



T.C.
KAHRAMANMARAŞ STU İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SANAYİ KAYNAKLI DÜŞÜK YOĞUNLUKLU
POLİETİLEN (LDPE) SHRİNK FİLMİ AMBALAJ
ATIKLARINDAN VE AKRİLİK ELYAF
TELEFLERİNDEN ELEKTROSPİNNİNG
YÖNTEMİYLE MEMBRAN ÜRETİMİ**

MUSTAFA KEMAL KELEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SANAYİ KAYNAKLI DÜŞÜK YOĞUNLUKLU
POLİETİLEN (LDPE) SHRİNK FİLMİ AMBALAJ
ATIKLARINDAN VE AKRİLİK ELYAF
TELEFLERİNDEN ELEKTROSPİNNİNG
YÖNTEMİYLE MEMBRAN ÜRETİMİ

MUSTAFA KEMAL KELEŞ

Bu tez,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mustafa Kemal KELEŞ tarafından hazırlanan “SANAYİ KAYNAKLI DÜŞÜK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN (LDPE) SHRİNK FİLMİ AMBALAJ ATIKLARINDAN VE AKRİLİK ELYAF TELEFLERİNDEN ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİYLE MEMBRAN ÜRETİMİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 18/01/2018 tarihinde oy birliği ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yağmur UYSAL (DANIŞMAN)
Çevre Müh.
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Çağatayhan B. ERSÜ (ÜYE)
Çevre Müh.
Çukurova Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hakan MORCALI (ÜYE)
Çevre Müh.
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa Kemal KELEŞ



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No : 2016/6-21 YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**SANAYİ KAYNAKLI DÜŞÜK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN (LDPE) SHRİNK
FİLMİ AMBALAJ ATIKLARINDAN VE AKRİLİK ELYAF TELEFLERİNDEN
ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİYLE MEMBRAN ÜRETİMİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

MUSTAFA KEMAL KELEŞ

ÖZET

1970’li yıllardan itibaren ticari olarak yaygınlaşan Membran filtrasyon prosesleri, son yıllarda gerek atık su ve gerek içme suyu arıtımında birçok farklı tip ve modifikasyonda kullanılmaktadır. Membran teknolojilerinin günümüzde böylesine önem kazanması ve çok tercih edilmesinin yanında yüksek maliyetli oluşu da göz ardı edilemeyecek bir husustur. Bu proseslerin en önemli dezavantajı olan maliyet sorunu, günümüzde bilim insanlarının üzerinde durduğu bir konudur. Bu sebepten dolayı yeni hammadde arayışları ile birlikte, daha az maliyetli üretim teknikleri araştırmacılar tarafından araştırılmaktadır.

Bu çalışmamızın amacı; Sanayi kaynaklı Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE) Shrink Filmi Ambalaj atıklarının ve Akrilik Elyaf teleflerinin değerlendirilmesi suretiyle, elektrospinning cihazında Membran üretilmesidir. Bunun için sanayi kaynaklı temiz LDPE Shrink filmi ambalaj atıkları ve Akrilik Elyaf telefleri çalışmamızda esas hammadde olarak kullanılmıştır. LDPE atıklarının ve Akrilik Elyaf teleflerinin elektrospinning cihazına beslenmesi için solüsyonlar hazırlanmış ve bu hazırlanan solüsyonlar elektrospinning cihazına beslenmiştir. Uygun ortam şartları sağlandıktan sonra, bu solüsyonlardan üretilen liflerin yapıları incelenmiştir. Daha sonra, membran üretimi için, optimizasyon yapılarak en uygun LDPE-Akrilik solüsyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan solüsyondan elektrospinning yöntemiyle elde edilen nanolifler, Polipropilen (PP) nonwoven (dokumasız) destek tabakası üzerine kaplanarak; filtrasyon amacıyla kullanılabilecek bir membran haline getirilmiştir. Daha sonra üretilen membran, gerçek atıksu kullanılarak; karakterizasyon ve filtrasyon performans analizlerine tabi tutulmuştur. Karakterizasyon ve filtrasyon performans analizleri neticesinde, gözlemler ve sonuçlar ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akrilik, Atık, Elektrospinning, LDPE, Membran

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak / 2018

Danışman: Doç. Dr. Yağmur UYSAL

Sayfa sayısı: 72



**MEMBRANE PRODUCTION BY ELECTROSPINNING FROM INDUSTRIAL
LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) SHRINK PACKAGING WASTES
AND ACRYLIC FIBER WASTAGES
(M.Sc. THESIS)**

MUSTAFA KEMAL KELEŞ

ABSTRACT

Since 1970s, The Membrane filtration processes which have become commercially widespread are used in many different types and modification of wastewater and drinking water treatment. Today, in addition to importance and preference of membrane technologies, having high cost is an issue that can't be ignored. The problem of cost which is the most important disadvantage of membrane processes is an issue where researchers focus on it. Because of that reason, researchers investigate less costly production techniques with the searching the new raw material.

The aim of our study is membrane production with evaluation of Industrial Low Density Polyethylene (LDPE) shrink film packaging wastes and Acrylic fiber wastages on the electrospinning device. For that, industrial LDPE shrink film packaging wastes and acrylic fiber wastages were used as bases raw materials on the our study. The applicable solutions have been prepared from LDPE wastes and acrylic wastages to feed on the electrospinning device and these prepared solutions have been fed to electrospinning device. After the suitable environment conditions were provided, fibers that were produced from these solutions have been investigated. Later, for membrane production, most appropriate LDPE-Acrylic solution was prepared by optimization. The obtained nanofibers from prepared solution by electrospinning process have been become into a membrane which can be used for filtration by covering on the PP nonwoven support layer. After, produced membrane's characterization and filtration performance analyzes were carried out by using real waste water. As a result of characterization and filtration performance analysis, observations and results have been discussed in detail.

Key words: Acrylic, Electrospinning, LDPE, Membrane, Waste

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering, January / 2018

Supervisor: Ass. Prof. Dr. Yağmur UYSAL

Page Numbers: 72



TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, bütün çalışma safhalarında yardım ve teşviklerini esirgemeyerek, her zaman yanımda olan Danışmanım Doç. Dr. Yağmur UYSAL Hocama, tezime katkılarda bulunarak, savunma jürime teşrif eden; Yrd. Doç. Dr. Hakan MORCALI ve Doç. Dr. Çağatayhan B. ERSÜ Hocalarıma, bölümümüzden Yrd. Doç. Dr. Yakup CUCİ Hocama, bölüm başkanımız Prof. Dr. Mustafa DOLAZ Hocama, çalışmamızın ilk safhalarında yardımlarını sunan Doç. Dr. Suat ÇETİNER Hocama, ÜSKİM’de laboratuvar çalışmalarında yardımlarını sunan Sayın Mehmet Emrah AKSAN ve Sayın Feridun KOÇER’e, bölümümüzden arkadaşım Sayın Pınar BELİBAĞLI’ya, ısıtma cihazı geliştirilmesinde yardımlarını sunan Sayın Orhan AYKURT’a, bu çalışmayı mali olarak destekleyen; Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi’ne, atık malzemelerin temini noktasında ve daha başka birçok konuda yardımlarını sunan değerli MTM Plastik ailesinden; Sayın Taha MAHSERECİ ve Sayın Savaş MAHSERECİ’ye, Elektrospinning çalışmalarını bünyelerinde tamamladığım INOVENSO firmasına, membran karakterizasyon-filtrasyon analizlerinin bünyelerinde tamamlandığı; İstanbul Teknik Üniversitesi MEM-TEK çalışanlarına, son olarak; maddi-manevi destekleri ile her zaman yanımda olan Canım Aileme bütün içtenliğim ile teşekkürlerimi arz ederim...

Mustafa Kemal KELEŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Tezin Anlam ve Önemi.....	1
1.2.Tezin Özgün Değeri ve Avantajları.....	2
1.3.Tezin Amaç ve Kapsamı.....	3
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1.Polietilen (PE).....	4
2.1.1.Polietilenin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1.1.Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE).....	5
2.1.1.2.Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE).....	5
2.1.1.3.Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen (LLDPE).....	6
2.1.1.4.Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen (VLDPE).....	6
2.1.1.5.Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE).....	7
2.2.Plastik Ambalaj Filmi.....	8
2.2.1.Dünya ve Türkiye’de Plastik Ambalaj Filmi.....	8
2.2.2.LDPE Shrink Ambalaj Filmi.....	11
2.3.Akrilik Elyafı	12
2.4.Membran Teknolojisi.....	13
2.4.1.Membran Tipleri.....	15
2.4.1.1Organik (Polimer) Membranlar.....	17
2.4.1.2 İnorganik Membranlar.....	20
2.4.2.Membran Üretim Teknikleri.....	20
2.5.Elektrospinning Prosesi.....	21
2.5.1.Elektrospinning Prosesinin Tarihsel Gelişimi.....	21
2.5.2.Elektrospinning Prosesinin Çalışması.....	23
2.5.2.1.Jet Oluşumu.....	24
2.5.2.2.Dengesizlik Eğilimi.....	25
2.5.3.Polimerik Nanofiberlerin Yapı ve Morfolojisi.....	26
2.5.3.1.Proses Parametreleri ve Fiber Morfolojisi.....	27
2.5.3.2.Solüsyon Parametreleri ve Fiber Morfolojisi.....	28

3.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	29
3.1 PE Kullanılarak Yapılan Elektrospinning Çalışmaları.....	29
3.2 Elektrospinning ile Üretilen Nanofiberlerin Uygulamaları.....	33
3.2.1.1 Mikrofiltrasyon (MF) Uygulamaları.....	36
3.2.1.2 Ultrafiltrasyon (UF) Uygulamaları.....	37
3.2.1.3 Diğer filtrasyon Uygulamaları.....	38
4.MATERYAL METOT.....	40
4.1 Elektrospinning İçin Kullanılan Materyaller ve Kimyasallar.....	40
4.2 Elektrospinning İçin Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar.....	40
4.3 Elektrospinning İşlemi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	43
4.3.1.LDPE Ambalaj Atıkları ile Elektrospinning İşlemi.....	43
4.3.2.LDPE ile Akrilik Elyaf Teleflerinin Birlikte Elektrospinning İşlemi.....	47
4.4 Membran Üretimi İçin Elektrospinning İşleminde Yapılan Optimizasyon.....	51
4.5. Membran Karakterizasyon Analizleri.....	53
4.5.1.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	53
4.5.2. Membran Por Çapı ve Dağılımı Analizi.....	54
4.5.3. Temas Açısı Ölçümü.....	54
4.6. Membran Performans Analizleri.....	55
4.6.1.Filtrasyon Düzenegi.....	55
4.6.2.Membran Akı Hesabı	56
4.6.3.Filtrasyonda Kullanılan Atıksu.....	57
4.6.4. Toplam Organik Karbon (TOC) Analizi.....	57
4.6.5. UV Spektrofotometre Hazır Kit Analizleri.....	58
5.KARAKTERİZASYON VE PERFORMANS SONUÇLARI.....	59
5.1.Karakterizasyon Sonuçları.....	59
5.1.1.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları	59
5.1.2. Membran Por Çapı ve Dağılımı Analizi Sonuçları	60
5.1.3. Temas Açısı Ölçüm Sonuçları.....	61
5.2.Performans Sonuçları	61
5.2.1.İşletim Koşulları ve Akı Değeri	61
5.2.2.Renk Giderimi	61
5.2.3 MLSS Giderimi	62
5.2.4. Toplam Organik Karbon (TOC) Giderimi	62
5.2.5. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (COD) Giderimi.....	62
5.2.6. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOD) Giderimi.....	62
5.2.7. Nitrat Azotu Giderimi	63
5.2.8. Toplam Nitrojen Giderimi	63
5.2.9. Fosfat Giderimi.....	63
5.2.10. Karakterizasyon ve Performans Sonuçlarının Birlikte Gösterimi	64
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	66
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	72

Şekil 2.1. Polietilenin (PE) Kimyasal Yapısı	4
Şekil 2.2. Yüksek Yoğunluklu Polietilenin (HDPE) Yapısı.....	5
Şekil 2.3. Düşük Yoğunluklu Polietilenin (LDPE) Yapısı.....	6
Şekil 2.4. Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilenin (LLDPE) Yapısı	6
Şekil 2.5. Çok Düşük Yoğunluklu Polietilenin (VLDPE) Yapısı	6
Şekil 2.6. Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilenin (UHMWPE)	7
Şekil 2.7. LDPE Shrink Ambalaj Filmi.....	11
Şekil 2.8. Akrilik Asidi ve Akrilonitrilin Kimyasal Yapısı.....	12
Şekil 2.9. Membran Ayırma Prosesi.....	13
Şekil 2.10.Başlıca Membran Tiplerinin Şematik Gösterimi	15
Şekil 2.11.Elektrospinning Prosesinin Genel Şeması.....	23
Şekil 2.12.Taylor Konisi ve Jet Oluşumu.....	25
Şekil 2.13.Elektrospinning’de Stabil ve Whipping Kararsızlık Bölgelerin Görüntüsü.....	26
Şekil 3.1. Parafin Solüsyonunda %1 HDPE Kullanılarak Oluşan Liflerinin Yapısı.....	30
Şekil 3.2. Kaulder ‘in Çalışmasında LLDPE Liflerinin SEM görüntüsü	31
Şekil 3.3. Givens ve diğ. tarafından oluşturulan LLDPE liflerinin FESEM görüntüsü	31
Şekil 3.4. Rein ve ark. Hazırlamış Oldukları Elektrospinning Düzenegi.....	32
Şekil 3.5. Ağırlıkça Farklı Konsantrasyonlardaki UHMWPE'nin Nanolif Görüntüleri.....	33
Şekil 3.6. Alınan Patentlere Göre Elektrospinning Nanofiberlerinin Dağılımı.....	34
Şekil 3.7. Polimer nanofiberlerin uygulama alanları	34
Şekil 3.8. Fiber Çapındaki Azalma ile Bir Filtrenin Veriminin Artması	35
Şekil 3.9.a. Filtrasyon Öncesi Nanofiber Membranın SEM Görüntüsü.....	37
Şekil 3.9.b. Filtrasyon Sonrasında Nanofiber Membranın SEM Görüntüsü	37
Şekil 3.10.a. UF TFC Elektrospinning Nanofiber Membranın Şematik Yapısı (solda).....	38
Şekil 3.10.b. PVA Alt Tabakasının SEM Görüntüsü (sağda)	38
Şekil 3.11.a.Gümüş Nanopartiküller İçeren Nanofiberlerin SEM Görüntüsü.....	39
Şekil 3.11.b.Yüzeyinde Gümüş Nanopartiküller İçeren Tek Bir Fiberin TEM görüntüsü .	39
Şekil 4.1. Isıtıcı Şırınga Aparatı ve Şırınga Pompası	41
Şekil 4.2. Inovenso NE300 Elektorspinning Cihazı	41
Şekil 4.3. Inovenso Semoscope SEM Cihazı	42
Şekil 4.4. Elektrospinning İşlemi Sırasında Şırınga Ucunda Solüsyonun Donması	44
Şekil 4.5. LDPE İçin Ortam Isıtmalı Elektrospinning Düzenegi	45
Şekil 4.6. Şırınga Ucunda Elektriksel Kuvvetlerin Etkisiyle Jet Oluşumu	46
Şekil 4.7. LDPE’nin Elektrospinning’i Neticesinde Oluşan Boncuklu Yapılar.....	46
Şekil 4.8. LDPE-Elyaf solüsyonunun Elektrospinning işlemi	48
Şekil 4.9. Hacimce 1:2 Oranındaki LDPE-Elyaf solüsyonunun SEM görüntüleri	49
Şekil 4.10.Hacimce 1:3 Oranındaki LDPE-Elyaf solüsyonunun SEM görüntüleri	50
Şekil 4.11.Optimizasyon Sonrası Üçlü İğne İle Yapılan Elektrospinning İşlemi	51
Şekil 4.12. PP Destek Tabakası ve LDPE-Elyaf Nanoliflerinden Üretilen Membran	52
Şekil 4.13. Au-Pt Kaplama ve SEM Cihazı.....	53
Şekil 4.14. Quantachrome Porometer 3G Por Çapı Analiz Cihazı.....	54
Şekil 4.15. Temas Açısı Ölçüm Cihazı.....	55
Şekil 4.16. Sterlitech Filtrasyon Düzenegi	56
Şekil 4.17. Toplam Organik Karbon (TOC) Analiz Cihazı.....	57
Şekil 4.18. Hach-Lange DR5000 Marka Spektrofotometre Cihazı.....	58
Şekil 5.1 LDPE-Elyaf Membranına ait SEM görüntüleri.....	59
Şekil 5.2.LDPE-Elyaf Membranı Por Çapı Dağılımı	60
Şekil 5.3.Atıksuyun Filtrasyon Öncesi ve Sonrasına Ait Görüntüsü	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1.Başlıca Ülkelerin Ambalaj Üretimi.....	8
Çizelge 2.2.Dünya'da Ürünler Bazında Plastik Ambalaj Ürünlerinin İthalatı.....	9
Çizelge 2.3.Dünya'da Ürünler Bazında Plastik Ambalaj Ürünlerinin İhracatı.....	9
Çizelge 2.4.Türkiye'de Plastik Ambalaj Malzemeleri İthalatı (1000 ton).....	10
Çizelge 2.5.Türkiye'de Plastik Ambalaj Malzemeleri İhracatı (1000 ton).....	10
Çizelge 2.6. Türkiye'de Plastik Ambalaj Üretim Kapasitesi	10
Çizelge 2.7. Gözenek Boyutlarına Göre Membranlar	16
Çizelge 2.8. Polimerik Materyallerin Membran Proseslerinde Kullanımları.....	19
Çizelge 2.9. Elektrospinning'de Fiber Morfolojisinde etkili olan Parametreler ve Etkileri.....	29
Çizelge 4.1. Kullanılan Materyaller ve Kimyasallar	40
Çizelge 4.2. Elektrospinning İşlemi Kullanılan Cihazlar	42
Çizelge 4.3. LDPE İçin Hazırlanan Solüsyonlar ve Elektrospinning Gözlemleri	43
Çizelge 4.4. LDPE İçin Ortam Isıtmalı Elektrospinning İşlemi ve Gözlem	47
Çizelge 4.5. LDPE – Elyaf telefi Karışımları ve Gözlem	47
Çizelge 4.6. LDPE – Elyaf telefi Karışımlarının Elektrospinning Sonuçları ve Gözlem ...	48
Çizelge 4.7. Optimizasyon Sonrası Elektrospinning İşlem Parametreleri ve Gözlem.....	52
Çizelge 4.8. Sterlitech Filtrasyon Düzeneği Teknik Özellikleri.....	55
Çizelge 4.9. Atıksu Numunesi Kirlilik Parametreleri.....	57
Çizelge 5.1. LDPE-Elyaf Membranın Por Çapı Analiz Değerleri	60
Çizelge 5.2. Temas Açısı Ölçümleri.....	61
Çizelge 5.3. Filtrasyon İşletme Koşulları ve Akı Değeri	61
Çizelge 5.4. Renk Giderimi.....	61
Çizelge 5.5. MLSS Giderimi.....	62
Çizelge 5.6. TOC Giderimi.....	62
Çizelge 5.7. KOİ Giderimi.....	62
Çizelge 5.8. BOİ Giderimi.....	62
Çizelge 5.9. Nitrat Azotu Giderimi.....	63
Çizelge 5.10. Toplam Nitrojen giderimi.....	63
Çizelge 5.11. Fosfat giderimi.....	63
Çizelge 5.12. LDPE-Elyaf Membranın Karakteristik Değerleri	64
Çizelge 5.13. Performans Sonuçlarının Birlikte Gösterimi	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

PE	: Polietilen
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen (Low Density Polyethylene)
PP	: Polipropilen
PAN	: Poliakrilonitril
DMF	: Dimetilformamid
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopi
MF	: Mikrofiltrasyon
UF	: Ultrafiltrasyon

1.GİRİŞ

1.1. Tezin Anlam ve Önemi

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte artan hammadde arayışı neticesinde, endüstriyel atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi suretiyle yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Atık materyallerin yeniden değerlendirilmesi sayesinde birçok fayda sağlandığı herkesçe bilinmektedir. Gerek çevreye gerek ekonomik hayata katkı sağlayan bu değerlendirme işlemleri, bilim insanlarının üzerinde en çok durdukları konuların başında gelmektedir.

İnsanoğlunun sürekli tüketim halinde olması nedeniyle, devamlı atık malzeme oluşturması kaçınılmaz bir durumdur. Oluşturduğumuz evsel atıkların yanında, oluşturduğumuz diğer atıkların muhtevası oldukça genişlik arz etmektedir. Bilhassa yaygın bir şekilde tükettiğimiz her türlü gıdadan eşyaya kadar, birçok ürününün kullanımı neticesinde oluşturduğumuz ambalaj atıkları oldukça önem arz etmektedir. Bundan dolayı hali hazırda şehirlerimizde ambalaj atıkları ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığına şahit oluyoruz. Aynı şekilde sanayi kaynaklı ambalaj ve üretim faaliyetleri esnasında oluşan tehlikesiz atıklar, günümüzde değerlendirilmekte ve bununla birlikte geri kazanımları sayesinde yeni hammadde kaynakları olarak kullanılmaktadırlar.

Son yıllarda bilhassa sanayiden kaynaklanan atıklar, bilim insanları tarafından önemsenmekte ve değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Oldukça farkı atık türleri ihtiva eden sanayi kaynaklı atıklar; günümüzde birçok geri kazanım, toplama-ayırma tesisi tarafından işlenmekte ve hammadde olarak piyasaya yeniden sürülmektedir. Son yıllarda Organize Sanayi Bölgelerinde bulunan Lisanslı Geri Kazanım Tesislerinin sayılarının giderek artması bunun en açık delillerindendir. Yeniden kullanıma hazır hale gelen bu atıklar, kendi oluştukları sektörlerde kullanılmasının yanında, bazen farklı sektörlerde de kullanılabilir. Bu yüzden sanayi kaynaklı atıklar, kendi sektöründe olmasa bile hiç alakası olmayan başka bir sektörde mutlaka bir fayda verdiği defalarca kanıtlanmıştır. Bunun farkına varan bilim insanları -bilhassa gelişmiş ülkelerde- sanayi kaynaklı her türlü atığı muntazam bir şekilde incelemekte, takip etmekte ve değerlendirmektedir.

Çalışmamıza esas teşkil eden atık materyalimiz de, böyle bir amaca hizmet etmek amacıyla değerlendirilerek; günümüzde maliyetli ve zor prosesler yardımıyla üretilmekte olan, çevre teknolojilerinde kullanılan membran teknolojileri için hammadde olarak kullanımı incelenecektir.

1.2. Tezin Özgün Değeri ve Avantajları

Membran filtrasyon prosesleri son yıllarda yaygın kullanımları ile birlikte birçok farklı alanda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanında bir çok farklı tip ve fonksiyonda üretilen membranlar, içme suyu ve atık su arıtımında yüksek giderim verimleri ile farklı sektörlerde 1970'lerden beri kullanıla gelmektedir. Membran filtrasyon proseslerin sağladığı tüm faydaların yanında en büyük dezavantajı, üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Birçok farklı materyalden üretilen membranlar, aynı şekilde birçok farklı üretim tekniği ile kullanılacağı amaca göre üretilmektedir. Üretimlerinde kullanılan hammaddelerin -bilhassa polimer hammaddelerin- pahalı oluşu, bizim çalışmamıza ayrı bir değer katmaktadır. Çalışmamız sayesinde atık bir malzemenin hammadde olarak doğrudan kullanılacak olması, üretim maliyetini doğrudan düşürecek bir etkidir.

Çalışmamızın özgün değerini ve avantajlarını amaçları ile şöyle sıralayabiliriz:

- LDPE Shrink Filmi Ambalaj atıklarının ve Akrilik Elyaf teleflerinin Membran üretiminde kullanılması ile birlikte; çevre açısından atık malzeme değerlendirilmesi sağlanarak, ülke ekonomisine ve çevreye katkı sağlamak;
- Atık hammaddenin kullanımı sayesinde, üretim tekniklerinde orjinal hammadde polimeri kullanılan membran üretim süreçlerinde üretim maliyetini düşürmek;
- LDPE Shrink Ambalaj atıkları ve Akrilik elyaf telefleri için yeni bir kullanım sahası açılmasına katkı sağlamak;
- Ülkemizde birçok alanda kullanılan membran proseslerin üretimlerinin maliyetli olmasından dolayı, bu prosesler büyük oranda dışarıdan ithal edilmektedir. Çalışmamız sayesinde, ucuz hammadde kaynağı ile düşük maliyetli membran üretimini sağlanmak;
- Özetle projemiz; gerek atık değerlendirme unsurunu içermesi bakımından çevreci, gerekse membran üretim maliyetini minimize etmesi bakımından ekonomiktir. Ayrıca bu alanda ilklerden olup; atık/telef materyal ile çalışılacak bir konu olmasından dolayı, membran filtrasyon proseslerinde özgün bir proje olarak yerini alacaktır.

1.3. Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmamızın amacı; sanayiden kaynaklanan LDPE Shrink Filmi Ambalaj atıklarının ve Akrilik elyaf teleflerinin değerlendirilmek suretiyle, elektrospinning cihazı kullanılarak, nanofiber membran üretiminin sağlanmasıdır. Böylece membran üretiminde hammadde olarak bugüne kadar kullanıla gelen polimer hammaddelere alternatif olarak, atık/telef malzeme, hammadde olarak değerlendirilmiş olacaktır. Elektrospinning neticesinde elde edilen LDPE/Elyaf nanolifleri, PP nonwoven destek tabakası ile birlikte membranın esas yapısını teşkil edecektir. Daha sonra bu membran, laboratuvar ortamına alınarak; karakterizasyon ve de gerçek atık su ile filtrasyon analizlerine tabi tutulacaktır. Tez çalışmamız aşağıdaki bölümleri kapsamaktadır:

Birinci bölümde, çalışmanın anlam ve önemi vurgulanmış, özgün değerinden, avantajlarından, amaç ve kapsamından bahis edilmiştir.

İkinci bölümde, literatür araştırması yapılmış; Polietilen (PE) ve türlerinden bahis edilmiştir. Ardından LDPE Shrink filmi ambalaj atıklarından ve Akrilik elyafından bahis edilmiştir. Daha sonra membran filtrasyon prosesleri hakkında literatür bilgisi verilmiş, kullanılan hammadde polimerlerinden ve kısa bir şekilde genel üretim tekniklerinden bahis edilmiştir. Son olarak Electrospinning yönteminden bahis edilmiş ve tafsilatlı bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, önceki çalışmalardan bahis edilmiş ve çalışmamızı ilgilendiren kısımları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmamızın materyal-metot bilgileri verilmiş; LDPE Shrink filmi ambalaj atıkları ve Akrilik Elyaf telefleri ile Electrospinning cihazındaki çalışmalarımızdan, gözlemlerimizden, liflerin yapılarından ve membran üretiminden bahis edilmiştir. Ardından membran karakterizasyon ve performans analizlerinden bahis edilmiştir.

