



**ELEKTRİKSEL İLETKENLİK VE YAĞ ABSORPSİYON  
UYGULAMALARI İÇİN SELÜLOZ ASETAT  
NANOLİFLERİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Zehra Pınar CENGİZ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKSEL İLETKENLİK VE YAĞ ABSORPSİYON UYGULAMALARI İÇİN  
SELÜLOZ ASETAT NANOLİFLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Zehra Pınar CENGİZ  
0009-0005-5805-5359

Doç. Dr. Şebnem DÜZYER GEBİZLİ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024  
Her Hakkı Saklıdır

## ÖZET

Yüksek Lisans

### ELEKTRİKSEL İLETKENLİK VE YAĞ ABSORPSİYON UYGULAMALARI İÇİN SELÜLOZ ASETAT NANOLİFLERİN GELİŞTİRİLMESİ

**Zehra Pınar CENGİZ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç.Dr. Şebnem DÜZYER GEBİZLİ

Bu tez çalışmasında elektro çekim yöntemi ile selüloz asetat (CA) polimer çözeltilerinden nanolifli yüzeyler üretilmiştir. Tez çalışması, CA nanoliflerin farklı alanlardaki uygulamalar için potansiyellerinin araştırılması üzerinedir. Tez iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, CA nanolifli yüzeylerin hem mekanik hem de elektriksel özellikleri geliştirilerek karakterizasyonları yapılmıştır. Bu kapsamda, elektro çekim yöntemi ile elde edilen CA nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri ard işlem yapılarak geliştirilmiştir. Yüzeyleri iletken hale getirmek amacıyla, CA nanolifli yüzeyler damla-kaplama yöntemi ile Poli(3,4-etilendioksitiyofen): polistiren sülfonat (PEDOT: PSS) ile kaplanmıştır. Elektriksel özellikleri geliştirmek için kaplama çevrim sayısı artırılmıştır. Daha sonra, numunelerin yüzey, içyapı, termal, mekanik ve elektriksel karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, numunelerin eğilme davranışı incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, karbon siyahı (CB) katkılı CA nanolifli yüzeyler elektro çekim yöntemi ile elde edilmiştir. Üretimler sonrası CA/CB yüzeyler ard işleme tabi tutularak mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Elde edilen numunelerin yüzey, içyapı ve mekanik karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, numunelerin yağ absorpsiyon kapasiteleri araştırılmıştır. Böylece, elde edilen yüzeylerin atık su/yağ filtrasyonu uygulamalarındaki potansiyeli ortaya konmuştur.

Tez çalışması kapsamında hazırlanan çözeltilerin viskozitesi ve pH değerleri ölçülmüştür. Üretilen nanolifli numunelerin karakterizasyonu, SEM, temas açısı, FTIR, DTA analizleri ve çekme testleri ile gerçekleştirilmiştir. Elektriksel özellikler iki-nokta direnç ölçümleri ile belirlenmiştir. Numunelerin yağ absorpsiyonu kapasiteleri ise distile su, deniz suyu, atık yağ, atık yağ:distile su, atık yağ:deniz suyu içerisinde belirlenmiştir.

Sonuçlar, CA nanolifli yüzeylerin çeşitli uygulamalar için alternatif olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Selüloz asetat, nanolif, elektro çekim, PEDOT:PSS, karbon siyahı  
2024, vii+ 55 sayfa.

## ABSTRACT

MSc Thesis

### DEVELOPMENT OF CELLULOSE ACETATE NANOFIBERS FOR ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND OIL ABSORPTION APPLICATIONS

**Zehra Pınar CENGİZ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Textile Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Şebnem DÜZYER GEBİZLİ

In this thesis, nanofiber mats were produced from cellulose acetate (CA) polymer solutions by electrospinning. The thesis consists of two parts. In the first part, both mechanical and electrical properties of CA nanofiber mats were developed and characterized. In this context, the mechanical properties of electrospun CA nanofiber mats were improved by post-treatment. In order to make the surfaces conductive, CA nanofiber mats were coated with Poly(3,4-ethylenedioxythiophene): polystyrene sulfonate (PEDOT: PSS) using drop-coating method. The number of coating cycles was increased to enhance the electrical properties. Afterwards, the surface, internal structure, thermal, mechanical, and electrical properties of the samples were investigated. Additionally, the bending behavior of the samples was examined.

In the second part of the study, CA nanofiber mats CB-loaded CA nanofiber mats were produced by electrospinning. After production, CA/CB samples were subjected to post-processing to improve their mechanical properties. Surface, internal structure and mechanical characterizations of the samples were conducted. Additionally, the oil absorption capacities of the samples were investigated, demonstrating their potential in waste water/oil filtration applications.

The viscosity and pH values of the solutions were measured. The nanofiber mats were characterized by SEM, contact angle, FTIR, DTA analyses, and tensile tests. Electrical properties were determined by two-point resistance measurements. The oil absorption capacities of the samples were investigated in distilled water, seawater, waste oil, waste oil:distilled water, and waste oil:seawater.

The results showed that CA nanofiber mats are promising for various applications.

**Key words:** Cellulose acetate, nanofiber, electrospinning, PEDOT:PSS, carbon black  
**2024, vii + 55 pages.**

## TEŐEKKÖR

Tez alıőmamn her aőamasında yardımcı olan, bilgi ve birikimlerini aktaran değerli danışman hocam Do. Dr. Şebnem DÖZYER GEBİZLİ'ye teőekkÖrlerimi bir borç bilirim.

Laboratuvar çalıőmalarında cihazların kullanımında imkân sağlayan Prof. Dr. Esra KARACA'ya ve laboratuvar çalıőmalarında katkı sağlayan Araő. Gör. Cansu ARAS'a, tez çalıőmalarımnda yardımcı olan Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmakta olan Dr. Mehmet TİRİTOğLU'na teőekkÖrlerimi bir borç bilirim.

\* Bu tez alıőması Bursa Uludağ Üniversitesi BAP Birimi tarafından FYL-2023-1506 numaralı proje ile desteklenmiőtir.

Zehra Pınar CENGİZ  
06/09/2024

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Nanolif Tanımı .....	3
2.2. Elektro Çekim Yöntemi ile Nanolif Üretimi.....	3
2.3. Kullanılan Polimerler ve Katkı Malzemeleri .....	11
2.3.1. Selüloz asetat (CA) .....	11
2.3.2. PEDOT:PSS .....	12
2.3.3. Karbon siyahı (CB) .....	13
2.4. CA Nanolif Kullanım Alanları.....	14
2.4.1. İletken nanolifler ile ilgili yapılan çalışmalar .....	17
2.4.2. Yağ filtrasyonu uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar .....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal .....	21
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Elektro çekim çözeltilerinin hazırlanması.....	21
3.2.2. Elektro çekim yöntemi ile nanolifli yüzeylerin üretilmesi.....	22
3.2.3. Nanolifli yüzeylere ard işlem uygulanması.....	23
3.2.4. Katkısız CA nanolifli yüzeylere damla-kaplama işlemi .....	23
3.2.5. Nanolifli yüzeylerin karakterizasyonu .....	24
3.2.6. CB katkılı CA nanolifli yüzeylerin yağ absorpsiyon kapasiteleri.....	26
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	28
4.1. Çözeltilerin Karakterizasyonu.....	28
4.2. CA Nanolifli Yüzeylerin Karakterizasyonu.....	28
4.3. PEDOT:PSS Kaplı CA Nanolifli Yüzeylerin Karakterizasyonu .....	30
4.3.1. SEM analizleri.....	30
4.3.2. Temas açısı ölçümleri .....	30
4.3.3. FTIR analizleri .....	32
4.3.4. Mekanik analizler.....	34
4.3.5. DTA analizleri.....	35
4.3.6. İletkenlik ölçümleri .....	36
4.3.7. Eğilme rijitliği ölçümleri.....	37
4.4. CB Katkılı Nanolifli Yüzeylerin Karakterizasyonu .....	38
4.4.1. SEM analizleri.....	38
4.4.2. Temas açısı ölçümleri .....	40
4.4.3. FTIR analizleri .....	41
4.4.4. Mekanik analizler.....	43
4.4.5. Yağ absorpsiyon kapasitesi ölçümleri.....	44
5. SONUÇ.....	47
KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	55

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
°	Derece
°C	Santigrat derece
cP	Viskozite
pH	Hidrojen gücü
Ω	Ohm

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
CA	Selüloz asetat
CB	Karbon siyahı
dH <sub>2</sub> O	Distile su
DMAc	Dimetilasetamid
DTA	Diferansiyel termal analiz
EG	Etilen glikol
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
OCA	Yağ temas açısı
PEDOT	Poli (3,4-etilendioksitiyofen)
PEDOT:PSS	Poli (3,4-etilendioksitiyofen): polistiren sülfonat
PSS	Poli(stirensülfonat)
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
T <sub>g</sub>	Camsı geçiş sıcaklığı
T <sub>m</sub>	Erime sıcaklığı
Tos	Tosilat
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
WCA	Su temas açısı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

		<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1	Lif çaplarının sınıflandırılması	3
Şekil 2.2	Elektro çekim yönteminin şematik gösterimi	4
Şekil 2.3	Tipik bir elektro çekim sistemi ile Taylor konisinin şematik görüntüsü ve nanolifli yüzeyin SEM görüntüsü	5
Şekil 2.4	Yüksek konsantrasyonda çözücü içeren nanolifli yüzeyin SEM görüntüsü	8
Şekil 2.5	Elektro çekim yönteminde voltajın etkisi	9
Şekil 2.6	Voltajın nanolif çapı üzerindeki etkisi	9
Şekil 2.7	CA'nın kimyasal yapısı	11
Şekil 2.8	(a) PEDOT, (b) tosilat (tos) ve (c) PSS'in moleküler yapıları	12
Şekil 2.9	PEDOT:PSS'in kimyasal yapısı	12
Şekil 3.1	Çalışmada kullanılan elektro çekim düzeneği	22
Şekil 4.1	(a) CA0, (b) CA0-2 ve (c) CA0-4 SEM görüntüleri	29
Şekil 4.2	(a) CA0, (b) CA0/PEDOT-1, (c) CA0/PEDOT-2, (d) CA0/PEDOT-3, (e) CA0-4, (f) CA0-4/PEDOT-1, (g) CA0-4/PEDOT-2 ve (h) CA0-4/PEDOT-3 kodlu numunelerin SEM görüntüleri	30
Şekil 4.3	CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA numunelerin FTIR spektrumları	33
Şekil 4.4	CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA nanolifli yüzeylerin termal analiz sonuçları	36
Şekil 4.5	(a) CA/CB, (b) CA/CB-2 ve (c) CA/CB-4 kodlu numunelerin SEM görüntüleri	39
Şekil 4.6	CA/CB nanoliflerin FTIR spektrumları	42
Şekil 4.7	CA/CB kodlu nanolif yüzeylerinin sıvı absorpsiyon grafiği	44
Şekil 4.8	(a) CA/CB-2 ve (b) CA/CB-4 kodlu nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyon grafikleri	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

		<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1	Elektro çekim yöntemine etki eden parametreler	5
Çizelge 3.1	Hazırlanan çözeltilerin elektro çekim üretim parametreleri	23
Çizelge 3.2	Numune kodları ve açıklamaları	24
Çizelge 4.1	Katkısız ve CB katkılı polimer çözeltilerinin viskozite ve pH değerleri	28
Çizelge 4.2	CA0, CA0-2 ve CA0-4 nanoliflerin ortalama çap ve CV değerleri	29
Çizelge 4.3	CA0, CA0-2 ve CA0-4 nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri	29
Çizelge 4.4	CA nanolifli yüzeylerin ortalama temas açıları	31
Çizelge 4.5	CA ve PEDOT:PSS kaplı CA nanolifli yüzeylerin ortalama temas açıları	32
Çizelge 4.6	CA0 nanoliflerin FTIR spektrumları	34
Çizelge 4.7	CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri	34
Çizelge 4.8	CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA yüzeylerin ortalama direnç ölçümü değerleri	37
Çizelge 4.9	CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA nanolifli yüzeylerin eğilme rijitliği değerleri	38
Çizelge 4.10	CA/CB nanoliflerinin ortalama lif çapı değerleri ve gözeneklilikleri	40
Çizelge 4.11	CA/CB nanolifli yüzeylerin OCA ve WCA değerleri	41
Çizelge 4.12	CA/CB nanoliflerin FTIR spektrumları	42
Çizelge 4.13	CA/CB nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri	43
Çizelge 4.14	CA/CB nanolif yüzeylerinin sıvı absorpsiyonu değerleri	44
Çizelge 4.15	CA/CB-2 nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyonu değerleri	46
Çizelge 4.16	CA/CB-4 nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyonu değerleri	46

## 1. GİRİŞ

Nanolifler düşük çapları, yüksek yüksek alanları, hafif olmaları nedeniyle medikal uygulamalardan, filtrasyon uygulamalarına kadar pek çok farklı alanda kullanım bulmaktadır. Ayrıca, nanolifli yapılar farklı yaklaşımlar ile iletken olarak üretilebilir veya iletken hale getirilebilir. Böylece, bu yapılar elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalar için de kullanılabilir.

Nanolif üretiminde en çok bilinen ve kullanılan yöntem elektro çekim yöntemidir. Bu yöntemde, polimer çözeltisine veya eriğine elektriksel kuvvet uygulanır ve bu kuvvet etkisiyle nano boyutlu liflerin üretilmesi sağlanır.

Bilim ve teknoloji, yenilenebilir hammaddelere, daha çevre dostu ve sürdürülebilir kaynaklara ve süreçlere doğru ilerlemeye devam etmektedir. Selüloz, yıllık toplam biyokütle üretiminin yaklaşık  $1,5 \times 10^{12}$  tonu ile neredeyse tükenmez bir doğal kaynaktır ve son zamanlarda pek çok uygulama için kullanımı dikkat çekmektedir (Klemm ve diğerleri, 2005). Selüloz asetat (CA), bir selüloz türevidir olup, petrol esaslı polimerler düşünüldüğünde çevre yükü daha az olan bir polimerdir.

CA film formunda veya lif formunda pek çok uygulamada kullanım bulmaktadır. CA ve türevleri çeşitli çözücüler yardımıyla çözelti haline getirilebilir ve nanolif formunda elektro çekim yöntemiyle üretilebilir. Literatürde CA nanoliflerin özellikle doku mühendisliği, ilaç taşıma sistemleri gibi medikal uygulamalarda kullanılabilirliği üzerine araştırmalar bulunmaktadır (Zong ve diğerleri, 2002; Meechaisue ve diğerleri, 2006). CA çözeltileri içerisine farklı absorbanların eklenmesi ile atık su/yağ arıtımı için etkin filtrasyon sağlayan yapılar elde edilebilir. Bunun yanı sıra, CA nanolifli yüzeyler farklı yaklaşımlar ile iletken hale getirilebilir ve özellikle hafif, esnek ve giyilebilir iletken yapıların eldesinde önemli bir alternatif olarak kullanılabilir. Ancak, CA nanolifli yüzeylerin mekanik dayanımları bazı uygulamalar için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle bazı araştırmalar, CA yüzeylerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine odaklanmıştır (Cai ve diğerleri, 2017).

Bu çalışmanın amacı, CA nanolifli yüzeylerin üretimi, karakterizasyonu, mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve farklı alanlardaki uygulamalar için kullanım potansiyellerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda öncelikle CA nanoliflerin mekanik özellikleri geliştirilmiş ve mekanik özellikleri geliştirilmiş olan yüzeylerin iki farklı uygulama alanındaki performansı incelenmiştir: (1) elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalar için CA nanolifli yüzeylerin iletken hale getirilmesi ve elektriksel özelliklerin geliştirilmesi; (2) atık su/yağ filtrasyonu için karbon siyahı (CB) katkılı CA nanoliflerin üretilmesi ve yağ absorpsiyonu kapasitelerinin belirlenmesi.

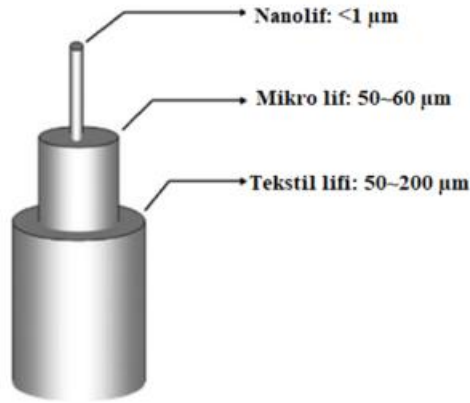
Tezin ilk bölümünde, elektro çekim yöntemi ile CA nanolifli yüzeyler elde edilmiştir. Daha sonra ard işlem ile mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Daha sonra yüzeyler Poli(3,4-etilendioksitiyofen): polistiren sülfonat (PEDOT: PSS) ile damla-kaplama yöntemi kullanılarak farklı kaplama çevrim sayılarında kaplanarak elektriksel özellikleri geliştirilmiştir. Her bir kaplama çevrim sonrası numunelerin yüzey, içyapı, termal, mekanik ve elektriksel karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, numunelerin eğilme davranışı incelenmiştir.

İkinci bölümde ise, CA nanolifli yüzeyler, polimer çözeltisi içerisinde CB katkısı yapılarak elektro çekim yöntemiyle elde edilmiştir. Daha sonra, ard işlem ile yüzeylerin mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Yüzeylerin yağ absorpsiyonu kapasiteleri ise distile su, deniz suyu, atık yağ, atık yağ:distile su, atık yağ:deniz suyu içerisinde belirlenerek atık su/yağ filtrasyonunda kullanım potansiyelleri ortaya konmuştur.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Nanolif Tanımı

Tekstil lifinin inceliği ve uzunluğu lif kalitesini belirleyen en önemli parametrelerdendir. Tekstil liflerinin incelikleri/çapları hammadde ve üretim şekline göre farklılık gösterir. Şekil 2.1’de lif çaplarının sınıflandırılması şematize edilmektedir. Literatürde, çapları 1 mikrondan düşük olan lifler nanolifler olarak kabul edilmektedir. Nanolifli yüzeyler; düşük çap, yüksek gözeneklilik, düşük gözenek boyutu, yüksek yüzey alanı/hacim oranı gibi özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle, nanolifli yapılar filtrasyondan optoelektronik, sensörler ve medikal uygulamalara kadar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır (Greiner ve Wendorff, 2007).



