsuz girişim yaparlar. Bu durumda kırınım oluşur. XRD tekniğinde, dalga boyu sabit X ışınları kullanılır. X ışınları kaynağı olarak X-ışını tüpleri tercih edilir. Sabit dalga boyuna sahip X ışınları, kaynağın ısıtılması sonucu elektronların bir düzlem içerisinde hızlandırılması sonucu oluşur. Hızlandırılmasıyla enerjisi yükselen elektronun yörüngeden elektron koparması sonucu boş kalan yörüngeye giden elektronun verdiği enerji farkı ile ölçüm gerçekleştirilir (Saribuğa, 2014).

X-ışını kırınımını (XRD) tekniği ile, malzemenin kristal yapısı, element dağılımı öğrenilebilir. Malzemeye ait element dağılımı, enerji dağıtıcı X-ışını (EDX) spektroskopisi ya da X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılarak belirlenir. XPS, materyaldeki elementlerin oksidasyon miktarını belirler (Dağlıoğlu, 2018).

1.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskop; optik kolon, numune bölmesi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç bölümden meydana gelir. Optik kolon kısmında, elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları örneğe doğru göndermek için kullanılan anot plaka ve ince elektron demeti eldesi için yoğunlaştırıcı mercekler ile yüzeyi tarama amaçlı bobinler kullanılır. Mercekler numune üzerine odaklama yapılmasını sağlar. Belirli bir vakum altında bulunan sistemde dedektör yardımıyla görüntüleme sağlanır. Gönderilen elektronlar yüzey ile farklı etkileşimlere girerek görüntü oluşturur.

Elektronların gönderilmesine bağlı olarak;

- ✓ Sekonder elektron metodu: yüzey topoğrafyası
- ✓ Geri saçılan elektron metodu: yüzey kimyasal bileşeni
- ✓ X ışınları görüntü metodu: kimyasal dağılım elde edilir (Akçayöz ve ark., 2010).

1.5.4. Transmisyon elektron mikroskobu

Elektronlar yüksek sıcaklık ve vakum altında gönderilerek, anot katot arasında gerilimle hızlandırılmasıyla elektron demetleri oluşturulur. Elektron demetleri mercekler yardımıyla belirlenir. Anot aralığından geçen elektron demetlerinin bazıları etkileşime girerek, bazıları direk geçerek ilerler. Ulaşabilen elektronlar, fotoğraf plakalarından renksiz görüntülenir. Koyu renk yoğun elektron bölgesini, açık renk az elektron bölgesini ifade eder (Karakoç ve ark., 2016).

1.5.5. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Atomların sürekli hareket halinde olması sonucu moleküldeki periyodik hareketleri değiştirerek titreşim hareketlerinin oluşmasına neden olur. Bu titreşimler, molekülde gerilme hareketlerini tetikler. Bu hareketler kızılötesi bölgedeki fotonlar ile gerçekleşir. Moleküllerin kızılötesi absorpsiyon bandlarında iki bölge öne çıkar. İnfrared bölgesinin $4000-1000\text{ cm}^{-1}$ arasında kalan kısmı fonksiyonel grup bölgesidir; $<1000\text{ cm}^{-1}$ bölgesi parmak izi bölgesidir. Kızılötesi bölgede molekülün yapısı hakkındaki bilgiyi parmak izi bölgesi verir. FTIR spektroskopisinde istenilen dalga boyu aralığında yapılan tarama ile dedektörün ölçümüne göre örneğe ait karakteristik pikler elde edilir (Altinişik, 2004).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Korkmaz, N., (2019) Afrika menekşesinin (Saintpaulia) yaprak özütü ile AgNP yeşil sentezi gerçekleştirmiştir. Bitki özütü ve 1 mM AgNO₃ çözeltisi beherde 1:4 oranlarında karıştırıldıktan sonra karışım 37 °C’de 5 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Süre sonunda nanopartiküller, santrifüjle çöktürülerek ayrılmıştır. AgNP oluşumunu gösteren reaksiyon, çözelti renginin sarıdan koyu kahverengiye dönüşmesi ile gözlenmiştir. Saintpaulia yaprak özütü varlığında AgNP UV-Vis absorpsiyon spektrumu, 432 nm’de optimum absorbansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. AgNP, 500k büyütmeyle alınan SEM görüntülerinden; 6 nm ile 37 nm arasında değişen farklı büyüklükte ve yuvarlak şeklinde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre AgNP 10 mM derişimde tüm bakterilere karşı bakteriyosidal etki gösterirken, *S. typhimurium* suşu hariç, diğer tüm bakterilere karşı 5 mM derişimde minimum inhibe edici etki gösterdiği görülmüştür (Korkmaz, 2019).

Aadil K., ve ark., (2018) AgNP sentezleyerek elektrospin metodunda kullanılan polimere katarak nanoliflerin antibakteriyel aktivitelerini incelemişlerdir. Çalışmada AgNP sentezlemede indirgeyici ajan olarak dikenli akasya ağacından ekstrakte edilen alkali lignin kullanılırken, polimer olarak polivinil alkol kullanılmıştır. PVA-lignin karışımını hazırlamak için PVA (ağırlıkça %10) ve lignin (ağırlıkça %1) 10 mL metanol: su (60:40) içinde 9: 1 oranında harmanlanarak ve 2 saat karıştırıldı. Karışım son aşamada ultrasonik homojenleştirici ile 10 dakika sonike edildi. İğne ile toplayıcı arasındaki mesafe 12 cm, 10 µL / dk’lık bir akış hızı belirlenerek döner tambur toplayıcıda alüminyum folyoda lifler toplandı. Lif çapı 100 ve 300 nm arası ölçülürken *Bacillus circulans* ile *Escherichia coli* bakterilerine karşı büyük ölçüde sonuç gösterdiği tespit edilmiştir (Aadil ve ark., 2018).

Nartop, P., (2019) lavanta çiçeği, çörek otu tohumu, karabiber tohumu, patlıcan kabuğu, çam yaprağı, karanfil çiçeği, biberiye yaprağı, kekik yaprağı, adaçayı yaprağı, defne yaprağı, havaciva kökü ve yeşil çay yaprağı gibi bitkisel tıbbi drogların sulu ekstrelerini indirgeyici ajan olarak kullanarak AgNP sentezi üzerine bir çalışma yapmıştır. 2.5 g bitki küçük parçalara ayrılarak, 50 ml distile su ile 80°C’de su banyosunda bir saat bekletilerek filtreden geçirilmiştir. 5 ml bitki ekstresi 1 mM 95 ml AgNO₃ çözeltisi ile karıştırılmıştır. 24 saat beklemeden sonra santrifüj ile partiküller ayrılmıştır. Sonuçlara göre karabiber, çam ve defnede daha iyi veriler alınmıştır (Nartop, 2019).

Çevik, H., (2016) polimer nanoliflerin üretimine dair yapmış olduğu çalışmasında; PCL aseton içerisinde, PVA deiyonize su içerisinde çözerek çözelti hazırlamıştır. polimerlerin yanı sıra yapıya kullanılan polimere göre AgNO_3 , albümin, polianilin, kitosan eklemiştir. %15'lik PCL/aseton çözeltisi laboratuvar koşullarında hazırlanmış, PCL tamamen çözülüp şeffaf bir çözelti görüntüsü elde edildikten sonra üç farklı miktarda kitosan toz halinde, elde edilen çözeltiye eklenmiştir. İki saat manyetik karıştırıcıyla karıştırıldıktan sonra elektro çekim işlemine tabi tutulmuştur. SEM sonuçlarında üretilen nanoliflerde kitosan partikülleri PCL nanolifler içerisine gömülü haldedir. Yani kitosan eklense bile lifte değişim meydana getirmemiştir. Bu halde iken nanolifte enzm aktivitelerinde farklılık oluşturmamaktadır (Çevik, 2016).

Augustine ve arkadaşlarının (2016) yılındaki çalışmasında biyosentez ile AgNP elde etmişlerdir. Bitki ekstraktı olarak damla yaklaşık 5 ml *P. nigrum* yaprak özütü ve 2 mM sulu AgNO_3 çözeltisi kullanarak AgNP sentezlemişlerdir. PCL polimeri aseton içerisinde çözülerek 15 cm iğne toplayıcı mesafesi ve 1 ml/dk akış hızı ile düzenek hazırlanmıştır. Ağırlıkça % 0.05, 0.25, 0.5 ve 1 biyosentezlenmiş AgNP 15 dakika süreyle ultrasonik aseton içinde uygun şekilde dağılmıştır. Ardından, bilinen bir miktar nihai çözelti ağırlıkça %15 PCL içerecek şekilde yukarıdaki çözeltiye ilave edilmiştir. AgNP konsantrasyonu olarak ağırlıkça% 0,05'ten % 1'e yükseltildikçe lif çapında artış gözlemlenmiştir. Çekme mukavemeti, kopmada uzama ve gerilme modülü PCL/Ag nanokompozit membranlar için %0.5 oranına kadar yüksek iken %1 oranında iken kırılkan yapı oluşmuştur. Üretilen malzeme hem *S. aureus* hem de *E. coli*'ye karşı, antibakteriyel aktivite göstermiştir (Augustine ve ark., 2016).

Elmalı ve ark., (2020) yara örtüsünü geliştirmek amacıyla tedavi edici özelliği bulunan çörek otu yağı ve yün yağı ekleyerek elektrospin metodu ile nanolif üretmişlerdir. Polimer olarak PLA, çözücü olarak DMF-DCM tercih edilmiştir. %8'lik polimer çözeltisi için (1:4) oranlarında DMF-DCM çözücüleri kullanılmıştır. Yağ takviyeleri yarı yarıya oranda karıştırılarak %99 polimer çözeltisine %1 yağ takviyesiyle nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir. Elektrospin metodu için sıcaklık, mesafe sabit kalırken voltaj değeri ve konsantrasyon, akış hızı parametreleri farklı değerlerde üretimler gerçekleştirilmiştir (Elmalı ve ark., 2020).

Diyabet hastaları için yara örtüsü geliştirmek adına yapılan bir çalışmada, PLA polimerinden biyouyumlu ve biyobozunur olması avantajlarından dolayı elektrosprin metoduyla nanolif üretilmiştir. %2 ve %4 polimer çözeltileri için çözücü olarak trifloroetanol kullanılmıştır. Elektrosprin yöntemiyle üretilmesi sonucu 190 nm ve 460 nm çapa sahip fiberler oluşmuştur. %2 konsantrasyona sahip polimer çözeltisinden üretilen nanolifler morfolojik açıdan daha ince çap ve gözeneklere sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir. Uygulama aşamasında PLA nanofiberlerin, 7 ve 14 gün aralığında etkin sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Nanoliflerin gözenekli yapısı kanın emilimi ve oksijen geçiriminin kolay olmasını sağlayarak yarayı iyileştirebilmektedir (Majd ve ark., 2017).

Poli(laktik asit-ko-glikolik asit) polimer ve AgNP içerikli nanoliflerin elektrosprin yöntemiyle üretilmesi, antimikrobiyal ve antikanser özelliklerinin araştırılması üzerine çalışma mevcuttur. Bu çalışmada %10 polimer çözeltisi için 5-10 nm aralığında büyüklüğe sahip AgNP kullanılmıştır. AgNP miktarı %0.1 ve %7 aralığında belirlenmiştir. Çözücü olarak DMF/THF kullanılmıştır. %1 AgNP içerikli nanolifin antikanser özellik gösterdiği tespit edildi. %7 AgNP içerikli nanolifin *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Bacillus cereus* suşlarında inhibe etki gösterirken, %1 AgNP içerikli nanolifin *Bacillus cereus* üzerinde etkili olduğu görüldü (Almajhdi ve ark., 2014).

Meng 2015 yılında yaptığı bir çalışmada, *Ficus altissima Blume* yaprağı ekstresi kullanarak AgNP sentezledi. Sentez işlemi için; bitki ekstraktına (1:1) oranında 0.1 M AgNO₃ eklenerek 7 saat inkübe edilmiştir. UV-Vis cihazıyla 428 nm dalga boyundaki absorbans seviyeleri gümüş varlığını doğrulamıştır. PVA polimeri ve AgNP katkılı nanolifleri 19,6 kV voltaj, 0.1 mm/dk, 10 cm mesafe parametrelerinde elektrosprin metoduyla üreterek katalitik aktivesini araştırmıştır. 0,078 g PVA/AgNP nanolif yardımıyla 20 mg / L metilen mavisi ve 10 mM KBH₄ çözeltisi için indirgeme işlemi ile 15 dakika içerisinde sonuçlanmıştır. UV-Vis cihazında 665 nm dalga boyunda metilen mavisinin indirgeme işlemi takip edilmiştir. Nanoliflerin üç tekrarda daha indirgemedede etkin olduğu bulunmuştur (Meng, 2015).

Elektrosprin metodu kullanılarak kompozit membran hazırlanan bir çalışmada PLA/zerdeçal içerikli fiberler üretilmiştir. %1, 3 ve 5 oranlarında zerdeçal miktarları ile ilaç salınımlı stent için antikoagülasyon özelliği araştırılmıştır. %9 PLA polimeri içeren çözelti (2:1) oranında kloroform-aseton çözücülerini ile oda sıcaklığında 5 saat karıştırılarak elde edildi. %1, 3 ve 5 oranlarında zerdeçal eklenerek karıştırıldı.

0.5 ml/h akış hızı, 16 kV voltaj ve 12 cm toplayıcı mesafesinde elektrospin işlemi gerçekleştirilmiştir. SEM görüntüleri sonucunda 756-951 nm çapa sahip fiberler üretilmiştir. PLA ve zerdeçal içeriğine sahip stentlerin in vitro antikoagülasyon davranışı statik trombosit yapışma testi ile kontrol edilerek saf PLA'ya göre iyi derecede antikoagülasyon özelliğe sahip olduğu belirlendi (Chen ve ark., 2010).

2020 yılında yapılan bir çalışmada, lavanta yağı yüklü PCL ve PEG polimeri içerikli antibakteriyel membranların üretilmesi araştırılmıştır. Zıt yönlerden aynı anda uygulanan elektrospin işlemi ile lavanta yağı içeren PCL ve PEG polimerleri ile membran üretildi. İlk çözelti %4 PEG 40 mg/ml kloroform ve %10 lavanta yağı ile hazırlanarak 3 ml/h akış hızında sisteme verildi. %10 PCL ve (4:1) oranında kloroform-metanol içeren karışım 1 ml/h akış hızında ters yönden elektrospin sistemine verildi. 16 kV voltaj, 10 cm mesafede üretilerek toplanmıştır. *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri üzerindeki etkileri test edilmiştir. 14 ve 11 mm inhibisyon zon çapı ile antibakteriyel olarak yara örtüsü vb. uygulamalarda kullanılabileceği belirtilmiştir (Eğri, 2020).

2021 yılında yapılan bir çalışmada, AgNP sentezinde PVP polimerinin indirgeyici ve stabilize edici özelliğinden yararlanarak sentez gerçekleştirilmiştir. 398 nm dalga boyunda yüksek absorbans ile doğrulanmıştır. %7.5 PVP içeren polimer DMF çözücüsü ile hazırlanarak, %1, 1.5, 2 ve 2.5 oranlarında AgNO₃ ilave edilerek 4 saat karıştırıldı. %24 PVDF , DMF ile 60 °C sıcaklıkta 6 saat karıştırılarak, süre sonunda iki çözelti birleştirilmiştir. 1.5 ml/h akış hızı, 24 kV voltaj ve 16 cm mesafede elektrospin gerçekleştirilmesi sonucu 300 ve 560 nm arası çapa sahip nanolifler elde edilmiştir. *Staphylococcus aureus* bakterisi üzerine olan antibakteriyel etkinliği incelendiğinde nanopartikül miktarının artmasına bağlı olarak inhibisyon zon çapının arttığı tespit edilmiştir (Irfan ve ark., 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

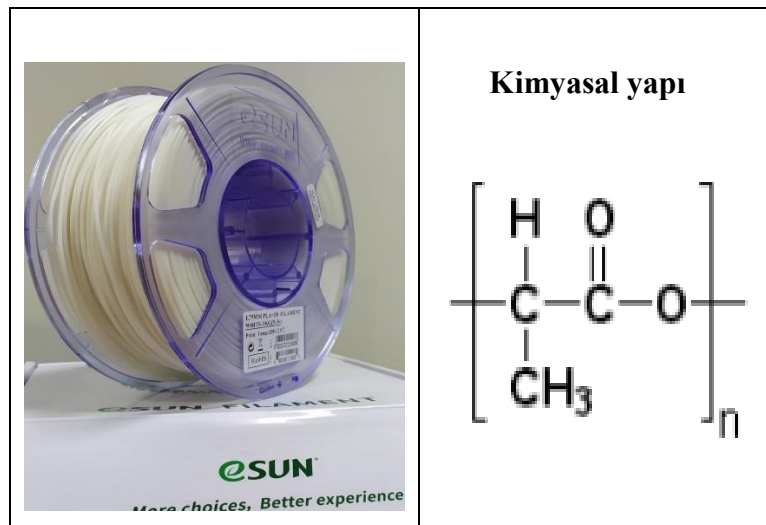
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller

3.1.1 Gümüş nitrat (AgNO₃)

Çalışmada kullanılan AgNO₃, Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Gümüş nitrat, bakterilere karşı olan etkinliğinden dolayı antibakteriyel özellik kazandırma amaçlı kullanılmaktadır.

3.1.2. Polilaktik asit (PLA)

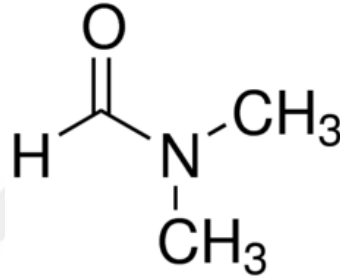
Polimer kaynağı olarak PLA filament formda Esun firmasından temin edilmiştir. PLA polimerinin tercih edilmesinde; az maliyetli ve kolay yoldan üretilmesi, biyobozunur özelliği, hafif yapısı, biyoyumlu olması etkili olmuştur. PLA tüm bu özelliklerinin yanında üstün mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı gıda ambalajlarında, tekstil alanında uygulamalara sahiptir (Tektemur ve Bayraktar, 2011).



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan PLA polimeri ve kimyasal yapısı

3.1.3. Dimetilformamid (DMF)

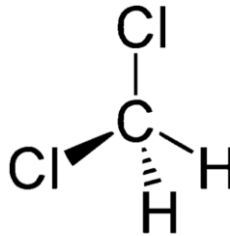
Polimer çözücüsü olarak kullanılan Dimetilformamid (DMF), Sigma Aldrich Company firmasından temin edilmiştir. DMF, yüksek çözücülüğe sahip, kolay karışabilen organik bileşiklerden biridir. Uçuculuk oranı yüksek değildir. Çözücü olarak reçine ve polimerlerde kullanılır (Elmalı ve ark., 2020).



Şekil 3.2. DMF kimyasal yapısı

3.1.4. Diklorometan (DCM)

Çalışmada çözücülerden biri olarak VMR Chemicals firmasından temin edilen Diklorometan (DCM), daha çok endüstriyel ölçekli işlemlerde çözücü olarak kullanılır. Uçucu yapıya sahiptir. Kokusu keskin değildir. Rengi şeffaftır ve oda sıcaklığında sıvı formda bulunur (Özkaya, 2015).



Şekil 3.3. DCM kimyasal yapısı

3.1.5. Öksürük bitkisi (*Tussilago farfara L.*)

Asteraceae familyasından olan diğer adıyla öksürük bitkisi; Avrupa, Asya bölgesinde yetişmektedir. Daha çok nemli, killi içerikli toprak yapısına sahip olup akarsu ve tarla kenarlarında büyür. Çok yıllık bir bitkidir. Altın sarısı çiçek rengine sahiptir. İlk olarak çiçek, sonra yaprak oluşumu ile büyüme sağlar. İçeriğinde bulunan ‘müsilaj, acı maddeler, tanen, eterli yağ, fitosterol, mazi asidi, nitrik asit tuzu, pektin asidi, maden tuzları’ bitkiye ait etken maddelerdir. Tedavi amaçlı üst solunum yolları hastalıklarında kullanılır. Çiçek ve yaprakları çoğunlukla çay şeklinde tüketilir (Turan, 2014). Çalışmada kullanılan Öksürük bitkisi kuru halde temin edilmiştir.



Şekil 3.4. Öksürük bitkisine ait genel görünüm (Turan, 2014)

3.1.6. Altınbaşak bitkisi (*Solidago virgaurea L.*)

Asteraceae familyasına ait olan altınbaşak bitkisi; Kuzey Amerika, Asya ve Avrupa bölgesinde yetişir. Türkiye’de pek çok bölgede yetişmektedir. Uzun boyunun ucundaki saplar sarı çiçeklere sahiptir. İçeriğinde bulunan ‘flavonoit, mineraller, saponin, tanen, limon asidi ve oksalik asit’ bitkinin etken maddeleridir. İltihap ve balgam gidermede, yara tedavisinde kullanılır. Bitkinin kökü haricinde diğer bölümleri çay olarak tüketilir (Turan, 2014). Çalışmada kullanılan Altınbaşak bitkisi kuru halde temin edilmiştir.