Beşinci bölümde, membran karakterizasyon ve filtrasyon performans analizlerinin sonuçlarından bahis edilmiştir. Son olarak altıncı bölümde ise, tüm sonuçlar ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

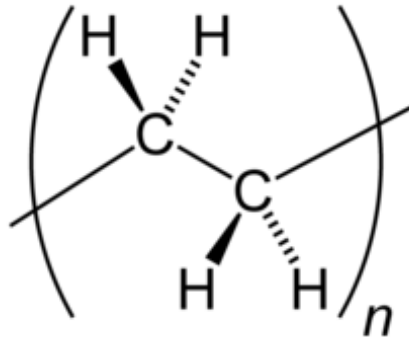
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Polietilen (PE)

Polietilen ilk olarak 1898 yılında Alman kimyager Hans von Pechmann tarafından, başka deneyler yaparken tesadüfen elde edilmiş ve ürüne ‘polimetilen’ adı verilmiştir. Polietilenin yüksek basınçta endüstriyel olarak üretimi pek çok aşamadan sonra ancak 1939 yılında gerçekleştirilebilmiştir. [1]

Etilenin daha düşük basınçlar ve sıcaklıklarda farklı katalizörlerle polimerizasyon çalışmaları Robert Banks ve J. Paul Hogan ve Karl Ziegler ile sürdürüldü ve 1957’de yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) üretimi yapılmaya başlandı. Ziegler katalizörü üzerinde çalışmalarla 1976 Walter Kaminsky ve Hansjörg Sinn tarafından metallocene katalizörlerinin elde edilmesi sağlandı. The Ziegler- ve metallocene-bazlı katalizör ailesi, etilenin diğer olefinlerle kopolimerizasyonun gerçekleşmesini sağlamıştır. Böylece günümüzde kullanılan çeşitli polietilen türleri üretilebilmektedir. [1]

Polietilen süt beyazı, kokusuz, kararlı, yarı şeffaf ve kimyasal maddelere dayanıklı bir termoplastiktir; etilenin polimerizasyonu ile üretilir. Polimerizasyon işlemi, uygulanan prosese ve katalizörlere göre radikal, anyonik veya katyonik mekanizma üzerinden yürür; elde edilen polimerler birbirinden farklı özellikler gösterir. Polietilen bir katılma polimeridir. Etilen, polimerleşmeyi başlatıcı bir katalizör ile polimerleşir ve polietilen oluşur. Şekil 2.1’de PE’nin kimyasal yapısı verilmiştir. [1]



Şekil 2.1. Polietilenin (PE) Kimyasal Yapısı [2]

2.1.1. Polietilenin Sınıflandırılması

Polietilen yoğunluğa ve dallanma yapısına bağlı olarak birkaç farklı kategoride sınıflandırılır. Polietilenin mekanik özellikleri önemli ölçüde molekül ağırlığına, dallanmanın yapısına-derecesine ve kristal yapısına bağlıdır. Dallanmalar ve diğer kusurlar katı durumdaki Polietilenin kristallik seviyesini kısıtlar. Daha az kusurlu zincirler kristalliğin daha yüksek bir derecesine sahiptir. Bugünün ticari Polietilenleri; Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE), Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE), Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen (LLDPE), Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen (VLDPE) ve Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen(UHMWPE) olarak adlandırılmaktadır. [2]

2.1.1.1. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)

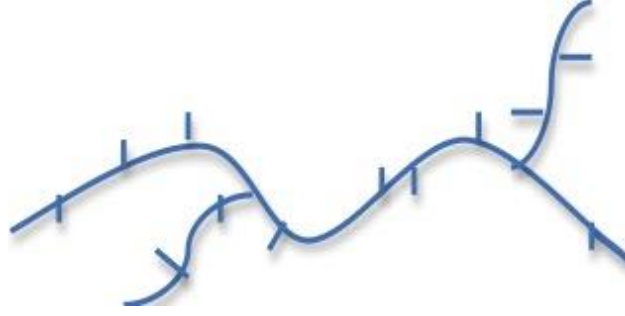
HDPE, lineer yapısını bozan çok az kusurla birlikte büyük ölçüde dalsız bir yapıdan oluşmaktadır. HDPE'nin yoğunluğu $0.940-0.970 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Karbon zinciri üzerindeki dallanmalar yok denecek kadar az olduğu için kristalin (veya yarı kristalin) bir polimerdir. Dolayısıyla polimerin gerilme ve moleküler kuvvetleri yüksektir. Yapısal özellikleri HDPE'nin daha sıkı, sert ve kuvvetli olmasını sağlar. Kullanım alanları arasında; şişe, kova, sürahi, oyuncak, borular, brandalar, vs. sayılabilir. HDPE'nin kimyasal yapısı Şekil 2.2' de gösterilmiştir. [1,2]



Şekil 2.2. HDPE'nin yapısı

2.1.1.2. Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)

LDPE, polimer zincirinde fazlaca ve uzun dallanma yapısına sahip amorf yapıda bir Polietilendir. Yoğunluğu $0.910-0.930 \text{ g/cm}^3$ arasında değişir. Amorf yapıda olduğu için esnek ve kopmaya karşı çok dirençlidir. Moleküler arası kuvvetler zayıf ve dipol etkileşimi düşüktür. Bu özellikler polimerin gerilme kuvvetini düşürür ve yumuşaklığını/çekilebilirliğini yükseltir. LDPE, en çok kullanılan ucuz bir plastik türüdür. Karşımıza; naylon, poşet, streç, shrink naylonu, film, çeşitli ambalaj torbaları, gıda paketleri vs. gibi malzemelerde sıkça çıkmaktadır. Bu yüzden en çok ambalajlamada kullanılan bir polimer türüdür. Kimyasal yapısı Şekil 2.3'de gösterilmiştir. [1,2]



Şekil 2.3. LDPE'nin yapısı

2.1.1.3. Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen (LLDPE)

LLDPE, yoğunluğu 0.916-0.930 arasında olan doğrusal yapıda bir polimerdir. Yapısında kısa dallanmalar vardır. Gerilme kuvveti ve darbeye dayanıklılığı LDPE'den daha yüksektir. LLDPE, Etilenin 1-Alkenlerle kopolimerizasyonu ile elde edilir. LLDPE; paketlemede, kablo kılıflamada, konteyner, boru, oyuncak, çöp sepeti, bazı giysiler ve çanta gibi malzemelerin üretiminde kullanılır. Şeffaf ve esnek olması nedeniyle özellikle film üretiminde tercih edilen bir üründür. LLDPE'nin genel yapısı Şekil 2.4'de verilmiştir. [1,2]



Şekil 2.4. LLDPE'nin kimyasal yapısı

2.1.1.4. Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen (VLDPE)

VLDPE, metallocene katalizörlerle üretilen ve yoğunluğu 0.880-0.915 g/cm³ aralığında olan çok miktarda kısa dallanmalı, önemli derecede doğrusal bir Polietilen türüdür. Kullanım alanları arasında; hortum, dondurulmuş gıda paketleri, streç film ve diğer polimerlerle karşılaştırılarak darbe modifier malzemeler sayılabilir. Genel yapısı Şekil 2.5'de verilmiştir. [1,2]

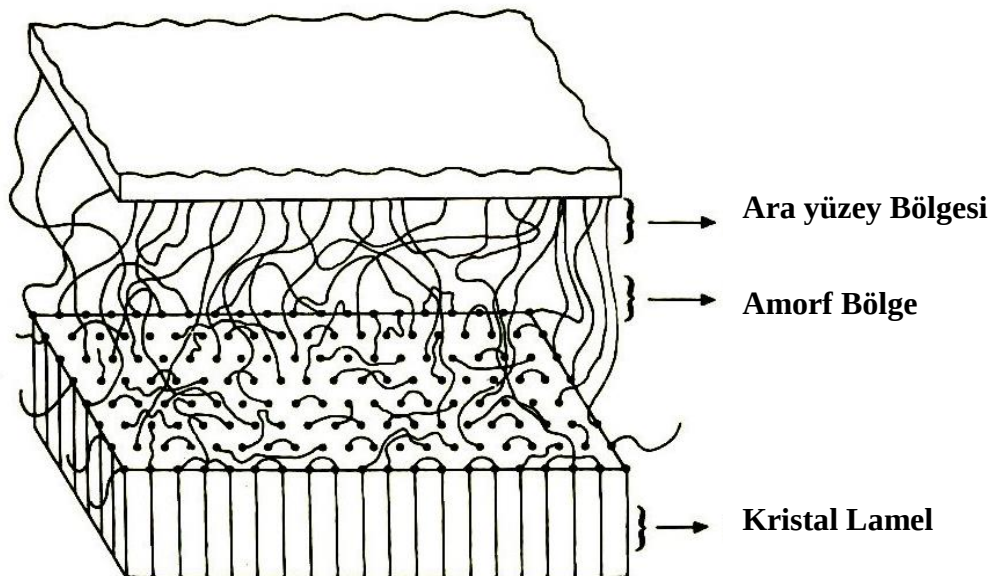


Şekil 2.5. VLDPE'nin kimyasal yapısı

2.1.1.5. Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE)

UHMWPE, yoğunluğu $0.930-0.935 \text{ cm}^3$ arasında değişen ve molekül ağırlığı milyonlar seviyesini bulan (2-6 milyon) bir polietilen türüdür. Yüksek molekül ağırlıklarının anlamı polimer zincirlerinin kristal yapı içinde çok sıkı bir biçimde yerleştiği veya paketlenmiştir. Çok sert bir polimerdir ve termoplastikler içerisinde en yüksek darbe dayanımına sahiptir. Kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Nem absorpsiyonu ve sürtünme katsayısı çok düşüktür. Aşınmaya karşı, karbon çeliğinden 15 kat daha dirençlidir. UHMWPE; kokusuz, tatsız ve zehirli etkisi yoktur. Üretimde genellikle metallocene katalizörler kullanılır. Toz halinde elde edilir; toz levha, tabaka veya çubuklar şeklinde pazarlanır. Aşınma ve darbeye dayanıklı olduğundan doğrudan kalıplanabilir veya şekillendirilebilir.

UHMWPE, ticari olarak ilk defa 1950 yılında Ruhrchemie AG tarafından üretilmiştir. Kullanım alanları; otomotiv, dokuma makineleri hareketli parçaları, yataklar, dişliler, borular, bağlantı parçaları, tıpta kalça veya diz bağlantı implantı ve kurşun geçirmez yelek üretimi sayılabilir. Şekil 2.6'da UHMWPE'nin yapısı verilmiştir. [1]



Şekil 2.6. UHMWPE'nin genel yapısı [3]

2.2. Plastik Ambalaj Filmi

2.2.1. Dünya ve Türkiye’de Plastik Ambalaj Filmi

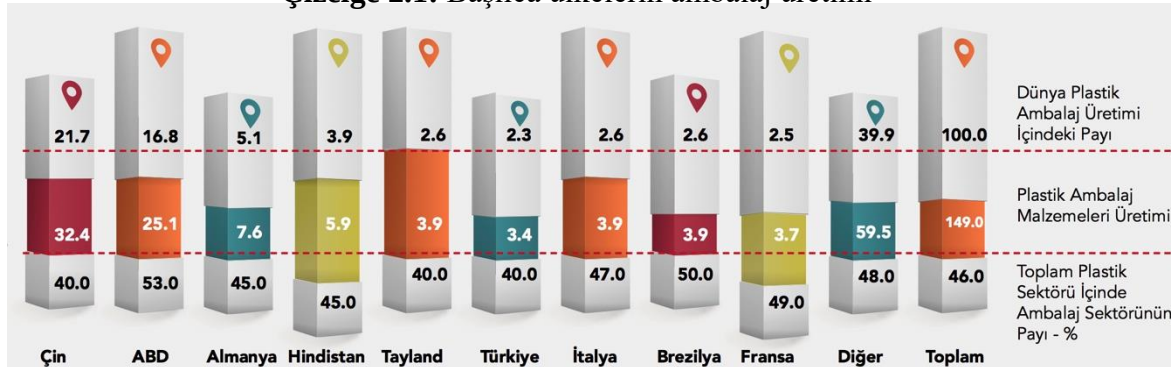
Dünya ambalaj sanayii çok geniş ve büyük bir endüstri kolu olup, plastik ambalaj sanayii de ülkelerin ekonomileri içinde önemli bir yere sahiptir. Plastik sanayinin hızlı gelişimine paralel olarak plastik ambalajlar günlük hayatımızın temel bir parçası haline gelmiştir. Bu başarının temel anahtarı, plastiklerin değerli kaynakları en iyi biçimde muhafaza etme kabiliyetleri ve düşük ağırlıklarının bir sonucu olarak maliyet tasarrufu sağlamalarından kaynaklanmaktadır. [4]

Plastikler yenilikçi teknolojiler sayesinde giderek daha sofistike, hafif ve çok yönlü bir hale gelmiş ve pek çok alanda cam ve kağıt gibi geleneksel ambalajların yerini almıştır. Daha önceleri, kağıt, cam ve ahşap gibi klasik ambalaj malzemelerine ilaveten, selüloz asetat ve selofan saydam selüloz film gibi dönüştürülmüş doğal malzeme filmleri kullanılmakta iken, plastik ambalajlar, 1950’li yıllarda polietilenin piyasaya sürülmesi ile yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Polistiren, polipropilen, PVC, polyester ve polietilen kopolimerlerin geliştirilmesi ile plastik kullanımındaki hızlı artış başlamıştır. [4]

2015 yılı itibariyle hemen hemen tüm ülkelerde plastik ambalaj tüketiminin toplam plastik mamul üretim ve tüketimi içindeki payı % 40’ın üzerindedir. Gelişmiş ülkelere tüm ürünlerin üçte birinden fazlası plastik ile ambalajlanmakta ve böylece bu malzemeler, kağıt ve mukavvadan sonra, en büyük pazar payına sahip olmaktadır. [4]

Dünya toplam plastik ambalaj mamulleri üretiminin % 90’ı yıllık üretim kapasitesi 1 milyon tonu geçen 10 ülke tarafından gerçekleştirilmekte olup, üretimin % 39’u Çin ve ABD tarafından gerçekleştirilmektedir. Türkiye, 2015 yılında plastik ambalaj mamullerinde 3,4 milyon tonluk üretimle dünya toplam üretiminden % 2,3 pay almıştır. Çizelge 2.1.’de Başlıca ülkelerin ambalaj üretimleri verilmiştir. [4]

Çizelge 2.1: Başlıca ülkelerin ambalaj üretimi



Dünya’da plastik ambalaj malzemeleri içerisinde ithalat bakımından en çok hacme sahip olanı plastik film ambalajları vb. malzemeler olmuştur (Çizelge 2.2). Dünya’da aynı şekilde plastik ambalaj malzemeleri ihracatına baktığımızda, plastik film ambalajlarını ilk sırada görmekteyiz (Çizelge 2.3). [4]

Çizelge 2.2: Dünya'da ürünler bazında plastik ambalaj ürünlerinin ithalatı

GTIP	GTIP AÇIKLAMA	M.Ton	Mil \$	%- Ton	%-\$
392010	Plastikten film vb; polietilenden	4.7	15.1	12.0	9.7
392190	Diğer katılma polimerizasyonu ürünlerinden levha, yaprak, film vb (gözeneksiz)	3.4	14.5	8.6	9.3
391990	Yapışkan levha,plaka,bant,şerit,film,folye; Diğerlerinden	1.9	15.1	12.0	9,7
392321	Tüm sıvılar için torbalar (külahlar dahil); etilen polimerlerinden	3.8	15.1	12.0	9,7
392310	Plastikten kutular, kasalar, sandıklar vb. eşya	3.8	15.1	12.0	9,7
392020	Plastik diğer plaka, levha, film vb; etilen polimerlerinden	3.0	15.1	12.0	9,7
392330	Damacanalar, şişeler, mataralar vb eşya	2.3	15.1	12.0	9,7
392062	PET'den film (esnek manyetik disklerin imali için 72mikrometre	1.9	15.1	12.0	9,7
392350	Şişeler için kapak ve kapsüller	1.6	15.1	12.0	9,7
392390	Plastik eşya taşınması veya ambalajlanmasına mahsus malzemeler	1.9	15.1	12.0	9,7
	10 Malzeme Toplamı	28.1	15.1	12.0	9,7
	Diğer malzemeler	10.6	15.1	12.0	9,7
	TOPLAM	38.7	156.1	100	100

Çizelge 2.3: Dünya'da ürünler bazında plastik ambalaj ürünlerinin ihracatı

GTIP	GTIP AÇIKLAMA	M.Ton	Mil \$	%- Ton	%-\$
392010	Plastikten film vb; polietilenden	4.9	15,7	13,2	9.9
392190	Diğer katılma polimerizasyonu ürünlerinden levha, yaprak, film vb (gözeneksiz)	2.9	15.0	5.3	9.4
391990	Yapışkan levha,plaka,bant,şerit,film,folye; Diğerlerinden	2.0	15,3	7.8	9,6
392321	Tüm sıvılar için torbalar (külahlar dahil); etilen polimerlerinden	4.1	11.4	10.9	7.2
392310	Plastikten kutular, kasalar, sandıklar vb. eşya	3.5	12.1	8.2	7.6
392020	Plastik diğer plaka, levha, film vb; etilen polimerlerinden	3.1	10,7	5.9	6.7
392330	Damacanalar, şişeler, mataralar vb eşya	2.2	8.7	3.6	5.5
392062	PET'den film (esnek manyetik disklerin imali için 72mikrometre	1.4	7.9	5.1	5.0
392350	Şişeler için kapak ve kapsüller	1.9	7,0	4.7	5.0
392390	Plastik eşya taşınması veya ambalajlanmasına mahsus malzemeler	1.7	7,0	74.0	70.5
	10 Malzeme Toplamı	27.6	111,6	26.0	29.5
	Diğer malzemeler	9.7	46,8	100	100
	TOPLAM	37.3	158,3	100	100

Türkiye’de 2016 yılı ve 2017 yılın ilk 6 ayına ait ithalat ve ihracat verilerine bakıldığında zaman, plastik film ambalajlarının diğer plastik ambalajları içerisinde daha fazla bir hacme sahip olduğu açıkça görülmektedir (Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5). [5]

Çizelge 2.4: Türkiye’de plastik ambalaj malzemeleri ithalatı (1000 ton)

GTİP NO	2016	2017/6
3919	58	29
3920 *	249	131
3921	64	32
3923	61	33
Toplam	431	226

* Plastik film ambalajları vb. malzemeler

Çizelge 2.5: Türkiye’de plastik ambalaj malzemeleri ihracatı (1000 ton)

GTİP NO	2016	2017/6
3919	20	9
3920 *	369	185
3921	140	69
3923	335	179
Toplam	864	443

* Plastik film ambalajları vb. malzemeler

Türkiye’de üretim bazında plastik ambalaj atıklarına baktığımızda ise plastik film ambalajlarının toplam üretimde % 10’luk bir hacme sahip olduğunu görmekteyiz (Çizelge 2.6). [5]

Çizelge 2.6: Türkiye’de plastik ambalaj üretim kapasitesi

Mamuller	Firma Sayısı	TON
Plastik Film	205	200,639
Levha	137	128,243
Şişe ve Kapları	235	86,589
Muhafaza Kapları	543	279,737
Ambalajlık Torbalar	734	493,000
TOPLAM	1,854	1,188,208

2.2.2. LDPE Shrink Ambalaj Filmi

Şekil 2.7’de görüleceği üzere Shrink ambalaj filmi, üretilen ürünlerin en sağlam şekilde tüketici veya kullanıcıya ulaşmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir tür koruyucu ambalajdır. Shrink naylonu olarak da bilinmektedir. Shrink kelime olarak; daraltmak, büzmek, küçültmek, çekmek anlamlarına gelebilmektedir. Shrink Ambalaj filmleri LDPE hammadde kullanılarak üretilmektedir. LDPE hammaddeleri yüksek ısı ile eriyik hale getirilir, co-extruder makinalarında bulunan kalıplar sayesinde istenilen boy ve ebatta üretilmektedirler. Üretilen bu malzeme “Shrink Ambalaj Filmi” olarak adlandırılmaktadır. Shrinkleme işlemi ise; ürünler üzerine konulmuş esnek LDPE Shrink filmlerin ısı etkisiyle büzüştürülerek, ürünlerin bir arada tutulmasını sağlayan bir işlemdir. Şekil 2.7.’de Shrink Filmi ve shrinklenmiş ürünler görülmektedir. Shrink film ambalajları gıdadan teknolojik ürünlere hemen hemen bütün sektörlerde kullanılmaktadır. LDPE Shrink Film Ambalajları daha çok paletlerin, tenekelerin, kartonların ve içeceklerin paketlenmesinde başarı ile kullanılmaktadır.



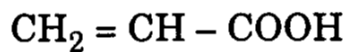
Şekil 2.7. LDPE Shrink ambalaj filmi [6]

2.3. Akriklik Elyafı

Akriklik elyaf, doğal (yün) elyaflara alternatif olarak, ev tekstilinde ve hazır giyim sektöründe geniş bir kullanıma sahip olup, tekstil sektörünün vazgeçilmez maddelerinin başında gelmektedir. Akriklik otoritelere göre, kimyasal yapısında en az % 85 oranında akrilonitril içeren elyaflar akriklik elyaf olarak tanımlanmaktadır. İlk olarak, 1940'lı yıllarda Amerika'da geliştirilmeye başlanmış, 1950'den itibaren, patentli olarak 'orlon' adıyla piyasaya sürülmüştür. Önceleri %100 akrilonitrilin polimerizasyonu ile homopolimer olarak üretilmiş, fakat sert, kırılğan ve boyanması zor olduğu için, ikinci bir monomer ilavesiyle kopolimere dönüştürülmüş ve özellikleri tekstilde kullanıma uygun hale getirilmiştir. [7]

Orlon akriklikleri olarak üretilen liflerin çoğu % 100'e yakın oranda poliakrilonitril (PAN) içerir. Orlon filamentlerinin mukavemeti 2,2-2,6 g/denier; özgül ağırlığı ise 1,18 dir. Standart koşullarda nem çekme miktarı % 1,7 dir. Bu akriklikler çeşitli tipte ve sayılarla farklılaştırılarak üretilirler. Akriklik lifleri, termoplastik özelliği gösterirler ve yüksek sıcaklıklarda kimyasal yapılarında bozulma olur. Akriklik elyafın camsı geçiş sıcaklığı (yarı plastik hale geçme sıcaklığı 60-120°C arasındadır. Bu nedenle akrikliklerin, 60 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda fiziksel yapı ve biçiminde değişiklikler olur. Akriklik elyafları, 150°C de sararır, daha yüksek sıcaklıklarda siyahlaşır. Çıplak alevde hemen tutuşurlar ve eridikten sonra yanarlar. [8]

Akriklik lifleri yüne çok benzemektedir, bundan dolayı örgü yünleri (Orlon 42), battaniye (Orlon 39), halı ve kilim (Orlon 37) yapımında kullanılmaktadırlar. Ayrıca spor kıyafetleri, döşemelik kumaşlar, otomotiv kumaşları, viskon ve yünle karıştırılarak kumaşlar, çoraplar, peluşlar, yapay kürkler, yer halıları ve non-vowen materyallerin yapımında kullanılır. [8]



Akriklik asidi



Akrilonitril

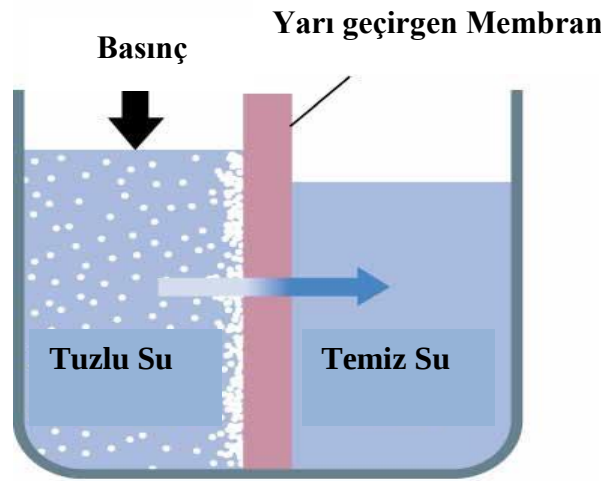
Şekil 2.8. Akriklik asidi ve Akrilonitrilin Kimyasal Yapısı [8]

2.4. Membran Teknolojisi

Günümüzde içme suyu ve atık su arıtımında sıklıkla kullanılan membran sistemler, osmoz kavramının tanımlanmasıyla 18. yüzyılın sonlarına doğru çıkmıştır. Membran sistemler ile 19. ve 20. yüzyılın başlarına sadece laboratuvar ölçekli çalışmalar yapılırken, 1970’li yıllara gelindiğinde ticari olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. 1980’li yıllardan sonra ise mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (TO) ve elektrodializ (ED) membranları ticari olarak yaygınlık kazanmıştır. Son yıllarda, membran üretim teknolojisindeki gelişmeler, membranların; gıda, kimya, petrokimya, maden, metal işleme, biyoteknoloji, elektronik vb. endüstrilerde kullanımını arttırmıştır. Başlangıçta çok pahalı bir proses olan membranlar, bu gelişmelerle beraber, diğer fiziksel ayırma yöntemleri olan; adsorpsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristalizasyon ve gaz ayırımı vb. proseslerle kullanılabilir hale gelmiştir. [9]

Membranlar, seçici bir şekilde ayırmanın ve taşınımın gerçekleştirildiği engeller olarak tanımlanabilir. Ayırma işlemi membranın hem kimyasal, hem de fiziksel doğasıyla belirlenmekte ve basınç farkı, derişim (kimyasal potansiyel) farkı, elektriksel potansiyel farkı ve sıcaklık farkının biri veya kombinasyonlarıyla oluşturulan itici kuvvetle gerçekleşmektedir. Ayırma işlemini gözenekli membranlar boyut, şekil, ve yük ayırımına göre, gözeneksiz membranlar ise sorpsiyon ve difüzyon modeline göre kontrol ederler. Membran performansı seçicilik ve akı parametreleriyle belirlenir.[10]

Basit bir membran ayırma prosesi Şekil 2.9.’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Membran ayırma prosesi [11]

Membran kullanımının genel olarak saflaştırma, derişiklendirme ve fraksiyonlara ayırma gibi 3 farklı amacı vardır ve sanayinin bir çok kolunda genişleyen bir kullanım alanına sahiptir. Bir membran ayırma sistemi girdi akımını permeat ve retentat olarak adlandırılan iki akıma ayırır. Permeat yarı geçirgen membrandan geçen akışkan kısımdır. Retentat akımı ise membrandan geçemeyen kısmı oluşturur. Kullanılan membranın kalınlığı mikron seviyesinden birkaç milimetereye kadar değişebilir. [10]

Membran prosesleriyle;