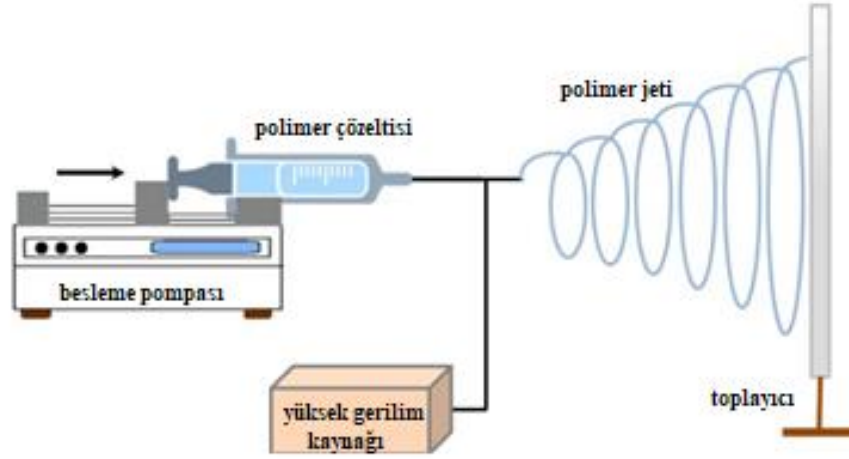
Şekil 2.1. Lif çaplarının sınıflandırılması (Ahn ve diğerleri, 2006)

Nanolifler çeşitli yöntemlerle üretilebilmektedir. Nanolif üretiminde en çok bilinen ve kullanılan yöntem elektro çekim yöntemidir.

### 2.2. Elektro Çekim Yöntemi ile Nanolif Üretimi

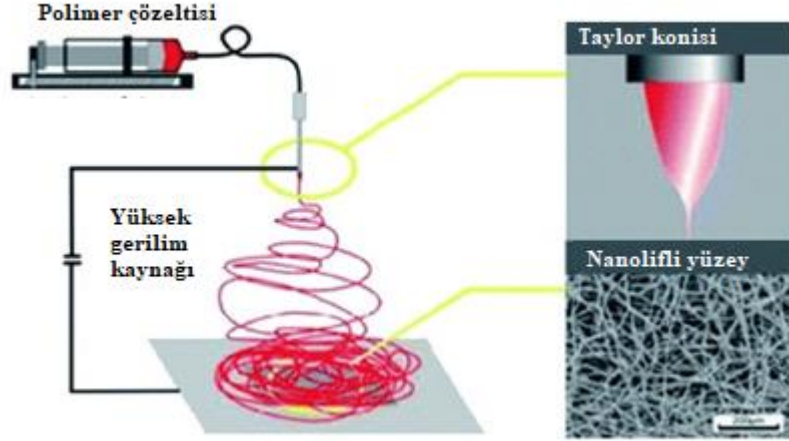
Elektro çekim sistemi, diğer nanolif üretim yöntemlerine göre nispeten kolaylığı, pek çok farklı polimerden üretime imkân vermesi, ayarlanabilir lif çapı ve gözeneklilik sağlama, modifiye edilebilir olması ve farklı morfolojide lif üretimine imkân vermesi nedeniyle nanolif üretiminde en çok tercih edilen yöntemdir.

Tipik bir elektro çekim işleminde, bir iğne veya düzenin ucunda tutulan polimer çözeltisi damlacığı ile topraklanmış bir toplayıcı arasında bir elektrik potansiyeli uygulanır. Uygulanan elektriksel potansiyel damlacığın yüzey gerilimini aştığında, yüklü polimer jeti düzenin ucuna çıkar ve karşıdaki toplayıcıya doğru hareket eder. Yüklü polimer jetinin izlediği yol elektrik alanı tarafından kontrol edilir. Polimer jetinin bu hareketi esnasında çözücü uzaklaşır, polimer jeti incelir ve uzar. Toplayıcı üzerinde, çözücünün tamamen uzaklaştığı, kuru, nano-çaplı liflerden oluşan bir dokusuz yüzey elde edilmektedir (Şekil 2.2) (Chronakis, 2005; Thavasi ve diğerleri, 2008).



**Şekil 2.2.** Elektro çekim yönteminin şematik gösterimi (Alharbi ve diğerleri, 2016)

Elektro çekim sisteminde (Şekil 2.2), enjektör iğnesinden polimere zıt yönde elektrik yüklenmektedir. Çözelti ve toplayıcı arasında çekim kuvveti etkisi olmaktadır. Bu kuvvetin etkisi ve çözeltideki aynı yöndeki yüklerin birbirini itmesi sonucu asılı duran çözelti damlacığı yuvarlak uçtan koni haline gelmektedir. Oluşan bu konik şekil literatürde “Taylor Konisi” (Taylor Cone) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.3). Uygulanan elektrik alan kuvveti çözeltinin yüzey gerilimini aştığında, polimer jeti Taylor konisinden çıkarak toplayıcıya doğru hareket eder. Bu esnada çözücü buharlaşır, toplayıcı üzerine nanolifler toplanır (Sill ve Von Recum, 2008; Hu ve diğerleri, 2014).



**Şekil 2.3.** Tipik bir elektro çekim sistemi ile Taylor konisinin şematik görüntüsü ve nanolifli yüzeyin SEM görüntüsü (Pillay ve diğerleri, 2013)

Elde edilen nanoliflerin çapı, yapının mekanik, elektriksel ve optik gibi özellikleri üzerinde etkilidir. Daha önce yapılan çalışmalar, elektro çekim ile üretilen nanolifli yüzeylerin hem mukavemetinin hem de iletkenliğinin lif çapına duyarlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca lif çapı ve morfolojisi, yapının su alımı davranışını da etkiler. Filtrasyon uygulamaları da lif boyutundan etkilenmektedir (Yördem ve diğerleri, 2008). Elektro çekim yöntemi ile nanolif üretimine temel olarak çözelti, proses ve çevresel parametreler etki etmektedir. Bu parametreler Çizelge 2.1’de gösterilmektedir ve bu parametreler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

**Çizelge 2.1.** Elektro çekim yöntemine etki eden parametreler

Çözelti parametreleri	Proses parametreleri	Çevresel parametreler
Polimer molekül ağırlığı	Voltaj	Basınç
Polimer konsantrasyonu	Besleme oranı	Sıcaklık ve nem
Çözelti viskozitesi	Mesafe	Atmosfer tipi
Çözeltinin yüzey gerilimi	Toplayıcı tipi ve hızı	
Çözelti iletkenliği		
Çözücü tipi		

**Çözelti parametreleri:** Nanolif üretiminde, nanolif çapına ve morfolojisine etki eden en önemli çözelti parametrelerinden biri viskozitedir. Viskozite, bir malzemenin akmaya karşı direncinin bir ölçüsüdür ve lif morfolojisini kontrol etmek için en etkili değişkenlerden biridir (Ramakrishna ve diğerleri, 2005). Viskozite polimerin molekül ağırlığından ve çözelti içerisindeki polimer konsantrasyonundan etkilenir. Yüksek molekül ağırlığına sahip olan bir polimerin viskozitesi, çözücüde çözüldüğünde, düşük molekül ağırlığına sahip olan aynı polimer ile karşılaştırıldığında daha yüksek olacaktır. Elektro çekim sırasında jet iğne ucunu terk ederken, polimer çözeltisi toplayıcıya doğru ilerlerken gerilir (Sirin ve diğerleri, 2013). Polimer çözeltisinin gerilmesi sırasında molekül zincirleri dolaşmaktadır. Böylece elektrik yüklü polimer jetinin dağılması önlenir ve jet korunmuş olur (Sirin ve diğerleri, 2013). Polimerin moleküler ağırlığı, polimer zincirinin uzunluğunu göstermektedir. Polimer uzunluğu, polimer zincirlerinin çözücü içindeki dolaşma miktarını belirleyeceğinden, çözeltinin viskozitesi üzerinde etkiye sahiptir. Çözeltideki polimer zinciri sayısı ne kadar fazla ve uzun olursa viskozite o kadar artmaktadır.

Viskoziteyi arttırmak polimer konsantrasyonunu arttırmak ile de mümkündür. Konsantrasyondaki artış ile daha fazla zincir karışıklığı oluşur, böylece elektro çekim işleminde jet sürekliliği sağlanmış olur (Romeo, 2007). Çözeltideki madde miktarının artırılması ile polimer zincir sayısı artmaktadır, bu yüzden zincir karışıklığı fazla olacaktır ve viskozite artacaktır (Çunayev, 2021).

Konsantrasyon çok düşük olduğunda, toplayıcı üzerinde elektro-sprey damlacıkları görülmektedir (Lu ve diğerleri, 2009). Bu zamana kadar yapılan çalışmalar, çözelti konsantrasyonuyla birlikte lif çapının arttığını göstermektedir (Deitzel ve diğerleri, 2001). Daha yüksek polimer konsantrasyonuna çıkıldığında ise viskozitenin de yüksek olmasından dolayı polimer düzenin tıkanmasına sebep olur ve polimer akışı sağlanamaz (Yu ve diğerleri, 2011).

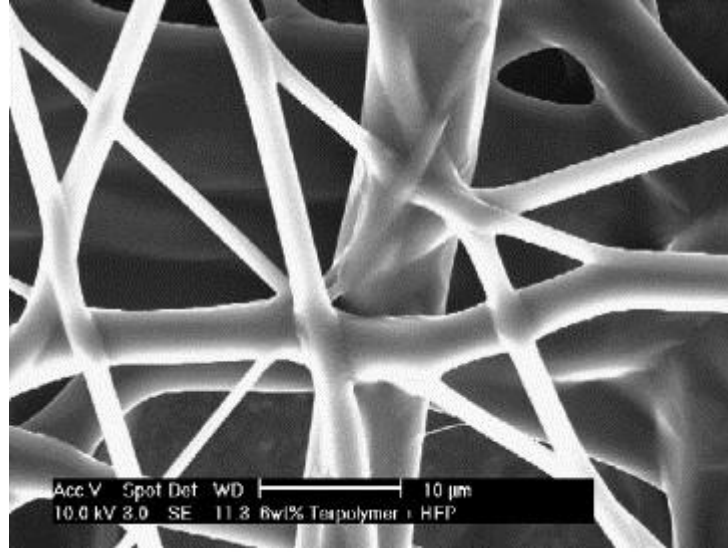
Elektro çekim ile nanolif üretimini ve nanolif özelliklerini etkileyen bir diğer çözelti parametresi yüzey gerilimidir. Çok küçük bir su damlası havadan düştüğünde, damlacık genellikle küresel bir şekil alır. Buna neden olan sıvı yüzey özelliği yüzey gerilimi olarak

bilinmektedir (Ramakrishna ve diğeri, 2005). Yüzey gerilimi ve viskozite, elektro çekimde liflerin elde edilebileceği konsantrasyon aralığını belirlemede de önemli rol oynar. Düşük viskozitelerde, yüzey gerilimi lif morfolojisi üzerinde etkidir ve belirli bir konsantrasyonun altında lifler yerine damlalar oluşur. Yüksek konsantrasyonlarda ise polimer çözeltisinin içnenin ucundan akışı sağlanamaz ve çekimi gerçekleşemez (Deitzel ve diğeri, 2001).

Çözücünün dielektrik sabiti elektro çekim üzerinde önemli bir parametredir. Çözeltinin dielektrik özelliği yüksekse boncuk oluşumu ve lif çapı azalmaktadır. Bunun yanı sıra polimerin çözücü içerisindeki çözünürlüğü gibi çözelti içerisindeki etkileşimler de elde edilen liflerin morfolojisi üzerinde etkilidir (Sirin ve diğeri, 2013).

Elektro çekim sistemi, damlacık yüzeyindeki yüklerin itilmesinden kaynaklanan çözeltinin gerilmesini içerir. Çözelti iletkenliği arttıkça elektro çekim jetindeki yük artar. Çözeltinin iletkenliği iyon ilavesiyle artırılabilir. Daha küçük çaplı iyonların şarj kapasiteleri daha yüksektir. Ancak ekstra düşük veya ekstra yüksek çözelti iletkenliği, lif üretiminde bozukluklara neden olabilmektedir (Ramakrishna ve diğeri, 2005).

Çözücünün uçuculuğu lif morfolojisini etkileyen faktörlerden birisidir. Elektro çekim işlemi esnasında polimer jeti düzeden toplayıcıya doğru hareket ederken, çözücünün uzaklaşması gerekmektedir. Bu nedenle uçucu çözücüler buharlaşma özelliğinden dolayı daha çok tercih edilirler. Nanolifler üzerinde iğ şeklinde boncuklar veya neredeyse küresel boncuklar oluşabilir. Polimer jeti, çözücünün tamamen buharlaşmasından önce toplayıcıya ulaşırsa, toplayıcı üzerinde yassı veya birbirine yapışmış lifler/ağsı yapılar elde edilebilir (Şekil 2.4) (Lannutti ve diğeri, 2007).

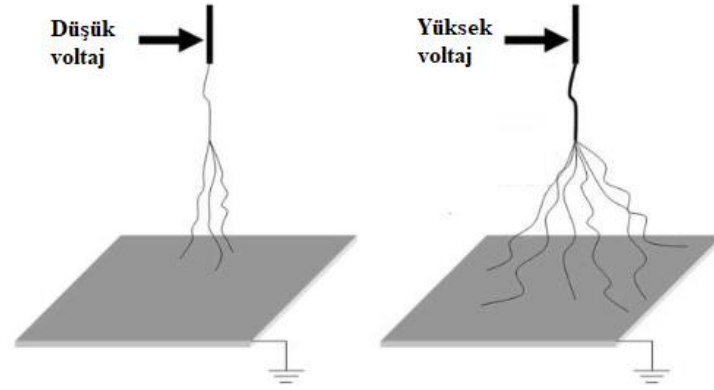


**Şekil 2.4.** Yüksek konsantrasyonda çözücü içeren nanolifli yüzeyin SEM görüntüsü (Lannutti ve diğerleri, 2007)

**Proses Parametreleri:** Liflerin morfolojisi ve çapı, elektro çekim sisteminde uygulanan voltaj, besleme hızı, toplayıcı tipi ve hızı, iğne/düze çapı ve iğne/düze ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe parametrelerine bağlıdır.

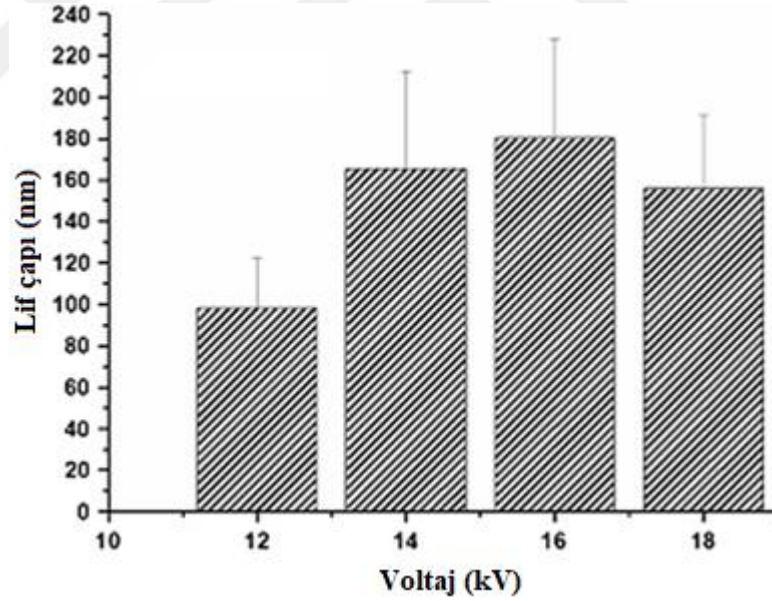
Manea ve diğerleri (2015) Dimetilasetamid/Tetrahidrofur (1:1) oranına sahip %12 polieterimit polimer çözeltisi ile nanolif üretimleri gerçekleştirmişler ve voltaj ile besleme hızının etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, besleme hızının artmasıyla lif çapının arttığı, voltajın artmasıyla ise lif çapının azaldığı gözlenmiştir.

Liflerin uzaması ve incelmesi polimer jeti üzerindeki yükler ile ilişkilidir (Haider ve diğerleri, 2018). Uygulanan yüksek voltaj, ilk jet üzerinde daha yüksek yüzey yükü yoğunluğu sağlar ve dolayısıyla jetin daha küçük jetlere bölünmesine sebep olur (Şekil 2.5), bu da küçük çaplı liflerle sonuçlanmaktadır (Tong ve Wang, 2011).



**Şekil 2.5.** Elektro çekim yönteminde voltajın etkisi (Tong ve Wang, 2011)

Matabola ve Moutloali (2013) düşük voltajda boncuk yoğunluğunun azalmasıyla birlikte çapın kademeli olarak arttığını, yüksek voltaj değerlerinde, çapın azaldığını ve boncukların yeniden ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6.** Voltajın nanolif çapı üzerindeki etkisi (Matabola ve Moutloali, 2013).

Elektro çekim sisteminde düze ile toplayıcı arasındaki mesafe önemli faktörlerden birisidir. Düze ve toplayıcı arasındaki mesafe nanolif morfolojisini etkilemektedir. Mesafesinin artırılması, daha düşük lif çapına ve daha iyi bir üniformiteye yol açar (Matabola ve Moutloali, 2013).

Elektro çekim sisteminde çözelti düzeyine beslenir, besleme hızı ve düze çapı elektro çekim sisteminde önemli unsurlardan birisidir. Düze çapının küçülmesiyle düze ucunda oluşan damlacık daha küçük olur böylece daha ince liflerin oluşması sağlanır, bu durum damlacığın yüzey geriliminin artmasına sebep olmaktadır (Ramakrishna ve diğerleri, 2005). Megelski ve diğerleri (2002) besleme hızındaki artışla birlikte lif çapının ve gözenek boyutunun arttığını gözlemlemişlerdir.

Elektro çekim sisteminde toplayıcı tipi ve hızı bir diğer proses parametrelerindedir. Toplayıcı olarak döner silindirlere kullanılmakta ve dönme hızının etkisi ile nanoliflerin oryantasyonunda ve mukavemetinde artış görülmektedir (Ramakrishna ve diğerleri, 2005). Toplayıcı iletkenliğinin de doğrudan lif morfolojisi üzerinde etkisi olmaktadır. İpek ve Canpolat (2017) farklı iletkenlik ve şekillerde toplayıcılar üzerine üretim yapmışlar ve daha yüksek iletkenliğe sahip toplayıcıda toplanan liflerin daha düşük çapa sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. SEM görüntüleri alınarak farklı yapı ve özelliklere sahip toplayıcı plakaların etkileri karşılaştırıldığında farklı geometrideki toplayıcılarla, geometrinin lif çapı ve dizilimi üzerinde etkisi olduğu sonucuna varmışlardır.