Şekil 3.5. Altınbaşak bitkisine ait genel görünüm (Turan, 2014)

3.2. Çalışmada Üretilen Gümüş Nanopartikül ve Nanoliflerin Analizlerinde Kullanılan Cihazlar

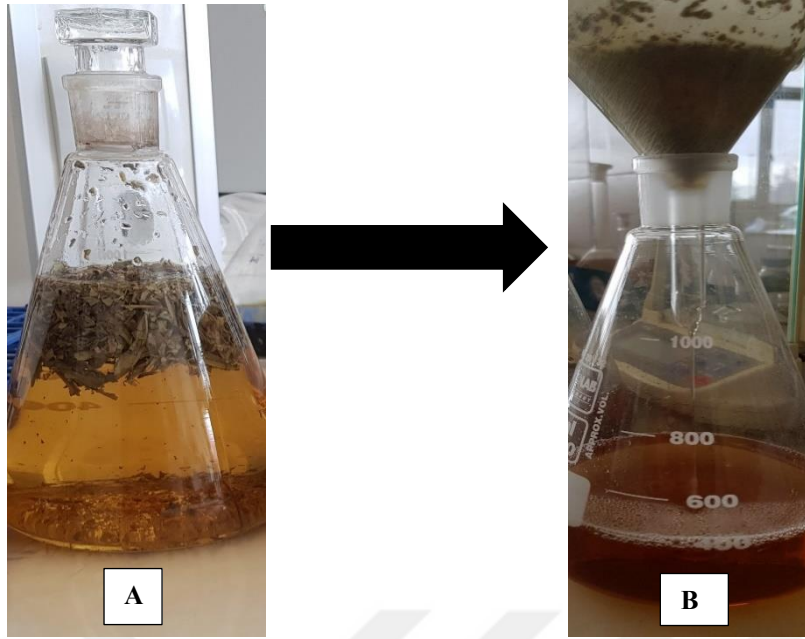
Tez çalışmasında, üretilen nanolif ve nanopartiküllerin analizleri aşağıda belirtilen cihazlar ile Konya Teknik Üniversitesi İLTEK ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi BİLTEM laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Nanolif ve nanopartiküllerin analizinde kullanılan cihazlar

Cihaz adı	Marka
UV-Vis	Shimadzu UV-1700
FTIR	Bruker Vertex 70
XRD	Bruker D8 Advance
SEM	Zeiss Evo LS-10
TEM	Zeiss LS-10

3.3. Yeşil Sentez Metodu ile Gümüş Nanopartikül Sentezi

Yeşil sentez yoluyla AgNP sentezi için öksürük ve altınbaşak bitkisi ile çalışmalar yapıldı. Altınbaşak ve öksürük bitkisi kuru halde temin edildikten sonra yüzey alanını arttırmak amacıyla öğütüldü. 10 g kuru halde bitki erlene alınarak 1000 ml saf su ile 60 °C sıcaklıkta 30 dakika ısıtıldı. 12 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmaya bırakıldı. Süre sonunda filtre kağıdı ile süzülerek bitki ekstraktı elde edildi (Şekil 3.6)



Şekil 3.6. Bitki ekstraktı elde etme işlemleri; a. karıştırma sonrası, b. filtrasyon işlemi

Elde edilen bitki ekstraktları içerisine 1:1 oranında 10 mM AgNO_3 ilave edildi. Işık almaması amacıyla karıştırma kaplarının dışı alüminyum folyo ile kaplandı. Çözelti manyetik karıştırıcıda 300 rpm hızında 24 saat süre karışmaya bırakıldı.



Şekil 3.7. Bitki ekstraktının AgNO_3 ile 24 saat karıştırılması sonucu oluşan çözelti

Çözelti 24 saat süreyle karıştırıldıktan sonra çöken kısmı ayırma amacıyla santrifüjlenir. Santrifüj işlemi ile ayrılan çökeltiler petri kabına yayılarak etüvde kurumaya bırakılır.



Şekil 3.8. Santrifüj işleminin ardından kurutma öncesi ön hazırlık işlemi

Gümüş nanopartiküllerin sentezine etki eden parametreleri incelemek için bitki ekstraktı ve AgNO_3 içeren çözeltilerin karıştırma sonrası; pH, sıcaklık, zaman, AgNO_3 miktarı değişim parametreleri UV- Vis spektrofotometre cihazı (Shimadzu UV-1700) ile 200-800 nm dalga boyları arasında incelenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. AgNP sentez çalışmalarında kullanılan UV-Vis cihazı

AgNP sentezine etki eden parametrelerin incelenmesi adına yapılan çalışmalar optimum sentez koşullarını belirleme amacıyla yapıldı.

3.3.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi

AgNP sentezinde optimum pH değerini belirlemek amacıyla bitki ekstraktı ve 10 mM AgNO₃ hacimce (1:1) oranda eklenmiş halde 24 saat karıştırıldıktan sonra çözelti pH değerleri 3, 5, 7, 9 ve 11 olarak 0,1 M HCl ve NaOH çözeltisi yardımıyla belirlenen değerlerde ayarlandı. UV-Vis spektrofotometresi ile her değer için absorptans değerleri 200-800 nm dalga boyu aralığında ölçülerek optimum pH değeri belirlendi.

3.3.2. Optimum zamanın belirlenmesi

AgNP sentezinde optimum gerekli zamanı belirlemek amacıyla bitki ekstraktlarına hacimce (1:1) oranda AgNO₃ (10 mM) eklendikten sonra manyetik karıştırıcıda 300 rpm hızında 1 dakika, 10 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 5 saat, 6 saat ve 24 saat karıştırıldı.

Belirlenen süre karıştırıldıktan sonra her değer için hazır olan karışım UV-Vis spektrofotometresinde 200-800 nm dalga boyu aralığında oluşturduğu absorptans değerine göre incelenerek sentez için gerekli olan karışım süresi belirlendi.

3.3.3. Optimum sıcaklık değerinin belirlenmesi

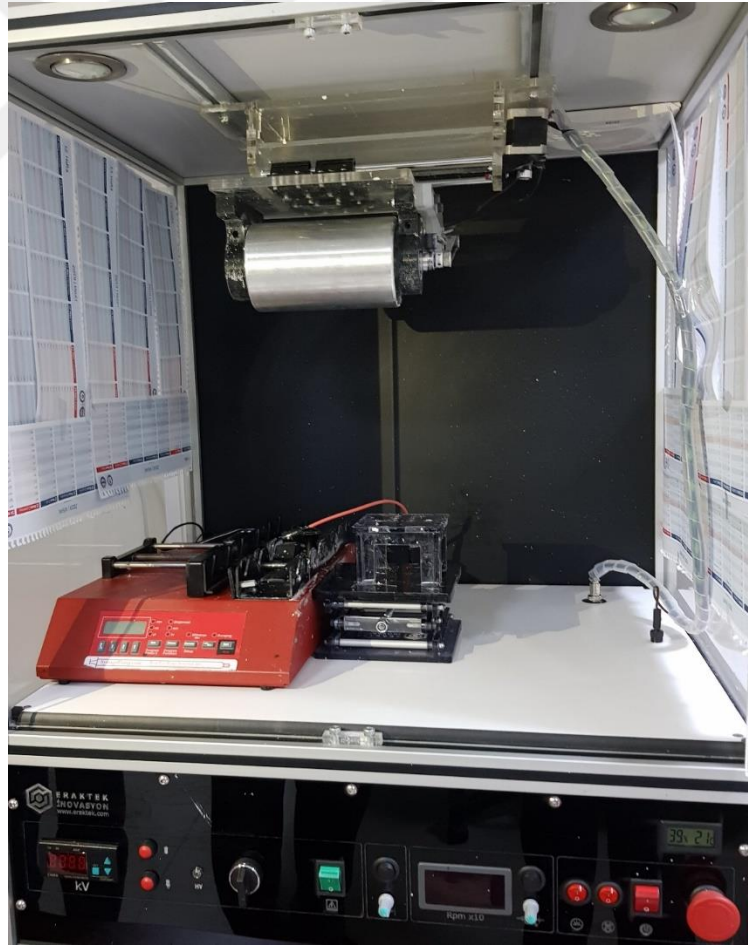
AgNP sentezinde optimum sıcaklık değerini belirlemek amacıyla bitki ekstraktı ile hacimce AgNO₃ (1:1) oranda eklenerek 24 saat 4 °C, 25 °C, ve 60 °C sıcaklıklarda karıştırıldı. 24 saat sonunda hazır olan numuneler UV-Vis spektrofotometresinde 200-800 nm dalga boyları arasında absorptans değerleri ölçülerek optimum sıcaklık değeri belirlendi.

3.3.4. Optimum AgNO_3 miktarının belirlenmesi

AgNP sentezinde nanopartiküllerin oluşabilmesi için bitki ekstraktına eklenecek AgNO_3 miktarını belirlemek amacıyla 10 ml bitki ekstraktına 2.5 ml, 4 ml, 5 ml, 6 ml, 7.5 ml, 9 ml, 10 ml AgNO_3 (10 mM) ekleyerek UV-Vis spektrofotometresindeki absorbans değerlerine göre gerekli oran belirlendi.

3.4. Elektrospin Metodu ile Nanolif üretimi

Elektrospin metodu ile nanolif üretimi için elektrospin cihazı kullanıldı (Şekil 3.10). Polimer çözeltiler şırıngalardan pompa yardımıyla elektrik akım sayesinde belirlenen mesafede yer alan alüminyum folyo kaplı toplayıcıya gönderilerek nanolifler toplayıcı üzerinde elde edildi.



Şekil 3.10. Nanolif üretiminde elektrospin işlemi için kullanılan cihaz düzeneği

3.4.1. Polimer çözeltisinin hazırlanması

Nanolif üretimini gerçekleştirmek amacıyla polilaktik asit (PLA) polimeri kullanıldı. Çözücü olarak diklorometan (DCM) ve dimetilformamid (DMF) kullanıldı. %8'lik PLA polimeri (1:4) oranlarında DCM-DMF çözücülerinde çözülerek, manyetik karıştırıcıda 500 rpm karıştırma hızında 6 saat karıştırıldı.

3.4.2. Nanopartikül içeren çözeltinin hazırlanması

PLA polimeri ve DCM-DMF çözücülerini kullanılarak hazırlanan polimer çözeltisine nanolife antibakteriyel özellik kazandırmak amaçlı yeşil sentez metodu uygulanarak elde edilen AgNP eklendi.

Bu amaçla ilk olarak Öksürük bitkisinden elde edilen AgNP %0.5 ve %1 oranında polimer çözeltisine eklenerek 2 saat karıştırıldı.

Diğer hazırlanan çözeltide Altınbaşak bitkisinden elde edilen gümüş nanopartikül %0.5 ve %1 oranında polimer çözeltisine eklenerek 2 saat karıştırıldı.

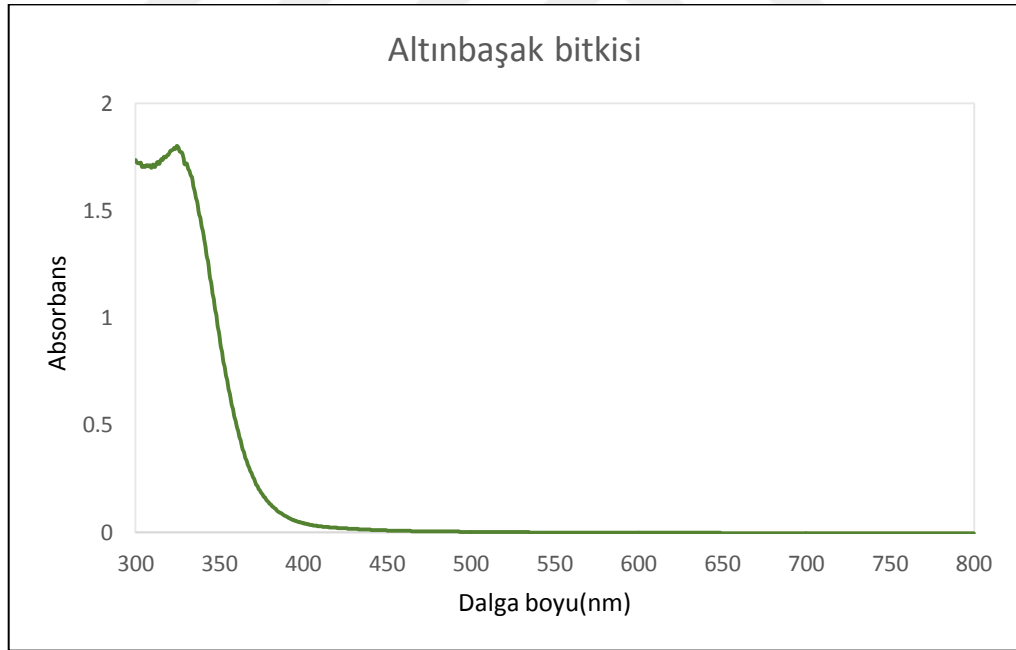
3.4.3. AgNP içeren polimer çözeltisi ile elektrospin işlemi

AgNP içerikli PLA polimeri esaslı çözelti 4 adet şırıngaya 8'er ml dolduruldu. Şırıngalar pompaya bağlanarak toplayıcı ile arasında 15 cm mesafe bırakıldı. Toplayıcı alüminyum folyo ile kaplandı. 25 kV ve 1 ml/h akış hızı ile döner tambur toplayıcıda elektrospin işlemi gerçekleştirildi. Hazırlanan iki çözelti için aynı üretim metodu uygulandı. İşlem sonrası elde edilen nanolifler alüminyum folyo üzerinden bir pens yardımı ile alındı.

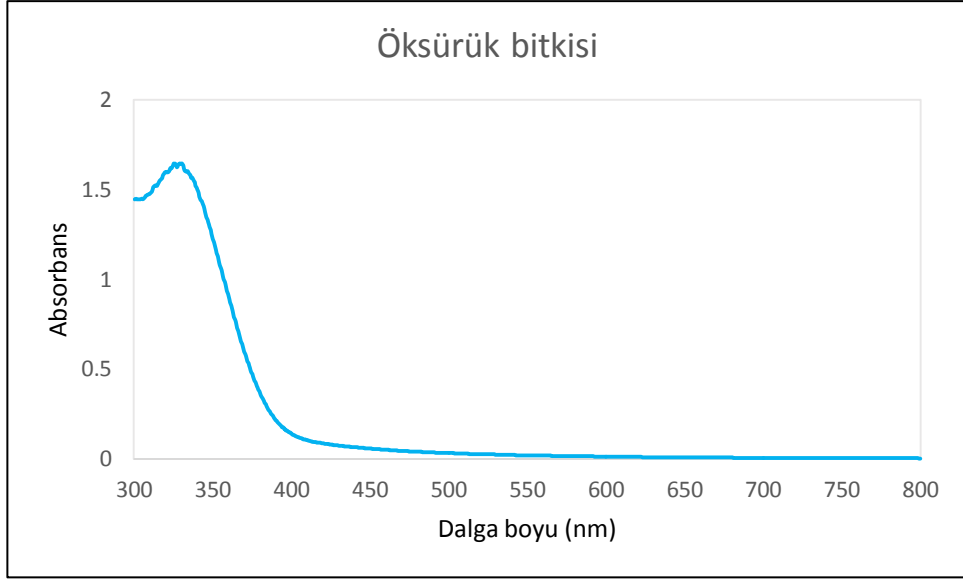
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Gümüş Nanopartikül Optimum Sentez Koşullarının Belirlenmesi

Yeşil kimya metodu ile bitki ekstraktları kullanılarak AgNP sentez koşullarını belirlemek amacıyla UV-Vis spektrofotometresinde gerçekleştirilen ölçümlerde oluşan belirgin piklerin dalga boyu değerlerine göre gümüş varlığı araştırılmıştır. Yaklaşık 430 nm’de absorbands zirvesinin daha önce Ag nanopartiküller için belirgin özellik olduğu görülmüştür (Vilchis-Nestor ve ark., 2008). Absorbans değerinin yüksek seviyede olması, nanopartikül olarak Ag^+ 'nin Ag^0 'ye dönüşümünü göstermektedir. Biyolojik yöntemler yardımıyla $AgNO_3$ ’ün AgNP’lere dönüştürülmesinde bitki ekstraktında bulunan organik maddelerin $AgNO_3$ ’ın AgNP’lere dönüşmesine yardımcı olduğu düşünülmektedir (Korkmaz, 2019). Elde edilen bitki ekstraktlarına ait absorbandslar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

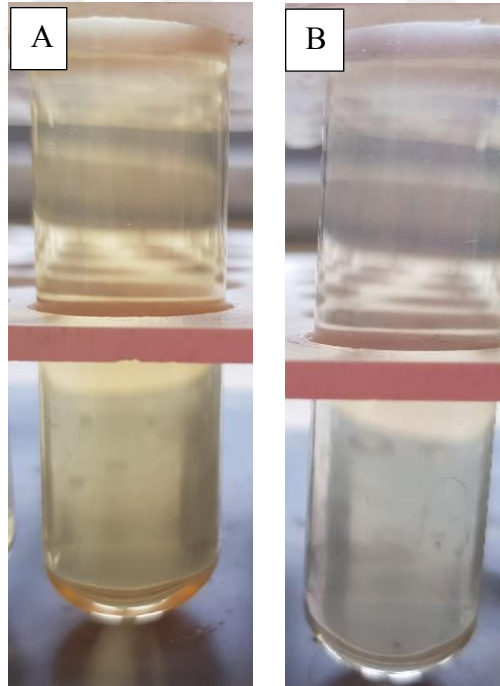


Şekil 4.1. Altınbaşak bitki ekstraktına ait UV-vis spektrofotometresi sonuçları



Şekil 4.2. Öksürük bitki ekstraktına ait UV-Vis spektrofotometresi sonuçları

AgNP sentezinde kullanılan Altıbaşak ve Öksürük bitkisine ait ekstraktların UV-Vis spektrofotometre sonuçları incelendiğinde gümüş varlığını gösteren dalga boyu aralıklarında pik görülmediği belirlenmiştir.



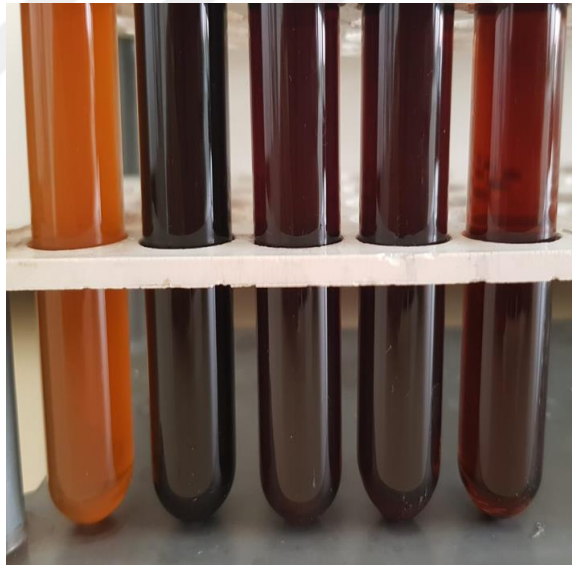
Şekil 4.3. Bitki ekstraktına ait çözeltilerin görünümü; a) Öksürük bitkisi, b) Altınbaşak bitkisi

Yapılan daha önceki çalışmalarda (Awwad ve ark., 2013), çözeltinin gümüş nanoparçacık miktarı arttıkça rengin ‘yüzey plazma rezonansı’ titreşimlerine bağlı olarak sarı-kahverengi renkte görüldüğü bilinmektedir. Yüzey plazmon rezonansı; düzlem polarize ışığın, metal bir yüzeye çarpıp yansması esnasında metal yüzeyinde meydana gelen titreşim hareketlerine bağlı olarak gelişen fiziksel bir olgudur. Başlangıçta şeffaf renkte olan çözeltinin karışma süresi arttıkça başlangıçta sarıdan kahverengiye yaklaşan renk aldıkları görülür (Ediz, 2018).

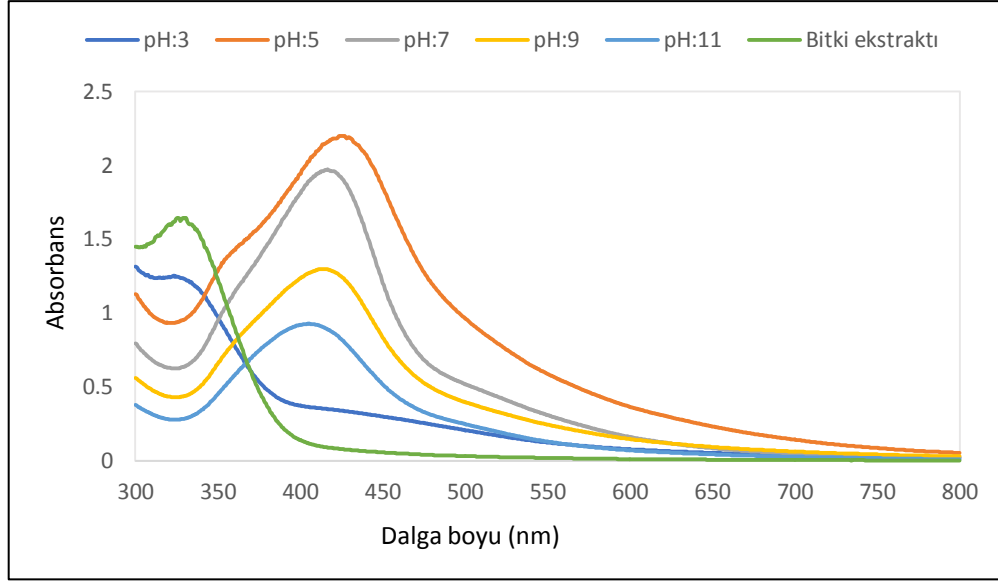
4.1.1. AgNP sentezinde optimum pH değeri

4.1.1.1. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışması

Şekil 4.4 'de AgNP sentezindeki çözelti pH değerine bağlı olarak renk değişimi gösterilmiştir.



