

**GÜMÜŞ VE ESANSİYEL YAĞ İÇEREN  
ANTİFUNGAL, ANTİBAKTERİYEL  
NANOLİF KAPLI CERRAHİ  
MASKELERİN ÜRETİMİ**  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine YAŞAR

Danışman  
Prof. Dr. Atilla EVCİN

BIYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
Temmuz 2021

Bu tez çalışması 20.FEN.BİL.32 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜMÜŞ VE ESANSİYEL YAĞ İÇEREN ANTİFUNGAL,  
ANTİBAKTERİYEL NANOLIF KAPLI CERRAHİ MASKELERİN  
ÜRETİMİ**

**Emine YAŞAR**

**Danışman**

**Prof. Dr. Atilla EVCİN**

**BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2021**

## TEZ ONAY SAYFASI

Emine YAŞAR tarafından hazırlanan “Gümüş ve Esansiyel Yağ İçeren Antifungal, Antibakteriyel Nanolif Kaplı Cerrahi Maskelerin Üretimi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 14/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Anabilim Dalı Adı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Atilla EVCİN

**Başkan** : Prof. Dr. Levent ÖZCAN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Prof. Dr. Atilla EVCİN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Nalan ÇİÇEK BEZİR  
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
..... /..... /..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

21/ 06 / 2021



**Emine YAŞAR**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### GÜMÜŞ VE ESANSİYEL YAĞ İÇEREN ANTİFUNGAL, ANTİBAKTERİYEL NANOLİF KAPLI CERRAHİ MASKELERİN ÜRETİMİ

Emine YAŞAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Atilla EVCİN

Bu çalışmada, selüloz asetat (CA) çözeltisi gümüş nitrat, pelargonium yağı, okaliptüs yağı, citronella yağı ve cypress yağı ile katkılandırılarak 6 adet çözelti elde edilmiştir. Elde edilen çözeltilerden elektroçirime yöntemi kullanılarak nanolifler üretilip cerrahi maskenin ara katmanı olan melt blown tabakası üretilen nanolifler ile kaplanmıştır. Nanoliflerin morfolojik analizi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile çapı, homojenliği ve dağılımı ise Fibraquant programı ile saptanmıştır. Fibraquant programı analiz sonuçları nanolif çaplarının 100 nm ile 800 nm aralığında olduğunu göstermiştir. Başlangıçta hazırlanan çözeltiler FTIR analizi, antifungal ve antibakteriyel aktivite ile karakterize edilmiştir. FTIR analizlerinde selüloz asetat, gümüş ve esansiyel yağlar için karakteristik pikler elde edilmiştir. Staphylococcus aureus bakterisine uygulanan antibakteriyel analiz sonucuna göre gümüş nitrat ve okaliptüs yağı katkılı selüloz asetat çözeltisinin en yüksek antibakteriyel etkinliğe sahip olduğu saptanmıştır. Aspergillus flavus ve penicillium notatum mantarları üzerinde yapılan antifungal teste göre ise gümüş nitrat ve pelargonium yağı katkılı selüloz asetat çözeltisinin en yüksek antifungal etkinliğe sahip olduğu görülmüştür.

**2021, x + 80 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Nanolif, Gümüş, Esansiyel yağlar, Antifungal, Antibakteriyel, Cerrahi maske.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **PRODUCTION OF ANTIFUNGAL, ANTIBACTERIAL NANOFIBER COATED SURGICAL MASKS CONTAINING SILVER AND ESSENTIAL OIL**

Emine YAŞAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biomedical Engineering

**Supervisor:** Prof. Atilla EVCİN

In this research, 6 solutions were obtained by adding silver nitrate, pelargonium oil, eucalyptus oil, citronella oil and cypress oil to cellulose acetate (CA) solution. Nanofibers were produced from these solutions using the electrospinning method. The meltblown layer, which is the middle layer of the surgical mask, is covered with the produced nanofibers. Morphological analysis of nanofibers was determined by scanning electron microscopy (SEM). The diameter, homogeneity and distribution of nanofibers were determined with the Fibraquant program. Fibraquant program analysis results showed that nanofiber diameters were between 100 nm and 800 nm. The initially prepared solutions were characterized by FTIR analysis, antifungal and antibacterial activity. Characteristic peaks were obtained for cellulose acetate, silver and essential oils in FTIR analysis. According to the results of antibacterial analysis against *Staphylococcus aureus* bacteria, cellulose solution with silver nitrate and eucalyptus oil was found to have the highest antibacterial activity. According to the antifungal test performed on *Aspergillus flavus* and *penicillium notatum* mushrooms, cellulose acetate solution with silver nitrate and pelargonium oil was found to have the highest antifungal activity.

**2021, x + 80 pages**

**Keywords:** Nanofiber, Silver, Essential oils, Antifungal, Antibacterial, Surgical mask.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın çalışma konusu, deneysel çalışmaların yürütülmesi, sonuçların analiz edilip değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında sağlamış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Atilla EVCİN'e teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarında yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Gökhan AKARCA' ya ve esansiyel yağlarımı temin ettiğim Art de Huile markasından Hülya KAYHAN'a teşekkür ederim. Araştırma süresince 20.FEN.BİL.32 proje numarası ile destek sağlayan BAPK'ya teşekkür ederim. Tez yapım sürecimin her aşamasında öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Dr. Öğr. Üyesi Ziya Özgür YAZICI'ya teşekkür ederim. Üniversite eğitimim boyunca her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen Büşra DALKILINÇ'a teşekkür ederim. Manevi desteklerinden dolayı Safiye Pelin TAŞ, Özlem KARAMAN ve Halime KARAMAN'a teşekkür ederim.

Bu araştırma ve tüm hayatım boyunca hep yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme teşekkür ederim.

Emine YAŞAR  
Afyonkarahisar 2021

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
2.1 Nanoteknoloji.....	3
2.1.1 Nanoteknolojinin Tarihçesi .....	4
2.1.2 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları.....	5
2.2 Nanoliflerin Tanımı .....	5
2.2.1 Nanoliflerin Özellikleri .....	7
2.2.2 Nanolif Üretim Teknikleri.....	8
2.2.2.1 Geleneksel Yöntemler .....	9
2.2.2.2 Modern Yöntemler .....	11
2.3 Elektroğirme Prensipleri ve Kurulum .....	15
2.3.1 Elektroğirmeyi Etkileyen Parametreler .....	16
2.3.1.1 Çözelti Parametreleri .....	17
2.3.1.2 İşleme parametreleri .....	20
2.3.1.3 Ortam Parametreleri .....	22
2.3.2 Elektroğirme Uygulamaları .....	23
2.4 Antibakteriyel Etki.....	23
2.4.1 Antibakteriyel Ajanlar.....	24
2.4.1.1 Gümüşün Antibakteriyel Özelliği .....	26
2.5 Antifungal .....	27
2.6 Esansiyel Yağlar .....	28
2.6.1 Esansiyel Yağ Çeşitleri .....	29
2.6.1.1 Pelargonium (Sardunya) Esansiyel Yağı.....	29
2.6.1.2 Eucalyptus (Okalıptüs) Esansiyel Yağı.....	29



2.6.1.3 Citronella (Limonotu) Esansiyel Yağı .....	30
2.6.1.4 Cypress (Selvi) Esansiyel Yağı .....	30
3. MATERYAL ve METOT .....	31
3.1 Deneysel Çalışmalar İçin Kullanılan Malzemeler .....	31
3.1.1 Selüloz Asetat.....	31
3.1.2 Gümüş Nitrat.....	31
3.1.3 Esansiyel Yağlar.....	32
3.1.4 Aseton .....	33
3.1.5 Propilen Glikol .....	33
3.2 Deneysel Çalışmalar İçin Kullanılan Cihazlar.....	33
3.2.1 Manyetik Karıştırıcı .....	33
3.2.2 Hassas Terazî .....	34
3.2.3 Elektroegirme Cihazı .....	35
3.2.4 FTIR Cihazı.....	35
3.2.5 SEM (Scanning Electron Microscope).....	36
3.3 Deneysel Çalışmalar .....	36
3.3.1 Çözelti Hazırlama.....	37
3.3.2 Katkılandırma.....	39
3.3.3 Elektroegirme.....	40
3.3.4 Numune Karakterizasyonu .....	42
3.3.4.1 Antibakteriyel Test .....	42
3.3.4.2 Antifungal Test.....	44
3.3.4.3 FTIR Analizi.....	47
3.3.4.4 SEM Analizi .....	47
3.3.4.5 Fibraquant Programı.....	48
4. BULGULAR .....	49
4.1 Antibakteriyel Test Sonuçları .....	49
4.2 Antifungal Test Sonuçları.....	50
4.3 FTIR Analizi Sonuçları.....	54
4.4 SEM Analizi Sonuçları .....	60
4.5 Fibraquant Sonuçları.....	63
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	67
6. KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	79

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

AgNO <sub>3</sub>	Gümüş nitrat
Ag	Gümüş
Au	Altın
cm	Santimetre
kV	Kilo volt
µm	Mikrometre
nm	Nanometre
Rpm	Dakikada devir sayısı
TiO <sub>2</sub>	Titanyum dioksit

### Kısaltmalar

---

CA	Selüloz asetat
DCM	Dimetilformamid
DMF	Diklorometan
ENM	Elektroğirilmiş nanolif membranlar
EO	Esansiyel yağlar
FTIR	Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre
HTAB	Hekzadesiltrimetilamonyum bromür
PBI	Polibenzimidazol
PEO	Polietilen oksit
PVP	Polivinil pirolidon

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Nanoliflerin çapı ve spesifik özellikleri.....	6
Şekil 2.2 Nanoliflerin uygulama alanları. ....	8
Şekil 2.3 Şablon sentez yönteminin gösterimi. ....	9
Şekil 2.4 Faz ayırma yönteminin gösterimi.....	10
Şekil 2.5 Çekme metodu gösterimi. ....	11
Şekil 2.6 Elektroğirme yöntemi.....	12
Şekil 2.7 Çözelti üfleme yönteminin şematik gösterimi. ....	14
Şekil 3.1 Deneysel çalışmalar akım şeması. ....	37
Şekil 4.1 Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi.....	54
Şekil 4.2 Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi.....	55
Şekil 4.3 Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi. ....	56
Şekil 4.4 Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi.....	57

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Liflerin karşılaştırması. ....	7
<b>Çizelge 3.1</b> Selüloz asetat çözeltisi hazırlama aşaması karışım miktarları. ....	38
<b>Çizelge 3.2</b> Gümüş nitrat çözeltisi hazırlama aşaması karışım miktarları. ....	38
<b>Çizelge 3.3</b> Selüloz asetat çözeltisine gümüş nitrat katkılandırma aşaması karışım miktarları. ....	39
<b>Çizelge 3.4</b> Esansiyel yağ ve gümüş nitrat katkılı selüloz asetat çözeltisinin karışım miktarları. ....	40
<b>Çizelge 4.1</b> Katkılı ve katkısız CA çözeltisinin Staphylococcus aureus bakterisi sonuçları. ....	49
<b>Çizelge 4.2</b> Katkılı ve katkısız CA çözeltisinin penicillium notatum mantarı sonuçları. ....	50
<b>Çizelge 4.3</b> Katkılı ve katkısız CA çözeltisinin Aspergillus flavus mantarı sonuçları... ..	52
<b>Çizelge 4.4</b> Nanoliflerin çaplarının Fibraquant programıyla elde edilen dağılımları. ...	64
<b>Çizelge 4.5</b> Fibraquant programından elde edilen nanolif çap değerleri. ....	66

## RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
<b>Resim 3.1</b> Fluka marka selüloz asetat. ....	31
<b>Resim 3.2</b> Fluka marka gümüş nitrat. ....	32
<b>Resim 3.3</b> Esansiyel yağlar. ....	33
<b>Resim 3.4</b> Multi-HS 6 DIGITAL marka altılı karıştırıcı. ....	34
<b>Resim 3.5</b> SHIMADZU BL3200H model hassas terazi. ....	34
<b>Resim 3.6</b> Elektroğirme cihazı. ....	35
<b>Resim 3.7</b> Elektroğirme cihazı toplayıcı kontrol paneli.....	35
<b>Resim 3.8</b> Pelkin Elmer FT-IR Spectrometer Spectrum Two marka FTIR cihazı. ....	36
<b>Resim 3.9</b> LEO 1430 VP model SEM cihazı. ....	36
<b>Resim 3.10</b> Elde edilen selüloz asetat çözeltisi.....	38
<b>Resim 3.11</b> Manyetik karıştırıcıda karıştırılan gümüş nitrat çözeltisi. ....	39
<b>Resim 3.12</b> Katkısız CA çözeltisi, gümüş nitrat ve 4 ayrı esansiyel yağ katkılı CA çözeltisi, gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi. ....	40
<b>Resim 3.13</b> Nanolif üretimi için kurulan elektroğirme düzeneği. ....	41
<b>Resim 3.14</b> Nanoliflerin melt blown tabakası üzerine biriktirilmesi. ....	41
<b>Resim 3.15</b> Staphylococcus aureus bakterisi ....	42
<b>Resim 3.16</b> Petri kabında çözeltilere yerleştirilen diskler. ....	42
<b>Resim 3.17</b> Staphylococcus aureus bakterisinin aşı süspansiyon yoğunluğu ayarlaması. ....	43
<b>Resim 3.18</b> Çözelti emdirilmiş disklerin aşı ortamına yerleştirilmesi. ....	44
<b>Resim 3.19</b> İnkübasyon işlemi (37° C'de 24 saat ). ....	44
<b>Resim 3.20</b> Penicillium notatum (ATCC 9478), ve Aspergillus flavus (ATCC 204304) küfleri. ....	45
<b>Resim 3.21</b> Petri kaplarında çözeltide bekletilen diskler. ....	45
<b>Resim 3.22</b> Kullanılacak küflerin aşı süspansiyon yoğunluğu ayarlaması. ....	46
<b>Resim 3.23</b> Aşı ortamına yerleştirilen çözelti emdirilmiş diskler. ....	46
<b>Resim 3.24</b> Zone çaplarının kumpas ile ölçülmesi. ....	47
<b>Resim 3.25</b> Alüminyum folyo üzerine biriktirilen nanolifler. ....	48
<b>Resim 3.26</b> Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanolif çapların Fibraquant programında belirlenmesi. ....	48
<b>Resim 4.1</b> Saf CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü. ....	60
<b>Resim 4.2</b> Gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü. ....	61

<b>Resim 4.3</b> Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü. ....	61
<b>Resim 4.4</b> Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü. ....	62
<b>Resim 4.5</b> Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü. ....	62
<b>Resim 4.6</b> Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü. ....	63

## 1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sağlığı, yalnızca hastalık veya sakatlığın olmaması değil, tam bir fiziksel, zihinsel ve sosyal refah durumu olarak tanımladı. Dolayısıyla son on yılda geleneksel tıp sistemleri küresel öneme sahip bir konu haline geldi. Mevcut tahminler, gelişmekte olan birçok ülkede nüfusun büyük bir bölümünün birinci basamak sağlık hizmeti ihtiyaçlarını karşılamak için geleneksel pratisyenlere ve tıbbi bitkilere bel bağladığını göstermektedir. Her ne kadar bu ülkelerde modern tıp mevcut olsa da, bitkisel ilaçlar genellikle tarihsel ve kültürel nedenlerden dolayı popülerliğini korumuştur. Aynı zamanda, gelişmekte olan ülkelerdeki birçok insan, şifalı otlar ve esansiyel yağlar da dahil olmak üzere alternatif veya tamamlayıcı tedavilere yönelmeye başlamıştır. Kullanılan esansiyel yağların sahip oldukları antimikrobiyel özellikler sayesinde hastalıkların doğrudan tedavisiyle birlikte bulaşıcılığının azaltılması amaçlanmıştır. Esansiyel yağlar, bitkilerin yaprak, çiçek, meyve, tohum, sap, kök gibi çeşitli bölgelerinden farklı metodlarla üretilen kokulu, uçucu ve aromatik yağlardır. Bu bileşikler uzun yıllardır şifa, tat ve koku kaynağı olarak çok çeşitli amaçlarla sağlık sektörü, koku sektörü, kozmetik ve gıda sanayisi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Tisserand vd. 2013).

Filtreleme yüz maskesi kullanıcının ağzı ve burnu ile yakın çevredeki potansiyel kirleticiler arasında fiziksel bir bariyer oluşturan gevşek, tek kullanımlık bir cihaz olarak tanımlanabilir. Filtreleme partikül maskeleri ve yüz maskeleri, çeşitli sağlık etkileri ile ilişkili olabilecek havadaki partiküllere inhalasyon maruziyetini azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda yüz maskelerinin havadaki partiküllerin bulaşmasını yavaşlattığı düşünülmektedir. Özellikle cerrahi maskeler genellikle vücut sıvılarına ve daha büyük damlacıklara karşı fiziksel bir bariyer olarak kullanılır. Geleneksel bir filtreleme yüz maskesi, kulak halkaları ile başa tutturulmuş bir, iki veya üç kat düz veya pilili kumaştan oluşur (Oberg vd. 2008).

Elektrospun nanofiber membranlar (ENM) son yıllarda filtreleme teknolojisi alanında çokça ilgi uyandırmıştır. Bunun nedeni, sadece geleneksel membranlarla değil, aynı zamanda diğer rakip ayırma işlemleriyle karşılaştırıldığında ENM'lerin üstün

performanslarını sağlayan bir dizi benzersiz özelliktir. Bu özelliklerin örnekleri arasında yüksek gözeneklilik, birbirine bağlı gözenekler ve yüksek spesifik yüzey alanı bulundurmalarıdır. Bu özellikler, benzer gözenek boyutlarına sahip geleneksel zarlarınkine benzer şekilde reddedilme oranlarında daha yüksek akılara izin verir. Ayrıca, ENM'lerin lif kalınlığı ve gözenek boyutu bir dizi hazırlama parametresi kontrol edilerek ayarlanabilir ve aktif ajanlar kullanılarak filtrasyona kazandırılmak istenen özellikler desteklenebilir. Bu özelliklerden dolayı nanofiber membranlar geniş alanlarda potansiyel uygulamalar edinmiştir (Wang vd. 2016).

Elektroğirme, nanofiber üretmek için çok yönlü ve uygulanabilir bir tekniktir. Elektroğirme yöntemlerinin geliştirilmesi elektrospun nanofiberlerin çeşitli uygulamalara olanak sağlayacak şekilde üretilmesi ve modifiye edilmesi konusunda birçok kolaylık sağlamıştır. Elektrospinning, bir jet üretmek için bir sıvı damlacıklarının elektriksel alana maruz bırakılarak katı formda toplayıcıda biriktirildiği bir yöntemdir. Elektrospinning için temel kurulum oldukça basittir ve neredeyse her laboratuvara erişilebilir olmasını sağlar. Ana bileşenler arasında yüksek voltajlı bir güç kaynağı, bir şırınga pompası, bir spinneret ve iletken bir toplayıcı bulunur (Bezir vd. 2014).

Gümüş, insan sağlığını tehlikeye atan bakteri, mantar gibi mikroorganizmalar üzerinde basit ve kuvvetli olarak etki sağlayan antibakteriyel ve antifungal özelliklerinin yanında toksik etkisinin düşük olmasıyla da büyük ilgi uyandırmaktadır. Bu teknoloji tıp endüstrisinin yanı sıra, tekstil ve gıda sanayisinde de uygulama alanı bulmaktadır (Lansdown vd. 2002).

Bu tez çalışmasında hâlihazırda kullanılmakta olan cerrahi maskelerin etkinliğini artırmak amacıyla doğada antifungal ve antibakteriyel etkinliği bilinen gümüş ve bitkisel esansiyel yağları (pelargonium yağı, okaliptüs yağı, citronella yağı ve cypress yağı) içeren elektroğirilmiş nanolif membranlar (ENM) maskelerin yüzeyine biriktirilmiştir. Numunelere SEM analizi, antibakteriyel test, antifungal test ve FTIR analizi uygulanmıştır.



## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Nanoteknoloji

Nanoteknolojinin, özellikle tek tek molekülün manipülasyonu olmak üzere 100 nanometreden küçük şeylerle ilgilenen bir mühendislik dalı olduğu genel olarak bilinmektedir. Nanoteknolojide atom düzeyinde var olan doğanın bazı gizli fiziksel özellikleri vardır. Bu konunun özü veya kaynağı boyutu küçültmektedir. Diğer bir deyişle, nano boyutta maddenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişim söz konusudur. Yeni gelecek yıllarda nanosistem üzerine yapılan çalışmalar, sadece benzersiz özellikler nedeniyle değil, aynı zamanda onu birçok yeni teknolojide kullanabilmemiz nedeniyle de arttı. Ek olarak, nanoteknoloji ve nanobilim, ekonomik büyüme geliri ile yakından ilişkili olduğu düşünülen alanlardır. Araştırma organizasyonlarının bu yükselen bilim alanını ve teknolojiyi nasıl yönlendirdiğine dair nispeten küçük çalışmalar vardır. Oysa araştırmanın gelecekteki potansiyelini veya olası tehlikelerini ve risklerini tartışan pek çok çalışma vardır. Nanoteknolojideki gelişmeler, bu teknolojinin neye yol açtığı veya neye yöneldiği gibi konular birçok kişi tarafından anlaşılammaktadır. Birçoğu nanoteknolojinin, yaşama şeklimizi değiştiren başarılı yeniliklerin, yaratıcılığın ve icatların ayrı bir sonuç olduğunu söylüyor (Meyer 2007).

Bazı bilim adamlarının ulaştığı keşifler, küçük boyutlu malzemeler, küçük parçacıklar, ince filmler vb. olabilir. Nanoteknoloji, daha büyük ölçekte aynı malzemelerden farklı önemli özelliklere sahiptir. Bu farklılıkları yorumlayarak ve küçük yapıların montajını kontrol etmenin yollarını öğrenerek, değiştirilmiş cihazlar, yapılar ve malzemeler için sayısız olasılığa ulaşırız. Nanoteknoloji birçok farklı görüşü içerir. Bununla birlikte, çoğu genel olarak üç önemli şey olduğu konusunda hemfikirdir:

- Özellikleri kontrol etmek için nano ölçekte yapı ve kompozisyonu kontrol eder.
- Küçük boyutundan dolayı nadir bir özelliği vardır.
- Nanoteknoloji 100 nm veya daha az ölçülür, bu yüzden küçük bir boyuttur.

Nanometre ölçeğine sahip nano yapı nesnelere özellikleri ne yenidir ne de insan

tarafından ilk yaratılmıştır. Örneğin, bitkilerin ve hayvanların gelişme biçiminde nano yapı bulunur. Nanonun özelliklerinden dolayı, nanoölçekli malzemelerle benzersiz ve önemli özelliklere sahip olan bazı mineraller arasında benzerlikler vardır. Nanoteknoloji ile ilgili yenilik, şu anda bu yapıları ve özellikleri yeni işlevsel malzemeler ve cihazlar yapmak için en azından kısmen anlayıp kontrol edebilmemizdir. Nanoteknoloji, hayatımıza giren ve birçok alanda faydalı olan çok önemli bir şey haline gelmiştir. Nanobilim sayesinde, neredeyse her insan yapımı nesne doğası gelecek yüzyılda değişecektir. Nanoteknoloji ve çevre araştırmalarının farkına varmanın iki yolu vardır. Birincisi nano materyallerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisi, ikincisi ise nano materyallerin çevreye fayda sağlamak için nasıl kullanılabileceğidir. Burada kaydedilen kaynaklar konunun her iki tarafını da kapsamaktadır.

### **2.1.1 Nanoteknolojinin Tarihçesi**

En son bilimsel araştırmada tahsis edilmiş neoterik gelişme olarak tanımlanan nanoteknolojinin büyümesi, 1981'de taramalı tünelleme mikroskopunun icadı ve 1985'te fullerenlerin keşfi gibi deneysel ilerlemenin bir araya getirilmesinden kaynaklandı. Nanoteknoloji, merkezi kavramının gelişimi uzun bir süre boyunca gerçekleştiğinden, 1980'lere kadar bir alana dönüşmedi. 1979'da Massachusetts Institute of Technology'de Eric Drexler adlı bir bilim insanı, Feynman'ın moleküler üretim vizyonunu protein işlevini anlamadaki çağdaş gelişmelerle genişletti. Birçoğu, nanoteknoloji alanının oluşturulduğu zamanın bu olduğuna inanıyor (Mohammad 2015).

Nanoteknoloji maddenin yaklaşık 1 ila 100 nanometre boyutlarında gerçekleştirilmesi ve yönlendirilmesidir, burada benzersiz fenomenler yeni uygulamalara olanak sağlar. Nano ölçekli bilim, mühendislik ve teknolojiyi içerir, nanoteknoloji bu uzunluk ölçeğinde görüntüleme, ölçme, modelleme ve maddeyi manipüle etme içerir. Nano ölçekte, malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, temel ve değerli şekillerde, tek tek atomların ve moleküllerin veya toplu maddenin özelliklerinden farklıdır. Nanoteknoloji, bu yeni özellikleri öne çıkaran gelişmiş malzemeleri, cihazları ve sistemleri anlamaya ve yaratmaya yöneliktir. Eşzamanlı olarak, malzemelerin yerleştirilmesi, oluşturulması ve kullanılması için maddenin atomik ve moleküler

düzyeyde kontrolü ve işlenmesi yoluyla, kabaca 1- 100 nm aralığında uzunluk ölçeğinde atomik, moleküler ve supra-moleküler seviyelerde çalışmak, küçük yapıları nedeniyle temelde yeni özelliklere ve işlevlere sahip cihazlar ve sistemlerdir (Mohammad 2015).

### **2.1.2 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları**

Nano ölçekteki malzemelerin fiziksel özelliklerinden yararlanarak farklı bölümlerde (savunma sanayii, elektronik, tıp, inşaat, biyoteknoloji alanları vb.) yeni ürünler meydana getirilmektedir ve bu malzemelerden iyi bir maliyet elde edilmektedir. Örneğin otomobil sektöründeki “nanokiller” ve telekomünikasyonda “kuantum kuyu lazerinden” iyi bir gelir elde edilmektedir (Özdoğan vd. 2006, Başaran 2002).