**Çevresel Parametreler:** Basınç, sıcaklık ve nem ve atmosfer basıncı elektro çekim sisteminde etkili çevresel parametrelerdendir. Yapılan araştırmalar çevresel faktörlerin nanolif morfolojisine etkisi olduğunu göstermiştir.

Ortam sıcaklığı, çözücünün buharlaşma hızını ve çözelti viskozitesini etkilemektedir. Sıcaklığın artmasıyla çözücü daha hızlı buharlaşır ve viskozitesi düşecektir.

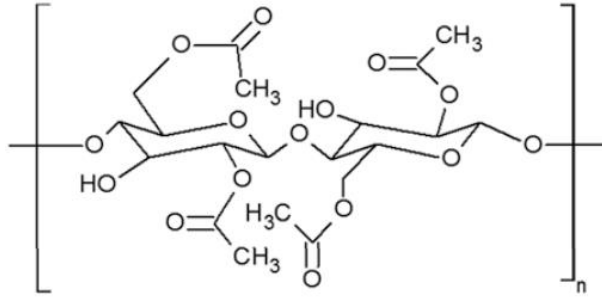
Ortamın bağıl nemi elektro çekim işlemini etkileyen parametrelerden birisidir. Tripatanasuwan ve diğerleri (2007) polietilen oksit sulu çözeltilerinden elektro çekim ile nanolif üretiminde, artan nemin lif çaplarında azalmaya yol açtığını gözlemlemiştir. De Vrieze ve diğerleri (2009) CA aseton/N,N-Dimetilasetamit (DMAc) çözeltilerinden elektro çekim ile nanolif üretiminde, nanolif çapının artan ortam bağıl nemi ile arttığını gözlemlemiştir.

## 2.3. Kullanılan Polimerler ve Katkı Malzemeleri

### 2.3.1. Selüloz asetat (CA)

Selüloz, biyosferde en bol bulunan doğal polimerdir (Klemm ve diğerleri, 2005). Selülozla ilgili uzun süredir devam eden bilimsel bilgiye ek olarak, selülozun çeşitli uygulamalarda yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bir hammadde olarak kullanılması, çevre ve geri dönüşüm sorunları için önerilen bir çözümdür. Selülozun hem fiziksel hem de kimyasal yöntemler de dâhil olmak üzere çeşitli modifikasyon yolları ile çok yönlü yapılandırılması, onun dolgu maddeleri, yapı ve kaplama malzemeleri, laminatlar, kağıtlar, tekstiller, optik filmler, fonksiyonel malzemeler gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlamıştır (Heinze, 2015).

CA, selülozun asetat esteridir ve kimyasal yapısı Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. CA'nın kimyasal yapısı (Ribba ve diğerleri, 2017)

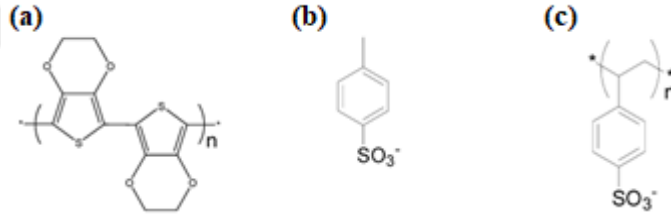
Bir biyoplastik olan CA, genellikle odun hamurundan veya pamuk ipliğinden ekstrakte edilir ve doku mühendisliği, yara pansumanı ve ayırma membranı gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılır (Joseph ve diğerleri, 2020). Doğal bir polimerin türevleri olan CA, eriyik veya çözelti halinde işlenerek, filmlere, membranlara ve liflere dönüştürülebilmektedir (Liu ve Hsieh, 2002).

CA bazlı filtreler kullanımdan sonra biyolojik olarak parçalanabildiğinden, çevre dostu atık arıtımı mümkündür. Elektro çekim yöntemiyle üretilen nanolifler, hava geçirgenliği, filtrasyon verimliliği gibi avantajlara sahiptir (Lyu ve diğerleri, 2021). CA mükemmel

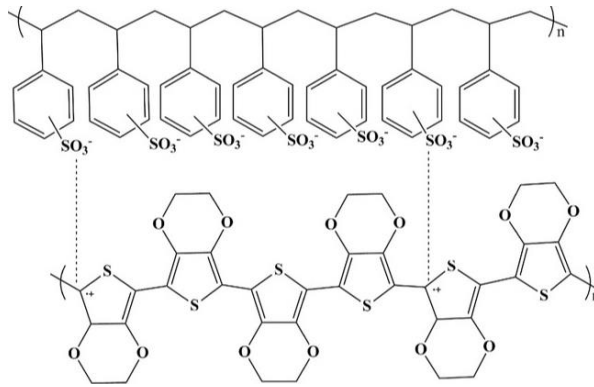
biyouyumluluğa sahiptir ve elektro çekim ile nanolif olarak üretilebilir (Liu ve diğerleri, 2020).

### 2.3.2. PEDOT:PSS

İletken polimerler arasında, PEDOT (Şekil 2.8), olağanüstü iletkenliği, kararlılığı ve işlenebilirliği nedeniyle organik elektronik alanında özel bir yere sahiptir. PEDOT, polimer zincirinde istenmeyen  $\alpha$ - $\beta$  ve  $\beta$ - $\beta$  bağlarının bulunmadığı ve çözünür iletken polimer elde etmek için alternatif olarak geliştirilmiştir. Çözünürlük sorunu daha sonra polimerizasyon sırasında yük dengeleyici katkı maddesi olarak suda çözünür bir polielektrolit olan polistiren sülfonik asit (PSS) kullanılarak aşılmıştır ve organik iletken olan PEDOT:PSS (Şekil 2.9) elde edilmiştir (Groenendaal ve diğerleri, 2000). PEDOT:PSS, PEDOT'un PSS ile kompleksidir. PSS, katkılı PEDOT'u stabilize etmek için bir karşı iyon görevi görür ve PEDOT'un sulu bir dispersiyon oluşturması için bir matris sağlar (Kayser ve Lipomi, 2019).



Şekil 2.8 (a) PEDOT, (b) tosilat (tos) ve (c) PSS'in moleküler yapıları (Wei ve diğerleri, 2015).



Şekil 2.9. PEDOT:PSS'in kimyasal yapısı (Nitta ve diğerleri, 2017)

PEDOT:PSS tipik olarak iki adımda sentezlenir; PSS'nin hazırlanması, ardından PSS ile güçlü bir elektrostatik ilişki oluşturan PEDOT'un oksidatif polimerizasyonu. PSS'yi sentezlemenin en yaygın yöntemi polistirenin sülfonasyonudur. Bu işlem %80-100 ikame sağlarken, zincirleri köprüleyen sülfon grupları aracılığıyla çapraz bağlama kusurları da oluşturur. Alternatif olarak, PSS, asitleştirmenin ardından sodyum 4-vinilbensülfonattan polimerize edilebilir. Bu işlem %100 ikame ve kusur olmayan bir zincire yol açar. PEDOT:PSS sentezinin ikinci adımında, PEDOT, PSS matrisinin varlığında güçlü bir oksidan (sodyum veya amonyum persülfat) kullanılarak suda oksidatif olarak polimerize edilir (Kayser ve Lipomi, 2019).

PEDOT:PSS, iyi film oluşturma özellikleri, görünür aralıkta yüksek şeffaflık, mükemmel termal stabilite, özellikle ikincil katkılamayla elde edilen ayarlanabilir ve geliştirilmiş elektriksel iletkenlik gibi olağanüstü avantajlara sahiptir (Shi ve diğerleri, 2015).

PEDOT:PSS filmlerinin iletkenliğini arttırmak için EG, dimetil sülfoksit, dimetilformamid, dimetil sülfat, tetrahidrofuran, gliserol, nitrometanol, gliserol gibi polar organik çözücülerin eklenmesi ilgi çekmektedir (Ouyang, 2013; Shi ve diğerleri, 2015; Fanzio ve diğerleri, 2017). Yüksek iletkenliğe sahip PEDOT'daki taşıyıcı hareketliliği ve taşıyıcı yoğunluğu, malzeme performansını iyileştirmek için çok önemli parametrelerdir. EG ilavesi PEDOT:PSS'deki elektrik iletkenliğindeki iyileşmenin esas olarak taşıyıcı hareketliliğinin iyileştirilmesinden dolayı taşıyıcı yoğunluğunu artırdığına dair doğrudan etkilidir (Wei ve diğerleri, 2015).

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde damla-kaplama yönteminde EG ilavesi ile PEDOT:PSS'in elektrik iletkenliği artırılması amaçlanmıştır.

### **2.3.3. Karbon siyahı (CB)**

Karbon siyahı (CB), hidrokarbon bazlı hammaddelerin termal veya termal-oksidatif yanması ile üretilen önemli bir endüstriyel toplu kimyasal üründür (Toth ve diğerleri, 2018). CB, oksijenin varlığına veya yokluğuna bağlı olarak esas olarak termal oksidatif

ayrışma (eksik yanma) ve termal ayrışma (piroliz) olmak üzere ikiye ayrılabilir. Eksik yanma işlemiyle (%98) karşılaştırıldığında, piroliz işlemi (%2) CB'nin hazırlanmasında daha az kullanılır. Doğal gazın termal oksidatif ayrışması kanal siyahı üretir ve kömür katranı, ham petrol veya doğal gazın aromatik yağlarının bir fırının içinde yüksek sıcaklıkta termal oksidatif ayrışması fırın siyahı üretir. Hammadde (sıvı hammadde) ve oksijenin sıcaklığını kontrol etmek, diğer siyahlara göre fırın siyahında daha kolaydır ve bu nedenle morfolojiyi önemli ölçüde ayarlamak mümkündür. Bu nedenle, parçacık boyutu, agrega yapısı, gözeneklilik vb. gibi özelliklere dayalı olarak farklı tipte karbon siyahları mevcuttur ve elastomer bazlı matrislerde yaygın olarak kullanılır (Drupitha ve diğerleri, 2023). CB kalitesi, kısmen, toplam karbon ve heteroatom içeriği ve oksijen içeren fonksiyonel grupların bolluğu tarafından belirlenir. Genellikle, C içeriği ne kadar yüksekse, heteroatom konsantrasyonu o kadar düşük ve CB kalitesi o kadar iyidir (Okoye ve diğerleri, 2022).

CB üzerindeki oksijen fonksiyonel gruplarının türü ve bolluğu, karboksil, hidroksil, fenolik ve kinetik yapılar gibi, yüzey reaktivitesini ve dolayısıyla CB'nin uygulanmasıyla performansı kontrol eder. CB'nin ıslatma, emicilik, dağılılabirlik, takviye yeteneği ve elektrokimyasal reaktivite davranışı, öncelikle fonksiyonel gruplar şeklinde yüzeye bağlı olan kimyasal olarak adsorbe edilmiş oksijen tarafından etkilenir (Okoye ve diğerleri, 2022).

#### **2.4. CA Nanolif Kullanım Alanları**

CA, ısıya dayanıklı, çevre dostu ve biyolojik olarak parçalanabilen bir selüloz esteridir. Herhangi bir tahriş edici veya toksik özellik göstermemesinin yanı sıra ısıya dayanıklıdır. CA, sülfirik asit varlığında, asetik asit ve asetik anhidrit arasındaki reaksiyon yoluyla, bir selüloz kaynağından üretilebilir. Farklı asetilasyon derecelerine sahip CA, hidroksil gruplarının asetil gruplarıyla ikame edilmesiyle elde edilebilir. Ortaya çıkan mono-, di- veya tri- ikame edilmiş CA, farklı çözünürlük özellikleri gösterir (Kırcı ve diğerleri, 2002).

Literatürde CA medikal uygulamalar gibi pek çok uygulamada kullanılabilirliği üzerine araştırmalar bulunmaktadır. CA, film formunda elde edilmesinin yanı sıra nanolif formunda da elde edilebilir. Taepaiboon ve diğerleri (2007) A vitamini asidi ve E vitamini yüklü CA nanoliflerin üretimi ve karakterizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar CA nanolif içerisinden salınan A ve E vitamini takibini gerçekleştirerek, salım modellerini ortaya koymuşlardır. Santos ve diğerleri (2021) “annatto” ekstraktı içeren CA nanoliflerin üretimi, karakterizasyonu ve yara iyileşmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçları, annatto ekstraktı katkılı nanoliflerin biyoyumluluğunu halen koruduğunu ve yara iyileşmesi için potansiyel taşıdıklarını göstermiştir.

Fawal ve diğerleri (2022) ise CA/polietilen oksit nanolifli yapılar içerisine anti-kanser ilacı olan disulfiram yüklemişler ve elde edilen yapıların meme kanseri ve kolon kanseri üzerindeki etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmalar, elde edilen yapıların normal insan hücresi ile biyoyumlu olduğunu ve ilaç yüklü yüzeylerin ilacın tek başına olan etkinliğinden daha fazla etkinlik gösterdiğini oraya koymuştur.

Bu çalışmalar dışında, CA'nın mekanik özelliklerini arttırmaya yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. CA nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri bazı uygulamalar için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle bazı araştırmalar, CA nanolifli yüzeylerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Örneğin, Cai ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada etanol/aseton banyosunda farklı sürelerde muamele edilen CA nanoliflerin morfoloji, kristalinite ve mekanik özelliklerindeki değimi incelemişlerdir. Sonuç olarak, çözücüler ile ard işlemler sonucu daha yoğun ve kompakt bir yapısı elde etmişlerdir. Ayrıca lif çaplarının ve polimer kristalinitesinin arttığını gözlemlemişlerdir. Bu etkilerini nanolifli yüzeylerin mekanik davranışını da iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

CA nanolifler pek çok uygulama için gelecek vaat etmektedir. Özellikle, çeşitli katkılar ile fonksiyonelleştirilmesi ile bu yüzeylerin kullanım alanları giderek artmaktadır. Chen ve diğerleri (2020) yaptıkları çalışmada çok fonksiyonlu CA nanolifli yüzeylerin iyonik boya adsorpsiyonu özelliklerini araştırmışlardır. Kongo kırmızısı tipik anyonik boyalardan biridir. Bu boyarmadde oksidanlara, ısıya, ışığa karşı kararlıdır ve aerobik sindirime dirençlidir. Bu nedenle de atık sudan uzaklaştırılması oldukça güçtür.

Araştırmacılar, elektro çekim ile ürettikleri CA nanolifli yüzeyleri deasetilasyon, karboksimetilasyon işlemlerinden geçirdikten sonra polidopamin ile kaplamışlardır. Bu şekilde çok fonksiyonlu hale getirdikleri yüzeylerin adsorpsiyon-desorpsiyon özelliklerini incelemişler, yüzeylerin yüksek adsorpsiyon özellikleri gösterdiğini ve özellikle su artımında önemli bir aday olduğunu ortaya koymuşlardır.

CA nanoliflerin elektriksel olarak iletken hale getirilmesine yönelik yapılan bir çalışmada, CA nanolifleri elektro çekim yöntemi ile üretilmiş ve bu yüzeyler üzerine grafen oksit, döndürerek kaplama (spin coating) yöntemi ile nanolifli yüzeyler üzerine kaplanmıştır. Sıcak presleme ile termal bir indirgeme yapıldıktan sonra yüzeyler karakterize edilerek, elde edilen yüzeylerin gerinim sensörü performansları incelenmiştir. Sonuçta mekanik özellikleri geliştirilmiş, gerinim sensörü olarak kullanılabilir yüzeyler elde edilmiştir. Böylece, daha çevre dostu bir yaklaşımla, taşınabilir, elektronik tekstillerin üretim için bir alternatif ortaya konmuştur (Fu ve diğeri, 2019).

Gaminian ve Montazer (2018) ise CA esaslı karbon nanoliflerin üretimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. CA nanolifli yapıların içerisine CB katkısı ile nanolifli yüzeyler üretmişler, deasetilasyon işlemi sonrası karbonizasyon yaparak karbon nanolifleri elde etmişlerdir. Çalışmada numunelerin boya adsorpsiyonu, adsorpsiyon kinetikleri ve izotermeleri de incelenmiştir. Çalışmada, CB katkılı CA nanoliflerin karbon nanolif üretiminde öncü madde olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Nanolif yapısının yanı sıra CB ve CA'nın bir araya getirildiği bazı çalışmalar da bulunmaktadır. Hernández-López ve diğeri (2013) tetrahidrofuran tespiti için CB katkılı CA kompozit ince filmler hazırlamışlar ve çözücü miktarına bağlı olarak hassasiyetin, desorpsiyon süresinin, kararlılığın ve tekrarlanabilirliğin analizini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar CB katkılı filmleri oluştururken döndürerek kaplama yöntemini kullanmışlardır. Elde ettikleri yüzeyler nanolif formunda değildir. Araştırmacılar çalışma sonunda cevap ve desorpsiyon süresinin birkaç saniye olduğunu ve hassasiyetin çözücü miktarına bağlı olarak %1 ila %170 arasında değiştiğini göstermişlerdir.

Yapılan çalışmalar dikkate alındığında çalışmaların bazılarının CA nanoliflerin üretimi, bu liflerin ilaç taşıyıcı sistemlerinde kullanımı, CA nanoliflerin özelliklerinin geliştirilmesi üzerine olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalar ise karbon katkılı CA nanoliflerin boyarmadde veya yağ adsorpsiyonu üzerine odaklanmaktadır.

#### **2.4.1. İletken nanolifler ile ilgili yapılan çalışmalar**

Elektro çekim yöntemi ile pek çok farklı tipte polimerden nanolifli yüzeyler üretilebilmesinin yanı sıra iletken nanolifli yapılar da elde edilebilir. Düşük çapları ve yüksek yüzey alanları gibi nedenlerle nanoliflerin elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda kullanımı önem kazanmaktadır. Elektro çekim yöntemi kullanılarak iletken nanolifli yüzey eldesinde; kendiliğinden iletken polimer kullanımı, iletken partikül katkılı nanolif eldesi gibi çeşitli yaklaşımların yanı sıra, nanolifli yüzeylerin kendiliğinden iletken materyal ile kaplanması gibi yöntemler bulunmaktadır (Düzyer, 2018).

