



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HAVA ÜFLEME YÖNTEMİYLE HİBRİT HEPA FİLTRE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

DİCLE AYÇA ERTEK KİRAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tekstil Mühendisliği

Anabilim Dalı

Tekstil Mühendisliği

Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. METİN YÜKSEK

İSTANBUL, 2023



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HAVA ÜFLEME YÖNTEMİYLE HİBRİT HEPA FİLTRE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

DİCLE AYÇA ERTEK KİRAZ

(523419003)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tekstil Mühendisliği

Anabilim Dalı

Tekstil Mühendisliği

Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. METİN YÜKSEK

İSTANBUL, 2023

ÖNSÖZ

Tezim süresince benden bilgi birikimini, desteğini, emeğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Metin YÜKSEK, tez yazım sürecinde beni sürekli moral ve motive eden eşim Dr. Emir Çağrı KİRAZ'a, yüksek lisans ve akademik kariyerimin sürekliliği için beni destekleyen abim Y. Müh. Atakan ERTEK'e, annem Coğrafya Öğretmeni Gülçin Ayhan ERTEK, babam Prof. Dr. Ahmet ERTEK'e, uygulama ve test sürecinde yorumlarını, fikirlerini, desteklerini, yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Erhan SANCAK, Prof. Dr. Emine Dilara KOÇAK, Doç. Dr. Cenkkut GÜLTEKİN, Arş. Gör. Onur ATAK, Dr. Öğr. Üyesi Nergis Demirel Gültekin, Y. Müh. Derya SALTİK'a, Arş. Gör. Alper YILDIRIM'a teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
BÖLÜM I	1
1. GİRİŞ.....	1
1.1 AMAÇ VE KAPSAM.....	2
BÖLÜM II.....	3
2. FİLTRASYON.....	3
2.1 FİLTRELEMENİN TARİHÇESİ.....	3
2.2 FİLTRELEME	4
2.2.1 Su Filtreleri.....	5
2.2.1.1 Su Filtrasyon Sistemi	5
2.2.2 Yağ Filtreleri	6
2.2.3 Hava Filtreleri.....	6
2.2.3.1 Hava Filtrelerinin Partikül Yakalama Mekanizmaları.....	7
2.2.3.1.1 Elek Etkisi.....	7
2.2.3.1.2 Yakalanma Etkisi.....	8
2.2.3.1.3 Difüzyon Etkisi	8
2.2.3.1.4 Elektrostatik Etki	8
2.2.3.2 Kaba Hava Filtreleri.....	9
2.2.3.3 Hassas Hava Filtreleri.....	11
2.2.3.3.1 Hepa Filtreler.....	11
2.2.3.3.2 Hepa Filtrenin Bölümleri.....	12

2.2.3.4	<i>Hepa Filtrelerin Sınıflandırılması</i>	14
2.2.4	Filtreleme Prensiplerinin Birleştirilerek Kullanılması	15
2.2.5	Filtre Performansını Geliştirilmesinde Seçilen Yöntemler	17
2.2.6	Doğa Dostu ve Hibrit Filtreler	17
2.2.7	Filtrelerde Kullanılan Malzemeler	18
2.2.8	Filtrelerin Üretim Yöntemleri	19
2.2.8.1	Dokuma filtreler	19
2.2.8.2	Örme filtreler	19
2.2.8.3	Dokusuz Tekstil Yüzeyi Filtreler	21
2.2.8.4	Dokusuz Tekstil Yüzeyi Elde Yöntemleri	22
2.2.8.4.1	<i>Kuru Serme Teknolojisi</i>	23
a)	<i>Açma ve harman</i>	23
b)	<i>Tarak</i>	23
c)	<i>Çapraz Serme</i>	23
2.2.8.4.2	<i>Islak Serme Yöntem</i>	23
2.2.8.4.3	<i>Filament Esaslı Yöntem (Spunbond)</i>	24
2.2.8.5	Dokusuz Tekstil Yüzeyi Doku Bağlama Yöntemleri	25
2.2.8.5.1	<i>Kimyasal Bağlama</i>	25
2.2.8.5.2	<i>Termal (Isıl) Bağlama</i>	26
2.2.8.5.3	<i>Mekanik Bağlama</i>	26
BÖLÜM III		27
3. NANOLİF		27
3.1	NANOLİF OLUŞUM PARAMETRELERİ	27
3.1.1	Sistem Parametreleri	29
3.1.2	Süreç Parametreleri	29
3.1.3	Çevresel Faktörler	30
3.2	NANO FİBER OLUŞUM YÖNTEMLERİ	30
3.2.1	Çekim Yöntemi (Drawing Method)	30
3.2.2	Şablon Sentezi (Template Synthesis)	30
3.2.3	Faz Ayrımı	31
3.2.4	Bikomponent Çekim (Island in the sea)	31
3.2.5	Eriyikten Üfleme (Meltblowing Method)	32
3.2.6	Kendiliğinden Düzenleme/ Tutunma (Self Assembly)	33
3.2.7	Santrifüj Eğirme (Centrifugal Spinning)	33
3.2.8	Elektro-çekimle Eğirme (Electrospinning)	34

3.2.9	Hava Üflemeyle Eğirme (Solution/Air Blowing Spining).....	36
3.2.9.1	Hava Üfleme Metodu (Solution Blowing) Üretimi ve Özellikleri	36
3.2.9.2	Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Çalışma Parametreleri	38
3.2.9.3	Hava Üflemeyle Eğirme (Solution/Air Blowing Spining) Makinesinin Özellikleri	40
3.2.9.4	Hava Üfleme Metodunun (Solution Blowing) Avantajları.....	41
3.2.9.5	Hava Üfleme Metodunun (Solution Blowing) Dezavantajları	42
BÖLÜM IV		43
4.	MATERYAL METOT.....	43
4.1	MATERYAL.....	43
4.1.1	Selüloz Asetat (CA).....	43
4.1.2	Poliüretan (PU)	45
4.2	METOT	47
4.2.1	PU ve CA çözeltilerinin hava üfleme metodu için hazırlanması	48
4.2.2	Makinenin parametreleri.....	50
BÖLÜM V		51
5.	SONUÇ	51
5.1	MUKAVEMET TESTİ.....	51
5.2	FTIR ANALİZİ	52
5.3	DSC ANALİZİ	54
5.4	KALINLIK ÖLÇÜMÜ	55
5.5	GRAMAJ ÖLÇÜMÜ	56
5.6	HAVA GEÇİRGENLİĞİ TESTİ	56
5.7	SEM GÖRÜNTÜLERİ	61
5.8	FİLTASYON TESTİ	66
BÖLÜM VI		69
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA	69
BÖLÜM VII		70
7.	ÖNERİ.....	70
BÖLÜM VIII		71
8.	AÇIKLAMALAR.....	71
KAYNAKÇA		72
ÖZGEÇMİŞ		80

ÖZET

Sanayileşme ve kentleşmenin hızla artmasıyla doğal kaynakların kirlenmesiyle özellikle hava kirliliği artmaktadır. Bu kirlilik havadaki makro ve mikro boyuttaki parçacıklardan kaynaklanmaktadır. Katı ve sıvı halde olabilen parçacıklar insan vücuduna hava yoluyla girerek çeşitli solunum yolu rahatsızlıklarına sebep olmaktadır. Boyutlarıyla yaklaşık 100nm olan virüs gibi mikron boyutunda canlıların etkisinden korunmak için havanın etkili olarak filtrelenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde ve dünyada, şehirleşme ve nüfusun kontrolsüz artmasıyla fabrikalar artık şehir içlerinde kalmaya başlamıştır. Pandemi sebebiyle insanlar daha fazla kapalı ortamda bulunmaya başlamıştır. Bu sebeple insanların bulundukları ortamlarda temiz havaya erişimleri azalmaktadır. Bu sebeple kapalı alanlarda Hepa filtrelerin kullanımı sağlanmalıdır. Hepa filtreler günümüzde daha da önem kazanmaktadır.

Küresel iklim değişikliğinden kaynaklı ülkemizin de içinde bulunduğu coğrafya ısınmakta ve özellikle metropollerde hava sıcaklığı mevsim normallerinin üzerinde oluşmaya başlamıştır. Bu sebeple insanların ev ortamlarında klima ihtiyacı ve ev tipi klima kullanımında artmaktadır.

Covid- 19 virüsünün de yaygın olduğu günümüz döneminde havada asılı duran 0.3 mikrona kadar mikron altı taneciklerinin filtrelenmesinde Hepa filtreler kullanılmaktadır. Bu tezde hibrit hepa filtre üretimi yapılmıştır. Bu filtrede dokusuz tekstil yüzeyi kumaşlar arasına hava üfleme yöntemiyle (solution blowing) nano yüzey kaplama yönteminin kullanılmasıyla üretilmiştir.

Üç katmandan oluşacak olan hepa filtrenin ara katmanına nano yüzey üst ve alt katmanına dokusuz tekstil yüzeyi kumaşın gelmesi ile elde edilmiştir. Hepa filtreler tüm hastaneler, temiz odalar, farmakoloji (ilaç sektörü) gıda üretim sektörü gibi alanlarda kullanılmaktadır. Tıbbi operasyon odaları, yoğun bakım servisleri, izolasyon odaları ve biyolojik tesislerde HEPA filtre kullanımı büyük önem taşır.

Bununla birlikte COVID- 19 pandemi koşullarının hayatımıza girmesiyle HEPA filtrelerin günlük hayatta kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. AVM'ler, merkezi havalandırma kullanılan yüksek katlı rezidans-ofis projeleri, Covid- 19 pozitif hastaların taşınmasında kullanılan negatif basınçlı hasta taşıma sedyeleri hatta ticari yolcu uçakları pandemi sürecinde HEPA filtrelerin kullanım alanları arasında yerini almıştır.

Hava filtreleri yakaladıkları partikül büyüklüğüne göre kaba, ince ve hassas olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Kaba ve ince partiküllerin yakalanmasında kullanılan filtreler EN 779 standardında (Genel Havalandırma İçin Partikül Hava Filtreleri) tanımlanmıştır. EN 779 standardında kaba ve ince filtreler yakalanan partikül ağırlığına ve partikül tutma verimine göre sınıflandırılmıştır. Kaba, orta, ince mikrofiber filtreler

genellikle 2-40 µm aralığında mikrofiberden ergitme üfleme, filament serme (spunbond) ve ıslak serme yöntemleri ile üretilir ve büyük taneciklerin filtrelenmesinde kullanılır. Kaba ve ince filtreler genellikle klimalar, otomobil kabin ve motor filtreleri gibi hassas olmayan yerlerde kullanılmaktadır. Ayrıca çok küçük partikül, toz ve organizma varlığının önemli olduğu yerlerde kullanılan hassas filtrelerden hemen önce kullanılmaktadır.

Küçük fiber çapına sahip, kesit alanı büyük, rijit ve mukavemetli spunbond mikrofiber filtrelerin nanofiber tabaka kaplamaya elverişli olduğu ve optimum filtreleme sağladığı belirlenmiştir. Küçük çaplı nanofiberlerin ince tabaka, büyük çaplı nanofiberlerin kalın tabakalı kaplanması filtreleme performansını arttırmaktadır. Nanofiber tabaka kaplama ağırlığının artması ile performansın yükseldiği ve kritik bir değerden sonra filtrenin tıkanarak ömrünü tamamladığı tespit edilmiştir.



ABSTRACT

With the rapid increase in industrialization and urbanization, the pollution of natural resources, especially air pollution, is increasing. This pollution caused by macro and micro particles in the air. These particles, which can be in solid and liquid phase, enter the human body through the air and cause various respiratory diseases which protected from the effects of small creatures like viruses are about 100nm size in the air must filter effectively.

In our country and in the world, with the urbanization and the uncontrolled increase in the population, the factories have started to stay in the cities. Due to the pandemic, people have started to be in more closed environments. For this reason, people's access to fresh air in their environments decreases. For this reason, it should provide with Hepa filters in closed areas. Hepa filters are getting more important nowadays.

Due to the global climate change, the geography including our country is getting warmer and the air temperature has started to occur above the seasonal normal, especially in the metropolises. For this reason, the need for air conditioners in people's home environments and the use of home air conditioners are increasing.

It used to filter submicron particles up to 0.3 microns suspended in the air in today's era when the Covid-19 virus is also common. In this thesis, the hybrid hepa filter will produce by combining the air blowing method (solution blowing) between nonwoven fabrics by using the nano surface formation method.

It will obtain by the inclusion of nonwoven fabric on the upper and lower layers of the nano surface of the hepa filter, which will consist of three layers. Hepa filters are all hospitals, Clean rooms, Pharmacology (pharmaceutical industry) Food production industry.

The use of HEPA filters is significant in medical operation rooms, intensive care services, isolation rooms and biological facilities.

However, with the introduction of the COVID-19 pandemic conditions into our lives, the use of HEPA filters in daily life has become increasingly common. Shopping malls, high-rise residence-office projects using central ventilation, negative pressure patient transport stretchers used to transport Covid-19 positive patients, even commercial passenger planes have taken their place among the usage areas of HEPA filters during the pandemic process.

Air filters divided into three categories as coarse, fine and sensitive according to the particle size they capture. The filters used to capture coarse and fine particles defined in the EN 779 standard (Particulate Air Filters for General Ventilation). In the EN 779 standard, coarse and fine filters classified according to the particle weight and particle retention efficiency. Coarse, medium and fine microfiber filters produced from microfiber in the range of 2-40 μm by melt blowing, spunbond and wet laying methods and used for filtering large

particles. Coarse and fine filters used in non-sensitive areas such as air conditioners, automobile cabin and engine filters. In addition, it uses just before precision filters used in places where the presence of small particles, dust and organisms is important.

It has been determined that spunbond microfiber filters with small fiber diameter, large cross-sectional area, rigid and durable are suitable for nanofiber layer coating and providing optimum filtering. Thin layer coating of small diameter nanofibers and thick layer coating of large diameter nanofibers increase filtration performance. It has been determined that the performance increases with the increase in the weight of the nanofiber layer coating, and after a critical value, the filter clogs and completes its life.



SEMBOL LİSTESİ

%:	Yüzde
Ag⁺:	Gümüş İyonu
cm:	Santimetre
cm²:	Santimetre kare
C-O:	Karbon – Oksijen bağı
C-H:	Karbon – Hidrojen bağı
C=O:	Karbon oksijen çift bağ
CO:	Karbon monoksit
CO₂:	Karbon di Oksit
°C:	Santigrat derece
g/m²:	Gram / Metre kare
H₂O:	Su
kV:	Kilovolt
kPa:	Kilo paskal
kWh:	Kilowatt Saat
l/m:	Litre / Dakika
l/m²/s:	Litre / Metre kare / Saniye
µm:	Mikrometre
mm/s:	Milimetre / saniye
m/s:	Metre / saniye
Mg:	Miligram
ml:	Mililitre
mm:	Milimetre
nm:	Nano metre

N:	Newton
N-H:	Azot – Hidrojen bağı
NH₃:	Amonyak
NCO/OH:	İzosiyanat / Hidroksit
Pa:	Pascal
psi:	İnç kare başına libre (Pounds Per Square Inch)
pH:	Power of hydrogen
Ppm:	Milyonda bir birim (Parts per Million)
RPM:	Devir / Dakika (Revolutions per Minute)
SiO₂:	Silisyum dioksit
SO₂:	Kükürt dioksit
w/v:	Kütle / hacim oranı
v/v:	Hacim / hacim oranı

KISALTMALAR LİSTESİ

AA:	Asetik Asit
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
ACF:	Aktif Karbon Elyafı
AgNPs:	Gümüş Nano Partikül
BC:	Bakteriyal Selüloz
CA:	Selüloz Asetat
CEN:	Avrupa Standartlar Komitesi (European Committee for Standardization)
CPB:	Setilpiridinyum bromürün
CS:	Kitosan
CSBS:	Silindirik elektrot destekli üfleme çözümü
DMAC:	Dimetilasetamit
DMF:	Dimetilformamid
DNA:	Deoksiribo Nükleik Asit
DSC:	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
ES:	Elektro-çekim
FTIR:	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
HEPA Filtre:	Yüksek Partikül Tutma Kapasiteli Hava Filtresi (High Efficiency Particulate Air)
HVAC:	Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme
M_A:	Moleküler Ağırlık
MÖ:	Milattan önce
MS:	Milattan sonra
PAN:	Poliakrilonitril
PCL:	Polikaprolaktan