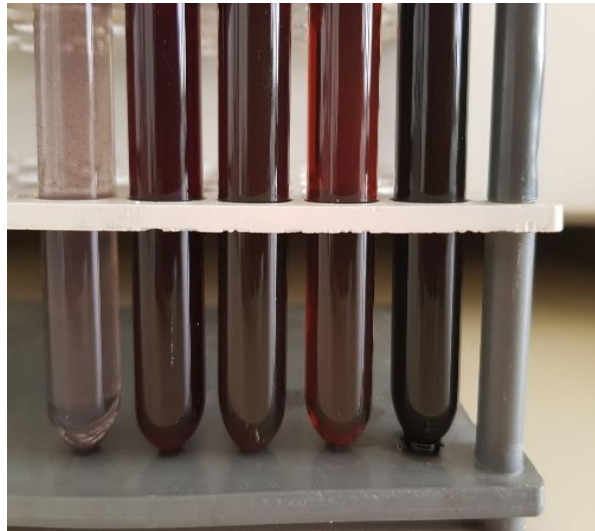
Şekil 4.4. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışmasındaki renk değişimi; soldan sağa pH artmaktadır



Şekil 4.5. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için optimum pH sonuçları; UV-Vis spektrofotometresine ait sonuçlar

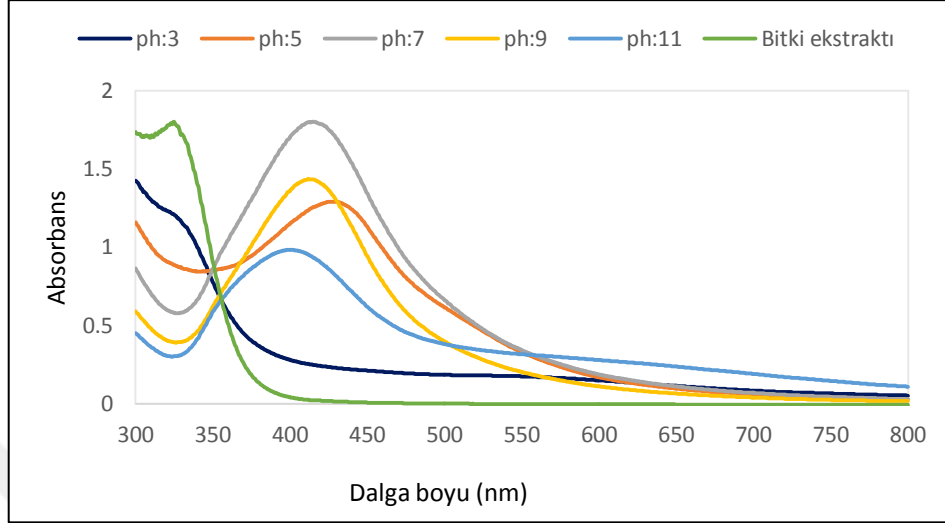
Öksürük bitkisi ile AgNP sentezinde optimum pH değeri UV-Vis spektrofotometresindeki absorbans değerlerine göre literatürde gümüş varlığını gösteren 430 nm dalga boyundaki pik incelendiğinde (Şekil 4.5) en yüksek absorbans değerine sahip olan 2.18 absorbans değerine sahip pH: 5 noktası belirlendi.

4.1.1.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışması



Şekil 4.6. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için pH çalışması renk değişimi

Şekil 4.6 'da AgNP sentezindeki çözelti pH değerine bağlı olarak renk değişimi gösterilmiştir.



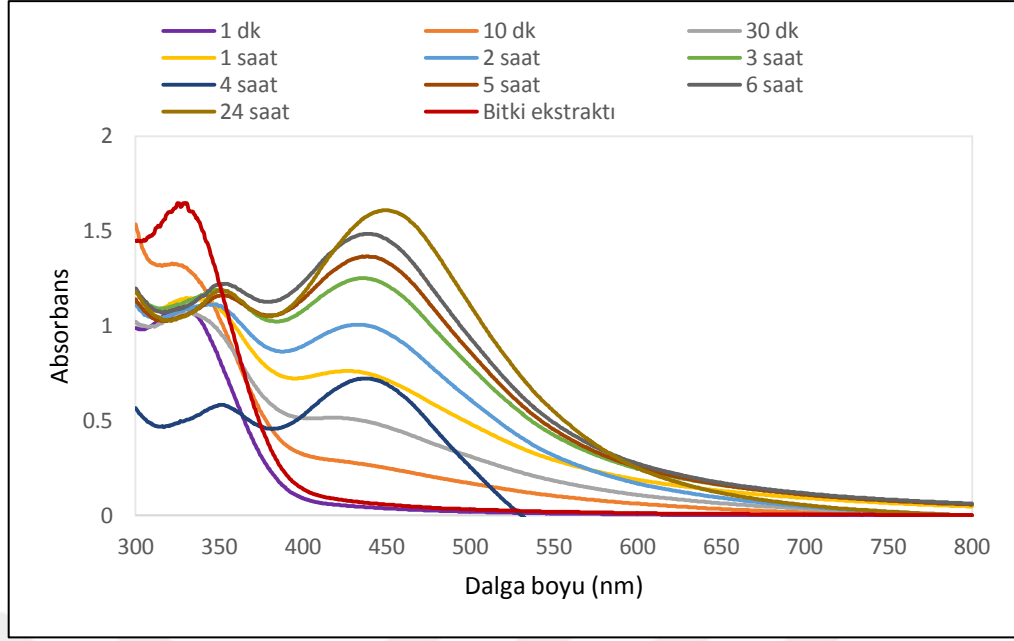
Şekil 4.7. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi pH çalışması sonuçları

Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezinde optimum pH değeri UV-Vis spektrofotometresindeki absorbans değerlerine göre gümüş varlığını gösteren 430 nm dalga boyundaki pik incelendiğinde iki noktanın yakın değerler gösterdiği gözlemlenerek; pH:5 noktasında 1.29 absorbans değerini, pH:7 noktasında ise 1.69 absorbans değeri bulunmuştur (Şekil 4.7). Optimum pH 7 olarak bulunmuştur.

4.1.2. AgNP sentezinde optimum zaman

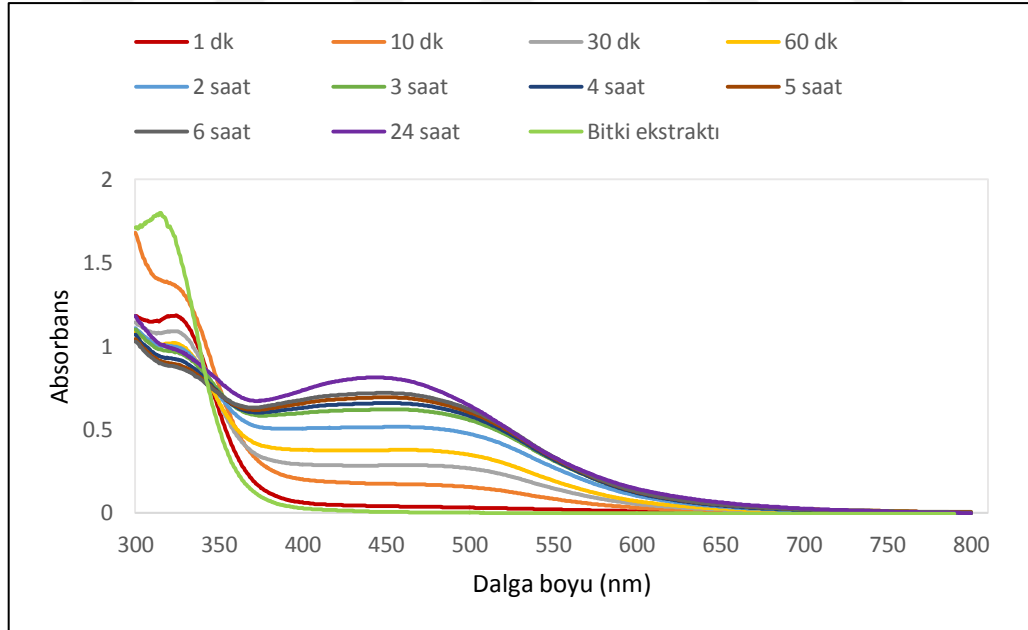
4.1.2.1. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için zaman çalışması

Öksürük bitkisi ile AgNP sentezinde optimum zaman UV-Vis spektrofotometresindeki gümüş varlığını gösteren 430 nm dalga boyunda en yüksek absorbans değeri 1.51 ile 24 saat pikine ait olduğu belirlendi (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezinde optimum zaman sonuçları

4.1.2.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için zaman çalışması

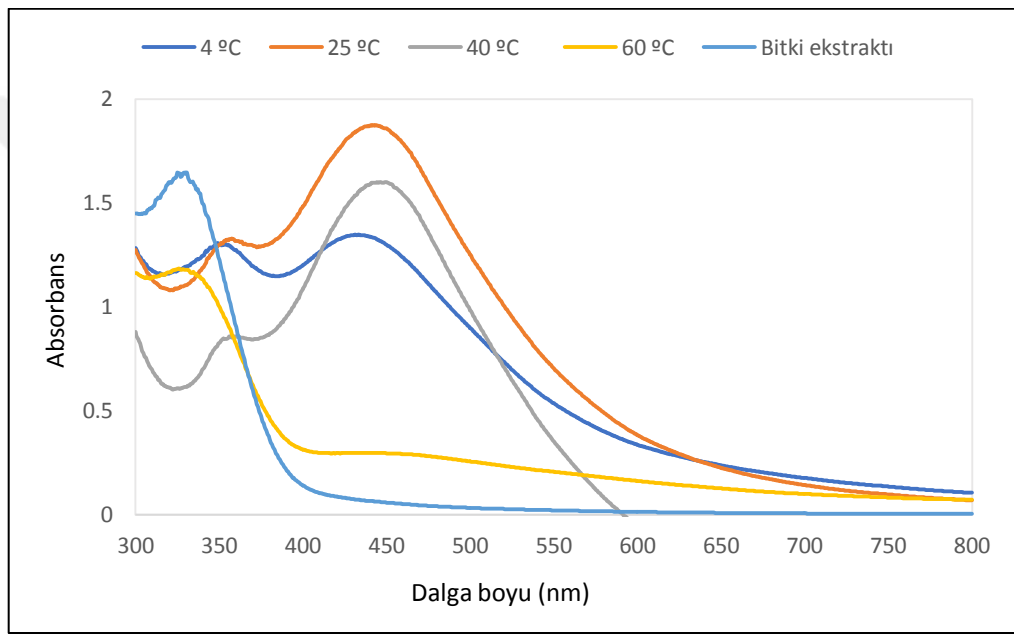


Şekil 4.9. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait optimum zaman sonuçları

Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezinde optimum zaman UV-Vis spektrofotometresindeki gümüş varlığını gösteren 430 nm dalga boyundaki piklere ait absorbans değerlerinde süre artış gösterdikçe absorbans değerinin de arttığı 24 saate ait pikin 0.80 absorbans değerinde olduğu belirlendi (Şekil 4.9).

4.1.3. AgNP sentezinde optimum sıcaklık değeri

4.1.3.1. Öksürük bitkisi AgNP sentezi için sıcaklık çalışması

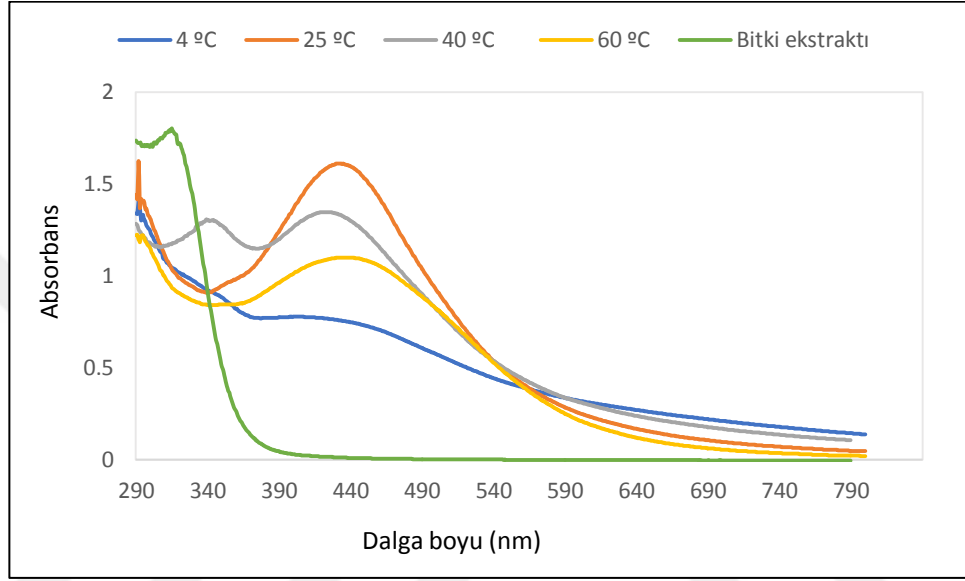


Şekil 4.10. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezine ait optimum sıcaklık sonuçları

Öksürük bitkisi ile AgNP sentezinde optimum sıcaklık için yapılan çalışmaların UV-Vis spektrofotometresindeki sonuçlarında sıcaklıktaki artış yüksek derecelere ulaştığında bitki etken maddelerine bağlı bozunma meydana gelmiştir. 430 nm dalga boyunda 1.83 absorbans değeri ile 25 °C optimum sıcaklık değeri olarak Şekil 4.10'da gösterilen değer seçilmiştir.

4.1.3.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için sıcaklık çalışması

Altınbaşak bitkisine ait UV-Vis spektrofotometre sonuçları Şekil 4.11 grafiğinde görülmektedir. Oda sıcaklığı koşullarında sentez işlemlerinin gerçekleştirilmesinin grafikteki diğer sıcaklık değerleri ile karşılaştırıldığında uygun olduğu, 430 nm dalga boyunda 1.09 absorbans değeri seçilmiştir.

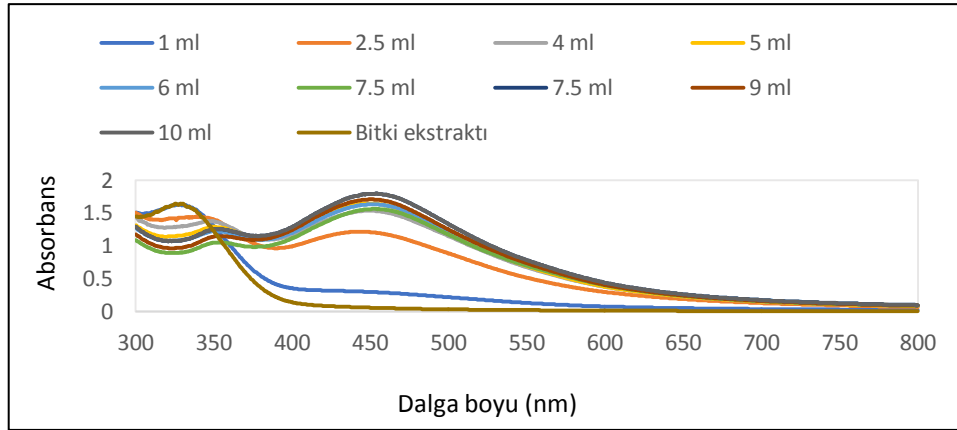


Şekil 4.11. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait optimum sıcaklık sonuçları

4.1.4. AgNP sentezinde optimum AgNO₃ miktarının belirlenmesi

4.1.4.1. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için AgNO₃ çalışması

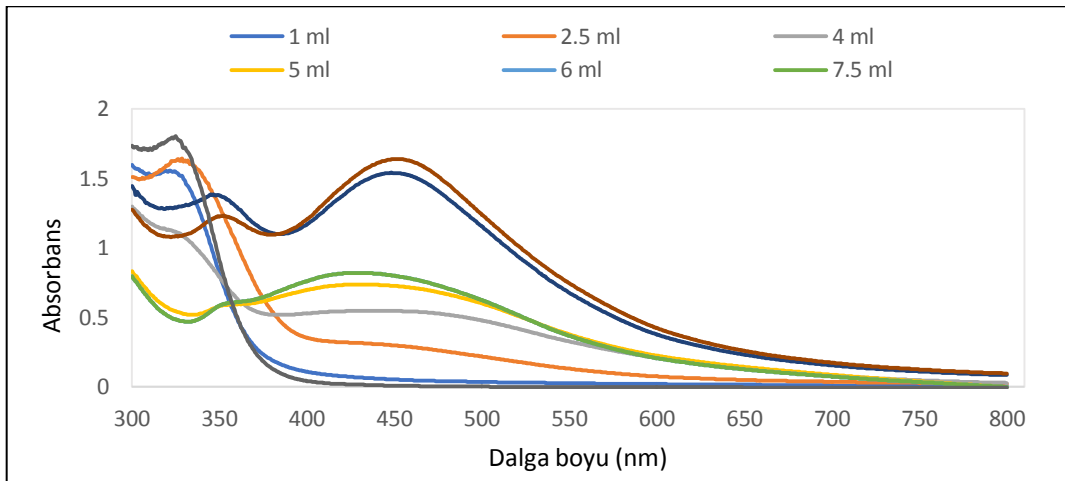
Şekil 4.12'de farklı miktarlarda AgNO₃ ile oluşturulan AgNP pikleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi AgNO₃ miktarının artması absorbans değerini arttırmıştır.



Şekil 4.12. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi optimum gümüş nitrat sonuçları

Öksürük bitkisi ile AgNP sentezinde bitki ekstraktına eklenen AgNO_3 miktarının optimum değerde tutulması amacıyla yapılan çalışmaların UV-Vis spektrofotometresindeki sonuçlarında 10 ml bitki ekstraktına eklenen 10 ml AgNO_3 430 nm dalga boyunda 1.67 absorbans değeri ile hacimce 1:1 karıştırma oranı belirlendi. Bu değerlerde elde edilen AgNP deneylerde kullanılmıştır.

4.1.4.2. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için AgNO_3 çalışması



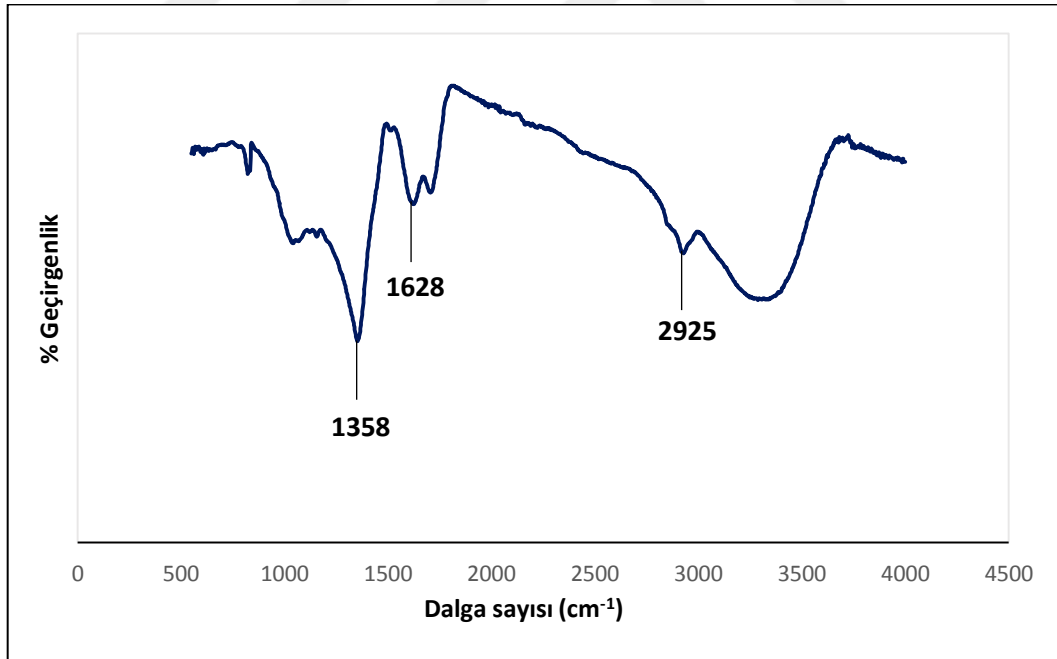
Şekil 4.13. Altınbaşak bitkisi AgNP sentezine ait optimum gümüş nitrat sonuçları

Şekil 4.13’de farklı miktarlarda AgNO_3 ile oluşturulan AgNP pikleri gösterilmiştir.

Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezinde bitki ekstraktına eklenen AgNO_3 miktarının optimum değerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmaların UV-Vis spektrofotometresindeki sonuçlarında 10 ml bitki ekstraktına eklenen AgNO_3 oranı hacimce (1:1) olduğunda yani 10 ml eklendiğinde 430 nm dalga boyunda en yüksek absorbands olarak 1.53 değerini göstermiştir.