Tezel ve diğerleri (2023), biyolojik olarak parçalanabilir polikaprolakton nanolifleri, geleneksel elektro kaplama banyolarına kıyasla daha çevre dostu bir banyoda bakır ile kaplanmıştır. Bakır kaplı polikaprolakton nanolif yüzeylerin elektro çekim ile üretilerek elektro kaplama uygulanarak üretilebileceği, bu tür yapıların yüksek iletkenlikleri ve biyolojik olarak parçalanabilirlikleri nedeniyle biyolojik olarak parçalanabilir elektronikler için büyük potansiyel taşıdığı sonucuna varmışlardır.

PEDOT:PSS iletken polimerler, yüksek elektriksel iletkenlikleri, kolay işlenebilmeleri ve biyouyumlu olmaları nedeniyle ilgi görmektedir. Esnek ve çok yönlü bir malzeme olan PEDOT:PSS, çeşitli formlarda geliştirilebilmekte ve elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. (Mantione ve diğerleri, 2017; Fanzio ve diğerleri, 2017; Zhang ve diğerleri, 2021).

Ticari PEDOT:PSS genellikle sulu dispersiyon formunda olduğundan, kaplama teknikleri (daldırma kaplama, damla kaplama, döndürme kaplama ve püskürtme kaplama), baskı teknikleri gibi birçok çözelti ile üretim uygulamalarında kullanılabilir. (Mantione ve diğerleri, 2017; Fanzio ve diğerleri, 2017; Zhang ve diğerleri, 2021).

PEDOT:PSS'in en önemli uygulamalarından biri elektriksel iletkenliği sayesinde sensör malzemesi olarak kullanılmaktadır. Nem, sıcaklık ve basınç sensörleri gibi kullanım alanları bulunmaktadır. PEDOT:PSS polimeri, süper kapasitörler, güneş pilleri, termoelektrik cihazlar gibi elektronik alanlarda kullanılabilir (Li ve diğerleri, 2016; Zhang ve diğerleri, 2021). PEDOT:PSS'nin son zamanlardaki gelişimi, işlenmesinin kolay olması ve cilde uyum sağlaması nedeniyle giyilebilir elektronikte yeni uygulamalar açmaktadır (Kayser ve Lipomi, 2019).

Katkı maddesine ve ortama bağlı olarak, PEDOT:PSS filminin yük yoğunluğunu artırmak için pozitif veya negatif yükler tanıtılabilmekte ve böylece elektriksel iletkenlik iyileştirilebilmektedir. Polimerin iletkenliğini artırmak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunlar arasında EG ve dimetil sülfoksit gibi yüksek polariteli organik çözücüler, iyonik tuzlar, sülfirik asit gibi asitler yer almaktadır. Fazla yüklerin varlığı, genellikle yapısal zincir boyunca artan elektron hareketliliği ve PEDOT ile PSS segmentleri arasındaki iyonik ayrışma nedeniyle üstün iletkenliğe sahip PEDOT ile sonuçlanmaktadır (Adekoya ve diğerleri, 2021).

Elektriksel özellik artışına ek olarak, polimer mekanik ve yapısal bütünlüğü de optoelektronik ve elektrokimyasal cihazlar gibi yüksek performanslı uygulamalar için oldukça arzu edilmektedir. Bu nedenle, saf iletken polimerler uygun mühendislik malzemeleri olarak yeterli mekanik mukavemete sahip olmadığından genellikle güçlendirilmektedirler (Adekoya ve diğerleri, 2021).

#### **2.4.2. Yağ filtrasyonu uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar**

Yağ/su giderimi için sentetik organik, inorganik ve doğal organik absorbanlar kullanılmaktadır. Yüksek absorpsiyon kapasitesi, yağ geri kazanımı ve tutulması, oleofiliklik-hidrofobisite, yeniden kullanılabilirlik ve biyolojik olarak parçalanabilirlik, mükemmel bir yağ absorbanının özellikleridir (Rafieian ve diğerleri, 2018; Wu ve diğerleri, 2019).

İyi çözümlülük özelliğine sahip olan CA, elektro çekim yöntemi ile nanolife dönüşmektedir. CA yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilen, toksik olmayan, hidrofobik ve düşük maliyete sahip biyolojik olarak parçalanabilir bir polimerdir (Ramesh ve diğerleri, 2013). CA lifleri, membranlar, filmler, lakeler, paketleme, yapıştırıcılar, fotoğraf filmleri, gaz ayırma, ters ozmoz, sigara filtreleri, kaplamalar ve mürekkepler, diyaliz ve medikal uygulamalar gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir (Cheng ve diğerleri, 2010; Fahmi ve diğerleri, 2020; Elmaghraby ve diğerleri, 2022).

CA nanoliflerin içerisine CB katkısı ile üretilen nanolifler ve uygulama alanlarına yönelik çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Elmaghraby ve diğerleri (2022) yılında yaptıkları çalışmada CA ve selüloz nitrat karışımından oluşan polimer çözeltisi içerisine CB katkısı ile üretimler gerçekleştirmiş ve elde edilen yüzeylerin etkin bir şekilde yağ uzaklaştırması özelliklerini incelemişlerdir. Yapı içerisine CB katılması yağ absorpsiyonu için etkili bir karışım sağlamıştır. Sonuç olarak CB katkılı selüloz esaslı nanoliflerin motor yağı uzaklaştırmadaki etkinliğini ortaya koymuşlardır.

Elmaghraby ve diğerleri (2022) selüloz nitrat ve CA polimerlerinin içerisine hacimce ağırlıkta farklı konsantrasyonlarda CB ekleyerek elektro çekim yöntemi ile kompozit nanolifleri üretmişlerdir ve karakterizasyonlarını yapmışlardır. Kompozitlerin, hafif makine yağı ve ağır makine yağı için yüksek yağ tutma kapasitesi ve yüksek yağ tutma süresiyle etkili yağ emici malzemeler olduğu, biyolojik olarak parçalanabilir, dayanıklı, yenilenebilir kökenli ve yeniden kullanılabilir absorban malzemeler oldukları için umut vaat ettiği sonucuna varmışlardır.

Victor ve diğerleri (2022) poliviniliden florür polimerine dolgu maddesi olarak CB ekleyerek elektro çekim sisteminde üretilen elektostatik filtre ortamı geliştirmişlerdir. Filtrasyon verimliliğinin CB'nin ağırlıkça yüzdesine bağlı etkisini araştırmışlar ve filtre ortamı filtrasyon verimliliği için optimize etmişlerdir. Geliştirilen nanoliflerin çeşitli morfolojik, fiziksel ve termal özellikler ile karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. CB konsantrasyonunun filtrasyon verimliliği üzerinde derin bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Literatür incelendiğinde, CA iletken değildir ancak kaplama gibi yöntemler ile iletken hale getirilebilir. CA'nın mukavemeti tek başına yeterli değildir ve geliştirilmesi gerekmektedir. Ard işlemler uygulanarak CA mukavemeti geliştirilebilir. PEDOT:PSS gibi iletken polimerler ile kaplanarak iletken olmayan CA nanolif yüzeylerinden iletken nanolifli yüzeyler elde edilebilir.

CA aynı zamanda doğal ve sürdürülebilir olması, yüksek absorpsiyon kapasitesi, yağ geri kazanımı gibi yağ absorbanı özelliklerine sahip olması nedeniyle filtrasyon uygulamalarında kullanılabilir. CA'nın özellikleri katkı maddeleri veya ard işlemler ile geliştirilebilir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Nanolifli yüzeylerin üretiminde polimer olarak CA (Mn 30000, Sigma-Aldrich) polimeri, çözücü olarak N,N-Dimetilasetamid (DMAc) (99%, Abcr GmbH) ve aseton ( $\geq 99\%$  (GC), Sigma-Aldrich), ard işlemler için etanol (Honeywell) ve aseton (Sigma-Aldrich) kimyasalları, damla-kaplama işlemi için iletken polimer olarak PEDOT:PSS (1.3 wt% dispersion in H<sub>2</sub>O, Sigma-Aldrich) ve iletkenliği artırmak için etilen glikol (M: 62,07 g/mol, J.T. Baker) kimyasalları kullanılmıştır.

Katkılı CA nanolifli yüzeylerin üretiminde ise katkı maddesi olarak CB (<100 nm-Nanografi) kullanılmıştır. CA/CB yüzeylerin yağ absorpsiyon kapasite ölçümlerinde ise atık yağ, distile su (dH<sub>2</sub>O), deniz suyu (distile suda %35 NaCl) ve bunların emülsiyonları kullanılmıştır.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Elektro çekim çözeltilerinin hazırlanması

**Katksız CA Çözeltilerinin Hazırlanması:** Tez çalışmasının ilk bölümünde, elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere CA nanolifli yüzeyler elektro çekim yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra bu yüzeylerin mekanik özellikleri ard işlem ile geliştirilmiş ve yüzeyler damla-kaplama yöntemi ile çevrimler halinde PEDOT:PSS kaplanarak iletken hale getirilmiştir.

Bu amaçla, öncelikle farklı CA oranları içeren polimer çözeltileri hazırlanmıştır. Yapılan ön denemeler ile nanolif üretimine en uygun polimer konsantrasyonu ağırlıkça %15 CA olarak belirlenmiş ve çalışmalara bu şekilde devam edilmiştir. Ağırlıkça %15 oranında CA polimeri DMAc ve aseton (2:1) içerisine eklenmiş ve manyetik karıştırıcı (ISOLAB) yardımıyla, CA tamamen çözününceye kadar karıştırılmış ve homojen bir çözelti elde edilmiştir.

**CB Katkılı CA Çözeltilerinin Hazırlanması:** Tez çalışmasının ikinci bölümde ise CB katkısı ile üretilen CA nanoliflerin atık su/yağ filtrasyonunda kullanım potansiyelleri araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle, ağırlıkça %15 CA içeren ve CA ağırlığına göre %2 CB içeren çözeltiler DMAc:aseton (2:1) içerisinde hazırlanmıştır. Çözelti hazırlamanın zorluklarından biri CB'nin polimer çözeltisinde topaklanması ve çökmesidir. Ayrıca hazırlama prosesinin nihai ürün özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle, literatür araştırması yapılmış ve çözeltinin hazırlanması sırasında öncelikle DMAc içerisindeki CB, 6 saat ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Daha sonra CA ve aseton eklenerek manyetik karıştırıcıda 24 saat karıştırılmıştır (Tarasova ve diğerleri, 2015).

### **3.2.2. Elektro çekim yöntemi ile nanolifli yüzeylerin üretilmesi**

CA ve CA/CB nanolifli yüzeyler, düz bir plaka toplama yüzeyinde Inovenso marka elektro çekim cihazı ile üretilmiştir. Elektro çekim cihazı besleme pompası, yüksek gerilim kaynağı ve toplayıcı plaka olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Çizelge 3.1'de numunelerin üretim parametreleri gösterilmektedir.



**Şekil 3.1.** Çalışmada kullanılan elektro çekim düzeneği

**Çizelge 3.1.** Hazırlanan çözeltilerin elektro çekim üretim parametreleri

Numune Kodu	Besleme Hızı (mL/sa)	Mesafe (cm)	Voltaj (kV)	Toplayıcı Tipi
CA0	0,7	15	13,5-15	Düz plaka
CA/CB	1,4	12	14-15	Düz plaka

### 3.2.3. Nanolifli yüzeylere ard işlem uygulanması

CA nanoliflerinin nispeten düşük mekanik özellikleri, ard işlemlerle arttırılabilir. Çalışma kapsamında literatürden yola çıkarak, nanolifli yüzeyler etanol:aseton banyosunda (95:5 v/v) bekletilmiş ve ardından standart oda koşullarında kurutulmuştur (Cai ve diğerleri, 2017). Banyo içerisinde optimum bekletme süresini belirlemek amacıyla, CA nanolifli yüzeyler 2 ve 4 saat banyo içerisinde bırakılmıştır. Yapılan mekanik karakterizasyon sonucu, PEDOT:PSS kaplama adımı 4 saat süre ile işlem gören CA numunelere yapılmıştır.

CA/CB nanolifli yüzeyler için 2 ve 4 saat ard işlem gören numunelerin karakterizasyonu yapılmış ve yağ absorpsiyon kapasiteleri ölçülmüştür.

### 3.2.4. Katkısız CA nanolifli yüzeylere damla-kaplama işlemi

Katkısız CA nanolifli yüzeyleri elektriksel olarak iletken hale getirmek ve elektriksel iletkenliklerini geliştirmek amacı ile; ard işlemsiz ve 4 saat ard işlem gören CA nanolifli yüzeyler, PEDOT:PSS ile damla-kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. PEDOT:PSS sulu dispersiyon halindedir. Daha yüksek elektriksel iletkenlik elde etmek amacıyla, dispersiyon içerisine hacimce %5 oranında EG eklenmiştir. Damla-kaplama işlemi 3 çevrim halinde gerçekleştirilmiştir. Her bir kaplama çevrimde, 1cm x 1cm'lik alan 25 µL PEDOT:PSS mikropipet yardımı ile kaplanmıştır. Kaplama sonrası yüzeyler 60°C sıcaklıktaki plaka üzerinde kurutulmuştur. Her bir kaplama çevrim sonrası numunelerin karakterizasyonları yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında üretilen bütün numunelerin açıklamaları ve numune kodları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Numune kodları ve açıklamaları

Numune Kodu	Açıklaması
CA0	Katkısız CA
CA0-2	Katkısız 2 saat ard işlemlili CA
CA0-4	Katkısız 4 saat ard işlemlili CA
CA0/PEDOT-1	1 çevrim PEDOT:PSS ile kaplanmış CA
CA0/PEDOT-2	2 çevrim PEDOT:PSS ile kaplanmış CA
CA0/PEDOT-3	3 çevrim PEDOT:PSS ile kaplanmış CA
CA0-4/PEDOT-1	1 çevrim PEDOT:PSS ile kaplanmış 4 saat ard işlemlili CA
CA0-4/PEDOT-2	2 çevrim PEDOT:PSS ile kaplanmış 4 saat ard işlemlili CA
CA0-4/PEDOT-3	3 çevrim PEDOT:PSS ile kaplanmış 4 saat ard işlemlili CA
CA/CB	%2 CB katkılı CA
CA/CB-2	%2 CB katkılı 2 saat ard işlemlili CA
CA/CB-4	%2 CB katkılı 4 saat ard işlemlili CA

### 3.2.5. Nanolifli yüzeylerin karakterizasyonu

Tez çalışması kapsamında hazırlanan bütün çözeltiler katkısız CA, CB katkılı CA polimer çözeltileri viskozite ve pH ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Viskozite ölçümleri, Brookfield RV-DV II + Pro Extra marka viskozimetre ile 100 rpm’de gerçekleştirilmiştir. Çözeltilerin pH değerleri ise Hanna HI2020-02 Edge marka dijital pHmetre ile ölçülmüştür.

Tez çalışmasında üretilen bütün nanolifli yüzeylerin çap, çap dağılımları ve yüzey özellikleri SEM analizleri ile belirlenmiştir. SEM analizleri Bursa Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi’nde bulunan Carl Zeiss Evo 40 model cihazda ve Bursa Teknik Üniversitesi MERLAB bünyesinde bulunan Carl Zeiss/Gemini 300 marka SEM ile gerçekleştirilmiştir. Ortalama nanolif çapları, Image J programı kullanılarak SEM görüntüleri üzerinden 20 farklı yerden ölçüm yapılarak bulunmuştur.

Numunelerin ıslanabilirlikleri ile ilgili bilgi edinmek amacıyla, KSV Modular CAM 200 marka cihaz ile su temas açısı değerleri (WCA) ölçülmüştür. Ölçümler esnasında distile su kullanılarak “sessile drop” tekniği ile ölçümler yapılmıştır. CB katkılı CA nanolifler için ayrıca distile su yanı sıra, yağ kullanılarak “yağ temas açısı” (OCA) değerleri elde edilmiştir.

Ard işlemlerin mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, çekme testleri yapılmıştır. Öncelikle numuneler 5 x 40 mm olarak kesilmiştir. Daha sonra, kesilen numuneler Shimadzu (AG-X HS) marka çekme cihazı ile 20 mm çeneler arası mesafe ve 20 mm/dk hız kullanılarak çekme testine tabi tutulmuştur. Numune kalınlıkları dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Ortalama gerilim ve uzama değerleri, her numune için beş ölçüm üzerinden hesaplanmıştır.

Nanolifli yüzeylerin içerisinde bulunan fonksiyonel grupları ve bağları tespit etmek amacıyla Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizleri yapılmıştır. Analizler, Shimadzu IRTracer 100 marka FTIR cihazı ile 600-4000 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında 4 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte çekilmiştir. Toplam 32 tarama yapılmıştır.

Numunelerin termal özellikleri diferansiyel termal analiz (DTA) ölçümleri ile belirlenmiştir. Ölçümler Shimadzu DTG 60H marka cihaz ile 20-400°C arasında 10°C/dk ısıtma hızıyla gerçekleştirilmiştir.

PEDOT:PSS kaplı CA nanolifli yüzeylerin elektriksel özellikleri 2-nokta direnç ile GWINSTEK GOM-804 model multimetre ile belirlenmiştir.

PEDOT:PSS kaplı CA nanolifli yüzeylerin eğilme rijitliği davranışı ölçülmüştür (TSE, 1973). Yüzeylerin eğilme rijitliği SDL Atlas M003B Fabric Stiffness Tester (SN: 003e002) cihazı ile 1 cm x 10 cm boyutundaki numunelerin kaplanmış yüzeylerinden ölçülmüştür. Eğilme rijitliği Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$G = 0,1 WC^3 \quad (3.1)$$

Burada; G= Eğilme rijitliği (mg.cm), W= Birim alan başına numune kütlesi (g/m<sup>2</sup>), C= X/2 =Eğilme uzunluğu (cm) ve X= Düşme uzunluğu (cm)'dur.

Tez kapsamında CB katkılı CA nanolifli yapıların filtrasyon etkinlikleri incelendiği için, bu yüzeylerin gözeneklilik değerleri teorik olarak Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\varepsilon = \left( 1 - \frac{\rho_m}{\rho_f} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

burada  $\varepsilon$  nanolif yüzeyinin gözenekliliğidir,  $\rho_m$  nanolifli yüzeyin yoğunluğudur ve  $\rho_f$  kullanılan polimer ve katkı maddesi karışımının yoğunluğudur.