PEG:	Polietilen Glikol,
PEO:	Polietilen Oksit
PES:	Poliester
PI:	Poliimid
PI/ZIF-8:	Poliimid/ Çinko Tuzu
PM:	Partikül Boyutu (Particulate Matter)
PMMA:	Polimetilmetakrilat
PLA:	Polilaktikasit
PLGA:	Poli (laktik-ko-glikolik asit)
PP:	Polipropilen
PPy:	Polipirol
PS:	Polisitiren
PU:	Poliüretan
PVA:	Polivinil Alkol
PVC:	Polivinilklorür
PVDF:	Polivinildin Flororür
SBS:	Hava Üflemeyle Eğirme
SEM:	Taramalı Elektron Mikroskobu
TA:	Tannik Asit
Tc:	Kristallenme noktası
Tg:	Camsı Geçiş Sıcaklığı
THF/DMF:	Tetrahidrofuran / Dimetilformamid
Tm:	Erime Noktası
TPU:	Termoplastik Poliüretan
ULPA Filtre:	Ultra Partikül Tutma Kapasiteli Hava Filtresi (Ultra-Low Particulate Air)
UV:	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II.1 Filtrelerin Sınıflandırılması	5
Şekil II.2 Elek Etkisi	8
Şekil II.3 Yakalanma Etkisi	8
Şekil II.4 Difüzyon Etkisi	8
Şekil II.5 Elektrostatik Etki	9
Şekil II.6 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Kumaş Üzerinden ve Altından Geçen Havanın Gösterimi	11
Şekil II.7 Hepa Filtrenin Bölümleri	13
Şekil II.8 Elyaf Yakalama Mekanizmalarının Gösterimi [67].....	14
Şekil II.9 Kaba, Orta ve Hassas Filtre Gösterimi.....	14
Şekil II.10 Filtre Prensiplerinin Birleştirilmesi ile Elde Edilen Filtre Düzenegi	16
Şekil II.11 Filtrasyon Mekanizmasının Tanecik Çapına Göre Verim Etkisi	17
Şekil II.12 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Üzerine Nanolif Kaplamanasının Enine Kesit Görüntüsü	22
Şekil II.13 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Elde Yöntemleri	22
Şekil II.14 Sonsuz Elyaf Serme Metodunun Şematik Diyagramı.....	24
Şekil III.1 Nano Yüzey Üretiminde; Sistem, Süreç ve Çevresel Faktörleri	28
Şekil III.2 Şablon Sentezi	30
Şekil III.3 Faz Ayrımı	31
Şekil III.4 Bikomponent Liflerin Enine Kesiti	32
Şekil III.5 Kendiliğinden Tutunma	33
Şekil III.6 Santrifüj Eğirme Mekanizması	34
Şekil III.7 Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Şematik Gösterimi.....	37

Şekil III.8 Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Nozul Başlığının Enine Kesit Gösterimi	38
Şekil III.9 Hava Üflemeyle Eğirme makinesi [55]	40
Şekil III.10 Nozul Başlığının Gösterimi (A) Ve (B), Hava Üflemeyle Eğirme Makinesinin Boyutları (c) [55]	40
Şekil IV.1 Selüloz Asetat Kimyasal Formülü	43
Şekil IV.2 Selüloz Asetatın Yaşam Döngüsü [85]	44
Şekil IV.3 Selüloz Asetatın Dönüştürülebileceği Ürün Dağılımları [85]	45
Şekil IV.4 PU Kimyasal Formülü	46
Şekil IV.5 Hibrit Filtre Yapıldıktan Sonraki Son Ürünün İllüstrasyonu	47
Şekil IV.6. Kern Marka Tartı	48
Şekil IV.7. ISOLAB Marka Manyetik Karıştırıcı	48
Şekil IV.8. Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Döngüsü	49
Şekil V.1 Mukavemet Testi (a), Mukavemet Testi Sonucunda Kopma Gerçekleşen Kumaş (b)	51
Şekil V.2 Mukavemet Grafiği	52
Şekil V.3 Perkin Elmer FTIR Ölçüm Cihazı	53
Şekil V.4 FT-IR Grafiği	53
Şekil V.5 DSC Grafiği	54
Şekil V.6 Kumaş Kalınlık Ölçüm Kumpası	55
Şekil V.7 Prowhite Airtest II Makinesi	57
Şekil V.9 100PU Hava Geçirgenliği Değerleri Grafiği	59
Şekil V.10 90PU Hava Geçirgenliği Değeri Grafiği	59
Şekil V.11 80PU Hava Geçirgenliği Değeri Grafiği	59
Şekil V.12 Kaplanmamış Kumaş Hava Geçirgenliği Değerleri Grafiği	60
Şekil V.13 SEM EVO MA10 Mikroskobu	61
Şekil V.14 Kaplanmamış Spunbond Kumaş Histogram Grafiği	62
Şekil V.15 Kaplanmamış Spunbond Kumaşın SEM Görüntüleri (a) 500X büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme	62

Şekil V.17 100PU SEM Görüntüleri (a) 500X Büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme, (d) 5KX Büyütme	63
Şekil V.18 90PU Histogram Grafiği.....	64
Şekil V.19 90PU SEM Görüntüleri (a) 500X Büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme, (d) 5KX Büyütme	64
Şekil V.20 80PU Histogram Grafiği.....	65
Şekil V.21 80PU SEM Görüntülemeleri (a) 500X Büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme, (d) 5KX Büyütme	65
Şekil V.22 TSI Filtrasyon Testi.....	66



TABLO LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo II.1 Hava filtresi malzemelerinin sınıflandırılması	9
Tablo II.2 Farklı yöntemlerle üretilen filtrelerin kullanım alanları	20
Tablo IV.1 Çözelti Oranları	47
Tablo IV.2 Makine parametreleri	50
Tablo V.1 Kalınlık Ölçümleri Tablosu	55
Tablo V.2 Gramaj Ölçümleri Tablosu	56
Tablo V.3 100PU, 90PU, 80PU Hava Geçirgenliği Test Ölçümleri.....	58
Tablo V.4 Kaplanmamış Kumaş Hava Geçirgenliği Test Ölçümleri	60
Tablo V.5 SEM ortalama lif çapları.....	61
Tablo V.6 EN ISO 779 göre filtre verimliliği tablosu	66
Tablo V.7 100PU filtre verimliliği tablosu	67
Tablo V.8 90PU filtre verimliliği tablosu	67
Tablo V.9 80PU filtre verimliliği tablosu	68

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişiminden kaynaklı ülkemizde içinde bulunduğu coğrafya ısınmakta ve özellikle metropollerde hava sıcaklığı mevsim normallerinin üzerinde oluşmaya başlamıştır.

Tezin ana amacı daha az malzeme kullanarak daha etkin bir filtre sisteminin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca bu hedeflenen yapı daha düşük maliyetli aynı zamanda daha çevreci bir ürün olarak üretilecektir.

Bu çalışmada filtreleme miktarını arttırmak için dokusuz tekstil yüzeyler arasına nano yüzey kaplaması yapılacaktır. Filtrelemede esas olan malzemedeki gözeneklerin boyutudur. Gözenek boyutunun düşürülmesi için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

- Lif katmanlarının sayısını arttırarak daha hacimli bir yüzey elde edilmesi,
- Düşük çaplı liflerin üretimi ile katman sayısı ve düşük hacimli/kalınlıkta yapı üretimidir.

Bu gözeneklerin boyutlarına göre filtre sınıfı verimi ve üretim standartları değişmektedir. İstenilen filtreleme türüne göre gözenek boyutu üretim esnasında hesaplanarak üretime devam edilmelidir. Kullanılacak olan filtrenin hastanelerde, ameliyathanelerde, temiz odalarda kullanımı amaçlanmaktadır. Nano yüzey kullanılarak daha hassas bir filtreleme yapılması amaçlanmaktadır. Bu tezde filtreleme metotlarından elek etkisinin kullanılması hedeflenmektedir.

Geleneksel dokusuz tekstil yüzeylerden elde edilen filtre malzemelerinin yerine aynı veya daha iyi performans sergileyecek düşük kalınlıkta nanolifli katman ilavesi ile hem yapılarda kullanılan malzemenin azaltılması hem de düşük lif çapı ve gözenegi sayesinde daha iyi filtre performansının sağlanması hedeflenmiştir.

Halihazırda nanolif üretimi için elektro-çekim (electrospinning) en yaygın yöntem olarak kullanılsa da düşük üretim hızı (nozul başına ~ 1 ml / saat) ve yüksek gerilim ihtiyacı (60 kV'a kadar) gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Solution blowing yöntemi (SBS) ile daha kısa süre de daha fazla bölgeye atış yapılarak üretim hızının elektro-çekime göre artırılması amaçlanmaktadır [10].

Nanofiber tabaka esnek ve ince olduğundan alt bir yağlı kâğıt, alüminyum folyo, kumaş ya da tülbent üzerine kaplanması gerekir. Bu alt tabaka, nanofiber tabakanın rijit bir şekilde durmasını sağlayarak ona mekanik destek sağlar. Mikrofiber filtreler, ucuz, kolay tedarik edilebilmesi ve mikro boyuttaki partikülleri tutması nedeniyle altlık olarak kullanılmıştır.

Üretilen ürünün sanayileştirilebilmesi ve seri üretimde kullanılırken zaman/para kıyaslaması yapılarak sonuçta çıkan ürünün sanayiye pazarlanması için bu kıyaslama önem taşımaktadır.

1.1 AMAÇ VE KAPSAM

Sanayileşme ve kentleşmenin hızla artması sonucu doğal kaynakların kirlenmesiyle birlikte özellikle hava kirliliği artmaktadır. Bu kirlilik havadaki makro ve mikro boyuttaki parçacıklardan kaynaklanmaktadır. Katı ve sıvı halde olabilen bu parçacıklar insan vücuduna hava yoluyla girerek farklı solunum yolu rahatsızlıklarına neden olmaktadır. İnsan sağlığına zararlı, yaklaşık 100 nm boyutunda olan bakteri gibi canlıların etkisinden korunmak için havanın etkin bir şekilde filtrelenmesi gerekmektedir.

Mikron boyutundan daha küçük lifler, hava filtrasyonunda daha kalın boyuttaki liflere kıyasla aynı basınç düşümü altında daha yüksek bir filtre verimliliği sağlamaktadır. Bu nanoliflerin, daha yüksek difüzyon, atalet ve yakalama etkilerine sahip olması, basınç düşümü artışına rağmen filtre performansını olumlu yönde etkilemektedir [87].

Geleneksel dokusuz tekstil yüzeylerden elde edilen filtre malzemelerinin yerine aynı veya daha iyi performans sergileyecek düşük kalınlıkta nanolifli katman ilavesi ile hem filtrelerde kullanılan malzeme katman sayısının azaltılması hem de düşük lif çapı ve gözeneği sayesinde daha iyi filtre performansının sağlanması hedeflenmiştir. Yüksek partikül tutma kapasitesine sahip olan filtrelerin maliyetleri yüksek olduğu için bu projede düşük maliyetli hibrit filtre üretimi amaçlanmaktadır.

BÖLÜM II

2. FİLTASYON

2.1 FİLTRELEMENİN TARİHÇESİ

İnsanoğlu, yazılı tarih öncesinden beri katı-sıvı ayrımı ile uğraşmaktadır. Birisi, üstteki berrak sıvıyı yudumlamadan önce tortuların durulmasını beklerse, çamurlu bir havuzdan az önce çıkardığı suyu içmenin daha iyi olacağını muhtemelen fark etmiştir. Birisinin bu fikri düzeltmesi ve çamurlu suyu bir demet sazdan, basit bir bez parçasından veya bir torba kumdan geçirerek biraz daha hızlı temiz su elde edebileceğini fark etmesi an meselesi olmalıdır ve böylece bir mühendislik disiplini olarak filtrasyon, bu durumda bir ürünün (içme suyu) üretkenliğini ve kalitesini iyileştirme ihtiyacından doğmuş olacaktır.

Filtrasyona dair erken kayıtlara geçmiş kanıtlar, Firavun II. Amenhotep'in mezarında bir su arıtma cihazını gösteren bir oymayı içeriyor ve birkaç yüzyıl sonra Hipokrat (MÖ 400'de) şöyle yazmıştı:

“Yağmur suları suların en hayırlısıdır, fakat kaynatılması ve süzülmesi gerekir; aksi halde kötü kokarlar ve içenlerde ses kısıklığına ve kalınlaşmasına neden olurlar.”

Bu nedenle, insanların, mikroorganizmalar veya diğer mikroskobik kontaminasyonlar hakkında bilgi sahibi olmasalar bile, sağlık için içme suyunun berraklığının önemini anladıklarına şüphe yok.

Bu tarihten itibaren bağcılıkta ve gıda-yağ üretiminde filtrasyon kullanılmaya başlandı. Avrupa'daki halk müzelerinde çok sayıda elma şarabı ve zeytin presi bulunmaktadır. Belki dokuma torbalarda olan meyve, bu mekanizmalarda preslenecek ve nispeten berrak bir sıvı ortaya çıkacaktır.

Boyalara (örneğin giysileri renklendirmek için) ve diğer temel kimyasal ürünlere olan ihtiyaç geliştikçe, üretim için kullanılan teknolojiler daha karmaşık hale geldi. MS 300 civarında yazılan ve basit kimyasal ürün yapmak için tarifler içeren Stockholm ve Leyden X Papirüsünde filtrelemeden bahsedilir.

Filtre kelimesinin kendisi, on dördüncü yüzyılın başlarından itibaren İngilizce dilinde kullanılmaktadır ve Latince keçe kelimesiyle ilişkilidir [32].

2.2 FİLTRELEME

Çevreyi korumanın gerekliliği her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Tekstil firmalarının atıkları su, hava ve toprakta kirliliğe neden olmaktadır. Kaynaklar özellikle havaya veya suya salınan kimyasallar ile kirlenmektedir. Bu bakımdan bu tür tekstil atıklarının çevreye en az zararla salınması daha da önem kazanmıştır. Bu nedenle atıkların çevreye salınmadan önce filtrelenmesi önemlidir. Genel anlamda filtrasyon süzme, bir şeyi süzme işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işlem ile filtre edilen malzemenin saflığının artırılması amaçlanmaktadır. Tekstil endüstrisinde filtreler genellikle katı-gaz veya katı-akışkan karışımlarının filtrelenmesinde kullanılır [17].

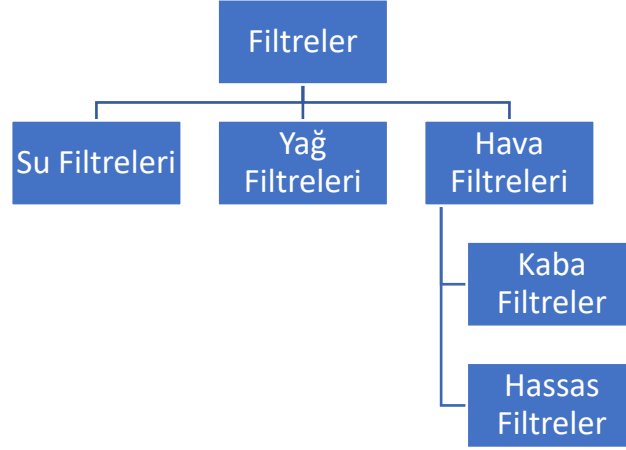
Bu çalışmada filtrasyonun genel özellikleri, hava filtrasyonu, filtrasyon çeşitleri, filtre üretiminde kullanılan hammaddeler ve filtrelerin kullanım alanları literatür taraması yönteminden yararlanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre dokusuz tekstil yüzeylerin filtrelerde en uygun ve yaygın olarak kullanılan filtre türleri olduğu sonucuna varmak mümkündür [17].

Bilimsel araştırmalara göre hava kirliliği, kalp ve damar hastalıkları, kötü huylu tümörler, kuru gözler, osteoporoz, kırıklar, konjunktivit, bulaşıcı alerjik hastalıklar, iltihabi bağırsak hastalığı, kan damarlarında pıhtılaşma artışı ve diğer fiziksel hastalıklara yol açabilmektedir.

Hava kirliliğinin insan vücuduna verdiği ciddi zararlar da hava kirliliği kontrolünü acil çözülmesi gereken bir sorun haline getirmiştir. Hava kirliliği ile ilgili endişeler artıyor. Şu anda “2030 Gündeminde” en önemli konu olarak sıralanıyor. Sürdürülebilir kalkınma kavramlarından biri olarak Birleşmiş Milletler tarafından geliştirilen küresel bir eylem planı bulunmaktadır. Green Deal Anlaşmasıyla üretim yapan firmaların karbon salınımını azaltan çevreci çözümleri benimseyerek üretimlerine devam etmeleri beklenmektedir [15].

Partikül tutma kapasitesi yüksek hava filtresi malzemesi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Yüksek filtreleme verimliliği,
- Düşük hava direncine sahip olması,
- Toksik olmaması ve ikincil kirliliğe neden olmaması [15]



Şekil II.1 Filtrelerin Sınıflandırılması

2.2.1 Su Filtreleri

Sıvı filtrasyonu, katı madde ve sıvıların ayrılmasıdır. Filtrasyon sürecini etkileyen faktörler şunlardır:

- Sıvı dağılımının bulanıklığı,
- Parçacık konsantrasyonu,
- Parçacık boyutu, yüzey özellikleri,
- Katı maddenin dağılım derecesi, sıcaklık,
- Sıvı ve katı maddenin viskozitesi ve yoğunluğu
- Akış hızına ve filtrenin veya filtre kekinin geçirgenliğine bağlı olarak filtre laminasının iki tarafındaki basınç farkı filtre kekine kadar yapıyı etkiler [52].