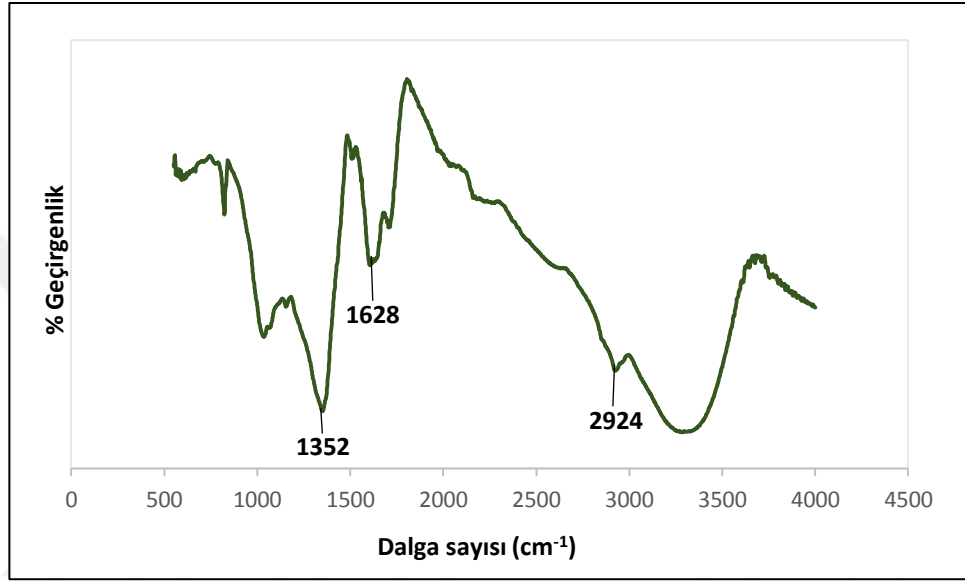
4.2. AgNP FTIR Analiz Sonuçları

Literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalarda nanopartiküllerin FTIR analizi hakkında (El-Aziz ve ark., 2013); AgNP, bitki ekstraktında bulunan aminoasit ve proteinlerin içeriğindeki karbonil ve hidroksil fonksiyonlu grupları sayesinde yüksek kararlılık sonucu parçacık büyümesini engellediği düşünülmektedir. Bitki ekstraktında bulunan ve karbonil ($\text{C}=\text{O}$) fonksiyonlu grubunu ve bu grubun indirgenmesi ile meydana gelen hidroksil (OH) grupları, metal nanopartiküllerle bağ yapabilmektedir



Şekil 4.14. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezi için FTIR sonuçları

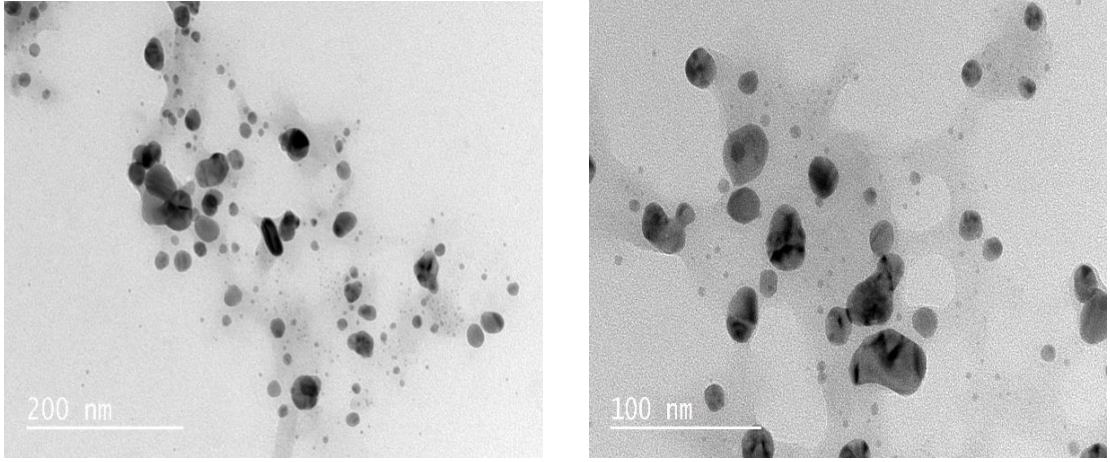
Altınbaşak bitkisi ile sentezlenen AgNP FTIR analiz sonuçlarındaki (Şekil 4.14) 3309 cm^{-1} bandı fenol bileşiklere bağlı -OH germe titreşimine karşılık gelmektedir. 2925 cm^{-1} noktası ise C-H germe titreşiminin karşılığıdır. 1628 cm^{-1} amid bandına bağlı karboksil grupları belirtmektedir. 1358 cm^{-1} bandı ise aromatik aminlerin C-N titreşimleridir. Piklerde görülen 1045 cm^{-1} bandı ise C-OH titreşimlerini temsil etmektedir (Remya ve ark., 2015).



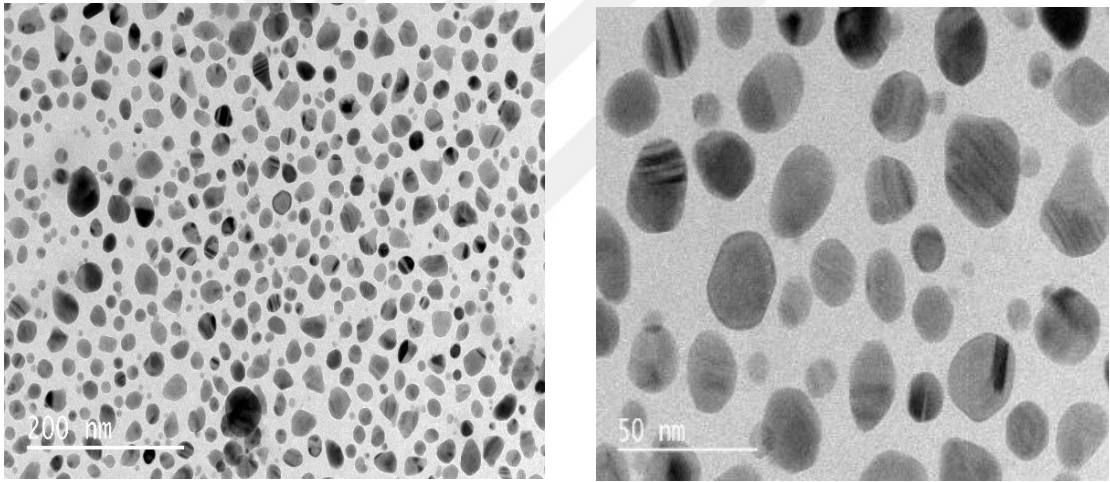
Şekil 4.15. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezi için FTIR sonuçları

Öksürük bitkisi kullanılarak sentezlenen AgNP FTIR spektrumunda (Şekil 4.15) 1047 cm^{-1} AgNP sıklıkla görülen C-OH titreşimlerine karşılık gelir. 1352 cm^{-1} bandı ise aromatik aminlerin C-N titreşimleridir. 1628 cm^{-1} amid bandına bağlı karboksil gruplarının gerilme titreşimleridir. 2924 cm^{-1} noktası ise C-H germe titreşiminin karşılığıdır. 3300 cm^{-1} bandı fenol bileşiklere bağlı O-H germe titreşimine karşılık gelmektedir. Her iki bitkiye ait FTIR spektrumları birbirleriyle ve literatür ile uyum göstermektedir (Remya ve ark., 2015).

4.3. Gümüş Nanopartiküllere ait TEM Analizi Sonuçları



Şekil 4.16. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait TEM görüntüleri



Şekil 4.17. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezine ait TEM görüntüleri

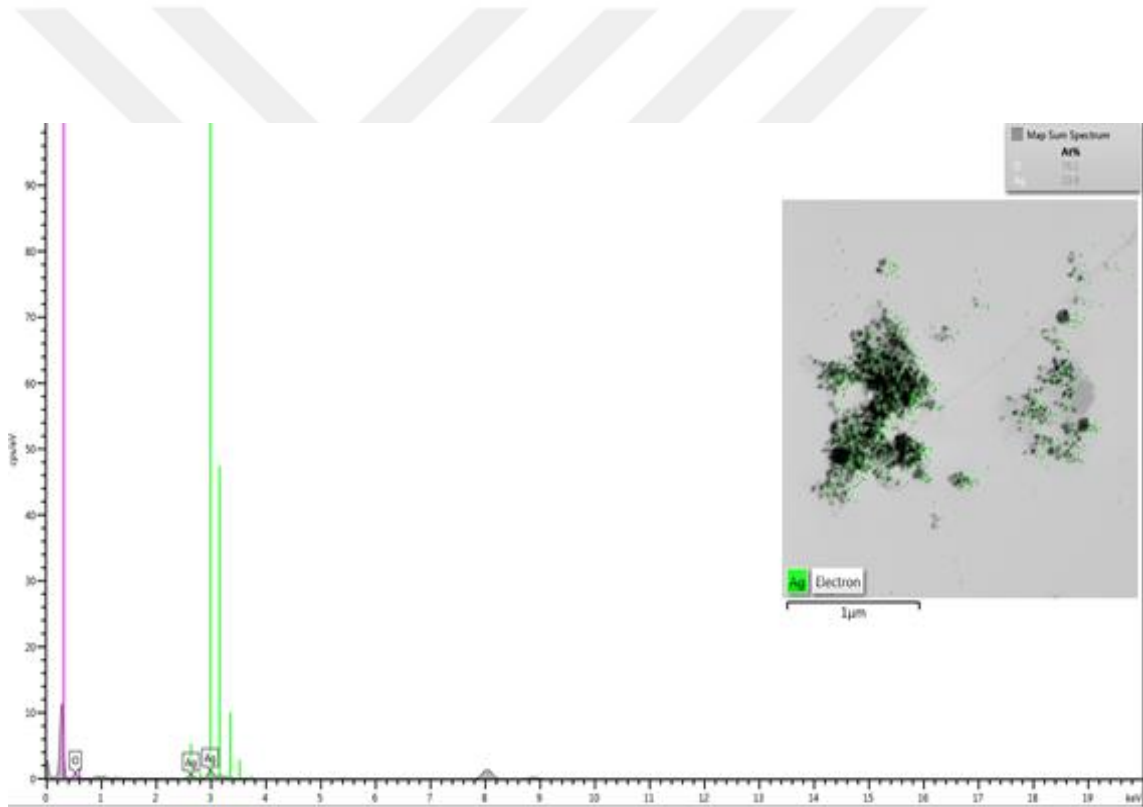
Yeşil sentez metodu ile bitki ekstraktlarından sentezlenen AgNP TEM analizi incelendiğinde nanopartiküllerin küresel formda oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17). Altınbaşak bitkisi ile sentezlenen AgNP çapı 3-21 nm arasında değişmektedir. Ortalama nanopartikül çapı 10 nm bulunmuştur. Öksürük bitkisi ile sentezlenen AgNP ait TEM görüntüleri incelendiğinde ise 2-22 nm aralığında çapa sahip oluşumlar olduğu görülmektedir. Ortalama nanopartikül çapı ise 12 nm olarak belirlenmiştir.

Biyosentez metodu ile sentezlenen nanopartiküllerin biyomoleküller ile kaplanmasından kaynaklı büyük moleküllerin yüzeyine bağlanan küçük AgNP görülebilir (Kumar ve ark., 2014).

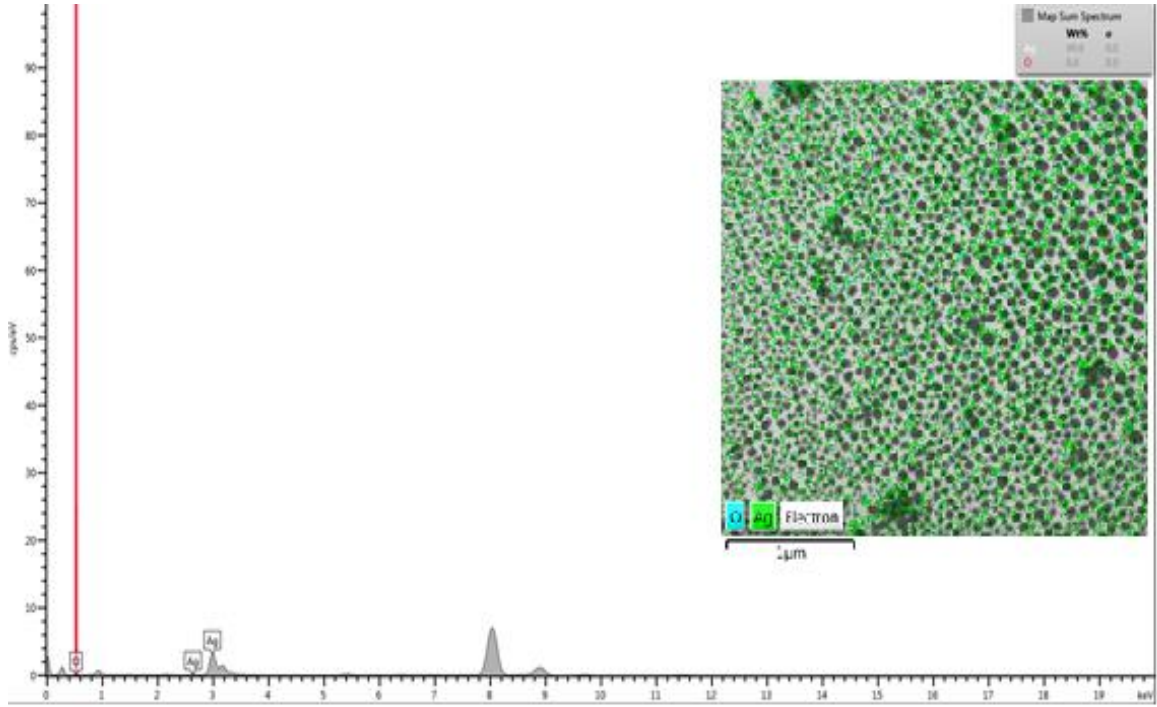
Bu durum Altınbaşak bitkisi ile sentezlenen AgNP görüntülerinde daha belirgindir. Öksürük bitkisinden sentezlenen nanopartiküller düzlemsel olarak küresel formda dağılım göstermektedir. Yeşil sentez metodu ile sentezlenen AgNP indirgeme ajanı olarak kullanıldığı bitkilerin ana bileşenlerinin, partikül boyutunu ve kinetiğini kontrol altında tuttuğu gözlemlenmiştir (Ediz, 2018).

4.4. Gümüş nanopartiküller için EDS Analizi Sonuçları

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 sırası ile Altınbaşak ve Öksürük bitkisi ile AgNP EDS sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.18. Altınbaşak bitkisi ile AgNP sentezine ait EDS sonuçları



Şekil 4.19. Öksürük bitkisi ile AgNP sentezine ait EDS sonuçları

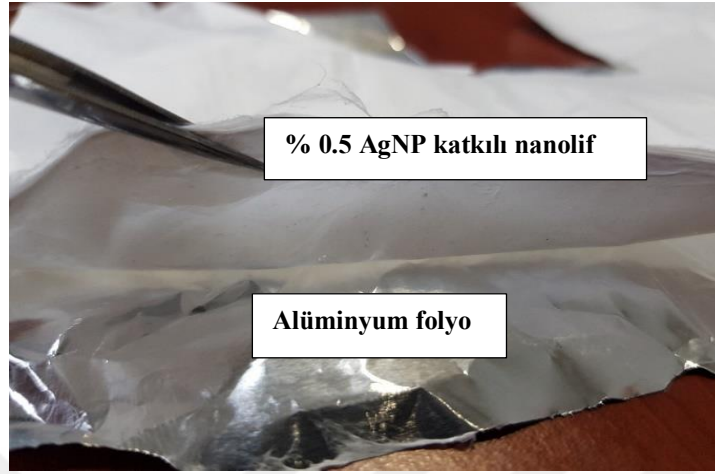
Bitki ekstraktlarından sentezlenen AgNP yüzey morfolojileri için TEM görüntüleri alınarak nanopartikül çapları, formu ve dağılımı incelenmiştir. Nanopartikül yüzeyindeki Ag dağılımını belirlemek amacıyla da EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Altınbaşak bitkisi ile sentezlenen AgNP için EDS analizleri incelendiğinde %68 Ag, %32 O dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir. Öksürük bitkisi ile sentezlenen AgNP için EDS analizleri incelendiğinde ise Ag dağılımının önemli miktarda arttığı gözlemlenmiştir. %99.6 Ag ve %0.4 O dağılımına sahiptir. Gümüş elementi görüntüde ve içerikte daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

4.5. PLA Esaslı AgNP Katkılı Nanoliflerin Elektroselin Metodu ile Üretimi

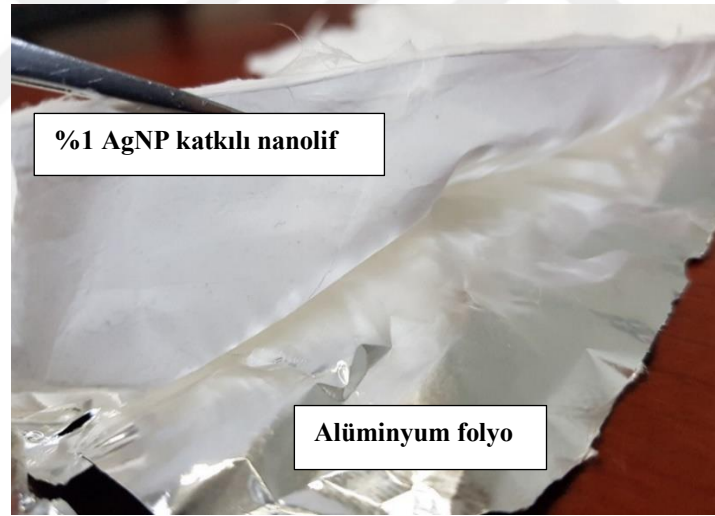
Polilaktik asit (PLA), dimetilformamid ile diklorometan çözücülerinden elde edilen çözeltiye farklı iki bitkiden hazırlanan AgNP farklı oranlarda eklenerek AgNP oranının nanolif karakterizasyonuna etkisi incelenmiştir. Bu amaçla %8 PLA içerikli çözeltisine %0.5 ve %1 oranlarında ayrı ayrı Öksürük bitkisinden elde edilen AgNP, ikinci üretimde %0.5 ve %1 Altınbaşak bitkisinden elde edilen AgNP eklendi.

15 cm iğne-toplayıcı mesafesi, 25 kV, 1 ml/h akış hızı üretim parametreleri ile nanolifler elde edildi. Nanolifler döner tambur şeklindeki toplayıcıya yapıştırılan

alüminyum folyodan bir pens yardımıyla ayrılarak toplandı. Görsellerde son aşama olan folyodan nanoliflerin ayrılma işlemi görülmektedir.

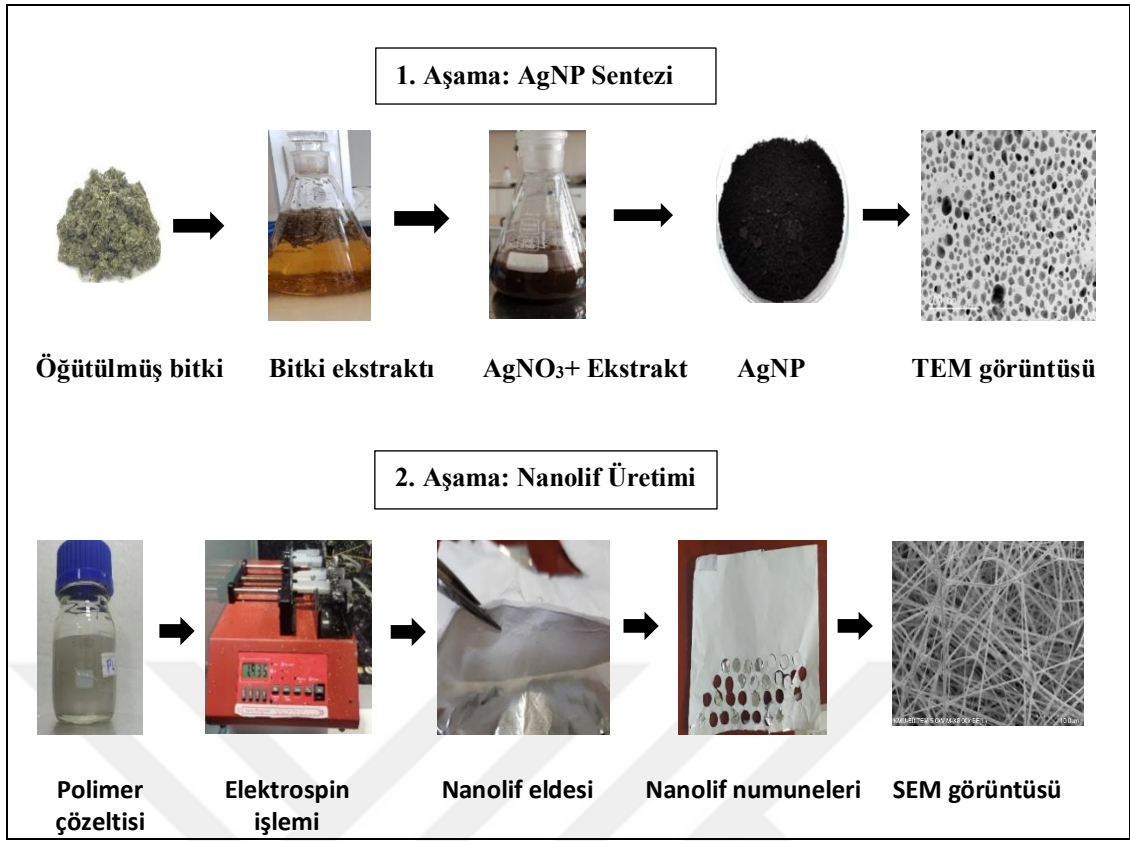


Şekil 4.20. PLA esaslı AgNP (% 0.5) katkıli nanolif; alüminyum folyodan ayrılması işlemi



Şekil 4.21. PLA esaslı AgNP katkıli (%1) nanolif; alüminyum folyodan ayrılması işlemi

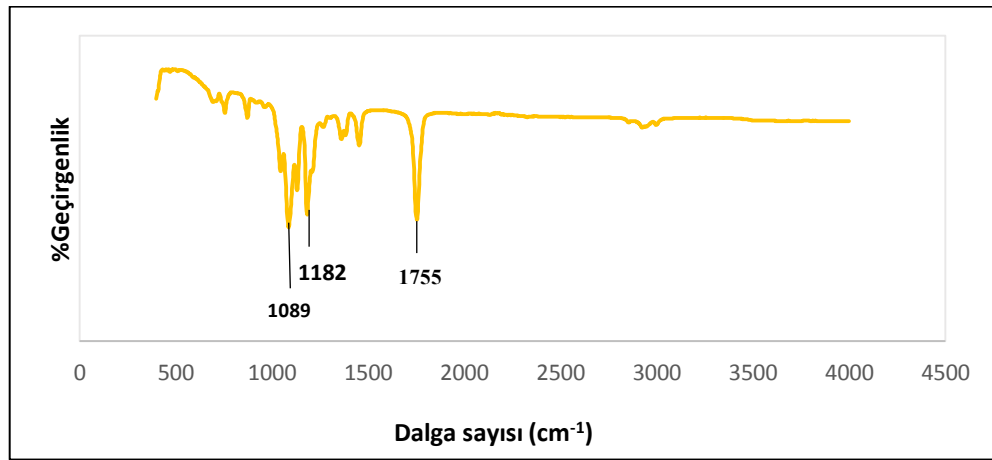
AgNP katkıli nanolif üretimi için uygulanan adımlar Şekil 4.22’de gösterilmiştir. İlk aşamada AgNP sentezi, 2. Aşamada AgNP katkıli nanolif üretim adımları görülmektedir.