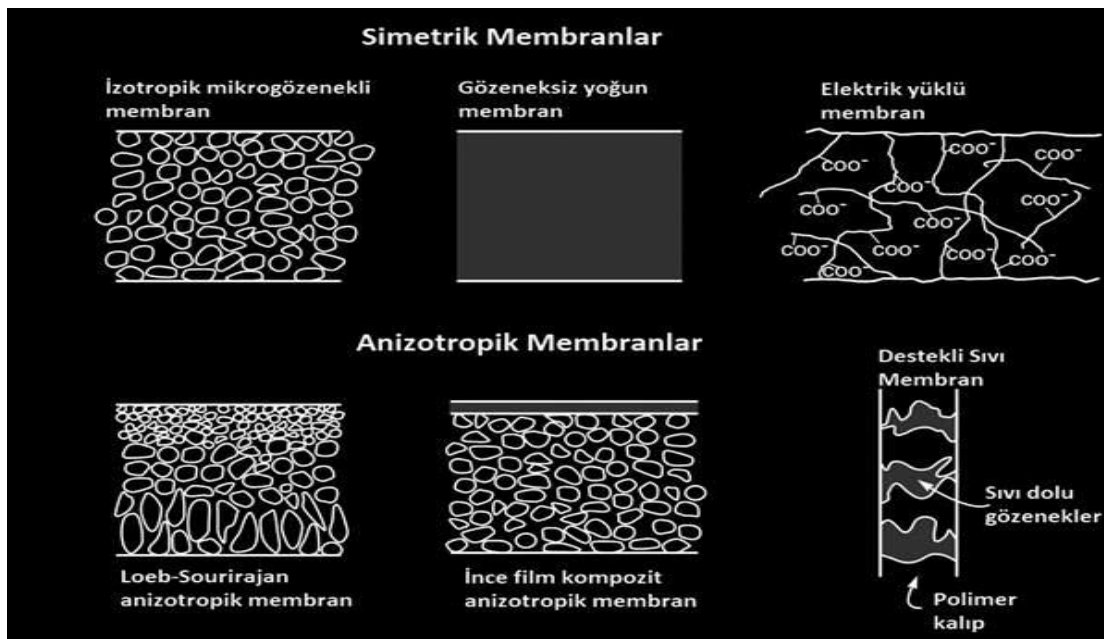
- Meyve suyunun berraklaştırılması - derişiklendirilmesi,
- Deniz suyundan içme suyu eldesi,
- Acı su tuz giderme,
- Endüstriyel atık suların arıtılması,
- Protein çözeltilerinin derişiklendirilmesi,
- Su ve atık su işlemleri,
- Kollodial süspansiyonların saflaştırılması,
- Protein üretiminde fermentasyon besiyerleri ve steril filtrasyondan primer hücre geri kazanımı,
- Substrattan bakteri ayırma, meyva suyu, bira, şarap berraklaştırma,
- Fermantasyon besiyerlerinin derişiklendirilmesi,
- Deniz suyu ön muamelesi,
- Yer altı suyu işleme,
- Organik çözücülerin dehidrasyonu,
- Organik çözücülerin ayrılması,
- Azeotropik karışımların ayrılması,
- Alkollü içki dealkolizasyonu,
- Denge limitli reaksiyonlarda dönüşümü arttırma,
- Reaksiyon karışımından bir bileşeni kontrollü uzaklaştırma,
- Asit, tuz ve meyva suyu çözeltilerinin derişiklendirilmesi,
- Sulu çözeltilerden alkol ve uçucu bileşenlerin uzaklaştırılması,
- Yakıt hücresi uygulamaları,
- Havadan oksijen ve azotun ayrılması ile havadan hidrokarbon buharlarının ayrılması
- Kandan atık metabolitlerin uzaklaştırılması,
- Sulu çözeltilerden iyonik yapıdaki değerli metallerin geri kazanımı ya da derişiklendirilmesi gibi çok sayıda endüstriyel uygulama sayılabilir.[10]

2.4.1. Membran Tipleri

Membranlar çok sayıda farklı materyalden üretilebilirler. Öncelikle üretildikleri malzemeye bağlı olarak biyolojik ve sentetik membranlar şeklinde iki gruba ayrılabilirler. Sentetik membranlar organik (polimerik) ve inorganik (seramik, metalik) olarak ikiye ayrılabilirler. Polimerik membranlar yaygın olarak 10-300 °C aralığında işletilebilirler.[12]

Değişik bir sınıflandırma, mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) da kullanılan açık ve gözenekli membranlar ile gaz ayırma ve pervaporasyon'da yoğun gözeneksiz membranlar arasında yapılabilir. Gözenekli membranlar için, ayırma karakteristiğini belirleyen materyal seçimi değil gözenek büyüklüğü, parçacık veya moleküler büyüklüğüne bağlı gözenek boyutu dağılımıdır. [12]

Bir membran kendisi ile temas halinde olan kimyasal bileşenlerin süzmesini, yani ayrılmasını sağlayan ince yarı geçirgen bir ara yüzeye sahiptir. Bu ara yüzey moleküler olarak homojen olabilir. Yani kompozisyonu ve yapısı tam olarak uniform dağılım gösterebilir. Fiziksel veya kimyasal olarak heterojen olabilir. Ayrıca, ince veya kalın, doğal veya sentetik olabilir. Membran içerisinden geçiş ve taşınma aktif veya pasif olabilir. Ayrıca membran yapısı nötr veya elektriksel yüklere sahip olabilir. Normal bir filtre belli gözenek çapına sahiptir ve süzme işlemini yapar. Membranlar ise daha küçük gözenek boyutlarına sahip oldukları için süzme dışında farklı mekanizmalarda etkili olur. Başlıca membran tipleri şematik olarak Şekil 2.10'da verilmiştir. [12]



Şekil 2.10. Başlıca membran tiplerinin şematik gösterimi [13]

Membranlar ayrıca gözenek boyutlarına göre de sınıflandırılabilirler. Sınıflandırma gözenek türü, gözenek boyutu ve filtrasyon türüne göredir. Şekil 2.7’de verilmiştir. [13]

Çizelge 2.7: Gözenek boyutlarına göre membranlar [13]

Gözenek Türü	Gözenek Boyutu	Filtrasyon Türü
Makropor	50 nm ve üzeri	UF, MF ve Genel filtrasyon
Mezopor	2 nm – 50 nm	UF, MF
Mikropor	< 2 nm	NF
Supermikropor	0,7 nm – 2 nm	TO,NF
Ultramikropor	< 0,7 nm	TO, Diyaliz
Ultrapor	< 0,35 nm	TO, Diyaliz
MF: Mikrofiltrasyon, UF: Ultrafiltrasyon, NF: Nanofiltrasyon, TO: Ters Osmoz		

Membran yapılarına, geometrileri ve ayırma rejimlerine göre de sınıflandırılabilir. Özellikle organik, inorganik ve kompozit olarak ayrılabilirler. Membran proseslerde kullanılan membran tipinin seçiminde aşağıdaki parametreler dikkate alınır: [12]

- Membran kullanım ömrü,
- Ayırma ve seçicilik özelliği,
- İşletme koşulları,
- Membran maliyetleri,
- Verimlilik özellikleri,

Membran prosesler, gözenek boyutları ve basınç sürücü kuvvetine dayalı olarak; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon(UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) gibi sınıflandırılabilirler. MF membranlar özellikle partikülleri tutarken, TO membranlar çözünmüş tuzlar gibi makro molekülleri tutarlar. UF veya MF membranlar su ve suda

Çözünmüş maddelerin çoğunun geçişine izin verirken; tuz, mikroorganizma ve benzeri boyuttaki d ğer büyük bileşenleri tutarlar. Membranlar üretildikleri malzemeye bağlı olarak Organik membranlar (PA, PS, PES, PAN, PVDF, PP, PTFE, PE, PVC, vb.) , inorganik membranlar (seramik, metal, karbon, zeolit) ve diğer membranlar (sıvı, nanoteknoloji, bipolar, hibrit, karışık matriks) olarak farklı gruplara ayrılırlar.

2.4.1.1. Organik (Polimer) Membranlar

Günümüzde organik membranlar, endüstriyel membranların çoğu, doğal veya sentetik polimerlerden yapılmıştır. Doğal polimerler y n, kauçuk (polisoprin) ve selülozdan oluşurken, sentetik polimerler ise PA, PS, PP, PE, PVDF ve benzeri materyalden oluşmaktadır. Organik membran materyallerinde polimer veya makromoleküler olanları en önemlileridir. Membran materyali olarak değerlendirilen bir polimerin seçimi, yapısal faktörlerden kaynaklanan spesifik özelliklere dayanır. Temel olarak, tüm polimerler membran malzemesi olarak kullanılabilir. Fakat kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından dikkate değer farklılıklarından dolayı, pratikte sadece sınırlı sayıda kullanılırlar. Günümüzde yaygın kullanılan polimerik membranlar: [12]

Selüloz asetat (CA) membranlar: selüloz ve türevlerinden imal edilmişlerdir. Adsorblama  zellikleri zayıftır. Üretimleri kolay ve maliyetleri nispeten düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda işletilemezler. Aşındırıcı kimyasallara karşı nispeten dayanıklıdırlar. 3-8 pH aralıklarında işletilirler. [12]

Poliamid (PA) membranlar: Aromatik poliamidlerden imal edilirler. Selüloz asetatlara göre daha iyi termal ve kimyasal yapı özelliklerine sahiptirler. Selüloz diasetatın sonra ençok kullanılan ikinci polimerdir. Selüloz asetat membranlara göre pH aralığı daha geniştir. 2-10 pH aralıklarında işletilirler. Poliamidler kompozit membran imalatında üst tabaka malzemesi olarak kullanılmaktadır. [12]

Polis lfan (PS) membranlar: Polis lfan membranlar, selüloz asetat ve poliamid organik membran türlerine göre daha az hidrofiliktir. Fiziksel ve kimyasal koşullara karşı daha kararlıdırlar. Sıcaklık aralığı geniştir (75 C'ye kadar dayanırlar). 1-13 pH aralıklarında işletilebilirler. Diğer membranlarla kıyaslandığında, aşındırıcı kimyasallara karşı direneri yüksektir. [12]

Polieter sülfan (PES) membranlar: Solvent ve aşındırıcı kimyasallara karşı iyi derecede direnç gösterirler. Doğal olarak hidrofobiktirler. Hidrofilik özelliklerinin modifikasyonu kolaydır. Geniş pH aralığında işletme (1-12) imkânına sahiptirler. Kimyasal modifiyeleri zordur. MF için kullanımı yaygındır. [12]

Poliakrilonitril (PAN) membranlar: Yaygın kullanılan bir polimerdir. Az hidrofobiktir. Esneklik ve hidrofobik özelliğini artırmak için vinil asetat veya metil methakrilat gibi bir comonomer ilave edilerek imal edilirler. [12]

Polivinildin florid (PVDF) membranlar: Hidrofobik özellik gösterirler. Mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler. 900°C gibi yüksek sıcaklıklarda işletilebilirler. Aşındırıcı kimyasallara karşı dirençlidirler. [12]

Polipropilen (PP) membranlar: Solventlere karşı iyi direnç gösterirler. Hidrofobiktirler. Yüksek gerilme kuvvetlerine sahiptirler. Oksidantlara karşı toleransları düşüktür. Fiberlerin birleşiminden oluşurlar. [12]

Politetrafloroetilen (PTFE-Teflon) membranlar: Doğal olarak hidrofobiktir. Aşındırıcı kimyasal ve asitlere karşı dirençlidirler. Yüksek sıcaklık değerlerinde ve geniş pH aralıklarında işletilebilirler. [12]

Polietilen (PE) membranlar: Korrozif kimyasallara karşı dirençlidirler. Tüm analitik filtreleme işlemleri için kullanılan genel bir filtre malzemesidir. Sıvı ve korozif organik çözeltiler için kullanılır. [12]

Polivinilklorid (PVC) membranlar; İyi kimyasal ve mekanik özelliklere sahiptir. Aşındırıcı kimyasal ve asitlere karşı dirençlidir. Ayrıca yüksek süzüntü akısına sahiptirler. Membran imalatında uygun bir malzemedir. Ayrıca fiyatı da diğer membran malzemelerine göre ucuzdur. [12]

Naylonlar: Doğal olarak hidrofiliktirler. Geniş kimyasal uyumluluk aralığına sahiptirler. Termal olarak kararlı değildirler. Yüksek sıcaklıklarda işletilmezler. Naylonlardan imal edilen membranlar kirlenme özellikleri azaltılır. Ancak buhar ile sterilize edilememeleri

en büyük dezavantajlarıdır. Naylon 6, Naylon 4.6, Naylon 6.6 ve benzeri değişik türleri mevcuttur. Naylon 4.6 daha iyi termal direnç göstermesi nispeten onun buharla sterilizasyonu mümkün kılar. Genel olarak MF ve UF imalatlarında kullanılırlar. Gazların geçirgenliklerinin çok düşük olması nedeniyle, gaz ayırma uygulamaları için uygun değildirler. Polimerik materyallerin membran proseslerinde kullanımları Çizelge 2.8’de verilmiştir. [12]

Çizelge 2.8: Polimerik materyallerin membran proseslerinde kullanımları

Materyal	Proses Tipi					
	MF	UF	NF/TO	GS	PV	MD
Selüloz asetat (CA)	X	X	X	X	X	
Selüloz ester	X					
Selüloz nitrat	X					
Polivinil alkol	X					
Polivinil klorür	X					
Poliakrilonitril		X			X	
PVC kopolimer	X					
Arotmatik poliamit	X	X	X			
Alifatik poliamit	X	X				
Poliamit (PA)	X	X	X	X		
Polisülfon (PS)	X	X				
Polietereterketon (PEEK)	X	X		X		
Polikarbonat	X	X				
Polyester	X					
Polipropilen (PP)	X				X	X
Polietilen (PE)	X				X	X
Politetrafloroetilen(PT	X	X			X	

FE)						
Polivinilidin diflorür(PVDF)	X	X			X	X
Polidimetil sikloksan (PDMS)				X	X	
GS: Gaz Ayırma, PV: Pervaporasyon, MD: Membran Destilasyonu						

2.4.1.2. İnorganik Membranlar

İnorganik membranlar seramik, karbon, silika, zeolit, çeşitli oksitler (alüminyum, titanyum, zirkonyum) ve palladyum, gümüş ve alaşımları gibi metallerden imal edilmiş membranlardır. İnorganik membranlar mikro gözenekli veya gözeneksiz (yoğun) olabilirler. Mikro gözenekli inorganik membranlar amorf ve kristal seramik membranları içermektedir. Yoğun inorganik membranlar polikristal seramik veya metalden imal edilirler. Mikro gözenekli membranlar daima, gözenekli bir inorganik destek üzerine desteklenecek bir film olarak hazırlanırlar. Bazı yoğun metalik membranlar da bu şekilde hazırlanabilirler. Bunlar yüksek sıcaklıklarda işletilebilir. Çalıştırma sıcaklık aralıkları, Van Veen 1996 tarafından 300 ile 1000°C olduğu ifade edilmiştir. Bu membranlar ayrıca kimyasal ayrışmaya karşı yüksek oranda dirençlidirler. En büyük dezavantajları, günümüzde hala yüksek maliyet gerektirmeleridir. Ancak ileride bu dezavantajlar giderilebilirse, birçok endüstri sektöründe verimli kullanılabilirler. [12]

2.4.2. Membran Üretim Teknikleri

Günümüzde birçok membran üretim tekniği başarı ile uygulanmaktadır. Günümüzde yaygın olan üretim teknikleri; boşluk oluşturma (Track Etching), gerdirme, kalıp filtreleme (template leaching), faz ayırımı, sinterleme (seramik membranlar için), çöktürme olarak sayılabilir. [10] Bunların yanında ince boşluklu (hollow fiber) membranların üretimi için; ıslak çekme, kuru çekme ve eriyik çekme yöntemleri de sayılabilir. Ayrıca son yıllarda, UF ve MF için elektrospinning yöntemiyle üretilen membranlar da çeşitli filtrasyon uygulamalarında kullanılmaktadırlar.

2.5. Elektrospinning (Elektro-Eğirme) Prosesi

Elektrostatik kuvvetlerin kullanılmasıyla sentetik filament üretimi yüz yıldan fazla bir süredir bilinmektedir. Elektrostatik kuvvetlerin yardımıyla lif (fiber) üretim prosesleri elektrospinning olarak tanımlanmaktadır. Son zamanlarda elektrospinning proseslerinin mikron altı ölçülerde lifler üretme kabiliyeti gösterilmiştir. Elektrospinning son on yılda, sadece geniş bir çeşitlilikte polimer fiberlerde çok yönlü olması sebebiyle değil, mikron altı liflerin üretiminde tutarlı olması sebebiyle çok dikkat çekmiştir. Fiber bilimi literatüründe, 100 nm'nin altındaki fiberler genel olarak nanofiber olarak sınıflandırılır. Bu fiberler, normal fiberlerden daha küçük gözenek çapı ve daha yüksek yüzey alanı ile muazzam bir uygulama alanına sahiptir. [14]

2.5.1. Elektrospinning Prosesinin Tarihsel Gelişimi

Elektrospinning prosesinin kökeni, geçerli bir fiber spinning tekniği olarak 1930'lu yılların başına dayandırılabilir. 1934 yılında Formhals, elektrik yükü kullanarak yapay lifler üretimi için cihaz ve proseslerle alakalı ilk buluşunun patentini almıştır. Formhals bu ilk patentinde, polimer olarak selüloz asetat (CA), çözücü olarak aseton kullanmıştır. Bu çalışmasında bazı zorluklarla karşılaşan Formhals, 1940 yılında prosesinde bazı yenilikler yaparak ikinci patentini almıştır. Bu ikinci çalışmasında Formhals, hareketli bir toplayıcı üzerine polimer lifleri elektrostatik etki ile toplayarak, çoklu polimerden kompozit lif ağlarının üretimini gerçekleştirmiştir. [14]

1960'lı yıllarda, jet formundaki proseslerdeki temel çalışmalar Taylor tarafından başlatılmıştır. 1969 yılında Taylor, elektrik alan uygulandığında, iğne ucunda oluşan polimer damlasının şeklini çalışmıştır. Taylor, bu çalışmasındaki şeklin konik olduğunu ve jetlerin koninin köşelerinden çıkarıldığını göstermiştir. Jetin bu konik şekli, araştırmacılar tarafından daha sonra literatürde “Taylor konisi” olarak isimlendirilmiştir. [14]

Sonraki yıllarda, nanofiberlerin yapısal morfoloji çalışmalarına odaklanılmıştır. Araştırmacılar, fiberlerin yapısal karakterizasyonu ile meşgul olmuşlar ve yapısal özellikler ile proses parametreleri arasındaki ilişkiyi anlamaya çalışmışlardır. Geniş açı X-ray diffraction (WAXD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), geçirimli elektron mikroskobu

(TEM) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC); nanofiberleri karakterize etmek için araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. [14]

1971 yılında Baumgarten, çapı 500-1000 nm arasında olan akrilik nanofiberlerinin elektrospinning ile üretimini gerçekleştirmiştir. Baumgarten (PAN)/ (DMF) çözeltisinin spin oluşturma sınırlarını tanımlamış ve çözeltinin viskozitesi üzerinde fiber çapının spesifik bir bağıntı göstermiştir. Ayrıca uygulanan elektriksel alanda küçük bir artıştan sonra jet çapının minimum bir değere ulaştığını, daha sonra elektriksel alanın artmasıyla jet çapının daha da arttığını göstermiştir [14]

1981 yılında Larrondo ve Mandley tarafından yapılan çalışmada, eriyik PE ve PP'den elektrospinning yöntemiyle lifler üretilmiş ve bu liflerin çözücü kullanılarak hazırlanan elektrospinning liflerinden daha büyük çapa sahip oldukları fark edilmiştir. Ayrıca lif çapı ile eriyik sıcaklığı arasındaki ilişkiyi ve eriyik sıcaklığının artırılmasıyla lif çapının düştüğünü göstermişlerdir. Larrondo ve Mandley'e göre, uygulanan voltajın iki katına çıkarıldığında lif çapının % 50 oranında azalmıştır ve böylece uygulanan voltajın lif karakteri üzerindeki etkisini göstermişlerdir. [15]

1987 yılında Hayati ve diğerleri, deney şartlarında, elektrik alanının etkilerini ve fiber stabilitesini ve atomizasyonunu etkileyen faktörleri çalışmışlardır. Çözelti iletkenliğinin, sıvı yüzeylerin elektrostatik bozulmasında büyük bir rol oynadığı sonucuna varmışlardır. Sonuçları göstermiştir ki, uygulanan voltajın artmasıyla yüksek iletken sıvılar, farklı yönlerde dolanan oldukça kararsız akışlar oluşturmuştur. Nispeten daha kararlı jetler, parafin yağı gibi yarı iletken ve yalıtkan sıvılar ile üretilmiştir. Aynı zamanda kararsız jetlerin daha geniş çap dağılımına sahip lifler (fiber) ürettiğini çalışmalar göstermiştir. [16]

1995 yılında, nanofiberler üzerinde olan çalışmalar Doshi ve Reneker'in çalışmasıyla hız kazanmıştır. Doshi ve Reneker çeşitli çözücü konsantrasyonlarında ve elektrik potansiyeli uygulayarak polietilenoksit (PEO)'in karakteristiklerini çalışmışlardır. Jet çapları, koninin tepesinden mesafenin bir fonksiyonu olarak ölçülmüş ve mesafenin artmasıyla jet çapının küçüldüğünü gözlemlemişlerdir. PEO çözeltisinin 800 centipoise (cP)'den daha az viskozite ile, stabil bir jet oluşturmak için çok seyreltik olduğunu ve

çözeltinin 4000 cP'den daha fazla viskozite ile lif oluşturmak için çok kalın jet oluştuğunu gözlemlemişlerdir. [17]

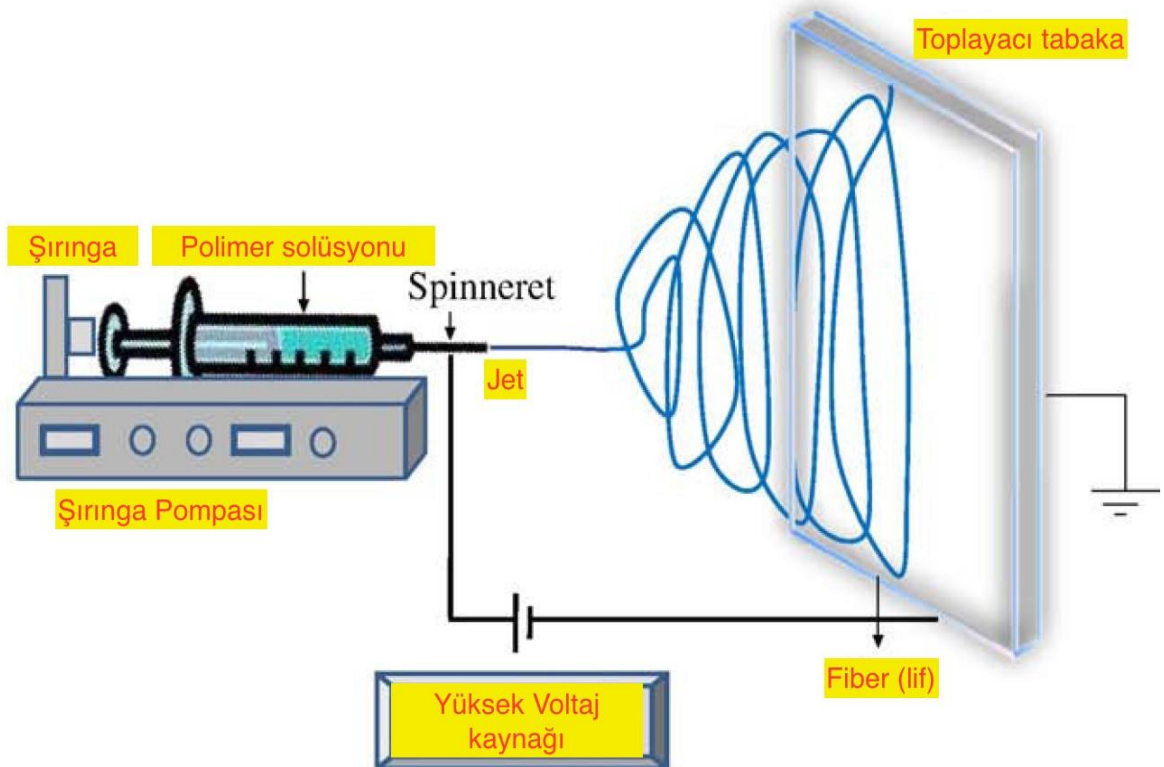
1998 yılında Jaeger ve diğerleri, PEO/su kullanarak ilerletilmiş ekstruzyonla elde edilmiş liflerin inceliğinin çalışmışlardır. [18]

1999 yılında Gibson ve diğerleri, elektrospinning ile elde edilen fiber hasırların taşınım özelliklerini çalışmışlar ve nanofiber tabakaların buhar neminin difüzyonal taşınımına çok az dayanaklı olduğu sonucuna varmışlardır. [19]

2001 yılında Shin ve diğerleri, prosesin elektrohidro dinamiklerini ölçmek için deneysel parametreler üzerine yeterli kontrolü verebilen yeni bir cihaz dizayn etmişlerdir. [20]

2.5.2. Elektrospinning Prosesinin Çalışması

Elektrospinning, (elektro-eğirme) yüksek bir potansiyel elektrik alanı kullanılmasıyla, bir polimer solüsyonundan veya eriyikten küçük çaplarda lifler üretilmesi prosesidir. [14] Şekil 2.11'de polimer solüsyonu kullanılarak hazırlanan elektrospinning prosesinin genel şeması görülmektedir.