2.2.1.1 Su Filtrasyon Sistemi

İçme suyunun genel arıtımı, çözünmüş ve askıda katı maddeleri uzaklaştırmak için birkaç adımda gerçekleşir. Arıtma prosesleri, koloidal ve askıda katı maddeleri uzaklaştırmak için topaklaştırma, sedimentasyon ve ortam filtrasyonu gibi prosesleri içerebilir; çözünmüş katıları uzaklaştırmak için iyon değişimi, karbon adsorpsiyonu ve membran işlemleri ve genellikle klorlama, ozonlama ve ultraviyole radyasyonla elde edilen bir dezenfeksiyon adımı. Filtrasyon sistemleri, filtrasyon için kullanılan ortamın türüne ve sudan uzaklaştırılacak kirleticilerin boyutuna bağlı olarak birkaç kategoriye ayrılabilir [52].

2.2.2 Yağ Filtreleri

Araba ve makinelerde kullanılan motorlar; yüksek performanslı ve yakıt tasarrufu sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Motorun en verimli şekilde çalışabilmesi için performansı ve çalışmasında yağlama sistemi ve filtrasyon oldukça etkilidir.

Yağ filtresinin en önemli kısmının adsorban kısım olduğu açıktır. 40 mikron veya daha büyük partikülleri emebilen filtrelerin çoğu kâğıt ve kartondan yapılmaktadır. Gelişmiş filtreler, kâğıt lifleri, selüloz ve/veya cam elyafının bir kombinasyonundan yapılmaktadır. Bu filtreler, 5 ila 10 mikron kadar küçük partikülleri emme yeteneğine sahiptir. Genellikle filtre kapasitesini artıran daha yüksek bir temas yüzeyine sahiptirler. Kirlenen yağ, üst deliklerden yağ filtresini geçer ve emniyet valfinden (yağ bariyeri contası) geçtikten sonra filtrenin orta kısmına girmektedir. Yeni filtreler, daha yüksek kapasiteleri nedeniyle sentetik yağlar için de uygundur, çünkü sentetik yağlar motoru daha uzun süre (yaklaşık 15000 km) yağlayabilirken, kâğıt filtreler sonunda 6000 km'ye kadar yağlayabilir [89].

Yağ filtrasyonu sırasında filtre, kirleri tutmaktadır, böylece de zaman içerisinde yağ filtreleri tıkanabilmektedir. Bu sebepten filtrelerin kullanım ömürlerine dikkat edilmeli, bakım periyotları düzenli takip edilmelidir. Kullanım ömrünü tamamlayan, dolduğunda tıkanan filtre değiştirilmediği takdirde, filtre sistemindeki kirli yağ ana motor sistemine geri dönerek dolaşmaya başlar, bu da sistemin ve motorun zarar görmesine yol açabilir [53].

2.2.3 Hava Filtreleri

Heikkilä ve diğerleri, filtrasyon verimliliğini artırmak için gereken poliamid nanoliflerin optimum kaplama kalınlığını inceledi. 0,5 g/m² kaplama için 95%'in üzerinde bir verimlilik (0,16 µm Parçacıklar) bildirdiler [59]. Kitosan ve polikarbonat nanoliflerin elektro-çekimi gerçekleştirildi ve hava filtrasyon çalışmaları için gerçekleştirilen hava akış testleri, bunların hava filtrasyonu uygulamaları için potansiyel olarak uygulanabileceğini gösterdi [60].

LG, Philips, Nano2Health, Airtoreal markaları hava temizleyicilerinde nano yüzey kaplamalı HEPA filtre kullanıyor [81-84].

Zhang ve diğerleri, filtrenin yapısal bütünlüğü korumak için nanofiber mattaki alt kısımları telafi etmenin yollarından birinin, çok sayıda ince nanofiber tabakasını üst üste koymak olacağını bildirdi. Geleneksel üretilen HEPA filtre ve askeri standart filtreden daha yüksek kalitede elektro-çekim ile kaplanmış nano membran ürettirler. Genel olarak, elektro-çekim nano fiber membranın yapısal bütünlüğünün korunması ve taşınması, doğadaki inceliklerinden dolayı zordur. Ayrıca, hava akışı, su akışı ve toz partikülü birikimi gibi çeşitli etkilere maruz kalma eğilimindedirler. Bu gibi

durumlarda, destek katmanlarının kullanılması, bu sorunun üstesinden gelmek için bir çözüm olarak düşünülmüştür [60,61].

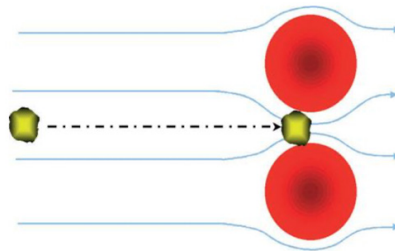
Nanofiberler, etkili difüzyon ve yakalanma mekanizmaları nedeniyle hava akımında çok küçük nano parçacıkları yakalama yeteneğine sahiptir. Maze ve diğerleri, simülasyon verileri yoluyla nanopartiküller için elektro-çekim nano fibröz membranların filtrasyon etkinliğinin, fiber çapının azaltılması ve havanın akış sıcaklığının artırılmasıyla geliştirilebileceğini bildirmişlerdir [60,63]. Başka bir çalışmada, Wang ve diğerleri nanofiber filtreler ile geleneksel cam fiberlerin filtrasyonu karşılaştırdı. Nanofiber filtrelerin geleneksel cam fiber filtrelerle kıyasla yaklaşık 100 nm'den büyük parçacıklar için daha iyi bir filtreleme performansına sahip olduklarını, oysa nanofiber filtrelerin 100 nm'den küçük parçacık boyutları için geleneksel cam fiber filtrelerden daha iyi performans göstermediğini gösterdiler. Son zamanlarda, yüksek aşınma direncine (134 döngü), karşılaştırılabilir hava geçirgenliği (154.1 mm/s), yüksek filtrasyon verimliliği (99.5%), düşük basınç düşüşü (144pa) olan yüksek aşınma direncine (134 döngü) sahip olan PVC / PU elektro-çekim nano fibröz membranlar) Wang ve diğerleri Tarafından performans (300-500 nm sodyum klorür aerosol parçacıkları) ve hafif (21 g/m²'den az) bildirilmiştir [60,62].

Gümüş gibi antimikrobiyal ajanların nanofiberlerin çözeltisine dahil edilmesinin, filtreler antimikrobiyal özellikler sergilediği bilinmektedir. Neeta ve diğerleri Hidroksil amin ile tedavi üzerine elektro-çekim yöntemini kullanıştır. PACE, elektro-çekim yöntemiyle nano fiber membranlar, Ag⁺ iyonlarının koordinasyonuna ve ardından Zhang ve diğerleri Ag⁺ ve Ag parçacıklarını içeren elektro-çekim nano lifinin mikropalara karşı oldukça aktif olduğunu ve ayrıca hava filtreleme uygulamaları için yeterli taşıma özelliklerine sahip olduğunu bildirmişlerdir [60-64]. Ag⁺ ile antibakteriyel naylon nanofiberlerin Escherichia coli'ye (Gram-negatif) ve Staphylococcus aureus'a karşı antibakteriyel aktiviteleri Montazer ve diğerleri tarafından bildirilmiştir [60,65].

2.2.3.1 Hava Filtrelerinin Partikül Yakalama Mekanizmaları

2.2.3.1.1 Elek Etkisi

En basit mekanizma olarak tanımlanabilen elek tipi filtrasyon etkisinde şekil II.2.'de görüldüğü gibi ili lif ya da ipliğin arasından zararlı parçacıkların geçemediği, arasında sıkışıp kaldığı sisteme denilmektedir. Parçacıklar filtre yüzeyinde takılı kalırlar [1].

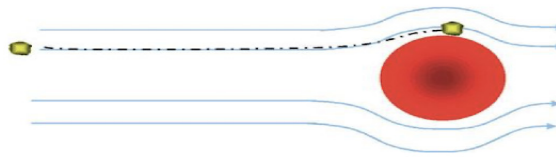


Şekil II.2 Elek Etkisi

2.2.3.1.2 Yakalanma Etkisi

Bu prensipte olabildiği kadar fazla partikülün filtre medyasında moleküler çekim gücü ile yakalanıp tutulmasını temel almaktadır. Etkili filtrasyon ve partiküllerin hava akımıyla temiz tarafa taşınmaması için medyanın içinde 0,1 m/s gibi düşük hız gerekmektedir. Medya içinde çarpışma olasılığı partikül boyutuyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu prensip orta hassasiyette verime sahip olan filtreler için geçerlidir [8].

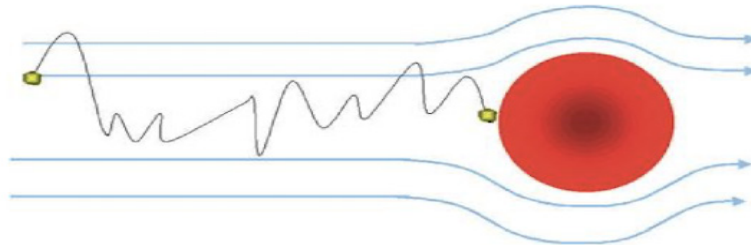
Tanecik çapı çok küçük ise tanecik hava ile elyaf etrafında bir yörünge takip edebilmektedir ama yörünge taneciğin elyaf etrafındaki hareketinde, elyafa tanecik yarı çapından daha yakın bir yerden geçiyorsa, tanecik elyaf tarafından yakalanır ve elyafa yapışır. Tanecik çapı artıp, elyaf çapı ve elyaf iplikçikleri arasındaki mesafe azaldıkça bu etki artar. Bir filtre elyafı içinde, tutulmak istenen tanecik çapına yakın ne kadar küçük çaplı filtre elyafı varsa bu yakalama etkisi de o derece kuvvetli olur [1,3].



Şekil II.3 Yakalanma Etkisi

2.2.3.1.3 Difüzyon Etkisi

Tanecik çapının 1µm'den daha küçük olması halinde, taneciklerle çarpışan gaz molekülleri partiküllerin düzensiz hareket etmelerine neden olabilmektedir. Gaz moleküllerinin Brownian hareketi denen bu davranışları sonucu filtre elyafı ile çarpışan tanecikler onlara yapışmaktadır. Bu prensipte etki hava hızı, tanecik çapı ve elyaf çapı küçüldükçe artmaktadır. [1-3]

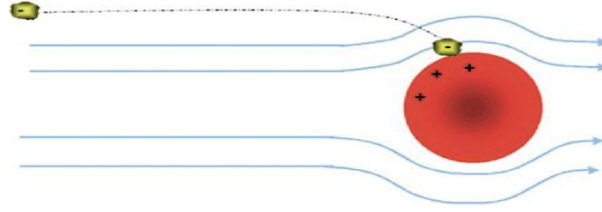


Şekil II.4 Difüzyon Etkisi

2.2.3.1.4 Elektrostatik Etki

Geniş çaplı fiber ortam kullanan filtreler, ince partikül uzaklaştırma verimliliğini artırmak için elektrostatik yüklere dayanır. Düşük maliyet ve hava akışı direnci

nedeniyle normalde geniş çaplı fiber ortam seçilir. Bununla birlikte, bu filtreler genellikle zamanla elektrostatik yüklerini kaybederler çünkü yüzeylerinde yakalanan parçacıklar yüklü bölgeleri işgal eder ve böylece elektrostatik yüklerini nötralize eder [3].



Şekil II.5 Elektrostatik Etki

2.2.3.2 Kaba Hava Filtreleri

Geleneksel hava filtreleri esas olarak makro düzeydeki partikül tutan filtrelerdir. Bu filtrelerin malzemeleri düşük fiyatı, yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci nedeniyle ağırlıklı olarak kullanılmakta ve bazı özel ortamlarda kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir.

Mikron ve milimetre boyutunda lif çapları geleneksel hava filtrelerinde kullanılmaktadır. Bu alandaki malzemelerin çoğu maske ve filtreler için kullanılır. Ancak bu malzemeler kullanımları sırasında yüksek filtreleme gereksinimlerini karşılayamazlar, kolayca bloke olabilir / tıkanabilir ve kullanım ömürleri kısadır. Farklı geleneksel malzemelerin belirli avantajları ve dezavantajları için Tablo II.1'e bakınız.

Tablo II.1 Hava filtresi malzemelerinin sınıflandırılması [15]

	Kategori	Örnekler	Avantajları	Dezavantajları
Kaba Filtre Malzemeleri	Granül Filtre Malzemeleri	Kömür külü/Aktif karbon/Diatomit/Volkan kayacı	1.Yüksek sıcaklık direnci 2.Kimyasallara karşı korozyon direnci yüksek 3. Düşük maliyetli	1. Düşük filtreleme verimliliği 2. Yüksek hava direnci 3. Partikül boyutu <5 µm olan ince partiküllerin filtrasyonunda ciddi eksiklikler

Tablo III.1'in devamı

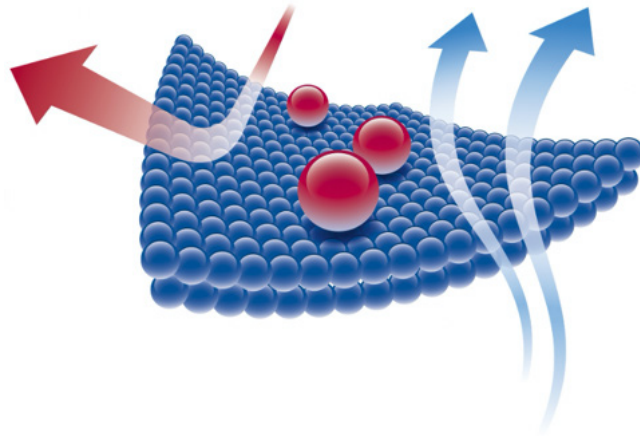
	Gözenekli Membran Filtre Malzemeleri	CS/PVA PVDF/PEG/PES PVDF/SiO ₂ PAN/F127	1. Yüksek filtreleme verimliliği 2. Küçük diyafram açıklığı	1. Düşük gözeneklilik 2. Zayıf gözenek bağlantısı 3. Yüksek hava direnci 4. Yüksek enerji tüketimi
	Mikron Sınıfı Filtre Malzemeleri	Cam lifi/ Hava filtre malzemeleri	1. Yüksek sıcaklık direnci 2. Korozyon direnci 3. Mekanik aşınma direnci 4. Yüksek filtreleme verimliliği	1. Pürüzsüz ve kırılğan yüzey 2. İşleme zor 3. Temel malzemelerle düşük yapışma gücü
Hassas Filtre Malzemeleri	Elektro-çekim /Havayla üfleme yöntemiyle nanofiber filtre malzemeleri	PAN, PCL, PP, PVDF	1. Küçük diyafram 2. Düzgün fiber çapı 3. İyi tünel bağlantısı 4. Yüksek gözeneklilik 5. Yüksek filtreleme verimliliği 6. Basınç düşüşü az 7. Basit işlem parametresi	1. Düşük üretim kapasitesi 2. Sanayi üretimi tam olarak sağlanamamıştır.
	Fonksiyonel filtre malzemeleri	PVDF/AgNPs PP/PVA/ZIF-8 PI/ZIF-8	1. Yüksek filtreleme verimliliği	1. Endüstriyel üretim zor 2. Yüksek maliyet

2.2.3.3 Hassas Hava Filtreleri

Kaba hava filtresi malzemeleriyle karşılaştırıldığında, elektro eğirme ile kaplanmış hava filtresi malzemeleri gibi modern hava filtresi malzemeleri yüksek gözenekliliğe, iyi gözenek bağlantısına, yüksek temizleme verimliliğine ve düşük basınç düşüşüne sahiptir. 2021'de Cui ve diğerleri. [30], hava filtrasyonu fiber membranları hazırlamak için PVA-124 ve TA elektro-çekim yöntemini kullandı. PVA-TA nanofiber membranların filtrasyon verimliliği 99,5% olarak ayarlandığında hava geçiş direnci 35pa'dır. Membranlar genel performans açısından da iyi performans göstermiştir. Modern filtre malzemeleri, yüksek sıcaklık koşullarında kullanılan fiber filtre membranları gibi performans optimizasyonu açısından da nispeten olgunlaşmıştır. Xie ve diğerleri [31], 280 °C yüksek sıcaklık koşullarında 99,28%'lik yüksek PM0.3 filtre verimliliği ve 49,21 Pa'lık hava geçiş direnci ile yüksek filtreleme performansı elde eden bir PI-POSS@ZIF hibrit filtre hazırlamak için elektro-çekim teknolojisini kullanmıştır.

2.2.3.3.1 Hepa Filtreler

HEPA filtreler, 85% ve üzerinde verimlilikte 0,3 mikrona kadar havada asılı duran parçacıkları havadan arındırabilen filtrelerdir. HEPA filtrelerden daha hassas ve 99,99% oranına sahip olan filtrelere ise ULPA filtre denir. HEPA ve ULPA filtreler eğer ön filtrelemeleri sağlıklı bir şekilde kontrolleri yapıldığında bakım gerektirmeyen özellikli liflerden oluşan ve kâğıda benzer bir yapıya sahiptir. HEPA ve ULPA filtreler kullanıldığı ortam havası kirliliğine ve kullanım sıklığına bağlı olarak en geç 6 ayda bir değiştirilmelidir [3].