Şekil 4.22. AgNP katkılı nanolif üretimi için uygulanan adımlar

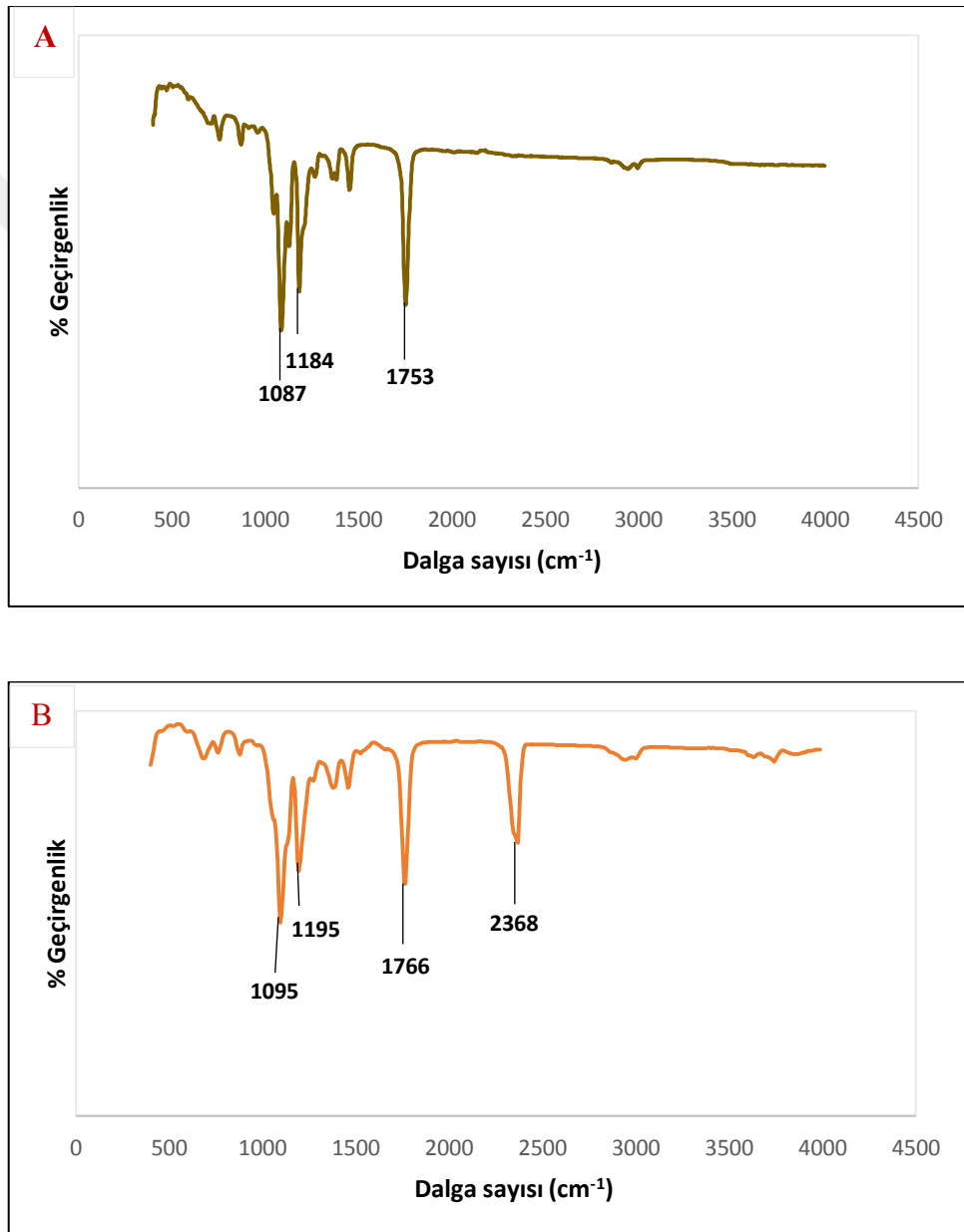
4.6. Nanoliflerin FTIR Analiz Sonuçları

Nanoliflerin kimyasal yapı ve bağlanma şekillerini belirlemek için AgNP katkılı PLA esaslı nanoliflere ait 400-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığındaki FTIR spektrumları incelenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. AgNP içermeyen PLA esaslı nanolife ait FTIR spektrumu

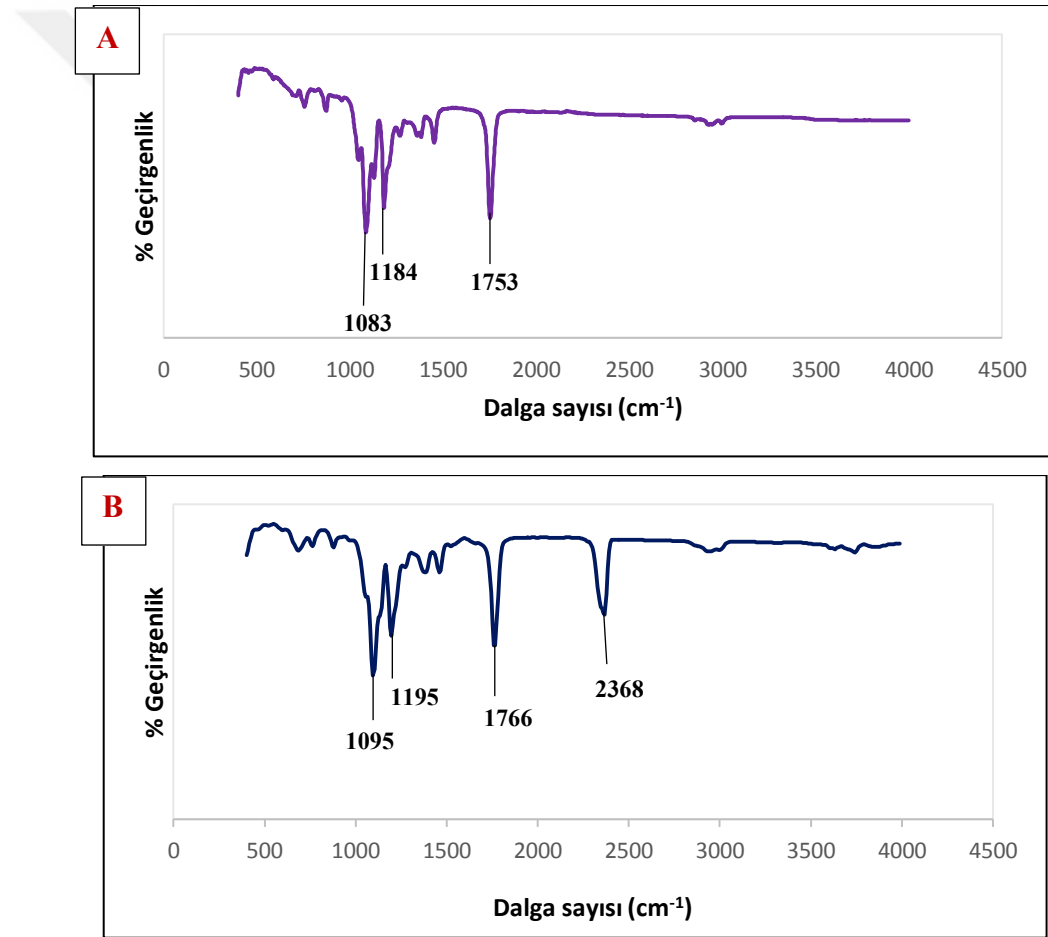
PLA esaslı nanolife ait FTIR spektrumu incelendiğinde; 1755 cm^{-1} bandı C=O gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. 1361 ve 1454 cm^{-1} aralığı ise CH_3 gruplarında C-H'nin simetrik ve asimetrik titreşimlerine karşılık gelir. 1089 ile 1182 cm^{-1} aralığı ise ester gruplarının sebep olduğu -C-O gruplarına karşılık gelmektedir. 2927 cm^{-1} ve $1361\text{-}1454\text{ cm}^{-1}$ aralığı -C-H gruplarının neden olduğu germe ve bükme titreşimleridir (Wei ve ark., 2016).



Şekil 4.24. Öksürük bitkisi içerikli AgNP ile katkılı nanoliflere ait FTIR spektrumları; a. %0.5 AgNP katkılı nanolif, b. %1 AgNP katkılı nanolif

Öksürük bitkisi ile sentezlenen AgNP %0.5 ve %1 oranında PLA polimer çözeltisine eklenmesiyle elde edilen nanoliflere ait FTIR spektrumları (Şekil 4.24) incelendiğinde; %0.5 ve %1 AgNP çeren nanoliflerde PLA'ya ait tipik absorpsiyon bantları sırasıyla; C=O gerilmesine bağlı 1753 ve 1766 cm^{-1} bandı, 1382-1454 cm^{-1} ile 1380-1458 cm^{-1} aralığı ise metil gruplarında C-H'nin simetrik ve asimetrik titreşimlerini belirtir. 1087-1184 cm^{-1} aralığı ve 1095-1195 cm^{-1} ester grubuna ait -C-O grubunu, 1382-1454 cm^{-1} ile 1380-1458 cm^{-1} titreşimleri -C-H gruplarının germe ve bükülmesini belirtir.

Gümüş oranının artmasına bağlı olarak %1 AgNP içeren nanolif örneğindeki 2368 cm^{-1} absorpsiyon bandı hidrokarbon zincirlerinin metil titreşimine atfedilebilir (Kakhki ve ark., 2019).

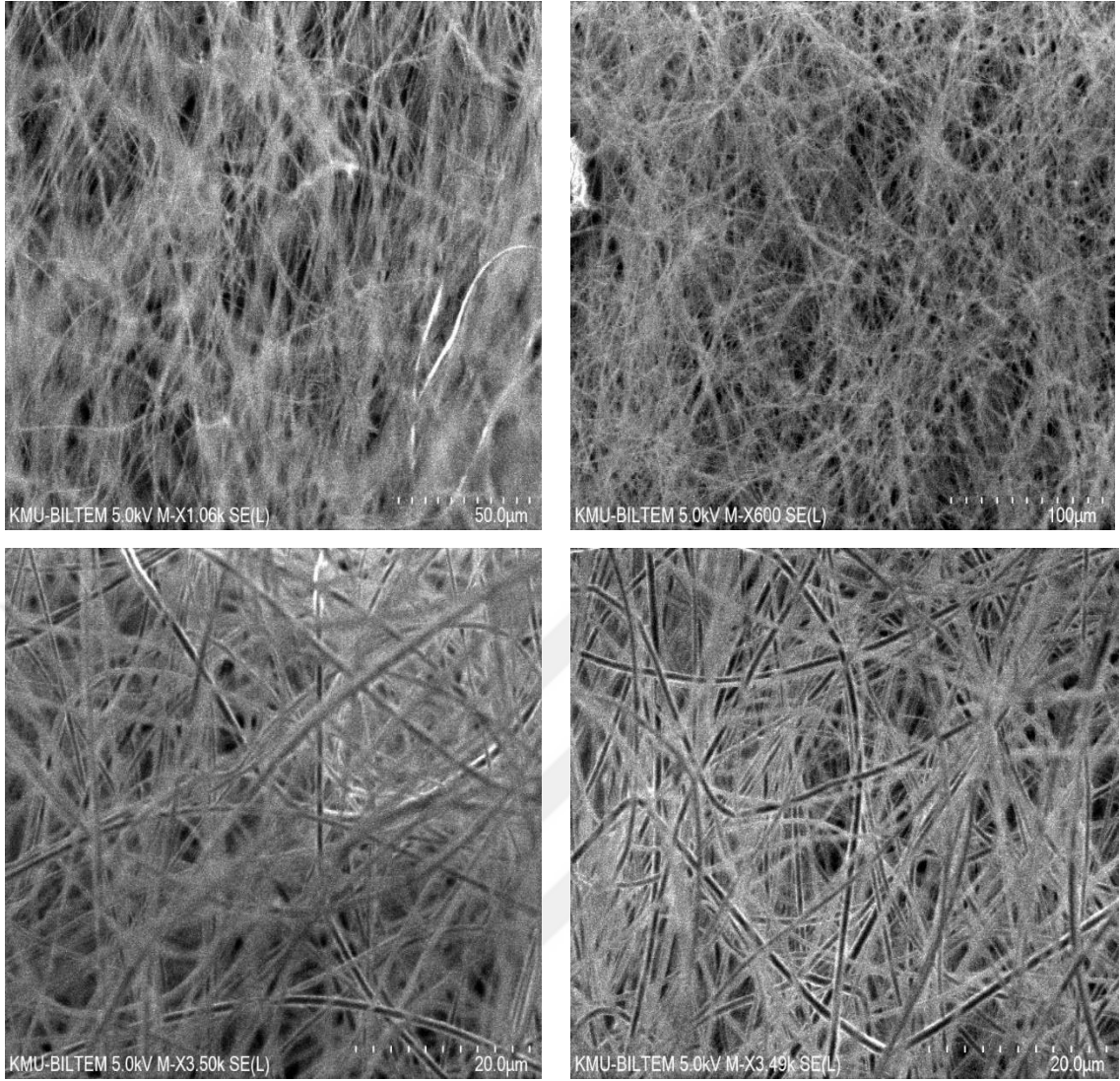


Şekil 4.25. Altınbaşak bitkisi içerikli AgNP ile katkılı nanoliflere ait FTIR spektrumları; a. %0.5 AgNP katkılı nanolif, b. %1 AgNP katkılı nanolif

Altınbaşak bitkisi ile sentezlenen AgNP %0.5 ve %1 oranında PLA polimer çözeltisine eklenmesi ile elde edilen nanoliflere ait FTIR spektrumları incelendiğinde sırasıyla; C=O gerilmesine bağlı 1753 ve 1766 cm^{-1} bandı, 1378-1454 cm^{-1} ile 1382-1458 cm^{-1} aralığı ise metil gruplarında C-H'nin simetrik ve asimetrik titreşimlerine karşılık gelmektedir. 1083-1184 cm^{-1} aralığı ve 1095-1195 cm^{-1} ester grubuna ait -C-O grubunu, 1382-1454 cm^{-1} ile 1380-1458 cm^{-1} -C-H gruplarının germe ve bükme titreşimleridir. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen %1 AgNP içeren PLA nanolif örneğindeki 2368 cm^{-1} absorpsiyon bandı hidrokarbon zincirlerinin metil titreşimini temsil etmektedir. Nanoliflere ait FTIR spektrumu incelendiğinde literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir. AgNP miktarının artmasına bağlı olarak absorpsiyon bantları arasında benzerlik görülmüştür.

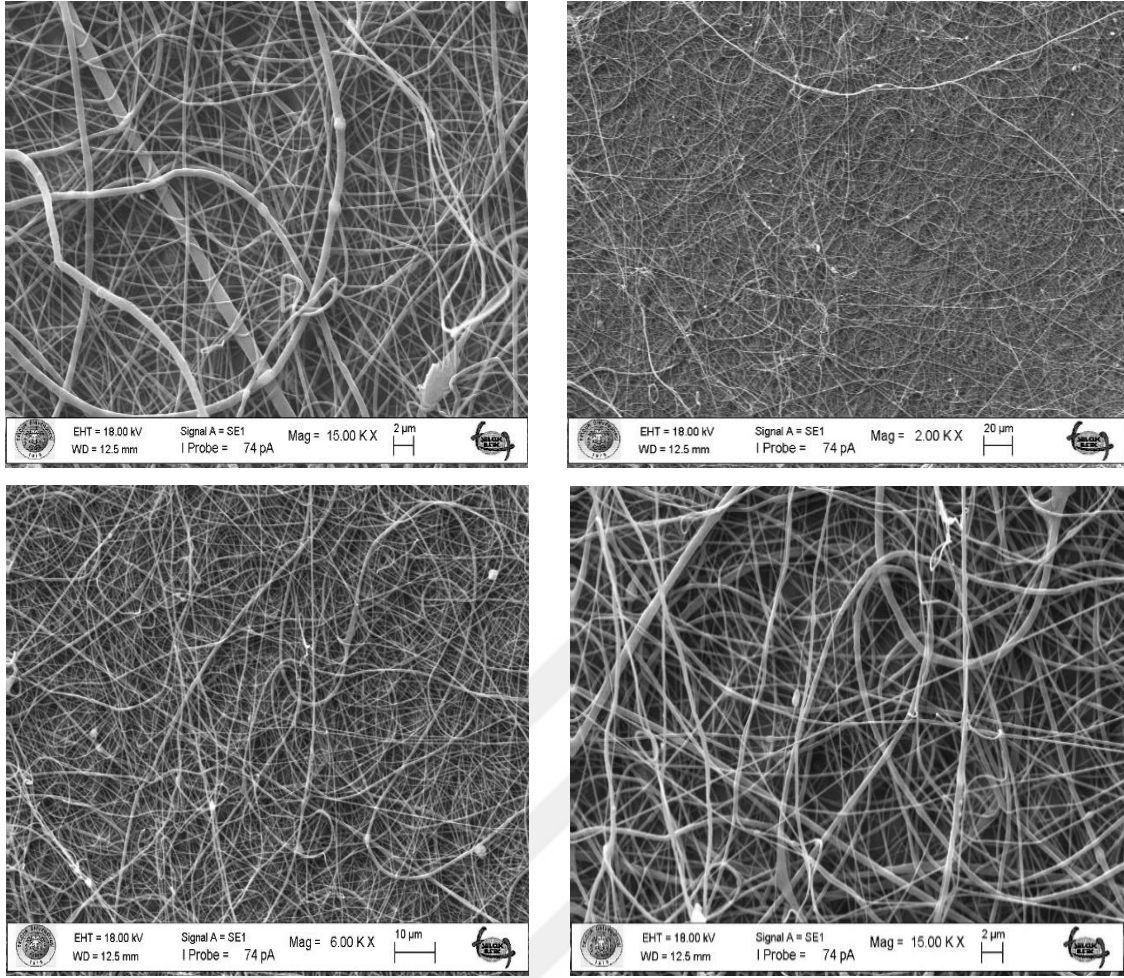
4.7. Nanoliflerin SEM Analiz Sonuçları

Nanoliflerin yüzey yapısı ve morfolojisi hakkında bilgi edinmek amacıyla SEM analizi yapılmıştır (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27). SEM analizi sonucu elde edilen görüntüler ile fiber çapları, fiberler arası boşluklu yapı, fiberlerin dağılımı belirlenmiştir. Nanolifler 15 cm mesafe, 1 ml/h akış hızı, 25 kV voltaj parametreleri ile elektrospin tekniği sonucu üretilmiştir. İmage-j programıyla nanoliflerin çap dağılımı ve ortalama çap değeri bulunmuştur.