### 3.2.6. CB katkılı CA nanolifli yüzeylerin yağ absorpsiyon kapasiteleri

Katkılı nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyon kapasitesini belirlemek için numuneler standart boyutlarda (2 x 2 cm) kesilmiştir. Deneylemeden önce numuneler, ISO 139'a göre standart oda koşullarında (20°C, %65 bağıl nem) 24 saat boyunca şartlandırılmıştır (ISO, 2005). Numuneler daha sonra tartılmış ve 1 saat boyunca 10 mL atık yağ, damıtılmış su, deniz suyu, yağ: damıtılmış su (1:1 saat/saat) emülsiyonu veya yağ:deniz suyu (1:1 saat/saat) emülsiyonuna daldırılmıştır. Daldırma işleminden sonra numunelerin üzerindeki fazla sıvı bir filtre kâğıdı ile uzaklaştırılmıştır. İlk tartım (W<sub>0</sub>) daldırmadan hemen sonra gerçekleştirilmiştir. Sonrasında numuneler düz bir zeminde bekletilmiştir. Sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 24 saatlik her bir bekleme süresinin sonrasında tartım gerçekleştirilmiştir. Böylece, nanolifli numunelerin belirlenen süre sonrasında bünyesinde tuttuğu sıvı miktarları aşağıdaki Denklem 3.3'e göre hesaplanmıştır:

$$\text{Absorpsiyon kapasitesi (\%)} = \left( \frac{W_{\text{ölçülen}} - W_{\text{ilk}}}{W_{\text{ilk}}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Burada; W<sub>ilk</sub>: kuru ağırlık, W<sub>ölçülen</sub>: t anındaki ağırlıktır.

\* Çözeltilerin viskozite ve pH ölçümleri; nanolifli yüzeylerin temas açısı ölçümleri, çekme testleri, FTIR analizleri, DTA analizleri, elektriksel karakterizasyonu, eğilme rijitliği ölçümleri ve yağ absorpsiyon kapasitesi tayinleri Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.



## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Çözeltilerin Karakterizasyonu

Çizelge 4.1’de tez kapsamında hazırlanan katkısız CA ve %2 oranında CB katkılı CA polimer çözeltilerinin viskozite ve pH değerleri verilmektedir.

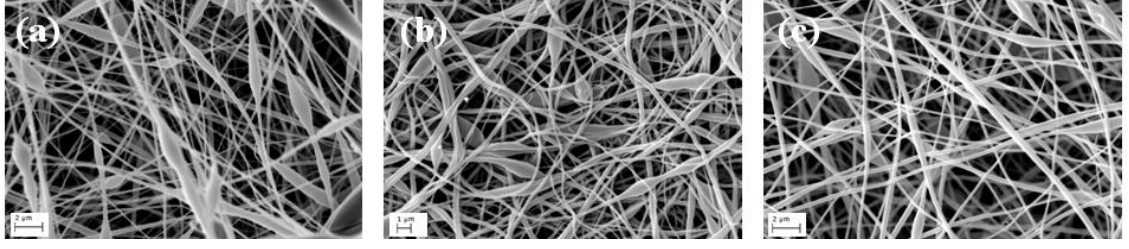
Çizelge incelendiğinde CB katkısı ile birlikte çözelti viskozite değerinin arttığı görülmektedir. Bu durum birim alandaki katı madde miktarının artması ile ilişkilendirilebilir. Bunun yanı sıra CB’nin yapısından kaynaklı olarak, CB katkısı ile birlikte pH değerinde de bir artış görülmüştür.

**Çizelge 4.1.** Katkısız ve CB katkılı polimer çözeltilerinin viskozite ve pH değerleri

Numune Kodu	Viskozite (cP)	pH
CA0	435	6,5
CA/CB	723	7,2

### 4.2. CA Nanolifli Yüzeylerin Karakterizasyonu

Şekil 4.1’de katkısız CA nanoliflerin ard işlem öncesi ve ard işlem sonrası SEM görüntüleri, Çizelge 4.2’de ise bu numunelerin ortalama çap değerleri ve dağılımları verilmektedir. Ard işlem öncesi ve sonrası numunelerin gözle yapılan değerlendirmesinde, işlem öncesi yapıların daha yumuşak bir görünümü olduğu, ard işlem sonrası liflerin birbirine yapıştığı ve daha kompakt bir hale geldiği görülmüştür. SEM görüntüleri ve Çizelge 4.2 birlikte değerlendirildiğinde ise genel olarak ard işlemlerin lif çaplarında kalınlaşmaya neden olduğu görülmektedir. En kalın ortalama çap değeri ise 4 saat ard işlem görmüş CA yüzeylerde 346 nm olarak ölçülmüştür. Lif çaplarındaki bu artışın nedeninin liflerin etanol/aseton banyosu içerisinde şişmesi ve liflerin birbirine yapışması olduğu düşünülmektedir (Cai ve diğerleri, 2017).



**Şekil 4.1.** (a) CA0, (b) CA0-2 ve (c) CA0-4 SEM görüntüleri

**Çizelge 4.2.** CA0, CA0-2 ve CA0-4 nanoliflerin ortalama çap ve CV değerleri

Numune Kodu	Ortalama Çap (nm)	CV (%)
CA0	299±95	31,55
CA0-2	340±114	33,64
CA0-4	346±125	36,06

Ard işlemler sonrası CA nanoliflerin mekanik dayanımlarında iyileşmeler görülmüştür. Dört saat işlem gören yüzeylerin kopma uzama değerlerinin düştüğü, modül değerlerinin ve dayanımın arttığı gözlenmiştir (Çizelge 4.3). Çözücü işlemiyle artan lif yoğunluğu, çap ve kristalite dayanımın artmasına sebep olur (Cai ve diğerleri, 2017). Mekanik özelliklerde, dayanım ve modül değerlerindeki artışın 4 saat işlem süresinde görülmesi sebebiyle, elektriksel iletkenlik eldesi için PEDOT:PSS kaplamasında bu işlem süresi ile devam edilmesine karar verilmiştir.

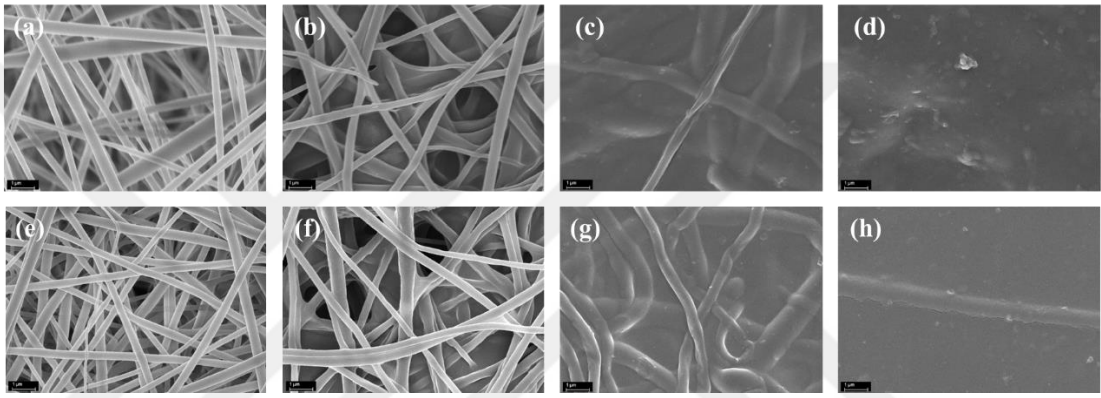
**Çizelge 4.3.** CA0, CA0-2 ve CA0-4 nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri

Numune Kodu	Kopma yükü (N)	Kopma Uzaması (%)	Dayanım (MPa)	Modül (MPa)
CA0	0,2778±0,04	9,7650±2,51	0,04±0,01	1,15±0,32
CA0-2	0,5472±0,07	9,8657±1,17	0,35±0,45	7,27±10,58
CA0-4	0,3553±0,10	8,7117±1,59	0,55±0,29	8,36±5,77

### 4.3. PEDOT:PSS Kaplı CA Nanolifli Yüzeylerin Karakterizasyonu

#### 4.3.1. SEM analizleri

Şekil 4.2’de PEDOT:PSS katkısız ard işlem öncesi ve 4 saat ard işlem sonrası nanolifli yüzeylerin damla-kaplama işlemi öncesi ve sonrası SEM görüntüleri gösterilmektedir. SEM analizleri, kaplamanın başarılı olduğunu ve artan kaplama çevrim sayısı ile birlikte nanolifli yüzey üzerini film şeklinde kapladığını göstermiştir.



**Şekil 4.2.** (a) CA0, (b) CA0/PEDOT-1, (c) CA0/PEDOT-2, (d) CA0/PEDOT-3, (e) CA0-4, (f) CA0-4/PEDOT-1, (g) CA0-4/PEDOT-2 ve (h) CA0-4/PEDOT-3 kodlu numunelerin SEM görüntüleri

#### 4.3.2. Temas açısı ölçümleri




Sıvı damlasının yüzeydeki temas açısına bağlı olarak ıslanabilirlik özellikleri incelenmektedir. Temas açısı  $90^\circ$ ’den küçük olduğu yüzeyler hidrofilik,  $90^\circ$  ile  $150^\circ$  arasında olanlar hidrofobik,  $150^\circ$ ’den büyük olanlar süperhidrofobik olarak tanımlanmaktadır (Rosa ve De Pinho, 1997).

Katkısız CA nanolifli yüzeylerin ortalama WCA değerleri Çizelge 4.4’de verilmektedir. Katkısız CA nanoliflerine uygulanan ard işlem sonucunda WCA’nın giderek arttığı görülmektedir.

Temas açısı ölçümü, bir malzemenin ıslanabilirlik özelliklerinin en önemli göstergelerinden biridir. Temas açısının ölçümü, yalnızca polimer türü ve katkı maddeleri gibi faktörler dâhil olmak üzere malzemenin bileşiminden değil, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü ve gözeneklilik gibi yapısal özelliklerinden de etkilenmektedir. Çizelge 4.4 incelendiğinde ard işlem süresinin artmasıyla WCA'nın arttığı görülmektedir. Genel olarak 90°'nin altındaki WCA değerleri hidrofilliği göstermektedir. WCA değerlerindeki artış hidrofobik yapıya geçişi işaret etmektedir.









Su temas açısındaki bu artış ard işlem süresine bağlı olarak ard işlem sonrasında kalınlaşan lifler ve yapının daha kompakt hale gelip gözeneklerin kapanması ile ilişkilendirilebilir.

**Çizelge 4.4.** CA nanolifli yüzeylerin ortalama temas açıları

Numune Kodu	Ortalama Su Temas Açısı (°)	Temas Açısı Görüntüsü
CA0	68,19±2,2	
CA0-2	74,14±4,8	
CA0-4	93,15±8,6	

Çizelge 4.5'de damla-kaplama işleminin etkisi incelendiğinde, CA0 nanolifli yüzeyine uygulanan birinci çevrim damla-kaplama sonrası temas açısı 68,19°'den 58,35°'ye düştüğü gözlemlenmiştir ve yapı hidrofil özellik göstermektedir. Kaplama çevrim sayısı arttıkça temas açısı değerleri genel olarak artmıştır ve hidrofillik azalmıştır. Su temas açısındaki artış, PEDOT:PSS'in nanolifli yüzeyi kaplayarak gözenekliliği azaltmış olması ile ilişkilendirilebilir.

**Çizelge 4.5.** CA ve PEDOT:PSS kaplı CA nanolifli yüzeylerin ortalama temas açıları

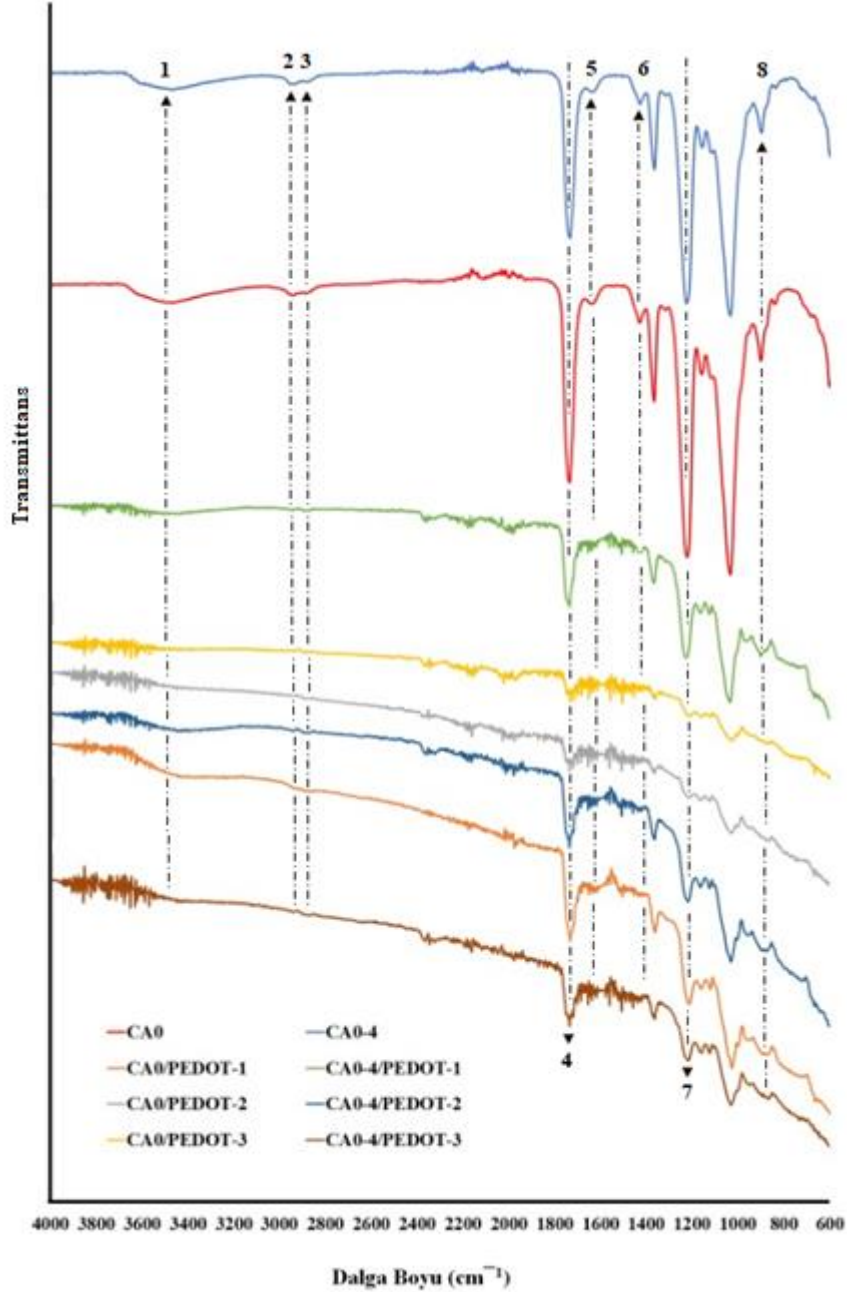
Numune Kodu	Ortalama Su Temas Açısı (°)	Temas Açısı Görüntüsü
CA0	68,19±2,2	
CA0-4	93,15±8,6	
CA0/PEDOT-1	58,35±0,6	
CA0/PEDOT-2	86,43±1,3	
CA0/PEDOT-3	86,65±0,7	
CA0-4/PEDOT-1	98,96±5,8	
CA0-4/PEDOT-2	74,66±13,3	
CA0-4/PEDOT-3	84,99±5,0	

### 4.3.3. FTIR analizleri

CA'nın FTIR spektrumları incelendiğinde (Şekil 4.3, Çizelge 4.6), 3430–3472  $\text{cm}^{-1}$  bölgesinde gözlenen soğurma pikleri genel olarak –OH gruplarının O-H gerilmesine karşılık gelir. 2943  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik metil ( $-\text{CH}_3$ ) gruplarındaki –CH'ların gerilimini, 1739  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik karbonil ( $\text{C}=\text{O}$ ) grubu gerilmesini, 1420  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik – $\text{CH}_2$ - deformasyon titreşimini, 1220  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik ester grubunun –C-O-C asimetrik gerilim titreşimini, 1049  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik –C-OH gerilim titreşimini ve 902  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik -C-O-C gerilimi ile  $\text{CH}_2$  vibrasyonun kombinasyonu ile ilişkilidir (İbrahim ve diğerleri, 2015; Sudiarti ve diğerleri, 2017). PEDOT:PSS kaplaması ile birlikte, bu piklerin şiddetinde azalma görülmüştür. Artan kaplama çevrim sayısı ile birlikte bu piklerin şiddetindeki azalma devam etmiştir.

1603-1643  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki pik PSS'nin aromatik halkalarından gelen C=C bağlarının gerilme titreşimlerine atfedilir. 1400-1431  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki ve. 1215-1223  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki pikler tiyofen halkasından kaynaklanan kinoit yapının C=C ve C–C

gerilmeleridir. 866-901  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki pik PEDOT'daki tiyofen halkasının C-S bağı titreşimiyle ilişkilidir (Wang ve diğerleri, 2019). PEDOT:PSS damla-kaplamalı nanolifli yüzeylerin elde edilen spektrumları literatürle uyumludur. Bu durum, PEDOT:PSS'in yüzeye başarılı olarak kaplandığını göstermektedir.