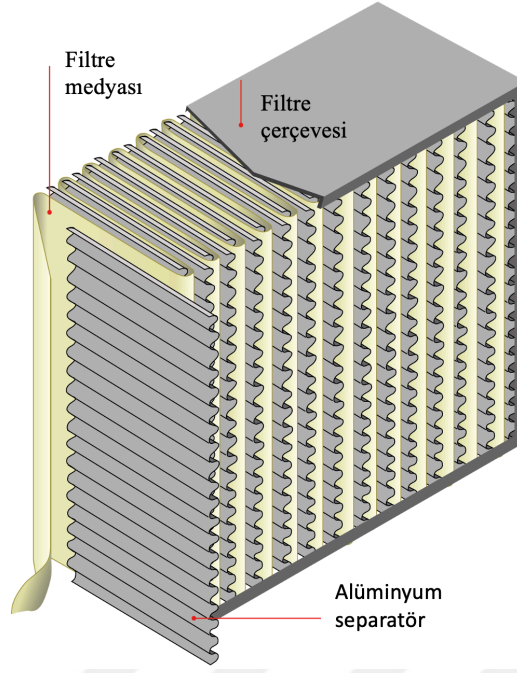
Şekil II.6 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Kumaş Üzerinden ve Altından Geçen Havanın Gösterimi

Aslında, çoğu hava filtreleme ortamı, büyük gözenek boyutları nedeniyle düşük bir ilk filtreleme verimliliğine sahip olan dokunmamış mikro elyaflardan yapılır. Bu filtre ortamlarında nanoliflerin kullanılması, mikron altı partiküllerin filtrasyonunu büyük ölçüde iyileştirebilir ve nanolifler, farklı boyutlardaki partiküllerden tam olarak yararlanmak için mevcut mikro liflerle birlikte kompozit veya katmanlı bir tasarıma dahil edilebilir. Nanopartikülleri diğer dağılmış mikrometre boyutlu aerosol partiküllerini verimli bir şekilde yakalamak için en iyi özellik kombinasyonunu elde etmek için lifler kullanılmalıdır [7].

2.2.3.3.2 Hepa Filtrenin Bölümleri

- Filtre Medyası; kompakt filtre elemanı biçimini vermek için pile şeklinde katlanır ve genelde kâğıt olur. Pilelerin dar aralık oluşturacak şekilde katlanması gerekmektedir. Böylece ihtiyaca uygun miktarda filtre medyası, ahşap veya metal filtre çerçevesi içine yerleştirilebilir. Filtre medyasının hava akımına karşı direnci yüksektir, bu özelliğinden dolayı medya hızı genellikle 0,03 m/s düzeyinde seçilmektedir.
- Alüminyum Separatörler; filtre medyasını destekler ve hava akımının medyaya ulaşmasını sağlamaktadır. Ayrıca filtre medyasının içinden geçip temiz hava tarafına çıkmasını sağlayan kanalları oluşturur.
- Filtre paketi; filtre medyasıyla alüminyum separatörler birleştirildikten sonra kâğıdın pileler halinde katlanmasıyla oluşturulan formdur.
- Filtre çerçevesi; filtre paketinin içine monte edildiği sert muhafazadır.
- Dolgu macunu; filtre paketi ile filtre çerçevesi arasında kullanılan yapıştırıcı veya sızdırmazlık sağlamak amacıyla tasarlanmış malzemedir.
- Conta; filtre çevresinden filtre edilmemiş havanın temiz tarafa geçmesini önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Filtre çerçevesinin ön yüzünde bulunmaktadır [8].

Filtrasyon mekanizmaları iki başlıkta incelenmektedir. Bunlar yüzey filtrasyonu (flat filtration) ve derinlemesine filtrasyondur (depth filtration). Yüzey filtrasyonunda, filtre gözenek boyutundan daha büyük olan tüm parçacıklar filtre yüzeyinde asılı kalmaktadır. Bu filtrelerde gözenek boyutu dağılımı ve geçirgenlik önemli faktörlerdir. Yüzey filtrasyonu, daha çok sıvı filtrasyonunda kullanılmaktadır. [2]



Şekil II.7 Hepa Filtrenin Bölümleri

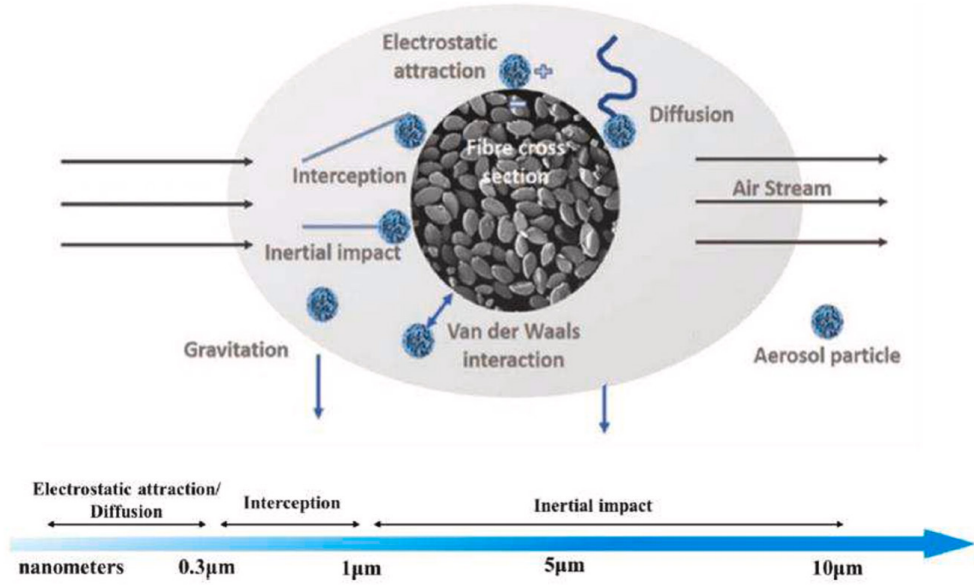
Derinlemesine filtrasyonda, yüzey filtrasyonuna göre daha küçük partiküllerin yakalanması mümkün olmaktadır. Filtrenin malzemesinde bulunan lifler arası mesafeden daha küçük boyutta olan partiküller filtre boyunca tutulmaktadır. Hassas hava filtrelerinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. [2]

Hava filtrasyonunda etkili olan parametreler, parçacık yakalama mekanizmaları ve filtrasyon özellikleri bulunmaktadır. Bunlardan filtrasyonu etkileyen değişkenler:

- Filtre yüzeyinin değişken parametreleri (kalınlık, paketleme yoğunluğu, lif dağılım düzeni, lif çapı, lif enine kesiti, mekanik özellikler-çekme dayanımı ve uzama),
- Akışkan ortam değişken parametreleri (akışkanın viskozitesi, yüzey hızı, sıcaklık, nem ve basınç),
- Yakalanan partikül değişken parametreleri (partikül boyutu, partikül boyutu ve dağılımı, partikül yoğunluğu, partikül şekil ve yüzeyi, partikül elektriksel özellikleri), [2]

Filtrelerin, tozları yakalanmasını sağlayan farklı etkiler vardır. Bunlar;

- Elek etkisi
- Atalet etkisi
- Yakalanma etkisi
- Difüzyon etkisi
- Elektrostatik etki [3]



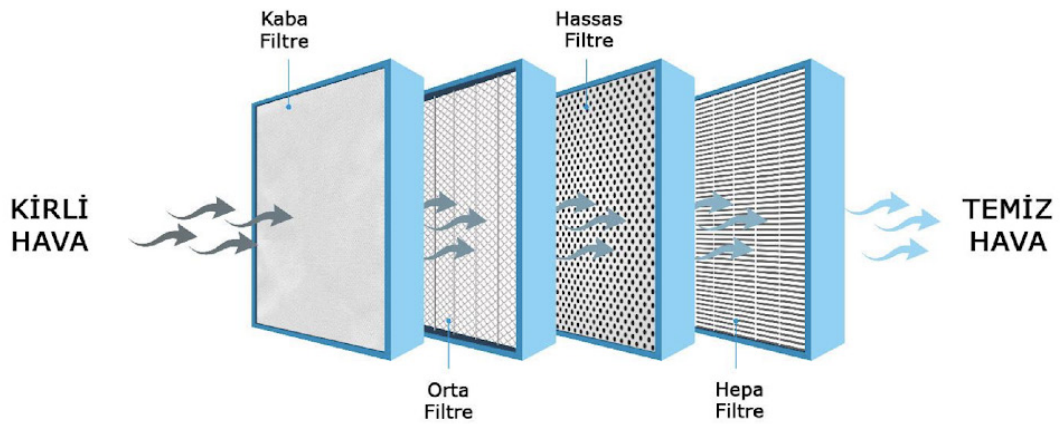
Şekil II.8 Elyaf Yakalama Mekanizmalarının Gösterimi [67]

2.2.3.4 Hepa Filtrelerin Sınıflandırılması

Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan CEN (European Committee for Standardization)'in yayınladığı EN779 ve EN1822 standartlarına göre hava filtreleri,

- Kaba Filtreler (G1, G2, G3, G4)
- Orta Filtreler (M5, M6)
- Hassas Filtreler (F5, F6, F7, F8, F9),
- Yüksek verimli-HEPA (H10, H11, H12, H13, H14)
- Ultra yüksek verimli-ULPA (U15, U16, U17) şeklinde gruplandırılmıştır.

G ve F tipi filtreler normal konfor uygulamalarında (örneğin ev tipi klimaları) ve yüksek verimli filtrelerin ön koruma filtreleri amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil II.9 Kaba, Orta ve Hassas Filtre Gösterimi

Filtrasyon terimi, bir maddeyi diğer yabancı maddelerden ayırma işlemi için kullanılan yöntem olarak tanımlanabilmektedir [1]. Katı partiküllerin tekstil filtre yüzeyinde bulunan katı ve gazlardan ayrıştırılması, çok sayıda endüstriyel işlemde geçmesi ürünün saflığını arttıran, enerji tasarrufu sağlayan, süreç verimliliğini arttıran, kıymetli malzemelerin geri kazanılıp kullanılmasına olanak sağlayan, çevre kirliliği kontrolünde ve çevresel etkilerde genel anlamda iyileşme sağlayan bir işlemdir. Özellikle son yıllarda artan kuş gribi, domuz gribi, influenza benzeri bulaşıcı salgın hastalıkların artmasıyla birlikte koruyucu maske kullanımı önem taşımaktadır.

Maske kullanımının ana sebebi, solunum yoluyla havada asılı bulunan enfeksiyon taşıyan damlacıkların birey tarafından etrafa saçılmasını ve bireyin bu enfeksiyonları bünyesine almasını engellemektir.

Avrupa ülkelerinde kullanılan maskeler EN 149 ile 3 farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlar FFP1 modelleri 0,3 mikron büyüklüğündeki partikülleri 80% oranında filtre ederken, FFP2 modelleri 94% ve FFP3 modelleri ise 99% oranında filtre verimliliği sağlamaktadır. Hassas filtreleme işlemi partiküllerin sıvı akışkanlarından ayrıştırılması mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz prosesleriyle gerçekleştirilir. Nanolif kategorisindeki liflerden elde edilen dokusuz tekstil yüzeyi hibrit filtreler yüksek verimlilikte etkin olmalarından sıkça mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon da kullanılmaktadır [1].

Mikrofiltrasyon inceliği 0,1 μm (100 nm)'den daha az olan parçacıkların filtrasyonunda kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyonda ise parçacık boyutu 0,004 μm -0,1 μm (4-100 nm) arasındadır. Nanofiltrasyon için boyut aralığı yaklaşık olarak 0,0012 μm -0,012 μm (1,2-12 nm) [1].

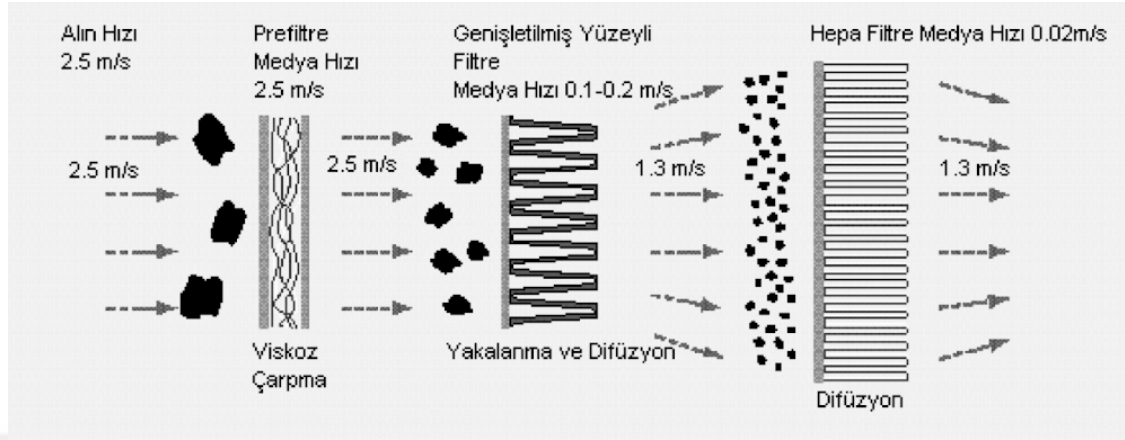
Hava temizleyiciler, kişisel koruyucu ekipmanlar (cerrahi maske, cerrahi önlük ve gaz maskeleri), yağ ve yakıt filtreleri, içlerinde tekstil fabrikalarının da bulunduğu endüstriyel tesislerin atık su arıtma ve kimyasal boyarmadde geri dönüşümü tesislerinde kullanılan yapılar tekstil filtrelerinin kullanım alanlarına bazı örneklerdir.

Dokuma ve dokusuz tekstil yüzeyi filtreler, hammadde ve yapısal özelliklerine bağlı olarak kalınlıkları ve kalınlık doğrultusunda oluşan üç boyutlu yüzeyleriyle belirlenen boyuttaki parçacıkların filtrasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Filtre yapıları sadece dokuma ve dokusuz yüzeylerden üretilebildiği gibi bazı uygulamalarda bu yüzeylerin bir araya getirilmesiyle elde edilen çok katlı kompozit yapılar ve bitim işlemleri ile modifiye edilmiş ürünler olarak kullanılabilir [2].

2.2.4 Filtreleme Prensiplerinin Birleştirilerek Kullanılması

Viskoz çarpma prensibi ile çalışan filtre 3 mikrondan 100 mikrona kadar olan tanecikleri süzmekte, bunu yakalama/difüzyon prensibi ile çalışan genişletilmiş yüzeyli filtre izlemektedir. Bu filtrenin süzdüğü tanecik boyutu 0.4 mikrondur. En son

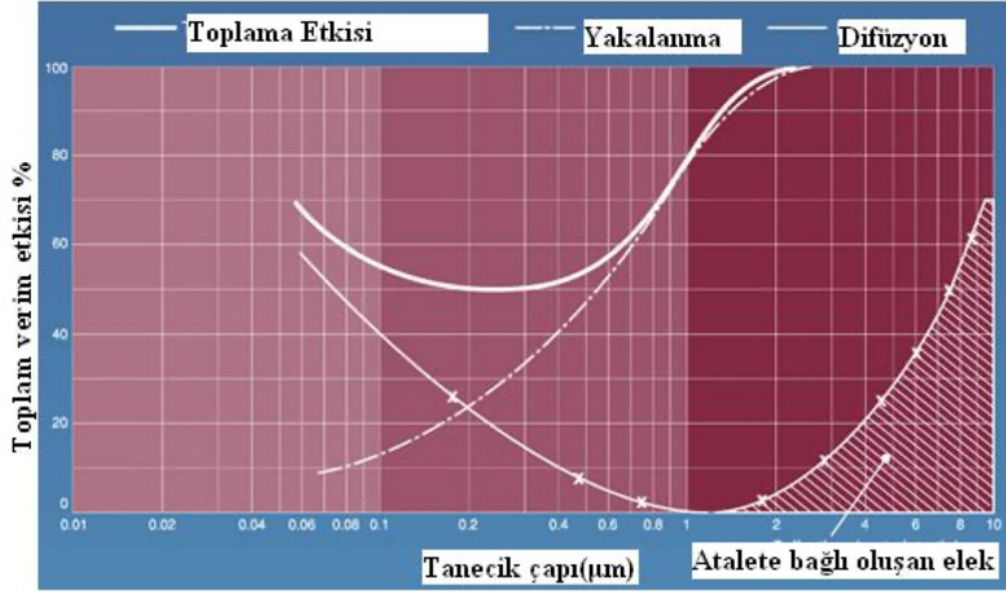
kademede ise yalnızca difüzyon prensibi ile çalışan ve 0.3 mikron ve daha altındaki boyuttaki tanecikleri tutan HEPA filtre bulunmaktadır.