Uygulamada nanoteknoloji alanları iki konu ile bağdaştırılabilir (Kut vd. 2005):

**Pozisyonel Kontrol:** Bu aşama numunelerin ve yan numunelerin moleküler seviyedeki kontrolüdür. Çevremizde gördüğümüz malzemelerin özellikleri atom düzeninin nasıl olduğuna göre şekillenir. Bugün makroskobik malzeme üretimi için yapılan moleküler seviyedeki çalışmalar yetersiz bulunmaktadır.

**Kolay Tekrarlanabilirlik:** Nanoteknolojiden beklenen bir diğer önemli özellik malzemeleri ucuz bir şekilde temin edebilmektir. Düşük maliyetlerde üretim yapılabilmesi için nanoteknolojinin dizaynının kolay olması ve tekrarlana bilirliliğinin de kolay yapılması gerekir.

### **2.2 Nanoliflerin Tanımı**

Nanobilim ve nanoteknolojinin yayılmasıyla birlikte araştırmacılar, nano boyutlu malzemelerin, özellikle de nanoliflerin üstün özelliklerini incelemeye büyük ilgi gösteriyorlar. Nanolif, 1 ile 100 nm arası çapa ve 1000 m<sup>2</sup>/g' a kadar ulaşabilen yüksek özgül yüzey alanına sahip bir lif türüdür (Valipouri 2017). Nanolifler, 1µm'nin altında bir çapa sahip nano malzeme olarak da tanımlanabilir (Wei 2012). Şekil 2.1'de

görüldüğü gibi nanolifler, bir boyutu nanometrik boyutun dışında olan 1D nano yapı malzemelerdir ve çapları ile karşılaştırıldığında uzunlukları son derece uzundur (Jeevanandam vd. 2018).



**Şekil 2.1** Nanoliflerin çapı ve spesifik özellikleri (Jeevanandam vd. 2018).

Nanoliflerin ilk olarak William Gilbert (1544-1603) tarafından üretildiği biliniyor. William Gilbert kuru bir yüzeydeki su damlasının elektrik yüklü kehribara maruz kaldığında, şimdi Taylor Koni olarak adlandırılan bir koni şekline dönüştüğünü gözlemledi. Bundan sonra Lord Rayleigh, Charles Vernon Boys, John Francis ve Anton Formhals gibi çoğu bilim insanı ve mucit bu konu üzerinde çalıştı ve elektroğirme nanoliflerin ilerlemesinde lider oldu. Daha sonra, Doshi ve Reneker, 1995'te elektroğirmeyi popüler hale getirdi (Barhoum vd. 2018).

Nanolifler, poliakrilonitril, poliamidler, poliüretanlar, poliimidler, polivinil alkol, polistiren, pHEMA, kitosan, ko-polimerler, çeşitli katkı maddeleri içeren polimerler, silika, nanopartiküller ve diğerleri gibi çeşitli organik ve inorganik polimerlerden üretilir (Jirsak vd. 2009). Daha önce de belirtildiği gibi, nanolifler mükemmel özelliklere sahiptir ve bu nedenle birçok uygulama alanında hala en popüler olanlardır. Her gün nanoliflerle ilgili çok sayıda çalışma yayınlanıyor ve birçok yeni uygulama alanı araştırılıyor.

### 2.2.1 Nanoliflerin Özellikleri

Nanolifler, yüksek özgül yüzey alanı, yüksek gözeneklilik (% 80'in üzerinde), düşük temel ağırlık, küçük gözenek boyutu, diğer ortamlara gömülebilme yetenekleri ve farklı yapılarda üretim imkanı gibi bazı benzersiz özelliklere sahiptir. Bu nedenle, bu lifler biyomedikal uygulamalar (doku mühendisliği, kontrollü ilaç salınımı, tıbbi protezler), filtrasyon, kompozit gibi çok çeşitli uygulamalar için önerilmektedir (Sahoo 2017).

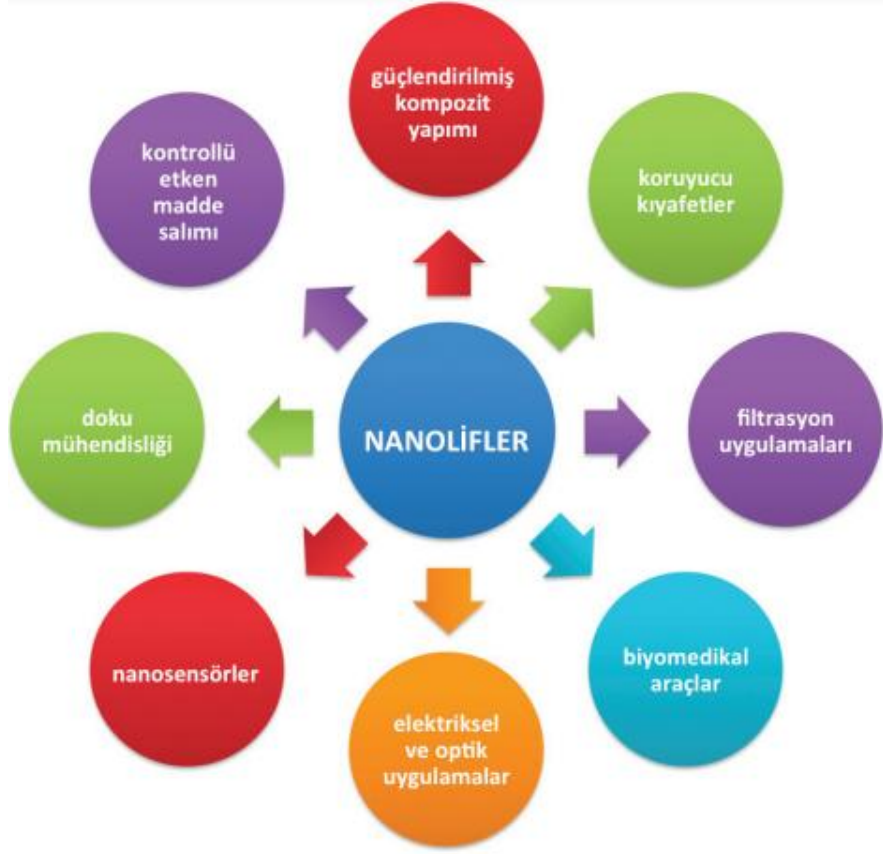
Çizelge 2.1'de geleneksel lifler, eritilerek şişirilmiş lifler ve nanolifler arasında bir karşılaştırma sunulmaktadır (Jirsak vd. 2009).

Çizelge 2.1 Liflerin karşılaştırması

Lifler	Lif Çapı (µm)	Doğrusal Yoğunluk (dtex)	Spesifik Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)
Konvensiyonel	10-40	1-30	ca. 0,2
Eritilerek Şişirilmiş	1-5	ca. 0,01	ca. 2
Nanolifler	0,05-0,5	ca. 0,0001	ca. 20

Mükemmel özgül yüzey alanı, lif çapları ile birlikte, malzemelerin çevre ile hızlı bir şekilde etkileşime girmesine izin verir. Bu nedenle filtrelerde, membranlarda, yara örtülerinde, kimyasal ve biyolojik koruyucu giysilerde, enerji depolamada ve sensörlerde kullanılırlar (Yoon vd. 2008).

Son zamanlarda, çok işlevli nanolifler elde etmek için Au, Ag, MgO, MnO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi bazı destekleyici malzemeleri içeren pek çok yeni tip nanolif üretilmiştir. Bu şekilde nanoliflere biyolojik olarak parçalanabilirlik, hidrofobiklik, fotokatalitik ve elektriksel iletkenlik gibi ek özellikler verilir. Bu nedenle biyolojik algılama, kapasitörler, gaz filtrasyonu, fotokataliz ve enerji üretimi/depolama gibi daha spesifik uygulamalarda kullanılabilirler (Şekil 2.2) (Dadvar vd. 2011).



Şekil 2.2 Nanoliflerin uygulama alanları (Dadvar vd. 2011).

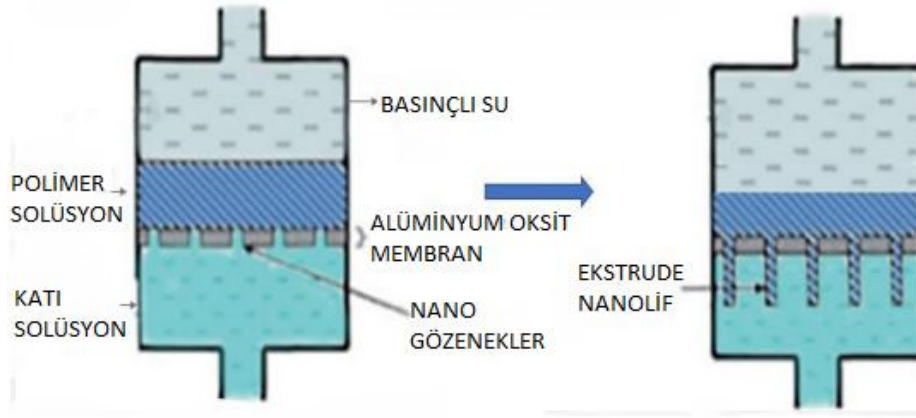
### 2.2.2 Nanolif Üretim Teknikleri

Nanolifler, son yıllarda akademi ve endüstride popüler bir araştırma konusu haline geldi. Nanolif Pazar Büyüklüğü: Hisse ve Eğilimler Analizi Raporu'na göre, 2016 yılında nanolif pazar büyüklüğü 477,7 milyon ABD doları olarak verilmiş olup, bu sayı büyüyen sanayi faaliyetlerine bağlı olarak katlanarak artacaktır. Fiber çapı nano ölçeğe indirildiğinde, yüksek bir özgül yüzey alanına ve daha fazla işlevselliğe ve mükemmel mekanik performansa sahiptir. Polimer nanolifleri imal etmek için, çekme, şablon sentezi, faz ayırma, kendi kendine montaj, elektroegirme, çözelti üfleme, santrifüj eğirme gibi birçok yöntem vardır. Bunlar arasında elektroegirme, çözelti üfleme ve santrifüj eğirme son zamanlarda sıklıkla tercih edilen yöntemler haline gelmiştir. Bu yöntemlerden birini seçerken; nanolif malzemelerin istenen nanolif hizalaması, maliyeti, miktarı ve istenen morfolojisi dikkate alınması gereken faktörlerdir. Örneğin, içi boş nanolifler üretmek için elektroegirme veya doğrudan koaksiyel eğirme veya

gözenekli nanolifler üretmek için faz ayrımı tercih edilmelidir (Alghoraibi vd. 2018).

### 2.2.2.1 Geleneksel Yöntemler

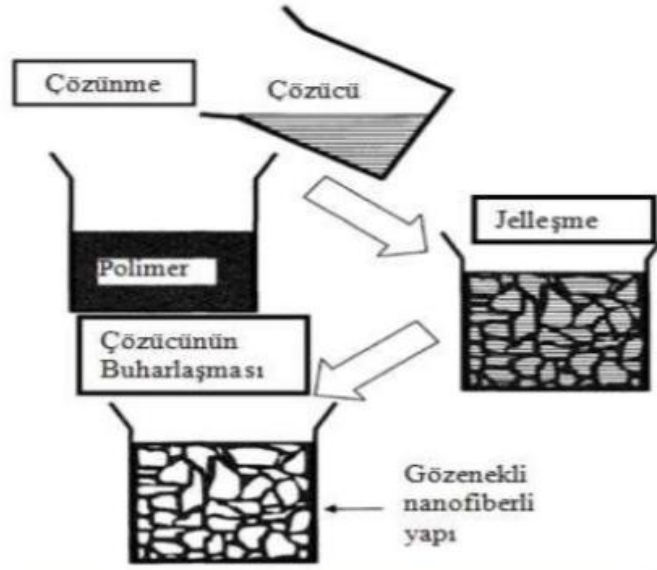
Şablon sentezi: Şablon sentezinde, iletken polimerler, metaller, yarı iletkenler ve karbon gibi çeşitli malzemelerden nanolif elde etmek için şablon olarak nano gözenekli bir membran kullanılır (Nune vd. 2017). Kısaca, polimer çözeltisi su basıncının etkisi altında şablondaki nano gözeneklerden geçerek hızla katılaşır ve nanolifler oluşur (Alghoraibi vd. 2018). Şekil 2.3’de şablon sentez yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Şablon sentez yönteminin gösterimi (Alghoraibi vd. 2018).

Nihai lif boyutu, kullanılan şablondaki gözenek boyutuna büyük ölçüde bağlıdır ve elde edilen nanoliflerin gözenekliliği düşüktür (Wang vd. 2019).

Faz ayrımı: Faz ayırma işleminde, polimer uygun çözücü içinde çözündürülür ve faz ayırma aşaması, jel oluşturmak için termal yolla veya hazırlanan çözeltiliye çözücü olmayan bir madde eklenerek başlatılır. Bu koşul altında, çözelti termodinamik olarak kararsızdır, bu nedenle iki faza (polimer açısından zengin faz ve polimer açısından zayıf faz) ayrılabilir. Çözücü olmayan bir madde olarak genellikle su kullanılır ve çözücüden jelden çıkarır. Sıcaklığı düşürerek, polimer açısından zengin faz katılaşır ve 50 ila 500 nm boyutlarında gözenekli nanolifler oluşur (Kulkarni vd. 2013). Bu yöntem basittir ve yalnızca temel aparatlar gerektirir, ancak yalnızca birkaç polimer için uygundur ve düşük verim sağlar. Şekil 2.4’de faz ayırma yöntemi gösterilmiştir.



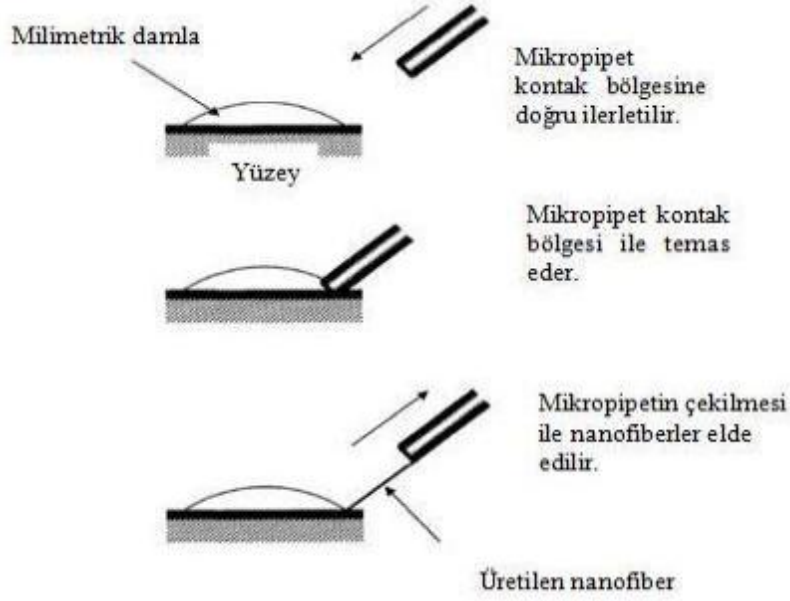
Şekil 2. 4 Faz ayırma yönteminin gösterimi (Kulkarni vd. 2013).

Çekme: Bu teknikte üç ana adım vardır (Şekil 2.5). Substrat materyali üzerine bir damla polimer solüsyonu damlatılır, mikropipet polimer damlacığına daldırılır, temas ve mikropipet geriye doğru hareket ettirilerek, fiber polimer damlasından belirli bir hıza çekilir (10-4 m/s) (Garg vd. 2015).

Çözeltinin çekme hızı ve viskozitesi iyice ayarlanarak belirli boyutta tek tip nanolifler elde edilebilir. Elde edilen lif çapı 2-100 nm ile birkaç mikrometre arasındadır.

Çekme yöntemi tüm polimerlere (yalnızca viskoelastik polimerler) uygulanmaz ve çok uzun tek bir lif oluşturur. Daha fazla zaman gerektirirken verimlilik düşüktür. Laboratuvar ölçeğinde üretime olanak sağlar (Garg vd. 2015).





Şekil 2.5 Çekme metodu gösterimi (Garg vd. 2015).

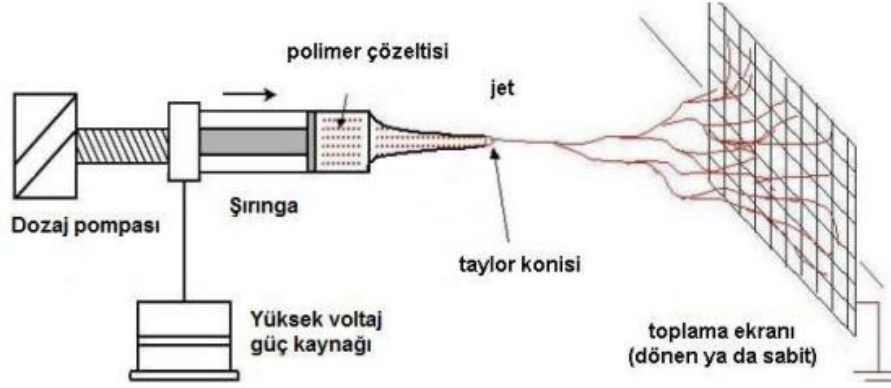
### 2.2.2.2 Modern Yöntemler

Elektroğirme: Bu işlem, nano lifleri imal etmek için en bilinen ve yerleşik yöntemdir. Elektroğirme işleminde, nanolif, elektrostatik ve kulombik kuvvetler yardımıyla polimer çözeltilerinden veya polimer eriyiklerinden üretilir. Bu yöntemi diğerlerinden ayıran temel özellik, üretilen lif çaplarının üretim parametreleri değiştirilerek kolaylıkla ayarlanabilmesidir. Çalıştırması kolaydır ve nispeten düşük maliyetlidir (Bezir vd. 2014).

Elektroğirme yöntemi, şekil 2.6'da gösterildiği gibidir. Esas olarak besleme ünitesi, şırınga, tambur toplayıcı ve yüksek voltajlı güç kaynağından oluşur.

Bu yöntemde, polimer ya ısı ile eritilir ya da herhangi bir uygun çözücü içinde çözülür. Daha sonra uygun bir şırınga pompası ile iğnenin ucuna pompalanır. Uygulanan yüksek voltajlı elektrostatik kuvvetler, iğnenin üzerindeki damlacığın yüzey gerilimini aştığında, damlacığın yarım küre şekli değişmeye başlar ve Taylor Koni adı verilen konik bir şekil alır. Kritik voltajın aşılması durumunda, ilk olarak iğnenin ucunun yakınında kararlı düz jet gözlenir. Düşük viskoziteye sahip bir polimer çözeltisi

kullanılıyorsa, uzunlamasına nedeniyle damlacıktan iki veya daha fazla püskürtme oluşur.



Şekil 2.6 Elektroğirme yöntemi (Wang vd. 2019).

Yüzey geriliminin neden olduğu Rayleigh kararsızlığıdır. Bu nedenle, optimum viskoziteye sahip polimer çözeltisi, yalnızca bir jet elde etmek için hazırlanmalıdır (Vinh vd. 2016). Bu jet elektrostatik kuvvetler altında gerilir, çırpılır ve kullanılan çözücü işlem sırasında buharlaşır. İkinci olarak, jetin daha fazla gerilmesine bağlı olarak, kararsız bir bükülme aşamasına girer ve jetin yörüngesi, toplayıcıya ulaşana kadar artar. Böylelikle, çözücü buharlaştıkça ve jetin yolu arttıkça lifin boyutu incelik. Son olarak, topraklanmış toplayıcıda nanometreden mikrometreye değişen boyutlarda katı lifler elde edilir (Wang vd. 2019).

Nanoliflerin nihai özelliklerini etkileyen elektroğirmede birçok parametre vardır. Bunların hepsi proses parametreleri, çözüm parametreleri ve ortam parametreleri gibi 3 ana grupta toplanabilir.

Bu nispeten basit teknikle, 100'den fazla farklı doğal ve sentetik organik polimerden farklı çaplarda nanolifler üretilmiştir (Burger vd. 2006). Günümüzde üretilen elektrospun nanolifler sadece polimerlere değil aynı zamanda seramiklere, metallere, metal oksitlere, organik ve inorganik kompozit sistemlere de dayanmaktadır. Kopolimerler, karışımlar veya organik dolgu maddelerinden oluşan bu elektrospun membranlar her zaman gelişmiş mekanik davranış, bariyer özellikleri ve termal stabilite sergiler (Yamaguchi vd. 2013, Gonçalves 2015).

Nanolif biyo-kompozit nanolifleri elektroğirme yoluyla üretmek için çeşitli üretim teknikleri vardır. Bu şekilde çeşitli morfolojiye sahip nanolifler üretilebilir (Ji vd. 2010).

Biyo-kompozit elektrospun nanolif üretim teknikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Fiziksel adsorpsiyon: Üretilen nanolifler, biyomoleküller içeren sulu bir faza daldırılır ve yüklü biyomoleküller, elektrostatik kuvvetlerin bir sonucu olarak fiziksel adsorpsiyonla nanoliflere bağlanır.

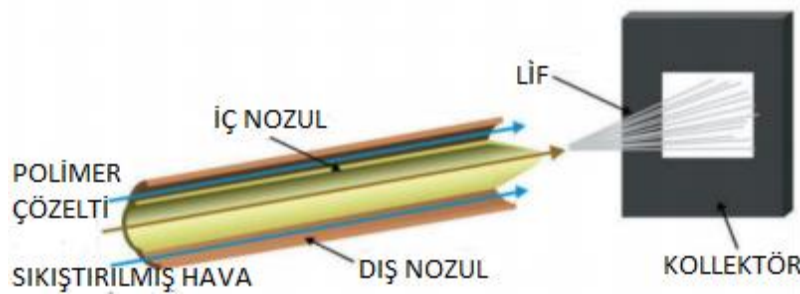
Karışım elektroğirme: Biyomoleküller polimer solüsyonuna eklenir, daha sonra elde edilen solüsyon elektroğirme ile hibrid bir yapı oluşturmak için kullanılır (Bhattarai vd. 2018).

Koaksiyel elektroğirme: İki farklı solüsyon (yani polimer solüsyonu ve diğer solüsyon tipi) çekirdek kabuk yapılarına sahip kompozit nano lifler üretmek için bir iğnede farklı besleme kanallarından koaksiyel olarak ve eşzamanlı olarak elektrospun edilir (Rubert vd. 2014, Suk vd. 2011).

Kovalent immobilizasyon: Biyomoleküller, kovalent bağ yoluyla fiber yüzeyinde immobilize edilir, yani amino grupları aracılığıyla peptit bağı oluşturur (Zhang vd. 2016).

Çözelti üfleme: Çözelti üfleme (SB), modern nanolif üretim süreçlerinden biridir. Bu işlemden polimer çözeltisi hazırlanır ve sabit hızda iç nozuldan beslenirken yüksek hızda gaz akışı eş zamanlı olarak dış nozuldan gönderilir. Gaz/çözelti arayüzünde oluşan sürüklenme kuvvetleri, bir toplayıcıya doğru çok sayıda polimer çözeltisi jeti oluşumuna neden olur. Daha sonra jetler, yüksek hızlı hava akımları kullanılarak zayıflatılır ve bu da jet çaplarında büyük bir düşüşe neden olur. Taşıyıcı çözücü hızla buharlaşır. Sonunda, rastgele yönlendirilmiş ince nanolifler toplayıcının yüzeyinde biriktirilir. SB ayrıca geleneksel elektroğirmeden yaklaşık 10 kat daha hızlıdır (Polat vd. 2019). Böylelikle endüstriyel amaçlar için nanoliflerin üretimine izin verir (Daristotle vd.

2016). SB, elektrik alanı gerektirmez ve basit bir aparat kullanır. Bu nedenle, yöntem ucuzdur, taşınabilir ve elde tutulan ekipman kullanılarak kolayca uygulanabilir (Stojanovska vd. 2016). Şekil 2.7’de çözelti üfleme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Çözelti üfleme yönteminin şematik gösterimi (Stojanovska vd. 2016).

Yukarıda bahsedildiği gibi, şimdiye kadar 100'den fazla farklı polimer, elektroğirme yoluyla başarıyla nanoliflere dönüştürüldü. Yinede, son derece yüksek viskozite nedeniyle nanolifler hala birçok polimer solüsyonundan üretilemez. Viskozite genellikle artan sıcaklıkla düştüğünden, bu problem sıcak hava akımı yardımıyla SB yöntemi kullanılarak aşılır. Ayrıca, SB yönteminde dielektrik sabiti ve iletkenliği nedeniyle elektrostatik kısıtlama ve çözücü sınırlaması yoktur ve gerilime duyarlı polimerler de kullanılabilir (Medeiros vd. 2009, Zahmatkeshan vd. 2018). Son olarak, SB'nin yüksek elektrik potansiyeline bağımlı olmaması nedeniyle elektroğirmeden çok daha güvenli olduğunu söyleyebiliriz (Polat vd. 2019). Bu yöntemin dezavantajlarından biri olarak boncuk oluşumundan bahsedilebilir.

SB yönteminde nanolif üretimini; polimerin moleküler ağırlığı, polimer çözeltisinin konsantrasyonu, yüzey gerilimi ve viskozitesi gibi çözelti değişkenleri; gaz/hava basıncı ve polimer çözelti besleme hızı ve uçtan kollektöre mesafe gibi işlem değişkenleri; nozul çapı ve geometrisi gibi sistem değişkenleri; ve son olarak, ortam sıcaklığı, basınç ve nem gibi çevresel değişkenler etkiler. Bu parametreler, lif üreten bir polimer jet oluşumu üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Daristotlr vd. 2016).

Santrifüj eğirme: Santrifüj eğirme de bir başka modern nanolif üretim yöntemidir. Literatürde döner jet eğirme, rotor eğirme ve kuvvet eğirme olarak bilinir (Rogalski vd. 2017). Bu yöntemde, polimer çözeltisi dönen bir eğirme kafasına yerleştirilir. Dönme

hızı kritik bir değere ulaştığında, merkezkaç kuvveti, polimer çözeltisinin yüzey geriliminin üstesinden gelir ve sıvı jetler, nozulların ucundan dışarı atılır. Özellikle merkezkaç kuvveti ve hava sürtünme kuvveti etkisiyle polimer jetler uzar ve bu da nanolif oluşumuna neden olur. Ayrıca reolojik kuvvet, yüzey gerilimi ve yerçekimi kuvveti gibi diğer kuvvetler de nanolif oluşumuna katkıda bulunur. Gerilmiş jetler toplayıcı yüzeyinde birikir ve nanoliflerden dokunmamış bir mat oluşturur (Zhang vd. 2014).