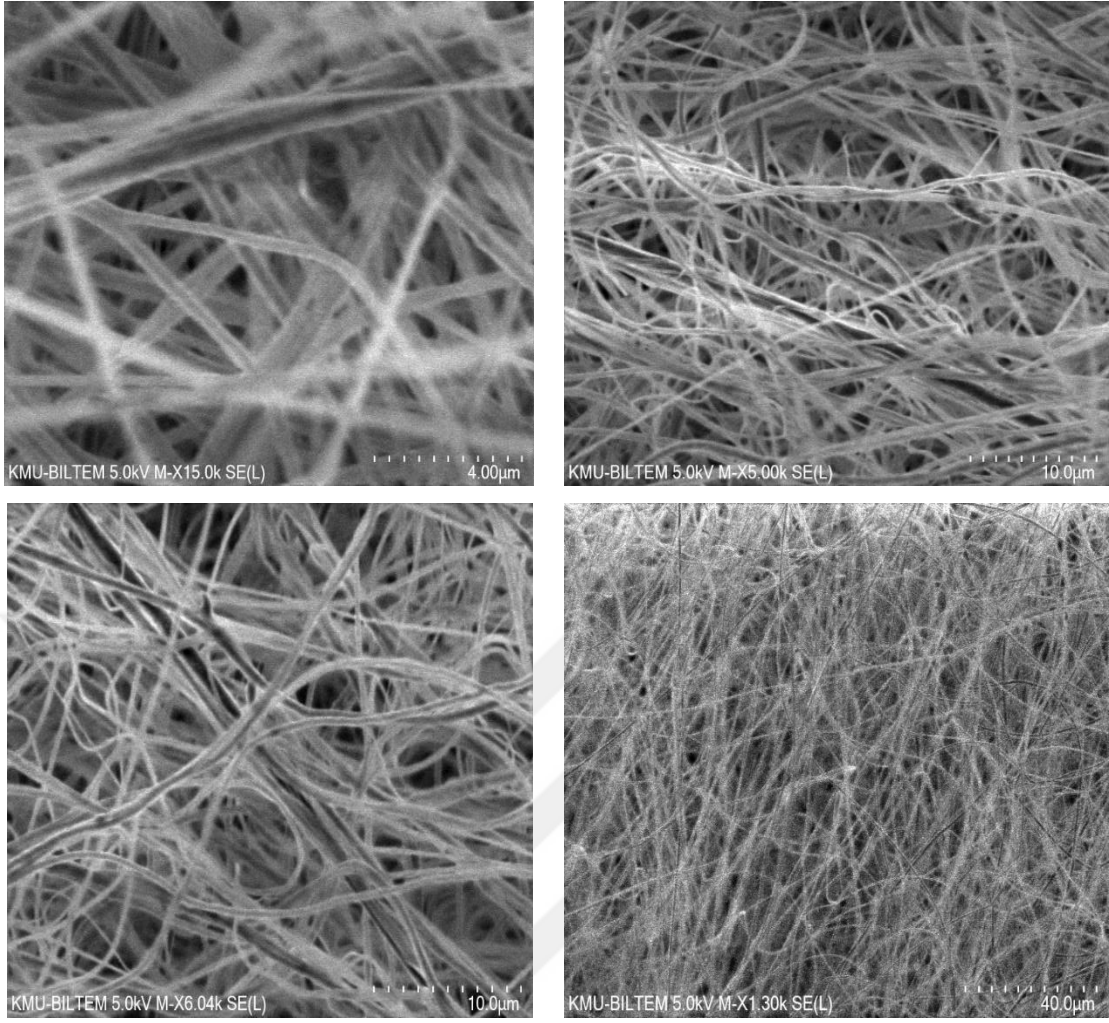
Şekil 4.26. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri

%8'lik PLA polimer çözeltisine, Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP %0.5 oranında eklenmesiyle elektrospindleme sonucu üretilen nanoliflere ait SEM görüntüleri incelendiğinde, liflerin homojen yapıda oluşumu görülmektedir (Şekil 4.26). Fiberler arası boşluklu yapı uygulama alanı açısından avantaj sağlamaktadır. 95-700 nm'ye kadar farklı çaplarda fiberler görülürken, ortalama nanolif çapı 400 nm olarak belirlenmiştir. Fiberlerde boncuk oluşumunun olmadığı görülmüştür.



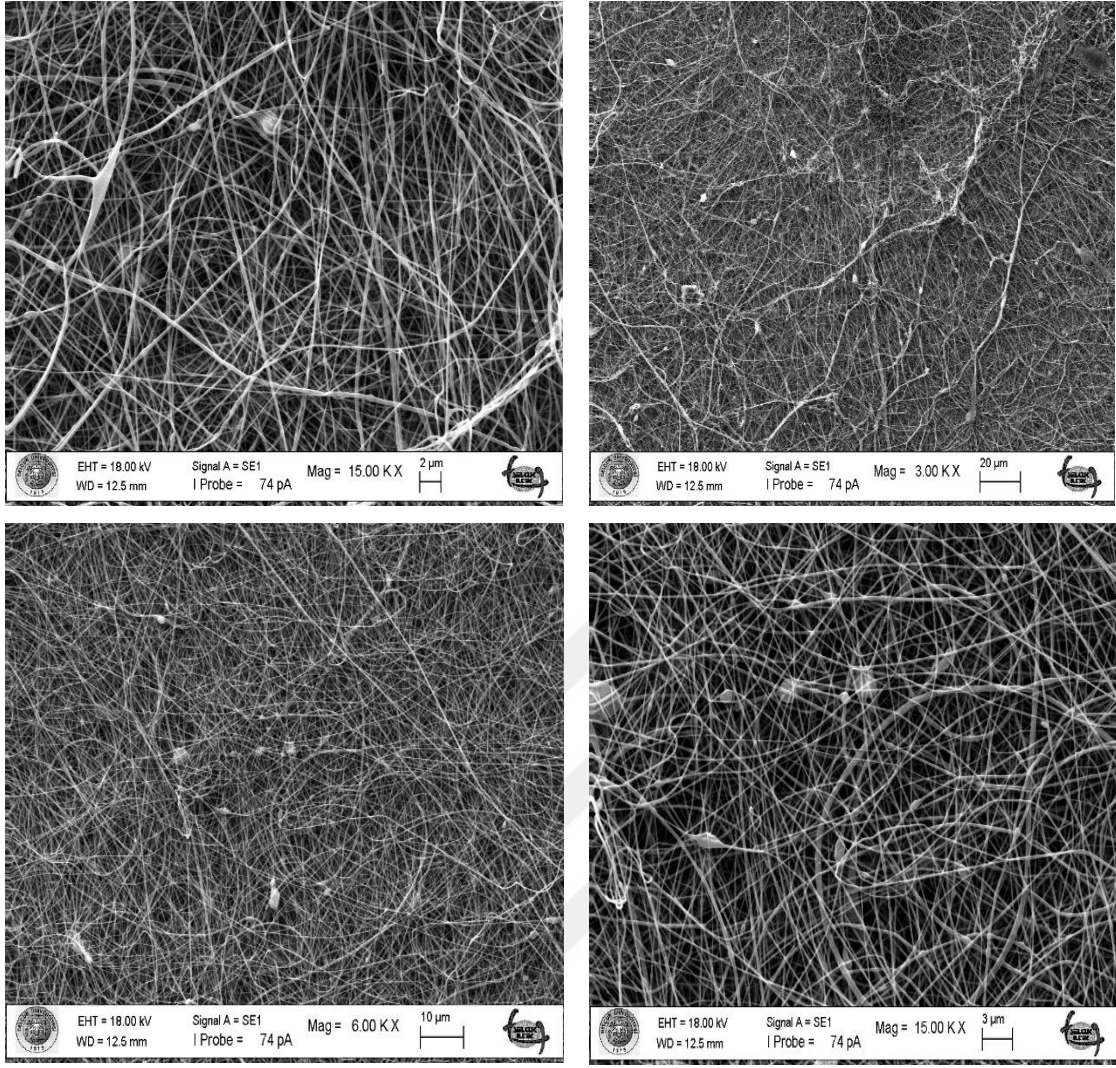
Şekil 4.27. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%1) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri

Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP miktarı %1 oranında artırıldığında nanoliflerde meydana gelen değişimler için SEM görüntüleri incelemiştir (Şekil 4.27). Nanopartikül miktarının artmasına bağlı olarak nanolif çapında artma gözlenmiştir. Yapıdaki fiberlerin ortalama nanolif çapı 490 nm bulunmuştur. %0.5 AgNP içeren nanoliflere karşı daha düzensiz yapı tespit edilmiştir.



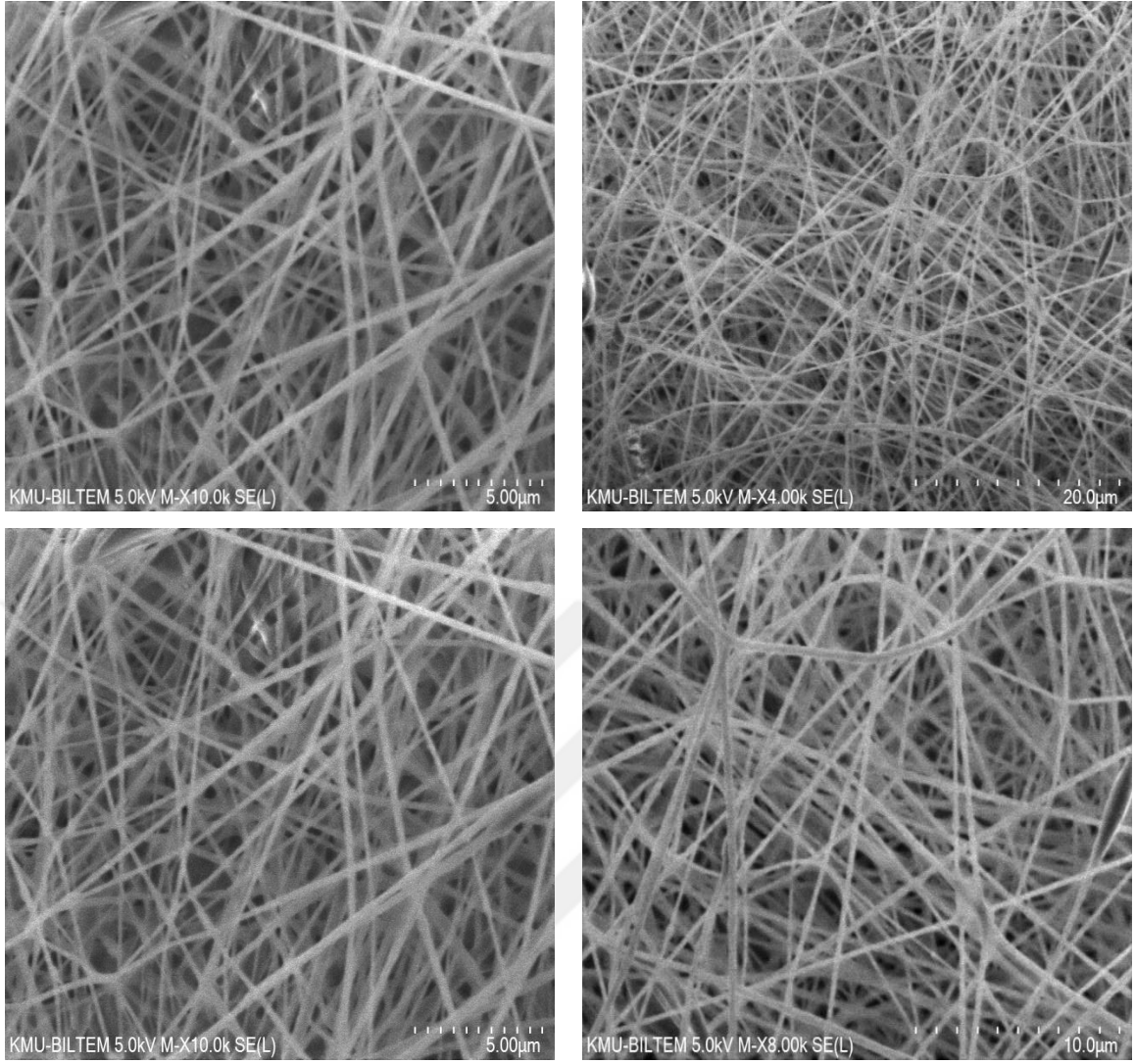
Şekil 4.28. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri

%8'lik PLA içeren %0.5 Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı nanolif, elektrospin metodu ile üretilerek elektron mikroskobu ile yüzey morfolojisi analiz edilmiştir (Şekil 4.28). SEM görüntülerine göre; Nanolifler arası boşluklar bulunmaktadır. Boncuklaşma yapıda yaygın değildir. 85-470 nm arasında değişen nanolif çapları bulunmuştur. Ortalama nanolif çapı 327 nm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.29. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP(%1) katkılı PLA nanolifine ait SEM görüntüleri

Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP miktarının polimer çözeltisine %1 oranında katılması sonucu oluşan yüzey yapısı SEM görüntüleri (Şekil 4.29) incelendiğinde, AgNP miktarının artmasına bağlı olarak nanolif çapında artış ve az miktarda boncuk oluşumu görülmüştür. 140-600 nm arasında değişen farklı çaplarda nanolifler görülmektedir. 335 nm ortalama nanolif çapına sahip olduğu bulunmuştur.

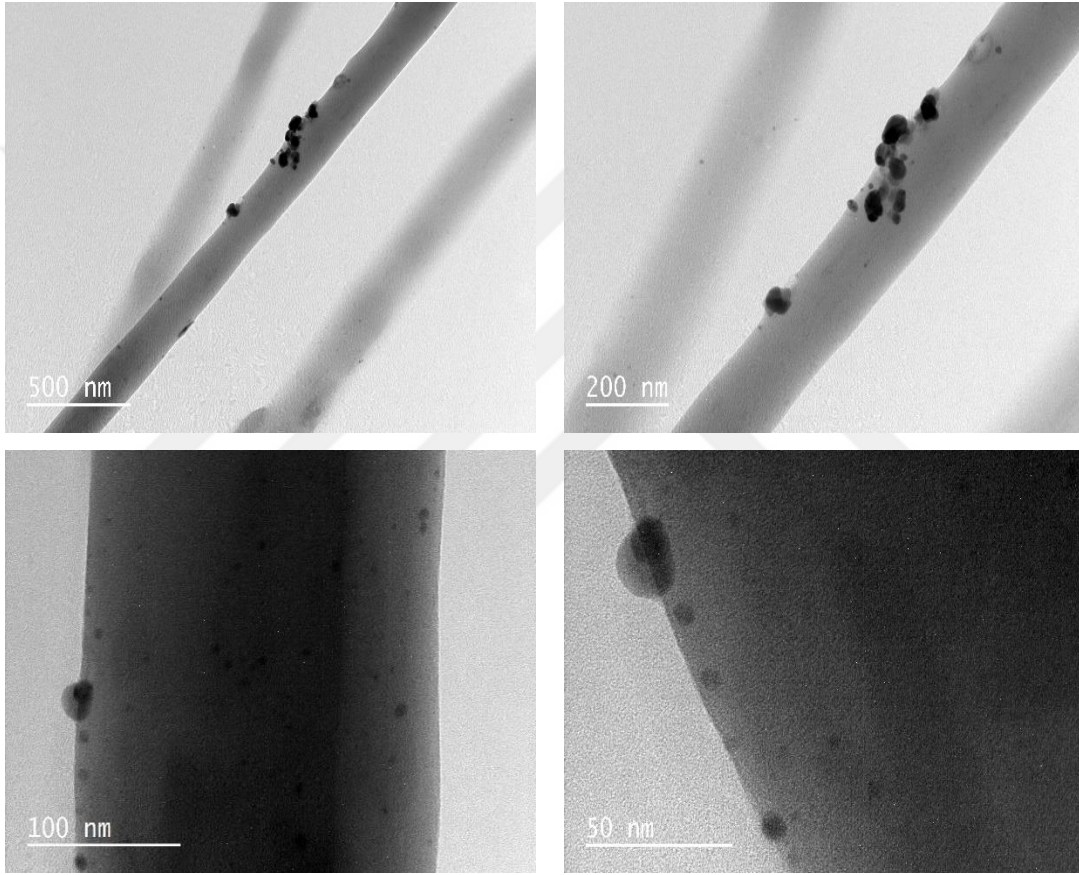


Şekil 4.30. AgNP katkısız PLA esaslı nanoliflerin SEM görüntüleri

%8'lik PLA içeren polimer çözeltisinden elektrospin yoluyla üretilen nanoliflere ait SEM görüntüleri (Şekil 4.30) yüzey yapısı hakkında bilgi edinmek amacıyla incelenmiştir. 40-540 nm arasında değişen nanolif çapları görülmektedir. Ortalama nanolif çapı 230 nm olarak belirlenmiştir. Toplayıcının döner tambur olmasına bağlı olarak gözlenen nanolif yapısı görülmüştür. Yapıda çapraz bağlanmalar mevcuttur.

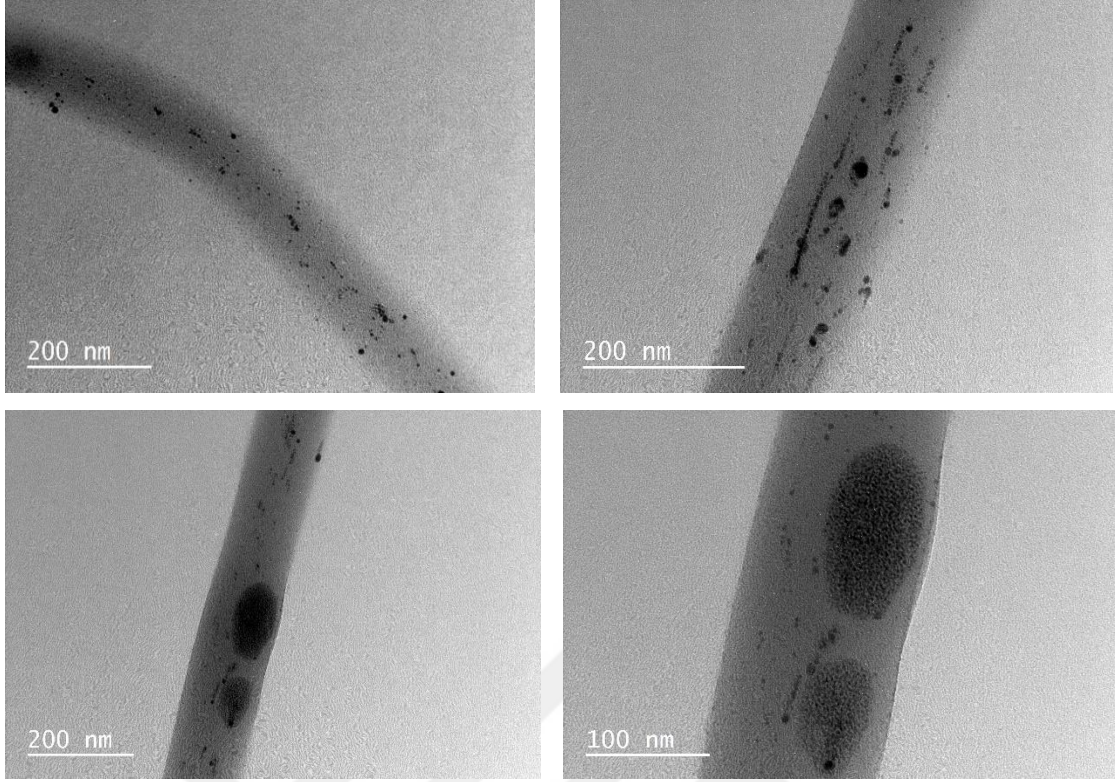
4.8. Nanoliflerin TEM Analizi Sonuçları

PLA polimeriyle Öksürük ve Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı (%0.5 ve %1) nanoliflerin üretilmesi sonucu, AgNP nanolifler içerisindeki görüntüsü geçirimli elektron mikroskobu yardımıyla görüntülenmiştir. AgNP katkılı nanolifler; 15 cm iğne ucu-toplayıcı mesafesi, 1 ml/h besleme hızı, 25 kV voltaj ile elektrosprin cihazında üretilmiştir.



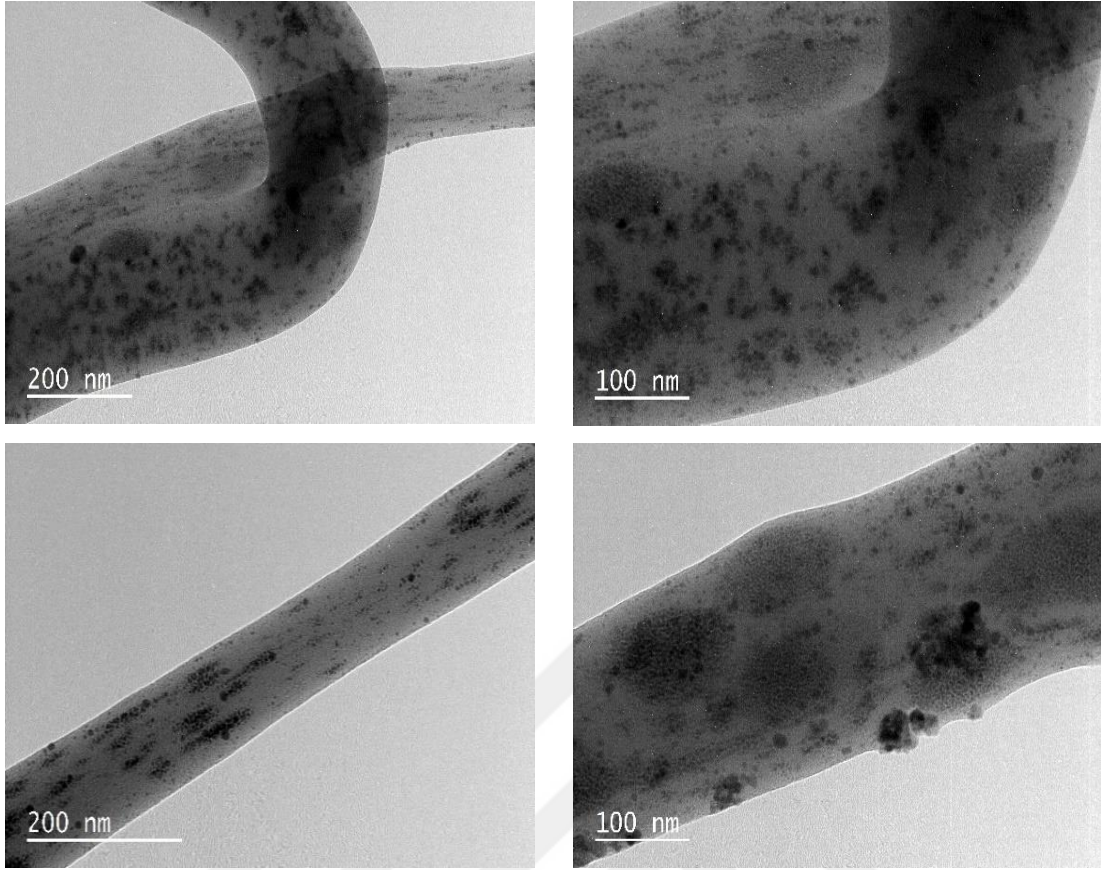
Şekil 4.31. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri

%8'lik PLA polimer çözeltisinden %0.5 Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP eklenmesiyle elde edilen karışımdan elektrosprin metoduyla nanolifler üretildi (Şekil 4.31). Nanoliflere ait farklı büyütme oranlarına sahip TEM görüntüleri incelendiğinde, AgNP nanolifler üzerindeki katkısı noktasal olarak belirgin olmaktadır.