Şekil II.10 Filtre Prensiplerinin Birleştirilmesi ile Elde Edilen Filtre Düzenegi

Boyut ve ağırlık olarak büyük partiküller, hava hızının 2,5 m/s olduğu havalandırma sistemi içinden ön filtre tarafından filtreleme işlemene tabi tutulur. Sonrasında, geniş yüzeyli ve yüksek verimli filtreler sıralanmıştır. Burada filtre yüzeyinin genişlemesi 2,5 m/s deki hava hızının filtre medyası içerisinde 0,1– 0,2 m/s'lere kadar düşüreceğinden, ön filtreler tarafından tutulamayan küçük ve hafif partiküller difüzyon mekanizmasına göre bu aşamada tutulmaya başlar [3].

Havanın içindeki farklı boyutlardaki partiküllerin filtrelenmesinde etkin olabilecek sistemi göstermektedir. Son kademede HEPA filtre bulunmaktadır ve buradaki medya yüzey hızı 0,02 m/s olup filtrenin sık dokusu mikron altı tanecikleri tutmaktadır [3].



Şekil II.11 Filtrasyon Mekanizmasının Tanecik Çapına Göre Verim Etkisi

2.2.5 Filtre Performansını Geliştirilmesinde Seçilen

Yöntemler

Filtrenin performans özelliklerini etkileyen faktörler; kullanılan malzemenin ve filtre özelliklerinden lifin çap uzunluğu, mikrondan daha düşük liflerin kullanımı, lif dağılımı, filtre kalınlığı etkili olan faktörlerdendir. Filtreye uygulanan işlemlerin (filtrenin elektriksel olarak şarj edilmesi, filtreye şekil verilmesi) ve sistem parametrelerinin (hava akış hızı, parçacık boyutu vb.) belirleyici olduğu faktörlerdendir. Filtre paketleme yoğunluğunun artışı filtre verimliliğinin ve basınç düşüşünün artmasına sebep olmaktadır. Filtre kalınlığının fazla olması filtre performansını olumsuz etkilemektedir. Kalınlık arttıkça; filtredeki basınç düşüşü artmakta böylece filtre verimliliği azalmaktadır. Filtre verimliliğine etkisi olan diğer etken filtreye uygulanan havanın akış hızıdır. Hava akış hızının fazla olması, filtre verimliliğinin azalmasına sebep olmaktadır [2].

2.2.6 Doğa Dostu ve Hibrit Filtreler

Hava kirliliği dünya çapında halk sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Filtreler, aerosol parçacıklarının iletimini azaltmak için etkili koruyucu ekipman olarak kabul edilebilir. Ancak, bozunmayan filtrelerin yaygın kullanımı, atık bertaraf sisteminde büyük bir aksama yaratmıştır. Nanofiber filtreler, aynı anda yüksek ayırma verimliliği ve düşük basınç düşüşü sağlayabilir. Doğada çözünebilirlik ve çevresel sürdürülebilirliğin avantajlarından yararlanan bozunabilir nanofiber filtrelerin, sürdürülebilir bir ekosistem için verimli filtreleme ortamı olduğuna inanılmaktadır. PU/CA malzemelerinin bir arada kullanılmasıyla iki malzemenin de olumlu

özelliklerini de hibrit filtrede birleştirilmesi amaçlanmıştır. Hibrit nano filtreler, iki veya daha fazla polimerin çözündürerek nanolif üretim sürecinde çözünen polimerlerin birlikte nano lif eğirme yöntemlerinden birinin kullanılmasıyla elde edilen filtrelerdir [45-46-48]. PU biyo-bozunur bir malzemedir. CA ise doğada bitkilerde ağaçlarda bulunan doğal bir selülozik polimerdir. Atık yönetimi artık dünya çapında önemli balıklardan biri haline gelmiştir. Bu sebeple sadece yüksek teknoloji ürünler üretmekle kalmayıp bu ürünlerin geri dönüşüm döngüsü de düşünülerek üretimi sağlanmalıdır [47].

2.2.7 Filtrelerde Kullanılan Malzemeler

Cam elyaf, hava filtresi malzemesi Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıktı ve 1940 yılında ABD patentini aldı. 1970'lerde süper ince cam elyaf kağıtlı HEPA (yüksek verimli partikül hava filtresi) $\geq 0,3 \mu\text{m}$ toz için 99,9998% verimlilik elde edebiliyordu [40]. 1950'li yıllardan itibaren küresel imalat sanayi hızla gelişti ve hava filtresi malzemelerinde yeni bir sayfa açtı. Aktif karbon elyafı (ACF), 1970 yılında Japonlar tarafından ham madde olarak suni ipek, polipropilen nitril vb. ile geliştirilmeye başlandı. ACF, zengin formu, daha etkili absorpsiyon gözenekleri, homojen gözenek boyutu dağılımı, kısa adsorpsiyon süresi, yüksek sıyırma hızı ve kolay rejenerasyon avantajları nedeniyle 21. yüzyılın en iyi hava temizleme malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir [41]. Nanoteknoloji 1980'lerin sonlarında doğdu. Hava filtreleme alanındaki nanomalzemelerin ana formu nanofiberdir. Nanometre fiber daha geniş bir spesifik yüzey alanına, yüzey enerjisine ve yüzey gerilimine sahiptir, bu da havadaki partiküllerin fiber yüzeyinde birikmesini artırır ve sonuç olarak filtrasyon verimliliğini artırır. Aynı basınç kaybı altında, nano elyafın hem doğrudan engelleme hem de atalet etkisi geleneksel bitki elyafından daha belirgindir; bu, direncin azalmasına, artan filtrasyon verimliliğine ve daha uzun hizmet ömrüne yol açar [42].

90'ların başında ABD Şirketi Lydair, $0,1 \mu\text{m}$ toz için 99,999999% verimlilik sağlayabilen, süper ince cam elyafı bir ULPA filtresi (Ultra Düşük Penetrasyon ile Hava Filtresi) üretti. Elektronik, havacılık, hassas makineler ve yüksek iç hava kalitesi gereksinimi olan diğer endüstrilerin gelişimine büyük katkı sağlamıştır. Cam elyafı, solunum cihazı, ev tipi toz filtresi, hava filtresi ve HVAC sistemi (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) gibi çeşitli filtreleme ekipmanlarında kullanılan geleneksel bir filtreleme malzemesi haline gelmiştir [43].

Nano-titanyum dioksit (TiO_2) fotokatalitik malzeme, zararlı gazları ortadan kaldırmak için 21. yüzyılın en umut verici filtrasyon malzemesidir. Ultraviyole (UV) uyarma enerjisi, malzemeler UV ışınlarını emdikten sonra ortaya çıkar ve bu nedenle NO_2 , CO , NH_3 , SO_2 , CO_2 ve diğer karşılık gelen inorganik elementler. Bu reaksiyon, ortam basıncı ve sıcaklığı altında meydana gelir, havayı arındırır ve ikincil kirlilik olmadan sterilizasyon sağlar. Ayrıca, farklı kompozit malzemeleri bir araya getirdiği için daha fazla iç mekân havası arıtımı elde edilebilir [44].

2.2.8 Filtrelerin Üretim Yöntemleri

Filtreler temel olarak üç ana yöntemle üretilirler. Dokuma, örme ve dokusuz tekstil yüzeyi filtreler olarak kullanım alanına göre ayrılırlar.

2.2.8.1 Dokuma filtreler

Dokuma kumaşın dokuma plan tasarımı filtrelerin kullanılacağı yere göre belirlenir. Endüstride üç temel dokuma türü vardır: bez ayağı, dimi ve saten dokumalar. En basiti, kumaşta en küçük gözenek boyutlarına sahip olan bez ayağı dokumadır. Bez ayağı dokuma kumaşlar partikülleri çok çabuk yakalar ve en iyi filtrelemeyi sağlar. Ancak yüksek basınç düşmeleri nedeniyle pek tercih edilmezler.

Dimi kumaşlar ise (2/1, 2/2 veya 3/1 gibi) aynı ipliklerle dokunan bez ayağı kumaşlara göre daha esnek ve filtrelere daha uygundur. Bez ayağına göre daha iyi akış hızı sağlarlar ancak bez ayağı kadar partikül tutmazlar.

Saten dokumalar daha fazla esneklik, dayanıklılık, daha fazla emisyonu sağlar. Ancak parçacık yakalama yetenekleri çok düşüktür. Kısaca, dokuma tasarımının türü, filtrelerin özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Dokuma kumaşın tasarımı, iplikler arasındaki mesafeyi ifade ettiğinden partikül tutmayı etkiler [17].

2.2.8.2 Örme filtreler

Örme filtreler otomotiv sektöründe kullanılmaktadır [54]. Filtre kumaşları, çeşitli Triko ve Raşel makinelerinde üretilen örme kumaşlar; motorlu taşıtlarda benzin, yağ ve hava filtreleri gibi kimya sanayinde veya çamaşır makinelerinde hava filtresi olarak kullanılmaktadır. Kullanılan makine tipi, kalınlık ve iplikler, kumaşın yoğunluğuna ve filtre edici sıvılara karşı gereken dirence bağlıdır. $400-650 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \text{ min}^{-1}$ arasında değişen çözgülü örme filtre kumaşların avantajı, optimum gözenekliliği en aza indirmesidir [52].

Tablo III.2 Farklı yöntemlerle üretilen filtrelerin kullanım alanları [55]

Üretim Yöntemi	Hammadde ve Yapı Özellikleri	Kullanım Alanı
Kuru yatırım (Dry Laid)	İğnelenmiş keçe ve spunlace	Endüstriyel hava filtreleri
	İğnelenmiş keçe, elektrostatik filtre	Vakum torbaları
	Reçine bağlanmış	Süt filtre
	İğneli keçe	Bant filtreler
	Kimyasal bağlı, iğneli keçe veya spunlace	Dairesel filtreler
Spunbond	Poliester ve naylon	Kartuş toz filtreleri
	Aktif karbon tabaka	Kabin hava filtreleri
	Pileli antimikrobiyal	Yüzme havuzu filtreleri
	Poliester	Sıvı gıda filtreleri
Meltblowing	Kompozit	Panel ve paket filtreler
	Kaplamalı kompozit	Cerrahi yüz maskeleri
	Pileli	Derinlik filtreleri
	Kompozit/Reçineli kâğıt	Vakum torbaları
	Meltblowing	Pileli kartuş
Elektro-çekim	Selüloz takviyeli nanolif	Havalandırma filtreleri
	Selüloz ve sentetik lif takviyeli nanolif	Kabin hava filtreleri
	Selüloz takviyeli nanolif	Vakum temizleyiciler
Yaş yatırım (wet laid)	Reçine uygulamalı kâğıt	Kartuş toz filtreleri
	Reçine bağlı cam mikrolif	Temiz oda filtreleri ve ön filtre (HEPA / ULPA)
	Kaplanmış cam mikrolif, aktif karbon uygulanmış	Cerrahi yüz maskeler, solunum cihazı ve hava saflaştırıcılar
	Yaş mukavemeti yüksek kâğıt	Çay poşetleri

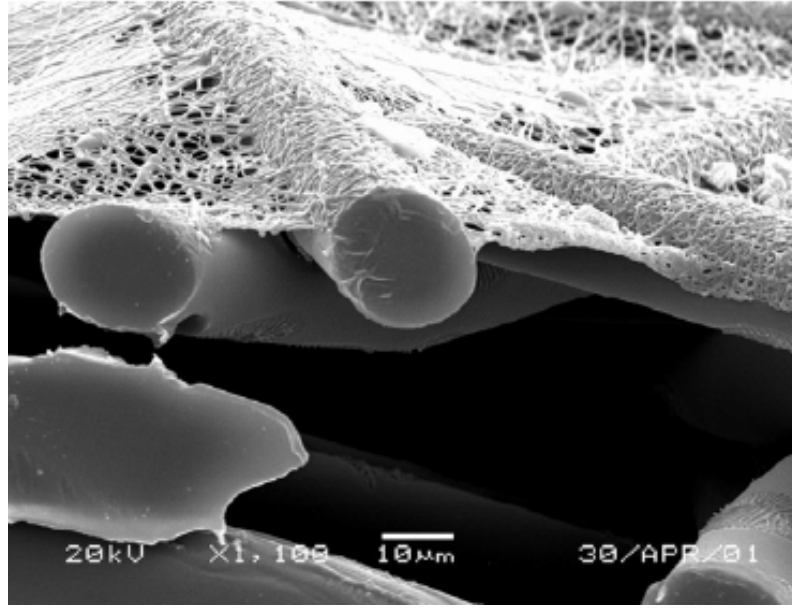
Tablo IVI.2'in devamı

	Reçine uygulamalı pileli antimikrobiyal	Yüzme havuzu filtreleri
	Reçine uygulamalı polyester, selüloz ve bazı mikrolif	Motor yağ filtreleri ve yakıt filtreleri
	Selüloz	Sigara filtre kâğıdı
Kompozit	İğneleme veya spunlace keçelerle takviyeli taban	Endüstriyel hava filtreleri
	Membran takviyeli iğneli veya spunlace keçe	Kartuş toz filtreleri
	Kaplanmış meltblowing kompozit, cam mikrolif, Elektro-çekim nanolif, aktif karbon uygulaması	Cerrahi yüz maskeleri ve solunum cihazları
	Islak yatırılmış dokusuz yüzey takviyeli Elektro-çekim nanolif	Vakum torbaları
	Kaplanmış meltblowing/selüloz kompozit	Ters ozmosla çalışan ön filtre

2.2.8.3 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Filtreler

Filtrasyonda, dokusuz tekstil yüzeyi filtreler üç boyutlu, büyük yüzeyleri ve çok gözenekli yapıları nedeniyle filtre kullanımında idealdir. Dokusuz tekstil yüzeyi kumaşlar üç ana yöntemle üretilirler: Kuru serme, filament seme ve ıslak serme yöntemlerini içerirler.

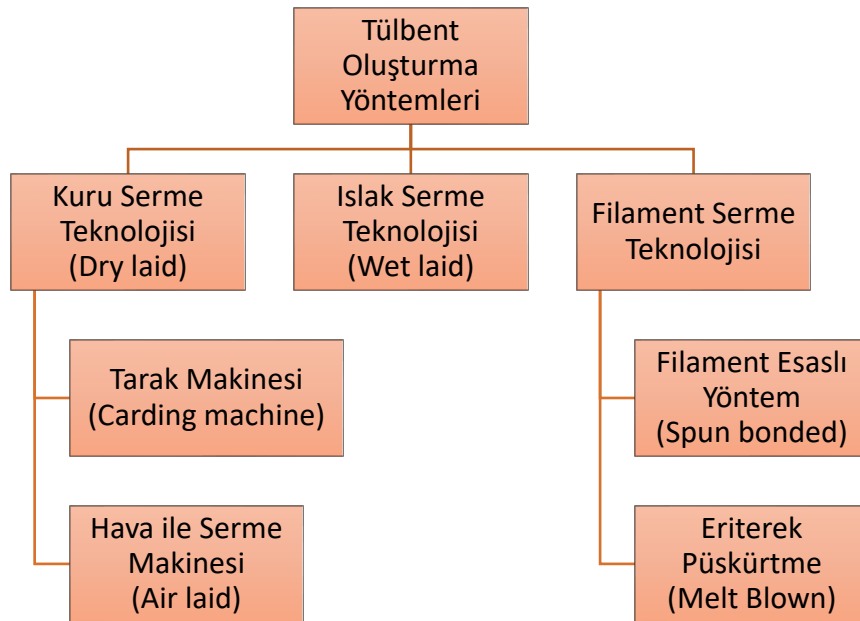
Dokusuz tekstil yüzeyi kumaşlar uzun süredir hava, gaz, sıvı filtrasyonunda kullanılmaktadır. Dokunmamış yüzeyler yaygın olarak filtrasyon ortamı olarak kullanılır ve mükemmel filtrasyon verimliliği ve kimyasal dayanıklılık özelliklerine sahiptir. Ancak bu kumaşların aşınma dayanımları örme ve dokuma filtrelerin gerektirdiği değerlerin gerisinde kalmaktadır. Dokusuz tekstil yüzeyi filtrelerin bu dezavantajları, uygun son işlemlerle iyileştirilebilir ve optimize edilebilir. Dokunmamış kumaşlar, toz toplama işlemlerinde en sık kullanılan ve dokuma kumaşlara göre daha hızlı ve verimli filtrasyon sağlayan filtrelerdir. Lif çapı, filtrasyon verimliliğinde önemli parametrelerden biridir. Dokumasız kumaşlarda elyaf çapının küçülmesi ile elyaf verimi artacaktır. Nanopartiküllerin yüksek verimli hava filtrasyonu, genellikle fiber çapı 0,5 µm (500 nm) daha küçük olan nanolifler kullanılarak elde edilir [17].