Santrifüj eğirme yönteminde, düşük güç tüketimi ile endüstriyel üretim için yüksek kapasite elde edilebilir.

Nanoliflerin çapı, gözenekliliği ve morfolojisi, nozül geometrisi, dönüş hızı, delik çapları gibi işlem parametreleri değiştirilerek kontrol edilebilir; sıcaklık ve nem gibi çevresel parametreler ve polimer çözeltisinin özellikleri (viskozite, polimer tipi ve konsantrasyonu, polimerin moleküler ağırlığı, çözücünün yüzey gerilimi ve buharlaşma hızı) bu konuda etkilidir. Bu yöntemle yüksek derecede hizalanmış ve hatasız nanolifler üretilir (Tepekıran vd. 2019, Çalışır vd. 2020).

### **2.3 Elektroegirme Prensipleri ve Kurulum**

Elektroegirme ilk olarak 1897'de Rayleigh tarafından tanımlanmış ve ayrıca 1914'te Zeleny tarafından incelenmiştir ve 1934'te Formhals tarafından patentlenmiştir. Doshi & Reneker'in (1995) çalışmasıyla elektroegirme yeniden keşfedilmiş ve nano yapı malzemeler üretmek için kullanılmaya başlanmıştır.

Elektroegirme, geleneksel eğirme işleminden daha ince çapa (nanometreden mikrometreye) ve daha geniş yüzey alanına sahip lifler üretmek için elektrostatik kuvvetleri kullanan bir eğirme tekniğidir. Elektroegirme sistemi dört ana bileşenden oluşur: (1) genellikle doğru akım (DC) modunda çalıştırılan yüksek voltajlı bir güç kaynağı; (2) iğneli veya pipetli bir kılcal boru; (3) bir şırınga pompası; (4) topraklanmış bir toplama plakası (düz plaka veya döner tambur) (Anu vd. 2014). Dikey ve yatay gibi iki standart elektroegirme düzeneği olmasına rağmen, şırınganın hizalanması genellikle

yataydır. Dikey pozisyonda, polimer solüsyonu yerçekimi kuvveti yardımıyla kılcal damarlardan kolaylıkla çıkabildiğinden şırınga pompasına ihtiyaç duyulmaz. Bununla birlikte, şırınga pompası olmadan sistem daha az kontrol edilebilir. Bu nedenle daha çok yatay sistemler veya şırınga pompalı dikey sistem tercih edilmektedir (Kriegel vd. 2008). Elektroğirmede, sıvının elektrostatik potansiyelini yükseltmek için bir elektrot şırıngadaki besleme stoğu çözeltilisine bağlanır ve diğeri kollektöre bağlanır. Elektrik alanı olmadığında, sıvının hacminin şekli yerçekimi kuvveti ve sıvının yüzey geriliminin dengesi ile korunur. Elektrostatik potansiyel arttıkça, çözeltilinin yüzey yükü de artar. Kılcalın ucunda, harici elektrik alanının uygulanması, sıvının şekil değiştirmesine ve Taylor konisi olarak bilinen konik bir şekil oluşturmaya neden olan benzer yüklerin elektrostatik itilmesi ve dış elektrik alanın Coulombic kuvveti gibi ek kuvvetler ortaya çıkarır. Elektrik alanı, itici elektrostatik kuvvetlerin yüzey gerilimini aştığı kritik bir değere ulaştığında, Taylor konisinin ucundan yüklü bir jet fırlatılır (Stanger vd. 2005). Yüklü jet, elektrostatik kuvvet, sürüklenme kuvveti, yerçekimi, Coulombic itme kuvveti, yüzey gerilimi ve viskoelastik kuvvetler gibi çeşitli kuvvetlere maruz kalır. Jet kollektörden geçerken sürüklenme kuvvetleri nedeniyle zayıflar ve solventin buharlaşması meydana gelir. Son olarak, sürekli lifler toplayıcıda biriktirilir (Ghorani vd. 2015).

### **2.3.1 Elektroğirmeyi Etkileyen Parametreler**

Elektroğirme işlemi büyük ölçüde üç ana gruba ayrılabilen birkaç parametreye bağlıdır: çözelti parametreleri (konsantrasyon, moleküler ağırlık, viskozite, yüzey gerilimi ve iletkenlik), işleme parametreleri (uygulanan voltaj, besleme akış hızı, toplayıcı türleri, uçtan toplayıcıya mesafe) ve ortam parametreleri (nem, sıcaklık). Bu parametreler, lif morfolojisini ayrı ayrı veya sinerjistik olarak etkileyebilir. Başarılı elektroğirme sürecini gösteren üç önemli kriter vardır: Taylor konisinin oluşumu ve stabil jet ve boncuk görüntüsü içermeyen homojen lifler. Optimum koşullar sağlanmadığında, jet oluşumu gerçekleşemez veya boncuk içeren lifler elde edilir. Jet dengesizlikleri aksel simetrik Rayleigh kararsızlığı, elektrik alan kaynaklı aksel simetrik kararsızlık ve eğilme kararsızlığı olarak sınıflandırılabilir (Ramakrishna vd.

2005). Bu nedenle, elektroğirme ile homojen nanolif elde etmek, parametrelerin dikkatli bir şekilde dengelenmesini gerektirir (Bhardwaj vd. 2010).

### 2.3.1.1 Çözelti Parametreleri

Çözelti viskozitesi, elektroğirme işlemleri sırasında lif morfolojisinde ve boyutunda önemli bir rol oynar. Genel olarak, çözeltinin viskozitesi, çözelti içindeki polimer molekülü zincir dolanmasının derecesi ile ilişkilidir. Polimerlerin dolaşması, lif oluşumu için çok önemlidir (Ramakrishna vd. 2005). Polimer solüsyonu, jet hareketini engellemeden yüksek polimer dolanması göstermelidir. Diğer bir deyişle, kritik bir viskozite değerinin altında uygulanan gerilim, Rayleigh kararsızlığından dolayı boncuk oluşumuna neden olur. Çözelti viskozitesi, çözeltinin konsantrasyonu ve polimerin moleküler ağırlığı ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Çözelti viskozitesinin ve/veya polimer konsantrasyonunun lif oluşumu üzerindeki etkisi çeşitli çalışmalarda kanıtlanmıştır. Gupta, Elkins, Long ve Wilkes (2005) 'in çalışmasında, konsantrasyon ve lif oluşumu arasındaki ilişki araştırılmış ve moleküler zincirler arasında yetersiz örtüşme nedeniyle seyreltik çözeltiler kullanıldığında polimer damlacıkları ve boncuklu yapı gözlemlenmiştir. Poli (metil metakrilat) konsantrasyonunun artmasıyla, elektroğirme ile homojen nanolifler elde edildi. Benzer şekilde Jia ve ark. (2007), artan polimer konsantrasyonu (PVA/kitosan) ile liflerin yapısının boncuklardan tekdüze yapıya kademeli olarak değiştiğini gözlemlemiştir. Zong vd. (2002) ayrıca belirli bir noktaya kadar artan konsantrasyon ve çözelti viskozitesinin homojen nanoliflerin oluşumunu desteklediğini göstermiştir. Çözeltilerin viskozitesi sadece lif oluşumunu değil, aynı zamanda üretilen liflerin çapını da etkiler. Genel olarak, yüksek viskozite bükülmeyi caydırdığından ve jet yolu azaldığından çap değerinde artışa sebep olur. Azaltılmış jet yolu, çözeltinin daha az gerilmesine neden oldu, bu nedenle lif çapı arttı (Ramakrishna vd. 2005). Demir ve Erman (2002), polimer konsantrasyonunun ve buna karşılık gelen polimer çözeltisinin viskozitesinin, lif morfolojisi üzerindeki etkili parametrelerden biri olduğunu vurgulamıştır. Lif çapının, polimer konsantrasyonunun küpü ile orantılı olduğu sonucuna varıldı. Ki ve ark. (2005), jelatin nanoliflerin çapındaki artış, jelatin konsantrasyonu ile doğru orantılı olan artan viskozite ile ilişkilendirilmiştir.

Çözelti iletkenliği, esas olarak polimer ve çözücü tipinden etkilenir. Genel olarak, çözücülerin elektriksel iletkenliği, birkaç serbest iyon içerdiğinden düşüktür. Çözeltilerin elektriksel iletkenliği, mineral tuzlar, mineral ve karboksilik asitlerin eklenmesiyle artırılabilir. Elektroğirme ile ilgili genel kural, çözelti tam olarak gerilmediğinde boncuk oluşumunun gözlemlenmesidir. Daha düşük iletkenliğe sahip çözelti ile damlacık yüzeyinin Taylor konisi oluşturacak yükü yoktur, bu nedenle elektroğirme gerçekleşmez. Jet tarafından taşınan elektrik yükleri artarsa, elektrik alanı altında jet daha yüksek uzama kuvvetlerine maruz kalır. Bu nedenle, tek tip nanolifler elde etme olasılığı artar. Zong ve ark. (2002), iyonik tuz ilaveli çözeltiler kullanıldığında liflerin morfolojisinin boncuklu yapıdan tekdüze yapıya değiştiğini, bunun da çözeltilerin elektrik iletkenliğindeki artışla ilişkili olduğunu bulmuştur. Benzer şekilde, Choi ve ark. (2004), poli (3-hidroksibütirat-ko-3-hidroksivalerat) (PHBV) çözeltisine az miktarda benzil trietilamonyum klorür eklenmesiyle, nanoliflerin yapısı bükülmüş şekilden düz şekle dönüşmüştür. Çözeltilerin elektriksel iletkenliğinin artması, sadece homojen nanolif üretimini değil, aynı zamanda lif çapını da etkilemektedir. Daha yüksek elektriksel iletkenlik, önemli ölçüde daha küçük fiber çapına yol açar (Sun vd. 2014). Zhang vd. (2004) çalışmasında, nano fiberlerin çapları, jet üzerindeki yüksek net yük yoğunluğu nedeniyle NaCl içeriği% 0.05'ten% 0.2'ye yükselirken 214 nm'den 159 nm'ye düşmüştür. Bir dizi araştırma grubu, çözeltilerin elektriksel iletkenliğinin nanolifin çapı üzerindeki etkisini inceledi. Son, Youk, Lee ve Park (2004), poli (allilamin hidroklorür) ve poli (akrilik asit sodyum tuzu) eklenmesinin, elektrospun PEO liflerinin ortalama çaplarında azalmaya yol açtığını bildirdi. Benzer şekilde, Jia ve ark. (2007), artan kitosan içeriğinin çözeltilerin elektriksel iletkenliğinde artışa ve kitosan nanoliflerin ortalama çaplarında azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, daha yüksek elektriksel iletkenlik, tek tip nanoliflerin oluşumunu teşvik eder, ancak belirli bir noktadan sonra, çözeltiler çok yüksek yüklere sahip olduğunda, uygulanan elektrik alanı tarafından üretilen elektrostatik kuvvet Taylor konisi oluşturmak için yetersiz olabilir ve elektroğirme sürecinin başlamasını engeller (Haider vd. 2018). Bu nedenle, viskoziteye benzer şekilde, homojen nanolifler üretmek için optimum bir elektriksel iletkenlik düzenlenmelidir.



Çözeltilerin yüzey gerilimi, elektroğirme işleminde ve lif morfolojisinde kritik bir rol oynar. Elektroğirmeyi başlatmak için, elektrostatik kuvvetler çözeltilerin yüzey geriliminin üstesinden gelmelidir. Böylece, yüklü polimer çözeltisi jeti Taylor konisinin ucundan çıkarılabilir. Bu nedenle, çözeltinin yüksek yüzey gerilimi, jetin kararsızlığının nedeni olabilir. Çözeltilerin viskozitesinin lif morfolojisi üzerindeki etkisi, yüzey gerilimi ile önemli ölçüde ilişkilidir. Özellikle çözeltiler daha düşük viskoziteye ve yüksek miktarda serbest çözücü moleküle sahip olduğunda, yüzey geriliminin etkisi altında çözücü molekülleri küresel damlacıklar halinde toplanır. Bu, elektroğirme sırasında boncuk oluşumunu destekler. Çözeltilerin viskozitesi arttıkça, polimer çözücü etkileşimi çözücü moleküller arasındaki etkileşime hâkim olur ve çözeltilerin gerilmesi sırasında çözücü moleküllerinin yüzey gerilimi ile bir araya gelme eğilimini azaltır. Dahası, çözeltilerin yüzey geriliminin azaltılması, elektroğirme sırasında yüzey geriliminin üstesinden gelmek için gereken elektrik alanını en aza indirir (Haghi vd. 2007). Çözeltinin yüzey gerilimi, polimer çözeltileri hazırlamak için kullanılan çözücünün türüne büyük ölçüde bağlıdır. Yang ve ark. (2004), poli (vinil pirolidon) (PVP), farklı çözücüler (dimetilformamid (DMF), diklorometan (DCM) ve etanol) içerisinde çözündürülerek farklı yüzey gerilimi değerlerine sahip çözeltiler elde edilmiştir. Böylece yüzey geriliminin lif morfolojisi üzerindeki etkisi incelenmiş ve etanol kullanılarak hazırlanan çözeltilerin daha düşük yüzey gerilimine sahip olduğu ve pürüzsüz nano lifler elde edildiği görülmüştür. Aksine, daha yüksek yüzey gerilimine sahip polimer-DMF çözeltileri ile boncuk oluşumu gözlenmiştir. Başka bir çalışmada, etanolün suya karıştırılması, polimer çözeltilerinin yüzey gerilimini azaltarak pürüzsüz nanoliflerin oluşumunu teşvik etmiştir. Yüzey gerilimini azaltmanın bir başka yolu, çözeltilere yüzey aktif madde eklemektir. Abutaleb, Lolla, Aljuhani ve Shin (2017), polieterimid solüsyonlarına yüzey aktif maddeler triton X-100 ve hegzadesiltrimetilamonyum bromür (HTAB) eklemiş ve artan yüzey aktif madde miktarı ile boncuk oluşumunun kademeli olarak azaldığı bildirilmiştir. Zheng ve ark. (2014), sürfaktanın elyaf morfolojisi üzerindeki etkisi incelenmiş ve sürfaktan ilavesinin daha düşük lif çapı ile homojen nano lif oluşumunu arttırdığı belirtilmiştir.

### 2.3.1.2 İşleme Parametreleri

Uygulanan gerilim: Elektroğirme işleminde, uygulanan gerilim, çözümdeki elektrostatik etkileşim kuvvetlerini doğrudan etkilediği için en önemli işleme parametresidir. Çözeltilerin yüzey gerilimine karşı koymak için kritik bir uygulanan voltaj değerine ihtiyaç vardır ve böylece polimer jeti Taylor konisinden çıkarılabilir (Anu vd. 2014). Bu kritik voltaj değeri polimerden polimere değişir. Elektroğirmeyi başlatmak için, spesifik harici elektrik alanı sağlanmalıdır. Bununla birlikte, belirli bir noktadan sonra, daha yüksek uygulanan voltaj, boncuk oluşumuna neden olur. Uygulanan gerilim büyüklüğünün etkisi, Deitzel, Kleinmeyer, Harris ve Beck Tan'ın (2001) çalışmasında diğer parametreler (çözüm özellikleri ve işleme koşulları) sabit tutularak ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kritik voltajın üzerinde, fiber morfolojisinin voltaja bağımlılığının damlacık şekli ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Optimum aralıktaki voltaj uygulandığında, damlacığın altındaki bir koniden püskürtülen jet, Taylor konisinin teorik öngörüsünün bir açısı ile uyum içindedir. Öte yandan, daha yüksek voltajın etkisi altında, damlacık oluşumu yerine, doğrudan şırınganın ucundan jet ortaya çıktı. Bu şartlar altında üretilen liflerin oldukça boncuklu bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle, boncuksuz nanolifler elde etmek için optimum voltajın ayarlanması gerekir. Meechaisue, Dubin, Supaphol, Hoven ve Kohn (2006) çalışmasında 20 kV'nin altında mukavemet uygulanmış, % 15 (w/v) poli (DTE karbonat) çözeltisinden boncuklu elyaf elde edilmiştir. Ancak Sill ve Von Recum'un (2008) çalışmasında, uygulanan voltaj arttıkça Taylor konisi oluşumuna kadar damla hacminin azaldığı ve jetin damlacık yerine kılcaldan atılarak bir boncuk kusurlarında artış gözlemlendi. Çalışmalardan anlaşılacağı üzere, zayıf ya da güçlü elektrik alanları boncuk oluşumuna neden olur ve homojen nanolif oluşumu için gerekli optimum elektrik alanı aralığı, polimer çözelti özelliklerine bağlıdır. Uygulanan gerilim, sadece lif oluşumunu değil, aynı zamanda lif çapını da önemli ölçüde etkiler. Elektrik alan kuvveti arttıkça, daha fazla çözelti hacmi çıkarılır ve bu da daha büyük lif çapına neden olur (Geoffrey vd. 2015). Torres-Giner, Ocio ve Lagaron, (2009) şırıngadan daha fazla malzeme çekilmesi nedeniyle zein nanoliflerin fiber çapının elektrik alanını artırarak kademeli olarak arttığını gözlemlemiştir. Ramji ve Shah'ın (2014) çalışmasında, uygulanan voltaj 15 ila 27 kV arasında değiştiğinde, ortalama çap 20 nm'den 60 nm'ye

çıkıştır. Benzer çalışmalar, uygulanan voltajın daha yüksek olduğu lif çapındaki artışı göstermiştir (Neo vd. 2012, Coles vd. 2010). Aksine Lee ve ark. (2007), daha yüksek voltajın, daha hızlı hızlanma ve jetin daha fazla gerilmesi nedeniyle lif çapında azalmaya yol açtığını bulmuştur. Aynı sonuç, ortalama lif çapının artan uygulanan voltajla azaldığı Zhao, Wu, Wang ve Huang'ın (2004) çalışmasıyla da doğrulanmıştır.

DC voltaj kaynağı, elektroğirmeye yaygın olarak kullanılmasına rağmen, AC kaynağı elektroğirme için bir alternatif olabilir. Bir AC beslemesiyle, çözeltilerin yüklenmesi daha hızlıdır ve jetin daha yüksek gerilmesi, daha küçük lif çapına neden olur. AC voltajının diğer bir avantajı, fiber üzerindeki benzer yüklerin daha az birikmesi nedeniyle yalıtım toplama plakasında bile daha kalın bir elektrospun lif tabakasının toplanabilmesidir (Kessick vd. 2004).

Akış hızı: Elektroğirme sırasında iğnenin ucunda sabit bir damlacık tutmak için polimer çözeltisi, şırınga pompası veya yerçekimi beslemesi ile yapılabilen yeterli basınçla beslenmelidir. Akış hızını kontrol etmek için çoğunlukla şırınga pompası tercih edilir. Akış hızı, elektroğirme işlemi için çözelti miktarını ve jet hızını belirler. Nanolif elde etmek için çözücünün buharlaştırılması gerekir, böylece buharlaşma için yeterli zaman elde etmek için daha düşük besleme hızı istenir. Homojen nanoliflerin üretimi için kritik akış hızı, polimer sistemine bağlıdır.

Uç ve toplayıcı arasındaki mesafe: Uç ve toplayıcı arasındaki mesafe, lif morfolojisini ve çaplarını kontrol eden diğer önemli işlem parametresidir. Uçtan toplayıcıya olan mesafe, jet kararsızlığını, birikme süresini ve buharlaşma oranını doğrudan etkiler. İğne ucu ile toplayıcı arasında yetersiz mesafe, liflerin yetersiz kurummasına neden olur. Bu durumda kuruma süresi çözücünün buharlaşması için yeterli değildir ve kısmen kurumuş lifler toplayıcı üzerinde biriktirilir ve homojen nanolifler yerine yoğun bir şekilde paketlenmiş yapı elde edilir. Bu nedenle, uç ve toplayıcı arasındaki optimum mesafe, çözücünün nanoliflerden buharlaşmasını teşvik edecek şekilde ayarlanmalıdır (Ghorani vd. 2015). Boncuk oluşumu, iğne ucu ile toplayıcı arasındaki alan kuvvetine atfedilir ve bu mesafe azaltılarak arttırılabilir. Daha önce belirtildiği gibi, daha yüksek alan kuvveti ile jet kararsızlığı boncuk oluşumunu destekler (Ramakrishna vd. 2005).

Alan kuvveti ile uç-kolektör mesafesi arasındaki ilişki de lif çapı ile ilişkilidir. Lin ve ark. (2008), uçtan toplayıcıya olan mesafe arttıkça ortalama lif çapı minimum değere ulaşmış ancak bundan sonra mesafedeki artış daha yüksek ortalama çap ile sonuçlanmıştır. Ying Yang ve ark. (2006) 'ın başka bir çalışmasında, ortam nemi düşük olduğunda, daha uzun mesafenin daha yüksek buharlaşma oranı nedeniyle elyaf çapını azalttığı gözlemlenmiştir. Ancak daha yüksek nem değerlerinde mesafenin artması buharlaşma oranını arttıramaz.

Kollektör türleri: Elektroğirme sürecini başlatmak için, kolektör ile iğne ucu arasında bir elektrik alanı olması gerekir. Bu nedenle kollektör iletken malzemeden yapılmıştır ve elektriksel olarak topraklanmıştır. Genelde iletkenliği arttırmak için kollektöre alüminyum folyo kaplanır. Elektroğirme için kullanılan diğer toplayıcı iletken kağıt, tel örgü, pim, iletken kumaş ve paralel çubuktur (Bhardwaj vd. 2010). İletken olmayan toplayıcı kullanıldığında, toplayıcı üzerinde biriken yüklerin itme kuvvetleri nedeniyle daha az lif birikir ve toplanan lifler daha düşük paketleme yoğunluğuna sahiptir. Aksine, iletken toplayıcıda, lifler üzerindeki yükler dağılır, böylece daha fazla lif toplanır ve lifler birbirine yakın bir şekilde paketlenir. Farklı tipte toplayıcılar kullanılarak farklı lif morfolojisi gözlemlenir. X. Wang ve ark. (2005), alüminyum folyo ve tel ekran, üfleme destekli elektroğirme ile hyaluronik asit nanoliflerin üretiminde kullanılmıştır. Nanolif membranı alüminyum kollektörden ayırmak zordur. Bununla birlikte, daha büyük iletkenliğe sahip alüminyum folyo toplayıcı, tel ekranlı kollektörden daha iyi performans gösterdi. Daha az iletken alana sahip olması nedeniyle tel ekran üzerinde toplanan liflerde boncuk oluşumu gözlenmiştir. Elektrospun nanolifleri hizalamak için farklı tipte toplayıcılar kullanılır. Yüksek dönme hızına sahip silindirik toplayıcı, keskin kenarlı ince tekerlek, çerçeve toplayıcı, fiber hizalama için yaygın olarak kullanılmaktadır (Huang vd. 2003).

### **2.3.1.3 Ortam Parametreleri**

Çözelti özelliklerine ve işlem parametrelerine ek olarak, nem ve sıcaklık dahil ortam parametreleri de elektroğirmeyi etkiler. Ortam nemi, yüklü jetin katılaşmasını

etkileyebilir. Yüksek nemde, çözücünün buharlaşma hızı daha düşük olabilir ve lifin yüzeyinde su yoğunlaşarak lif morfolojisini etkileyebilir.

Sıcaklık, lif morfolojisini etkileyen başka bir ortam parametresidir. Daha yüksek çalışma sıcaklığı, çözücünün daha yüksek buharlaşma oranına ve çözeltilerin viskozitesinde düşüşe neden olabilir. De Vrieze vd. (2009), daha yüksek sıcaklığın daha düşük lif çapına yol açtığını bulmuştur. Benzer şekilde, Mit-Uppatham, Nithitanakul ve Supaphol'un (2004) çalışmasında, 25 ila 60 °C arasında değişen sıcaklığın elektrospun poliamid-6 liflerinin morfolojisi üzerindeki etkisini viskozite ve sıcaklık arasındaki ters ilişki nedeniyle lif çapındaki azalmaya atfedildiği bildirilmiştir,

### **2.3.2 Elektroğirme Uygulamaları**

Elektrospun nanolifler geniş yüzey/hacim oranına, yüksek gözenekliliğe ve üstün mekanik özelliklere sahip olduklarından, elektroğirme, nanolifler üretmek için artan bir ilgi gördü. Elektroğirme, lif üretmek için eski bir yöntem olmasına rağmen, son yıllarda doku mühendisliği iskelelerinde, yara iyileşmesi, ilaç verme, filtrasyon, biyosensörler, enzimlerin immobilizasyonu ve tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Deitzel vd. 2001). Son zamanlarda araştırmacılar, enzim immobilizasyonu, biyoaktif bileşiklerin kapsüllenmesi ve paketleme gibi gıda endüstrisi için elektroğirmenin uygulanabilirliğini araştırmaya başladılar.

### **2.4 Antibakteriyel Etki**

Doğada tabii olarak yetişen bazı bitkilerin ekstrelerinin ve uçucu yağlarının bakterilere karşı antibakteriyel aktivite gösterdiği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (Kalemba vd. 2003). Gram pozitif ve gram negatif bakteriler, gram ile boyamaya göre bakterilerin iki ana grubudur. İyapıları benzer olmakla birlikte, gram-pozitif bakteriler teikoik asitli kalın bir peptidoglikan hücre zarı, gram-negatif bakteriler teikoik asit içermeyen ince bir peptidoglikan hücre zarı içermektedir. Bu nedenle, gram-pozitif bakteriler mor renkte boyanırken, gram-negatif bakteriler gram boyama sırasında pembe renkte boyanır. Gram-negatif bakterilerin ince peptidoglikan tabakası, hedef bölgelere ulaşan

biyosit konsantrasyonunu sınırlayarak hücreye ekstra direnç sağlayan dış zar tabakası ile çevrilidir.