Şekil 2.11. Elektrospinnig prosesinin genel şeması [21]

Elektrospinnig için kullanılan cihaz Şekil 2.11’de görüldüğü aşağıdaki ekipmanlardan oluşmaktadır:

- Yüksek voltaj elektrik kaynağı
- Solüsyonu şırıngadan uç kısma yani spinnere (iğne ucu) iletmek için şırınga pompası.
- Alüminyum gibi iletken bir toplayıcı plaka, ki bu düzlemsel veya döner silindirik olabilir. [14]

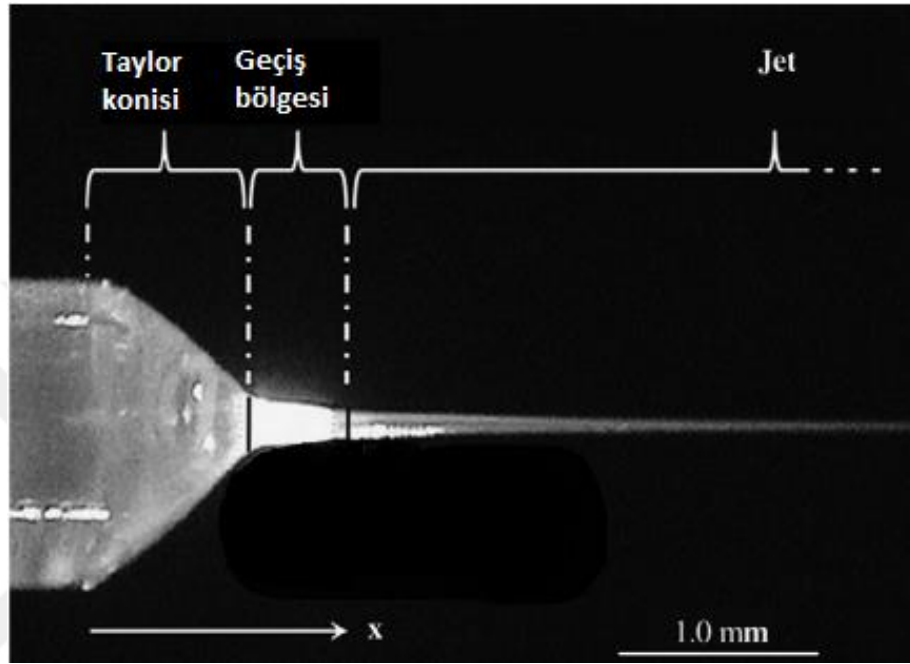
Elektrospinning prosesinde hazırlanan polimer solüsyonu, şırınga pompası vasıtasıyla itilerek şırınganın uç kısmına (spinner) yürür ve aşağı sarkan bir damla şeklini alır. Yüksek voltaj potansiyeli şırınga içerisindeki polimer solüsyonuna - uç kısma tutturulan elektrot yardımıyla- uygulanır, böylece serbest kuvvetler polimer solüsyonuna indüklenir. Bu yüklenmiş iyonlar, uygulanan elektrik alanına tepki olarak karşıt kutbun elektrotuna doğru hareket eder, böylece polimer solüsyonuna çekme kuvvetleri transfer edilmiş olur. Şırınganın ucunda aşağı doğru sarkan yarım küresel polimer damlası, elektriksel alanın varlığında projeksiyon gibi bir konik şekil alır ve uygulanan potansiyel sıvının yüzey geriliminin üstesinden gelmek için kritik bir değere ulaştığında, sıvının bir jeti (püskürme) koni ucundan fırlatılır. [14]

Uç kısmında koni oluştuktan sonra jet, kaotik bir harekete veya kararsızlık eğilimine maruz kalır ve elektriksel alan, karşıt yüklü lifleri toplayan toplayıcı tabakaya doğru yönlendirilir. Jet atmosfere doğru hareket ettiği için, çözücü buharlaşır, toplama cihazı üzerinde kuru bir lif bırakır. Düşük viskoziteli solüsyonlar için, jet damlalar halinde parçalanırken; yüksek viskoziteli solüsyonlar için toplayıcıya doğru fiber jetleri olarak hareket eder. [14]

2.5.2.1. Jet Oluşumu

Elektrikle oluşan jetlerin davranışı, yüzeyden kaynaklanan jetin şekli ve jet kararsızlığı; elektrospinning prosesinde daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulan bazı kritik alanlardır. Rayleigh ve Zeleny sıvı jetlerin davranışı çalışmalarına ilk bakış açısını vermiş, daha sonra Taylor onları takip etmiştir. [14]

Taylor, spinnerin ucunda (nozul) yani başlangıç yüzeyinde, damlanın dengesini bozmak için potansiyel kritik bir değere ulaştırıldığında, ‘‘Taylor konisi’’ olarak bilinen yüzeyin konik şekli 49.3° derecelik bir açı ile oluştuğunu göstermiştir. Şekil 2.12’de Taylor konisinin şekli gösterilmiştir. [14]



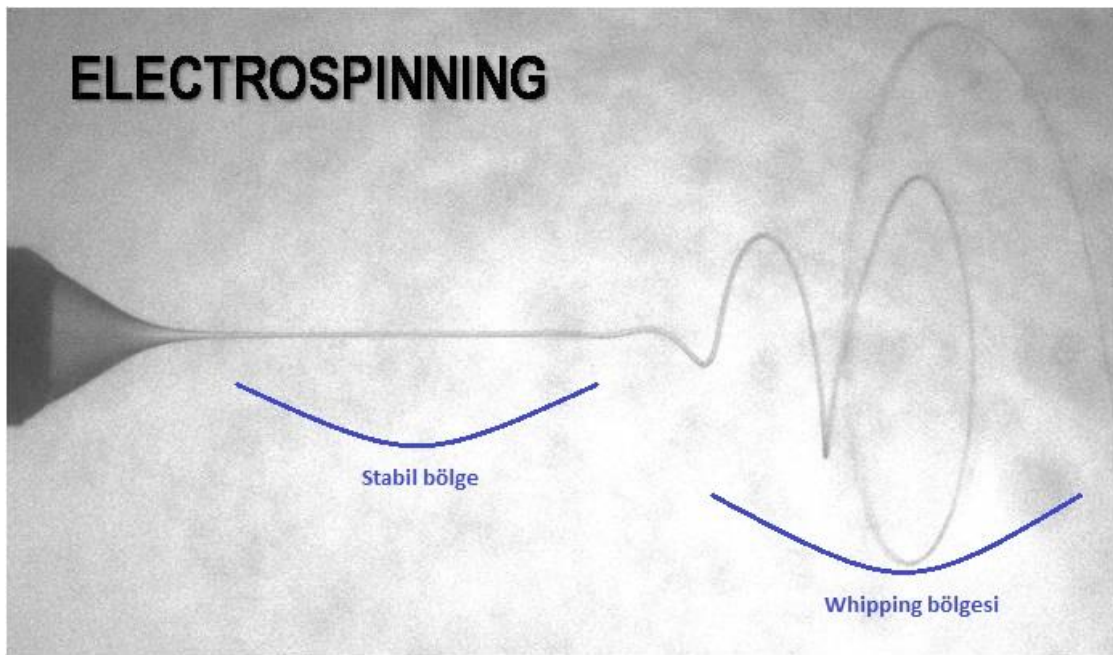
Şekil 2.12. Taylor konisi ve jet oluşumu [22]

2.5.2.2. Dengesizlik Eğilimi

Elektrospinning jeti ile birlikte yüklü iyonlardan kaynaklanan itici kuvvetler nedeniyle, jetin toplayıcıya doğru hareket ederken; kaotik bir harekete veya kararsızlık eğilimine maruz kaldığı Yarin ve diğerleri tarafından ileri sürüldü. [14]

Doshi ve Reneker, eş zamanlı olarak solüsyonun buharlaşması ve jetin gerilmesi nedeniyle lif çapının azaldığını, artan yük yoğunluğunun jeti daha küçük jetler böldüğünü savunmuştur. Bu bölünmenin tekrar tekrar meydana gelmesi beklenir ve sonuçta daha küçük çaplı lifler oluşur. [14]

Ancak son gözlemler, eksenel simetrik olmayan hızlı büyümenin veya whipping kararsızlığının (jet yüzeyinde yüklerin birbirlerini itmesi nedeniyle oluşan radyal şekil) jetin eğilmesine ve gerilmesine neden olduğunu ileri sürmüştür. Warner ve diğ. ve Shin ve diğ. jetin stabil olmayan bölgelerini doğrulamak için yüksek hızlı fotoğraf kullanmışlardır, ki buda ters bir koni olarak görünen çoklu bölünmenin gerçekte tek bir hızlı whipping jeti olduğudur. Whipping olgusu çok hızlı meydana geldiği için, jet daha küçük fiber jetlerine bölünüyormuş gibi olduğunu ileri sürmüşler ve sonuçta ultra ince fiberler elde edilir. [14] Whipping kararsızlık oluşumu Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Elektrosinning’de stabil ve whipping kararsızlık bölgelerin görüntüsü [23]

2.5.3. Polimerik Nanofiberlerin Yapı ve Morfolojisi

Elektrosinning prosesi ile üretilen nanofiber ürün, elektrostatik kuvvetler ve polimerin viskoelastik davranışı tarafından etkilenir. Solüsyon besleme oranı, uygulanan voltaj, spinner-toplayıcı arası mesafe, spinnerin çevresel şartları gibi proses parametreleri; ve de solüsyon konsantrasyonu, viskozite, yüzey gerilimi, iletkenlik, solvent buhar basıncı gibi materyal özellikler, nanofiberlerin özelliklerini ve yapısını etkiler [14].

2.5.3.1. Proses Parametreleri ve Fiber Morfolojisi

- **Uygulanan Voltaj**

Elektrospinning prosesinde, uygulanan voltaj sayesinde yük transferi, büyük ölçüde toplayıcıya doğru akan polimer jetine bağlıdır. Akımdaki azalma ve artma; spinner ucundan çıkan polimer akış kütleline atfedilir. [14]

Deitzel ve diğerleri, uygulanan voltajdaki bir artışın, jet başlangıç noktasının şeklinde bir değişikliğe neden olduğunu ve dahası fiberlerin morfoloji ve yapısında da değişikliğe neden olduğunu göstermişlerdir. [14]

1971 yılında, Baumgarten deneysel çalışmalarını akrilik fiberleri ile yürütürken, uygulanan voltajdaki bir artış ile fiber çapında küçük değişiklikler ile fiber boyunda yaklaşık iki kat bir artış gözlemlemiştir. [14]

- **Nozul-toplayıcı arası mesafe**

Fiberlerin yapı ve morfolojisi; birikme süresi, buharlaşma oranı ve whipping veya kararsızlık aralığına bağlı olarak kolaylıkla nozul-toplayıcı tabaka arası mesafeden etkilenir. Megelski ve diğerleri yapmış oldukları çalışmalarında, nozul-toplayıcı tabaka arası mesafeyi azaltırken, PS fiberlerinde boncuklu yapı oluştuğunu gözlemlemiştir. [14]

- **Polimer akış oranı**

Şırıngadan polimerin akış oranı, jet hızını ve materyal transfer oranını etkilediği için önemli bir proses parametresidir. Megelski ve diğerleri PS ile yaptıkları çalışmalarında, polimer akış oranındaki bir artış ile fiber çapının ve gözenek çapının arttığını gözlemlemiştir. Akış oranı arttığı için, fiberlerin boncuklu yapısı belirginleşmiş ve ortalama gözenek çapı 90 nm'den 150 nm'ye yükselmiştir. [14]

- **Spinning ortamı**

Spinnerin etrafındaki çevreleyen hava, bağıl nem, vakumlama şartları, çevreleyen gaz, vb. gibi çevresel şartlar, fiber morfolojisini ve yapısını etkiler. Baumgarten, bağıl

nemin % 60'dan fazla olduğu ortamda, akrilik fiberlerinin düzgün kurumadığını ve toplayıcı yüzeyine düzgün sarılmadığını gözlemlemiştir. Srinivasarao ve diğeri, “ nefes figürü” olarak isimlendirdikleri buharlaşmalı soğutma tarafından gözenek oluşumu için yeni bir mekanizma ileri sürmüşlerdir. Spinneri çevreleyen havadaki nemin buharlaştırmalı soğutmasının sebep olduğu yoğunlaşmış nem damlalarının etkisi nedeniyle, fiber yüzeyinde nefes figürleri meydana gelir. [14]

2.5.3.2. Solüsyon Parametreleri ve Fiber Morfolojisi

- **Solüsyon Konsantrasyonu**

Solüyon konsantrasyonu, viskozite ve yüzey gerilimindeki çeşitlilikler nedeniyle, fiber oluşumu için sınırlayıcı limitleri belirler. Düşük konsantrasyonlu solüsyon, yüzey gerilimi etkisiyle damlacıklar oluştururken; daha yüksek konsantrasyon, daha yüksek viskozite nedeniyle fiber oluşumuna izin vermez. Daha önce yayınlanmış çalışmalarda, belirli konsantrasyon seviyelerinde PEO, PAN ve PDLA gibi polimerlerin elektrospinning prosesindeki farklılıkları ortaya konulmuştur. Megeski 2002 yılında yaptığı çalışmasında, Polistrenin konsantrasyonunu arttırarak, fiber çapının arttığını ve gözenek boyutunun dar bir dağılıma indirgendiğini gözlemlemiştir. [14]

- **Solüsyon İletkenliği**

Polimerler, bir kaç istisna haricinde çoğunlukla iletkenler ve polimer solüsyonundaki yüklü iyonlar, jet oluşumunda son derece etkilidirler. İyonlar jetin yük taşıma kapasitesini arttırır, böylece uygulanan elektrik alanı ile yüksek gerilime tabi tutulur. Zong ve diğeri, iyonik tuz ekleyerek fiberlerin çapı ve morfolojisi üzerinde iyonların etkisini göstermişlerdir. KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 ve NaCl gibi iyonik tuzların eklenmesiyle; 200 nm'den 1000 nm'ye nispeten daha küçük çap aralığında, boncuksuz PDLA fiberler üretmişlerdir. [14]

- **Çözücünün Uçuculuğu**

Elektrospinning, jet incilmesi nedeniyle hızlı çözücü buharlaşması ve faz ayrımları içerdiği için, çözücü buhar basıncı ciddi bir şekilde buharlaşma oranını ve kuruma süresini belirler. Çözücü uçuculuğu, faz ayırım proseslerini etkileyerek nano yapıların oluşumunda büyük bir rol oynar. [14]

Bognitzki ve diğerleri, diklorometan gibi yüksek uçucu çözücü kullanımı ile fiber eksenini boyunca; 100 nm genişlikte ve 250 nm uzunluğunda gözenek boyutunda PLLA fiberleri elde etmişlerdir. Lee ve diğerleri, PVC fiberlerinin morfolojisi ve fiber çapı üzerinde, çözücünün hacim oranının etkisini değerlendirmişlerdir. THF/DMF çözeltisindeki DMF'nin miktarındaki bir artışla ortalama fiber çapının azaldığını gözlemlemişlerdir. Lee ve diğerleri, çözücünün elektrolitik tabiatının elektrospinning de önemli bir parametre olduğunu bulmuşlardır. [14]

Elektrospinning prosesinde fiber morfolojisini ve yapısını etkileyen parametreler yukarıda açıklanmaya çalışılmıştır. Yukarıda anlatılan proses parametrelerini ve fiber yapısı üzerindeki etkileri aşağıdaki Çizelge 2.9'da verilmiştir. [24]

Çizelge 2.9:Elektrospinning prosesinde fiber morfolojisi üzerinde etkili olan parametreler ve etkileri [24]

Parametre	Fiber morfolojisine etkisi
Viskozite (polimer solüsyonu) ↑	Fiber çapı ↑ (boncuklu fiberlerden pürüzsüz fiberlere)
Yüzey gerilimi ↑	Boncuklu fiberlerin ve boncuk sayısı ↑
Solüsyon iletkenliği ↑	Fiberlerin çapı ↓
Çözücünün buharlaşması ↑	Fiberler mikrodokusal yapı sergiler (fiber yüzeyindeki gözeneklerin yüzey alanı artar)
Uygulanan voltaj ↑	Fiber çapı ↓ (başlangıçta) (sonra) ↑ (monoton değil)
Spinner- toplayıcı arası mesafe ↑	Fiber çapı ↓ (spinner-toplayıcı arası mesafe çok kısa olursa, boncuklu yapı ortaya çıkar)
Nem ↑	Fiber çapı ↓ (fiber yüzeyindeki gözenekler) sonra fiber çapı ↑
Akış oranı ↑	Fiber çapı ↑ (akış oranı çok hızlı olursa boncuklu yapı meydana gelir)

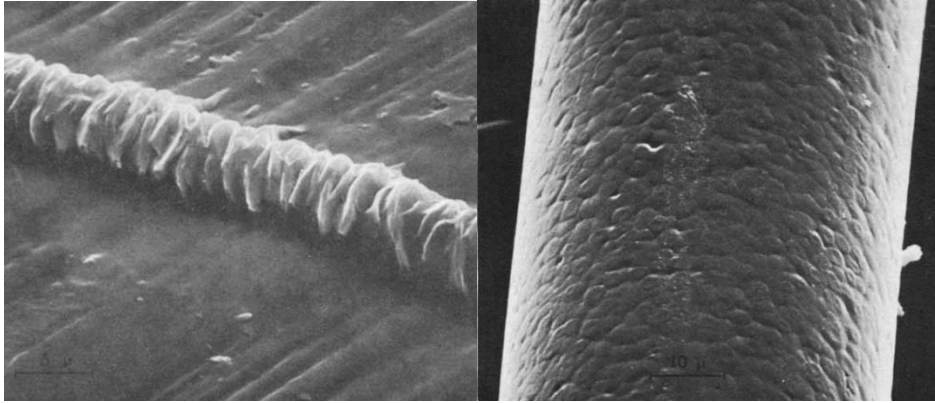
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1. PE Kullanılarak Yapılan Elektrospinning Çalışmaları

Ülkemizde literatürde Polietilen (PE) kullanılarak yapılan herhangi bir Electrospinnig ile nanolif üretim çalışması olmamakla birlikte; Uluslararası literatürde sınırlı sayıda PE ile yapılmış muhtelif çalışmalar bulunmaktadır. Ülkemizde literatürde herhangi bir çalışmanın olmaması bu polimerin Electrospinning için kullanımının zor olmasından kaynaklanmaktadır. Yapısal olarak Poliolefin sınıfına giren Polietilen (PE), Electrospinning için öncelikle sıvı solüsyon haline getirilmesi gerektiği için bu aşamada doğru çözücüyü bulmak ve gerekli sıcaklık ayarlarını yapmak işin en meşakkatli

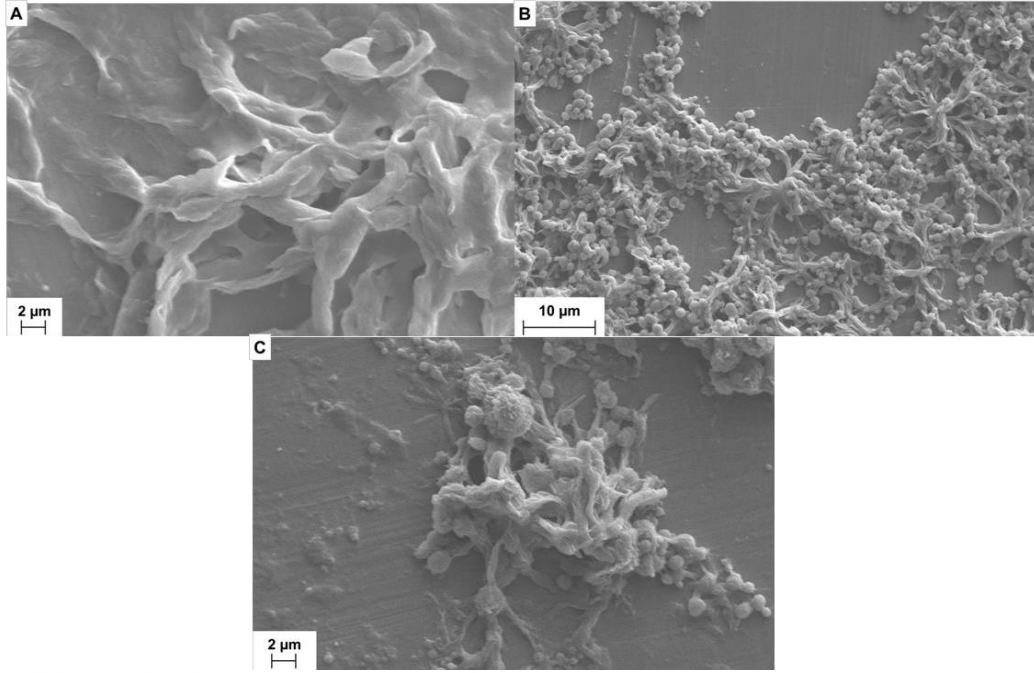
kısımlarını oluşturmaktadır. Diğer polimerler (PS, PVDF, PAN, PS, vb.) oda sıcaklığında çözümleri oldukça kolay iken; Polietilen (PE) ve Polipropilen (PP) gibi Poliolefinlerin çözümleri için yüksek sıcaklığa ve de uygun oranda farklı kimyasallara ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı, Poliolefinlere ait Electrospinning çalışmaları bu zorluklarından dolayı literatürde sınırlı sayıdadır. Bu çalışmamızda faydalandığımız önceki çalışmalar aşağıda sunulmuştur:

1981 yılında, Larrondo ve Mandley tarafından yapılan çalışmada; Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)'den hem eriyikten (çözücü kullanmadan yaklaşık 200 °C'de eriterek) Electrospin lifleri, hem de parafin çözeltisi ile hazırlanan solüsyonun (100°C'de) beslenmesiyle yapılan Electrospinning yöntemiyle lifler oluşturulmuştur. Yapılan çalışma neticesinde solüsyon yöntemiyle üretilen liflerin daha ince lif çapına sahip olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.1). Çalışmalarında eriyik PE'nin sıcaklığı ile lif çapı arasındaki ilişkiyi gözlemlemişler ve eriyik sıcaklığının artmasıyla lif çapının incelendiğini göstermişlerdir. Ayrıca sisteme verilen elektriksel yük iki katına çıkarıldığında, nanolif çapının %50 oranında azaldığı, böylece verilen voltajın lif karakteri üzerine etkisini göstermişlerdir. Bu çalışma birçok çalışmaya öncü olmuştur. [15]



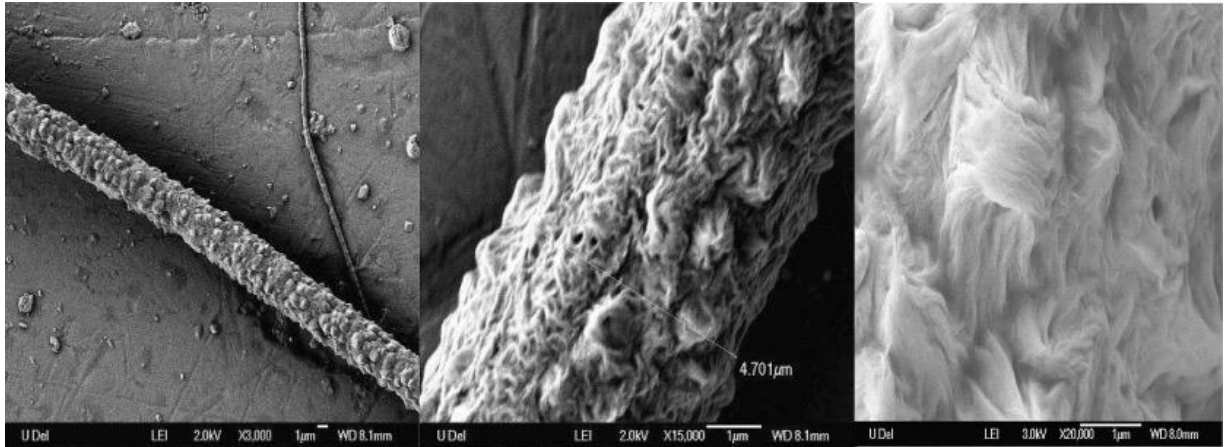
Şekil 3.1. Parafin solüsyonunda %1 HDPE kullanılarak oluşan liflerinin yapısı [15]

2013 yılında Liesel Keulder tarafından yapılan Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen (LLDPE)'in kullanıldığı bir electrospinning çalışmasında, farklı oranlarda kimyasallar (Xylene, DMF, Aseton) ve ağırlıkça %1-2 oranında LLDPE kullanarak bir solüsyon hazırlamışlardır. Hazırladıkları bu solüsyonu electrospinning cihazına besledikten sonra istedikleri yapıda stabil lif oluşmadığını gözlemlemişlerdir (Şekil 3.2). Buna sebep olarak; solüsyonun yeterli iletkenliğe sahip olamama ihtimalini ya da elektriksel yük tarafından yeterli polimer taşınmamış olması ihtimalini belirtmişlerdir. [25]



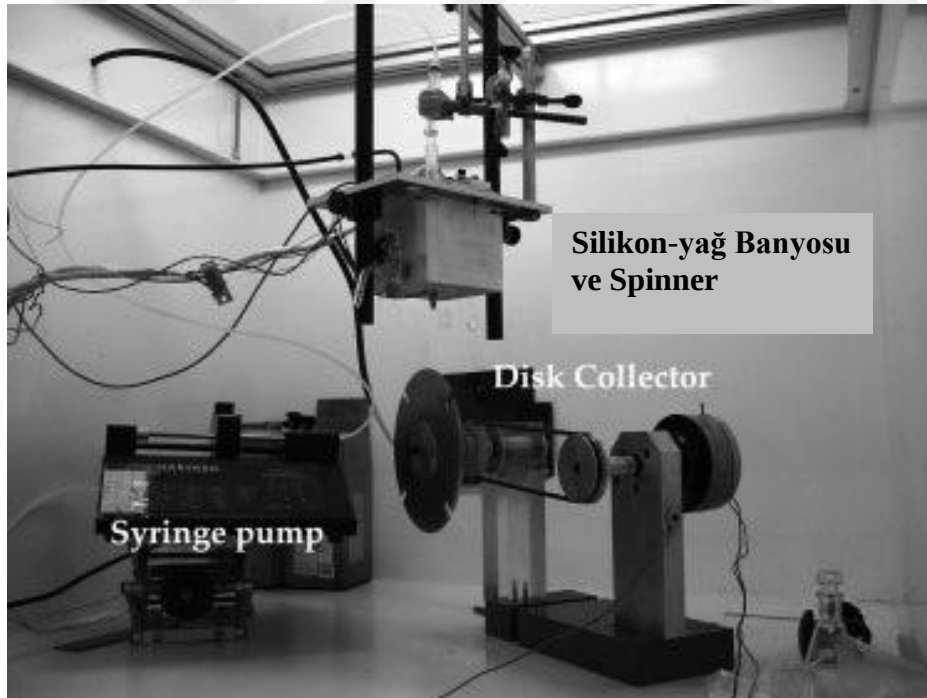
Şekil 3.2. Kaulder ‘in Çalışmasında LLDPE liflerinin SEM görüntüsü [25]

2006 yılında yapılan bir çalışmada, electrospinning için p-xylene çözeltisinde ağırlıkça %2-5 oranında LLDPE polimeri kullanarak hazırlanan çözelti, bir gece boyunca karıştırılarak 115 °C’de bir yağ banyosunda bekletilmiştir. LLDPE tamamen çözündükten sonra, iletkenliği arttırmak amacıyla ağırlıkça %0,2 oranında t-BAB (tetrabutylamonyum bromide) eklenmiştir. Hazırlanan solüsyon için; electrospinning cihazında sıcaklığı sabit tutmak için 5 cm’lik bir mesafede infrared ısıtıcı sistem kullanılarak sıcaklık 105-110 °C’ye ayarlanmış ve ortam nemi % 36 iken çalışma yapılmıştır. Oluşan tüm lifler alüminyum folyo üzerine toplanmıştır. Toplanan liflerin yapısal analizi yapıldığında, düşük tuz konsantrasyonları nedeniyle sonucun başarılı olmadığı kanısına varmışlardır. Oluşan LLDPE liflerinin çapını 2-7 μm olarak tespit etmişler ve bu lif çapının yaygın gözlenen elektrosprin lif çapından biraz fazla olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3.3). [26]