Şekil 4.3. CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA numunelerin FTIR spektrumları

**Çizelge 4.6.** CA0 nanoliflerin FTIR spektrumları

Pik No	Spesifik dalga boyu aralığı (cm <sup>-1</sup> )	Kimyasal bağ
1	3430-3472	O-H gerilimi
2 & 3	2945-2955 & 2866-2883	-CH- gerilimi
4	1730-1742	C=O fonksiyonel grup
5	1603-1643	C=C gerilimi
6	1400-1431	C=C gerilimi
7	1215-1223	C-C gerilimi
8	866-901	C-S gerilimi

#### 4.3.4. Mekanik analizler

Çizelge 4.7 CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA numunelerin ard işlem öncesi ve sonrası kopma-uzama ve değerlerini göstermektedir. Çizelge incelendiğinde, CA nanoliflerine uygulanan ard işlemin, uygulanan damla-kaplama yönteminin ve damla-kaplama yöntemindeki kaplama çevrim sayısının yüzeylerin mekanik özelliklerinde değişime neden olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.7.** CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri

Numune Kodu	Kopma Yüğü (N)	Kopma Uzaması (%)	Dayanım (MPa)	Ortalama Modül (MPa)
CA0	0,2778±0,04	9,7650±2,51	0,04±0,01	1,15±0,32
CA0-4	0,3553±0,10	8,7117±1,59	0,55±0,29	8,36±5,77
CA0/PEDOT-1	3,6423±0,41	5,7172±0,26	9,60±1,84	210,46±26,01
CA0/PEDOT-2	3,8861±0,50	4,9728±0,28	7,20±0,98	220,46±20,49
CA0/PEDOT-3	3,1451±0,79	3,0951±0,48	6,20±0,50	297,31±49,72
CA0-4/PEDOT-1	2,0424±0,40	3,6451±0,26	5,33±0,45	216,54±24,43
CA0-4/PEDOT-2	2,6027±0,55	3,4229±1,97	8,97±2,23	369,63±50,92
CA0-4/PEDOT-3	2,9116±0,35	3,0672±0,21	7,35±0,98	351,20±27,52

Çizelge 4.7 incelendiğinde CA nanolifli yüzeyle uygulanan ard işlemin kopma yükü, modül ve dayanım değerlerinde artışa sebep olduğu görülmektedir. CA nanolifli yüzeylere uygulanan damla-kaplama işleminin etkisi incelendiğinde genel olarak kopma yükü, modül ve dayanım değerlerinde artış görülmektedir. Ard işlem uygulanması mukavemetin geliştirilmesinde etkili rol oynar. Ard işlem, liflerin yönlenmesinin bozulmasına sebep olur (Cai ve diğerleri, 2017). Bu durum mukavemetinin iyileşmesine yol açabilir. Sonuçlar, ard işlemlili yüzeylerin daha fazla yüke dayanabilir duruma geldiğini, mekanik özelliklerinin geliştiğini göstermektedir.

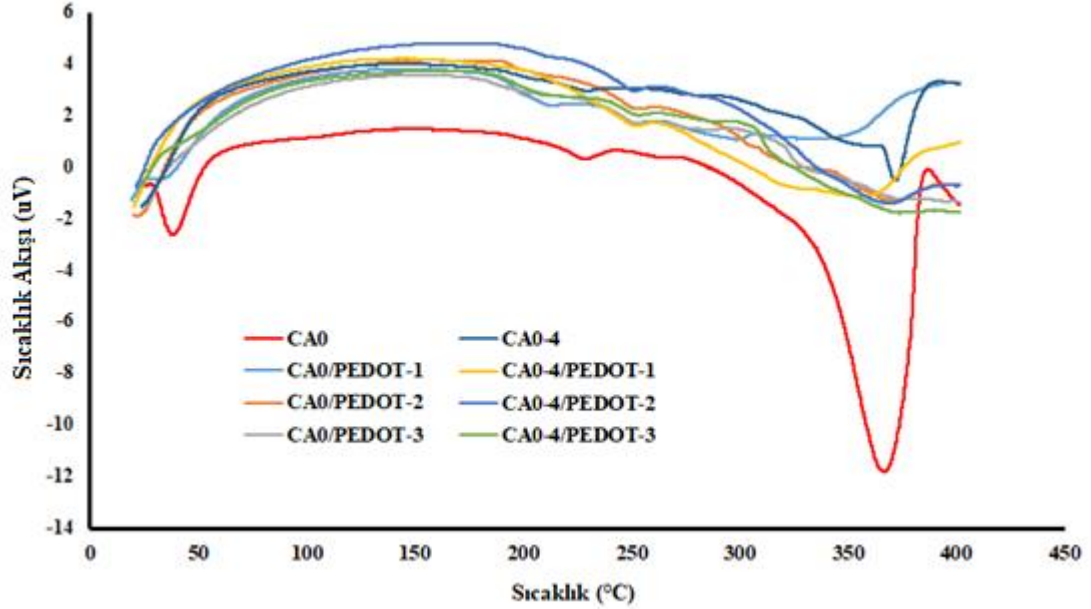
#### 4.3.5. DTA analizleri

Literatürde nanolifli yapıların sıcaklık karşısındaki davranışları termal analizler ile tespit edilmiştir. Greish ve diğerleri (2010), %17 ağırlık oranında CA içeren bir çözeltiden elektro çekim ile nanolif membranları üretmişlerdir. Araştırmacılar, CA'nın camsı geçiş sıcaklığını ( $T_g$ )  $180^{\circ}\text{C}$  olarak, erime sıcaklığını ( $T_m$ ) ise  $230^{\circ}\text{C}$ 'de belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda CA ile çalışılan sıcaklık aralığının  $180\text{-}236^{\circ}\text{C}$  olmasının gerektiğini belirtmişlerdir.

Cai ve diğerleri (2017) elektro çekim sistemi kullanarak CA nanolifli yüzey üretmişler, üretilen nanolifli yüzeyleri etanol/aseton banyosuna daldırarak mukavemetini geliştirilmesini amaçlamışlardır. Üretilen numunelerin termal davranışını incelediklerinde, ard işlem gören numunelerin  $T_g$  sıcaklığında artış gözlemlemişlerdir.

Tez kapsamında CA nanolifli yüzeylerin termal davranışı DTA analizleri ile incelenmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, CA nanolifli yüzeylerde görülen  $30\text{-}50^{\circ}\text{C}$  arasındaki pikin numunelerden uzaklaşan nem ile ilgili olduğu düşünülmektedir (De Almeida ve diğerleri, 2020). Literatürde  $T_m$  sıcaklığı  $230\text{-}250^{\circ}\text{C}$  verilmiştir (Erdmann ve diğerleri, 2021).  $230^{\circ}\text{C}$ 'deki pik bununla ilişkilendirilebilir. CA nanolifli yüzeylerde  $367^{\circ}\text{C}$ 'de termal degradasyonu gösteren bir endotermik pik görülmektedir (Hanna ve diğerleri, 1999). PEDOT:PSS ile damla-kaplama yapıldıktan sonra bu piklerin değişime uğradığı görülmektedir. PEDOT:PSS'in termal olarak kararlıdır, bu nedenle de damla-

kaplama işlemi sonrasında ısıl dayanıklılığın arttığı söylenebilir (Somboonsub ve diğerleri, 2010; Fan ve Ouyang, 2019).



Şekil 4.4. CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA nanolifli yüzeylerin termal analiz sonuçları

#### 4.3.6. İletkenlik ölçümleri

Direnç, bir elektrik devresinde akım akışına karşı oluşan etkinin ölçümüdür, ohm ( $\Omega$ ) cinsinden ölçülür (Denklem 4.1).

$$Direnç (R) = \rho \left( \frac{L}{A} \right) \Omega \quad (4.1)$$

Burada; R=ohm cinsinden direnç ( $\Omega$ ), L= metre cinsinden uzunluk (m), A= metrekare cinsinden alandır ( $m^2$ ),  $\rho$  öz dirençtir.

Direnç uzunlukla doğru, kesit alanıyla ters orantılıdır. Elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ), malzemenin elektrik akımını iletme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Elektriksel direncin SI birimi ohm ( $\Omega$ ), elektriksel iletkenliğin birimi ise siemens (birim) (S)'dir. Elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ), direncin tersi olarak tanımlanır.

Çizelge 4.8.'de iki nokta arası direnç ölçümlerinin ortalama sonuçları verilmektedir. Kaplama çevrim sayısı arttıkça elektriksel direncin düştüğü görülmektedir. İletken olmayan CA nanolifli yüzeylerin 1. çevrim PEDOT:PSS damla kaplama sonrası direnç değeri 40,86  $\Omega/cm$ 'e düşmüştür. Artan kaplama çevrim sayısı ile direnç değerlerindeki düşüş devam etmiştir. En düşük direnç CA0/PEDOT-3 kodlu numunede 3.çevrim PEDOT:PSS damla-kaplama sonrası 5,45  $\Omega/cm$  olarak ölçülmüştür. Çizelge 4.8.'de görüldüğü gibi dirençteki azalma artan iletkenliğe işaret etmektedir. PEDOT:PSS damla-kaplama sonrası numuneler iletken hale gelmiştir.

**Çizelge 4.8.** CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA yüzeylerin ortalama direnç ölçümü değerleri

Numune Kodu	Direnç Ölçümü ( $\Omega/cm$ )
CA0	-
CA0-4	-
CA0/PEDOT-1	40,86±3,98
CA0/PEDOT-2	8,89±1,32
CA0/PEDOT-3	5,45±0,65
CA0-4/PEDOT-1	204,05±51,79
CA0-4/PEDOT-2	15,29±4,31
CA0-4/PEDOT-3	5,72±0,66

#### 4.3.7. Eğilme rijitliği ölçümleri

Çizelge 4.9.'da numunelerin eğilme rijitliği sonuçları verilmektedir. CA nanoliflerine uygulanan ard işlem sonucu rijitlik değeri arttığı böylece nanolifli yüzeyin daha kırılğan bir hale geldiği gözlemlenmektedir. Yüksek düzeyde buharlaşan çözücüler ve bu çözücülerin kurutulması aynı zamanda Van der Waals kuvveti nedeniyle liflerin şekil değiştirmesine, sertleşmesine ve sıkışmasına neden olmaktadır (Li ve diğerleri, 2011). Bu sebeple ard işlemler CA nanolifli yüzeylerin rijitliği artmıştır.

CA nanolifli yüzeylere uygulanan damla-kaplama işlemi sonrasında kaplama çevrim sayısı arttıkça rijitlik değerinin arttığı, böylece nanolifli yüzeyin daha kırılğan bir hale geldiği gözlemlenmektedir. PEDOT:PSS kaplama çevrim sayısının artması ile yüzey üzerinde daha kalın bir kaplama oluştuğu için rijitlik artmıştır.

**Çizelge 4.9.** CA ve PEDOT:PSS damla-kaplamalı CA nanolifli yüzeylerin eğilme rijitliği değerleri

Numune Kodu	Eğilme Rijitliği (mg.cm)
CA0	17,50
CA0-4	140,03
CA0/PEDOT-1	86,64
CA0/PEDOT-2	486,56
CA0/PEDOT-3	591,98
CA0-4/PEDOT-1	154,24
CA0-4/PEDOT-2	485,64
CA0-4/PEDOT-3	582,12

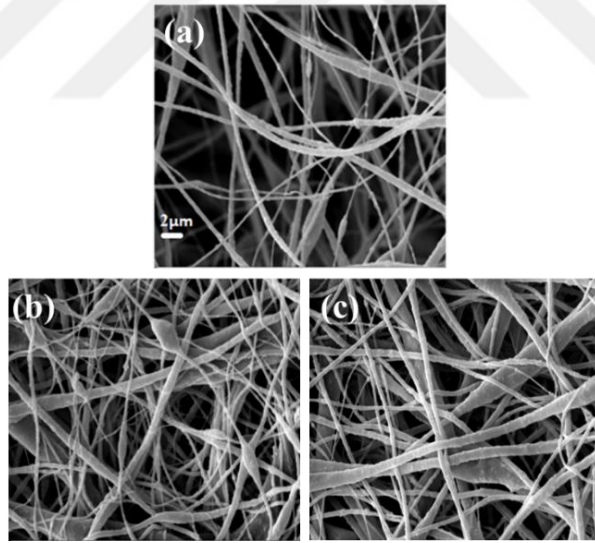
#### 4.4. CB Katkılı Nanolifli Yüzeylerin Karakterizasyonu

##### 4.4.1. SEM analizleri

İşlem görmemiş ve ard işlem görmüş CA/CB nanolif yüzeylerin SEM görüntüleri Şekil 4.5'de, ortalama çap değerleri ve gözeneklilik değerleri ise Çizelge 4.10'da verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin yapı içerisinde rastgele yerleştiği görülmektedir.

İşlem görmemiş CA/CB nanolifleri için ortalama nanolif çapı 438 nm elde edilmiştir. Ard işlemler sonrasında nanolif çapları artmıştır ve en yüksek çap 4 saat uygulanan CA/CB nanolif yüzeylerinde 601 nm olarak elde edilmiştir. Nanolif çaplarındaki artış, CA nanolifleri ile etanol:aseton karışımı arasındaki etkileşimlerle açıklanabilir.

Etanol ve asetonun her ikisi de CA polimer matrisi ile etkileşime girerek CA nanoliflerinin yapısında bir değişikliğe yol açabilen polar çözücülerdir. Etanol, CA liflerini şişirme ve asetat zincirleri arasındaki moleküller arası kuvvetleri zayıflatma özelliğine sahip polar bir çözücüdür (Boчек ve Kalyuzhnaya, 2002; Raslan ve diğerleri, 2024). Aseton ise CA nanolifleri tarafından absorbe edilebilir (Cai ve diğerleri, 2017). Çözücü konsantrasyonuna, süreye ve sıcaklığa bağlı olarak bu etkiler dikkat çekici bir şekilde fark edilebilmektedir. Etkileşimler nedeniyle CA liflerinin morfolojisi ve kristalitesi etkilenebilmekte ve daha büyük çaplı şişmiş CA lifleri elde edilebilmektedir. Şekil 4.5'deki SEM görüntüleri ve görsel değerlendirmeler, nanolifli yüzeylerin ard işlem sonrasında daha yoğun ve daha kompakt yüzeyler haline geldiğini göstermektedir. Ayrıca, ard işlemler sonrasında lif çaplarında da artış olmuştur (Çizelge 4.10). Ard işlem süresinin uzamasıyla bu durum daha da belirginleşmiştir. Ard işlemler aynı zamanda numunelerin gözenekliliğini de etkilemiştir. Beklenildiği gibi nanolifler kalınlaştıkça gözeneklilik azalmıştır (Çizelge 4.10).



**Şekil 4.5.** (a) CA/CB, (b) CA/CB-2 ve (c) CA/CB-4 kodlu numunelerin SEM görüntüleri

**Çizelge 4.10.** CA/CB nanoliflerinin ortalama lif çapı değerleri ve gözeneklilikleri

Numune kodu	Ortalama Çap (nm)	Gözeneklilik (%)
CA/CB	438±201	75
CA/CB-2	458±319	71
CA/CB-4	601±265	66

#### 4.4.2. Temas açısı ölçümleri

Yağlı atık sudan yağın etkili bir şekilde uzaklaştırılması için nanolifli filtre malzemesinin hem yağ çeken hem de hidrofobik yapıda olması gerekir. Bu, filtre malzemesinin yağ absorbe etmesi ve suyu dışarı atması gerektiği anlamına gelmektedir. Temas açısı ölçümü, bir malzemenin ıslanabilirlik özelliklerinin en önemli göstergelerinden biridir. Temas açısının ölçümü, yalnızca polimer türü ve katkı maddeleri gibi faktörler dâhil olmak üzere malzemenin bileşiminden değil, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü ve gözeneklilik gibi yapısal özelliklerinden de etkilenmektedir. Çizelge 4.11, işlemsiz, 2 saat ve 4 saat ard işlem görmüş CA/CB nanolifli yüzeylerin yağ temas açısı (OCA) ve su temas açısı (WCA) ölçümlerini göstermektedir. Ard işlem sonrası temas açısı değerlerini etkilediği ve ard işlem sonrası süre arttıkça hem OCA hem de WCA değerlerinin arttığı görülmektedir. Genel olarak 90°'nin altındaki temas açısı değerleri, oleofilikliği/hidrofilikliği göstermektedir. OCA değerleri ard işlem sonrası sürenin artmasıyla birlikte artan bir eğilim göstermesine rağmen, oleofilik yapılar korunmuştur. Hidrofobik karaktere işaret eden WCA değerleri de artmıştır.

OCA ve WCA'daki bu artış, işlem sonrası süreye bağlı olarak kalınlaşmış nanolifler ve daha düşük gözeneklilik ile ilişkilendirilebilir. Ard işlemler numunelerin kristallliğini etkileyebilmektedir. Temas açısı, aynı zamanda yüzeyin kristallğine de bağlı olan liflerin yüzey enerjisiyle büyük ölçüde ilişkilidir. Ard işlemler, liflerin moleküler yönelimini etkileyerek daha yüksek kristallik ve daha düşük yüzey enerjisi ve dolayısıyla daha yüksek temas açısı değerleri ile sonuçlanabilir (Duzyer ve diğerleri, 2011).

**Çizelge 4.11.** CA/CB nanolifli yüzeylerin OCA ve WCA değerleri

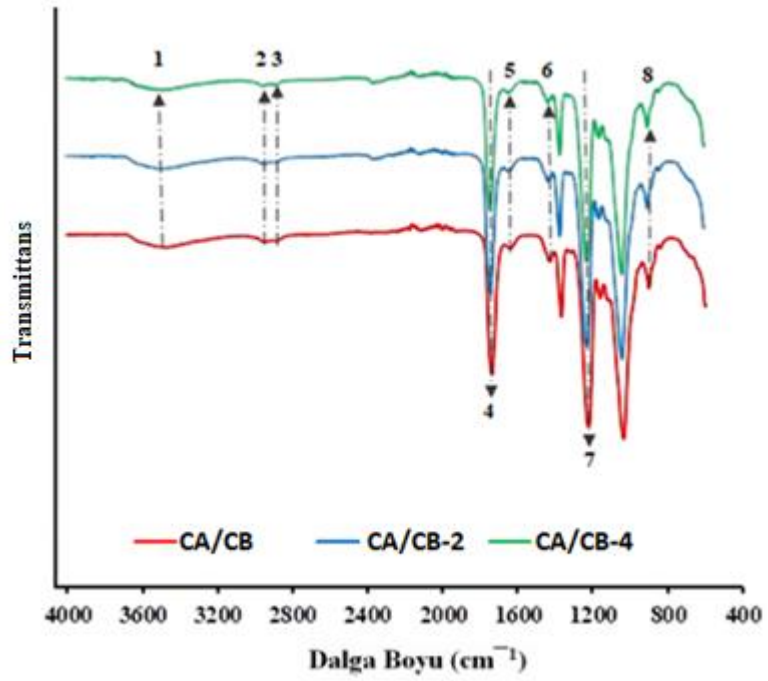
Numune Kodu	WCA (°)	WCA Görüntüsü	OCA (°)	OCA Görüntüsü
CA/CB	86±9		61±9	
CA/CB-2	98±5		75±6	
CA/CB-4	102±15		80±4	

#### 4.4.3. FTIR analizleri

İşlem sonrası işlemlerin neden olduğu yapısal değişiklikleri incelemek için FTIR analizleri yapılmıştır ve işlem görmemiş, 2 saat ard işlem görmüş ve 4 saat ard işlem görmüş CA/CB nanolifli yüzeylerin FTIR spektrumları ve görülen bağlar Şekil 4.6 ve Çizelge 4.12'de gösterilmektedir.