#### **2.4.1 Antibakteriyel Ajanlar**

Bakterileri etkisiz hale getirmek için önce biyositler hücre yüzeyinde birikir, sonra geçiş yapar ve hedefe konsantre olur ve son olarak hedef bölgeyle etkileşime girerek zarar verir. Son saldırı, biyosit ve bakterilerin fiziksel veya kimyasal etkileşimleriyle gerçekleşebilir. Fiziksel etkileşimli maddeler, bakterilerin hücre zarı bütünlüğüne zarar verdiğinden, zar aktif maddeler olarak adlandırılırlar. Kuaterner amonyum tuzları, biguanidler, alkoller ve fenoller, membran aktif ajanların örnekleridir. Kimyasal etkileşimli ajanlar için, bakterilerin büyümesini durdurmak veya etkisiz hale getirmek için biyosit ile bakteri hücresinin sitoplazmik bileşenleri arasında kimyasal bir etkileşim meydana gelir. Halojen ve peroksitler gibi oksidanlar, bakır ve gümüş gibi inorganik iyonlar ve formaldehit gibi organik biyositler kimyasal etkileşimli ajanların üyeleridir (Demirci 2018).

Yaygın biyositler: Biyosit, koruyucular, dezenfektanlar, böcek ilaçları ve antimikrobiyaller gibi çeşitli maddeleri içeren genel bir terimdir. Bunların arasında mikroorganizmanın büyümesini engelleyen veya onları öldüren maddeler antibakteriyellerdir. Bu aktivasyon türüne göre sırasıyla biyostatik ve biyosidal olarak adlandırılırlar.

Biguanidler, hücre zarını dağıtarak iyi biyosidal aktivite gösteren katyonik aminlerdir. Klorheksidin ve poli (heksametilenbiguanid) sırasıyla en yaygın kullanılan biguanid ve polimerik biguaniddir. Poli (heksametilenbiguanid), monomerik ve dimerik biguanidlere göre çok daha fazla antibakteriyel aktivite gösterir. Biguanidler bakteri, mantar, virüs ve parazitlere karşı etkilidir. Antibakteriyel sabunlar, antiseptik el jelleri, kontakt lens temizleme solüsyonları, yara pansumanları ve kozmetikler biguanidlerin kullanım alanlarından bazılarıdır.

Bakır, gümüş, çinko, kobalt gibi ağır metaller ve bunların tuzları ucuz ve etkili

maddelerdir, ancak gümüş ve bakır dışında insan için toksiktirler. Antibakteriyel aktivitesi, proteinler içindeki disülfid bağlarının bölünmesiyle meydana gelir.

Kimyasal etkileşimli bir ajan olarak peroksitler, mikroorganizmaları inaktive etmek için enzimlerin ve proteinlerin tiol gruplarını okside eder. Peroksitler, bakteriler, bakteriyel sporlar ve virüsler dahil olmak üzere çok çeşitli mikroorganizmalara karşı etkinlikleri nedeniyle tıbbi cihazlar için sterilantlar, yara temizleyiciler vb. gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Demirci 2018).

Kuaterner amonyum tuzları (QAS), N+tuz bölgesinin negatif yüklü hücre yüzeyi ile elektrostatik etkileşimi ve uzun alkil zincirinin hücre duvarından geçmesi yoluyla biyosidal aktivite gösteren katyonik membran aktif maddelerdir. Etkili bir biyosidal performans için, genellikle 12-18 karbon atomu arasında olan nitronyum bölgesindeki alkil zincirinin uzunluğu çok önemlidir.

Alkoller, düşük kaynama noktalarından dolayı hızlı etki gösterir ancak kısa vadeli stabilite gösterir. Alkolün büyük bir kısmı antiseptik olarak kullanılmasına rağmen, dezenfektan olarak etanol ve izopropanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılmaktadır. Alkollerin inaktivasyon mekanizması, hücre zarına zarar vererek ve proteinleri denatüre ederek meydana gelir. Su hücre zarına difüzyonu arttırdıkça alkollerin sulu çözeltileri (ağırlıkça % 60-90) daha yüksek antibakteriyel aktiviteye sahiptir. Alkoller genellikle otellerde ve el hijyeninde dezenfekte edici spreyler olarak veya termometre, stetoskop vb. için dezenfektan bir malzeme olarak kullanılırlar. Virüslere, mantarlara ve bitkisel bakterilere karşı etkilidirler.

Halojenler, geniş spektrumlu antibakteriyel etkinliğe sahip ucuz ajanlardır.  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $NaOCl$  ve  $ClO_2$  gibi halojenlerin su çözeltileri klorik ve iyodik asitler oluşturur ve daha sonra atomik oksijen ve haloidleri serbest bırakarak bakteri protoplazma proteinlerinin amino gruplarını oksitler. Klor, cansız nesnelere, yüzme havuzunun, içme suyunun vb. Dezenfeksiyonunda kullanılırken, iyot genellikle cilt dezenfeksiyonu gibi sağlıkla ilgili alanlarda kullanılır.

N-halaminler; halojenler, geniş mikroorganizma spektrumuna karşı etkilidir; ancak su ve yüzeylerdeki dengesizlikleri kullanımlarını sınırlar. Halojenlerin bu dezavantajı, N-halaminler ile ortadan kaldırılabilir. N-halaminlerin öldürücü etkisi, oksidatif klorun mikroorganizmaların alıcı bölgelerine (proteinlerdeki tiol veya amino grupları) aktarılmasıyla meydana gelir. Suda ve kuru havada uzun vadeli stabilite, yüzey için aşındırıcı ve insan ve çevre için toksik değildir, geniş bir bakteri yelpazesine karşı etkinlik, N-halaminleri en etkili biyosidal maddelerden biri yapar (Demirci 2018).

Bağ uzunluğu ile bağ ayrışma enerjisi arasında ters bir ilişki vardır. İmid bağının uzunluğu amid bağından daha kısa olmasına rağmen, iyonik karakteri imid bağının daha hızlı hidrolizine neden olur. Dolayısıyla imid N-halaminler bakterileri diğer N-halaminlerden daha hızlı öldürür, ancak en az kararlı olanıdır.

Mikroorganizmaların yeniden oluşumunu engellemek için N-halamin bileşiklerinin stabilitesi önemlidir. Bir  $\alpha$ -hidrojenden yoksun olan siklik N-halamin bileşikleri (N-X kısmına bitişik karbon atomuna bağlı hidrojen) en kararlı ve uygulanabilir N-halaminlerdir.  $\alpha$ -hidrojen, N-halamin bileşiklerinin yeniden klorlanmasını engelleyen çift bağ oluşumuna neden olabilir.

#### **2.4.1.1 Gümüşün Antibakteriyel Özelliği**

Gümüş nanotanecekleri, antibakteriyel ve dezenfekte etme özelliklerinden dolayı ve biyosensör uygulamalarında yaygın kullanımından dolayı, bugüne kadar farklı yöntemlerle üretilmişlerdir. Nano gümüş ve koloidal gümüş antibakteriyel özelliğe sahip olmaları ve bakterilerin antimikrobiallere karşı gösterdikleri direnç gümüşe karşı geliştirilemediğinden, bilim insanları uzun süredir bu konuya ilgiyi arttırmışlardır. Geçmiş tarihlerde Yunanlar, Persler ve Romalılar gümüşün antibakteriyel özelliğini keşfettiklerinde, genelde gıdalarını gümüş kaplar içerisinde saklamışlardır. Orta çağlarda ise veba salgınlarında, aristokratlar yemek takımlarında gümüşü kullanmışlardır ve vebadan korunmalarında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Nano gümüşünde mikroorganizmalar üzerinde etkisinin olduğu saptanmıştır.



Hücre zarı içerisinde hızlı bir şekilde geçiş gösterebilmektedirler. Antibakteriyel, antifungal, antivirüs ve antimikrobik özelliklere sahip oldukları için sağlık alanında da olabildiğince ilgi duyulmuştur. Doküman sektöründen kozmetiğe, farmakoloji alanından halı sanayilerine kadar farklı birçok kullanım alanında yer etmiştir. Nano gümüşün etkili kullanım yeri ise tedavi için kullanılmasıdır.

## 2.5 Antifungal

Mikroorganizmalar, doğrudan çıplak gözle tespit edilemede, yeryüzündeki yaşam ortamında insanlarla her zaman bir arada bulunur. Bunların bazıları insanlara zararsızdır, ancak *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* gibi bazı patojenik suşlar sadece bulaşıcı hastalıklara değil aynı zamanda koku, bozulma ve alerjilere de neden olur. Ayrıca, *Aspergillus niger* ve *Aspergillus flavus* gibi *Aspergillus*'un neden olduğu yiyecek, giysi, mobilya ve bina küfü günlük hayatımızda yaygındır. Mikrobiyolojik kontaminasyon uzun zamandır insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluştursa da, son yıllarda 2003'te "SARS" ve 2009 ve 2013'te "Grip" gibi bazı ciddi sosyal sağlık sorunları ortaya çıkana kadar hemen ilgilenmiyorduk. Bu nedenle, insan sağlığını göz önünde bulundurmak için, genel sıhhi cihazlar, biyo-tıbbi cihazlar, su arıtma sistemleri, hastaneler ve diş hekimliği ekipmanları, gıda gibi birçok alanda patojenik mikroorganizma enfeksiyonlarının yayılmasını sınırlamak için bir yaklaşım sunmak önemlidir. Paketleme ve saklama malzemeleri, ilaç üretim aletleri, ev eşyaları, iç mekân yapı malzemeleri, vb. Bu bakımdan günlük hayatımızda bizi bakteriyel enfeksiyonlardan korumak için düşük maliyetli antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahip yeşil kaplamalar geliştirmeye artan ilgiye neden olmuştur.

Günümüzde mevcut bakterisidal ve antifungal ürünler temelde inorganik antifungal maddeler, organik antibakteriyel malzemeler ve doğal aktif antimikrobiyal maddeler içermektedir. Kuaterner amonyum bileşikleri, iyodür ve fenol türevleri gibi birçok türden maddeyi içeren organik antifungal ajanlar, birkaç yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan diğer bir antifungal ajan türleri esansiyel yağlardır. Bununla birlikte, yukarıda bahsedilen bu antifungal maddelerin bakterisidal uygulamaları, bakteriyel direnç etkileri ve insan toksisitesi ile sınırlıdır (Xiao vd. 2014).

## 2.6 Esansiyel Yağlar

Uçucu yağlar, bitkilerden hidro veya buharlı damıtma ve ekspresyon (turunçgil kabuğu yağları) ile izole edilen, uçucu ikincil metabolitlerin karmaşık doğal karışımlarıdır. Uçucu yağların ana bileşenleri, karbonhidratlar, alkoller, eterler, aldehitler ve ketonlar dahil olmak üzere mono- ve seskiterpenler-aromatik ve tıbbi bitkilerin kokulu ve biyolojik özelliklerinden sorumludur. Bu özelliklerinden dolayı, eski zamanlardan beri baharat ve şifalı bitkiler, sadece tatlandırıcı olarak değil, aynı zamanda koruyucu olarak da gıdalara eklenmiştir. Yüzyıllar boyunca uçucu yağlar, bitkilerin farklı kısımlarından izole edilmiş ve benzer amaçlarla da kullanılmaktadır. Uçucu yağlar geniş bir faaliyet yelpazesini kapsar. Çeşitli uçucu yağlar, antiinflamatuvar, antioksidan ve antikanserojenik özellikler gösteren farmakolojik etkiler üretir. Diğerleri, bakteriler, mantarlar, virüsler, protozoa, böcekler ve bitkiler gibi çok çeşitli organizmalara karşı biyositlerdir.

Uçucu yağlar hâlihazırda hatırı sayılır bir uygulama alanı bulmuştur. Çoğunluğu parfümeride, yiyecek ve içecek endüstrisinde koku olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda tıpta, gıda ve kozmetiklerin korunmasında geleneksel doğal ürünlerin yeniden canlanmasına tanık olunmuştur. Antibiyotiklerin gelişmesine rağmen, bakteriyel ve fungal enfeksiyonlar tıpta hala önemli bir sorundur ve çok sayıda ilaca dirençli suşun varlığı yeni bir zorluk teşkil etmektedir. Bitkisel ilaçlar bu alanda yüzyıllardır yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, mevcut antibiyotikler ve koruyucularla karşılaştırıldığında, bulunabilirlikleri, daha az yan etkileri veya toksisiteyi ve daha iyi biyobozunurlukları nedeniyle doğal ürünlere artan bir ilgi vardır (Kalembe 2003).

Bu bakımdan, bitkisel uçucu yağlar büyük bir potansiyel ve umut sunabilir. Bu nedenle, bileşimleri ve antibakteriyel aktiviteleri kapsamlı ve sistematik olarak incelenmiştir. Uçucu yağların ve bileşenlerinin antibakteriyel özellikleri daha önce gözden geçirilmiştir (Kalembe 2003).

## 2.6.1 Esansiyel Yağ Çeşitleri

### 2.6.1.1 Pelargonium (Sardunya) Esansiyel Yağı

Pelargonium spp. Geraniaceae familyası kökeninin Hindistan olduğuna inanılmaktadır. Şu anda Hindistan'da yetiştirilen üç sardunya, Cezayir, Bourbon ve Mısır çeşidi, Pelargonium graveolens, P. radens ve P. capitatum'dan gelen melezlerdir. Pelargonium esansiyel yağının başlıca bileşenleri monoterpenerler (%64,3-74,2), geraniol (%27,5-50,2) ve sitronelol (%14,2-19,0) bileşikleridir. Hindistan'da pelargonium yağı üzerinde önemli çalışmalar yapılmıştır ve literatür araştırması, yağ bileşiminin yaş, yapraklar, iklim değişikliği, damıtma öncesi ot kurutma, ufalama gibi faktörlerden etkilendiği belirlenmiştir. Pelargonium esansiyel yağı kozmetik sektöründe, aromaterapide ve gıdalara endüstrisinde yaygın ve çokça bir şekilde kullanılmaktadır. Pelargonium esansiyel yağının giderek daha fazla ilgi çekmesinde antibakteriyel ve antifungal etkilere sahip olmasının büyük etkisi vardır. Farklı ülkelerde yetiştirilen pelargonium uçucu yağ bileşimi Lawrence tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Babu vd. 2005).

### 2.6.1.2 Eucalyptus (Okaliptüs) Esansiyel Yağı

Çeşitli aromatik bitkiler arasında, dünya çapında dağılmış 700'den fazla türle temsil edilen okaliptüs L0 Herit cinsi (Myrtaceae Ailesi ve Avustralya'nın yerlisi) en yaygın olarak ekilen okaliptüs türlerinden biridir. Yağ bezleri bakımından zengin kokulu yaprakları olan uzun, görkemli ve yaprak dökmeyen ağaçlardan oluşur ve farmasötik, parfümeri ve endüstride geniş kullanım alanı bulan ticari açıdan önemli okaliptüs yağı için mükemmel bir kaynaktır. Yaygın okaliptüs yağ türleri şunlardır: limon veya limon kokulu okaliptüs (E. citriodora), tazmanya mavis sakızı (E. globulus), mavi mallee (E. polybractea) ve nehir kırmızısı sakızı (E. camaldulensis). Bir rapora göre, okaliptüs türlerinden elde edilen uçucu yağ, dünyanın en çok ticareti yapılan yağları arasındadır. Eucalyptus türleri sadece yakıt biyokütlesi sağlamak ve atmosferdeki karbondioksit seviyelerini doğrudan düşürmekle kalmaz, aynı zamanda böcek/haşere kovucu ve

pestisidal ajan olarak kullanılan uçucu yağları aracılığıyla çeşitli dolaylı hizmetler de gerçekleştirir. Aslında okaliptüs yağı, doğası gereği antibakteriyel, antifungisidal ve antiseptik olarak yüzlerce yıldır bilinmektedir. Okaliptüs yağı, kalite bakımından üstündür ve parfümeri, ilaç ve diğer endüstrilerde çok amaçlı kullanımları olduğu için diğer ağaç mahsullerinden elde edilen uçucu yağa göre avantajlara sahiptir (Batish vd. 2008).

### **2.6.1.3 Citronella (Limonotu) Esansiyel Yağı**

*Cymbopogon nardus* (L.) Sri Lanka ve güney Hindistan'dan gelen Poaceae familyasına ait aromatik bir ot olan Rendle (citronella otu veya Ceylon citronella), şu anda dünyanın birçok yerinde yetiştirilmektedir. C'den elde edilen citronella yağı, *nardus* (L.) Rendle esas olarak sitronelal, sitronellol ve geraniol ve bazı seskiterpenler dahil olmak üzere monoterpenlerden (% 80'e kadar) oluşur. Citronella yağı sivrisinek kovucu, parfüm, sabun ve kozmetikte kullanılmıştır. Yağın ektoparazitler ve bakteriler ve mantarlar dahil patojenik mikroorganizmalar üzerindeki inhibitör etkilerini araştırmalar göstermiştir. Sitronella yağının antibakteriyel özellikleri, geraniol ve sitronellol gibi bileşenlerinden kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle sitronella yağı, *A. alternata*'yı inhibe etme potansiyeline sahip olabilir. Sitronella yağının *alternata* aktivitesi için, yağın *A. alternata*'ya karşı antifungal etkinliğini sistematik olarak değerlendirmek gerekir. (Chen vd. 2014).

### **2.6.1.4 Cypress (Selvi) Esansiyel Yağı**

*Cupressus* cinsinin Kuzey Afrika, Asya, Kuzey Amerika ve Meksika'nın 20'den fazla türü tarafından temsil edildiği düşünülmektedir. Coğrafi alanı Kuzey Yarımküre ile sınırlıdır. Bu sayı, Farjon'un 7 türü listeleyen sınıflandırmasından farklıdır. *Cupressus* cinsi sınıflandırması kolay değildir; bu nedenle, genetik ve türler arası karmaşıklık önemlidir. Doğal popülasyonlarda sınıflandırma sorunu gözlenmektedir (Pierre vd. 2003).

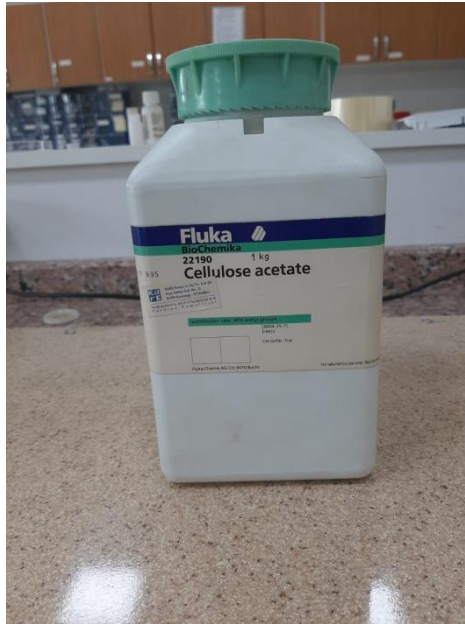
### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Deneysel Çalışmalar İçin Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1 Selüloz Asetat

Selüloz asetat, selüloz polimerinin değerli esterlerinden biridir. Selüloz asetat film, filtre, lif üretimi gibi birçok imalat faaliyetinde kullanılabilen ekonomik ve nitelikli lif kaynağı sağlayan doğada ayrışabilen biyoyumlu bir maddedir (Fischer vd. 2008).

Yapılan tez çalışmasında lif oluşumunu sağlamak amacıyla FLUKA marka selüloz asetat kullanılmıştır (Resim 3.1).



**Resim 3.1** Fluka marka selüloz asetat.

##### 3.1.2 Gümüş Nitrat

Gümüş nitrat renksiz, kristalli, ışık veya organik maddeyle karşılaştığında kararar,  $AgNO_3$  formülüne sahip bir gümüş tuzudur. İçeriğinde gümüş bulundurmasından dolayı antibakteriyel ve antifungal etkiye sahiptir (Feng vd. 2000).

Bu tez çalışmasında gümüş kaynağı olarak Resim 3.2’de görüldüğü gibi FLUKA marka gümüş nitrat kullanılmıştır.



**Resim 3.2** Fluka marka gümüş nitrat.

### 3.1.3 Esansiyel Yağlar

Esansiyel yağlar bitkinin ikincil metaboliti olarak bitkinin çeşitli bölgelerinden doğal olarak elde edilen lipofilik ve oldukça uçucu yapılardır. Esansiyel yağların kimyasal yapısında, fenolikler, terpenoidler, aldehytlar, ketonlar, eterler dahil olmak üzere bir dizi bileşik vardır ve bu durum esansiyel yağların birçok patojene karşı etkili olmasını sağlar. Esans yağlar antibakteriyel, antiviral, antifungal özelliklere sahiptirler (Turek ve Stintzing 2013, Wani vd. 2020).

Bu çalışmada elde edilecek liflere antibakteriyel ve antifungal özellikler kazandırmak amacıyla ART DE HUILE firmasından temin edilen okaliptus yağı, pelargonium yağı, cypress yağı ve citronella yağı kullanılmıştır (Resim 3.3).



**Resim 3.3** Esansiyel yağlar.

### **3.1.4 Aseton**

CARLO ERBA marka aseton selüloz asetat için çözücü olarak kullanılmıştır.

### **3.1.5 Propilen Glikol**

EMİR KİMYA'dan temin edilen propilen glikol gümüş nitrat için çözücü olarak kullanılmıştır.

## **3.2 Deneysel Çalışmalar İçin Kullanılan Cihazlar**

### **3.2.1 Manyetik Karıştırıcı**

Çözelti hazırlama ve katkılendirme aşamasında Afyon Kocatepe Üniversitesi Polimer-Kompozit Malzemeler laboratuvarında bulunan Multi-HS 6 DIGITAL marka 6'lı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır (Resim 3.4).



**Resim 3.4** Multi-HS 6 DIGITAL marka altılı karıştırıcı.

### 3.2.2 Hassas Terazi

Çözeltilerin hazırlanması ve katkılandırma işleminde Afyon Kocatepe Üniversitesi Polimer-Kompozit Malzemeler laboratuvarında bulunan SHIMADZU BL3200H model hassas terazi kullanılmıştır (Resim 3.5).



**Resim 3.5** SHIMADZU BL3200H model hassas terazi.



### 3.2.3 Elektroğirme Cihazı

Elde edilen çözeltilerden nanolif üretimi sağlamak için Afyon Kocatepe Üniversitesi Polimer-Kompozit Malzemeler laboratuvarında bulunan tarafımızdan tasarlanan elektroğirme cihazı kullanılmıştır ( Resim 3.6-3.7).



**Resim 3.6** Elektroğirme cihazı.



**Resim 3.7** Elektroğirme cihazı toplayıcı kontrol paneli.

### 3.2.4 FTIR Cihazı

Hazırlanan saf selüloz asetat, gümüş nitrat katkılı CA, okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA, pelarganium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA, cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA, citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilerinin FTIR(fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi) analizinin yapılması işleminde Afyon Kocatepe Üniversitesi Polimer-Kompozit Malzemeler laboratuvarında bulunan Pelkin Elmer FT-IR Spectrometer Spectrum Two marka FTIR cihazı kullanılmıştır (Resim 3.8).



**Resim 3.8** Pelkin Elmer FT-IR Spectrometer Spectrum Two marka FTIR cihazı.

### 3.2.5 SEM (Scanning Electron Microscope)

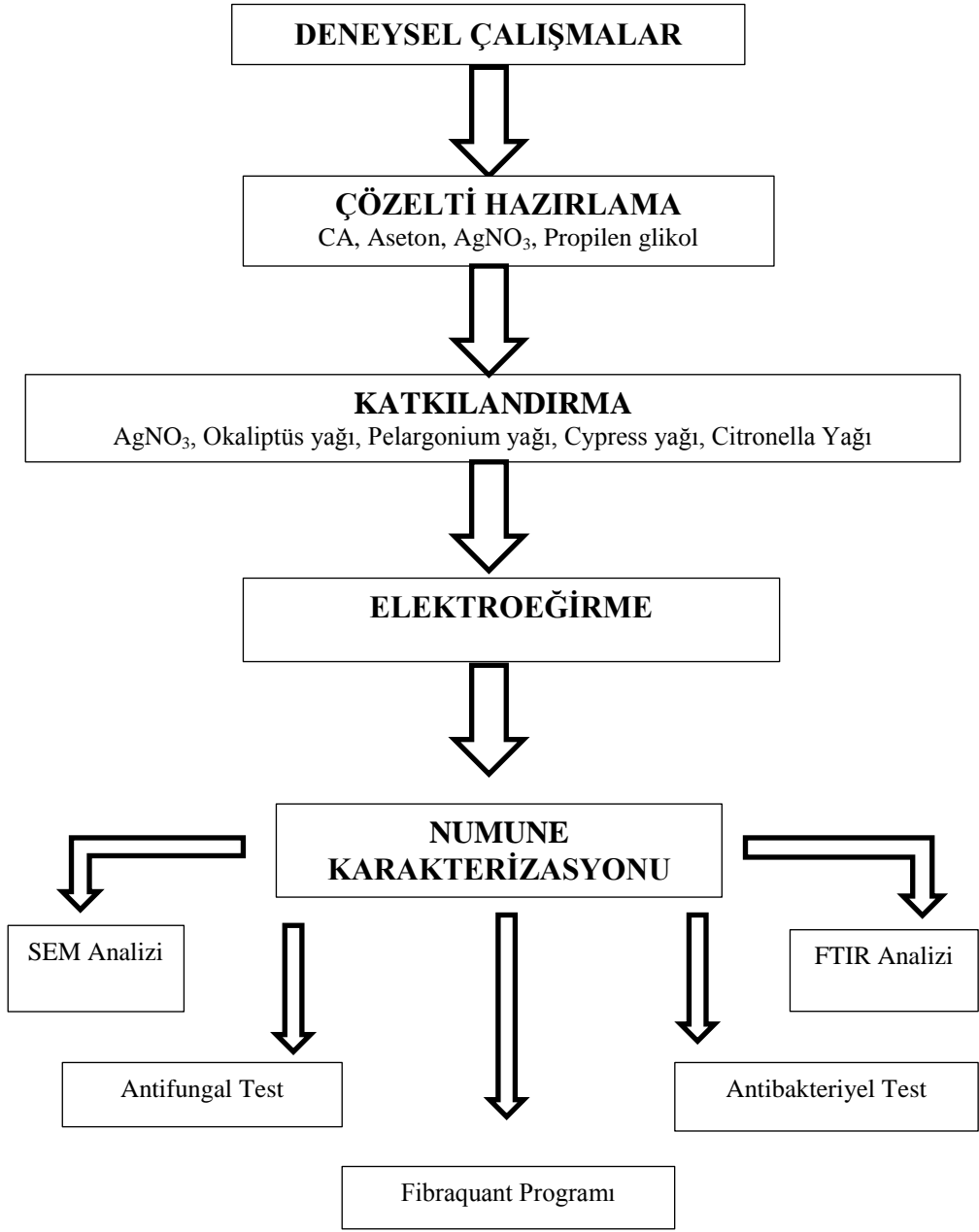
Üretilen nanoliflerin morfolojik analizlerin yapılması aşamasında AKÜ TUAM'da bulunmakta olan LEO 1430 VP model SEM cihazı kullanılmıştır (Resim 3.9).