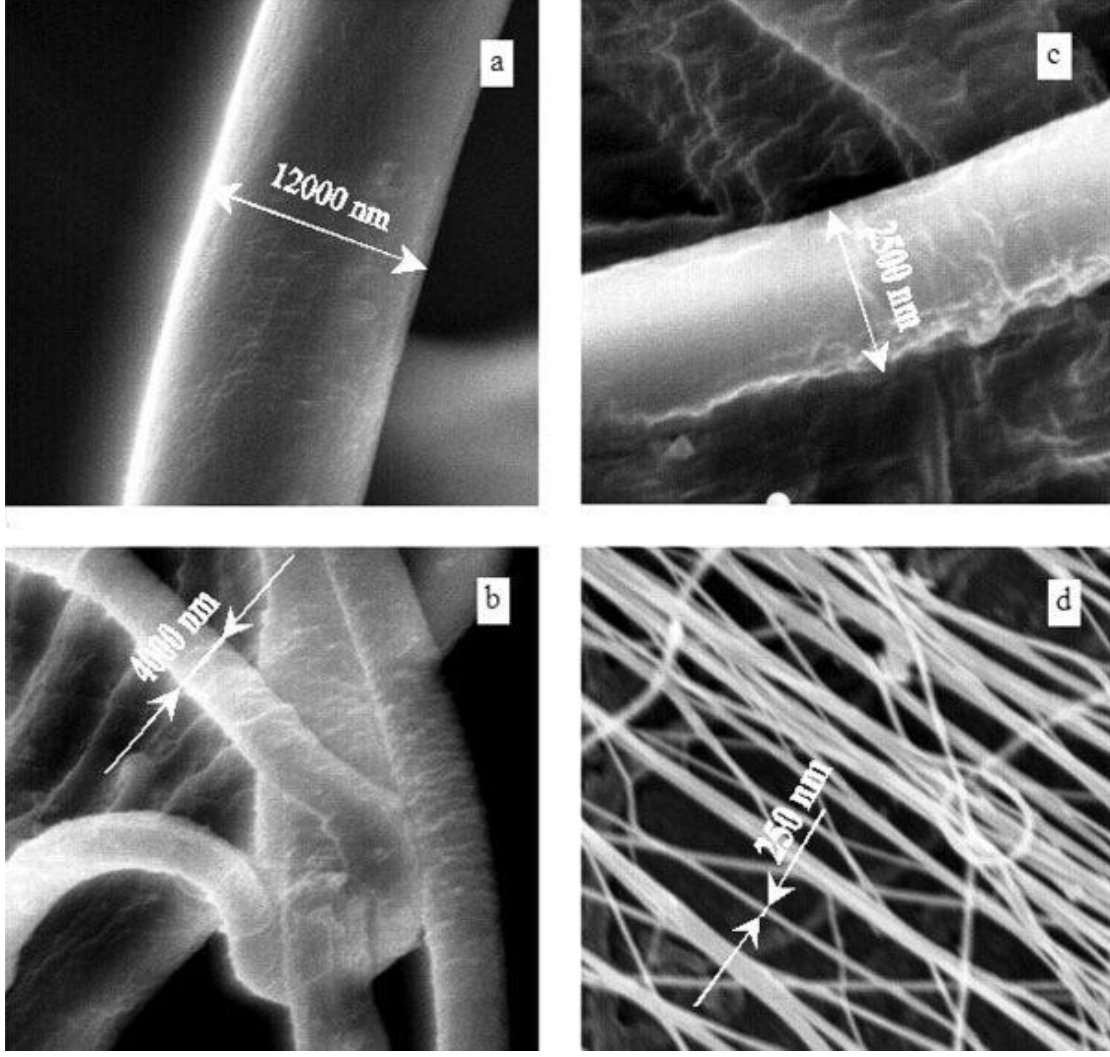


Şekil 3.3. Givens ve diğ. tarafından oluşturulan LLDPE liflerinin FESEM görüntüsü [26]

2007 yılında, Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen(UHMWPE, $M_w = 6 \times 10^6$ kg kmol^{-1}) kullanılarak yapılan bir çalışmada UHMWPE, p-xylene ve siklohegzan(CH) çözeltisinde tamamen çözündürülmüştür. Elektrospinning hızlı solvent buharlaşması gerektiği için, solvent uçuculuğunun nanolif yapısında büyük bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Ayrıca solvent uçuculuğunun artmasıyla, ortalama lif çapının düştüğünü de belirtmişlerdir. Çalışmalarında UHMWPE için p-xylene'ni en iyi uçucu olarak bilinmekte ve uygun bir çözücü olduğunu belirtmişlerdir. Çözeltiye CH katmalarının sebebinin ise p-xylene'nin düşük elektriksel iletkenliğe sahip olmasını sebep göstermişler ve böylece solüsyonun elektriksel iletkenliğini arttırmışlardır. Öncelikle Ağırlıkça 1:1 oranında p-xylene ve CH solüsyonunu hazırlamışlar ve UHMWPE eklemeyen önce solüsyonun sıcaklığını 130°C'ye ayarlamışlardır. Daha sonra solüsyona ağırlıkça % 0,01-0,2 oranında UHMWPE eklemişlerdir. Hazırlanan solüsyon laboratuvar ortamında hazırladıkları Şekil 3.4'de görülen; silikon-yağ banyosuna daldırılmış cihazın şırınga düzeneğine beslenmiş ve sıcaklık kontrol edilmiştir (100-160°C). Electrospinning neticesinde nanolif oluşumu gözlenmiş ve karışıma CH katmalarının lif çapına ve yüzey yapısına önemli ölçüde fayda sağladığını belirtmişlerdir (Şekil 3.5). [27]



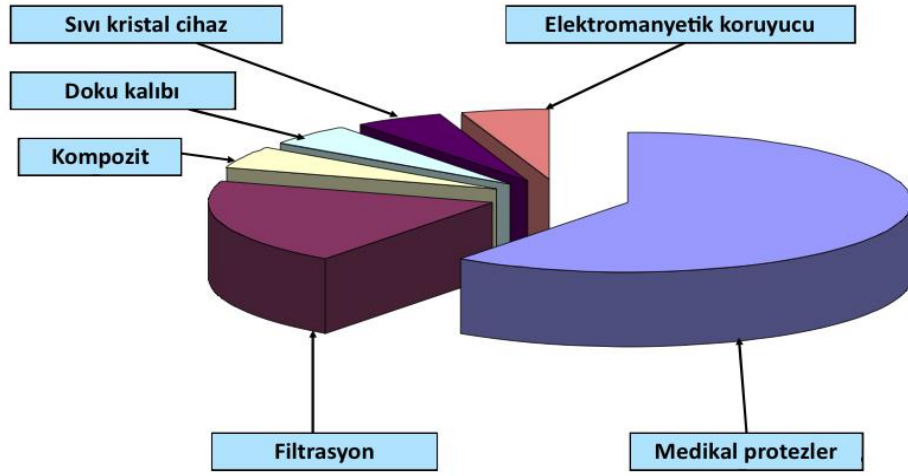
Şekil 3.4. Rein ve ark. Hazırlamış Oldukları Elektrospinning Düzeneği [27]



Şekil 3.5. P-xylene ve CH solüsyonunda kullanılan ağırlıkça farklı konsantrasyonlardaki UHMWPE'nin elektrospinning neticesinde oluşan nanolif görüntüleri. Ağırlıkça % UHMWPE oranları: (a) 0.2, (b) 0.1, (c) 0.06 , (d) 0.025 [27]

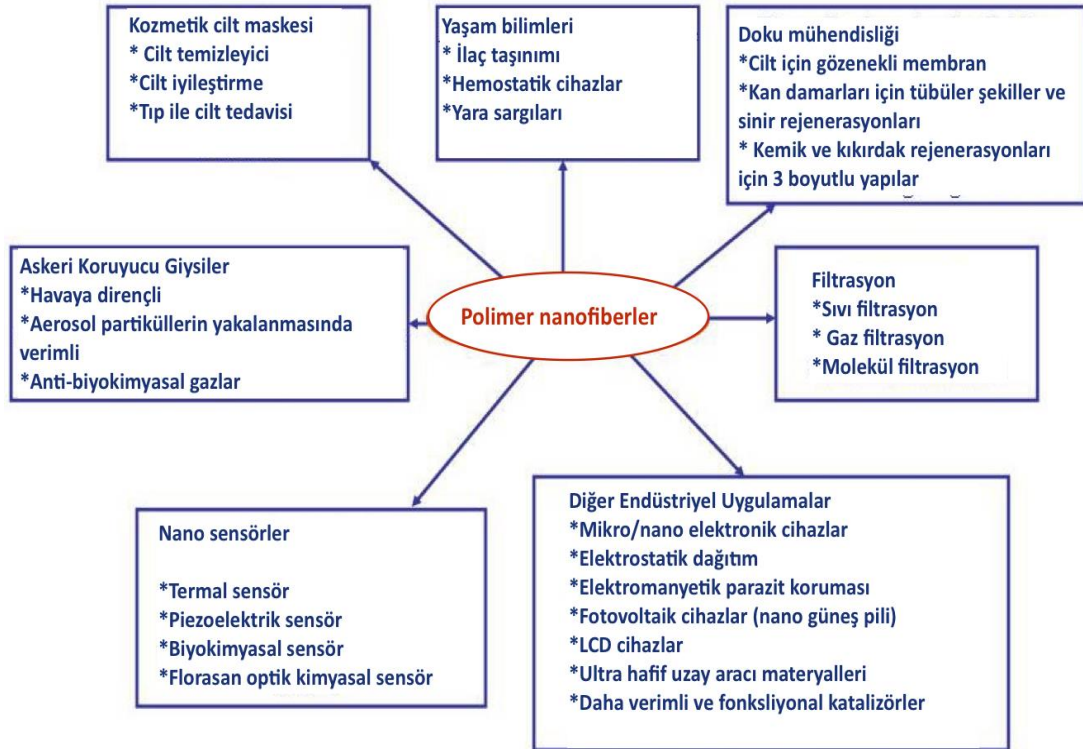
3.2. Elektrospinning ile Üretilen Nanofiberlerin Uygulamaları

Elektrospinning nanofiberleri için bugüne kadar birçok çeşitli uygulamalar ileri sürülmüştür. Bunlar arasında; kompozit uygulamalar, medikal protezler (örneğin organ ve damar) ve filtrasyon uygulamaları bunlar arasında en yaygın olanlarıdır. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi elektrospinning ile ilgili patentlerin sayısı gözden geçirildiğinde, bunların yaklaşık olarak üçte ikisi medikal alandadır. Geri kalan üçte birlik kısmın yarısı filtrasyon uygulamalarına ve diğer yarısı diğer uygulamalarına aittir. [28]



Şekil 3.6. Alınan patentlere göre elektrospinning nanofiberlerinin dağılımı [28]

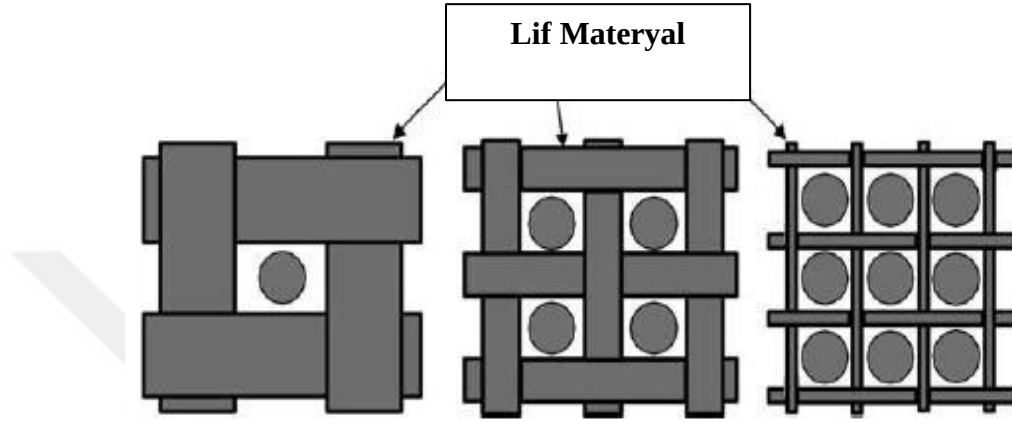
Aslında elektrospinning nanofiberlerinin küçük çapı, filtrasyon ve kompozit uygulamaları için avantajlı iken; yüksek yüzey alanları, katalizör destekleri olarak ve hedeflenen ilaç dağıtımında onları çekici kılmaktadır. İleri sürülen uygulamalara ait daha ayrıntılı bir liste Şekil 3.7’de sunulmuştur. [28]



Şekil 3.7. Polimer nanofiberlerin uygulama alanları [28]

3.2.1. Elektrosinning ile Üretilen Nanofiberlerin Membran Uygulamaları

Fiber membranlar, yüksek filtrasyon verimi ve düşük akma direnci gibi avantajlara sahip olan sentetik membranların iyi bilinen kategorilerinden biridir. Bu gibi membranlar grubunda, Şekil 3.8’de gösterildiği gibi, filtrasyon verimi ve performans lif (fiber) çapına bağlıdır. [28]



Şekil 3.8. Fiber çapındaki azalma ile bir filtrenin veriminin artması

Nanofiber membranlar, geçirgenlik ve seçicilik (çok küçük gözenek boyutu nedeniyle) bakımından oldukça yüksek bir filtrasyon potansiyeli vadetmektedir ve böylece onları çeşitli filtrasyon uygulamalarında uygun bir seçim kılmaktadır. Ayrıca, yüksek spesifik yüzey alanı (fiber çapına bağlı olarak 1-35 m²/g), gözeneklerin birbirine bağlılığı (interconnectivity) ve nano ölçekte işlevsel kılma potansiyeli gibi benzersiz özellikleri, bu çeşit membranların diğer önemli avantajlarından. Bütün bu istenilen özellikler, dünyanın dört bir yanındaki araştırmacıları, hava ve sıvı filtrasyonu için nanofiber membranlar üzerinde kapsamlı çalışma yapmaya yönlendirmiştir. Özellikle, istenmeyen mikron seviyenin altındaki partiküllerin giderimi, bu tip membranların kullanılmasıyla çok önemli bir hedef olabilir. [28]

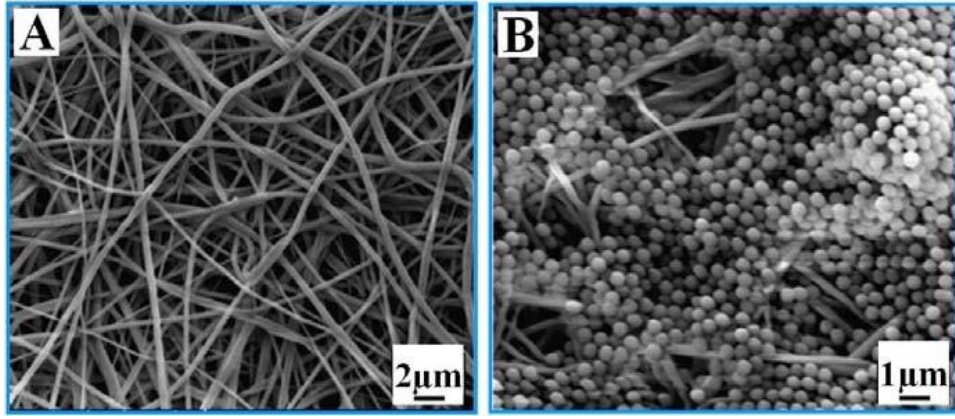
Polimer nanofiberlerin elektrostatik yükü ve kimyasal fonksiyonu aynı zamanda, partiküllerin çekilmesinde ve filtrasyon veriminin artmasında yararlı olabilir. Elektrosinning prosesi ile üretilen nanofiberler, doğal olarak yüklüdür ve bu nedenle ideal bir özellik gösterirler.[28]

Özellikle mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF) veya nanofiltrasyon gibi basınçla sürülen sıvıların ayırımında ideal filtrasyon karakteristiklerine rağmen; elektrospinning nanofiber membranların aynı zamanda kendine has problemleri vardır. Bu tür membranlardaki en önemli problemlerinden birisi; elektrospinning işlemi sırasında, elektrostatik yüklerin birikmesi nedeniyle zor kullanımlarıdır. Böyle bir problemi çözmek için, nanofiberler bir destek tabakası üzerine yatırılarak bir hibrid membran oluşturulmasıdır. Ticari hava filtreleri, bu tip hibrid filtrelerin en bilinen örneklerinden biridir. [28]

3.2.1.1. Elektrospinning ile Üretilen Nanofiberlerin Mikrofiltrasyon (MF) Uygulamaları

Baker'in tanımına göre MF; çapları 0.1 ve 10 μm arasında olan askıda partikülleri ayırmak için gözenekli membran kullanılan filtrasyon prosesini ifade eder. [13] Elektrospinning nanofiber membranları sıvı MF için iyi bir aday olabilir. Bu membranlar, mikron-altı seviyelerden birkaç mikrometre aralığında bir gözenek boyutu dağılımına sahiptirler. Bunun yanında, konvansiyonel faz ayırım membranları ile karşılaştırıldıklarında, daha yüksek bir gözenek yapısı ve daha yüksek bir hidrolik geçirgenlik elde edilir. [28]

Elektrospinning ile üretilen Polivinilidin florür (PVDF) ve polisülfon (PSU) nanofiber membranlarının filtrasyon potansiyeli, polistren (PS) partikül süspansiyonu kullanılarak incelenmiştir. Hazırlanan MF membranları, 1 mikrondan daha büyük gözenek boyutlarında bir akışa sahip olmuşlardır (PVDF için 4.0-10.6 μm , PSU için 1.2-4.6 μm). 3 μm 'den daha büyük PS partikülleri içeren bir süspansiyon kullanıldığında, daha yüksek bir tutma oranı (>%92) gözlemlenmiştir. 1 μm 'den daha küçük partiküller kullanıldığında ise tutma oranı %14-47 arasında gözlemlenmiştir. Aslında, büyük partiküller için, elektrospinning membranları kolayca yıkanılabilir bir filtre olarak davranırken; daha küçük partiküller için, önemli ölçüde yıkanamaz kirli bir tabaka oluşumu gözlenir. Şekil 35'de PSU nanofiber membranın, PS partikülleri içeren süspansiyonun (yaklaşık 1 μm) filtrasyonu öncesi ve sonrası SEM görüntüsü Şekil 3.9'da verilmiştir. [28]



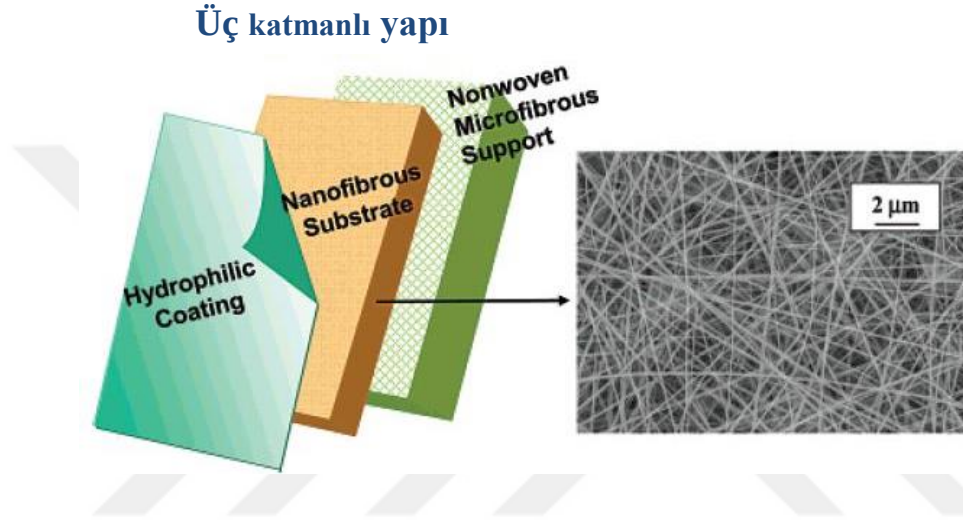
Şekil 3.9. (a) Filtrasyon öncesi temiz nanofiber membranın SEM görüntüsü. (b) 1 μm PS partiküllerinin filtrasyonu sonrasında nanofiber membranın SEM görüntüsü [28]

Kaur ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, elektrospinning ile üretilen PVDF nanofiber membranların filtrasyon performansı ticari muadilleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, aynı uygulanan basınç ve gözenek boyutu dağılımında, elektrospinning nanofiber membran için su akışının, ticari membrana göre, iki kat daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu elektrospinning nanofiber membranı için daha yüksek su akışı, MF membranın daha düşük enerji tüketimi sağlayan bir nanofiber yapı ile daha verimli olduğunu doğrulamaktadır. [28]

3.2.1.2. Elektrospinning ile Üretilen Nanofiberlerin Ultrafiltrasyon(UF) Uygulamaları

Ultrafiltrasyon (UF), sıvı ortamında 1-100 nm kadar büyüklükteki; virüsler, emülsiyonlar, proteinler ve kolloidler gibi farklı partikül aralıklarını ayırt eden diğer bir filtrasyon prosesidir. [13] Elektrospinning nanofiber membranları aynı zamanda, 0.1 μm'den daha düşük bir gözenek boyutuna sahip olması durumunda, bir UF membranı olarak kullanılabilir. Buna rağmen, bu tür membranların gözenek boyutu ve yüksek yüzey alanı/hacim oranı ile filtrasyon sırasında belirgin bir akış kaybı ile, hızlı bir kirlenme eğilimi gösterirler. Bu durumu gidermek için, nanofiber desteği üzerine ince bir film kompozit membranı (TFC) tabaka olarak kullanılır. Bu UF TFC membranı; bir nonwoven (dokumasız) mikrofiber alt tabaka, bir elektrospin nanofiber orta katman ve bir bariyer (koruyucu) katmandan (kaplama veya yüzey polimerizasyonu ile üretilmiş) oluşmaktadır. Elektrospinning nanofiber orta katmanı, yüksek bir gözenekli yapı ile, yüksek bir geçirgenlik oluşturur ve dolayısıyla bir asimetrik gözenekli orta katman içeren konvansiyonel TFC membranları ile karşılaştırıldıklarında, filtrasyon verimi önemli ölçüde arttırılmıştır. [28]

Son zamanlardaki bazı çalışmalar bu hipotezi ispatlamıştır. Örneğin, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi, 130-300 nm'lik nanofiber çapına ve %83'lük poroziteye sahip, çapraz bağlı bir polivinil alkol (PVA) elektrospinning nanofiberleri, böyle bir TFC membranında orta katman olarak kullanılmıştır. Bu nanofiber TFC membranı değerlendirmek için, soya yağı (1350 ppm) ve DC 193 emülsiyonu (150 ppm polisiloksan- polietilen glikol) kullanılmıştır. Sonuçlar, aynı bariyer tabakası taşıyan konvansiyonel TFC membranlarla karşılaştırıldığında, nanofiber TFC membranın daha yüksek akış oranına sahip olduğunu göstermiştir. [28]



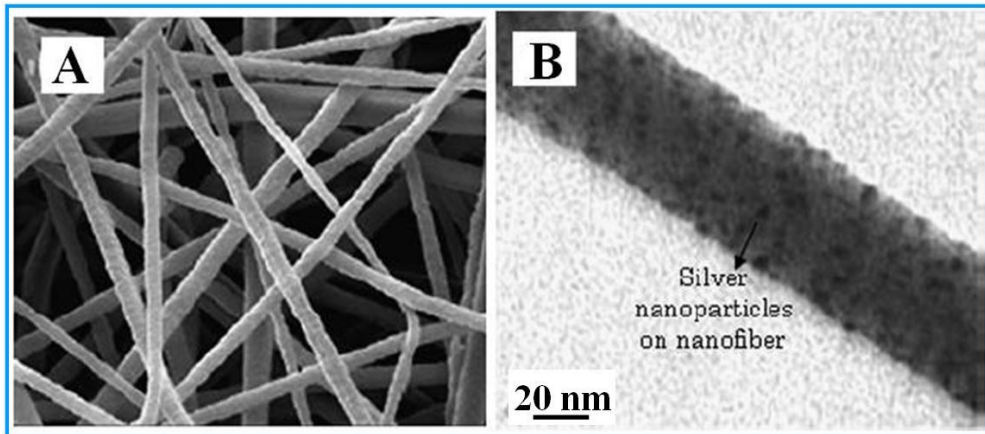
Şekil 3.10. (a)UF TFC Elektrospinning Nanofiber Membranın Şematik Yapısı (solda) (b) PVA Alt Tabakasının SEM Görüntüsü (sağda) [28]

2.2.1.3. Elektrospinning ile Üretilen Nanofiberlerin Diğer Filtrasyon Uygulamaları

Su sistemlerinde bulunan bakır, kadmiyum ve krom gibi ağır metaller yüksek bir toksisite gösterir ve kolayca canlı organizmalarda birikebilir ve dahası suda ciddi bir biyolojik problem olarak, mutlaka yaklaşık olarak ppb'nin (milyarda bir parça) onda biri veya daha az seyide kontrol edilmelidir. Bu gibi kirleticilerin giderimi için adsorpsiyon ve filtrasyon iki konvansiyonel metottur. İlginç biçimde, elektrospinning nanofiber membranları ayarlanabilir küçük gözenek boyutuna ve yüksek yüzey alanına sahip olması nedeniyle, her iki yöntemi (adsorpsiyon ve filtrasyon) sunabilir ve bu amaç için umut verici potansiyel gösterebilir. Örneğin, ipek fibroin proteini ve bir yün keratöz ile ipek fibroin karışımından üretilen elektrospinning nanofiber membranı, yünlü gümüş ve filtre kağıdı gibi konvansiyonel materyaller ile karşılaştırıldıklarında, ağır metaller için yüksek bir giderim verimi göstermişlerdir. [28]

Yağ, protein, humik asit vb. gibi organik materyaller aynı zamanda tehlikeli su kirleticileridir ve içme sularından bir şekilde giderilmesi gerekmektedir. Elektrospinning nanofiber membranları işlevsel olarak, bu gibi organik molekülleri etkili bir şekilde sudan giderebilir. Örneğin, polimetil metakrilat (PMMA) nanofiber membranı, sudan fenolftalein giderimi kabiliyeti göstermiştir. [28]

İşlevsel kılınmış nanofiber membranlar aynı zamanda, dezenfeksiyonda ve sudan bakteri gideriminde faydalı olabilir. Elemental gümüş, gümüş tuzları, gümüş-TiO₂ sistemleri ve katyonik polimerler içeren dördü amonyum tuzu gibi maddelerin uygulanması, membranlara iyi antimikrobiyal özellik kazandırabilir. Mevcut yüksek yüzey alanı sayesinde, antimikrobiyal ajanlar içeren nanofiber membranlar, bu gibi kirleticilerin gideriminde çok umut verici bir verimlilik sunabilir. Bu gibi etkili elektrospinning nanofiber membranlarından birisi, Lala ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir. Lala ve diğerleri, birkaç gümüş emdirilmiş polimerik nanofiber antimikrobiyal membranlar üretmişler ve iki gram negatif bakteri grubu (E.coli ve P. aeruginosa) kullanarak verimliliğini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, bakteriler inkübe edildiğinde, membranların antimikrobiyal aktivitesi bakımından oldukça umut verici olmuştur. Şekil 3.11’de antimikrobiyal özelliklere sahip olan naofiberlerin SEM görüntüsü ve yüzeyinde gümüş nanopartiküller içeren tek bir fiberin Transmisyon Elektron Mikroskopi (TEM) analizi görüntüsü verilmiştir. [28]



Şekil 3.11. (a) Gümüş nanopartiküller içeren nanofiberlerin SEM görüntüsü
(b) Yüzeyinde gümüş nanopartiküller içeren tek bir fiberin TEM görüntüsü [28]