İşlem görmemiş CA/CB nanolif yüzeylerinin FTIR spektrumlarında, hem CA hem de CB'nin karakteristik pikleri gözlemlenmiştir. Bu durum CB'nin CA'ya başarılı bir şekilde entegre edildiğini doğrulamaktadır (İbrahim ve diğerleri, 2015; Sudiart ve diğerleri, 2017; Sugatri ve diğerleri, 2018).

Şekil 4.6'da 3400–3600  $\text{cm}^{-1}$  bölgesinde gözlenen soğurma pikleri genel olarak –OH gruplarının O-H gerilmesine karşılık gelir. Bu nedenle tüm numunelerde 3468  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülen pik, numunedeki nemin tamamen giderilmediği ile ilişkilendirilebilir. 2940 ve 2870  $\text{cm}^{-1}$  civarında gözlemlenen pikler, CA ve CB'nin metil gruplarının –CH- gerilmesini ifade eder. 1735  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki pik CA'nın C=O fonksiyonel grubudur ve 1430  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki pik –CH<sub>2</sub>- titreşimine karşılık gelmektedir. CA'nın ester grubunun C-O-C anti simetrik gerilme titreşimlerinin karakteristik pikleri 1224  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlemlenmiştir. Benzer şekilde tüm örneklerde görülen 898  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik –C-O- gerilmesi ve –CH<sub>2</sub>-sallanmasının kombinasyonunu ifade eder. Ayrıca 1637  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik, CB yapısında bulunan aromatik halkalardaki C=C gerilim titreşimidir. Ard işlem sonrası piklerde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum, ard işlemlerin CA nanolifli yüzeylerin kimyasal yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.6. CA/CB nanoliflerin FTIR spektrumları

Çizelge 4.12. CA/CB nanoliflerin FTIR spektrumları

Pik No	Spesifik dalga boyu (cm <sup>-1</sup> )			Kimyasal bağ
	CA/CB	CA/CB-2	CA/CB-4	
1	3468	3468	3468	O-H gerilmesi
2 & 3	2945 & 2872	2945 & 2875	2943 & 2872	-CH- gerilmesi
4	1735	1735	1739	C=O fonksiyonel grup
5	1637	1637	1637	C=C gerilmesi
6	1431	1435	1435	-CH <sub>2</sub> - titreşimi
7	1224	1224	1224	C-O-C anti simetrik gerilmesi
8	902	902	902	-C-O- gerilmesi ve -CH <sub>2</sub> - sallanması kombinasyonu

#### 4.4.4. Mekanik analizler

Atık yağ/su ayrıştırma uygulamalarında kullanılan filtreler, uygulama alanlarında mekanik kuvvetlere maruz kaldığından bu kuvvetlere dayanabilecek kadar dayanıklı olmaları gerekmektedir. Bu çalışmada CA/CB nanoliflerinin mekanik özelliklerini geliştirmek için farklı sürelerde etanol:aseton banyosunda ard işlem uygulanmıştır. Ard işlemin CA/CB nanolif yüzeylerinde mekanik özellikleri açısından etkisi, Çizelge 4.13'de sunulan çekme testleri ile incelenmiştir. Sonuçlar farklı sürelerdeki ard işlemlerin mekanik özellikleri iyileştirdiğini göstermiştir. Bu durum, ard işlemlerden kaynaklanan daha kalın nanoliflere sahip daha yoğun nanolif yüzey yapısıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca, etanol ve asetonun polimer matris ile etkileşimi, moleküler yönelimde ve kristallikte artışa yol açarak mekanik özelliklerin iyileşmesine neden olabilmektedir. Ard işlem süresi arttıkça kopma uzaması, modül ve dayanım değerleri artmıştır. En yüksek dayanım 4 saat ard işlem sonrası CA/CB-4 kodlu numunede 0,99 MPa olarak gözlemlenmiştir. Filtrasyon uygulamalarında filtre malzemeleri tekrarlayan kuvvetlere maruz kalır. Bu nedenle, filtrenin uzun süreli ve tekrarlanan kullanım için şeklini koruyabilme yeteneği olmalıdır. Dört saat ard işlem gören numunenin daha yüksek modül değeri, şeklini geri kazanma yeteneğinin daha iyi olduğunu gösterir.

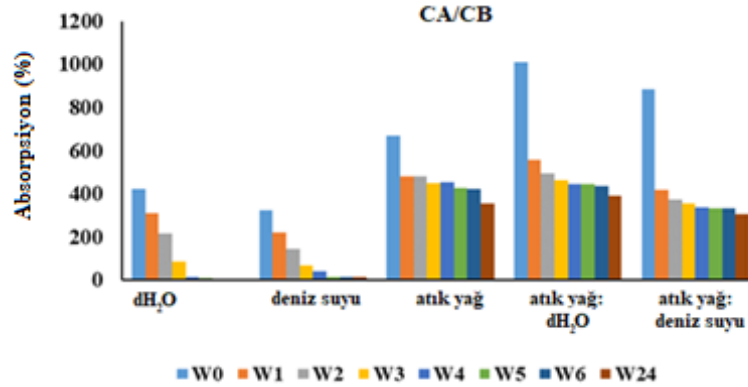
Çizelge 4.13. CA/CB nanolifli yüzeylerin mekanik özellikleri

Numune Kodu	Kopma Yüğü (N)	Kopma Uzaması (%)	Dayanım (MPa)	Ortalama Modül (MPa)
CA/CB	0,21±0,06	6,25±0,56	0,21±0,06	7,20±2,30
CA/CB-2	1,74±0,14	8,72±3,67	0,89±0,38	16,07±6,48
CA/CB-4	1,39±0,39	10,35±1,29	0,99±0,27	20,85±4,60

#### 4.4.5. Yağ absorpsiyon kapasitesi ölçümleri

CA/CB nanolif yüzeylerin atık yağ, distile su, deniz suyu, yağ:distile su ve yağ:deniz suyu absorbe kapasiteleri, işlemlerden önce ve sonra araştırılmıştır.

Şekil 4.7 ve Çizelge 4.14, işlemsiz numunelerin sıvı absorbe etme kapasitelerini göstermektedir. İşlem görmemiş numunelerin ilk etapta ~%423 su ve %325 deniz suyu absorbe ettiği görülmektedir. Zamanla nanolifli yapının içerisinde tutulan sıvı oranı azalmış ve nihai olarak 24 saat sonunda suyun %4,5'i, deniz suyunun ise %13,2'sinin numune yapısında kaldığı görülmüştür. İşlemsiz yüzeylerin atık yağ ve emülsiyonlarının sıvı tutma özellikleri incelendiğinde ise, yapıların su ve deniz suyunun neredeyse iki katı kadar sıvıyı absorbe ettiği görülmektedir (Şekil 4.7, Çizelge 4.14).



Şekil 4.7. CA/CB kodlu nanolif yüzeylerinin sıvı absorpsiyon grafiği

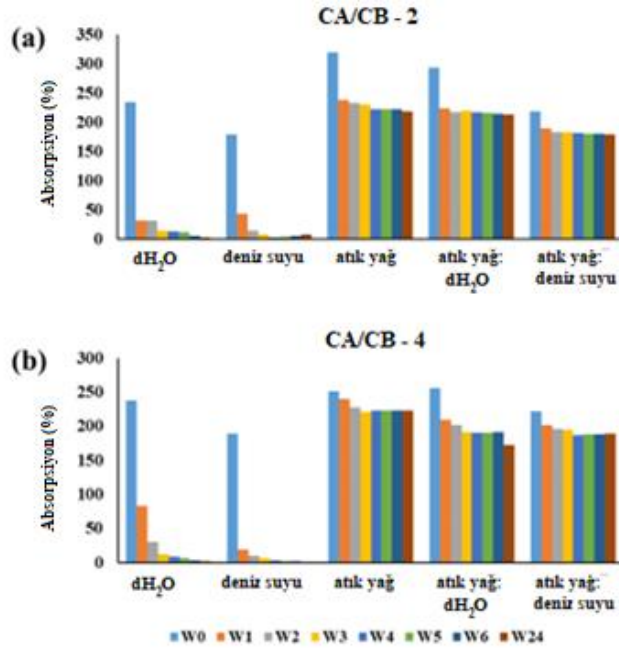
Çizelge 4.14. CA/CB nanolif yüzeylerinin sıvı absorpsiyonu değerleri

Sıvı	Absorbsiyon (%)							
	W0	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W24
dH <sub>2</sub> O	423,8	311,2	218,4	89,3	16,8	9,9	7,5	4,5
deniz suyu	325,3	220,6	147,2	67,5	43,5	16,1	15,8	13,2
atık yağ	668,6	480,5	466,9	449,2	453,4	428,0	424,6	355,9
atık yağ: dH <sub>2</sub> O	1011,8	558,3	495,8	465,3	447,2	434,0	438,2	392,4
atık yağ: deniz suyu	885,3	418,0	375,3	356,7	336,7	335,3	334,0	306,0

Ard işlemler CA/CB nanolifli yüzeylerin su ve yağ absorpsiyon oranlarını etkilemiştir. Atık yağın sudan etkin bir şekilde ayrıştırılması için filtre malzemesinin suyu iterken yağı absorbe etmesi gerekmektedir. Yirmi dört saat sonunda yapılan tartımlar, ard işlemler numunelerin yapısında su kalmadığını, ancak halen ~%200 oranında yağ yapısında tutmaya devam ettiğini göstermiştir (Şekil 4.8, Çizelge 4.15 ve 4.16). Bu durum, numunelerin etkili bir su/yağ ayrımı için çok önemli olan yağ absorpsiyon özelliklerini koruduğunu göstermektedir.

Yağ absorpsiyon özelliği numunenin polar-polar olmayan yapısı ve yüzey özellikleri ile açıklanabilir. Polar olmayan yapılar yağ molekülleri ile etkileşime girme eğiliminde olduğundan yağ daha iyi absorbe edebilirler (Zhang ve diğerleri, 2002). Bu nedenle CA/CB'nin daha yüksek yağ absorpsiyon kapasitesi, polar olmayan özellikleriyle ilişkilendirilebilir. Ek olarak, polar olmayan yapılar hidrofobik olma eğilimindedir ve bu da onları yağ absorpsiyonuna daha uygun hale getirmektedir.

Bununla birlikte, yağ absorpsiyonu yalnızca maddenin polar olmamasına bağlı değildir. Nanolifli yüzeydeki lif çapı, yerleşimi, gözenekliliği ve gözenek boyutu gibi fiziksel özellikleri, yağın yüzey içinde hapsolabilmesi nedeniyle yağ absorpsiyon kapasitesi üzerinde çok önemli bir öneme sahiptir (Khampieng ve diğerleri, 2014; Sali ve diğerleri, 2023). CA/CB nanolifli yüzeylerin daha yüksek yağ kapasitesi, yüksek yüzey alanına ve gözenekliliğe sahip düşük lif çapıyla da ilişkilendirilebilir.



Şekil 4.8. (a) CA/CB-2 ve (b) CA/CB-4 kodlu nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyon grafikleri

Çizelge 4.15. CA/CB-2 nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyonu değerleri

Sıvı	Absorpsiyon (%)							
	W0	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W24
dH <sub>2</sub> O	178,5	10,7	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
deniz suyu	178,6	43,7	3,9	7,3	2,9	3,9	4,9	8,3
atık yağ	319,0	238,1	230,4	223,9	221,5	221,5	222,3	217,8
atık yağ: dH <sub>2</sub> O	292,9	223,5	218,9	216,4	214,3	213,0	208,8	207,1
atık yağ: deniz suyu	218,6	189,3	183,1	182,1	181,3	179,8	180,0	179,0

Çizelge 4.16. CA/CB-4 nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyonu değerleri

Sıvı	Absorpsiyon (%)							
	W0	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W24
dH <sub>2</sub> O	238,3	86,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
deniz suyu	189,4	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
atık yağ	251,5	239,6	227,7	221,3	222,8	223,3	222,8	222,8
atık yağ: dH <sub>2</sub> O	255,8	209,8	201,8	191,4	190,2	190,2	191,4	173,0
atık yağ: deniz suyu	222,4	201,7	195,8	195,4	189,0	188,2	188,2	187,3

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde, CA nanoliflerin hem mekanik hem de elektriksel iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla, CA nanolifli yüzeyler elektro çekim ile üretilmiş ve sonrasında mekanik özellikleri geliştirmek için banyo içerisinde ard işleme tabi tutulmuştur. Ard işlem sonrası yüzeyler, elektriksel olarak iletken olan PEDOT:PSS sulu dispersiyonları ile damla-kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. İletkenlik özelliklerini geliştirmek için yüzeyler 3 çevrim halinde kaplanmıştır. Her bir kaplama çevrimi sonrası numunelerin yüzey, içyapı, mekanik, termal ve elektriksel iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca yüzeylerin eğilme davranışı araştırılmıştır. SEM analizleri, CA nanoliflerin başarılı bir şekilde üretildiğini göstermiştir. Ard işlem sonrası, liflerin birbirine yapıştığı, kalınlaştığı ve yüzeyin daha kompakt bir hale geldiği görülmüştür. Ard işlem süresinin artışı ile birlikte temas açıları artmıştır. Ayrıca mekanik özelliklerde iyileşmeler görülmüştür. PEDOT:PSS kaplama sonrası yapılan SEM analizlerinde kaplamanın başarılı olduğu ve artan kaplama çevrim sayısı ile birlikte nanolifli yüzey üzerini film şeklinde kapladığı görülmüştür. Ard işlemsiz CA yüzey PEDOT:PSS ile kaplandığında temas açısında bir miktar düşüş olmuştur. Kaplama çevrim sayısının artışı ile birlikte temas açısı değerleri de artmıştır. FTIR analizleri de PEDOT:PSS'in CA nanolifli yüzey üzerine kaplandığını göstermiştir. PEDOT:PSS kaplaması sonrası yapılan mekanik analizlerde, hem damla-kaplama işlemi ile hem de damla-kaplama işleminde artan kaplama çevrim sayısı ile birlikte dayanım ve modül değerlerinin arttığı görülmüştür. Yüzeylerin termal özellikleri hakkında bilgi edinmek amacıyla DTA analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda ard işlemsiz CA yüzeyin 367°C'de endotermik bir pik verdiği görülmektedir. PEDOT:PSS kaplaması ile birlikte piklerin değişime uğradığı gözlenmiştir; damla-kaplama işlemi sonrasında ısı dayanıklılığın arttığı söylenebilir. Yüzeylerin elektriksel özellikleri 2-nokta direnç ölçümleri ile belirlenmiştir. En düşük direnç değeri, hem ard işlemsiz CA, hem de 4 saat ard işlem gören CA yüzeyler için 3. çevrim PEDOT:PSS kaplama sonrası elde edilmiştir. Eğilme rijitliği ölçümleri, numunelerin artan kaplama çevrimi sonrası daha rijit bir hale geldiğini göstermiştir. Sonuçlar, CA nanoliflerin iletken hale gelebildiği ve elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda gelecek vaat ettiğini göstermiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, yağ absorpsiyon uygulamaları için mekanik olarak geliştirilmiş CA/CB nanolifli yüzeyler geliştirilmiştir. İlk olarak ağırlıkça %15 oranında CA ve polimerin %2'si oranında CB içeren çözeltilerden CA/CB nanolifli yüzeyler elde edilmiştir. Mekanik özellikleri iyileştirmek için numuneler etanol:aseton banyosunda sırasıyla 2 saat ve 4 saat süreyle ard işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelerin yüzey, yapısal, mekanik özellikleri ile sıvı absorpsiyonu kapasiteleri değerlendirilmiştir.

Ard işlemler CA/CB nanolif yüzeylerinin özelliklerini etkilemiştir. Çapların 438 nm'den 601 nm'ye yükseltilmesi CA nanolifleri ve etanol:aseton karışımı arasındaki etkileşimlerle açıklanabilmektedir. Ayrıca lif çapının artmasıyla gözenekliliklerin %75'ten %66'ya düştüğü görülmüştür. Ard işlemler, hem WCA'da hem de OCA'da artışa yol açmıştır. Bu durum, nanolifli yüzeylerdeki yapısal değişikliklerle ilişkili olabilir.

Ard işlem sonrası numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşme görülmüştür. Ard işlem sonrası kalınlaşan lif çapları ve daha kompakt nanolifli yüzey yapısı bu duruma neden olabilir. Sonuçlar, en yüksek dayanım değerine 4 saat ard işlem sonunda ulaşıldığını göstermiştir.

CA/CB nanolifli yüzeylerin sıvı absorpsiyon kapasiteleri, numunelerin su, deniz suyu, atık yağ ve bunların emülsiyonlarına daldırılmasıyla araştırılmıştır. Yirmi dört saat sonunda ard işlem görmüş numunelerin yapılarında su tutma oranları %4,5'den %0'a düşmüştür. Numunelerin yağ absorpsiyon oranlarının (W0); işlemsiz olan için ~%668; 2 saat ard işlemlili için ~%319 ve 4 saat ard işlemlili için ~%251 olduğu görülmüştür.

24 saat sonundaki yağ tutma kapasiteleri incelendiğinde, işlemsiz numunede ~%355 iken, 2 saat ard işlem sonrası bu değer ~%217'ye, 4 saat ard işlem sonrası ~%222'ye düşmüştür. Her ne kadar yağ tutma oranı düşmüş olsa da, tüm numunelerin hala yüksek yağ absorpsiyonuna sahip olduğu görülmüştür. Bulgular, CA/CB nanolifli yüzeylerin yağ absorpsiyon uygulamaları için fayda sağlayacağını güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır.