**Resim 3.9** LEO 1430 VP model SEM cihazı.

### 3.3 Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda uygulanan işlem adımları şekil 3.1'deki deneysel çalışmalar akım şemasında gösterilmiştir.



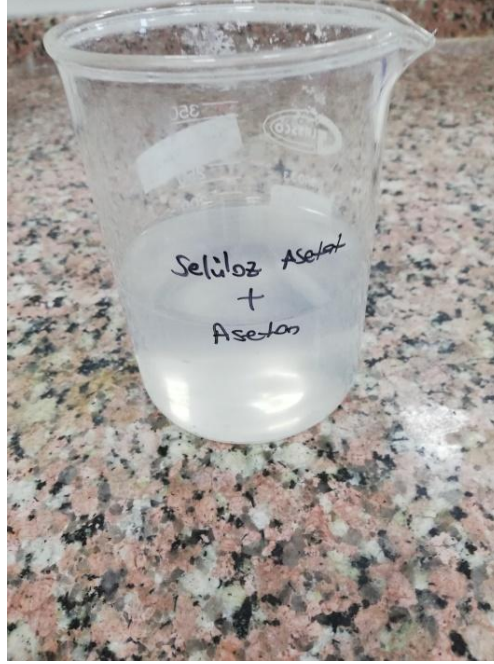
Şekil 3.1 Deneysel çalışmalar akım şeması.

### 3.3.1 Çözelti Hazırlama

Çözelti hazırlama aşamasında selüloz asetat polimeri aseton ile ağırlıkça 1/9 oranında manyetik karıştırıcıda 450 dev./dk. hızda 8 saat karıştırılarak çözdürüldü (Resim 3.10). Çözelti hazırlama aşaması için karışım miktarları çizelge 3.1’de verilmiştir

**Çizelge 3.1** Selüloz asetat çözeltisi hazırlama aşaması karışım miktarları.

	<b>Miktar</b>
Selüloz asetat	0,625g
Aseton	5,625g

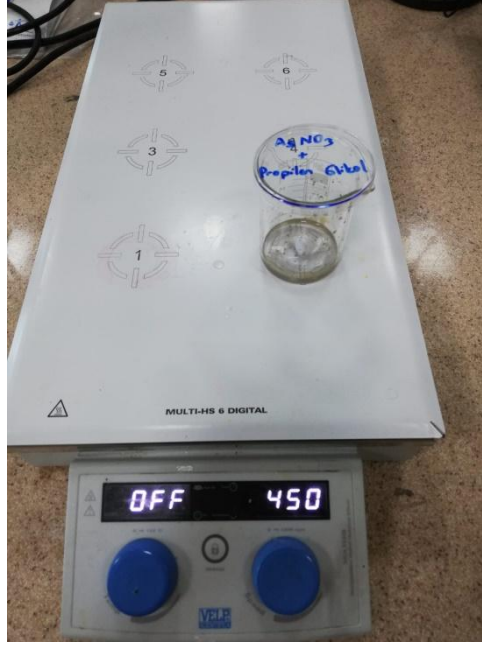


**Resim 3.10** Elde edilen selüloz asetat çözeltisi.

Gümüş nitrat( $\text{AgNO}_3$ ), propilen glikol ile ağırlıkça 1/10 oranında manyetik karıştırıcıda 450 dev./dk. hızda 1 saat karıştırılarak çözdürüldü (Resim 3.11). Gümüş nitrat çözeltisi hazırlama aşaması için karışım miktarları Çizelge 3.2’de verilmiştir

**Çizelge 3.2** Gümüş nitrat çözeltisi hazırlama aşaması karışım miktarları.

	<b>Miktar</b>
Gümüş nitrat	0,25g
Propilen glikol	2,50g



**Resim 3.11** Manyetik karıştırıcıda karıştırılan gümüş nitrat çözeltisi.

### 3.3.2 Katkılandırma

Elde edilen selüloz asetat çözeltisi gümüş nitrat çözeltisi ile 450 dev./dk. hızda 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak katkılandırıldı. Selüloz asetat çözeltisine gümüş nitrat katkılandırma aşaması karışım miktarları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3** Selüloz asetat çözeltisine gümüş nitrat katkılandırma aşaması karışım miktarları.

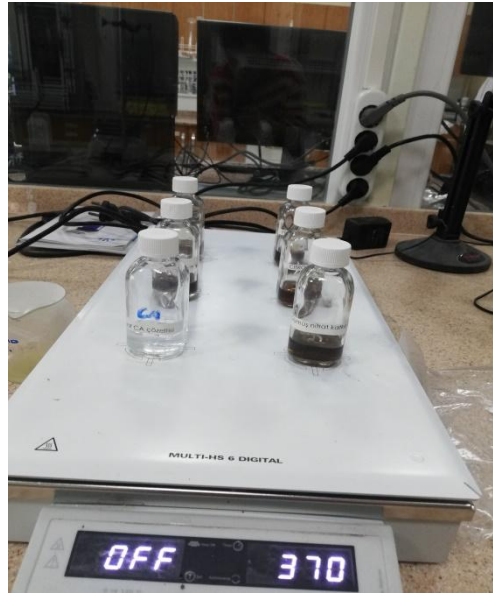
	<b>Miktar</b>
Selüloz asetat çözeltisi	6,25g
Gümüş nitrat çözeltisi	2,75g

Gümüş nitrat çözeltisi ile katkılandırılmış selüloz asetat çözeltisine toplam çözelti ağırlığının % 2 si kadar esansiyel yağ katkılandırması yapılmış 370 dev./dk. hızda 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Kullanılacak olan 4 ayrı esansiyel yağ (okaliptüs yağı, pelargonium yağı, cypress yağı ve citronella yağı) için gümüş nitrat çözeltisinin ve selüloz asetat çözeltisinin miktarları aynı tutularak işlem tekrarlanmıştır (Resim 3.12).

Esansiyel yağ ve gümüş nitrat katkılı selüloz asetat çözeltisinin karışım miktarları Çizelge 3.4’te verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Esansiyel yağ ve gümüş nitrat katkılı selüloz asetat çözeltisinin karışım miktarları.

	Miktar
Selüloz asetat çözeltisi	6,25g
Gümüş nitrat çözeltisi	2,75g
Esansiyel yağ	0,18g (%2)



**Resim 3.12** Katkısız CA çözeltisi, gümüş nitrat ve 4 ayrı esansiyel yağ katkılı CA çözeltisi, gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi.

### 3.3.3 Elektroëirme

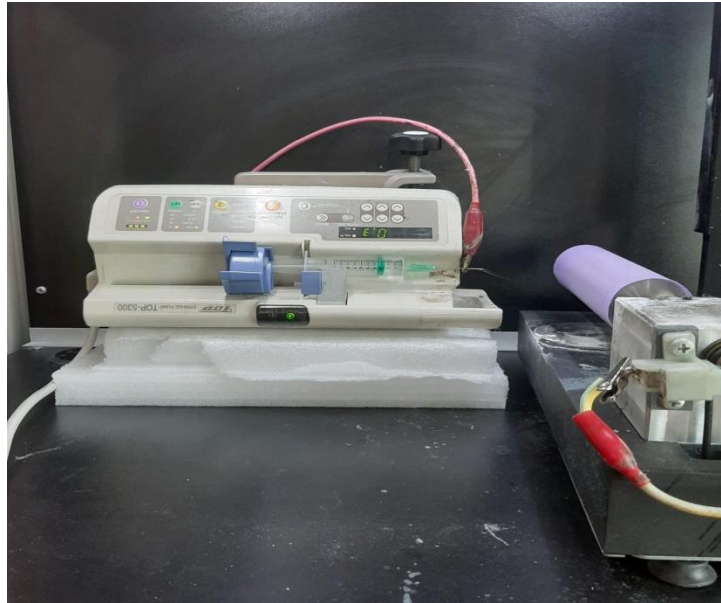
Hazırlanan katkısız CA çözeltisi, gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi, gümüş nitrat ve 4 ayrı esansiyel yağ katkılı CA çözeltileri elektroëirme parametreleri 15000-25000 volt, solüsyon gönderim hızı 0.1-1 mL/saat, iğne ve kollektor arası mesafe 5-10 cm arasında



farklı değerlerde denemeler yapılarak nanolif haline getirilmiştir. Elde edilen nanolifler incelendiğinde optimum parametrelerin voltaj değerinin 20000 volt, solüsyon gönderim hızının 0.3 mL/saat, iğne ve kollektor arası mesafenin 8 cm olduğuna karar verilmiş ve bu değerler sabit tutularak nanolifler üretilmiştir. Resim 3.13’de görüldüğü gibi bir düzenek kurulup kollektör alüminyum folyo ile kaplanmış ve elektroğirme ile elde edilen nanofiberlerin bu yüzeye toplanması sağlanmıştır. Daha sonra cerrahi maskenin orta katmanı olan melt blown tabakası nanoliflerle kaplanmıştır (Resim 3.14).



**Resim 3.13** Nanolif üretimi için kurulan elektroğirme düzenegi.

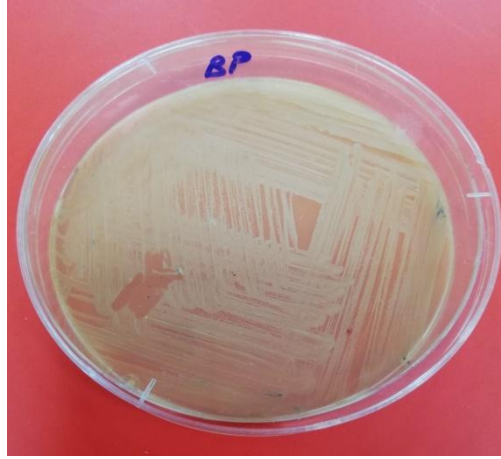


**Resim 3.14** Nanoliflerin melt blown tabakası üzerine biriktirilmesi.

### 3.3.4 Numune Karakterizasyonu

#### 3.3.4.1 Antibakteriyel Test

Numunelerin antibakteriyel etkinliği *Staphylococcus aureus* bakterisi üzerinde disk difüzyon yöntemi ile incelenmiştir (Resim 3.15). Bu çalışmada boş antibiyogram test diskleri kullanılmıştır. Elde edilen çözeltiler 5 mL olacak şekilde steril Petri kaplarına aktarılmıştır. Üzerlerine diskler yerleştirilmiştir (Resim 3.16). Disklerin çözeltileri yeterince emebilmesi için petri kapları 1 saat buzdolabına (4 ° C) yerleştirilmiştir (Akarca vd. 2019).



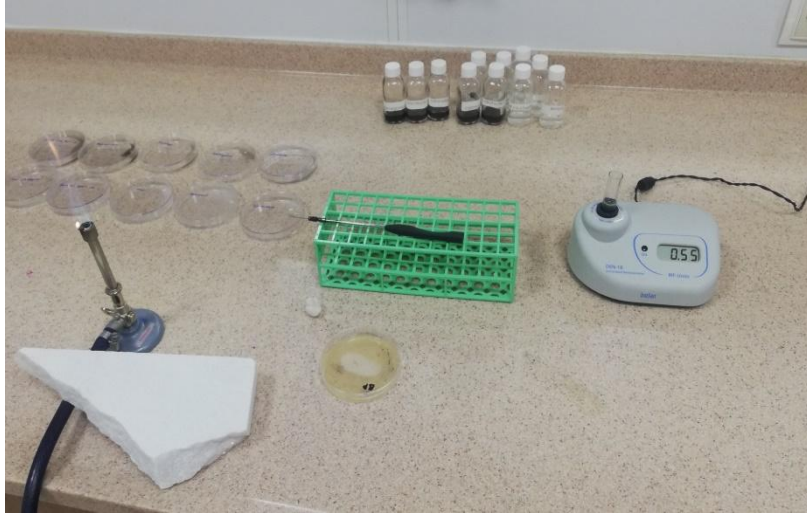
**Resim 3.15** *Staphylococcus aureus* bakterisi.



**Resim 3.16** Petri kabında çözeltilere yerleştirilen diskler.



Seçici olmayan bir ortamda çoğaltılan, *Staphylococcus aureus* kültürü steril öze yardımıyla koloniden alınmıştır. Bu koloniler homojen bulanıklık oluşturmak için fizyolojik tuz çözeltisi içinde süspansiyon edilmiştir (Resim 3.17). Elde edilen aşı süspansiyonunun yoğunluğu, 0,5 McFarland standardına eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Yoğunluk kontrolü McFarland bulanıklık standardıyla kontrol edilmiştir (Bauer vd. 1959, Bauer 1966).



**Resim 3.17** *Staphylococcus aureus* bakterisinin aşı süspansiyon yoğunluğu ayarlaması.

Elde edilen aşılama maddesi Muller Hinton agar (Merck 1.05437, Almanya) (MHA) ile oda sıcaklığında herhangi bir katkı maddesi olmadan 15 dakika içinde aşılandı. Steril bir çubuk, hazırlanan bakteri süspansiyonuna daldırılmış ve içinde birkaç kez döndürülmüştür. Daha sonra aşılama, steril bir çubuk kullanılarak MHA yüzeyine üç yönde eşit şekilde yayıldı. Aşılanan ortam, 10 dakika bekletilmiştir. Daha sonra, çözeltilerin emdirildiği diskler, bölgeleri iyi ayrılmış olacak şekilde birbirinden belirli bir mesafede ayrı plakalara yerleştirilmiştir (Resim 3.18). Petri kapları 37° C'de 24 saat süreyle inkübe edildi (Resim 3.19). İnkübasyon süresinin sonunda oluşan bölgeler, yeterli ışık altında bir kumpas ile ölçüldü.



**Resim 3.18** Çözelti emdirilmiş disklerin aşı ortamına yerleştirilmesi.

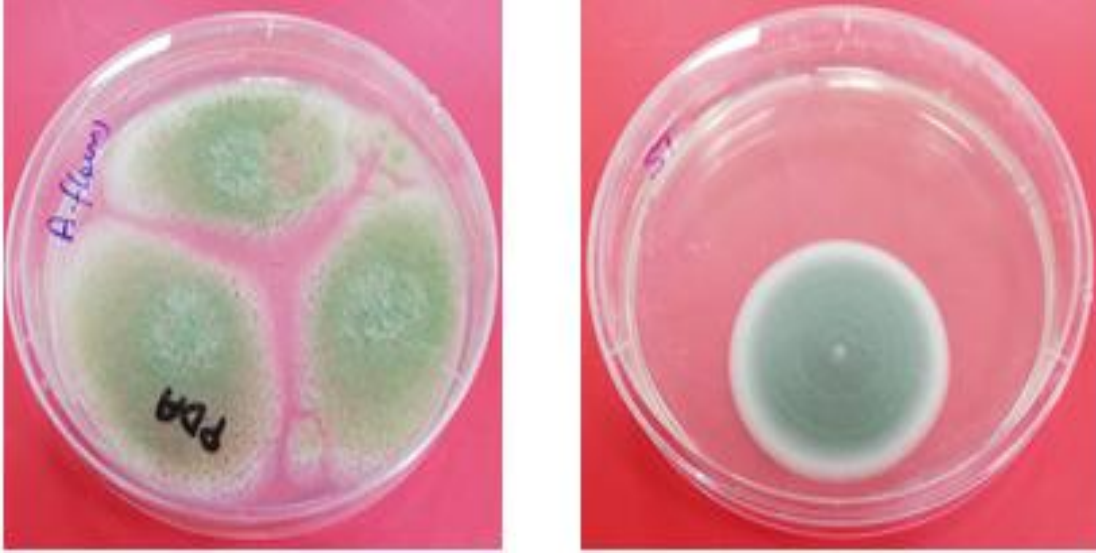


**Resim 3.19** İnkübasyon işlemi (37° C'de 24 saat ).

### 3.3.4.2 Antifungal Test

Numunelerin antifungal etkinliği *Aspergillus flavus* ve *penicillium notatum* mantarları üzerinde disk difüzyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Araştırmada; *Penicillium notatum* (ATCC 9478), ve *Aspergillus flavus* (ATCC 204304) küfleri kullanılmıştır (Resim 3.20). Küf suşları Potato Dextrose Agar (Merck 110130) 4-7 °C'de saklanmış 25°C'de 72-96 saat Malt Extract Agar (Merck 105398) besiyerinde kültüre alınıp aktive edilmiştir. Hazırlanan çözeltilerden steril pipet yardımı ile 5ml alınarak steril edilmiş petri kutuları içerisine yerleştirilmiş boş antibiyogram diskleri emdirilmiştir (Resim 3.21). Disklerin çözeltileri emmesi için petri kutuları 1 saat boyunca

buzdolabında (4°C’de) bekletilmiştir.



**Resim 3.20** *Penicillium notatum* (ATCC 9478), ve *Aspergillus flavus* (ATCC 204304) küfleri.



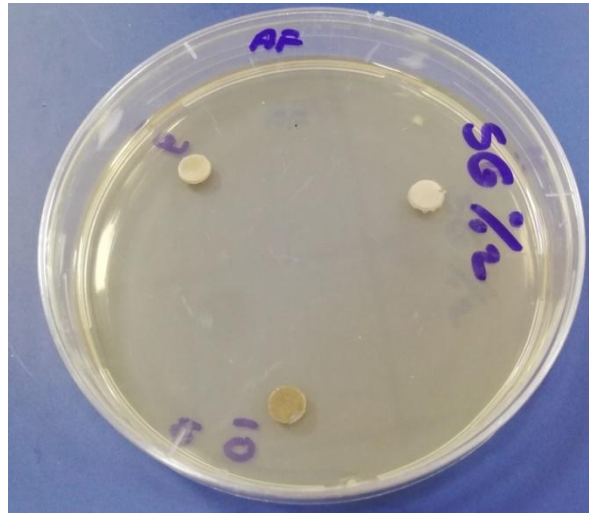
**Resim 3.21** Petri kaplarında çözeltilde bekletilen diskler.

Araştırmada kullanılacak küfler, Malt Extract Agar besiyerinde 72-96 saat üremiş kültürlerde üreyen kolonilerden steril bir öze yardımıyla alınmıştır. Alınan koloniler fizyolojik tuzlu su içerisinde homojen bir bulanıklık oluşuncaya kadar süspansiyon edilmiştir. Elde edilen süspansiyonunun yoğunluğu 0,5 McFarland standardına eşit olacak şekilde ayarlanmıştır (Resim 3.22). Yoğunluk kontrolü McFarland bulanıklık standardı ile kontrol edilmiştir (Bauer vd. 1959, Bauer 1966).



**Resim 3.22** Kullanılacak küflerin aşı süspansiyon yoğunluğu ayarlaması.

Muller Hinton Agar (Merck 1,05437) (MHA), % 2 glukoz steril bir şekilde hazırlanıp üzerine 0,5 McFarland bulanıklık standardına göre hazırlanan küfler steril bir pipet yardımıyla alınarak aşılanmıştır. Aktarılan süspansiyon cam spatül ile homojen olarak yayılmıştır. 10 dk besiyerinin süspansiyonu emmesi için beklendikten sonra çözelti emdirilmiş diskler besiyerinin yüzeyine, oluşacak zonların birbirine değmeyeceği uzaklıklarda olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 3.23). Ardından besiyerleri  $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 72 saat inkübasyona bırakılmıştır. Resim 3.24’de görüldüğü gibi inkübasyon sonrası disk çevrelerinde oluşan zonlar yeterince ışık alan bir ortamda dijital bir kumpas yardımıyla mm cinsinden ölçülmüştür (Tomar vd. 2020).



**Resim 3.23** Aşı ortamına yerleştirilen çözelti emdirilmiş diskler.



**Resim 3.24** Zone çaplarının kumpas ile ölçülmesi.

### 3.3.4.3 FTIR Analizi

Hazırlanan çözeltilere Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) analizi uygulanmıştır. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, bir çeşit titreşim spektroskopisi olmakla beraber IR ışını kullanarak moleküllerdeki farklı bağ yapılarının titreşim frekanslarını tespit eder ve analiz edilen numunedeki fonksiyonel gruplar hakkında bilgi sağlar.

### 3.3.4.4 SEM Analizi

Hazırlanan çözeltilerden elektroçirme yöntemiyle nanolif elde edilmiştir. Elde edilen nanolifler SEM analizinin yapılabilmesi için alüminyum folyo üzerine biriktirilmiştir (Resim 3.25). Taramalı elektron mikroskobu (SEM), odaklanmış elektron demeti kullanarak numune yüzeyini tarayıp görüntü oluşturan bir elektron mikroskobudur. Elektronlar numune olarak seçilen maddedeki atomlarla etkileşime girerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler veren çeşitli sinyaller elde eder. Bu sinyaller ilgili dedektörler tarafından algılanarak bilgisayara aktarılır ve görüntü elde edilir.

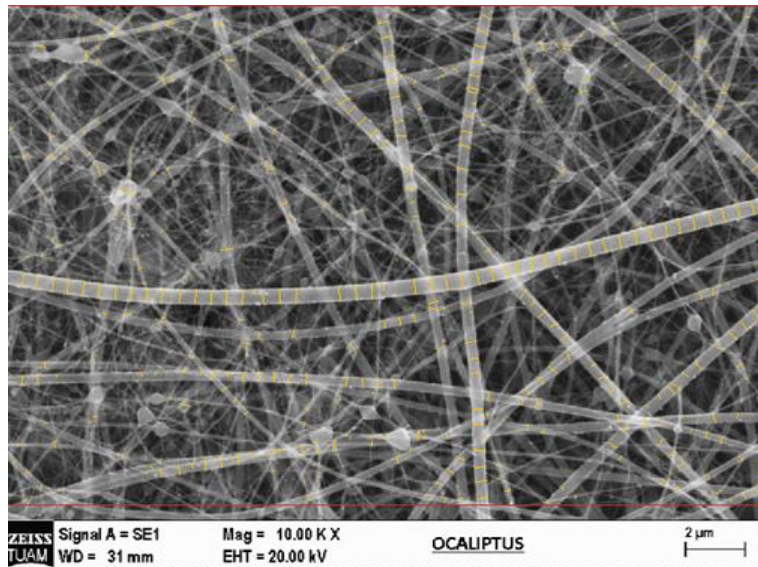




**Resim 3.25** Alüminyum folyo üzerine biriktirilen nanolifler.

### 3.3.4.5 Fibrquant Programı

Elde edilen SEM görüntülerinden Fibrquant programı ile nanoliflerin yapısı, çapları ve dağılımı belirlendi. Fibrquant programı SEM görüntüleri üzerinden nanolif çaplarını otomatik veya manuel olarak seçerek nanoliflerin çaplarının büyüklüklerini, ortalamalarını, standart sapmalarını ve medyan değerini hesaplar. Aynı zamanda nanolif çaplarının dağılımını sütun grafiği şeklinde sergiler. Çalışmada da Fibrquant analizinde nanolif çaplarının belirlenmesi otomatik olarak seçilmiş ve gerekli veriler elde edilmiştir (Resim 3.26).

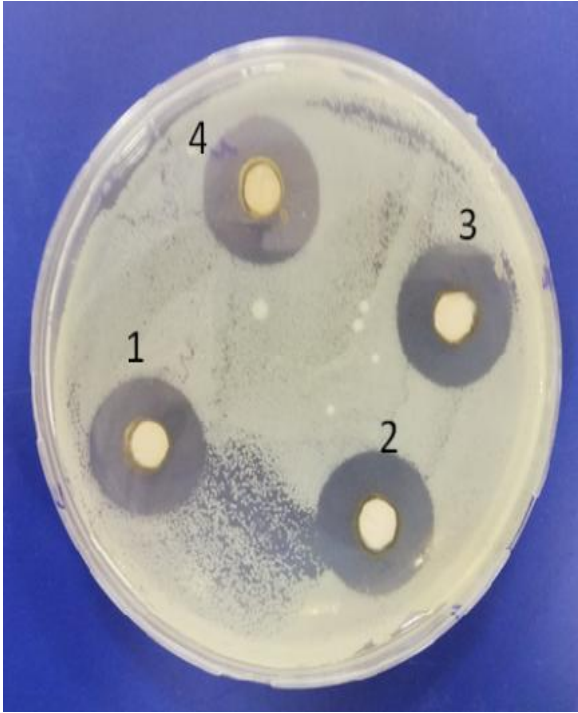
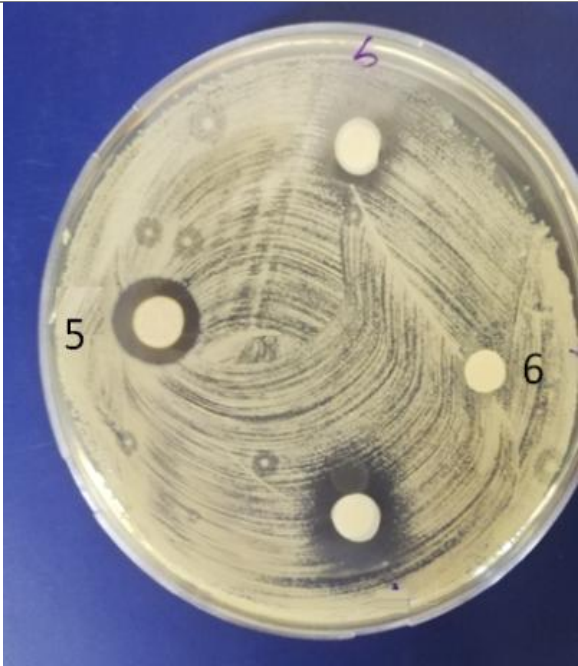


**Resim 3.26** Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanolif çaplarını Fibrquant programında belirlenmesi.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Antibakteriyel Test Sonuçları


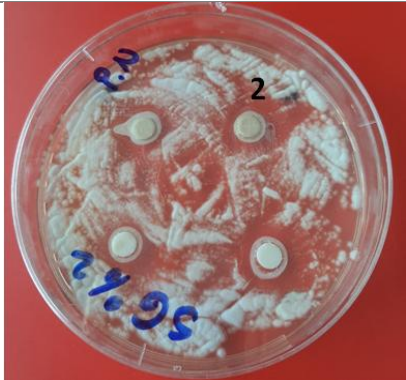
**Çizelge 4.1** Katkılı ve katkısız CA çözeltilisinin *Staphylococcus aureus* bakterisi sonuçları.