Şekil II.12 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Üzerine Nanolif Kaplamanının Enine Kesit Görüntüsü

Dokumamış tekstil yüzeyin oluşturulmasında genellikle kullanılan liflerin enine kesit şekli yuvarlaktır. Ancak Dupont'un fıstık şeklindeki Nomex® lifleri ile Lenzing'in multilobal şekilli P84® lifleri farklıdır. Bu liflerle üretilen dokunmamış filtreler daha yüksek yüzey alanına sahip olduklarından daha fazla partikül tutma kapasitesine sahiptirler [50].

2.2.8.4 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Elde Yöntemleri



Şekil II.13 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Elde Yöntemleri

2.2.8.4.1 Kuru Serme Teknolojisi

Kuru serme teknolojisiyle üretilen tülbentte kesikli elyaflar kullanılmaktadır. Bu yöntemde; ilk aşamada elde edilecek ürün niteliklerinin belirlenmesi, ürün niteliklerine göre belirlenen elyafların hazırlanması, belirlenen elyafların balyalardan alınmasıyla başlamaktadır. Daha sonrasında işlem basamakları balya açıcı, karıştırma, kaba açma, ince açma ile harman yapılması ile sona ermektedir.

Tülbent oluşturma süreci mekanik ve havayla serme veya bu iki yöntemin birleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bütün tekniklerde olduğu gibi kullanılacak elyaf seçimi çok önemlidir. Elyaf seçiminde emicilik, aşındırma mukavemeti, patlama mukavemeti, geçirgenlik ve yumuşaklık özellikleri iyi olan elyafla kullanılmalıdır [11].

a) *Açma ve harman*

Tülbent yüzey için gerekli elyaf balya olarak makineye iletilir. Düzgün bir şekilde açılan balyalardan alınan elyaflar istenilen karışımı gerçekleştirmek üzere açma ünitesine sevk edilir. Balya açıcıda elektrik ayarlı terazi yardımıyla belli ağırlıklarda tartılarak istenilen karışımlar elde edilmektedir. Bu karışımlar sonrasında tarak makinesine iletilir [11].

b) *Tarak*

Tarama işlemi tambur ve çalışıcı silindirin arasında gerçekleşmekte, çalışıcı silindirlerden yolucu vasıtasıyla alınan elyaflar taranıp paralel olana kadar elyaflar tekrar tekrar tarak makinesine beslenip tarama işlemi gerçekleştirilmektedir [11].

c) *Çapraz Serme*

Çapraz serme tekniğinde tek kat tülbentin üst üste serilmesi işlemine denilmektedir. Bu teknikte besleme bandı vasıtasıyla beslenen tarak tülbendi ileri-geri hareket eden taşıma silindirleriyle üst üste çapraz şekilde sevk bantlarına dik biçimde hareket eden iletim bandı üzerine serilmektedir. Bu şekilde elde edilen yüzeylerde liflerin tek yöne yönelmesi engellenmiş olmaktadır [11].

2.2.8.4.2 Islak Serme Yöntem

Islak serme tekniği, dokunmamış lifli kumaşa işlenecek liflerin kullanım kısıtlamasını ortadan kaldırır. Bu teknik, liflerin türünden bağımsız olarak doğal, rejenere ve sentetik liflerden oluşabilmektedir. Odun hamuru ve pamuk gibi doğal lifler, viskon gibi rejenere lifler, cam, seramik gibi sentetik lifler ve karbon lifleri ıslak serilmiş dokunmamış kumaşların üretiminde kullanılabilir. Dokunmamış kumaşlar genellikle solvent ortamı olarak su kullanılarak hazırlanır, bu da bu yöntemi toksik kimyasallara ihtiyaç duymadan üretilmesine imkân sağlamaktadır.

2.2.8.4.3 Filament Esaslı Yöntem (Spunbond)

Meltblowing yöntemi yüksek miktarda hava kullanılmaktadır. Bu sayede hava akımı lifleri gererek inceltmektedir. Spunbond yönteminde ise polimer soğuyup katılaştıktan sonra germe uygulanmaktadır. Spunbond yöntemiyle üretilen lifler daha kalındır. Spunbond prosesiyle üretilen liflerin çapı 20 mikrona kadar çıkabilirken, meltblowing prosesiyle üretilen liflerin çapı genellikle 2 mikrondan fazla değildir. [18].



Sonsuz elyaf serme metodunda filamentler hava jeti ile çekilmektedir. Filamentlerin hava jeti yerine silindirler ile de çekilmesi mümkündür. Normal denye değerine sahip konvansiyonel sonsuz elyaf serme metodu ile mikrolif oluşumu da mümkündür. Mikroliflerden oluşan filamentlerin inceliği 0,5 denye veya daha incedir. Filamentleri olusturmak için çeşitli polimer tipleri kullanılabilir [18].

2.2.8.5 Dokusuz Tekstil Yüzeyi Doku Bağlama Yöntemleri

Dokunmamış kumaşa mukavemet ve tutarlılık kazandırmak için lifleri birbirine üç bağlama yöntemiyle yapılabilir:

- Kimyasal bağlama
- Mekanik bağlama
- Termal (Isıl) bağlama

Yapışma derecesi, kumaş bütünlüğünün (kuvvet), gözenekliliğinin, esnekliğinin, yumuşaklığının ve yoğunluğunun belirlenmesinde birincil faktördür.

2.2.8.5.1 Kimyasal Bağlama

Kimyasal bağlama, sıvı bazlı bir bağlama maddesinin kumaşa çeşitli şekillerde uygulanmasıdır: emdirme, köpükle, püskürtmeyle veya baskıyla bağlama. En sık kullanılan kimyasal bağlayıcı, ekonomik, çok yönlü, kolay uygulanabilen ve etkili bir yapıştırıcı olan su bazlı latekstir. Lateks bağlayıcıların çoğu, polivinilasetat, polivinilklorür, stiren/bütadien reçinesi ve poliakrilik veya bunların kombinasyonları gibi vinil malzemelerden yapılır.

Emdirmeyle bağlama, bağlayıcının hızlı uygulanmasının gerekli olduğu ve kumaş uygulamaları için mukavemet, sağlamlık ve maksimum elyaf kapsüllemenin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Bu, dokunmamış kumaşın, bağlayıcı banyosuna tamamen daldırılmasıyla elde edilir.

Sprey bağlama, yüksek katlı veya kumaş hacminin muhafaza edilmesinin istendiği uygulamalarında kullanılır. Bir dizi nozul tarafından kumaşın üst yüzeylerine uygulanır. Püskürtmeden sonra dokunmamış kumaşın, önce suyu çıkarmak ve ardından bağlayıcıyı sertleştirmek için ısıtma bölgelerinden geçirilir.

Baskı bağlama, yalnızca önceden belirlenmiş alanlarda bağlayıcı uygular ve kumaşın bazı alanlarının bağlayıcı içermemesini gerektiren kumaş uygulamaları için kullanılır. Baskı desenleri mukavemeti, sıvı aktarımını, yumuşaklığı, emiciliği ve dökümlülüğü geliştirmek için tasarlanmıştır.

Köpük bağlama, düşük su ve yüksek bağlayıcı-katı konsantrasyon seviyelerinde bir bağlayıcı uygulamanın bir yoludur. Bağlayıcı seyreltici ve taşıyıcı ortam olarak su kadar hava da kullanılır. Köpük, bağlayıcı solüsyonu mekanik olarak çalkalarken

latekse hava verilerek üretilir. Bağlayıcı solüsyona stabilize edici bir ajanın eklenmesiyle, yapıştırılan kumaş, gelişmiş esnekliğe sahip olacaktır. [11,56]

2.2.8.5.2 Termal (Isıl) Bağlama

Termal bağlama, termoplastik polimer içeriğinin mevcut olması koşuluyla, kuru serilmiş, ıslak serilmiş ve spunbond dokusuz tekstil yüzeyi kumaşların yanı sıra kompozit çok katmanlı kumaşların bağlanması için kullanılanlar. Termal bağlamanın temel konsepti, 1942'de Reed tarafından tanıtılmıştır. Termoplastik ve termoplastik olmayan liflerden oluşan bir dokusuz yüzeyin yapıldığı ve daha sonra termoplastik liflerin erime veya yumuşama sıcaklığına kadar ısıtıldığı ve ardından alanın katılaşması ve bağlanması için soğutulduğu bir işlemi tarif etti. Termal bağlamanın erken gelişmesinde, termoplastik olmayan rayon lifleri (temel lif bileşeni), plastik lifler ile selüloz asetat veya vinil klorür lifleri (bağlayıcı lif bileşeni) ile harmanlanmıştır. Termal bağlama yönteminde, bağlanma sistemi etkinleştirmek için ısı enerjisinin kullanılmasıyla lifleri birbirine bağlar [75].

Bu işlem, özellikle polipropilen ve polietilen olmak üzere düşük erime noktalı termoplastik lifler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Termal bağlama, elyafı basıncın en yüksek olduğu geçiş noktalarında kaynaştıran ve bağlayan ısıtılmış kalender silindirlerinin arasından geçirilmesiyle sağlanır. Alternatif olarak, bağlayıcı lifler veya tozlar yapışkan görevi görebilir.

Isıtılmış silindirlere alternatif olarak, yapıştırma işlemini etkinleştirmek için gereken sıcaklıkları vermek üzere ultrasonik bağlama veya radyasyonla ısıtma sistemleri kullanılabilir. [11,56]

2.2.8.5.3 Mekanik Bağlama

Mekanik birleştirmede, web formunun güçlendirilmesi, liflerin fiziksel olarak birbirinin içinden geçirilip dolanmasının bir sonucu olarak lifler arası sürtünmeyle sağlanır. İki tür mekanik bağlama vardır:

- İğneleme bağlama
- Su jetiyle bağlama

İğneleme çoğu elyaf tipinde kullanılabilir.

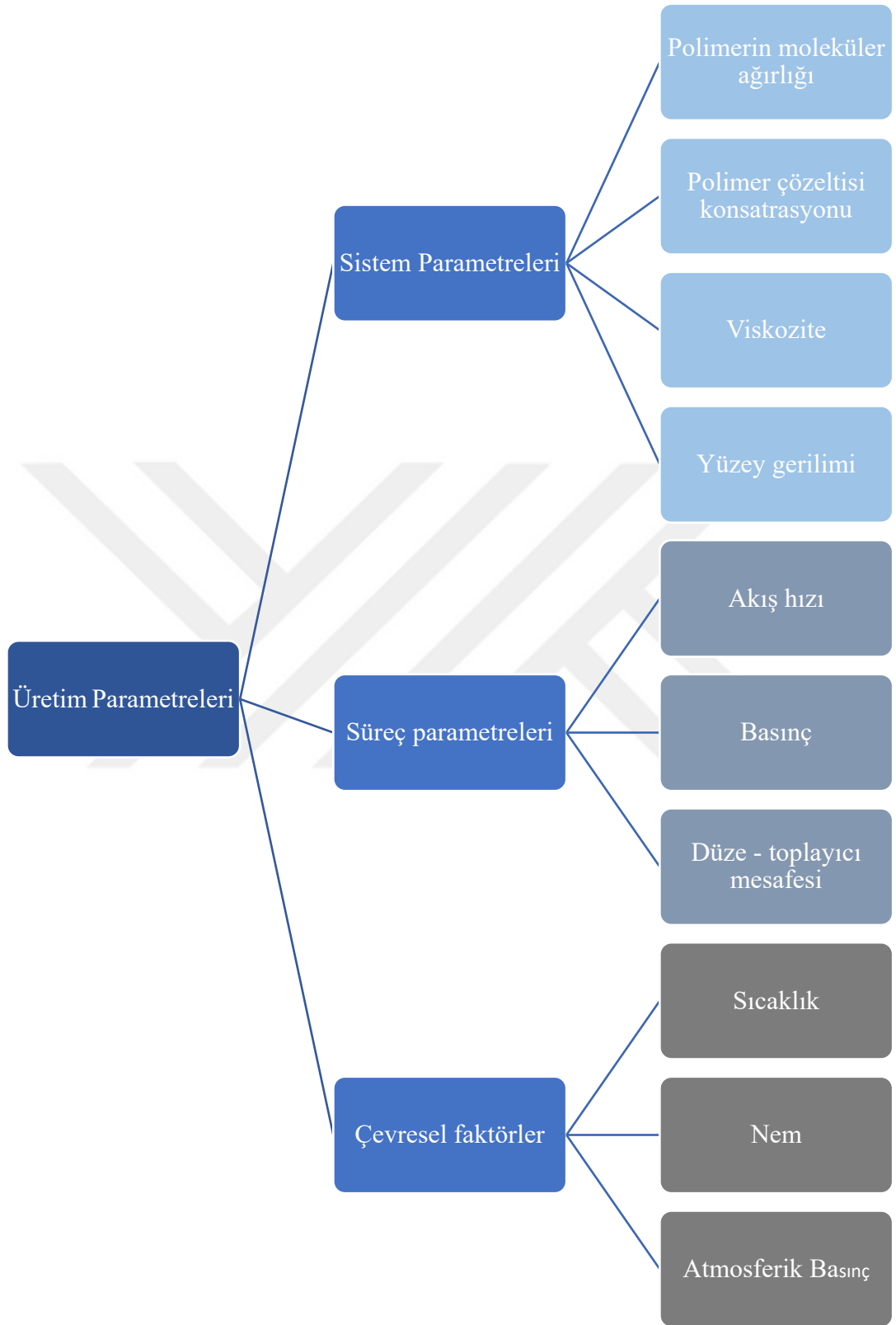
Bölüm III

3. NANOLİF

Nanolif tanımında terim "nano" ve "lif" olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Tekstil endüstrisi, elyafı, iplik haline getirilebilen, pamuk veya naylon gibi doğal veya sentetik bir filament olarak tanımlar. Bir "lif", geometrik açıdan ince, uzun, ip benzeri bir nesne veya yapı olarak tanımlanır. Nano milyarda 1 demek ve milyarda 1 ölçekle çalışmak demektir. Genel olarak nanolif, çapı 50 ile 300 nanometre arasında olan lifler için kullanılan bir terimdir. Nano teknoloji, 0.1-100 nm boyut aralığındaki fenomenlerin ve maddelerin işlevlerinin incelenmesiyle ilgilenen bilimdir. Bir nanometre, nm olarak kısaltılır ve metrenin milyarda birini ölçen bir uzunluk birimidir. Nano ölçekli malzemelerin alışılmadık ve benzersiz özellikleri, makro malzemelerle karşılaştırıldığında sergiledikleri profilden kaynaklanmaktadır. Bu malzemelerin sergilediği yeni özellikler, alışılmadık mekanik, termal, biyolojik, optik, manyetik ve elektriksel özelliklere dönüşen çok küçük boyutlarından kaynaklanmaktadır. Nano malzemeler şu anda ince filmler, kuantum parçacıkları, nano fiberler, nano çubuklar, nanotüpler, nano teller, nano kristaller ve nano köpükler gibi farklı alanlarda araştırılmaktadır. Piller ve yakıt hücreleri, kapasitörler, transistörler ve diyotlar, enerji transfer sistemleri, havacılık yapıları için kompozitler, ilaç dağıtımı ve doku mühendisliği gibi farklı uygulama alanları içerisindedir [34].

3.1 NANOLİF OLUŞUM PARAMETRELERİ

Hava üflemeyle eğirme sürecini etkileyen faktörler üç türe ayrılır: sistem parametreleri, çevresel parametreler ve işlem parametreleri. Şekil III.1'de görülebileceği gibi, üç parametrenin her biri, polimerin kendisinin özelliklerini, çevresel etkiyi ve ekipman ve işlemin etkisini içeren çeşitli farklı etkileyici faktörler içerir. Basınç miktarı, akış hızı, polimer konsantrasyonu ve düze ile toplayıcı mesafesi gibi işlem parametrelerini değiştirerek, özel uygulamalar ve gözenekli yapılar için yoğun ve içi boşluklu fiberler de dahil olmak üzere çeşitli hava üflemeyle eğirme ürünleri elde edilebilir. Aşağıdaki alt bölümlerde sistem parametreleri, proses parametreleri ve çevresel parametreler açıklanacaktır.