## KAYNAKLAR

- Adekoya, G. J., Sadiku, R. E., & Ray, S. S. (2021). *Nanocomposites of PEDOT: PSS with graphene and its derivatives for flexible electronic applications: a review. Macromolecular Materials and Engineering, 306(3), 2000716.*
- Ahn, Y. C., Park, S. K., Kim, G. T., Hwang, Y. J., Lee, C. G., Shin, H. S., & Lee, J. K. (2006). *Development of high efficiency nanofilters made of nanofibers. Current applied physics, 6(6), 1030-1035.*
- Alharbi, A. R., Alarifi, I. M., Khan, W. S., & Asmatulu, R. (2016). *Highly hydrophilic electrospun polyacrylonitrile/polyvinylpyrrolidone nanofibers incorporated with gentamicin as filter medium for dam water and wastewater treatment. Journal of Membrane and Separation Technology, 5(2), 38-56.*
- Bochek, A. M., & Kalyuzhnaya, L. M. (2002). *Interaction of water with cellulose and cellulose acetates as influenced by the hydrogen bond system and hydrophilic-hydrophobic balance of the macromolecules. Russian Journal of Applied Chemistry, 75, 989-993.*
- Cai, J., Niu, H., Yu, Y., Xiong, H., & Lin, T. (2017). *Effect of solvent treatment on morphology, crystallinity and tensile properties of cellulose acetate nanofiber mats. The Journal of The Textile Institute, 108(4), 555-561.*
- Chen, W., Ma, H., & Xing, B. (2020). *Electrospinning of multifunctional cellulose acetate membrane and its adsorption properties for ionic dyes, International Journal of Biological Macromolecules, 158, 1342-1351.*
- Cheng, H. N., Dowd, M. K., Selling, G. W., & Biswas, A. (2010). *Synthesis of cellulose acetate from cotton byproducts. Carbohydrate polymers, 80(2), 449-452.*
- Chronakis, I. S. (2005). *Novel nanocomposites and nanoceramics based on polymer nanofibers using electrospinning process-a review. Journal of materials processing technology, 167(2-3), 283-293.*
- Çunayev, Ş. (2021). *Elektro çekim (elektrospinning) yöntemi ile karbon siyahı katkılı iletken ve saydam nanolifli yüzey üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*
- de Almeida, D. S., Duarte, E. H., Hashimoto, E. M., Turbiani, F. R., Muniz, E. C., de Souza, P. R., D., L. (2020). *Development and characterization of electrospun cellulose acetate nanofibers modified by cationic surfactant, Polymer Testing, Volume 81, 106206.*
- 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.*
- Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J., Harris, D. E., & Tan, N. B. (2001). *The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. Polymer, 42(1), 261-272.*
- Drupitha, M. P., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2023). *Recent advances on value-added biocarbon preparation by the pyrolysis of renewable and waste biomass, their structure and properties: a move toward an ecofriendly alternative to carbon black. Environmental Science: Advances, 2, 1282-1301.*
- Duzyer, S., Hockenberger, A., & Zussman, E. (2011). *Characterization of solvent-spun polyester nanofibers. Journal of Applied Polymer Science, 120(2), 759-769.*

- Düzyer Ş., (2018). *Different Methods of Fabricating Conductive Nanofibers*” *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29 (1) pp:78-85.
- Elmaghraby, N. A., Omer, A. M., Kenawy, E. R., Gaber, M., & El Nemr, A. (2022). *Fabrication of cellulose acetate/cellulose nitrate/carbon black nanofiber composite for oil spill treatment. Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-19.
- Erdmann, R., Kabasci, S., & Heim, H. P. (2021). *Thermal properties of plasticized cellulose acetate and its  $\beta$ -relaxation phenomenon. Polymers*, 13(9), 1356.
- Fahmi, M. Z., Prasetya, R. A., Dzikri, M. F., Sakti, S. C. W., & Yulianto, B. (2020). *MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles/cellulose acetate composite nanofiber for controllable release of naproxen. Materials Chemistry and Physics*, 250, 123055.
- Fan, Z., & Ouyang, J. (2019). *Thermoelectric properties of PEDOT: PSS. Advanced Electronic Materials*, 5(11), 1800769.
- Fanzio, P., Chang, C. T., Skolimowski, M., Tanzi, S., & Sasso, L. (2017). *Fully-polymeric pH sensor realized by means of a single-step soft embossing technique. Sensors*, 17(5), 1169.
- Fawal, G., Abu-Serie, M., El-Gendi, H., & El-Fakharany, E. (2022). *Fabrication, characterization and in vitro evaluation of disulfiram-loaded cellulose acetate/poly(ethylene oxide) nanofiber scaffold for breast and colon cancer cell lines treatment, International Journal of Biological Macromolecules, Volume 204, 555-564.*
- Fu, W., Dai, Y., Meng, X., Xu, W., Zhou, J., Liu, Z., Sun, Y. (2019). *Electronic textiles based on aligned electrospun belt-like cellulose acetate nanofibers and graphene sheets: portable, scalable and eco-friendly strain sensor, Nanotechnology 30 045602.*
- Gaminian, H., & Montazer, M. (2018). *Carbon black enhanced conductivity, carbon yield and dye adsorption of sustainable cellulose derived carbon nanofibers. Cellulose* 25, 5227–5240.
- Greiner, A., & Wendorff, J. H. (2007). *Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers. Angewandte Chemie International Edition*, 46(30), 5670-5703.
- Greish, Y. E., Meetani, M. A., Al Matroushi, E. A., & Al Shamsi, B. (2010). *Effects of thermal and chemical treatments on the structural stability of cellulose acetate nanofibers. Carbohydrate Polymers*, 82(3), 569-577.
- Groenendaal, L., Jonas, F., Freitag, D., Pielartzik, H., & Reynolds, J. R. (2000). *Poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) and its derivatives: past, present, and future. Advanced materials*, 12(7), 481-494.
- 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(8), 1165-1188.
- Hanna, A. A., Basta, A. H., El-Saied, H., & Abadir, I. F. (1999). *Thermal properties of cellulose acetate and its complexes with some transition metals. Polymer degradation and stability*, 63(2), 293-296.
- Heinze, T. (2015). *Cellulose: Structure and Properties. In: Rojas, O. (eds) Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials. Advances in Polymer Science, vol 271. Springer, Cham.*
- Hernández-López, S., Viguera-Santiago, E., Mendoza Mora, M., Farias Mancilla, J. R., & Zaragoza Contreras, E. A. (2013). *Cellulose-Based Polymer Composite with*

- Carbon Black for Tetrahydrofuran Sensing. International Journal of Polymer Science, 2013(1), 381653.*
- Hu, X., Liu, S., Zhou, G., Huang, Y., Xie, Z., & Jing, X. (2014). *Electrospinning of polymeric nanofibers for drug delivery applications. Journal of controlled release, 185, 12-21.*
- ISO 139:2005 - Textiles — Standard Atmospheres for Conditioning and Testing. <https://www.iso.org/standard/35179.html> (Erişim tarihi: 1 Mayıs 2024).
- Ibrahim, M. M., Fahmy, T. Y., Salaheldin, E. I., Mobarak, F., Youssef, M. A., & Mabrook, M. R. (2015). *Role of tosyl cellulose acetate as potential carrier for controlled drug release. Life Science Journal, 10(12), 127-133.*
- İpek, M., & Canpolat, M. F. (2017). *Farklı tipteki toplayıcı plakaların elektrostatik çekim ile elde edilen nanoliflerin morfolojisi üzerine etkilerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(1), 161-170.*
- Joseph, B., Sagarika, V. K., Sabu, C., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2020). *Cellulose nanocomposites: Fabrication and biomedical applications. Journal of Bioresources and Bioproducts, 5(4), 223-237.*
- Kayser, L. V., & Lipomi, D. J. (2019). *Stretchable conductive polymers and composites based on PEDOT and PEDOT: PSS. Advanced Materials, 31(10), 1806133.*
- Khampieng, T., Wnek, G. E., & Supaphol, P. (2014). *Electrospun DOXY-h loaded-poly (acrylic acid) nanofiber mats: In vitro drug release and antibacterial properties investigation. Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 25(12), 1292-1305.*
- Kırcı, H., Ateş, S., & Akgül, M. (2002). *Selüloz Türevleri ve Kullanım Yerleri, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, 119-130.*
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). *Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. Angewandte chemie international edition, 44(22), 3358-3393.*
- Lannutti, J., Reneker, D., Ma, T., Tomasko, D., & Farson, D. (2007). *Electrospinning for tissue engineering scaffolds. Materials Science and Engineering: C, 27(3), 504-509.*
- Li, X., Zhao, T., Wang, K., Yang, Y., Wei, J., Kang, F., ... & Zhu, H. (2011). *Directly drawing self-assembled, porous, and monolithic graphene fiber from chemical vapor deposition grown graphene film and its electrochemical properties. Langmuir, 27(19), 12164-12171.*
- Li, Z., Ma, G., Ge, R., Qin, F., Dong, X., Meng, W., ... & Zhou, Y. (2016). *Free-standing conducting polymer films for high-performance energy devices. Angewandte Chemie International Edition, 55(3), 979-982.*
- Liu, H., & Hsieh, Y. L. (2002). *Ultrafine fibrous cellulose membranes from electrospinning of cellulose acetate. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 40(18), 2119-2129.*
- Liu, Y., Wang, Q., Lu, Y., Deng, H., & Zhou, X. (2020). *Synergistic enhancement of cytotoxicity against cancer cells by incorporation of rectorite into the paclitaxel immobilized cellulose acetate nanofibers. International journal of biological macromolecules, 152, 672-680.*
- Lu, X., Wang, C., & Wei, Y. (2009). *One-dimensional composite nanomaterials: Synthesis by electrospinning and their applications”, Small, 5, 2349-2370.*

- Lyu, C., Zhao, P., Xie, J., Dong, S., Liu, J., & Rao. (2021). *Electrospinning of nanofibrous membrane and its applications in air filtration: A review. Nanomaterials, 11(6), 1501.*
- Manea, L. R., Danu, M. C., & Sandu, I. (2015). *Effect of the applied electric voltage and flow rate on electrospun fibers diameter. Revista de chimie (Bucharest), 66(6), 868-873.*
- Mantione, D., Del Agua, I., Sanchez-Sanchez, A., & Mecerreyes, D. (2017). *Poly (3, 4-ethylenedioxythiophene)(PEDOT) derivatives: Innovative conductive polymers for bioelectronics. Polymers, 9(8), 354.*
- Matabola, K. P., & Moutloali, R. M. (2013). *The influence of electrospinning parameters on the morphology and diameter of poly (vinylidene fluoride) nanofibers-effect of sodium chloride. Journal of Materials Science, 48, 5475-5482.*
- Meechaisue, C., Dubin, R., Supaphol, P., Hoven, V., & Kohn, J. (2006). *Electrospun mat of tyrosine-derived polycarbonate fibers for potential use as tissue scaffolding material. Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 17(9), 1039-1056.*
- Megelski, S., Stephens, J. S., Chase, D. B., & Rabolt, J. F. (2002). *Micro-and nanostructured surface morphology on electrospun polymer fibers. Macromolecules, 35(22), 8456-8466.*
- Nitta, A., Imamura, Y., Kawahara, K., & Takeda, K. (2017). *Examination of treatment methods for a PEDOT: PSS transparent conductive film produced using an inkjet method. Advances in Materials Physics and Chemistry, 7(8), 311-322.*
- Okoye, C. O., Zhu, M., Jones, I., Zhang, J., Zhang, Z., & Zhang, D. (2022). *An investigation into the preparation of carbon black by partial oxidation of spent tyre pyrolysis oil. Waste Management, 137, 110-120.*
- Ouyang, J. (2013). *“Secondary doping” methods to significantly enhance the conductivity of PEDOT: PSS for its application as transparent electrode of optoelectronic devices. Displays, 34(5), 423-436.*
- Pillay, V., Dott, C., Choonara, Y. E., Tyagi, C., Tomar, L., Kumar, P., ... & Ndesendo, V. M. (2013). *A review of the effect of processing variables on the fabrication of electrospun nanofibers for drug delivery applications. Journal of Nanomaterials, 2013(1), 789289.*
- Rafieian, F., Hosseini, M., Jonoobi, M., & Yu, Q. (2018). *Development of hydrophobic nanocellulose-based aerogel via chemical vapor deposition for oil separation for water treatment. Cellulose, 25, 4695-4710.*
- Ramakrishna S., K. Fujihara, W. Teo, T. Lim, Z. Ma. (2005). *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.*
- Ramesh, S., Shanti, R., & Morris, E. (2013). *Characterization of conducting cellulose acetate based polymer electrolytes doped with “green” ionic mixture. Carbohydrate polymers, 91(1), 14-21.*
- Raslan, W., El-Salam, A., El-Thalouth, A., & Kamal, A. K. (2024). *Rendering of Some Properties of Cellulose Acetate Fabric through Treatment with Laser/TiO<sub>2</sub> Nanoparticles in Alcoholic Media. Egyptian Journal of Chemistry, 67(1), 111-123.*
- Ribba, L. G., Cimadoro, J. D., D’Accorso, N. B., & Goyanes, S. N. (2017). *Removal of pollutants using electrospun nanofiber membranes. Industrial applications of renewable biomass products: Past, present and future, 301-324.*

- Romeo, V. (2007). *Preparation and characterization of polymer nanocomposites with new techniques, Doktora Tezi, Universita Degli Studi Di Salerno, İtalya.*
- Rosa, M. J., & De Pinho, M. N. (1997). *Membrane surface characterisation by contact angle measurements using the immersed method. Journal of membrane science, 131(1-2), 167-180.*
- Sali, A., Duzyer Gebizli, S., & Goktalay, G. (2023). *Silymarin-loaded electrospun polycaprolactone nanofibers as wound dressing. Journal of Materials Research, 38(8), 2251-2263.*
- Santos, A., Santon, F., Freitas, K., Pimenta, L., & Andrade, L. (2021). *Cellulose acetate nanofibers loaded with crude annatto extract: Preparation, characterization, and in vivo evaluation for potential wound healing applications, Materials Science and Engineering: C, Volume 118.*
- Shi, H., Liu, C., Jiang, Q., & Xu, J. (2015). *Effective approaches to improve the electrical conductivity of PEDOT: PSS: a review. Advanced Electronic Materials, 1(4), 1500017.*
- Sill, T. J.; Von Recum, H. A. (2008). *Electrospinning: applications in drug delivery and tissue engineering. Biomaterials, 29(13), 1989-2006.*
- Sirin, S., Cetiner, S., & Sarac, A. S. (2013). *Elektro çekim yoluyla polimer nanolifler: nanolif kalitesini etkileyen faktörler, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2), 1-12.*
- Somboonsub, B., Invernale, M. A., Thongyai, S., Praserttham, P., Scola, D. A., & Sotzing, G. A. (2010). *Preparation of the thermally stable conducting polymer PEDOT–Sulfonated poly (imide). Polymer, 51(6), 1231-1236.*
- Sudiarti, T., Wahyuningrum, D., Bundjali, B., & Arcana, I. M. (2017). *Mechanical strength and ionic conductivity of polymer electrolyte membranes prepared from cellulose acetate-lithium perchlorate. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 223, 012052.*
- Sugatri, R. I., Wirasadewa, Y. C., Saputro, K. E., Muslih, E. Y., Ikono, R., & Nasir, M. (2018). *Recycled carbon black from waste of tire industry: thermal study. Microsystem Technologies, 24, 749-755.*
- Taepaiboon, P., Rungsardthong, U., & Supaphol, P. (2007). *Vitamin-loaded electrospun cellulose acetate nanofiber mats as transdermal and dermal therapeutic agents of vitamin A acid and vitamin E, European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 67 (2), 387-397.*
- Tarasova, E., Byzova, A., Savest, N., Viirsalu, M., Gudkova, V., Maertson, T., & Krumme, A. (2015). *Influence of preparation process on morphology and conductivity of carbon black-based electrospun nanofibers. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, 23(8), 695-700.*
- Thavasi, V., Singh, G., & Ramakrishna, S. (2008). *Electrospun nanofibers in energy and environmental applications. Energy & Environmental Science, 1(2), 205-221.*
- Tong, H. W., & Wang, M. (2011). *Electrospinning of poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) fibrous scaffolds for tissue engineering applications: effects of electrospinning parameters and solution properties. Journal of Macromolecular Science, Part B, 50 (8), 1535-1558.*
- Toth, P., Vikström, T., Molinder, R., & Wiinikka, H. (2018). *Structure of carbon black continuously produced from biomass pyrolysis oil. Green Chemistry, 20(17), 3981-3992.*

- Tripatanasuwan, S., Zhong, Z., & Reneker, D. H. (2007). *Effect of evaporation and solidification of the charged jet in electrospinning of poly (ethylene oxide) aqueous solution. Polymer, 48(19), 5742-5746.*
- Türk Standartları Enstitüsü. (1973). *Dokunmuş tekstil mamullerinin eğilme dayanımı tayini (Standart No: TS 1409).*
- Victor, F. S., Kugarajah, V., Bangaru, M., & Dharmalingam, S. (2022). *Carbon black incorporated electrospun nanofibers for air filtration application. Journal of Electrostatics, 119, 103738.*
- Wang, X. Y., Feng, G. Y., Li, M. J., & Ge, M. Q. (2019). *Effect of PEDOT: PSS content on structure and properties of PEDOT: PSS/poly (vinyl alcohol) composite fiber. Polymer Bulletin, 76, 2097-2111.*
- Wei, Q., Mukaida, M., Kirihara, K., Naitoh, Y., & Ishida, T. (2015). *Recent progress on PEDOT-based thermoelectric materials. Materials, 8(2), 732-750.*
- Wu, H., Wang, Z. M., Kumagai, A., & Endo, T. (2019). *Amphiphilic cellulose nanofiber-interwoven graphene aerogel monolith for dyes and silicon oil removal. Composites Science and Technology, 171, 190-198.*
- Yördem, O. S., Papila, M., & Menciloğlu, Y. Z. (2008). *Effects of electrospinning parameters on polyacrylonitrile nanofiber diameter: An investigation by response surface methodology. Materials & design, 29(1), 34-44.*
- Yu, D. G., Branford-White, C., White, K., Chatterton, N. P., Zhu, L. M., Huang, L. Y., & Wang, B. (2011). *A modified coaxial electrospinning for preparing fibers from a high concentration polymer solution. Express Polymer Letters, 5(8), 732-741.*
- Zhang, W., Xu, X., Zhao, X., & Zhou, G. (2002). *Insight into the oil polarity impact on interfacial properties of myofibrillar protein. Food Hydrocolloids, 128, 107563.*
- Zhang, X., Yang, W., Zhang, H., Xie, M., & Duan, X. (2021). *PEDOT: PSS: From conductive polymers to sensors. Nanotechnology and Precision Engineering (NPE), 4, 045004.*
- Zong, X., Kim, K., Fang, D., Ran, S., Hsiao, B. S., & Chu, B. (2002). *Structure and process relationship of electrospun bioabsorbable nanofiber membranes. polymer, 43(16), 4403-4412.*