4.MATERYAL METOD

4.1. Elektrospinning İçin Kullanılan Materyaller ve Kimyasallar

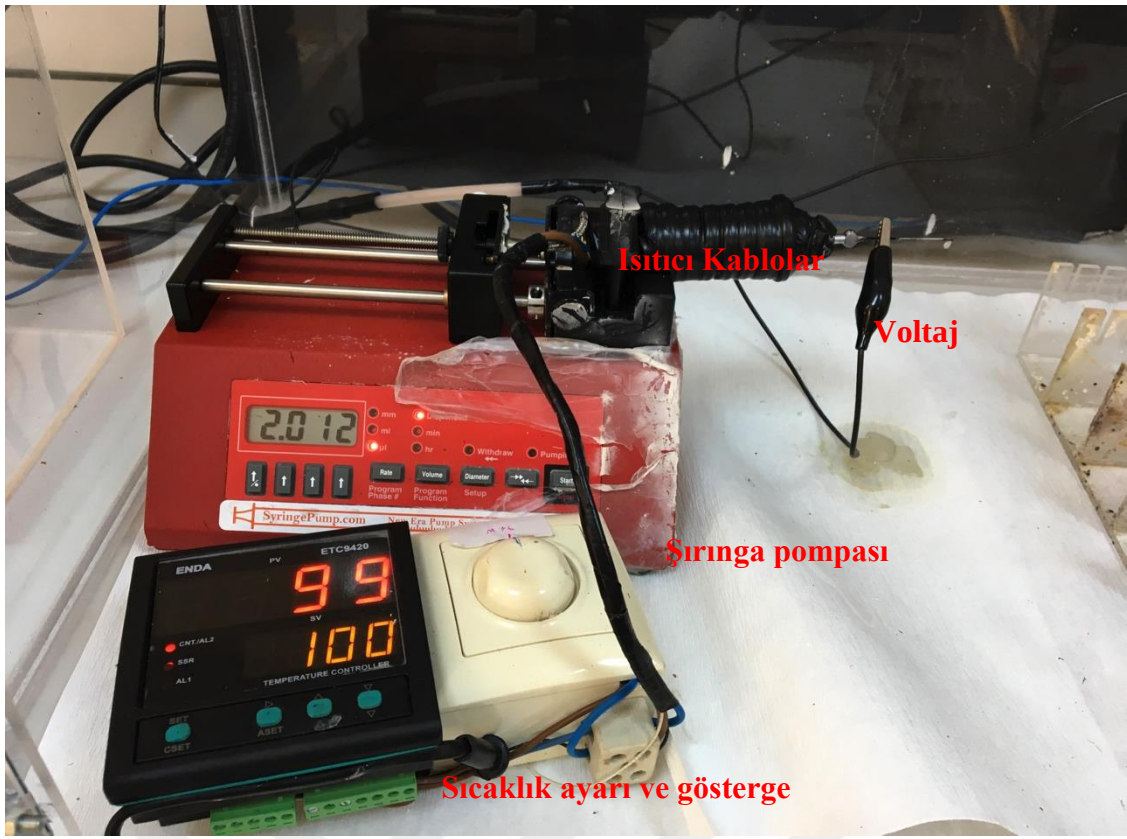
LDPE Shrink filmi ambalaj atıkları, Gaziantep Organize Sanayi Bölgesinde (GAOSB) faaliyet gösteren, lisanslı bir ambalaj atığı geri kazanım firmasından temin edilmiştir. Akrilik elyafı telefleri de aynı şekilde GAOSB’de faaliyet gösteren bir tekstil firmasından temin edilmiştir. LDPE atıklarını çözmek için Ksilen ve Toluen kullanılmıştır. Akrilik elyaf teleflerini çözmek için ise dimetilformamid (DMF) kullanılmıştır. Elektrospinning işlemi sırasında nano liflerin üzerine toplandığı, membran alt tabakası olarak kullanılan Polipropilen (PP) dokumasız (nonwoven) kumaşı da GAOSB’den temin edilmiştir. Çizelge 4.1’de kullanılan materyaller, kullanım amaçları ve temin edildikleri yerlerle birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.1: Çalışmada kullanılan materyaller ve kimyasallar

Kullanılan Materyal	Kullanım Amacı	Temin edildiğı yer
LDPE Ambalaj Atıkları	Elektrospinning ile membran üretimi	GAOSB
Akrilik Elyaf Telefleri	Elektrospinning ile membran üretimi	GAOSB
PP Nonvowen Kumaş	Membran alt tabakası	GAOSB
Ksilen (K.noktası:137-140°C)	LDPE Ambalaj atıklarını çözerek sıvı solüsyon haline getirmek	Sigma Aldrich (CAS no: 1330-20-7)
Toluen (K.noktası: 110°C)	LDPE Ambalaj atıklarını çözerek sıvı solüsyon haline getirmek	Sigma Aldrich (CAS no: 108-88-3)
Dimetilformamid (DMF) (K.noktası: 153°C)	Akrilik Elyaf atıklarını çözerek, sıvı solüsyon haline getirmek	Sigma Aldrich (CAS no: 68-12-2)

4.2. Elektrospinning İçin Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar

Solüsyonların hazırlanmasında bir adet ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Elektrospinning işlemi için ilk önce New Era marka NE-1000 model şırınga pompası kullanılmıştır. Ayrıca Şekil 4.1’de görülen; hazırlanan solüsyonları istenilen sıcaklıkta tutabilmek için tarafımızca geliştirilen; sıcaklık kontrollü şırınga ısıtma aparatı kullanılmıştır. Çalışmalarımızın diğeri aşamasında ise Inovenso marka NE300 model içten ısıtmalı elektrospinning cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Isıtıcı şırınga aparatı ve şırınga pompası



Şekil 4.2. Inovenso NE300 Elektrospraying cihazı

Elektrospinning işlemi neticesinde elde edilen yapıların morfolojik karakterini belirlemek için İnovenso Semoscope marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 4.3). Elektrospinning işlem için kullanılan bütün cihaz ve aparatlar Çizelge 4.2’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.3. Inovenso Semoscope marka SEM cihazı

Çizelge 4.2: Elektrospinning işlemi için kullanılan cihazlar

Kullanılan Cihaz	Kullanım Amacı	Temin Edildiği Yer
Isıticılı manyetik karıştırıcı	Solüsyon hazırlama	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ve Inovenso İkitelli OSB
New Era NE-1000 Şırınga pompası	Elektrospinning işleminde lif oluşumu için solüsyon besleme	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Isıticılı şırınga aparatı	Solüsyonun şırınga içerisinde donmasını önlemek	Tarafımızca geliştirilmiştir
Inovenso NE300 Elektrospinning cihazı	Elektrospinning işlemi sırasında ortamı ısıtmak ve daha iyi lif oluşumu sağlamak	Inovenso İkitelli OSB

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	Elektrospinning işlemi neticesinde oluşan yapıların ve lifleri morfolojisinin belirlenmesi	Inovenso İkitelli OSB
---------------------------------------	---	-----------------------

4.3. Elektrospinning İşlemi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

4.3.1. LDPE Ambalaj Atıkları ile Elektrospinning İşlemi

Laboratuvar ortamına alınan LDPE atıklarını çözerek sıvı solüsyon haline getirmek için, 10 ml Ksilen içerisinde; ağırlıkça %3, %4 ve %5'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler içerisinde, 85-90 °C'de ısıtıcılı manyetik karıştırıcı yardımıyla, 20 dakika içerisinde LDPE atıkları tamamen çözünmüştür. Hazırlanan LDPE-Ksilen çözeltilerinin oda sıcaklığında donduğunun fark edilmesi üzerine, elektrospinning işlemi sırasında donma olmaması için besleme şiringasını ısıtmaya karar verildi ve cam şiringa üzerine ısıtıcı kablolar sararak solüsyonun şiringa içerisinde donmasını önlenmiş oldu. Elektrospinning işlemi için New Era marka NE-1000 model şiringa pompası kullanıldı ve ısıtıcılı şiringamızın sıcaklığı 90-100 °C'ye ayarlandı. Toplayıcı plakanın şiringa ucuna olan mesafesi 15 cm olarak ayarlandı ve 10-15 kw'lık elektriksel yük verilerek elektrospinning işlemine başlandı. Daha sonra şiringa ucunda solüsyonun donduğu fark edildi (Şekil 4.4). Hazırlanan LDPE-Ksilen solüsyonları için elektrospinning sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3: LDPE İçin Hazırlanan Solüsyonlar ve Elektrospinning Neticesinde Gözlemlenen Sonuçlar

Solüsyon	Uygulanan voltaj (kw)	Şiringa ucu- Toplayıcı arası mesafe (cm)	Gözlem
% 3 LDPE-Ksilen	10-15	15	İğne ucunda donma gerçekleşti
% 4 LDPE-Ksilen	10-15	15	İğne ucunda donma gerçekleşti
% 5 LDPE-Ksilen	10-15	15	İğne ucunda donma gerçekleşti

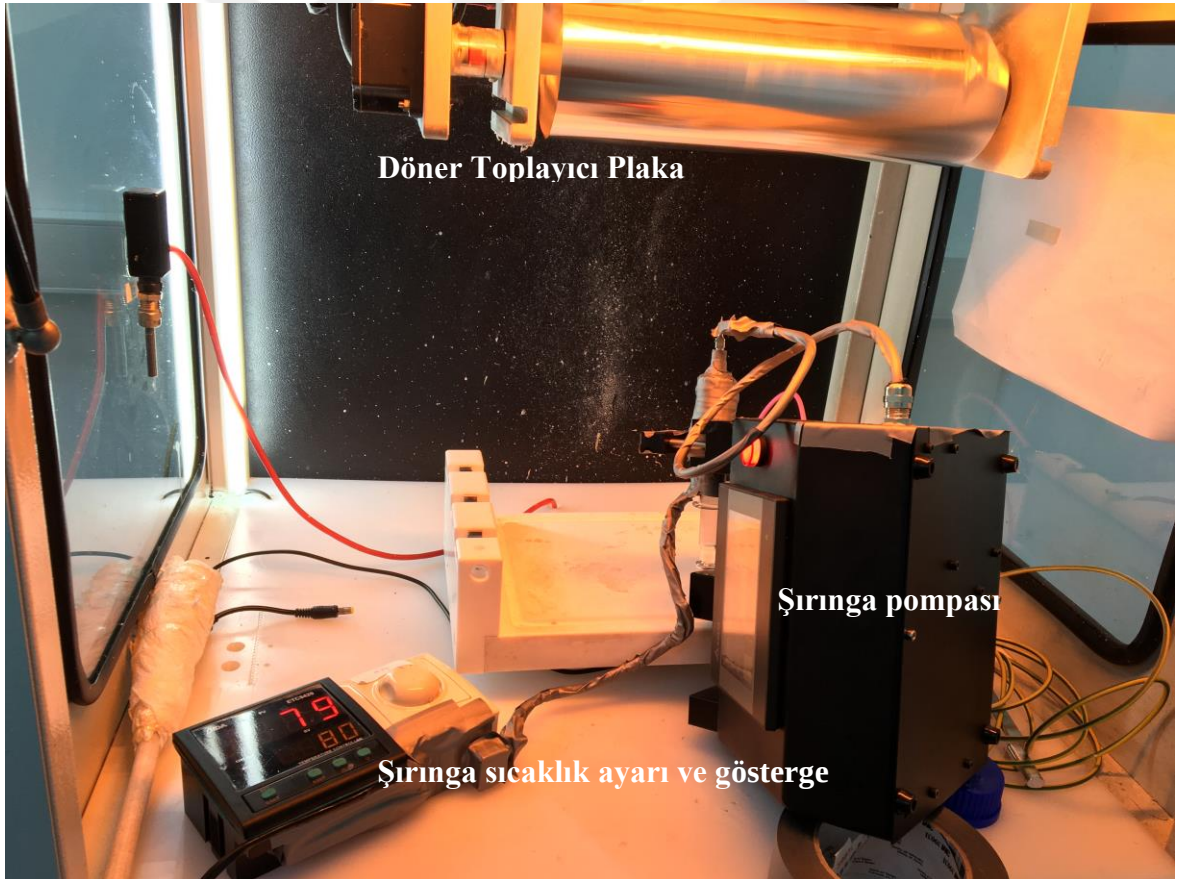


Şekil 4.4. Elektrosinning işlemi sırasında şırınga ucunda solüsyonun donması

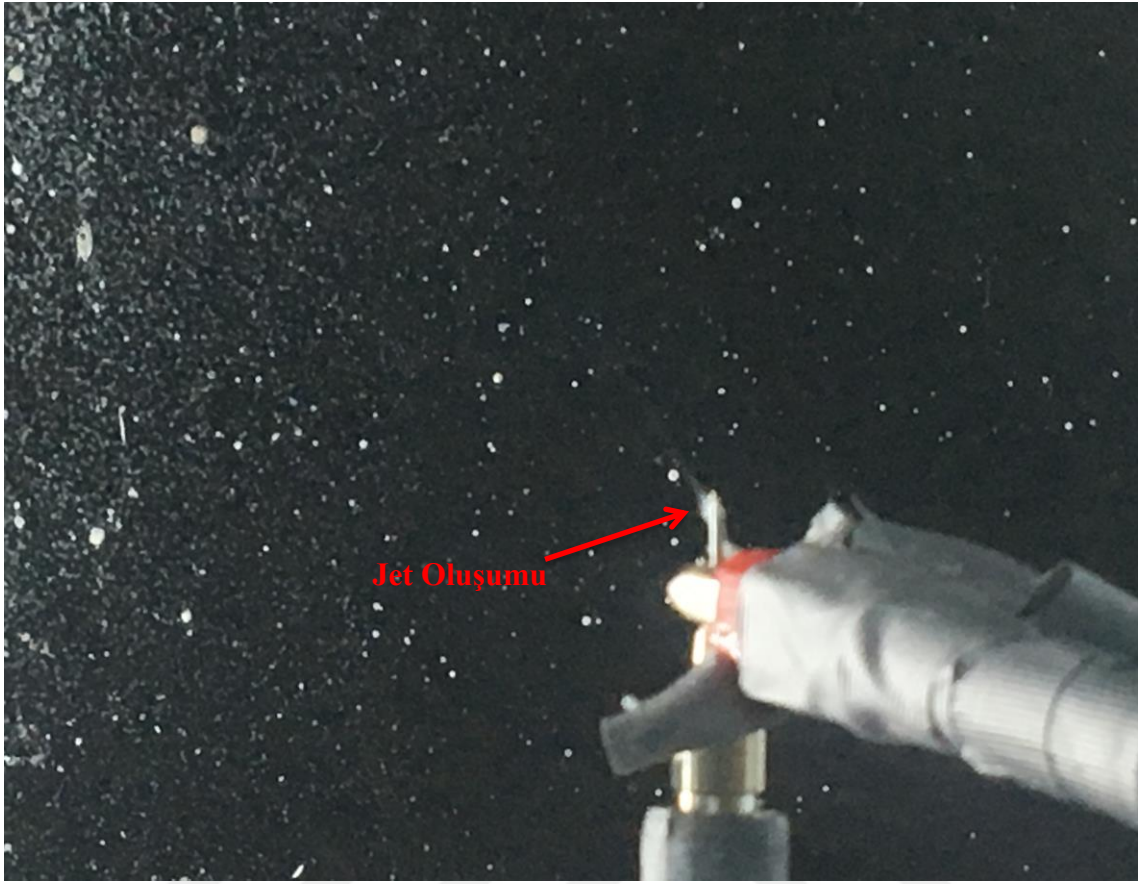
Elektrosinning işlemi sırasında, şırınga içerisinde solüsyonu sıvı formda tutabilmemize rağmen, şırınga ucunda solüsyonun donduğunu gözlemledikten sonra ortamın da ısıtılması gerektiği anlaşıldı ve içten ısıtmalı kabin tipi elektrosinning cihazı kullanımına karar verildi. Ayrıca LDPE için başka bir iyi çözücü olan ve Ksilen ile karşılaştırıldığında zararlı olmayan bir organik çözücü olan Toluen'in kullanımına karar verildi.

Çalışmamızın bu aşamasında, solüsyon optimizasyonu neticesinde; 50 ml Toluen içerisinde ağırlıkça % 5'lik LDPE, 65-70 °C'de tamamen çözüldü ve hazırlanan solüsyon 80 °C'ye ayarlanmış ısıtmalı şırıngamıza beslendi. Elektrosinning cihazı olarak; içten infrared ısıtmalı, INOVENSO NE300 model kabin tipi cihaz kullanıldı. Cihazın kabin içi görüntüsü ve ısıtma aparatlarımız Şekil 4.5'de verilmiştir. Uygulanan voltaj 20 kw, iğne ucu-toplayıcı arası mesafe 16,5 cm olarak ayarlandı ve kabin içi sıcaklık solüsyonun

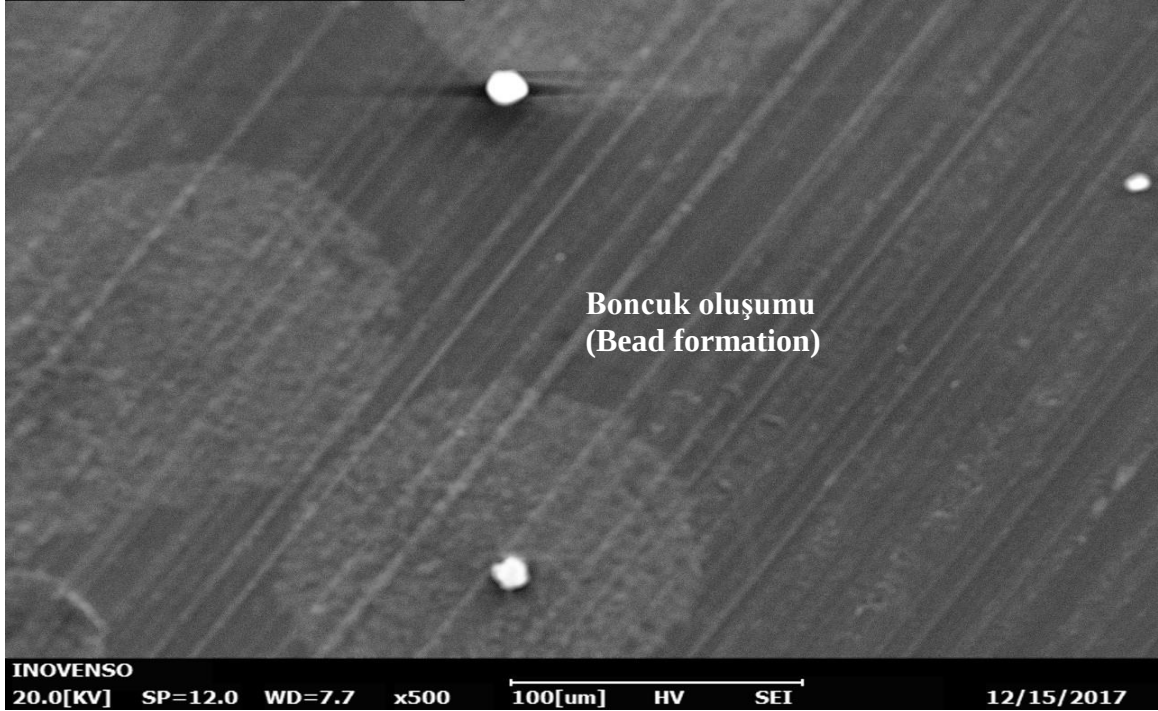
donmasını önleyecek şekilde ($>50^{\circ}\text{C}$) ayarlandı. Ardından cihaz çalıştırıldı ve şırınga pompası besleme akış oranı 1.5-2.5 ml/saat arasında olacak şekilde, elektrospinning işlemi yaklaşık 1 saat boyunca gözlemlendi (Çizelge 4.4). İşlem sırasında, şırınga ucunda donma olmadığı ve jet oluşumu (Şekil 4.6) ile birlikte iğne ucundan döner toplayıcı plakaya doğru akış olduğu gözlemlendi. Yaklaşık 1 saatin sonunda toplayıcı yüzeye baktığımızda, yüzeye toplanan yapıların lif olmadığı, boncukların (bead formation) oluştuğu anlaşıldı. Ardından 20 ml Ksilen içerisinde ağırlıkça % 2'lik LDPE solüsyonu, aynı ortam şartlarında elektrospinning cihazına beslendi ve yine aynı şekilde boncuklu yapı oluşumu gözlemlendi. Daha sonra, bu boncuklu yapıların taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntüleri alındı ve LDPE boncukları ayrıntılı olarak incelendi. Şekil 4.7'de bu yapıların SEM görüntüsü verilmiştir. Bu sonuçla birlikte, LDPE'nin çok iyi çözünüp sıvı hale gelmesine rağmen; amorf kısa zincirli moleküler yapısı gereği, elektrospinning ile lif oluşumu için uygun olmadığı anlaşılmış oldu.



Şekil 4.5. LDPE İçin Ortam ısıtılmalı elektrospinning düzeneği



Şekil 4.6. Şırınga ucunda elektriksel kuvvetlerin etkisiyle Jet oluşumu



Şekil 4.7. LDPE'nin Elektrosinning'i neticesinde oluşan boncuklu yapılar

Çizelge 4.4: LDPE İçin Ortam Isıtmalı Elektrospinning işlemi ve gözlem

Solüsyon	Şırınga / Ortam Sıcaklığı (°C)	Şırınga-Toplayıcı arası mesafe (cm)	Uygulanan Voltaj (kv)	Gözlem
LDPE-Toluen (Ağırlıkça %5'lik)	80/65	17	20	Lif oluşmadı. Boncuklu yapı oluşumu gözlemlendi
LDPE-Ksilen (Ağırlıkça %2'lik)	80/65	17	20	Lif oluşmadı. Boncuklu yapı oluşumu gözlemlendi

Çalışmanın bu aşamasında önceden de bahis edildiği gibi, LDPE'nin kısa zincirli moleküler yapısından dolayı tek başına elektrospinning yöntemi ile lif oluşumu için uygun olmadığı anlaşılmıştır. Akrilik elyaf teleflerinin ise, lif oluşumu için daha uygun olduğunun anlaşılması üzerine; Akrilik elyaf teleflerinin LDPE ile birlikte kullanılmasına karar verildi.

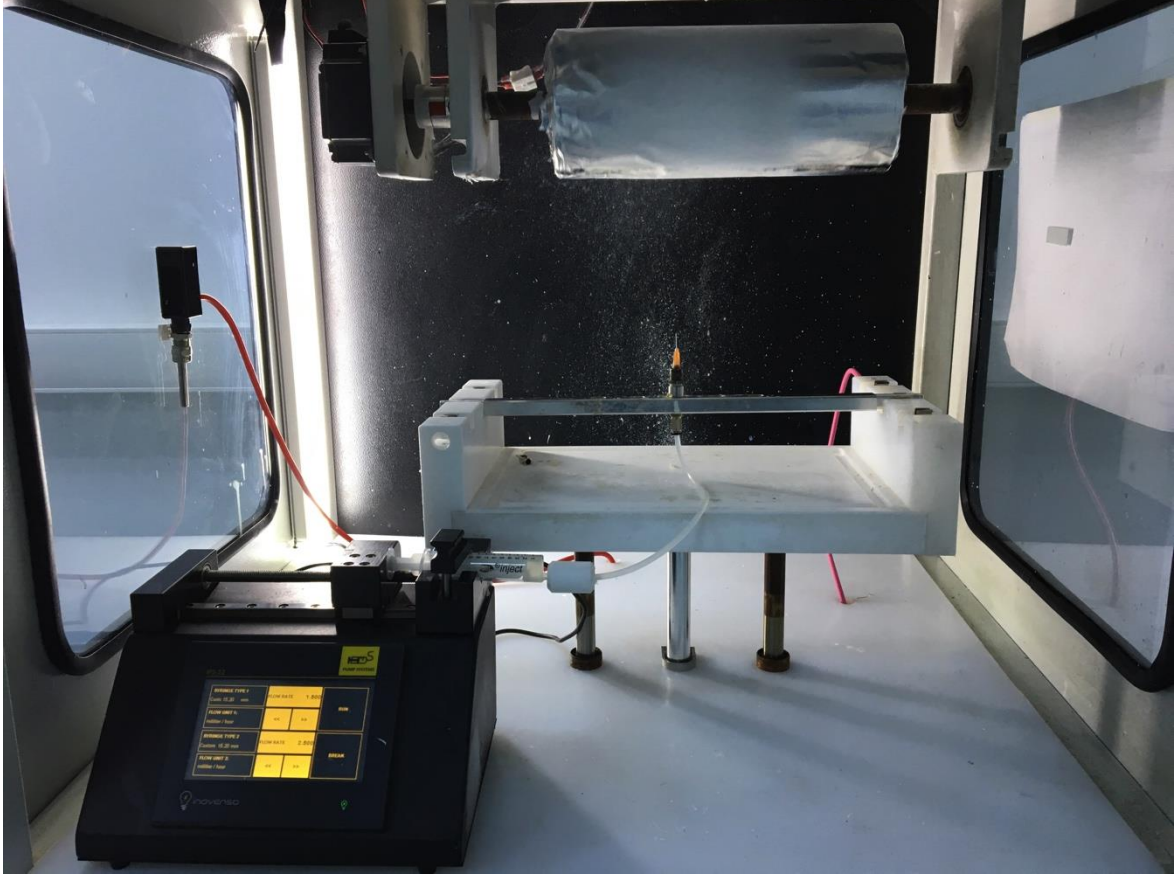
4.3.2. LDPE Ambalaj Atıkları ile Akrilik Elyaf Teleflerinin birlikte Elektrospinning işlemi

Ağırlıkça % 4'lük LDPE atıkları, 65-70 °C'de ısıtıcıly manyetik karıştırıcı ile Toluen içerisinde tamamen çözünerek bir solüsyon hazırlandı. Akrilik elyaf telefleri ise ağırlıkça % 13 olacak şekilde DMF içerisinde 50 °C'de tamamen çözünerek homojen bir solüsyon hazırlandı. Hazırlanan solüsyonlardan hacimsel olarak belirli oranlarda alınarak, 100 °C'de yeni karışımlar elde edildi. Bu karışımlar neticesinde Çizelge 4.5'deki gözlemler elde edilmiştir.

Çizelge 4.5: LDPE-Elyaf telefi karışımları ve Gözlem

Hacimsel Karışım oranı (LDPE:Elyaf telefi)	Gözlem
1:1	Karışım olmadı, katılaşma görüldü
1:1,5	Homojen bir şekilde karışım gözlemlendi
1:2	Homojen bir şekilde karışım gözlemlendi
1:3	Homojen bir şekilde karışım gözlemlendi

Elde edilen bu karışımlar, elektrospinning cihazına ısıtma aparatlarına gerek kalmadan, Şekil 4.8’de görüldüğü üzere oda sıcaklığında beslenmiştir. Elektrospinning cihazında elde edilen sonuçlar, işletim parametreleri ile birlikte, Çizelge 4.6’da ayrıntılı olarak verilmiştir.