Şekil III.1 Nano Yüzey Üretiminde; Sistem, Süreç ve Çevresel Faktörleri

3.1.1 Sistem Parametreleri

Şekil III.11 de sistem parametreleri, sistem parametreleri ve çevresel faktörlerin alt başlıkları verilmiştir. Bu etki parametreleri hava üfleme yöntemiyle fiber oluşumunda rol oynayan faktörlerdir. Örnek vermek gerekirse çözelti viskozitesi ele alındığında çözelti konsantrasyonu viskoziteyle doğrudan ilişkilidir. Konsantrasyon ne kadar yüksekse viskozite o kadar yüksektir. Polimerin moleküler ağırlığı da viskoziteyi arttırıcı yönde etkilemektedir. Polimerin yüksek molekül ağırlığı, daha fazla düzgün lineer fiber oluşumu arttırmaktadır. Çözeltinin çözünmesi için çözücüde çok önemli rol oynamaktadır. Çözeltinin uçucu olması hava üflemeli eğirme yönteminde boncuklanmayı azaltmaktadır. Çözeltinin basınç ile toplayıcıya iletilmesi esnasında ne kadar hızlı buharlaşırsa elde edilen nano yüzey o kadar verimli üretilmektedir. Çözücünün oranının ayarlanması iki alana ayrılabilir: tekli çözücünün seçimi ve karışım çözücülerin (iki veya daha fazla) oranının ayarlanması. Tekli çözücülerin seçimi esas olarak polimerlerin çözücülerdeki çözünürlüğünü hesaba katarken, karışım çözücüler de çoklu çözücülerin oranını ve karışım çözücülerin elde edebileceği etkileri dikkate almalıdır. Örneğin, farklı uçuculuklara sahip iki çözücü, gözenekli yapılar hazırlamak için farklı buharlaşma hızlarından yararlanabilir. Diğer faktörler değişmediğinde, basınç değişimi (artış ve azalışı) de liflerin oluşumunda daha büyük bir etkiye sahiptir [23].

3.1.2 Süreç Parametreleri

Süreç parametreleri, akış hızı, alıcı mesafesi, basınç ve düze çapı dahil olmak üzere hava üflemeyle eğirme ekipmanı ile ilgilidir.

Hava üflemeyle eğirme işleminde solvent buharlaşmasının ve nanolif oluşumunun itici gücü basınç kuvvetidir. Çözücü ne kadar hızlı buharlaşırsa; lif o kadar hızlı filament olur ve lifler daha ince olacaktır. Hava basıncı belli bir sınırı aştığında ortalama çap azalmaz aksine artar. Çözeltinin akış hızındaki bir artış, lifin çapını artırır, ancak akış hızı çok yüksek olduğunda bu, boncuklu (beadli) bir morfolojinin oluşmasına neden olur. Alıcı mesafesi, düzenin ucundan alıcı cihaza olan mesafedir. Belirli bir kabul aralığı içinde, alıcı ne kadar uzaktaysa, polimer-çözücünün buharlaşması o kadar büyük kolay olur. Bu, daha iyi yüzey morfolojisine ve daha küçük çapa sahip lifler oluşturur. Düze çapının lif çapının geometrisi düzgün lif oluşumunu etkilemektedir [23]. He ve diğerleri daha büyük çaplı düzenin çözelti viskozitesinin düze sonunda arttığını ve bunun da lif çapının artmasına neden olduğunu bulmuşlardır. Bu nedenle, düze çapındaki artışın neden olduğu lif çapındaki artış, esasen viskozitedeki artıştan kaynaklanmaktadır [33].

3.1.3 Çevresel Faktörler

Çevresel faktörlerin hava üflemeyle çekim işlemi üzerindeki etkisi, önceki iki faktör kadar büyük değildir; bunun başlıca nedeni hem sıcaklığın hem de nemin aletler tarafından kontrol edilebilmesidir. Sıcaklığın etkisi, diğer parametrelerin etkisiyle yakından ilişkilidir; örneğin sıcaklığın artmasıyla çözücünün buharlaşma hızında artış olur, polimer katılaşması daha hızlı olur ve lif çapında azalma olur. Bu nedenle, çevresel parametrelerin ayarlanması, polimer özellikleri ile solvent özelliklerinin entegrasyonunu gerektirir ve çevresel faktörlerin farklı çözeltilerin üzerindeki etkisi oldukça farklıdır. [23]

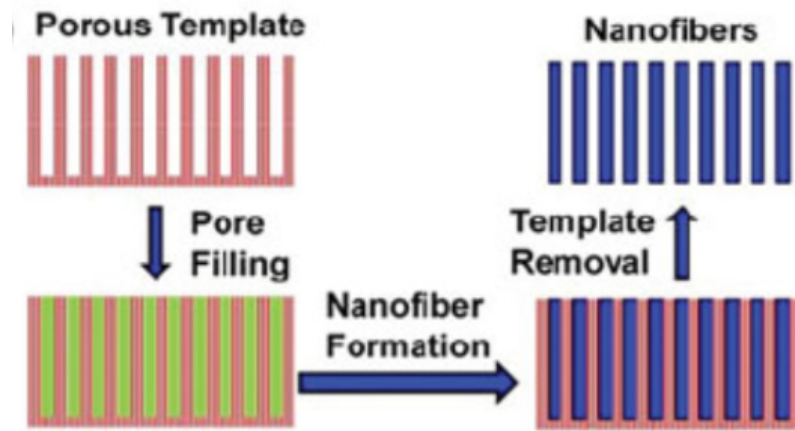
3.2 NANO FİBER OLUŞUM YÖNTEMLERİ

3.2.1 Çekim Yöntemi (Drawing Method)

Çekme yöntemi moleküler düzeyde kuru eğirme olarak ifade edilebilir. İşlem sadece yüksek derecede deformasyona uğrayabilen, ancak çekme sırasında oluşan gerilimi tutacak kadar sağlam kalan viskoelastik malzemelere uygulanabilir. Tipik bir çekme yönteminde nanolif üretmek için, SiO_2 yüzey, mikropipet ve mikro manipülatör gerektirir. Ancak bu işlem, nanolifleri tek tek laboratuvar ölçeğinde üretilmesine uygundur [16].

3.2.2 Şablon Sentezi (Template Synthesis)

Şablon sentezi, çoğunlukla inorganik nanolifler üretmek için yaygın olarak kullanılan başka bir üretim metodudur; karbon nanotüpler ve nanolifler veya iletken PPy vb. hammaddelerden üretilebilir. Şablon sentezi, tercih edilen bir malzeme veya yapı elde etmek için bir şablon veya kalıbın kullanılmasını içerir. Böylece döküm tekniği ve DNA replikasyonu, şablon bazlı sentez olarak kabul edilebilir.

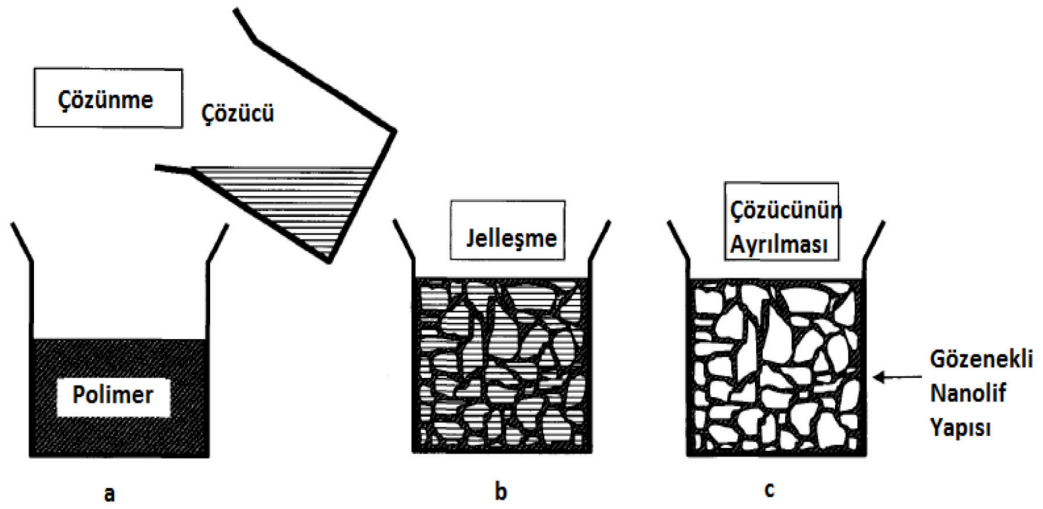


Şekil III.2 Şablon Sentezi

Feng ve diğerleri tarafından nanolif oluşturma örneği için, şablon nano ölçekli çap kalınlığında gözenekleri olan bir metal oksit membrandan bahseder. Gözenekli membran kontrolü ile su basıncının kullanılması, polimerin ekstrüzyonuna neden olur ve bu, katılaştırıcı bir çözelti ile temas ederek, çapları gözenekler tarafından yönetilen bir nanolifler sağlar [16].

3.2.3 Faz Ayrımı

Faz ayrımında, bir polimer jelleşmeden önce başlangıçta bir çözücü ile karıştırılır. Bu sistemdeki ana mekanizma, fiziksel tutarsızlık nedeniyle fazların ayrılmasıdır. Bu işlemde, katı haledaki polimerin nano gözenekli köpük formuna dönüşmesi için uzun bir zaman gerektirir. Çözücü fazı daha sonra ekstrakte edilir ve geriye diğer artık faz kalır [88].

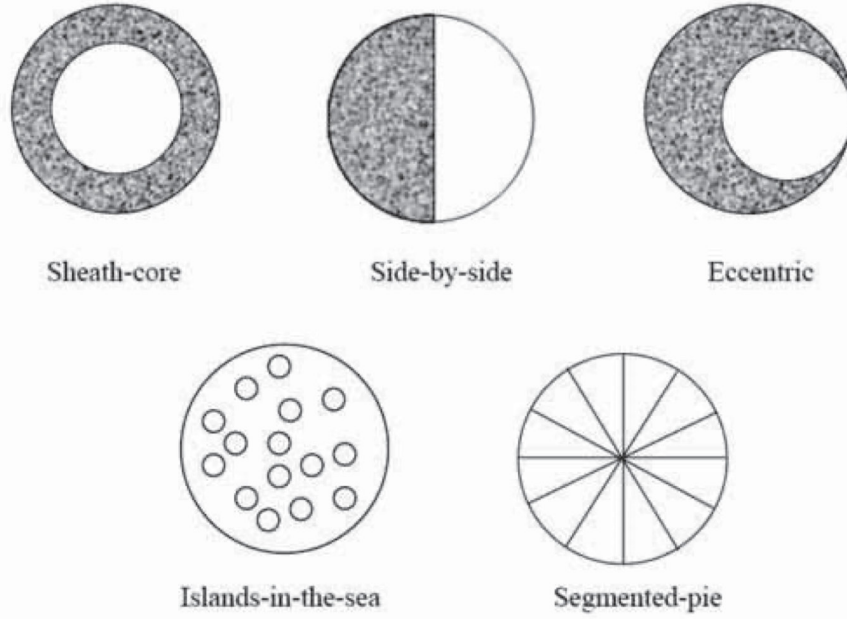


Şekil III.3 Faz Ayrımı

3.2.4 Bikomponent Çekim (Island in the sea)

Bikomponent lifler 2 polimerin aynı düze (spinneret) başlığından ekstrüzyon (ekstüre) edilmesi olarak tanımlanabilir. Şekil III.4. bazı bikomponent liflerinin örnekleri verilmiştir. Denizdeki ada formundaki lifler, aynı zamanda matris-filament lifleri olarak da adlandırılırlar çünkü enine kesitte, bir polimer ikinci bir polimerin matrisine yerleştirilirken görünürler. Denizdeki ada lifleri, ada kısmının tek biçimli veya tek biçimli olmayan bir çapına sahip olabilir [16].

Konvansiyonel yöntemlerde düze içerisinde bikomponent liflerin geçirilmeleri ve bu lif karışımlarının daha sonra ayrılmaları mümkündür. Oluşan liflerin incelikleri düzenli olmamakta ve enine kesit görünüşleri de bir homojenlik göstermemektedir. Bu yöntemlerde nanolif üretimi rasgele olmakta ve üretilen liflerden ancak bir kısmı istenen özellikleri taşımaktadır [77].



Şekil III.4 Bikomponent Liflerin Enine Kesiti

Nanolif üretiminde kullanılan bikomponent liflerin yapısında: PP, PES ve PA gibi lifler ile daha sonra eriyerek bikomponentten uzaklaşan bir polimer madde bulunmaktadır. Bikomponent liflerde “ada-deniz” modeline göre, eriyerek ortamdan uzaklaşan polimer “deniz”, geriye kalan ve yaklaşık olarak 300 nm çapa sahip lifler de “ada” olarak adlandırılmaktadırlar [77].

Bu teknik ile üretilen nanolifler, ticari uygulamalar için ekonomiktirler. Elektroçekim ve meltblowingden farklı olarak, bu teknolojiyle üretilen nanolifler daha dar çap değişim aralıklarına sahiptirler.

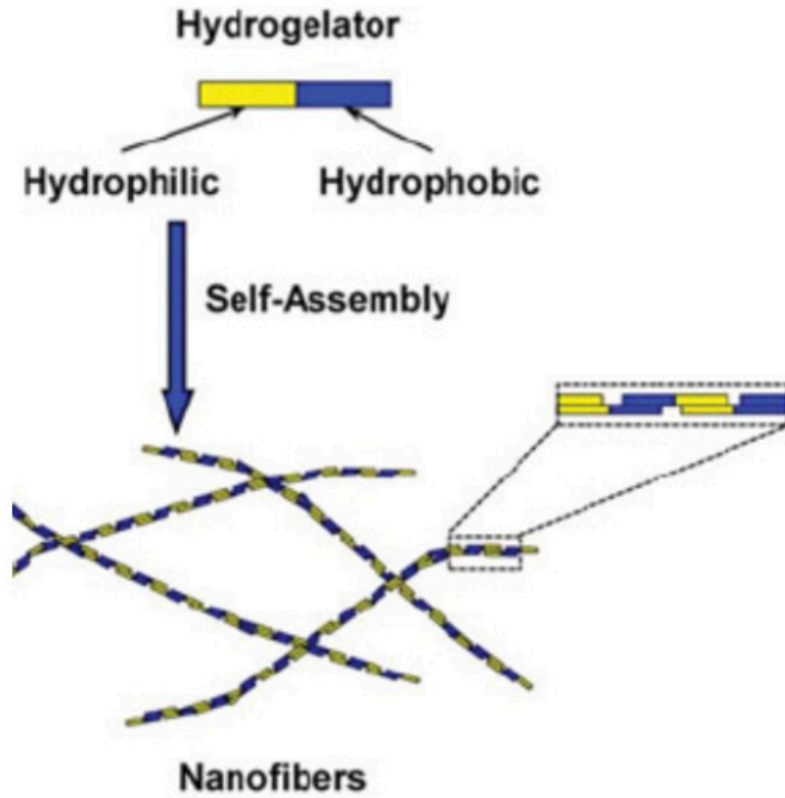
3.2.5 Eriyikten Üfleme (Meltblowing Method)

Günümüzde, küçük çaplı lif üretmek için kullanılan en yaygın üretim tekniği meltblowing tekniğidir. Ama bu yöntemle üretilen liflerin çaplarında ulaşılabilen sınır değer 1 mikrondur.

Meltblowing teknolojisi ile termoplastik yapıdaki polimerlerden düşük maliyetle, fazla miktarlarda polimerik nanoliflerin üretimi amaçlanmaktadır. Polimer, ekstrüder makinesinde eritilmekte, filtrasyon adımıdan sonra bir pompa yardımı ile lif çekim başlıklarına gelmekte ve düzeden basınçla itme kuvveti uygulanmakta, ardından hava üfleme ile inceltilmektedir. Lifler kesikli elyaf halinde, toplayıcı bant üzerine düşmektedir.

3.2.6 Kendiliğinden Düzenleme/ Tutunma (Self Assembly)

Kendinden tutunma yaklaşımında, nanolifler moleküller arası etkileşimler kullanılarak küçük molekülleri bir arada tutarak üretilir. Küçük moleküllerin kimyasal yapılarına bağlı olarak nanolifleri birleştirmek için farklı mekanizmalar kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan mekanizmalardan biri, iç içe geçmiş iki faz, yani tipik olarak su olan sıvı faz ve hidrojel moleküllerinin kendiliğinden bir araya gelmesiyle oluşan bir nanolif ağı olan katı faz olmak üzere, hidrojel oluşumuna dayanır. Kurutulmuş nanolifler, sıvı fazın hidrojellerden uzaklaştırılmasından sonra elde edilir. Şekil III.5. hem hidrofilik hem de hidrofobik uçlara sahip hidrojel moleküllerin kendiliğinden bir araya gelmesiyle nanoliflerin oluşumunu göstermektedir. Burada, nanoliflerin kendi kendine tutunması, hidrojel moleküller arasındaki zayıf moleküller arası hidrojen bağı ve hidrofobik etkileşimler ile sağlanır [23].