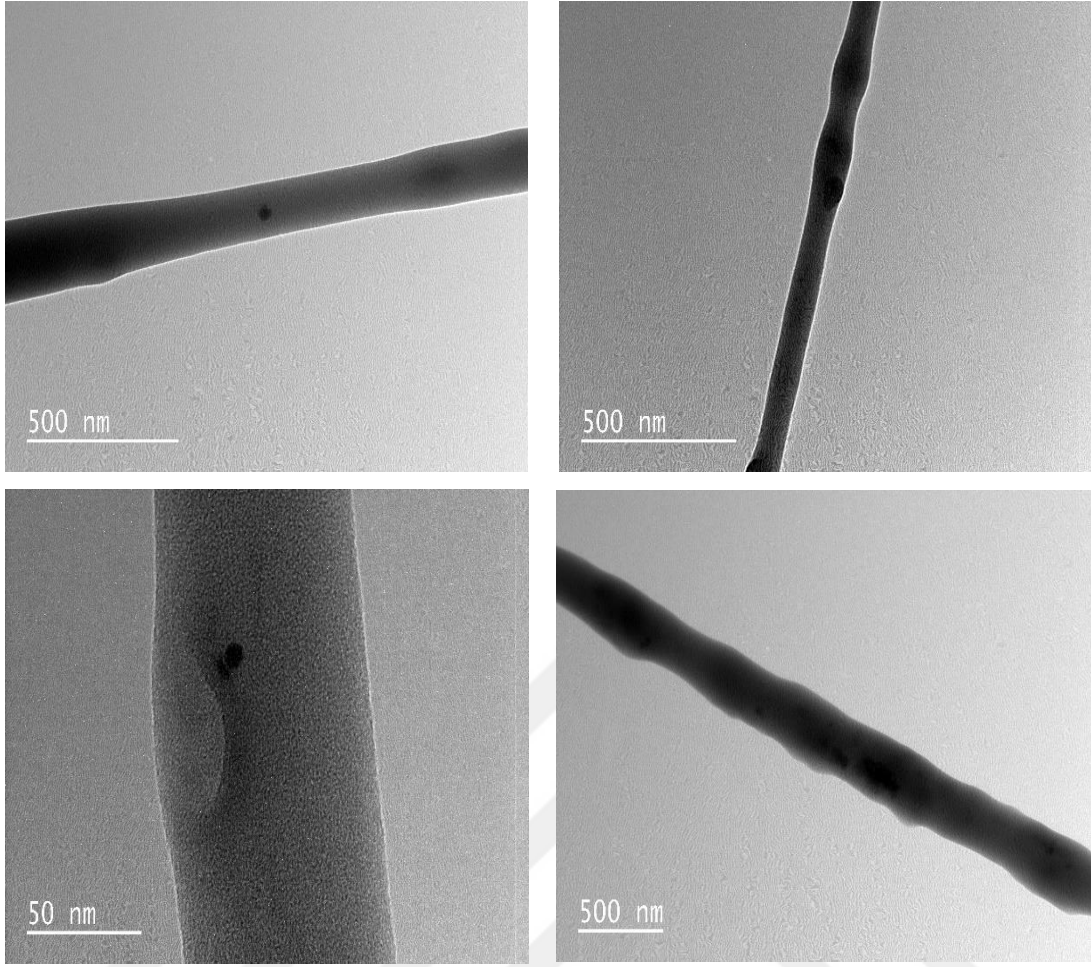
Şekil 4.32. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP (%1) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri

Şekil 4.32’de Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüsü verilmiştir. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP oranı %1’e çıkarıldığında meydana gelen değişimler, yapı içerisindeki partikül yoğunluğunun arttığını göstermektedir. AgNP homojen dağıldığı belirlenmiştir.



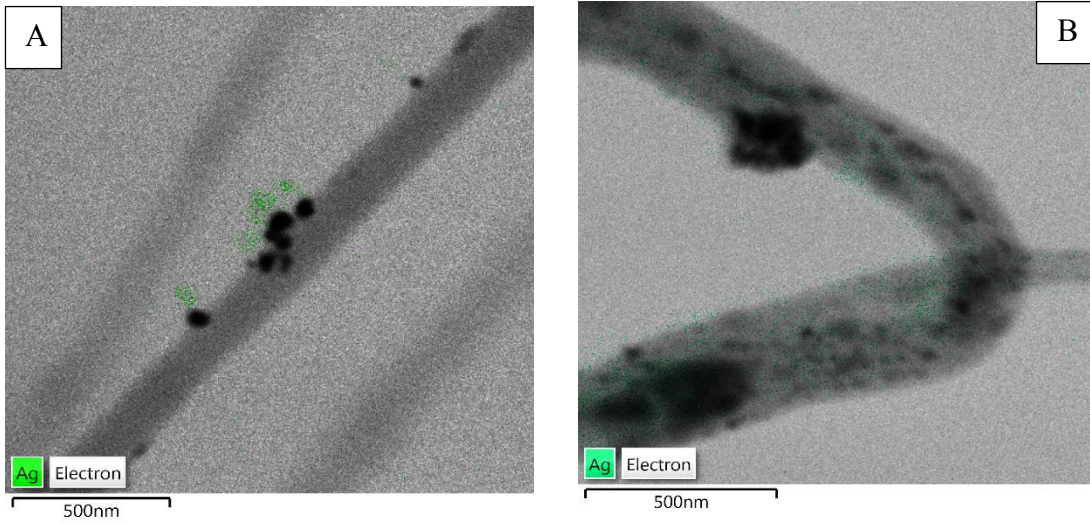
Şekil 4.33. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%0.5) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri

%8'lik PLA polimer çözeltisine %0.5 Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP eklenerek elektrospin metoduyla üretilen nanoliflerin TEM görüntüleri (Şekil 4.33) incelendiğinde; AgNP'in daha sık ve yoğun dağılım gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.34. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP (%1) katkılı PLA esaslı nanoliflerin TEM görüntüleri

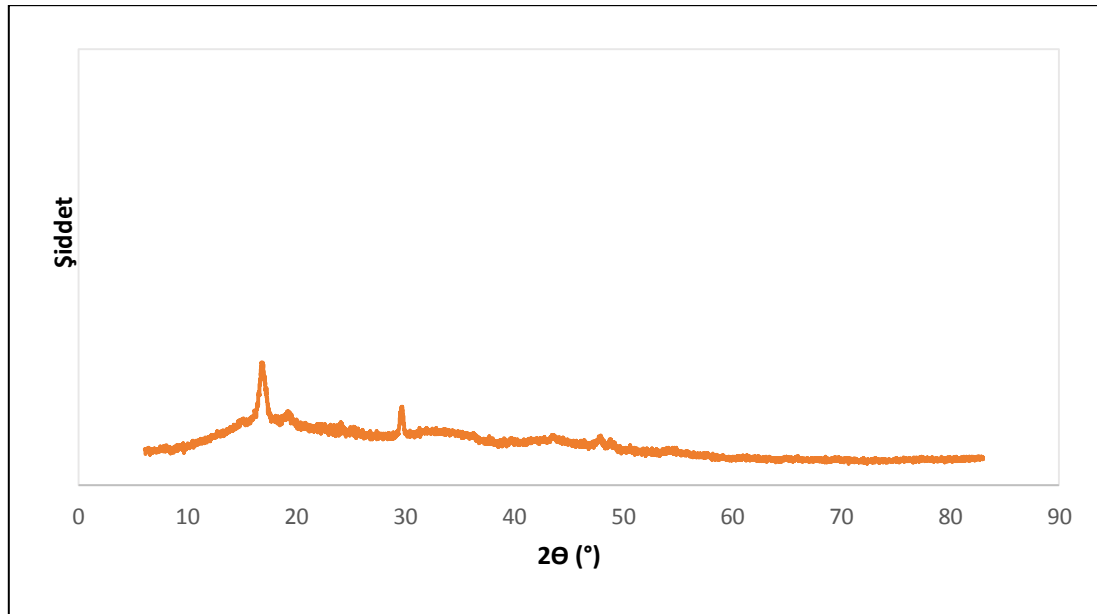
Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP oranı %1 değerine çıkarıldığında, nanopartikül dağılımının yığın formda olmadığı görüntüler sonucunda belirlenmiştir (Şekil 4.34). Nanopartiküller homojen dağılım sağlamıştır.



Şekil 4.35. Gümüş katkılı nanoliflerin elektron mikroskobu görüntüleri; a. Altınbaşak bitki içerikli AgNP katkılı, b. Öksürük bitki içerikli AgNP katkılı

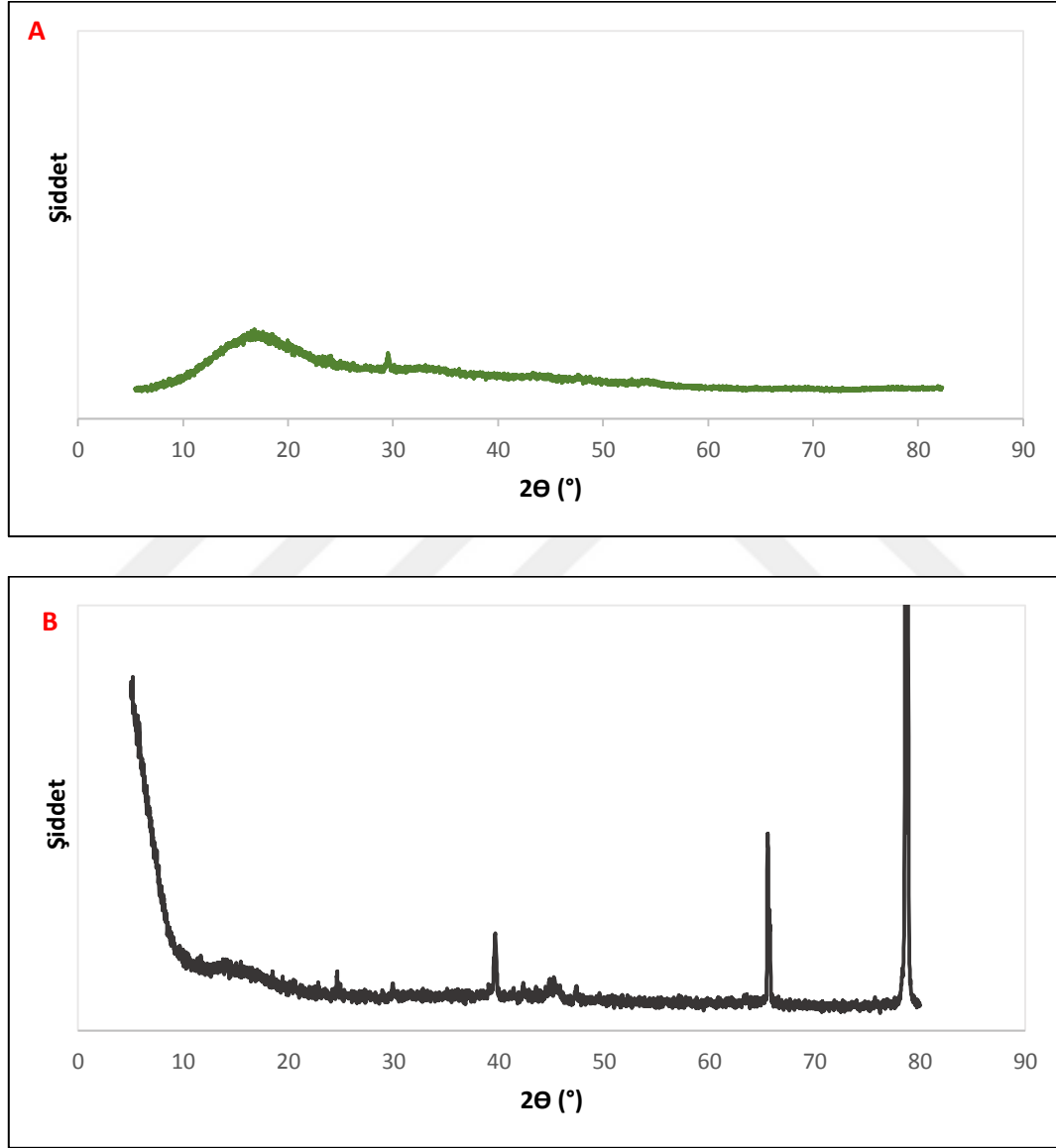
Gümüş katkılı nanolifler üzerindeki elektronların görüntülerinde her iki örnek grubunda da gümüş ile çevrelendiği görülmektedir. Bu görüntüler sonucu nanoliflerdeki gümüşün varlığı doğrulanmaktadır.

4.9. Nanoliflerin XRD Analiz Sonuçları



Şekil 4.36. AgNP katkısız PLA esaslı nanolife ait XRD grafiği

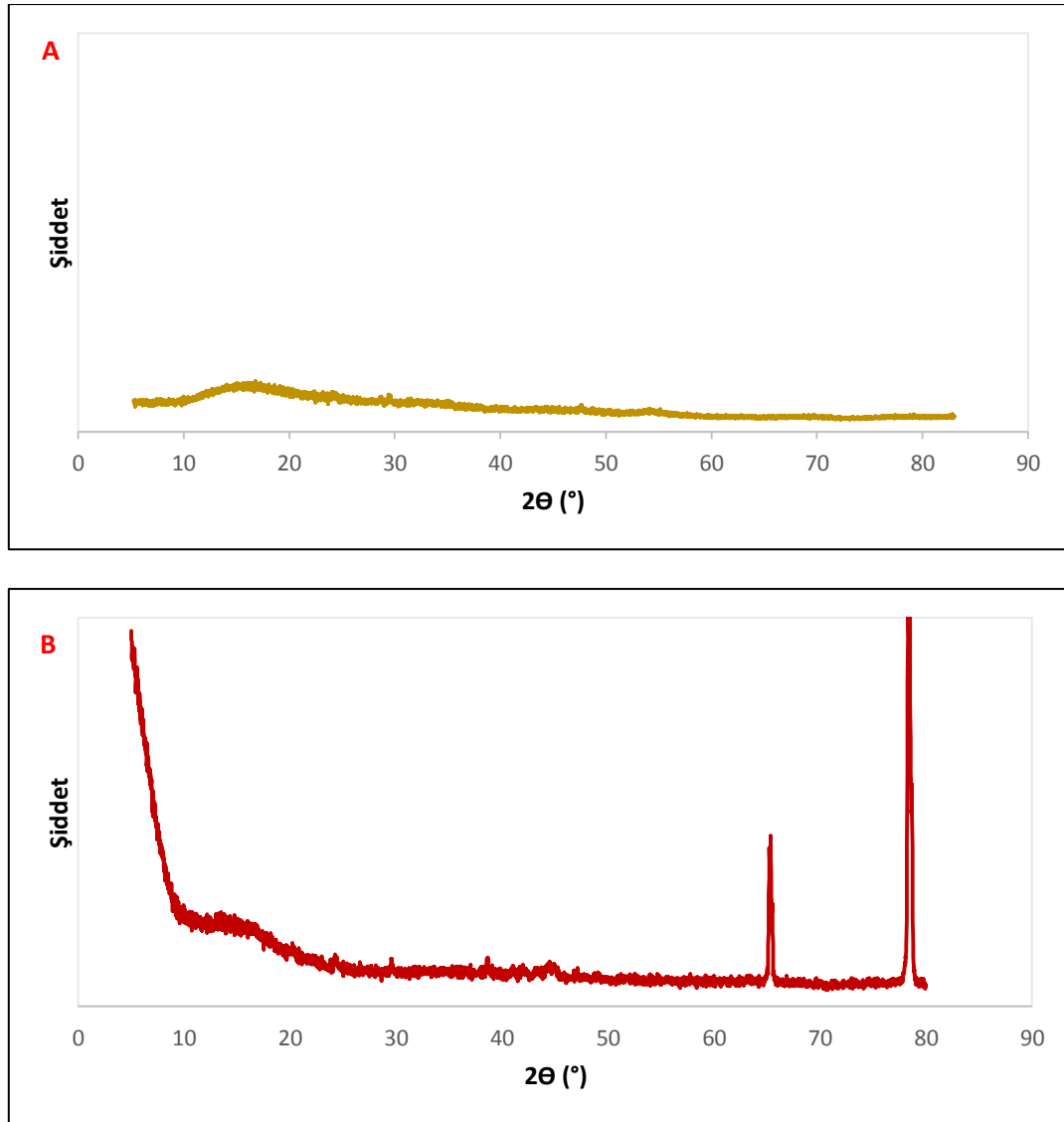
PLA nanolifine ait XRD grafiği incelendiğinde (Şekil 4.36) ; 16.95° tepesinde ortalanmış olan karakteristik PLA kırınım zirvesi görölmektedir. Bununla birlikte $28,61^\circ$ zirvesi de PLA'ya ait karakteristik olduğu görölmüştür. Literatür ile benzer sonuca ulaşılmıştır (Munteanu ve ark., 2014)



Şekil 4.37. Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı PLA esaslı nanolif XRD grafiği; a. %0.5 AgNP katkılı, b. %1 AgNP katkılı nanolif

Öksürük bitkisinden sentezlenen AgNP ile katkılanmış PLA esaslı nanolifler incelendiğinde (Şekil 4.37) ; %0.5 AgNP içeren nanolif PLA karakteristik tepeleri olan 16.41° ve 29.40° göstermiştir. Bu bölgelerde genleşme ve yoğunluğun saf PLA numunesine göre azaldığı görülmektedir.

%1 AgNP içeren nanolifte ise piklerin tepe yoğunluğu ve şiddetinin arttığı göze çarpmaktadır. 39.6° , 47.84° , 65.20° , 78.90° dört tepe noktası AgNP varlığına atfedilir (Shameli ve ark., 2010).



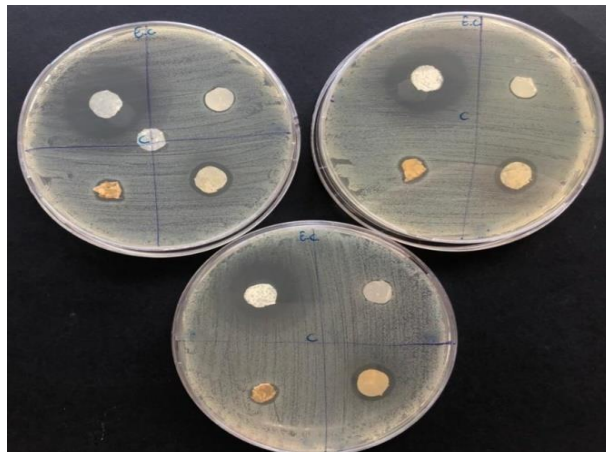
Şekil 4.38. Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı PLA esaslı nanolif XRD grafiği; a. %0.5 AgNP katkılı, b. %1 AgNP katkılı nanolif

Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı nanoliflere ait XRD grafiğinde (Şekil 4.38) ; %0.5 AgNP içeren nanolif sadece 17.3° PLA'ya ait kırınım deseninde düşük yoğunluklu genişmiş pik vermiştir. %1 AgNP katkılı nanolif ise pik şiddeti ve yoğunluğunun artması ile göze çarpmaktadır. En belirgin iki karakteristik pik 65.23° ve 78.38° tepe noktasında AgNP'lere aittir.

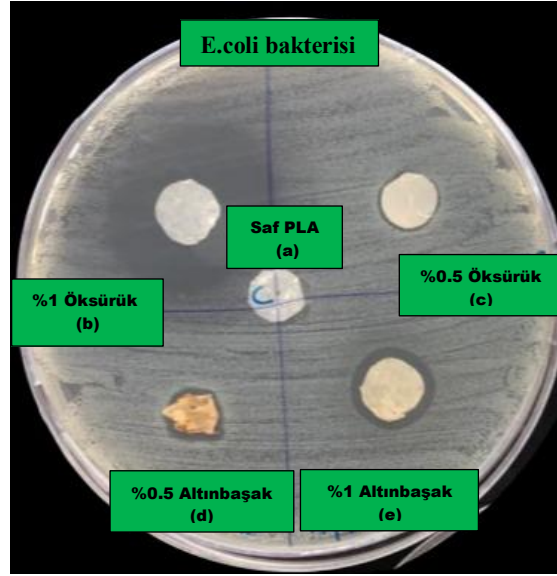
İki gruba ait nanoliflerin XRD grafikleri, AgNP miktarının artması sonucu tepe yoğunluğunun ve şiddetinin artmasıyla sonuçlanmıştır. Bu durum AgNP'lerin PLA tabakaları yüzeyinde ve içerisinde olduğunu göstermektedir (Shameli ve ark., 2010).

4.10. AgNP katkılı PLA esaslı nanoliflerin antibakteriyel etkinliği

Nanoliflerin bakteri etkinliğini incelemek adına *Escherichia coli* bakterisi ile çalışılmıştır. Bakteriyel etkinlik agar disk difüzyon metodu ile belirlenmiştir. Belirlenen bakteri suşları 180 rpm'de 37°C sıcaklıkta inkübasyona tabi tutuldu. İnkübasyon sonucu bakteriler agar üzerine yayılarak eklendi. PLA esaslı AgNP katkılı nanolifler aynı ölçülerde kesilerek dezenfekte amaçlı UV ışığına maruz bırakıldı. Dezenfektasyon işleminin tamamlanmasının ardından nanolifler petri kaplarındaki agar üzerine yerleştirildi. Petri kapları 48 saat boyunca 37°C sıcaklıkta inkübe edildi. Öksürük bitkisi ve Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNP katkılı (%0.5 ve %1 oranlarında) PLA esaslı nanolifler test edildi (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Öksürük ve Altınbaşak bitki içerikli AgNP katkılı (%0.5 ve %1) nanoliflerin antibakteriyel etkinliğinin belirlenmesi



Şekil 4.40. Üretilen nanolifler ile *Escherichia coli* bakterisi üzerinde oluşan inhibisyon zon çapları; (a) Saf PLA, (b) %1 Öksürük bitki içerikli AgNP katkılı, (c) %0.5 Öksürük bitki içerikli AgNP katkılı, (d) %0.5 Altınbaşak bitki içerikli AgNP katkılı (e) %1 Altınbaşak bitki içerikli AgNP katkılı

48 saat inkübasyon işleminin tamamlanmasının ardından, zone çapları ölçülerek bakteriyel etkinlikleri test edildi. Aynı zamanda iki örnek için negatif kontrol plaklarına eklenerek örneğin kontamine olması kontrol edildi.