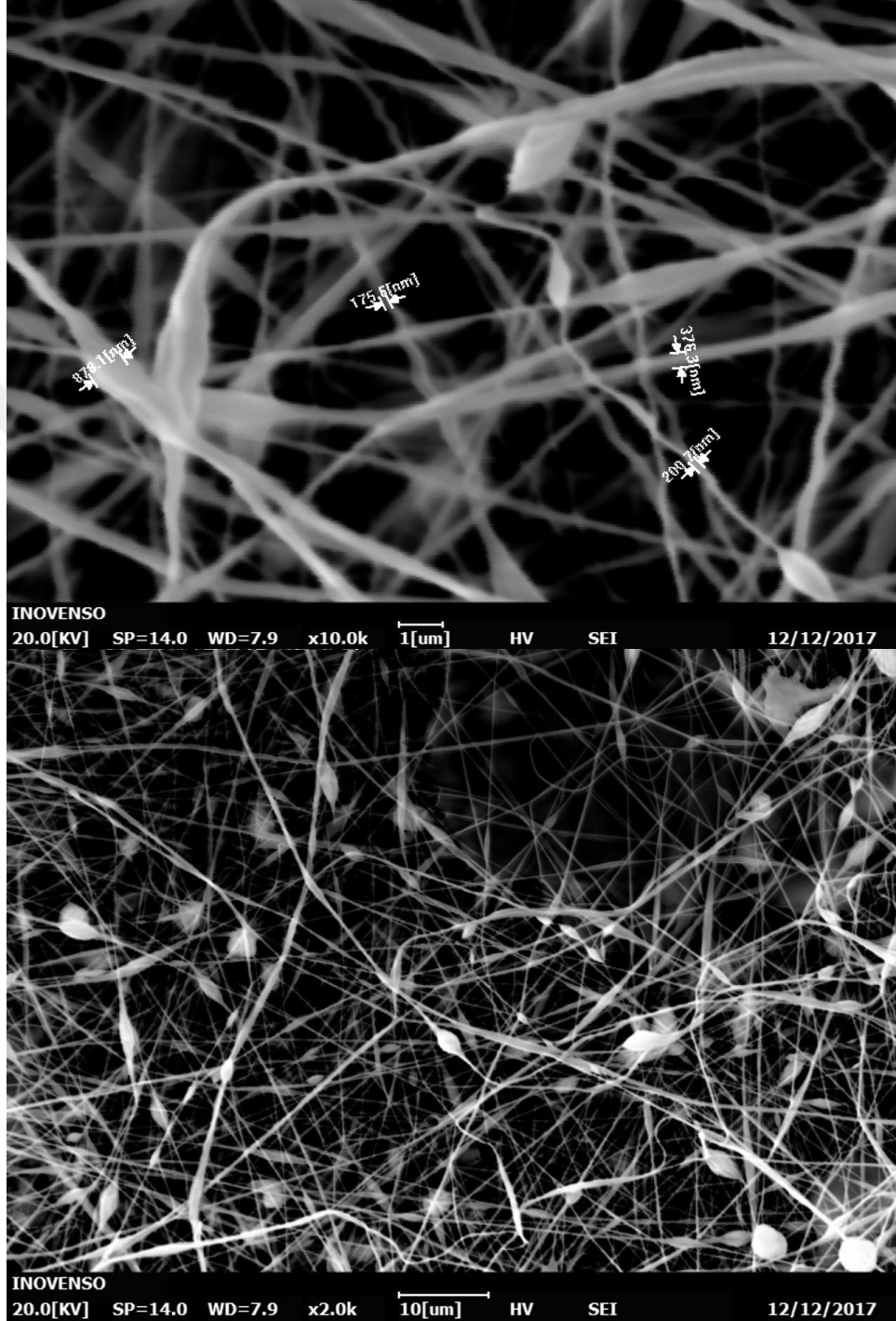


Şekil 4.8. LDPE-Elyaf solüsyonunun Elektrospinning işlemi

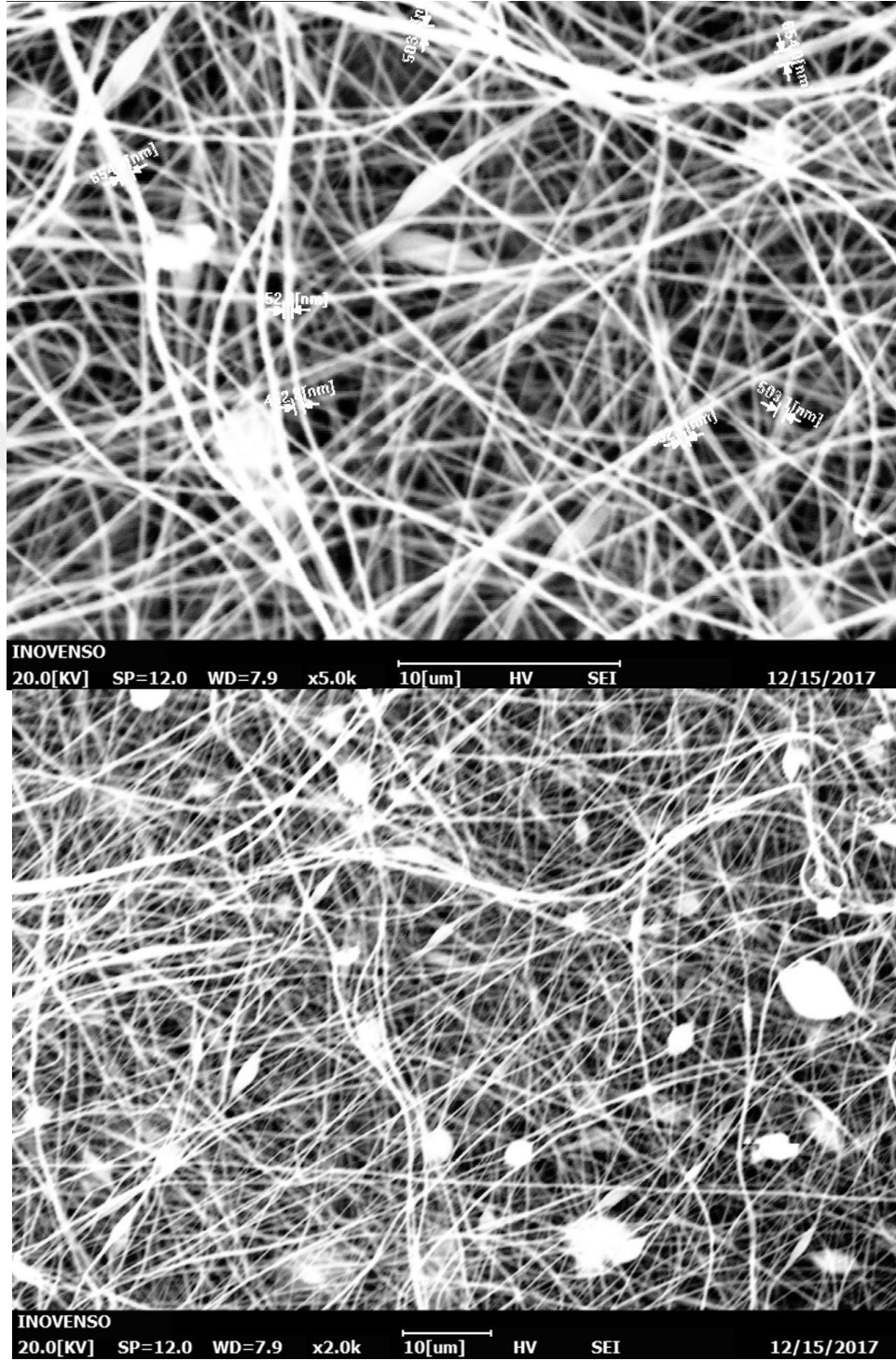
Çizelge 4.6: LDPE-Elyaf telefi karışımlarının Elektrospinning sonuçları ve gözlem

Hazırlanan Solüsyonlar (Ağırlıkça % Polimer-Çözücü)	Solüsyonların Hacimce Karışım Oranları LDPE-Elyaf (v:v)	Şırınga-Toplayıcı arası mesafe (cm)	Voltaj (kv)	Besleme akış oranı (ml/saat)	25°C’de Çalışma Süresi (saat)	Gözlem
% 4 LDPE-Toluen	1:1,5	16,5	20	1.5-2.5	0.5	Pürüzlü yapı elde edildi
	1:2	16,5	20	1.5-2.5	3	Lif oluşumu gözlemlendi (Boncuklu yapıda)
% 13 Elyaf-DMF	1:3	16,5	20	1.5-2.5	2	Lif oluşumu gözlemlendi (Boncuklu yapıda)

Hazırlanan LDPE-Elyaf solüsyonlarından, hacimce 1:2 ve 1:3 oranındaki karışımlardan elektrospinning ile elde edilen liflerin yapılarına SEM ile incelendiğinde, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'daki görüntüler elde edilmiştir.



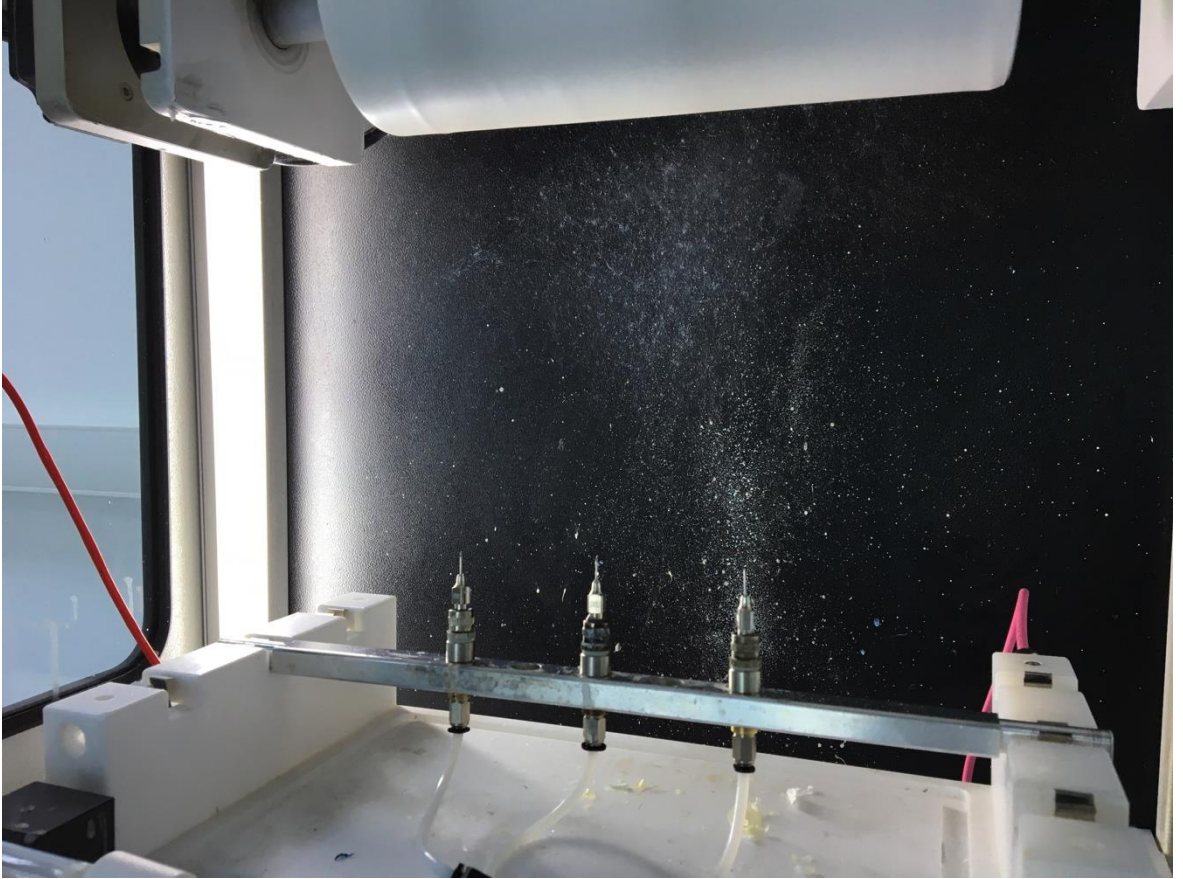
Şekil 4.9. Hacimce 1:2 oranındaki LDPE-Elyaf solüsyonunun SEM görüntüleri



Şekil 4.10. Hacimce 1:3 oranındaki LDPE-Elyaf solüsyonunun SEM görüntüleri

4.4. Membran Üretimi İçin Elektrosinning İşleminde Yapılan Optimizasyon

SEM görüntülerinden anlaşılacağı üzere, lif yapıları oluşmasına rağmen; bazı kısımlarda görülen boncuklu yapıları gidermek için; ağırlıkça %2'lik LDPE kullanarak, Toluen içerisinde yeni bir solüsyon hazırlandı. Elyaf atıkları ise ağırlıkça %10 olacak şekilde DMF içerisinde çözünerek yeni bir solüsyon hazırlandı. Hazırlanan her iki solüsyon, hacimce 1:2,5 oranında LDPE-Elyaf olacak şekilde 100°C'de karıştırılarak yeni bir solüsyon hazırlandı. Ardından, elektrosinning işlemi sırasında oluşacak lifleri toplamak ve de membran destek tabakası olarak kullanmak amacıyla, toplayıcı plaka üzerine PP nonwoven (dokumasız) kumaşı yerleştirildi. Daha stabil bir yüzey elde etmek amacıyla, Şekil 4.11'de görüldüğü gibi; 0,723 mm'lik üçlü iğne kullanılarak elektrosinning işlemi gerçekleştirildi.

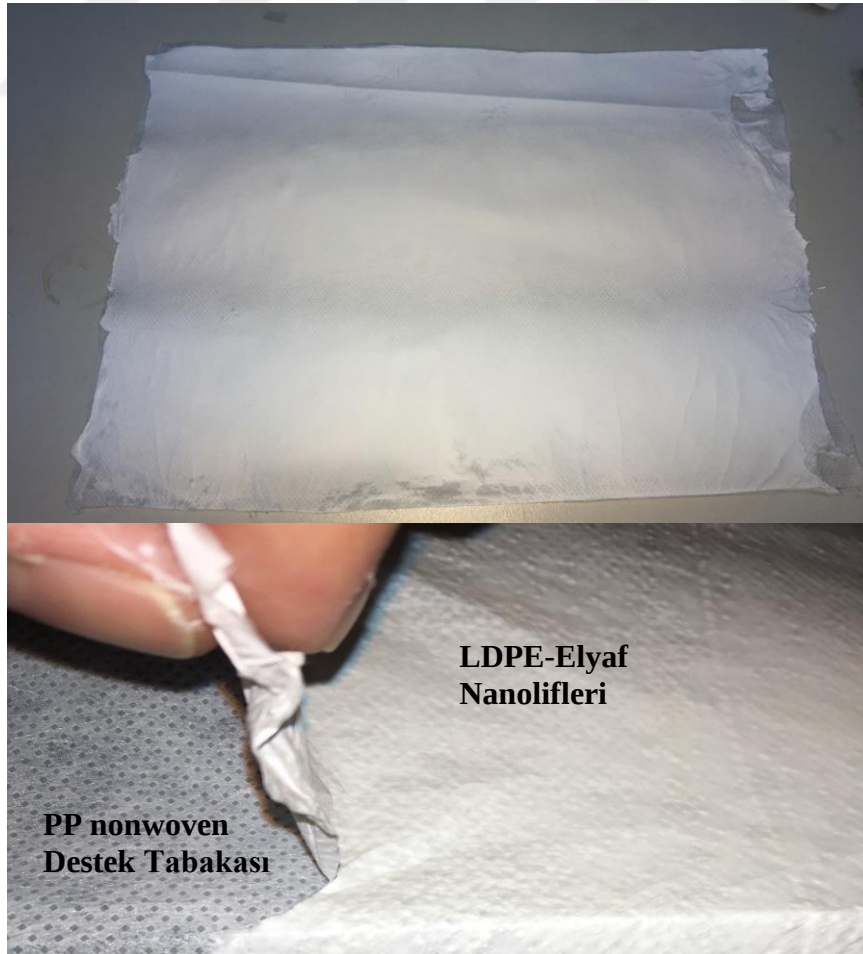


Şekil 4.11. Optimizasyon Sonrası Üçlü iğne kullanarak yapılan Elektrosinning işlemi

Elektrospinning işlemi Çizelge 4.7’de verilen işletim parametrelerinde tamamlanarak, PP nonwoven kumaş üzerinde stabil nanolif bir yüzey elde edilerek membran üretilmiş oldu. (Şekil 4.12). Üretilen membran, karakterizasyon ve performans testlerinin yapılması için İTÜ MEMTEK laboratuvarlarına götürülmüştür.

Çizelge 4.7: Optimizasyon sonrası Elektrospinning işletim parametreleri ve gözlem

Hazırlanan Solüsyonlar (Ağırlıkça % Polimer-Çözücü)	Solüsyonların karışım oranı (v:v)	Şırınga-Toplayıcı arası mesafe (cm)	Voltaj (kv)	Besleme akış oranı (ml/saat)	Ortam Sıcaklığı /Çalışma Süresi	İğne ucu çapı / iğne sayısı	Gözlem
%10 Elyaf - DMF	LDPE-Elyaf (1:2,5)	16,5	20	3	25 ⁰ C / 2 saat	0,723mm / 3 iğne	Stabil nanolif yüzey elde edildi.
%2 LDPE-Toluen							

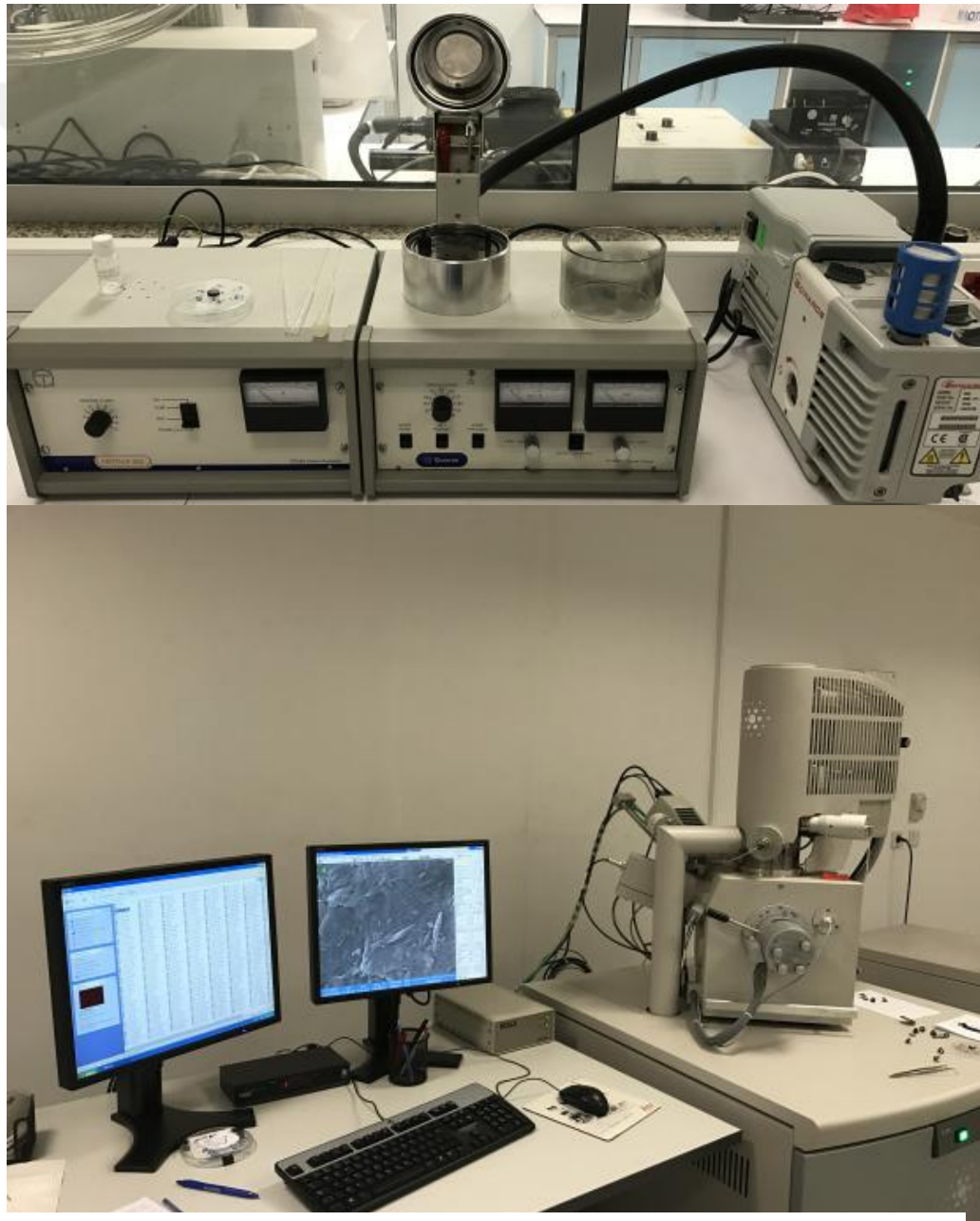


Şekil 4.12. PP nonwoven destek tabakası ile birlikte LDPE-Elyaf nanoliflerinden Üretilen Membran

4.5. Membran Karakterizasyon Analizleri

4.5.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

LDPE-Elyaf nanoliflerinin, lif yapılarının ve lif ϕ larının belirlenmesi için; SEM görüntüleri alınmıştır. Görüntüler, İTÜ MEMTEK bünyesinde bulunan, FEI marka Quanta Feg 250 model SEM cihazından alınmıştır. Ölçüm öncesinde membran numunesi cihazın hücreğine yerleştirilerek, yüzeyi Au-Pt ile belirli bir voltajda ve sürede kaplanmıştır. Daha sonra SEM cihazında numunenin lif yapısının görüntüleri alınmıştır. Au-Pt kaplama ve SEM cihazının görüntüleri Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Au-Pt Kaplama ve SEM cihazı

4.5.2. Membran Por Çapı ve Dağılımı Analizi

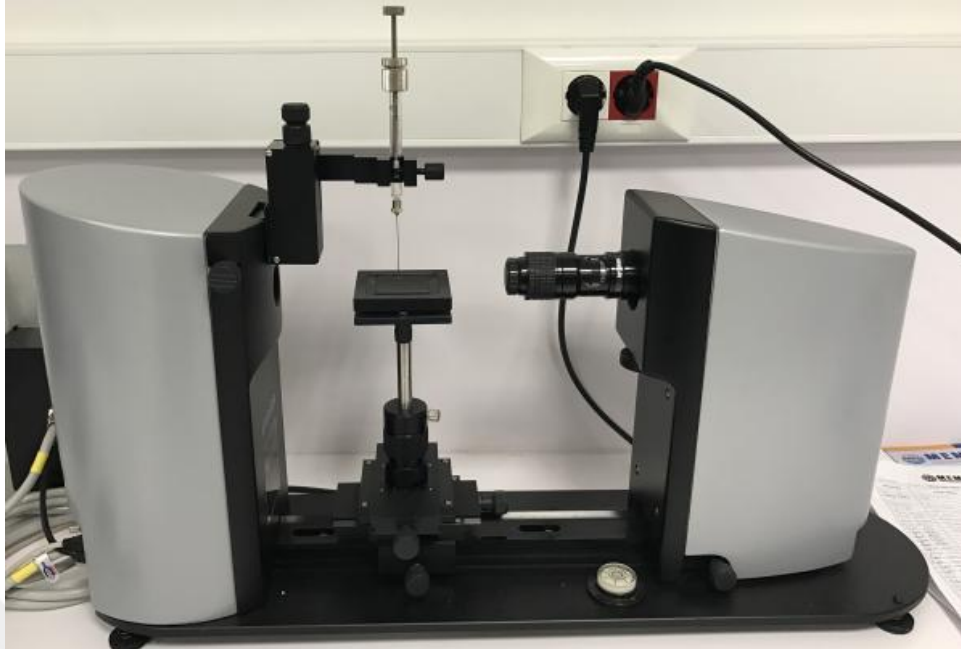
LDPE-Elyaf nanolifleri'nin gözenek boyutunu yani por çapını öğrenmek amacıyla, İTÜ MEMTEK bünyesinde bulunan Quantachrome Porometer 3G cihazında (Şekil 4.14) por çapı analizi yapılmıştır. 18 mm çapında bir numune kesilerek cihazın hücreesine konulmuş ve özel sıvısı yardımıyla nemlendirilerek 1.5 saat sonunda por çapına ait ölçümler tamamlanmıştır. Analiz neticesinde membran numunesine ait por çapı ve dağılımı listelenmiş ve grafik yardımıyla ortalama por çapı, μm cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 4.14. Quantachrome Porometer 3G Por çapı analiz cihazı

4.5.3. Temas Açısı Ölçümü

Üretilen membranın hidrofilik veya hidrofobik özelliğinin belirlenmesine yardımcı olan temas ölçümü, İTÜ MEMTEK bünyesinde bulunan, KSV Attension marka Theta model temas ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihaza konulan membran numunesi yüzeyi üzerine ultra saf su damlatılarak, damlanın membran yüzeyi ile yaptığı açı belirlenmiştir. Şekil 4.15'de cihazın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.15. Temas Açısı Ölçüm Cihazı

4.6. Membran Performans Analizleri

4.6.1. Filtrasyon Düzenegi

Üretimini yaptığımız LDPE-Elyaf membranın filtrasyon analizleri, İTÜ MEMTEK bünyesinde bulunan; Sterlitech marka HP4750 model filtrasyon düzeneğinde yapılmıştır. Filtrasyon düzeneği, çapraz akım oluşturmak amacıyla, içten bir adet manyetik karıştırıcıya sahiptir. Filtrasyon düzeneği; paslanmaz çelik hücre, alt hücre, bar montajı, üst kavrama, alt kavrama, gözenekli paslanmaz çelikten mamul membran disk, iki adet O-ringler ve üst contadan oluşmaktadır. Filtrasyon düzeneğinin görüntüsü Şekil 4.16’da verilmiş olup, teknik özellikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8: Sterlitech Filtrasyon Düzeneği Teknik Özellikleri

Parametre	Değer
Membran çapı	49 mm
Aktif membran alanı	14.6 cm ²
Maksimum hacim	300 ml
Maksimum sıcaklık	1200°C
Maksimum basınç	69 bar



Şekil 4.16. Sterlitech Filtrasyon Düzeneği

Üretilen LDPE-Elyaf mebranı, PP nonwoven destek tabakası ile birlikte 49 mm çapında kesilerek, Sterlitech filtrasyon düzeneği içerisine yerleştirilmiş olup, gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra atıksu numunesi beslenmiştir.

4.6.2. Membran Akı Hesabı

Membran akı hesabı, 4.1'deki eşitlikte verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$J = \frac{V}{A * T} \quad 4.1$$

J: Akı (L/m²sa)

A: Membranın efektif alanı (m²)

T: Zaman aralığı (sa)

V: Süzüntü hacmi (L)

4.6.3. Filtrasyonda Kullanılan Atıksu

Membran performans analizleri gerçek atıksu numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Atıksu numunesi, İstanbul'da **İSKİ Baltalımanlı Atıksu Arıtma Tesisi** Membran Bio Reaktör (MBR) ünitesinde işletilen atıksu'dan alınmıştır. Atıksuya ait kirlilik parametre değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9: Atıksu Numunesi Kirlilik Parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Renk (455 nm)	mg/L PtCo	217
MLSS	mg/L	58
Toplam Organik Karbon (TOC)	mg/L	241,5
KOİ (COD)	mg/L	627
BOİ (BOD)	mg/L	501,6
Nitrat Azotu	mg/L NO ₃ -N	23,7
Toplam Nitrojen	mg/L TNb	60
Fosfat	mg/L PO ₄ -P	15,3

4.6.4. Toplam Organik Karbon (TOC) Analizi

Filtrasyon neticesinde elde edilen çıkış suyunun TOC analizi, İTÜ MEMTEK bünyesinde bulunan Shimadzu TOC VCP-N marka cihazda yapılmıştır. Cihazın görüntüsü Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Toplam Organik Karbon (TOC) Analiz Cihazı

4.6.5. UV Spektrofotometre Hazır Kit Analizleri

Filtrasyon neticesinde, elde edilen çıkış suyunun diğer analizlerinde, İTÜ MEMTEK bünyesinde bulunan Hach-Lange DR5000 marka spektrofotometre cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.18).