Çözelti	Zone Çapı(mm)	Numune Görüntüsü
Gümüş nitrat katkılı CA (1)	21,57-20,87	
Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (2)	21,88-21,89	
Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (3)	21,58-22,67	
Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (4)	23,97-23,95	
Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (5)	16,70-17,58	
Saf CA (6)	6-6	

Yapılan bakteri analizinde *Staphylococcus aureus* bakterisi üzerinden elde edilen sonuçları kontrol edildiğinde 30 °C’de 24 saat inkubasyon sonunda zone çaplarının gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisi: 22,57-22,87 mm, pelarganium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisi: 22,88-22,89 mm, cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisi: 22,58-23,67 mm, okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisi: 24,07-23,95 mm, citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisi: 16,70-17,58 mm, saf CA çözeltilisi: 6-6 mm şeklinde olduğu gözlemlendi (Çizelge 4.1). Yapılan antibakteriyel test sonucuna göre okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisinin *Staphylococcus aureus* bakterisi üzerinde en etkili antibakteriyel özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir.



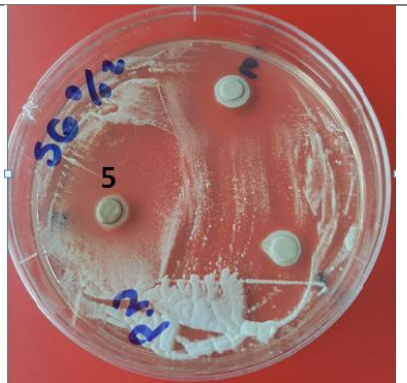

#### 4.2 Antifungal Test Sonuçları

Çizelge 4.2 Katkılı ve katkısız CA çözeltilisinin *penicillium notatum* mantarı sonuçları.

Çözelti	Zone Çapı(mm)	Numune Görüntüsü
Saf CA (1)	6-6	
Gümüş nitrat katkılı CA (2)	19,68-18,82	

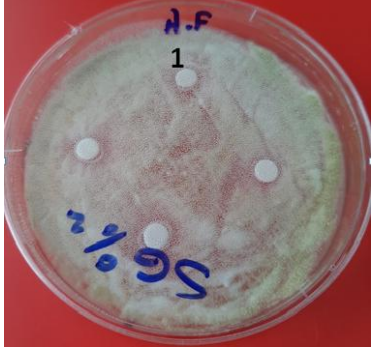




**Çizelge 4.2 (Devam)** Katkılı ve katkısız CA çözeltisinin *penicillium notatum* mantarı sonuçları.

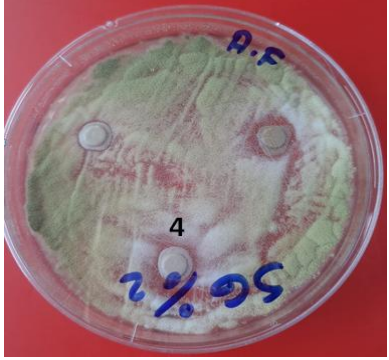


Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (3)	16,46-19,89	
Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (4)	23,56-22,67	
Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (5)	26,32-27,14	
Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (6)	24,23-21,11	

Yapılan antifungal analizinde penicillium notatum mantarı üzerinden elde edilen sonuçları kontrol edildiğinde 25 °C’de 72 saat inkubasyon sonunda zone çaplarının saf CA çözeltisi: 6-6mm, gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 19,68-18,82 mm, okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 16,46-19,89 mm, citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 23,56-22,67 mm, pelarganium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 26,32-27,14 mm, cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 24,23-21,11 mm, şeklinde olduğu gözlemlendi (Çizelge 4.2). Antifungal test sonuçlarına göre pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinin penicillium notatum mantarı üzerinde en etkili antifungal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4.3** Katkılı ve katkısız CA çözeltisinin *Aspergillus flavus* mantarı sonuçları.

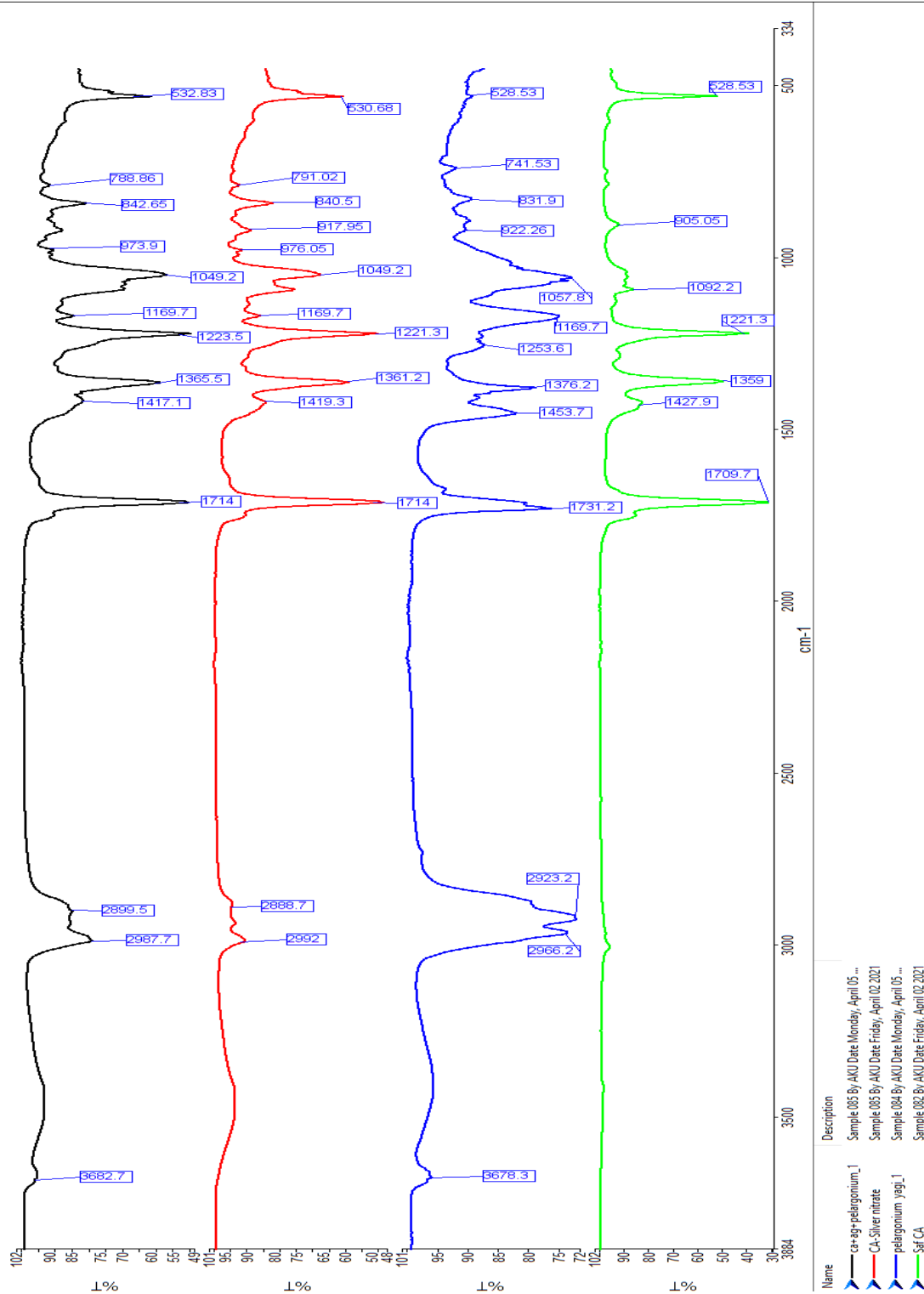
Çözelti	Zone Çapı (mm)	Numune Görüntüsü
Saf CA (1)	6-6	
Gümüş nitrat katkılı CA (2)	12,01-13,59	
Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (3)	13,37-13,46	

**Çizelge 4.3 (Devam)** Katkılı ve katkısız CA çözeltisinin *Aspergillus flavus* mantarı sonuçları.

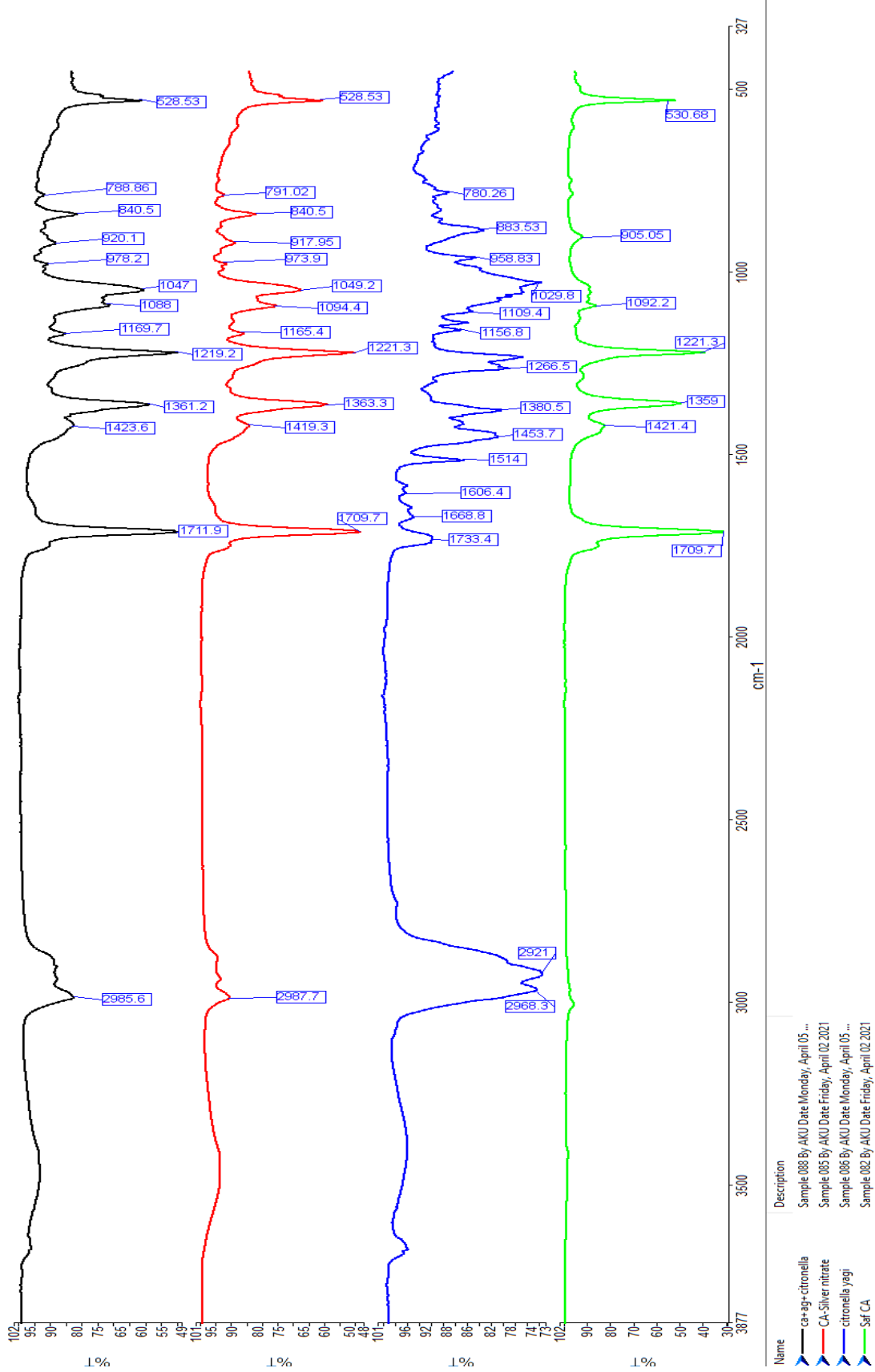
Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (4)	14,47-14,28	
Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (5)	16,13-17,36	
Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA (6)	12,23-11,67	

*Aspergillus flavus* mantarı üzerinde yapılan antifungal analizinden elde edilen sonuçlar kontrol edildiğinde zone çaplarının saf CA çözeltisi için 6-6mm olduğu gözlemlenmiştir. Gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 12,01-13,59 mm, okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 13,37-13,46 mm, citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 14,47-14,28 mm, pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 16,13-17,36 mm, cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi: 12,23-11,67 mm, şeklinde olduğu gözlemlendi (Çizelge 4.3). *Aspergillus flavus* mantarları üzerinde yapılan antifungal test sonuçlarına göre pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinin en etkili antifungal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.

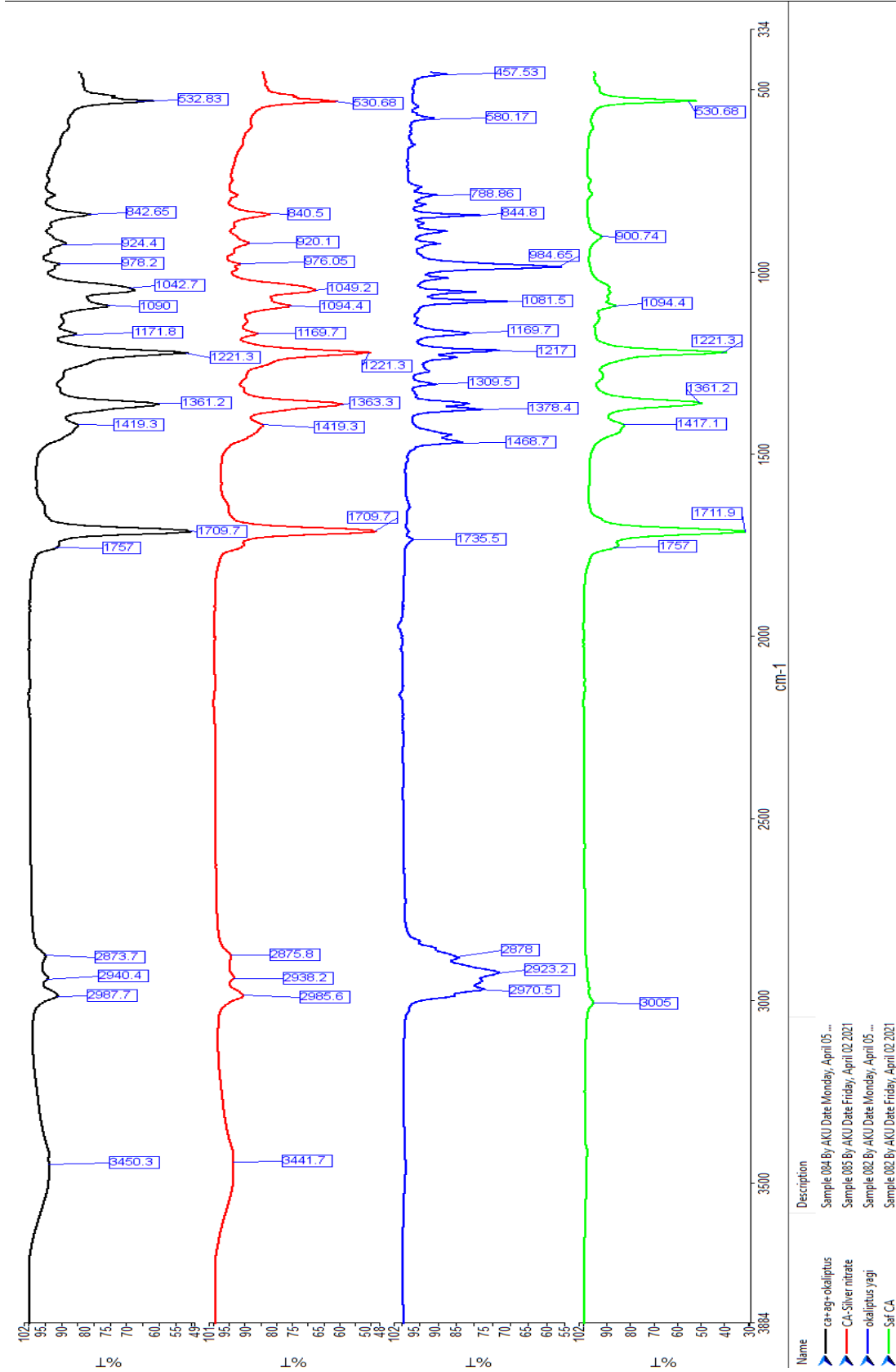
### 4.3 FTIR Analizi Sonuçları



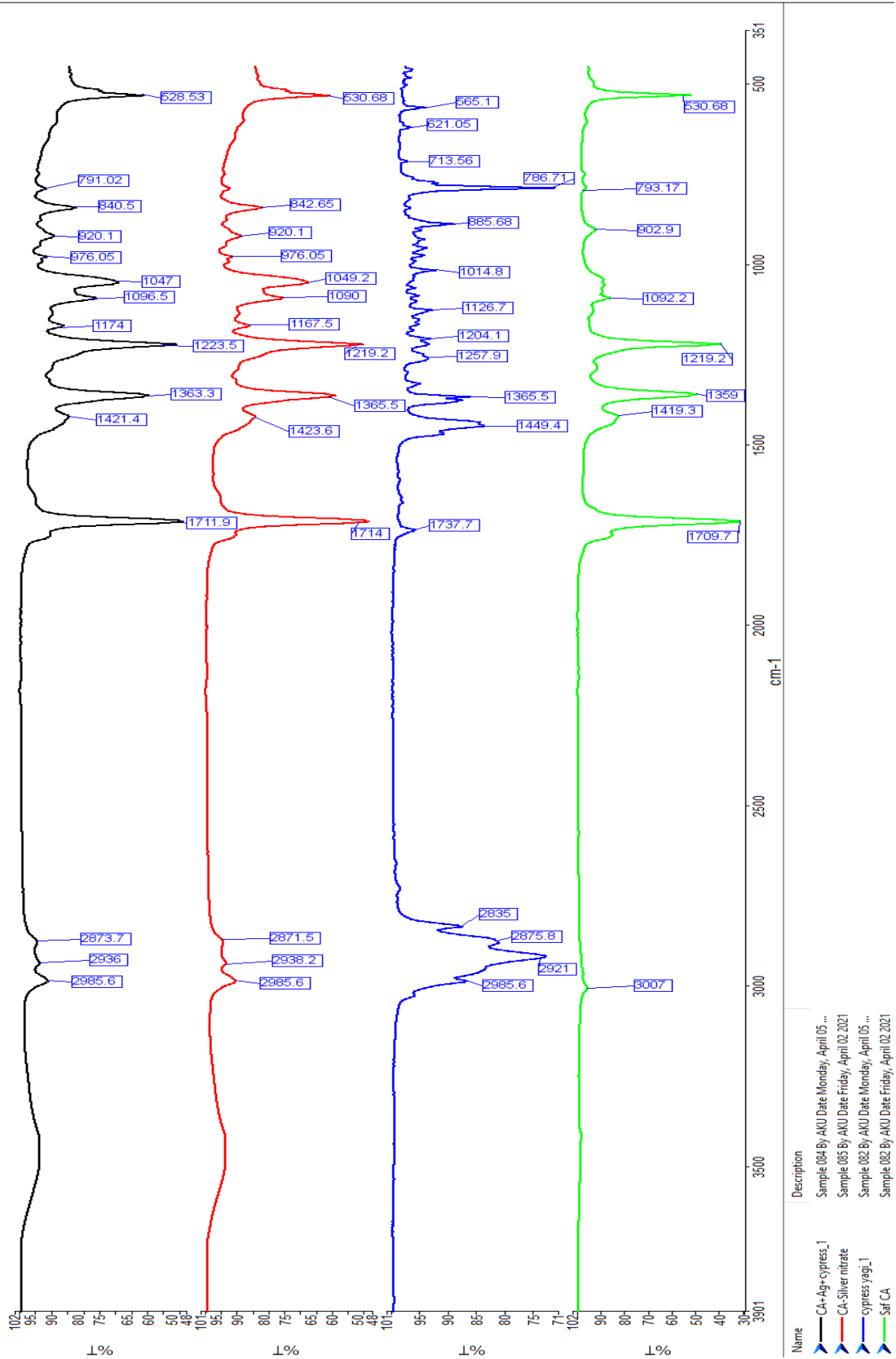
Şekil 4.1 Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi.



Şekil 4.2 Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi.



Şekil 4.3 Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi



Şekil 4.4 Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi FTIR analizi.

Elde edilen FTIR analiz sonuçları Şekil 4.1-4.4'te verilmiştir. Palergonium esansiyel yağının FTIR spektrumu incelendiğinde yaklaşık  $3678,3 \text{ cm}^{-1}$  deki bant, Pelargonium ekstraktının indirgeme özelliğini kanıtlayan O-H bandının varlığından kaynaklanmaktadır.  $2966,2 \text{ cm}^{-1}$  ve  $2923,2 \text{ cm}^{-1}$  sırasıyla karboksilik asitlerin O-H gerilmelerine ve alkan ile alkilerin CH gerilmelerine atfedilebilir.  $1731 -1453 \text{ cm}^{-1}$  aralıklarında C=C bağ gerilmeleri gözlenmiştir.  $1376,2 \text{ cm}^{-1}$  bandında aromatik halka esnemesi gözlemlenmiştir.  $1169,7 \text{ cm}^{-1}$  ila  $1253,6 \text{ cm}^{-1}$  arasındaki bantlar, esterlerin ve alkollerin CO=C-OC ve C-O gerilme titreşimlerine karşılık gelir.  $1057,8 \text{ cm}^{-1}$  ana tepesi düzlem bükülmelerindeki aromatik CH gerilmelerine atfedilebilir.  $922,26 \text{ cm}^{-1}$ 'de ana tepe noktaları gözlemlendi.  $831,9 \text{ cm}^{-1}$ 'de düzlem dışı bükülmelerde aromatik CH gerilmeleri gözlemlenmiştir.  $741,53-528,53 \text{ cm}^{-1}$  aralıkları aromatik bileşiklerin C-C gerilmelerine atfedilebilir (Shankar vd. 2003).

Citronella esansiyel yağının FTIR spektrumunda serbest O - H gerilme titreşimi ile ilgili bant, citronella için  $3600-2968,3 \text{ cm}^{-1}$  aralığında çok daha geniş görünmektedir.  $2921 \text{ cm}^{-1}$ 'de CH- metil ve metilen asimetric gerilmesine karşılık gelen, çoğunlukla alifatik alkil grupları olan yoğun ve çatalı tepe gözlemlendi.  $1733,4 \text{ cm}^{-1}$ 'de bir başka belirgin ve keskin tepe noktası, aldo, keto, estero veya acido'yu gösterir (C=O gerilmesi).  $1668,8-1606,4 \text{ cm}^{-1}$  aralıklarında C = C gerilme titreşim bantları gözlenmemiştir.  $1514-1453 \text{ cm}^{-1}$ 'deki tepe noktaları metilen -CH gerilmelerini göstermektedir.  $1380,5 \text{ cm}^{-1}$ 'de bağlı C=O-H grubu deformasyonu ile ilişkilendirilecek gerilmeler tespit edilmiştir ve -CH simetric bükülmeleri gözlemlenmiştir.  $1266,5 \text{ cm}^{-1}$ 'de -OH gerilmesi için keskin ve güçlü pik gözlemlenmiştir. Ayrıca,  $1156,8 \text{ cm}^{-1}$  tepe noktası -CO bükülmelerine atfedilebilir.  $1109,4 \text{ cm}^{-1}$  piki de basit OH- gerilmelerine atfedilebilir.  $958,83 \text{ cm}^{-1}$ 'de CH=CH trans doymamış orta piklere sahip fonksiyonel gruplar gözlemlenmiştir. Ayrıca,  $883,53 \text{ cm}^{-1}$ 'de ise -di veya -tri ikame edilmiş alkenleri gösteren bir orta zirve C-H gerilmesi gözlemlenmiştir.  $780,26 \text{ cm}^{-1}$  tepe noktasındaki küçük titreşimler, aromatik vinil -CH grubunun varlığına bağlanmıştır (Timung vd. 2016).

Okaliptüs esansiyel yağının FTIR spektrumu incelendiğinde  $2970,5 \text{ cm}^{-1}$ 'de alkanların CH<sub>2</sub>- asimetric gerilmeleri gözlemlenmiştir.  $2878 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pik C=C gerilmelerine



atfedilebilir. 1735,5  $\text{cm}^{-1}$  tepe noktasındaki titreşimde aldehit karbon C=O gruplarının gerilmeleri gözlemlenmiştir. 1468,7  $\text{cm}^{-1}$ 'de -CH<sub>3</sub> gruplarının asimetrik deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 1468,7-1378,4  $\text{cm}^{-1}$  aralıklarında gözlemlenen titreşimler N-H bükülmeleri ve C-H bükülmeleri olarak atfedilebilir. 1309  $\text{cm}^{-1}$ 'de CH<sub>3</sub>- simetrik deformasyon gözlemlenmiştir. 1217  $\text{cm}^{-1}$ ' de gözlemlenen pik asimetrik germe titreşimlerine ve bunun yanı sıra, C-O-C bağlarına atfedilebilir. 1169,7-1081,5  $\text{cm}^{-1}$  aralıklarında gözlemlenen titreşimler C-O-C simetrik bantlarına atfedilebilir. 984,65  $\text{cm}^{-1}$  tepesi CH<sub>2</sub>- sallanma titreşimlerine atfedilebilir. 884,8, 778,86, 580,14, 457,53  $\text{cm}^{-1}$  piklerinde de ana tepe noktaları gözlemlenmiştir (Pant vd 2014).