Negatif kontrol plaklarında bakteri ürememesi sterilizasyon aşamalarının başarılı olduğunu ve nanoliflerle yapılan bakteriyel test sonuçlarının güvenilir olduğunu gösterdi. *Escherichia coli* bakterisi üzerinde yapılan çalışmalarda örneklerin inhibisyon zon çapları mm düzeyinde ölçüldü. %1 Öksürük bitki AgNP içerikli 1 cm çaptaki numune 30 mm zon çapı ile *Escherichia coli* bakterisi üzerinde en etkili AgNP katkılı nanolif numunesi olarak belirlendi. AgNP içermeyen saf PLA numunesi etrafında belirgin zon çapı gözlemlenmedi (Şekil 4.40). Altınbaşak bitki AgNP içerikli numunelerde nanopartikül miktarının artmasının antibakteriyel etkinliği arttırdığı tespit edildi. AgNP'lerin antibakteriyel etkisi nanopartikül miktarının artması ile artış göstermiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Nanopartikül üretiminde maliyeti azaltma ve çevreye zararı olmayan yeşil sentez metodu tercih edilerek AgNP üretimi gerçekleştirilmiştir. AgNP sentezinde AgNO₃ indirgenmesi iki farklı bitki ekstraktı yardımıyla gerçekleştirilerek farklı bitki türlerini indirgeyici ajan olarak literatüre kazandırmak amaçlanmıştır. AgNP sentezi için Öksürük ve Altınbaşak bitkisi tercih edilmiştir. Bitkilerden elde edilen ekstraktların farklı oranlarda AgNO₃ ile karıştırılması sonucu optimum sentez koşullarını belirlemek amacıyla; sıcaklık, pH, karışım süresi gibi parametrelerin etkisi çalışılmıştır. Optimum sentez koşullarının belirlenmesi için UV-Vis spektrofotometre cihazından alınan gümüş pikini oluşturan dalga boyu aralığı ve absorpsiyon değerleri incelenmiştir. Bunun sonucunda ise AgNO₃-bitki ekstraktı hacimce (1:1) oranda, Öksürük bitkisi için pH 5’de, Altınbaşak bitkisi için pH 7’de 24 saat, 25°C sıcaklıkta karıştırılarak nanopartiküllerin yüksek verimde sentezlenebileceği bulunmuştur. Elde edilen nanopartiküllere ait TEM, FTIR, UV-Vis analizleri incelenmesi sonucu; 10 nm çapa sahip Altınbaşak bitkisinden sentezlenen nanopartiküller, 12 nm çapa sahip Öksürük bitkisinden sentezlenen nanopartiküller elde edilmiştir. Sentezlenen AgNP örneklerinin spektrofotometrik analizler gümüşün varlığını doğruladı. Morfolojik analizler ise partiküllerin nanoboyutta olduğunu gösterdi.

Elektrospın metodu ile nanolif üretimi için PLA polimeri biyobozunur uygulamalarda kullanıldığı için tercih edildi. Antibakteriyel etkinlik sağlama amacıyla yeşil sentez metodu ile üretilen gümüş nanopartiküller nanoliflere eklendi. Viskoz sıvının belirlenen voltaj değerinde nanolif üretilmesi için polimer içerikli çözelti hazırlandı. %8 PLA içeren çözeltide DMF ve DCM çözücüler (1:4) oranlarında kullanıldı. Polimer çözeltisine Öksürük ve Altınbaşak bitkisinden sentezlenen AgNPlar %0.5 ve %1 oranlarında eklendi. Elektrospın sisteminde 4 şırınga ile 1 ml/h akış hızı, 25 kV voltaj, 15 cm iğne ucu toplayıcı mesafesinde elektrospın işlemi gerçekleştirildi. Elektrospın cihazında döner tambur toplayıcı alüminyum folyoya sarılarak nanolifler toplandı. Nanoliflerin yapısal tayini FTIR ve XRD cihazları, morfolojik özellikleri SEM ve TEM cihazları ile belirlendi. AgNP katkılı nanoliflerin TEM görüntüsü yapı içerisindeki gümüş varlığını doğruladı.

Nanolif çaplarında ise AgNP miktarının artmasına bağlı olarak artış meydana geldi. SEM analiz sonuçlarına göre 200-400 nm aralığında ortalama nanolif çapı bulundu.

Nanolifler arası boşluklu yapılar tespit edildi. Bu durumun nanoliflerin uygulama alanlarını genişleteceği düşünölmektedir. XRD analiz sonuçlarında ise, PLA'ya ait karakteristik pikler literatür ile uyum sağladı. AgNP miktarının artmasına bağlı olarak grafiklerde pik yoğunluğu ve şiddetinin arttığı belirlendi. Literatürdeki alışmalar bu durumun PLA katmanları arasında ve içerisinde Ag varlığı ile doğrulamaktadır. FTIR spektrumları incelendiğinde, spektrumlarda literatür ve hazırlanan örnekler arası benzerlik göröldü.

Antibakteriyel etkinlik *Escherichia coli* bakterisi ile test edilmiştir. Sterilizasyon ve inkübasyon işlemlerinin ardından inhibisyon çapları incelendiğinde; Altınbaşak bitkisinden sentezlenen %1 AgNP katkılı nanolifin diğerlerine oranla daha belirgin çap gösterdiği görölmüştür. 1 cm nanolif örneği 30 mm inhibisyon zon çapına sahiptir. AgNP içeren her örneğin inhibisyon zon çapına sahip olduğu göröldü. Kontrol numunesi olan AgNP katkısız PLA nanolif örneğinin inhibisyon zon çapına sahip olmadığı belirlendi. AgNP katkısı antibakteriyel etkinliğe sebep olmaktadır. Bunu AgNP katkısı arttıkça inhibisyon zon çapının artması, katkısız nanolifin inhibisyon zon çapına sahip olmaması kanıtlamaktadır.

5.2. Öneriler

AgNP'lerin bitkiler yardımıyla sentezlenmesi evre kirliliğini azaltma, maliyeti düşürmede önemli avantajlar sağlamaktadır. Gümüşün antibakteriyel ve antimikrobiyal etkilerinin yanı sıra bu özelliği taşıyan bitkilerin de kullanılması avantaj sağlamaktadır. Elektrospin ile üretilen nanoliflerin boşluklu yapıda olması, mukavemet değerinin yüksek olması aynı zamanda hafif olması; uzay, havacılık, otomotiv ve savunma sektörlerinde kullanımı için avantaj sağlar. AgNP eklenerek nanolifte oluşan boşluklu yapının aynı zamanda antibakteriyel özellikte olması, PLA polimerinin biyobozunur olması, üretilen bu nanoliflerin doku ve iskelet mühendisliği, gıda ambalajlama, tekstil alanında kullanılmasında yardımcı olabilir. Antibakteriyel etkinliği farklı bitki türleriyle sentezlenen AgNP'lerin, nanolifteki oranını arttırarak sentezlemek antibakteriyel etkinliğinin artmasına sebep olduğu için farklı AgNP oranları denenebilir.

KAYNAKLAR

- Aadil, K. R., Mussatto, S. I. ve Jha, H., 2018, Synthesis and characterization of silver nanoparticles loaded poly (vinyl alcohol)-lignin electrospun nanofibers and their antimicrobial activity, *International journal of biological macromolecules*, 120, 763-767.
- Akçay, F. A. ve Avcı, A., 2018, Synthesis of Metal Nanoparticles by Bacteria, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6 (4), 408-414.
- Akçayöz, D., Köken, K., Kunt, G., Müldür, İ. B. ve Saykal, S. G., 2010, Elektron Mikroskopun Tipta Kullanım Alanları.
- Almajhdi, F. N., Fouad, H., Khalil, K. A., Awad, H. M., Mohamed, S. H., Elsarnagawy, T., Albarrag, A. M., Al-Jassir, F. F. ve Abdo, H. S., 2014, In-vitro anticancer and antimicrobial activities of PLGA/silver nanofiber composites prepared by electrospinning, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 25 (4), 1045-1053.
- Altınışik, M., 2004, Spektroskopik analiz yöntemleri, *Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Anabilim Dalı Ders Notları*.
- Arıcı, A., 2018, Elektrosin metodu ile hazırlanan polimer/MWCNT nanofiberlerin özelliklerine MWCNT çapının ve uzunluğunun etkisinin araştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ateş, H. ve Bahceci, E., 2015, Nano malzemeler için üretim yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3 (2), 483-499.
- Augustine, R., Kalarikkal, N. ve Thomas, S., 2016, Electrospun PCL membranes incorporated with biosynthesized silver nanoparticles as antibacterial wound dressings, *Applied Nanoscience*, 6 (3), 337-344.
- Awwad, A. M., Salem, N. M. ve 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.
- Beşergil, B., 2016, Nanoteknoloji Uygulamada Beş Jenerasyon, <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/nanoteknoloji-uygulamada-bes-jenerasyon.html>: [13.05.2020].
- Beşergil, B., 2020, Nanobilim ve Nanoteknoloji, <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/nanobilimve-nanoteknoloji-nanoteknoloji.html>: [13.05.2020].
- Beypazar, Ö., 2013, Nanolif üretiminde çap kontrolü, *Namık Kemal Üniversitesi*, 20-22.
- Büyükbekar, B. Z., 2015, Asetat ve klorür metal tuzları kullanılarak $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) nanoliflerin üretilmesi ve karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Can, N. ve Ersoy, M., 2014, Nanolif Yapılı Polimerik Doku İskeleleri, *Tekstil ve Mühendis*, 21 (95).
- Celep, Ş. ve Koç, E., 2007, Nanoteknoloji Ve Tekstilde Uygulama Alanları, 44-45.
- Chen, Y., Lin, J., Fei, Y., Wang, H. ve Gao, W., 2010, Preparation and characterization of electrospinning PLA/curcumin composite membranes, *Fibers and Polymers*, 11 (8), 1128-1131.
- Çelebioğlu, A., Kayacı, F., Deniz, A. E. ve Uyar, T., 2010, Elektrosin Yöntemi ile Fonksiyonel Nanofiberin Geliştirilmesi.
- Çevik, H., 2016, Polimer-polimer hibrit nanolif yüzeylere proteaz enzimi immobilizasyonu, *Uludağ Üniversitesi*.

- Çiftçi, Ş., Fethiye, G., Aksoy, K. Ve Aksoy, S. A., 2015, Nanokil Katkılı PAN Nanolif Sentezi ve Karakterizasyonu, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 10 (1), 107-117.
- Dağlıoğlu, Y., 2018, Nanopartikül Karakterizasyon Yöntemleri ve Ekotoksisite Deneylerindeki Önemi, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (1), 1-17.
- Dinç, H., 2013, Polivinil borat sentezin; elektrospin yöntemiyle nanofiber hazırlanması ve karakterizasyonu, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Dinçer, K., Önal, G., Selbes, M. Ve Akdemir, A., 2018, Nanofiber Tabakalı Hava Filtrelerinin Partikül Yakalama Performanslarının İncelenmesi, *Journal of Natural & Applied Sciences*.
- Doğanyigit, Z., Küp, F. Ö., Kaymak, E., Aslı, O., Burçin, O. Ve Akin, A. T., 2019, AgNPlerin Üzüm Çekirdeği Ekstraktının Endotoksik Kalp Dokusundaki Histolojik Değişiklere Ve Tnf Ve Bnp Ekspresyonuna Etkisi Effect Of Grape Seed Extract Of Silver Nanoparticles On Tnf-? And Bnp Expression And Histologic Changes In Endotoxic Heart Tissue, *Bozok Tıp Dergisi*, 9 (3), 87-96.
- Ediz, E., 2018, Phaseolus vulgaris l.'den AgNPlerin biyosentezi ve antifungal etkinliklerinin incelenmesi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Eğri, Ö., 2020, Production of lavender oil loaded antibacterial polymeric membranes, *Cumhuriyet Science Journal*, 41 (1), 160-168.
- El-Aziz, A., Abeer, R., Al-Othman, M. R., Eifan, S. A., Mahmoud, M. A. Ve Majrashi, M., 2013, Green Synthesis Of Silver Nanoparticles Using Aspergillus Terreus, *Digest Journal Of Nanomaterials & Biostructures (Djnb)*, 8 (3).
- Elmalı, C., Muhammet, U., Şahin, E. Ve Çirkin, D. S., 2020, Elektro Çekim Yöntemi İle Çörek Otu Ve Yün Yağı Takviyeli Yara Örtüsü Geliştirilmesi, *International Periodical Of Recent Technologies In Applied Engineering*, 2 (1), 1-14.
- Fıratbaran, M., 2019, Prunus avium kiraz yaprağı özütü ile AgNP (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10 (1), 221-227.
- Göktepe, F. ve Mülâyim, B. B., 2015, Elektrik Alan Lif Çekimi (Elektrospinning) İle Nano Liflerden İplik Üretim Yöntemleri, *Journal Of Textiles & Engineers/Tekstil Ve Mühendis*, 22 (99).
- Gürmen, S., Ebin, B. ve İTÜ, M., 2008, Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1, *Metallurji Dergisi*, 150, 31-38.
- İçoğlu, H. İ., 2019, İğne Çapı ve Besleme Hızının Elektro Çekim Tekniğiyle Üretilmiş Poliakrilonitril Nanoliflerinin Morfolojisine Etkisi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34 (4), 163-170.
- İrfan, M., Uddin, Z., Ahmad, F., Rasheed, A., Qadir, M. B., Ahmad, S., Aykut, Y. ve Nazir, A., 2021, Ecofriendly development of electrospun antibacterial membranes loaded with silver nanoparticles, *Journal of Industrial Textiles*, 15280837211012590.
- Kakhki, R. M., Hedayat, S. ve Mohammadzadeh, K., 2019, Novel, green and low cost synthesis of Ag nanoparticles with superior adsorption and solar based photocatalytic activity, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30 (9), 8788-8795.
- Karahan, G., 2017, Elektrospinleme yöntemi ile poliakrilik asit/polietilenimin (PAA/PEI) nanoliflerin hazırlanması ve çeşitli termal spektroskopik ve mikroskopik özelliklerinin incelenmesi, *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Karakoç, Z., Ketani, M. A. Ve Ketani, Ş., 2016, Mikroskopların Çalışma Mekanizması Ve Çeşitleri, *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* (1), 1-6.

- Katircioğlu, Z., 2012, Kolay ve tek seferde sulu ortamda çevreci altın, gümüş ve palladyum nano parçacıklarının sentezlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Keskin, A. S., 2011, Nano Boyutta Gümüş Sentezi ve Tetra Pirollerle Etkileşimlerinin İncelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Korkmaz, N., 2019, Saintpaulia sulu yaprak özütü kullanılarak sentezlenen AgNPlerin antibakteriyel ve antibiyofilm aktivitesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (4), 2225-2234.
- Kozanoğlu, G. S., 2006, Elektrosinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Köroğlu, M., 2013, Ultrasonik Sprey Piroiliz Ve Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi İle (usp-hr) Nano Yapılı Gümüş-Bakır Alaşım Partiküllerinin Üretimi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kumar, P. V., Pammi, S., Kollu, P., Satyanarayana, K. ve Shameem, U., 2014, Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Boerhaavia diffusa plant extract and their anti bacterial activity, *Industrial Crops and Products*, 52, 562-566.
- Li, J., Connell, S. ve Shi, R., 2010, Biomimetic architectures for tissue engineering, *Biomimetics, Learning from Nature*, 488-505.
- Majd, S. A., Khorasgani, M. R., Mahna Mapar, M., Asadollahi, N. Z. M., Talebi, A. ve Karimi, H., 2017, The Possibility of Diabetic Wound Healing Using Electro spun PLA Nano Fibers.
- Meng, Y., 2015, A sustainable approach to fabricating Ag nanoparticles/PVA hybrid nanofiber and its catalytic activity, *Nanomaterials*, 5 (2), 1124-1135.
- Munteanu, B. S., Aytac, Z., Pricope, G. M., Uyar, T. ve Vasile, C., 2014, Polylactic acid (PLA)/Silver-NP/VitaminE bionanocomposite electrospun nanofibers with antibacterial and antioxidant activity, *Journal of nanoparticle research*, 16 (10), 1-12.
- Nartop, P., 2019, Yeşil Sentez Yolu İle AgNPlerin Elde Edilmesinde Bitkisel Ekstrelerin İndirgeyici Ajan Olarak Kullanılması, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi-C Yaşam Bilimleri Ve Biyoteknoloji*, 8 (1), 50-60.
- Özdoğan, E., Demir, A. ve Seventekin, N., 2006a, Nanoteknoloji ve tekstil uygulamaları, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16 (3), 160-168.
- Özdoğan, E., Demir, A. Ve Seventekin, N., 2006b, Lotus Effect, *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 16 (1), 287-290.
- Özkaya, C., 2015, Perilendiimid türevi moleküllerin Langmuir-Blodgett (LB) ince film karakterizasyonunun incelenmesi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ramakrishna, S., 2005, An introduction to electrospinning and nanofibers, World Scientific, p. 10-390.
- Remya, R., Rajasree, S. R., Aranganathan, L. ve Suman, T., 2015, An investigation on cytotoxic effect of bioactive AgNP synthesized using Cassia fistula flower extract on breast cancer cell MCF-7, *Biotechnology Reports*, 8, 110-115.
- Saka, E. ve Gülel, G., 2015, Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları, *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 26 (2), 52-57.
- Sarıbuğa, S., 2014, Manyetik Nanopartiküllerin Analitik İncelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Sekmen, E., 2019, Bazı Metal Nanopartiküllerin Çeşitli Biyoekstreler İle Yeşil Sentezi, Karakterizasyonu Ve Grafit Elektrot Modifikasyonunda Kullanımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Shameli, K., Ahmad, M. B., Yunus, W. M. Z. W., Ibrahim, N. A., Rahman, R. A., Jokar, M. ve Darroudi, M., 2010, Silver/poly (lactic acid) nanocomposites: preparation, characterization, and antibacterial activity, *International journal of nanomedicine*, 5, 573.

- Söğüt, O. ve Çelebi, B., 2020, Daha temiz analizler: Yeşil kimya, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (1), 160-175.
- Söylemez, E., 2016, Polivinil alkol/polietilenimin (PVA/PEI) kompozit nanoliflerinin elektrospinleme yöntemi ile üretimi, karakterizasyonu ve çeşitli kullanım alanlarına uygulanması, *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Süslü, A., 2009, Elektro-eğirme yöntemi ile nanofiber ve nanotüp üretimi, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Tektemur, E. Y. ve Bayraktar, E. T. D., 2011, Poli (laktik asit) üretimine işletme parametrelerinin etkisi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Tort, S. ve Acartürk, F., 2015, Yara Tedavisi ve Nanolif Yapısındaki Yara Örtüleri, *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 4 (2), 68-78.
- Turan, Ş., 2014, Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bazı tıbbi bitkilerin yapraklarında ağır metal ve mineral besin element içeriklerinin tayini.
- Turgut, O., Keskin, H. L. ve Avşar, A. F., 2011, Nanoteknoloji Nedir?, *Türk Tıp Dergisi*, 1-4.
- Üstün, A., 2011, Hava filtrasyonu için nanolif üretimi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Üstündağ, G. Ç., 2009, Elektrosinning yöntemi ile biyomedikal kullanıma yönelik nanolif yüzey üretimi ve uygulaması, *Uludağ Üniversitesi*.
- Vilchis-Nestor, A. R., Sánchez-Mendieta, V., Camacho-López, M. A., Gómez-Espinosa, R. M., Camacho-López, M. A. ve Arenas-Alatorre, J. A., 2008, Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using Camellia sinensis extract, *Materials letters*, 62 (17-18), 3103-3105.
- Wang, Y. ve Xia, Y., 2004, Bottom-up and top-down approaches to the synthesis of monodispersed spherical colloids of low melting-point metals, *Nano letters*, 4 (10), 2047-2050.
- Wei, X.-P., Luo, Y.-L., Xu, F. ve Chen, Y.-S., 2016, Sensitive conductive polymer composites based on polylactic acid filled with multiwalled carbon nanotubes for chemical vapor sensing, *Synthetic Metals*, 215, 216-222.
- Yalçın, M., 2020, Bölüm 3: Elektroegirme Yöntemi Ve Nanofiber Üretimi, *Türkiye'de Mühendislik Ve Fen Bilimlerinde Akademik Araştırmalar*, 47.
- Yer, M., 2012, AgNP sentezi ve karakterizasyonu, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Yusuf, Ö., 2019, Nanoteknoloji'nin Askerî Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 33-52.
- Zahedi, P., Rezaeian, I., Ranaei-Siadat, S. O., Jafari, S. H. ve Supaphol, P., 2010, A review on wound dressings with an emphasis on electrospun nanofibrous polymeric bandages, *Polymers for Advanced Technologies*, 21 (2), 77-95.
- Zargarova, S., 2013, Gümüş İçeren Nanopartiküller Tuzlar ile Yüklü Montmorillonit Esaslı Nanokompozitlerin Geliştirilmesi ve Antikanser Özellikleri, 14-16.