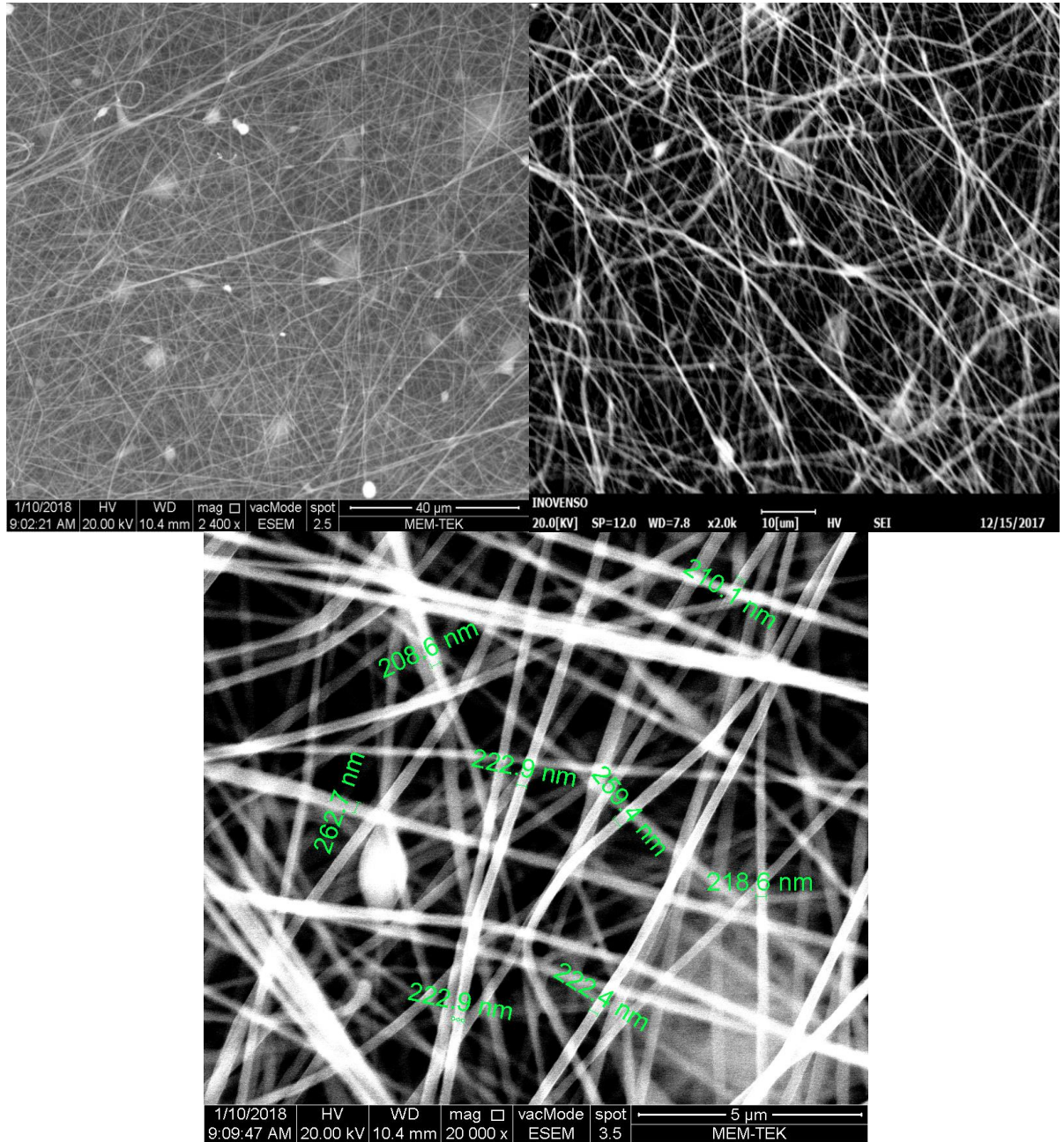
Şekil 4.18. Hach-Lange DR5000 marka spektrofotometre cihazı

5. KARAKTERİZASYON VE PERFORMANS SONUÇLARI

5.1. Karakterizasyon Sonuçları

5.1.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları

Üretilen LDPE-Elyaf membranının SEM görüntülerine baktığımızda, önceden bakılan lif yapılarına nazaran daha düzenli bir yapı sergilediğini görmekteyiz. SEM analizi neticesinde üretilen nanoliflerin çaplarının stabil bir şekilde, ortalama 230 nm olduğu tespit edilmiştir. LDPE-Elyaf membranına ait SEM görüntüleri Şekil 5.1’de verilmiştir.



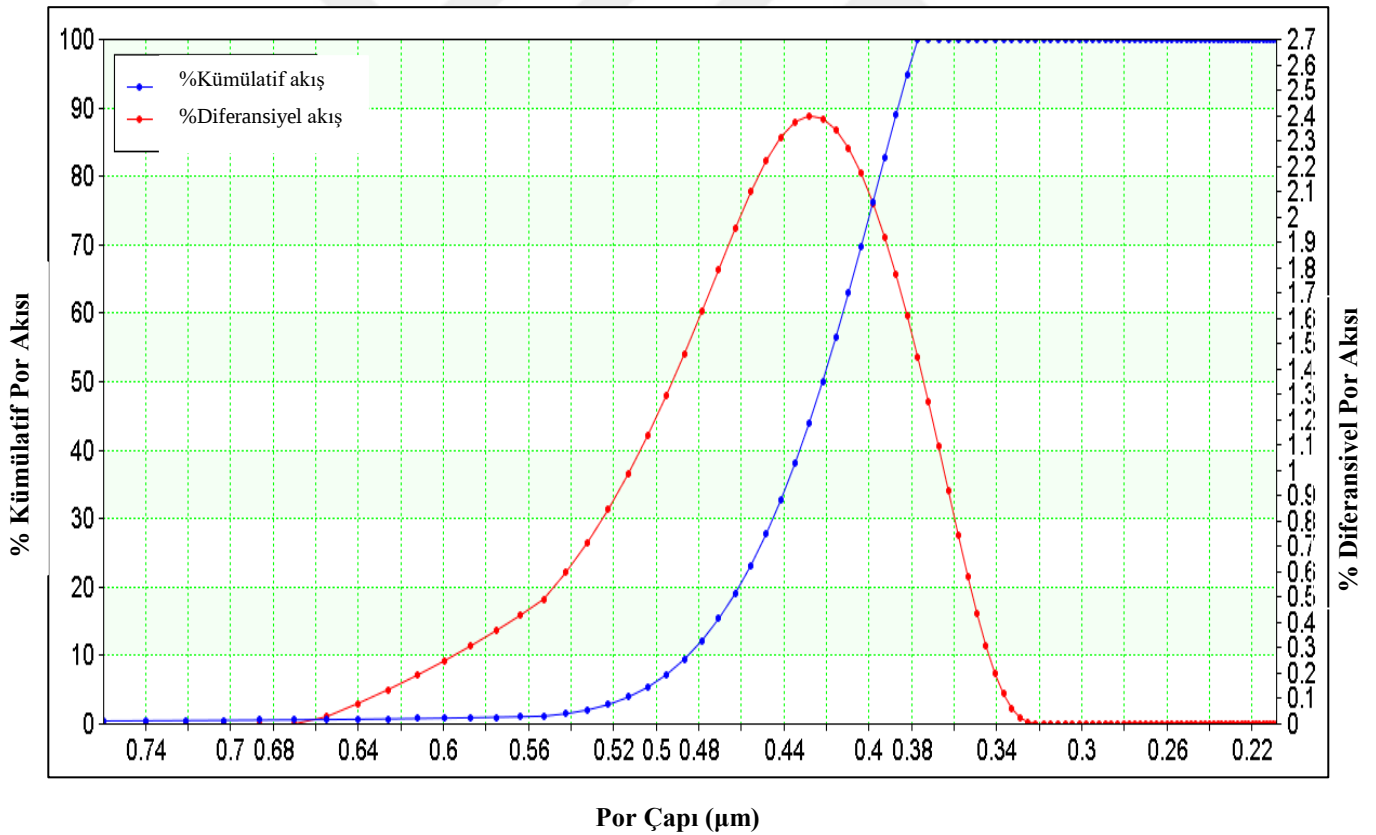
Şekil 5.1. LDPE-Elyaf Membranına ait SEM görüntüleri

5.1.2. Membran Por Çapı ve Dağılımı Analizi Sonuçları

Porometre cihazı ile yapılan ölçüm neticesinde, LDPE-Elyaf membranı için Çizelge 5.1'deki değerler elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerde; en küçük por çapının 0.278 μm , en büyük por çapının 0.513 μm ve ortalama por çapının 0.416 μm olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.2'de Por çapı dağılımı grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.1: LDPE-Elyaf Membranın Por Çapı Analiz Değerleri

En küçük por çapı	0.278 (μm)
En büyük por çapı	0.513 (μm)
Ortalama por çapı	0.416 (μm)



Şekil 5.2. LDPE-Elyaf Membranı Por çapı dağılımı

5.1.3. Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

Temas açısı ölçümü neticesinde, LDPE-Elyaf membranın Çizelge 5.2’de verilen değerlerle birlikte, temas açısının ortalama 20 derece çıktığı görülmektedir. Buradan üretilen membranın hidrofilik yani suyu seven bir yapıda olduğunu açıkça söyleyebiliriz.

Çizelge 5.2: Temas Açısı Ölçümleri

Ölçüm	Temas Açısı
1.Ölçüm	27,25° (Hidrofilik)
2.Ölçüm	12,75° (Hidrofilik)
Ortalama	20° (Hidrofilik)

5.2. Performans Sonuçları

5.2.1. İşletim Koşulları ve Akı Değeri

LDPE-Elyaf membran numunesi, PP nonwoven destek tabakası ile birlikte, Sterlitech filtrasyon düzeneğine yerleştirildikten sonra, 100 ml’lik atıksu numunesi Sterlitech’e beslenmiştir. Beslenen numune, Sterlitech içinde çapraz akışlı olarak, 4 saat boyunca filtre edilmiştir. Filtrasyon işletme koşulları Çizelge 5.3 ’de verilmiştir. Membranın akı değeri ise, 273 L/m².saat.bar olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3: Filtrasyon İşletme Koşulları ve Akı Değeri

Sıcaklık, °C	Basınç, bar	Süre, saat	Numune miktarı, ml	Akı değeri, L/m ² .saat.bar
25	0.1	4	100	273

5.2.2. Renk Giderimi

Filtrasyon öncesi ve sonrasına ait renk değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4: Renk Giderimi

Giriş Değeri, mg/L PtCo	Çıkış Değeri, mg/L PtCo	Giderim Oranı
217	4	% 98

5.2.3. MLSS (Karışık Sıvı Askıda Katı Madde) Giderimi

Karışık Sıvı Askıda Katı Madde anlamına gelen MLSS için, filtrasyon öncesi ve sonrasına ait değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5: MLSS giderimi

Giriş Değeri, mg/L	Çıkış Değeri, mg/L	Giderim Oranı
58	4	%93

5.2.4. Toplam Organik Karbon (TOC) Giderimi

Filtrasyon öncesi ve sonrasına ait Toplam Organik Karbon (TOC) değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.6’de verilmiştir.

Çizelge 5.6: Toplam Organik Karbon (TOC) giderimi

Giriş Değeri, mg/L	Çıkış Değeri, mg/L	Giderim Oranı
241,5	4,59	%98

5.2.5. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ-COD) Giderimi

Filtrasyon öncesi ve sonrasına ait KOİ değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7: KOİ giderimi

Giriş Değeri, mg/L	Çıkış Değeri, mg/L	Giderim Oranı
627	13,2	%98

5.2.6. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ-COD) Giderimi

Filtrasyon öncesi ve sonrasına ait BOİ değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8: BOİ giderimi

Giriş Değeri, mg/L	Çıkış Değeri, mg/L	Giderim Oranı
501,6	10,56	%98

5.2.7. Nitrat Azotu Giderimi

Filtrasyon öncesi ve sonrasına ait Nitrat Azotu değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.9’de verilmiştir.

Çizelge 5.9: Nitrat Azotu giderimi

Giriş Değeri, mg/L NO₃-N	Çıkış Değeri, mg/L NO₃-N	Giderim Oranı
23,7	23,1	%3

5.2.8. Toplam Nitrojen

Filtrasyon öncesi ve sonrasına ait Toplam Nitrojen değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.10’de verilmiştir.

Çizelge 5.10: Toplam Nitrojen giderimi

Giriş Değeri, mg/L TNb	Çıkış Değeri, mg/L TNb	Giderim Oranı
60	27,5	%54

5.2.9. Fosfat Giderimi

Filtrasyon öncesi ve sonrasına ait Fosfat değerleri ile giderim verimi Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11: Fosfat giderimi

Giriş Değeri, mg/L PO₄-P	Çıkış Değeri, mg/L PO₄-P	Giderim Oranı
15,3	12,2	%20

5.2.10. Karakterizasyon ve Performans Sonuçlarının Birlikte Gösterimi

Membran amacıyla, Elektrospinning yöntemiyle üretimini gerçekleştirdiğimiz LDPE-Elyaf nanoliflerinin karakteristik değerleri Çizelge 5.12’de birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.12: LDPE-Elyaf Membranın Karakteristik Değerleri

Ortalama Nanolif Çapı, nm	Ortalama Por çapı, µm	Ortalama Temas Açısı
230	0,416 (Mikrofiltrasyon)	20 (Hidrofilik)

İSKİ Baltalimanı Atıksu Arıtma Tesisinden alınan atıksu numunesinin, filtrasyon öncesi parametre değerleri ve ürettiğimiz (LDPE-ELYAF)/PP Nanokompozit membranında filtre edildikten sonraki çıkış değerleri, giderim oranları ile birlikte Çizelge 5.13’de verilmiştir. Atıksuyun filtre edilmeden önceki ve filtre edildikten sonraki görüntüsü Şekil 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.13: Performans Sonuçlarının Birlikte Gösterimi

Membran Akı Değeri : 273 L /m ² . saat. bar				
Parametre	Birim	Giriş Değeri	Çıkış Değeri	Giderim Oranı
Renk	mg/L PtCo	217	4	% 98
MLSS	mg/L	58	4	% 93
TOC	mg/L	241,5	4,59	% 98
COD	mg/L	627	13,2	% 98
BOD	mg/L	501,6	10,56	% 98
Nitrat Azotu	mg/L NO ₃ -N	23,7	23,1	% 3
Toplam Nitrojen	mg/L TNb	60	27,5	% 54
Fosfat	mg/L PO ₄ -P	15,3	12,2	% 20



Şekil 5.3. Atıksuyun Filtrasyon Öncesi ve Sonrasına Ait Görüntüsü

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sanayi Kaynaklı LDPE Shrink filmi ambalaj atıklarının ve Akrilik Elyafı teleflerinin kullanıldığı bu çalışmada; literatürde ilk defa, bu atık/telef materyallerinden birlikte, elektrospinning yöntemiyle, membran üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların ilk safhalarında LDPE ambalaj atıkları, laboratuvar ortamına alınarak, farklı konsantrasyonlarda LDPE-Ksilen ve LDPE Toluen çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltiler içerisinde LDPE atıkları, yaklaşık 60-90 °C’de tamamen çözünerek sıvı hale getirilmiştir. Hazırlanan solüsyonların, besleme şırıngası ve cihaz içerisinde donmasını önlemek amacıyla, tarafımızca geliştirilen şırınga ısıtma aparatı kullanılarak, ortam ısıtmalı Inovenso NE300 Elektrospinning cihazında çalışmalar yapılmıştır. Elektrospinning işlemi sırasında ortam şartları uygun olmasına rağmen, hazırladığımız solüsyonlardan lif oluşumu gerçekleşmemiştir. LDPE’nin tek başına lif oluşturmayaceğının anlaşılması üzerine, Akrilik elyaf telefleri ile karıştırılarak yeni bir solüsyon hazırlanmasına karar verilmiştir. Daha sonra LDPE atıkları ağırlıkça %4’lük olacak şekilde Toluen içerisinde, Akrilik elyaf telefleri ise ağırlıkça %13 olacak şekilde DMF içerisinde tamamen çözünmüştür. Hazırlanan solüsyonlar hacimce 1:2 ve 1:3 oranlarında 100°C’de karıştırılmış, böylece homojen solüsyonlar elde edilmiştir. Hazırlanan solüsyonlar elektrospinning cihazına beslenmiş ve ısıtma aparatlarına gerek kalmadan nanoliflerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Oluşan nanoliflerin SEM analizi ile incelendiğinde boncuklu yapılara rastlanmıştır.

Membran üretimi için, solüsyonlarda optimizasyon yapılmasına karar verilmiş ve ağırlıkça %2’lik LDPE solüsyonu ile ağırlıkça %10’luk Akrilik elyafı solüsyonları hacimce 1:2,5 oranında 100°C’de karıştırılarak yeni bir homojen solüsyon elde edilmiştir. Hazırlanan LDPE-Elyaf solüsyonu elektrospinning cihazına beslenmiş ve PP nonwoven toplayıcı destek tabakası üzerinde nanoliflerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Elde edilen nanoliflerin SEM görüntülerine baktığımızda, optimizasyon öncesi oluşan nanolif yapılarına göre daha stabil bir nanolif yüzey oluştuğu ve nanolif çaplarının ortalama 230 nm olduğu anlaşılmıştır. Böylece atık/telef materyal kullanarak, elektrospinning işlemi ile membranın üretimi gerçekleştirilmiştir.

Karakterizasyon amacıyla, por çapı analizi neticesinde membranın ortalama 0,416 µm por çapına sahip olduğu ve böylece Mikrofiltrasyon (MF) membranı olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra membran için Temas Açısı ölçümü gerçekleştirilmiş, temas açısının 20 derece olduğu anlaşılmıştır. Bu değer membranımızın Hidrofilik yani suyu seven bir yapıda olduğunu göstermektedir. Membranımızın hidrofilik yapıda olması, filtrasyonda istenilen bir durumdur. Ayrıca PP nonwoven destek materyalimizin de hidrofilik olduğu önceden bilinmekteydi ve her ikisinin de hidrofilik olması, performans açısından büyük bir avantaj sağlamıştır.

Filtrasyon performansını belirlemek amacıyla, gerçek atıksu kullanılmış ve bu atıksu İSKİ Baltalimanı Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. 100 ml'lik atıksu numunesini filtre etmek amacıyla, Sterlitech filtrasyon düzeneği içerisine membranımız yerleştirilmiş ve 4 saatlik filtrasyon sonunda akı değeri 273 L/m².saat.bar olarak hesaplanmıştır. Aynı por çapındaki, hidrofilik ticari MF membranlarla karşılaştırıldığında; akı değerinin düşük olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebini, membranın PP nonwoven destek tabakası ile birlikte kullanılmasına veya çok hidrofilik olmasına bağlayabiliriz. Ayrıca bu akı değeri membranımızın çalıştırılırken, diğer MF membranlarına nazaran daha fazla basınca ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Filtrasyon neticesinde atıksu arıtım performansına baktığımızda ise, membranımızın çok iyi bir performans sergilemiş olduğunu görmekteyiz. Renk giderimine baktığımızda % 98 oranında bir giderim verimi göstermiştir. MLSS gideriminde, %93 oranında bir giderim verimi; TOK, KOİ ve BOİ gideriminde ise %98 oranında bir giderim verimi sergilemiştir. Nitrat Azotu gideriminde ise %3 giderim oranı sergilemiştir ki, hali hazırda Azot giderimi MF membranlarda beklenemez. Bu yüzden Azot giderimi açısından, kötü bir sonuç olarak görülmemektedir. Keza %20 giderim oranındaki Fosfat giderimi için de aynı durum söz konusudur. Son olarak Toplam Nitrojen gideriminde ise membranımız, % 54 oranında giderim verimi göstermiştir ki buda iyi bir giderim oranıdır. Filtrasyon performans analizleri, üretilen membranımızın gerçek atıksuda iyi bir şekilde, yüksek giderim oranlarında kullanılabilirliğini kanıtlamıştır. Membranımızın yüksek filtrasyon performansını; düşük por çapına, stabil bir yüzeye sahip oluşuna, hidrofilik karakterde olmasına ve PP nonwoven destek tabakası ile birlikte nanokompozit bir şekilde kullanılmasına bağlayabiliriz.

Sonuç olarak, sanayi kaynaklı LDPE Shrink filmi ambalaj atıklarının ve Akrilik Elyafı teleflerinin değerlendirilerek, elektrospinning işlemi ile üretilen membranımız, piyasadaki muadilleri ile karşılaştırıldığında çok yüksek bir giderim performansı sergilemiştir. Dahası günümüzdeki ticari membranlar, orjinal hammadde kullanılarak yapılmakta iken; yaptığımız membran üretimini, atık ve telef materyal ile gerçekleştirmemiz; membran üretim maliyetini önemli ölçüde düşüren bir faktör olmuştur. Böylece çalışmamız; gerek elektrospinning açısından, gerek membran üretim ve ayrıca membran filtrasyon performansı açısından özgün bir çalışma olarak, başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] Başergil, B., Termoplastikler Genel Ticari Plastikler: Polietilen (PE). 8s. URL (erişim tarihi: 13.01.2018) http://www.bayar.edu.tr/besergil/5_polietilen.pdf
- [2] Li, Q., Study on Microstructure and Mechanical Properties of High Temperature Electrospun Polyethylene Fibers. Yüksek Lisans Tezi. The Graduate Faculty of The University of Akron. Akron. 78s. (2012).
- [3] Naidu, H.S. Radiation-Induced Physical Changes in UHMWPE Implant Components, Orthopedics, 20 (2): 137-142 (1997).
- [4] PAGEV. Dünya ve Türkiye Plastik Ambalaj Malzemeleri Sektör İzleme Raporu 2016. 15s. (2017).
- [5] PAGEV. Türkiye Plastik Ambalaj Malzemeleri Sektör Raporu 2016. 22s. (2017)
- [6] Litong Packing Material. Polyethylene (PE) Shrink Film.(erişim tarihi: 13.01.2018) http://www.packingfilms.com/big_img.html?etw_path=http://www.packing-films.com/2-2-pe-biodegradable-shrink-film.html&big_etw_img=product/17-2-3.jpg (2017).
- [7] PAN. Akrilik Lifi. URL (erişim tarihi: 13.01.2018) <https://www.tekstilbilgi.net/akrilik-nedir-ozellikleri.html> (2017).
- [8] Başer, İ., Elyaf Bilgisi. Marmara Üniversitesi Yayınları No: 687, İstanbul, 173s. (2002).
- [9] Taşıyıcı, S., Batık Membran Sistemleri İle İçme Suyu Arıtımı: Membran Tıkanıklığını Azaltmak İçin Farklı Yöntemlerin Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 179s. (2009).
- [10] Salt, Y., Dinçer, S. An Option for Special Separation Operations: Membrane Processes, Journal of Engineering and Natural Sciences. Sayı: 4. s1-3 (2006).

- [11] Desalination Technique 2: Membrane Processes, What is the most popular membrane process used for desalination?, URL (erişim tarihi: 13.01.2018) <https://sites.google.com/site/kjdesalination/m> (2017)
- [12] Aslan, M., Membran Teknolojileri. Türkiye Çevre Koruma Vakfı (TÜÇEV) Yayınları. ISBN: 978-605-9351-02-7, Ankara, 269s. (2016).
- [13] Baker, R.W., Membran Technology and Applications, Second edition. John Wiley & Sons. Ltd..ISBN: 9780470743720, England, 571s. (2004).
- [14] Subbiah, T., Bhat, G., Tock, R., Parameswaran, S., Ramkumar, S. Electrospinning of Nanofibers, Journal of Applied Polymer Science, 96, 557-569s. (2005).
- [15] Larrondo, L., Manley, R. Electrostatic Fiber Spinning from Polymer Melts III. Electrostatic Deformation of a Pendant Drop of Polymer Melt, Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition, 19, 909-921s. (1981).
- [16] Hayati, I., Bailey, A.I., Tadros, T.F. Investigations into the mechanisms of electrohydrodynamic spraying of liquids : I. Effect of electric field and the environment on pendant drops and factors affecting the formation of stable jets and atomization. Journal of Colloid and Interface Science, (117), 205-221s. (1987).
- [17] Doshi J, Reneker D. H. Electrospinning process and application of electrospun fibers. J. Electrostatics,35, 151-160s. (1995).
- [18] Jaeger, R., Bergshoef, M.M., Battle, C.M.I, Holger, S., Vansco, G.J. Electrospinning of ultra-thin polymer fibers. Macromolecules. Symp. 127. 141s. (1998).
- [19] Gibson, P.W., Gibson, H.L., Rivin, D. Electrospun fiber mats: Transport properties. Aiche Journal, 45, 190-195s. (1999).
- [20] Shin, Y.M., Hohman, M.M., Brenner, M.P., Rutledge, G.C. Experimental characterization of electrospinning: the electrically forced jet and instabilities. Polymer, 42/25, 9955–9967s. (2001).

- [21] Zhu, N., Chen, X. Biofabrication of Tissue Scaffolds. In Advances Biomaterials Science and Biomedical Applications, Editör: Pignatello, Hirvatistan, 12, 315-328s. (2013)
- [22] Han, T., Yarin, A.L., Reneker, D.H. Viscoelastic Electrospun Jets: Initial Stresses and Elongational Rheometry. Polymer, 49, 1651-1658s. (2008).
- [23] Ylow Electrospinning Tech. Electrospinning Process, Whipping Instabilities, <http://www.yflow.com/technology/electrospinning-tech/> (2017).
- [24] Kwankhao, B. Microfiltration Membranes via Electrospinning of Polyethersulfone Solutions, Duisburg, Essen, (2013).
- [25] Keulder, L., The Preparation of Polyolefin Nanofibres by Solution Electrospinning. Doktora tezi. Stellenbosh University. 55s. (2013).
- [26] Givens, S., Gardner, K., Rabolt, J., Chase, D. High-Temperature Electrospinning of Polyethylene Microfibers from Solution. Macromolecules, 40, 608-610s. (2007).
- [27] Rein, D.M. Electrospinning of Ultrahigh-Molecular-Weight Polyethylene Nanofibers. Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, 45, 766–773s (2007).
- [28] Homaeigohar, S., Functional Electrospun Nanofibrous Membranes for water filtration. Doktora tezi. Christian Albrechts University Faculty of Engineering. Kiel. 10-20s. (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mustafa Kemal KELEŞ
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.03.1990, Batman
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (505) 279 83 27
e-posta : mustafakeles_27@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ FBE / Çevre Müh. Anabilim Dalı	2018
Lisans	Çukurova Ü./ Çevre Müh. Bölümü	2012
Lise	Dörtüol Anadolu Lisesi-Hatay	2007

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2017	MTM Plastik Geri dönüşüm	Çevre Mühendisi
2018-Halen	Gaziantep Ters Osmoz Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi	İşletme Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayın/Bildiri

1. KELEŞ M.K, UYSAL Y. “Nanofiber Production by electrospinning method from industrial low density polyetyhlene (LDPE) shrink film packaging wastes and acrylic wastages” Second International Congress on Engineering and Technology Sciences (ICETS), Afyonkarahisar, Turkey, pp: 17, 22-25 December 2018.

Hobiler

Seyahat, Doğa ve Mühendislik Bilimleri, Klasik Türk ve Halk Müziği