Cypres esansiyel yağının FTIR spektrumunda 2985,6-2835  $\text{cm}^{-1}$  aralıklarında -CH<sub>3</sub> ve CH<sub>2</sub>- gerilmeleri gözlemlenmiştir. 1737,7  $\text{cm}^{-1}$ 'de karbonil ve ester gruplarının güçlü C=O gerilmeleri gözlemlenmiştir. 1449,4  $\text{cm}^{-1}$ 'de -CH<sub>2</sub> kesme titreşimi veya CH<sub>2</sub>- bükülme titreşimi (lignin), CH- düzlemde deformasyonla birlikte aromatik iskelet titreşimi gözlemlenmiştir. 1365,5  $\text{cm}^{-1}$ 'deki ana tepe CH<sub>3</sub>- bükülme titreşimlerine atfedilebilir. 1257,9-1204,1  $\text{cm}^{-1}$  aralıkları alkil, aril, eter bantlarının C-O gerilme titreşimlerine atfedilebilir. 1126,7-1014,8  $\text{cm}^{-1}$  aralıkları birincil alkol ve eterlerin C-H gerilme titreşimlerine atfedilebilir. 885,68  $\text{cm}^{-1}$ 'de anomerik karbon titreşimleri gözlemlenmiştir. 786,71  $\text{cm}^{-1}$ 'de aromatik halkaların CH- bükülme titreşimlerine atfedilebilir. Ayrıca 713,56, 621,05 ve 555,1  $\text{cm}^{-1}$  karakteristik pikleride gözlemlenmiştir (Liu vd. 2012).

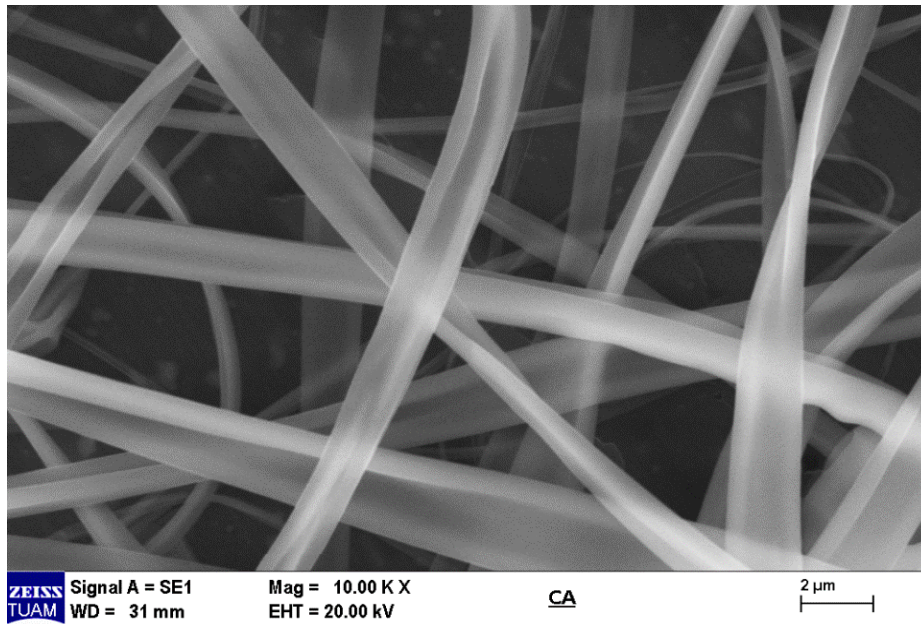
Selüloz asetat FTIR spekturumu incelendiğinde 3007  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki geniş bant molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlı OH gerilme titreşim bandıdır ve selüloz molekülünde çokça olan -OH gruplarını göstermektedir. 1709,7  $\text{cm}^{-1}$ 'deki karboksilik grupları ester bağlantısı için üronik ester gruplarının varlığına atfedilir ve C=O esnemesi ile ilgilidir. 1419  $\text{cm}^{-1}$ 'de C-C-C eğilme bantlarına atfedilebilir. Ayrıca 1359  $\text{cm}^{-1}$ ' de C-H eğilme titreşim bandıdır ve C-C esnemesiyle ilişkilendirilebilir. 1219,2 dalga sayısında görülen pik -CF<sub>2</sub>'ün simetrik ve asimetrik gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir, ayrıca C-O esnemesi ile ilişkilendirilebilir. 1092,2  $\text{cm}^{-1}$ ' deki belirgin bant C-O-H gerilme tepesi olarak atfedilebilir. 902,9  $\text{cm}^{-1}$  siklik C gerilme titreşimine atfedilebilir. 793,17  $\text{cm}^{-1}$  noktasında ana tepe noktaları gözlemlenmiştir. 530,68  $\text{cm}^{-1}$

civarındaki ve daha düşük bantlar ise C-C-C, C-O, C-C-O halka deformasyon titreşimleridir (Ilharco vd 2000).

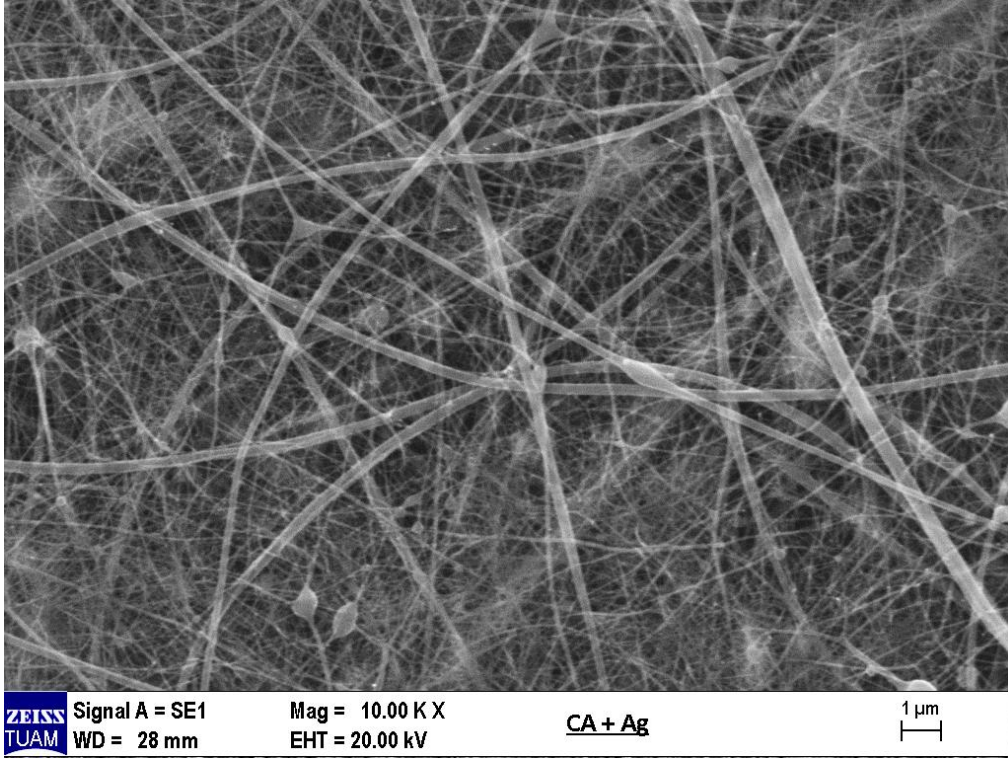
Gümüş için FTIR spektrumu,  $3441,7 \text{ cm}^{-1}$  bantlar, alkol ve fenolün varlığını gösteren O-H gerilme titreşimine karşılık gelir. Aromatik bileşiğin C-H gerilmesinden kaynaklanan  $2992,6$  ve  $2871,5 \text{ cm}^{-1}$  bölgesindeki bantlar gözlemlendi.  $1709,7-1714 \text{ cm}^{-1}$  aralığındaki bant, C-C germe (konjuge olmayan) için tahsis edildi.  $1419,3-1423,6 \text{ cm}^{-1}$  arasındaki pikler  $-\text{COO}$  grubu asimetrik ve simetrik gerilme titreşimine atfedilmiştir.  $1361,2-1365,5 \text{ cm}^{-1}$  aralığında C-H gerilme titreşimi gözlemlenmiştir.  $1094,4-1049,2 \text{ cm}^{-1}$  aralıkları C-C-N asimetrik bağ titreşimlerine karşılık gelir.  $976,05-917,5 \text{ cm}^{-1}$  aralığında karakteristik pikler gözlemlenmiştir.  $530,28 \text{ cm}^{-1}$ 'de C-C-N bağ titreşimlerinden kaynaklanan karakteristik pikler gözlemlenmiştir (Sutoyo vd. 2021).

#### 4.4 SEM Analizi Sonuçları

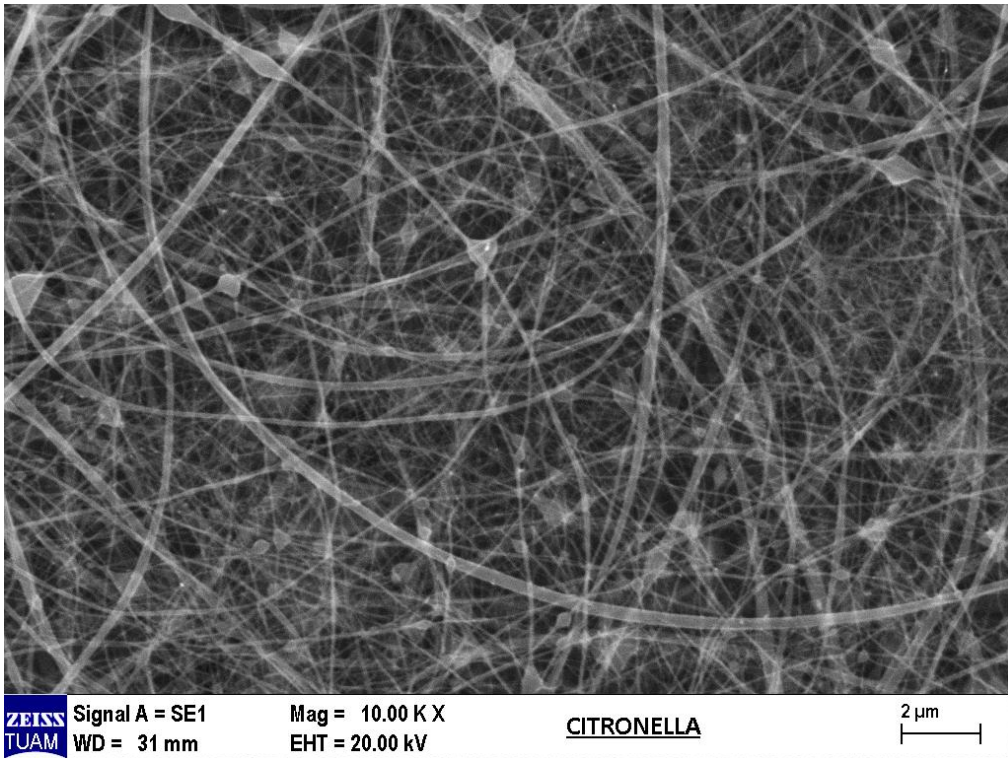
Saf CA çözeltisi, gümüş nitrat katkılı CA çözeltisi, gümüş nitrat ve esansiyel yağ katkılı CA çözeltileri üzerinden elektroçirme yöntemiyle üretilen nanoliflerin morfolojik analizleri LEO 1430 VP model SEM cihazı kullanılarak yapılmıştır. Nanoliflerden elde edilen SEM görüntüleri Resim 4.1-4.6'da verilmiştir.



**Resim 4.1** Saf CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü.

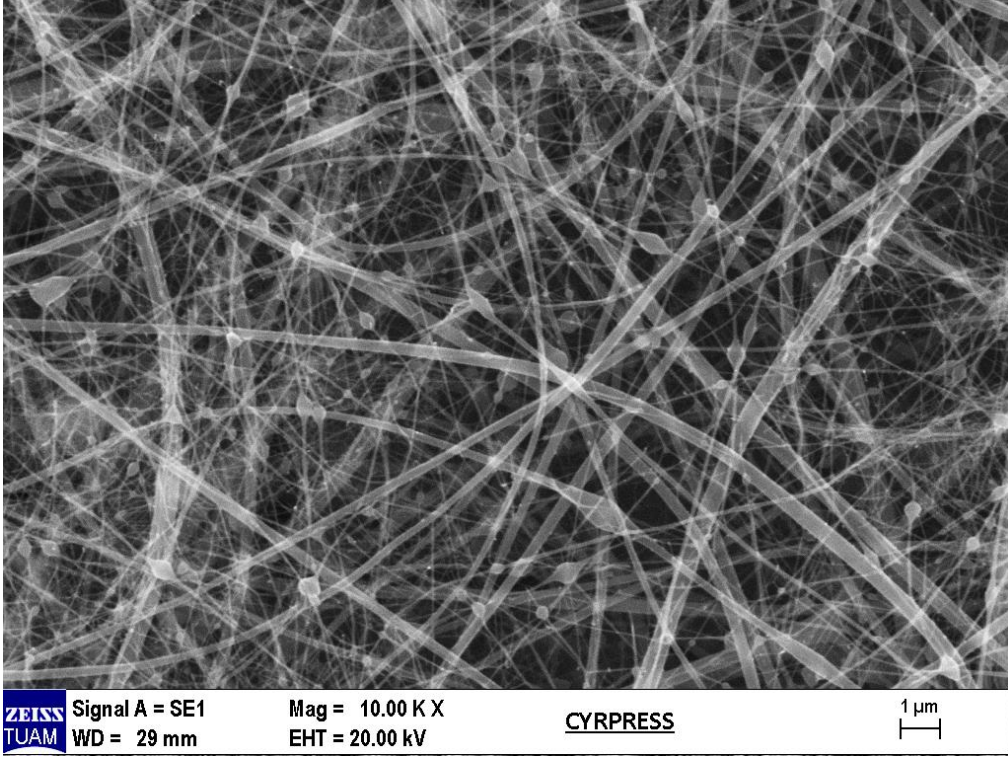


**Resim 4.2** Gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü.

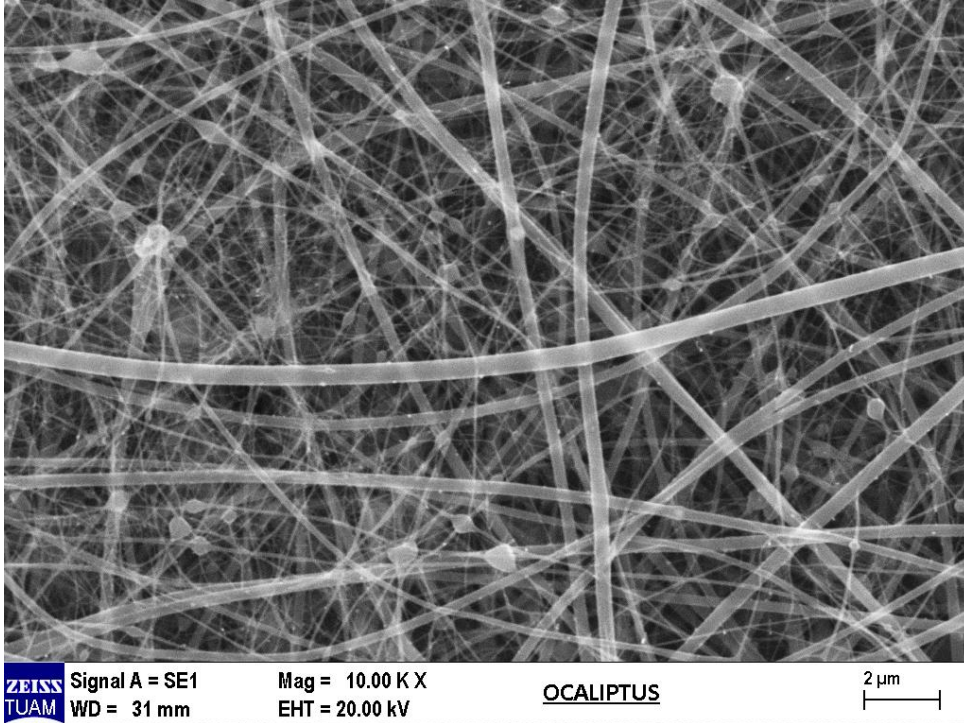


**Resim 4.3** Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü.

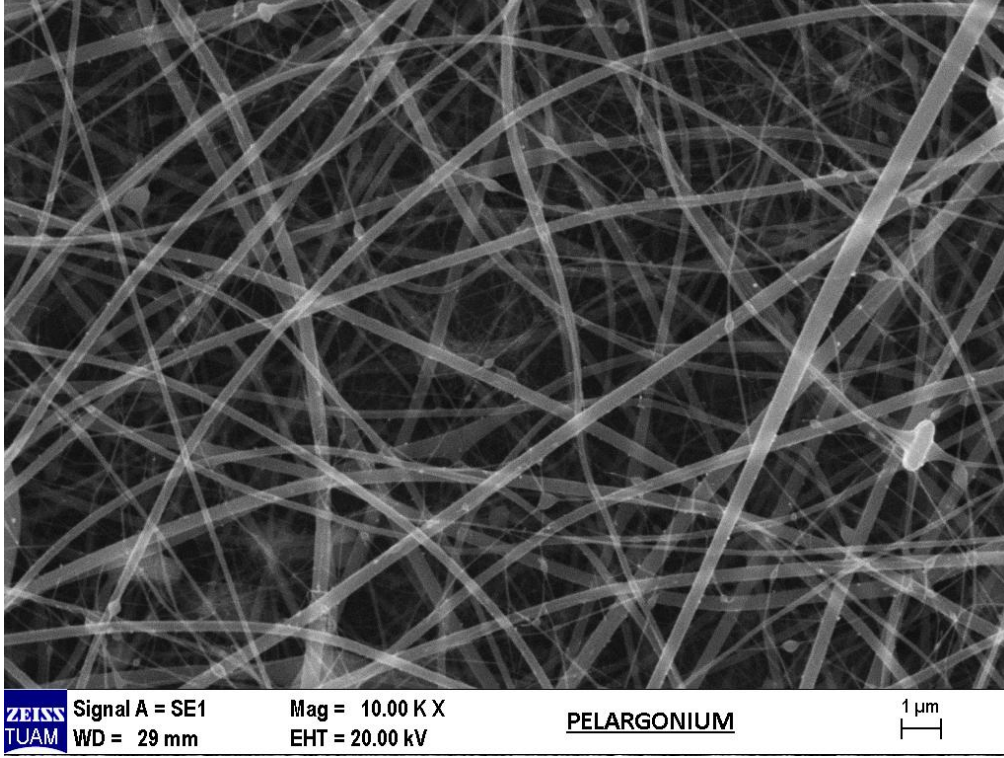




**Resim 4.4** Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü.



**Resim 4.5** Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü.



**Resim 4. 6** Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin SEM görüntüsü.

Elde edilen SEM görüntülerine göre seçilen selüloz asetat polimerinden amaca uygun olarak nanolif üretiminin sağlandığı görülmüştür. Ayrıca nanolif aralarında yapılan gümüş nitrat katkılandırmasından kaynaklı olarak boncuk oluşumunun varlığı ve okalıptüs yağı, citronella yağı, pelargonium yağı, cypress yağı ile yapılan katkılandırmalarının sebep olduğu nanolif boyutlarının farklılığı saptanmıştır.

#### **4.5 Fibrquant Sonuçları**

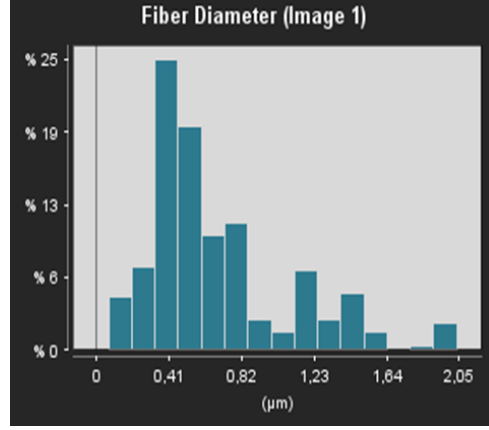
Elde edilen özeldilerden üretilen nanoliflerin SEM görüntüleri üzerinden yapılan Fibrquant programı analiz sonuçları Çizelge 4.4-4.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4** Nanoliflerin çaplarının Fibraquant programıyla elde edilen dağılımları.

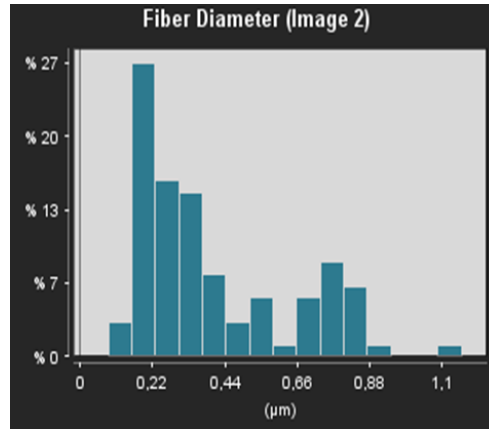
Çözelti

Nanolif çap dağılım grafiği

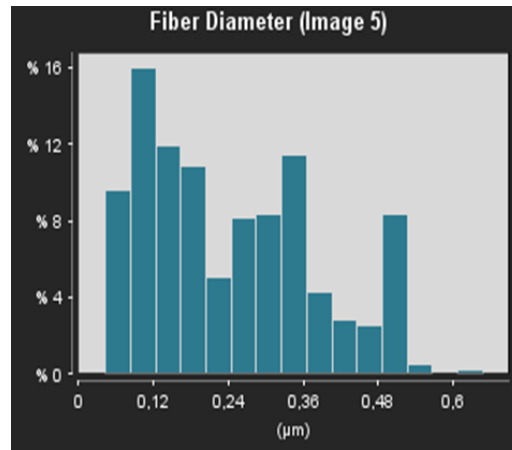
Saf CA



Gümüş nitrat katkılı CA

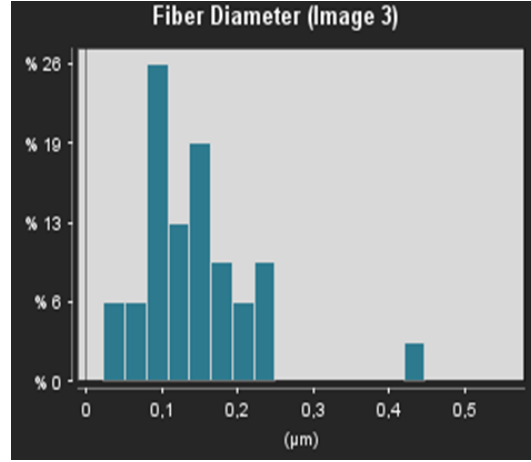


Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA

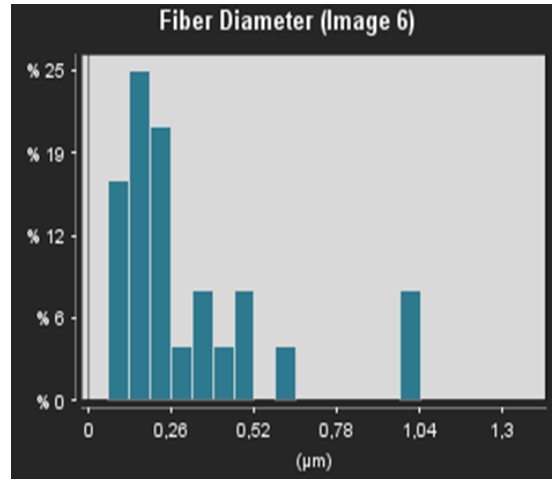


**Çizelge 4.4 (Devam)** Nanoliflerin çaplarının Fibraquant programıyla elde edilen dağılımları.

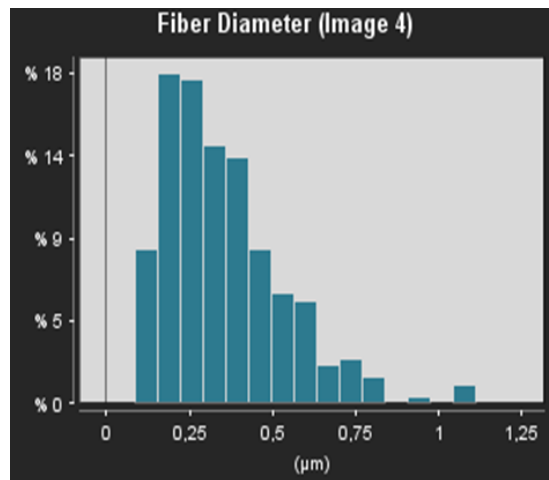
Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA



Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA



Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA



Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi saf CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin çaplarının boyutlarının daha yüksek ve daha geniş bir dağılım aralığına sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan gümüş nitrat ve esansiyel yağ katkılandırmalarının nanolif çaplarını küçülttüğü ve dağılım aralığını daralttığı görülmüştür.

**Çizelge 4.5** Fibraquant programından elde edilen nanolif çap değerleri.

Çözelti	Nanolif çap değerleri (µm)		
	Ortalama	Standart sapma	Medyan
Saf CA	0,680	0,412	0,533
Gümüş nitrat katkılı CA	0,401	0,241	0,330
Okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA	0,246	0,136	0,221
Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA	0,141	0,079	0,127
Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA	0,315	0,264	0,223
Cypress yağı ve gümüş nitrat katkılı CA	0,350	0,187	0,223

Çizelge 4.5'e göre çözeltilerden üretilen nanoliflerin çap ortalamalarının 0.141 µm ile 0,680 µm aralığında, standart sapma değerlerinin 0,079 ile 0,412 aralığında, medyan değerinin ise 0,127 µm ile 0,533 µm aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

Saf CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin yarıçap boyutlarının ortalama, standart sapma ve medyan ölçümlerinin diğer çözeltiler arasında en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Özellikle citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin çaplarının en küçük ortalama, standart sapma ve medyan değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.



## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde cerrahi maskeler hastalıkların yayılmasının önlenmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Kullanılmakta olan cerrahi maskelerin etkinliğini artırmak amacıyla antifungal ve antibakteriyel etkinliği bilinen gümüş, pelargonium yağı, okaliptüs yağı, citronella yağı ve cypress yağı katkılandırması içeren CA bazlı elektroëirilmiş nanolifler maskelerin yüzeyine biriktirilmiştir. Numunelere SEM analizi, antibakteriyel test, antifungal test ve FTIR analizi uygulanmıştır.

Antibakteriyel testlerinde, *Staphylococcus aureus* bakteri test sonuçlarında 30 °C'de 24 saat inkubasyon sonunda, saf CA çözeltilisine yapılan gümüş nitrat katkılandırmasının antibakteriyel aktiviteyi önemli derecede arttırdığı görülmüştür. Gümüş nitrat katkılandırmasıyla birlikte citronella yağı haricinde esansiyel yağ katkılandırmasının da antibakteriyel etkide artmaya sebep olduğu gözlenmiştir. *Staphylococcus aureus* bakterisi üzerinde en etkili antibakteriyel özelliğe okaliptüs yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisinin sahip olduğu belirlenmiştir.

Yapılan antifungal analizinde *penicillium notatum* mantarı üzerinden elde edilen sonuçları kontrol edildiğinde 25 °C'de 72 saat inkubasyon sonunda zone çaplarının ölçülmesiyle saf CA çözeltilisine yapılan gümüş nitrat katkılandırmasının çözeltiliye antifungal özellik kazandırdığı görülmüştür. Esansiyel yağ katkılandırmasının da antifungal özelliği desteklediği belirlenmiştir. CA çözeltilisine yapılan gümüş nitrat ve okaliptüs yağı katkılandırmasının yalnızca gümüş nitrat katkılandırılmış CA çözeltilisine göre daha düşük bir antifungal etkinliğe sahip olması gümüş nitrat ve okaliptüs yağının antifungallık üzerinde antagonist bir etkiye sebep olduğunu göstermiştir. Antifungal test sonuçlarına göre pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisinin *penicillium notatum* mantarı üzerinde en etkili antifungal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.

*Aspergillus flavus* mantarı üzerinde disk difüzyon yöntemiyle yapılan antifungal analizinden 25°C'de 72 saat inkubasyon sonunda elde edilen sonuçları kontrol edildiğinde gümüş nitrat ve esansiyel yağ katkılandırmasının CA çözeltilisine saf haline oranla daha fazla antifungal özellik kazandırdığı belirlenmiştir. Pelargonium yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltilisinin *Aspergillus flavus* mantarları üzerinde yapılan

antifungal test sonuçlarına göre en etkili antifungal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.

Palergonium esansiyel yağının FTIR spektrumu incelendiğinde  $3678,3 \text{ cm}^{-1}$  deki bant, Pelargonium yağının bileşenleri olan polifenol ve flavonolide bağlanmış O-H titreşimlerinden kaynaklanmaktadır.  $1731 -1453 \text{ cm}^{-1}$  aralıklarında pelargonium esansiyel yağının etken maddesi olan terpenoidden kaynaklanan karakteristik C=C bağ gerilmeleri gözlenmiştir.  $831,9 \text{ cm}^{-1}$ 'de düzlem dışı bükülmesinde aromatik CH gerilmeleri parmak izi bölgede gözlemlenmiştir.  $741,53-528,53 \text{ cm}^{-1}$  pikleri aromatik bileşiklerin C-C gerilmelerine atfedilebilir. Citronella esansiyel yağının FTIR spektrumunda  $1668,8-1606,4 \text{ cm}^{-1}$  aralıklarında karakteristik C = C gerilme titreşim bantları gözlenmemiştir.  $1514 \text{ cm}^{-1}$ 'deki tepe noktaları metilen -CH gerilmeleri ve  $1380,5 \text{ cm}^{-1}$ 'de bağlı C=O-H grubu deformasyonu ile ilişkilendirilecek gerilmeler parmak izi bölgede tespit edilmiştir. Okaliptüs yağı FTIR spektrumu incelendiğinde karakteristik 1,8 sineol bantları  $1217 \text{ cm}^{-1}$ 'de C-O-C bağı simetrik gerilme titreşimleri ve  $1081,5 \text{ cm}^{-1}$ 'de C-O-C asimetric germe titreşimleri olarak gözlemlenmiştir.  $984,65 \text{ cm}^{-1}$  tepesi karakteristik CH<sub>2</sub>- sallanma titreşimlerine atfedilebilir. Cypres esansiyel yağının FTIR spektrumunda  $1449,4 \text{ cm}^{-1}$ 'de -CH<sub>2</sub> kesme titreşimi veya CH<sub>2</sub>-bükülme titreşimi (lignin), CH- düzlemde deformasyonla birlikte aromatik iskelet titreşimi parmak izi bölgede gözlemlenmiştir.  $786,71 \text{ cm}^{-1}$ 'de karakteristik aromatik halkaların CH- bükülme titreşimlerine atfedilebilir. Ayrıca  $713,56, 621,05$  ve  $555,1 \text{ cm}^{-1}$  karakteristik pikleri de gözlemlenmiştir. Selüloz asetat FTIR spektrumunda  $1709,7 \text{ cm}^{-1}$ 'deki karakteristik pik karboksilik grupları ester bağlantısı için üronik ester gruplarının varlığına atfedilir ve C=O esnemesi ile ilgilidir. Ayrıca  $1359 \text{ cm}^{-1}$ 'deki karakteristik pik C-H eğilme titreşim bantıdır ve C-C esnemesiyle ilişkilendirilebilir.  $1219,2 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülen parmak izi piki C-O esnemesi ile ilişkilendirilebilir ve -CF<sub>2</sub>'ün simetrik ve asimetric gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir.  $1092,2 \text{ cm}^{-1}$ 'deki belirgin bant C-O-H gerilme tepesi olarak atfedilebilir.  $530,68 \text{ cm}^{-1}$  civarındaki ve daha düşük bantlar ise C-C-C, C-O, C-C-O halka deformasyon karakteristik pikleridir. Gümüş için FTIR spektrumu incelendiğinde  $1094,4-1049,2 \text{ cm}^{-1}$  aralıkları C-C-N asimetric bağ titreşimlerine karşılık gelir.  $976,05-917,5 \text{ cm}^{-1}$  aralığında karakteristik pikler gözlemlenmiştir.  $530,28 \text{ cm}^{-1}$ 'de C-C-N bağ titreşimlerinden kaynaklanan karakteristik

pikler gözlemlenmiştir

SEM analiz görüntülerine göre seçilen selüloz asetat polimerinin nanolif üretimi için uygun bir polimer olduğu gözlenmiştir. Gümüş nitrat katkılандırmasının boncuk oluşumuna neden olduğu ve kullanılan esansiyel yağlarla (okaliptüs yağı, citronella yağı, pelargonium yağı, cypress yağı) birlikte nanolif boyutu ile boncuk oranını etkilediği görülmüştür.

Fibraquant programı ile yapılan analizde saf CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin yarıçap boyutlarının ortalama, standart sapma ve medyan ölçümlerinin diğer çözeltiler arasında en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Saf CA nanoliflerinin en yüksek ortalamaya sahip olması nanolif boyutlarının yüksek olduğunu, standart sapma değerinin yüksek olması ise üretilen nanoliflerin çaplarının arasındaki boyut farkının fazla olduğunu göstermiştir. Gümüş nitrat ve esansiyel yağ katkılандırılmalarının bu değerlerde değişikliğe ve düşüşe sebep olduğu saptanmıştır. Özellikle citronella yağı ve gümüş nitrat katkılı CA çözeltisinden elde edilen nanoliflerin çaplarının en küçük ortalama, standart sapma ve medyan değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Citronella yağı ve gümüş nitrat katkılандırmasıyla elde edilen bu sonuçlar üretilen nanoliflerin boyutlarının küçük ve birbirlerine yakın değerlerde olduğunu göstermiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abutaleb A, Lolla D, Aljuhani A, Shin H U, Rajala J W, Chase G G, 2017, Effects of Surfactants on the Morphology and Properties of Electrospun Polyetherimide Fibers, *Fibers*, 5, 33.
- Akarca G, Tomar O, Güney İ, Erdur S, Gök V, 2019, Determination of Sensitivity of Some Food Pathogens to Spice Extracts, *Journal of Food Science and Technology*, 56, 5253-5261.
- Alghoraibi I, Alomari S, 2018, Different Methods for Nanofiber Design and Fabrication, *Handbook of Nanofibers*, 1-46.
- Anonim, 1985, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara.
- Babu K G D, Kaul V K, 2005, Variation in Essential Oil Composition of Rose-Scented Geranium (*Pelargonium Sp.*) Distilled by Different Distillation Techniques, *Flavour and Fragrance Journal*, 20, 222–231.
- Barhoum A, Rasouli R, Yousefzadeh M, Rahier H, Bechelany M, 2018, Nanofiber Technology: History and Developments, in *Handbook of Nanofibers*, 1-42.
- Başaran E, 2002, Nanoteknoloji, Ayhan A (Ed.) *Dünden Bugüne Türkiye’de Bilim-Teknoloji ve Geleceğin Teknolojileri*, 379-388, Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ, İstanbul.
- Batish D R, Singh H P, Kohli R K, Kaur S, 2008, Eucalyptus Essential Oil as A Natural Pesticide, *Forest Ecology and Management*, 256, 2166–2174.
- Bauer A T, 1966, Antibiotic Susceptibility Testing by A Standardized Single Disc Method, *American Journal of Clinical Pathology*, 45, 149-158.
- Bauer A W, Perry, D M, Kirby W M, 1959, Single-Disk Antibiotic-Sensitivity Testing of Staphylococci: An Analysis of Technique and Results, *American Medical Association Archives of Internal Medicine*, 104, 208-216.
- Bezir N Ç, Evcin A, Oktay A, 2014, Seryum Katkılı TiO<sub>2</sub> Nanofiberlerin Üretim ve Karakterizasyonu, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 315-318.

- Bhardwaj N, Kundu S C, 2010, Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique, *Biotechnology Advances*, 28, 325-347.
- Bhattarai R S, Bachu R D, Boddu S H S, Bhaduri S, 2018, Biomedical Applications of Electrospun Nanofibers: Drug and Nanoparticle Delivery, *Pharmaceutics* 11, 5.
- Bhushani J A, Anandharamakrishnan C, 2014, Electrospinning and Electrospraying Techniques: Potential Food Based Applications, *Trends in Food Science & Technology*, 38, 21-33.
- Burger C, Hsiao B S, Chu B, 2006, Nanofibrous Materials and Their Applications, *Annual Review of Materials Research* 36, 333–368.
- Calisir M D, Kilic A, 2020, A Comparative Study on Sio<sub>2</sub> Nanofiber Production via Two Novel Non-Electrospinning Methods: Centrifugal Spinning vs Solution Blowing, *Materials Letters*, 258, 126751.
- Chen Q, Xu S, Wu T, Guo J, Sha S, Zheng X, Yu T, 2014, Effect of Citronella Essential Oil on the Inhibition of Postharvest *Alternaria alternata* on Cherry Tomato, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2441–2447.
- Coles S R, Jacobs D K, Meredith J O, Barker G, Clark A J, Kirwan K, Tucker N, 2010, A Design of Experiments (Doe) Approach to Material Properties Optimization of Electrospun Nanofibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 117, 2251-2257.
- Dadvar S, Tavanai H, Morshed M, 2011, UV-Protection Properties of Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibrous Mats Embedded with MgO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles, *Journal of Nanoparticle Research* 13, 5163–5169.
- Daristotle J L, Behrens A M, Sandler A D, Kofinas P, 2016, A Review of the Fundamental Principles and Applications of Solution Blow Spinning, *American Chemical Society Applied Materials & Interfaces*, 8, 34951-34963.
- De Vrieze S, Van Camp T, Nelvig A, Hagström B, Westbroek P, De Clerck K, 2009, The Effect of Temperature and Humidity on Electrospinning, *Journal of Materials Science*, 44, 1357–1362.
- Demirci F, 2018, Synthesis of Antibacterial Polymers Reducing Biofilm Formation and

Their Application on Hollow Fiber Membranes, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 113s, Bursa.

- Dorman H J D, Deans S G, 2000, Antimicrobial Agents from Plants: Antibacterial Activity of Plant Volatile Oils, *Journal of Applied Microbiology* 88, 308–316.
- Feng Q L, Wu J, Chen G Q, Cui F Z, Kim T N, Kim J O, 2000, A Mechanistic Study of the Antibacterial Effect of Silver Ions on *Escherichia Coli* and *Staphylococcus Aureus*, *Journal of Biomedical Materials Research*, 52, 662-668.
- Fischer S, Thümmeler K, Volkert B, Hettrich K, Schmidt I, Fischer K, 2008, Properties and Applications of Cellulose Acetate, *Macromolecular Symposia*, January, Weinheim, 89-96.
- Franci G, Falanga A, Galdiero S, Palomba L, Rai M, Morelli G, Galdiero M, 2015, Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents, *Molecules*, 20, 8856–8874.
- Garg T, Rath G, Goyal A K, 2015, Biomaterials-Based Nanofiber Scaffold: Targeted and Controlled Carrier for Cell and Drug Delivery, *Journal of Drug Targeting* 23, 202–221.
- Ghorani B, Tucke N, 2015, Fundamentals of Electrospinning as A Novel Delivery Vehicle for Bioactive Compounds in Food Nanotechnology, *Food Hydrocolloids*, 51, 227–240.
- Gonçalves R, Martins P, Moya X, Ghidini M, Sencadas V, Botelho G, Lanceros-Méndez S, 2015, Magnetoelectric  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ /Polyvinylidene Fluoride Electrospun Nanofibres, *Nanoscale*, 7, 8058-8061.
- Haider A, Haider S, Kang I K, 2018, A Comprehensive Review Summarizing the Effect of Electrospinning Parameters and Potential Applications of Nanofibers in Biomedical and Biotechnology, *Arabian Journal of Chemistry* 11, 1165-1188.
- Ilharco L M, Brito De Barros R, 2000, Aggregation of Pseudoisocyanine Iodide in Cellulose Acetate Films: Structural Characterization by Ftir, *Langmuir*, 16, 9331-9337.
- Jeevanandam J, Barhoum A, Chan Y S, Dufresne A, Danquah M K, 2018, Review on

- Nanoparticles and Nanostructured Materials: History, Sources, Toxicity and Regulations, *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 9, 1050–1074.
- Ji W, Sun Y, Yang F, Van Den Beucken J, Fan M, Chen Z, Jansen J, 2010, Bioactive Electrospun Scaffolds Delivering Growth Factors and Genes for Tissue Engineering Applications, *Pharmaceutical Research* 28, 1259–72.
- Jirsák O, Dao T A, 2009, Production, Properties and End-Uses of Nanofibres, in *Nanotechnology in Construction*, Springer, 95-99p, Berlin, Heidelberg.
- Kalemba D, Kunicka A, 2003, Antibacterial and Antifungal Properties of Essential Oils, *Current Medicinal Chemistry*, 10, 813–829.
- Kessick R, Tepper G, 2004, Microscale Polymeric Helical Structures Produced by Electrospinning, *Applied Physics Letter* 84, 4807–4809.
- Kriegel C, Arrechi A, Kit K, McClements D J, Weiss J 2008, Fabrication, Functionalization, and Application of Electrospun Biopolymer Nanofibers, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 775-797.
- Kulkarni A A, Rao P S, 2013, Synthesis of Polymeric Nanomaterials for Biomedical Applications, A K Gaharwar (Ed.), *Nanomaterials in Tissue Engineering*, 27–63, Woodhead, 468, Cambridge.
- Kut D, Güneşoğlu C, 2005, Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları, *Tekstil&Teknik Dergisi*, 23, 224-230.
- Liu H M, Xie X A, Li M F, Sun R C, 2012, Hydrothermal Liquefaction of Cypress: Effects of Reaction Conditions on 5-Lump Distribution and Composition, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, 177-183.
- Lansdown A B, 2002, Silver I: Its Antibacterial Properties and Mechanism of Action, *Journal of Wound Care*, 11, 125-130.
- Mamoori M A, 2015, Surface Cleaning by Plasma for Nanotechnology, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 29s, Isparta.
- Medeiros E S, Glenn G M, Klamczynski A P, Orts W J, Mattoso L H, 2009, Solution Blow Spinning: A New Method to Produce Micro and Nanofibers from Polymer Solutions, *Journal of Applied Polymer Science*, 113, 2322-2330.

- Meyer M, 2007, What Do We Know About Innovation in Nanotechnology Some Propositions About an Emerging Field Between Hype and Path-Dependency, *Scientometrics*, 70, 779-810.
- Mitchell G R (Ed.), 2015, *Electrospinning: Principles, Practice and Possibilities*, Royal Society of Chemistry, 271p, Cambridge.
- Neo Y P, Ray S, Easteal A J, Nikolaidis M G, Quek S Y, 2012, Influence of Solution and Processing Parameters Towards the Fabrication of Electrospun Zein Fibers with Sub-Micron Diameter, *Journal of Food Engineering*, 109, 645–651.
- Nune S K, Rama K S, Dirisala V R, Chavali M Y, 2017, *Electrospinning of Collagen Nanofiber Scaffolds for Tissue Repair and Regeneration*, Nanostructures for Novel Therapy, 281-311, Elsevier, 872p, Romania.
- Nurfaizey A H, Stanger J, Tucker N, Buunk N, Wood A R, Staiger M P, 2014, Control of Spatial Deposition of Electrospun Fiber Using Electric Field Manipulation, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 9, 155892501400900118.
- Oberg T, Brosseau L M, 2008, Surgical Mask Filter and Fit Performance, *American Journal of Infection Control*, 36, 276-282.
- Özdoğan E, Demir A, Seventekin N, 2006, Lotus Etkili Yüzeyler, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 16, 287-290.
- Pant M, Dubey S, Patanjali P K, Naik S N, Sharma, S, 2014, Insecticidal Activity of Eucalyptus Oil Nanoemulsion with Karanja and Jatropha Aqueous Filtrates, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 91, 119-127.
- Pelipenko J, Kristl J, Janković B, Baumgartner S, Kocbek P, 2013, The Impact of Relative Humidity During Electrospinning on the Morphology and Mechanical Properties of Nanofibers, *International Journal of Pharmaceutics*, 456, 125–134.
- Pierre-Leandri C, Fernandez X, Lizzani-Cuvelier L, Loiseau A.-M, Fellous R, Garnero J, Oli C A, 2003, Chemical Composition of Cypress Essential Oils: Volatile Constituents of Leaf Oils from Seven Cultivatedcypressusspecies, *Journal of Essential Oil Research*, 15, 242–247.



- Polat Y, Calisir M, Gungor M, Sagirli N, Atakan R, Akgul Y, Kilic A, 2019, Solution Blown Nanofibrous Air Filters Modified with Glass Microparticles, *Journal of Industrial Textiles*, 1528083719888674.
- Ramakrishna S, Fujihara K, Teo W E, Lim T C, Ma Z, 2005, *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*, World Scientific, 381, Singapore.
- Ramji K, Shah R N, 2014, Electrospun Soy Protein Nanofiber Scaffolds for Tissue Regeneration, *Journal of Biomaterials Applications*, 29, 411–422.
- Rogalski J J, Bastiaansen C W M, Peijs T, 2017, Rotary Jet Spinning Review A Potential High Yield Future for Polymer Nanofibers, *Nanocomposites* 3, 97–121.
- Rubert M, Dehli J, Li Y F, Taskin M B, Xu R, Besenbacher F, Chen M, 2014, Electrospun PCL/PEO Coaxial Fibers for Basic Fibroblast Growth Factor Delivery, *Journal of Materials Chemistry*, 2, 8538–8546.
- Sahoo T R (Ed.), 2017, *Polymer Nanocomposites for Environmental Applications, Properties and Applications of Polymer Nanocomposites*, 77-106, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Shankar S S, Ahmad A, Pasricha R, Sastry M, 2003, Bioreduction of Chloroaurate Ions by Geranium Leaves and Its Endophytic Fungus Yields Gold Nanoparticles of Different Shapes, *Journal of Materials Chemistry*, 13, 1822-1826.
- Stojanovska E, Canbay E, Pampal E S, Calisir M D, Agha O, Polat Y, Kilic A, 2016, A Review on Non-Electro Nanofibre Spinning Techniques, *Royal Society of Chemistry Advances*, 6, 83783-83801.
- Suk Choi J, Ho Choi S, Sang Yoo H, 2011, Coaxial Electrospun Nanofibers for Treatment of Diabetic Ulcers with Binary Release of Multiple Growth Factors, *Journal of Materials Chemistry* 21, 5258– 5267.
- Sun B, Long Y Z, Zhang H D, Li M M, Duvail J L, Jiang X Y, Yin H L, 2014, Advances in Three-Dimensional Nanofibrous Macrostructures via Electrospinning, *Progress in Polymer Science*, 39, 862–890.
- Sutoyo S, Khotijah S, 2020, Antioxydant Activity of the Silver Nanoparticles (AgNPs)

- Synthesized Using Nephrolepisradicans Extract as Bioreductor, *Journal of Physics: Conference Series*, 3 October, Surabaya.
- Tepekıran B, Calisir M, Polat Y, Akgul Y, Kilic A, 2019, Centrifugally Spun Silica (Sio<sub>2</sub>) Nanofibers for High-Temperature Air Filtration, *Aerosol Science and Technology* 53, 1–13.
- Timung R, Barik C R, Purohit S, Goud V V, 2016, Composition and Anti-Bacterial Activity Analysis of Citronella Oil Obtained by Hydrodistillation: Process Optimization Study, *Industrial Crops and Products*, 94, 178-188.
- Tisserand R, Young R, 2013, *Essential Oil Safety-E-Book: A Guide for Health Care Professionals*, Elsevier, 800p, London.
- Tomar O, Akarca G, Başpınar E, 2020, Determination of Antifungal Effects of Some Berry Fruits Ethanol Extracts by Disc Diffusion Method, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8, 442-448.
- Toroğlu S, Çenet M, 2006, Tedavi Amaçlı Kullanılan Bazı Bitkilerin Kullanım Alanları ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi İçin Kullanılan Metodlar, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9, 12–20.
- Turek C, Stintzing F C, 2013, Stability of Essential Oils: A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 40-53.
- Valipouri A, 2017, Production Scale Up of Nanofibers: A Review, *Journal of Textiles and Polymers* 5, 8-16.
- Vinh N, Kim H M, 2016, Electrospinning Fabrication and Performance Evaluation of Polyacrylonitrile Nanofiber for Air Filter Applications, *Applied Sciences* 6, 235.
- Wang C, Wang J, Zeng L, Qiao Z, Liu X, Liu H, Zhang J, Ding J, 2019, Fabrication of Electrospun Polymer Nanofibers with Diverse Morphologies, *Molecules* 24, 834.
- Wang X, Hsiao B S, 2016, Electrospun Nanofiber Membranes, *Current Opinion in Chemical Engineering*, 12, 62-81.
- Wani A R, Yadav K, Khursheed A, Rather M A, 2020, An Updated and Comprehensive Review of the Antiviral Potential of Essential Oils and Their Chemical

Constituents with Special Focus on Their Mechanism of Action Against Various Influenza and Coronaviruses, *Microbial Pathogenesis*, 104620.

Wei Q, 2012, *Functional Nanofibers and Their Applications*, Elsevier, 448p, Londra.

Xiao G, Zhang X, Zhao Y, Su H, Tan T, 2014, The Behavior of Active Bactericidal and Antifungal Coating Under Visible Light Irradiation, *Applied Surface Science*, 292, 756–763.

Yamaguchi S, Yamamoto E, Mannen T, Nagamune T, Nagamune T, 2013, Protein Refolding Using Chemical Refolding Additives, *Biotechnology journal*, 8, 17-31.

Yoon K, Hsiao B S, Chu B, 2008, *Functional Nanofibers for Environmental Applications*, *Journal of Materials Chemistry* 18, 5326– 5334.

Zahmatkeshan M, Adel M, Bahrami S, Esmaeili F, Rezayat S M, Saeedi Y, Ashtari K, 2018, *Polymer Based Nanofibers: Preparation, Fabrication, and Applications*, Barhoum A (Ed.), *Handbook of Nanofibers*, 1-47, Springer, 1170p, Berlin.

Zhang L G, Khademhosseini A, Webster T (Eds.), 2019, *Tissue and Organ Regeneration: Advances in Micro and Nanotechnology*, Jenny Stanford, 822p, Washington.

Zhang X, Lu Y, 2014, Centrifugal Spinning: An Alternative Approach to Fabricate Nanofibers at High Speed and Low Cost, *Polymer Reviews* 54, 677–701.

Zheng J, Zhuang M, Yu Z, Zheng G, Zhao Y, Wang H, Sun D, 2014, The Effect of Surfactants on the Diameter and Morphology of Electrospun Ultrafine Nanofiber, *Journal of Nanomaterials*, 689298.

## **İnternet Kaynakları**

1- <http://fenbil.aku.edu.tr/>, 11.11.2019

2- [http://fenbildergi.aku.edu.tr/1602/021201\(212-221\).pdf](http://fenbildergi.aku.edu.tr/1602/021201(212-221).pdf), 11.11.2019

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emine Yaşar  
Doğum Yeri ve Tarihi : KÜTAHYA/Merkez 14.04.1996  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon / e-posta) : 0(539) 864 21 00 / emineyasar\_21@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kütahya Anadolu Öğretmen Lisesi, (2010-2014)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, (2015-2019)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, (2019-2021)

Yayımları :

Evcin A, Yaşar E, 2020, Effect of Solvent Type and Number of Coating Layers on the Contact Angle of Hydrophilic TiO<sub>2</sub> Thin Film, TFD 36. Uluslararası Fizik Kongresi, 01-05 Eylül 2020, Bodrum, Muğla.

Dalkılıç B, Yaşar E, Evcin A, 2021, Coating of Hydroxyapatite (HA) Powders Produced by Sol-gel Method on Titanium Alloy with HVOF Method Added with Diatomide, 4. International Conference on Physical Chemistry & Functional Materials, 08-09 April 2021, Elazığ.

Yaşar E, Dalkılıç B, Evcin A, 2021, Soft Tissue Production with 3D Printer, 4. International Conference on Physical Chemistry & Functional Materials, 08-09 April 2021, Elazığ.

Dalkılıç B, Yaşar E, Evcin A, Kayhan H, 2021, Production of Antibacterial and Antifungal Nanofiber Coated Surgical Masks Containing Boron and Lemon Oil, 4. International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC'21), 28-29-30 Mayıs 2021, Kapadokya, Nevşehir.

Yaşar E, Dalkılıç B, Evcin A, Kayhan H, 2021, Production of Antifungal, Antibacterial Nanofiber Coated Surgical Masks Containing Silver and Eucalyptus Oil, 4. International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC'21), 28-29-30 Mayıs 2021, Kapadokya, Nevşehir.