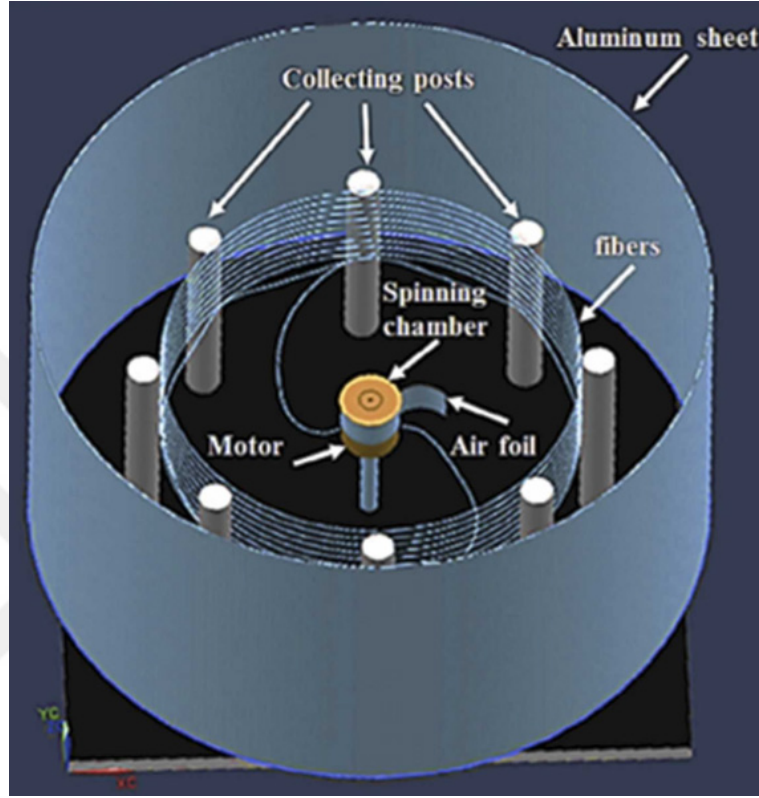


Şekil III.5 Kendiliğinden Tutunma

3.2.7 Santrifüj Eğirme (Centrifugal Spinning)

Santrifüj eğirme, etkili, ekonomik ve yüksek çıktılı mikro/nano elyafların üretimi için geliştirilmiştir. Genel olarak, polimer solüsyon ipliklerinin santrifüj jet eğirme kullanılarak mikro/nano liflere dönüştürülmesi, santrifüj eğirme çözeltilerinin kütle transfer özellikleri, santrifüj kuvvetinin hassas regülasyonu ve çözeltinin

viskoelastik özellikleri gibi bir dizi adım aracılığıyla gerçekleştirilir. Sonuç olarak, üretilen nanolif çapı, santrifüj eğirme çözeltisinin buharlaşma hızı ve elastikiyet gibi özelliklere bağlıdır. Santrifüj jet eğirme tekniğinin geleneksel elektro-çekime göre en önemli avantajı olağanüstü seri üretimidir.



Şekil III.6 Santrifüj Eğirme Mekanizması

Santrifüj eğirmede, malzemeyi çözmek için çözücünün kullanılır daha sonra çözelti, dönen silindirden merkezkaç kuvveti ile silindir duvarının nozul başlığının deliğinden dışarı atılır ve ardından çözücü, atış sırasında buharlaştırılır. Son olarak, lifler oluşturulur ve daha sonra silindirin etrafındaki toplayıcı tarafından toplanır [51].

3.2.8 Elektro-çekimle Eğirme (Electrospinning)

1934 yılında Formhals tarafından, elektrostatik kuvvet kullanarak polimerlerden filament lif üretim işleminin patenti alınmış. Patentini aldığı bu yöntemle “electrospinning” denilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen polimer liflerin çaplarının mikrometre altında incelikte olmaları ve bu boyuttaki liflerin filtreleme, kompozitleri güçlendirme ve biyomedikal cihazlar gibi önemli ölçüde geniş uygulama alanları için elverişli olmalarından dolayı bu yöntemle olan ilgi hızla artmaktadır [20].

5 kV ile 30 kV arasındaki elektrik akımı, bir polimerin yüzey gerilimini ortadan kaldırmaktadır. Polimer çözeltisi, çok ince haldeki jet düzeden geçerek düzenin karşısındaki topraklanmış toplayıcıya doğru iletilmektedir. Topraklanmış yüzeyde biriken lifler sürekli olarak çekilmektedir. Bu şekilde, elektro-çekim yöntemiyle polimerler, önce çok yüksek voltajlı elektrik akımıyla yüklendirilir, ardından da bir düzeden topraklı bir plakaya doğru akarken katılaşır ve nano lif formunu almaktadır. Elde edilen lifler, polimer sıvısıyla doldurulmuş bir kılcal boru sistemine bir elektrot yardımıyla yüksek voltaj uygulanarak üretilmektedir.

Polimer çözeltisi şırınga içine doldurulmaktadır. Şırınganın ucu paslanmaz çelikten yapılmış ve aynı zamanda elektrot görevi sağlamaktadır. Toplayıcı metal plaka, kılcal borunun altına yerleştirilmektedir. Kılcal boru uç kısmından elektrot arasına yüksek voltaj uygulanmaktadır. Kontrollü bir hızda, şırınga içindeki piston bir motorla hareket ettirilmektedir. Polimer çözeltisinin veya eriyiğinin bir damlası şırınga ucundan çıkmakta ve sıvı yüzey gerilimi sayesinde bir süre havada asılı durmaktadır. Çözelti ya da eriyik serbest yüzeyi elektrik alana maruz bırakılırsa, hava ile çözelti veya eriyik yüzeyi arasında yük oluşmaktadır. Bu yük itici gücü, yüzey gerilimine karşı koyan bir kuvvete neden olmaktadır. Eğer voltaj belirli bir sınır değeri geçerse, elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimini aşar ve çözeltiden damlanın uzaklaşmasına neden olmaktadır [20].

Araştırmacılar son yıllarda elektro-çekim süreci sonucunda elde edilen liflerin morfolojik özellikleri üzerinde yoğunlaşmaktadırlar. Özellikle lif yapısını etkileyen süreç parametreleri ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir [78]. Aşağıda elektro-çekim yöntemine etki eden işlem parametreleri verilmiştir [78-80].

İşlem değişkenleri,

- Kılcal boru ucundaki elektrik potansiyeli (uygulanan voltaj),
- Kılcal boru içindeki hidrostatik basınç,
- Akış hızı,
- Kılcal boru ile kolektör arasındaki mesafe,
- Toplama plakasının hareketi,
- Çevresel değişkenler,
- Sıcaklık,
- Eriyik sıcaklığı,
- Çözelti sıcaklığı,
- Çevre sıcaklığı,
- Bağıl nem,
- Hava akış hızı,
- Vakum

Çözelti veya eriyik değişkenleri,

- Molekül ağırlığı,
- Moleküler ağırlık dağılımı,
- Polimerin yapısı (dallı, lineer, ağ),
- Çözelti özellikleri (viskozite, iletkenlik, yüzey gerilimi, di-elektrik katsayısı, elastiklik, pH, konsantrasyon),

Elektro-çekim teknolojisi ile hazırlanan nanolifler, nanofiber membranların hazırlanmasında kullanılan yüksek voltajlı statik elektrik nedeniyle biyotıp, enerji, çevre, kataliz vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmasına rağmen, güvenlik ve ekipman proses sorunlarının ortaya çıkması muhtemeldir. İkinci olarak, ES tekniği aynı zamanda polimer çözeltisinin belirli bir iletkenliğini de gerektirir, bu da birçok iletken olmayan polimerin döndürülebilirliğini sınırlar. Aynı zamanda en önemli nokta, ES ile hazırlanan nanoliflerin veriminin düşük olması ve nanoliflerin seri üretiminin zor olması, endüstriyel ölçekte üretimlerinin büyük ölçüde engellenmesidir. Hazırlama sürecinde meydana gelen çeşitli teknik sorunları çözmek ve nanoliflerin verimini artırmak için, e-eğirme işlemindeki güvenlik problemlerinin üstesinden gelmek için nanoliflerin üretimini gerçekleştirmek için santrifüj eğirme ve çözelti jeti eğirme önerilmiştir [19].

3.2.9 Hava Üflemeyle Eğirme (Solution/Air Blowing Spining)

Hava üflemeyle eğirme (SBS), yüksek verimli ve güvenli nano lifli yüzeylerin hazırlanması için yenilikçi bir yöntemdir. SBS, geleneksel elektro-çekim (ES) yöntemlerine göre çeşitli avantajlar sağlayan olgun bir lif oluşturma tekniğidir.

ES ve eriterek üfleme teknolojileri kavramlarına odaklanan SBS, ES sistemiyle karşılaştırılabilir çeşitli çaplarda nano elyafı işleme imkânı sunar. İlk olarak 2009 yılında Medeiros ve diğerleri SBS eğirme sistemini bildirmiştir [23].

Hava üflemeyle eğirme yönteminde, iç içe geçmiş 2 düze kanalı bulunmaktadır. İç düzeden polimer çözeltisi, dış düzeden basınçlı hava beslenmektedir. Düze ucundan çıkan polimer pnömotik jet kuvvetlerin etkisiyle toplayıcı silindire doğru giderken aradaki mesafede incelmektedir. Aynı zamanda toplayıcı silindire iletilirken çözelti içindeki çözücünün uzaklaşıp buharlaşmasıyla nanolif oluşumu sağlanmaktadır [66].

3.2.9.1 Hava Üfleme Metodu (Solution Blowing) Üretimi ve Özellikleri

Kuru eğirme işlemine benzer, çünkü uçucu bir çözücü içinde çözülmüş bir polimerden yapılan çözeltinin hızla kurutulması gerekir. Ayrıca, kaplamadan önce bir dış kuvvet tarafından indüklenen bir gerilme olduğu için, benzer şekilde elektro-çekim işlemine karşılık gelir. Bununla birlikte SBS, lif oluşturan itici güç olarak yüksek hızlı

Compressor

Syringe pump

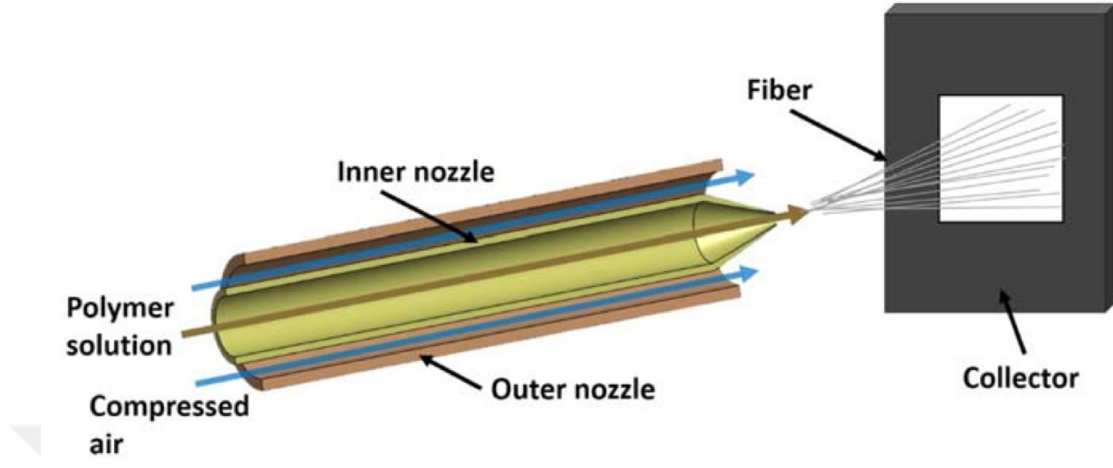
Compressed Air

Polymer Solution

Şekil III.7 Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Şematik Gösteri

Basınçlı yüksek hızlı gaz, basınçta bir düşüşe neden olur ve ardından gaz/çözelti ara yüzünde kayma meydana gelir. Kritik hava basıncı aşıldığında polimer çözeltisi sabit bir toplayıcıya doğru gerilir. Başka bir deyişle, çözücü iç nozuldan geçerek damlacık haline geldi. Daha sonra damlacığın çözelti ara yüzü, dış nozuldan gelen yüksek hızlı hava akışıyla konik bir şekle dönüştürüldü. Çözelti damlacığı, hava akışının kuvvetleri nedeniyle yüzey gerilimi aşıldıktan hemen sonra ince akımla püskürtülür. Bu jetler çalışma mesafesi üzerinden toplayıcıya doğru püskürtüldüğünde, basınç düşüşü ile gerilirler. Çözücü buharlaşırsa, püskürtülen polimer çözeltisi daha sonra kolaylıkla liflere dönüşür. Yüksek viskoziteli sıvı jetleri, çevredeki gaza göre yüksek hızda hareket ettiğinde yanal dağıtılmış kuvvete maruz kalır. Bununla birlikte, çalışma mesafesi içinde (tipik olarak 10-20 cm, ancak

çözücünün uçuculuğuna bağlı olarak değişir) çözücü buharlaşır ve polimer lifler daha fazla kurutma, soğutma veya yıkama gerekmeden biriktirilir [23].



Şekil III.8 Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Nozul Başlığının Enine Kesit Gösterimi

Örneğin, Bonan ve diğerleri genel olarak en yaygın kullanılan biyo-uyumlu ve toksik olmayan polimer olan PLA polimerini kullanarak elyaf işleme gerçekleştirmiştir. Çözeltiler, iç nozuldan 120 ml/min hızında pompalandı ve dış nozuldan 2,4 kPa basınçlı bir gaz akışı verildi. Elyaf keçeler doğrudan 200 rpm'de 20 cm'lik bir çalışma mesafesine yerleştirilmiş döner silindirik bir toplayıcı üzerine yerleştirildi [24].

Wojasiński, SBS prosedürünü PLA elyafının işlenmesi sırasında 45%-50% bağıl nem ile atmosferik koşullarda gerçekleştirdi. SBS sistemi tarafından başarıyla üretilen polimerler arasında PLGA, PEO, PLA, PI, PCL, PS, PVA, PMMA, PVDF ve PAN bulunur. Ancak laboratuvar ve endüstriyel ölçekli üretim için Aerospinner (SBS) Areka Group tarafından sağlanmaktadır [25].

3.2.9.2 Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Çalışma Parametreleri

Polimer çözeltisinin konsantrasyonu, hava basıncı, besleme hızı, çalışma mesafesi ve nozullar arasındaki mesafe gibi proses parametrelerinin elyafın morfolojisi üzerindeki etkisini belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır. Serbest jetin başlangıç çapı, jetin gerilme aşamasından önce çözeltinin ekstrüde edildiği iç deliğin enine kesit alanı tarafından belirlenir. Elyaf çapını etkileyen en önemli parametrelerin polimer çözelti konsantrasyonu ve hava basıncı olduğu bulunmuştur.

Polimer zincirlerinin birbirine bağlanması, polimer çözeltisinden liflerin oluşumuyla bağlantılıdır ve çözeltide belirli bir polimer konsantrasyonu (örtüşme konsantrasyonu) gerektirir. Ayrıca polimer zincirlerinin birbirine bağlanması yüzey

gerilimini aşan viskozite artışına yol açar. Daha düşük polimer konsantrasyonu, daha küçük çaplı lifler oluşturur. Çözeltinin düşük konsantrasyon oranı, çözeltinin viskozitesini düşürür. Bu nedenle, çözelti jeti, daha ince liflerin üretilmesine yol açan yüksek basınçlı hava akışıyla daha ince hale gelir. Polimer konsantrasyonundaki bir artış, nanolif üretimindeki zorlukları arttırır. Ayrıca polimer-çözücü sistemi de çözeltinin viskozitesi ve yüzey gerilimi SBS sistemi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğundan çok kritiktir. Ek olarak, polimerin moleküler ağırlığı ve polimer çözeltilerinin buharlaşma hızı, fiberin çapını etkiler. SBS'den türetilen nano lifli tabakaların ortalama lif çapı ve morfolojisi gibi özellikler ayarlanabilir. SBS fabrikasyon fiberlerinin çapı 100 nm ile 1 µm 'den büyüktür. Hava basıncı arttığında, elyaf çapı küçülür ve elyaf yüzeyi daha düzenli hale gelir. Nihai ürünün hava akış alanı dağılımı, hava hızı ve morfolojisi büyük ölçüde SBS sisteminde çok kritik bir parametre olan nozul tasarımına bağlıdır. Daha küçük bir delik daha ince lifler üretebilse de verim oranını düşürür.

Elyaf üretimi için genel olarak 30psi (1psi = 6,894757 kPa) yüksek hava basıncı gereklidir. Aksi takdirde yüzey geriliminin üstesinden gelmek için yeterli itici gücü sağlayamayacaktır. Hava basıncı çalışma aralığının 30-90psi arasında olduğu bildirilmektedir. Elyaf oluşumu ayrıca çalışma mesafesinden etkilenir ancak elyaf çapı üzerinde düşük bir etkiye sahiptir. Liflerin toplanmadan önce kuruması için gereken mesafe minimum çalışma mesafesi olarak adlandırılır ve atılan liflerin aşırı kaybını önleyen mesafe maksimum çalışma mesafesi olarak kabul edilir.

Elyaf oluşumu ayrıca çalışma mesafesinden etkilenir ancak elyaf çapı üzerinde düşük bir etkiye sahiptir. Liflerin toplanmadan önce kuruması için gereken mesafe minimum çalışma mesafesi olarak adlandırılır ve atılan liflerin aşırı kaybını önleyen mesafe maksimum çalışma mesafesi olarak kabul edilir.

Daha yüksek bir çalışma mesafesinde lifin daha fazla gerilmesi ve çözücünün daha iyi dağılması elde edilir. Sıcaklık, bir ısıtma ortamı ile bir eğirme hattı düzenlendiğinde SBS nanoliflerinin kurumasını ve eğilmesini iyileştirir.

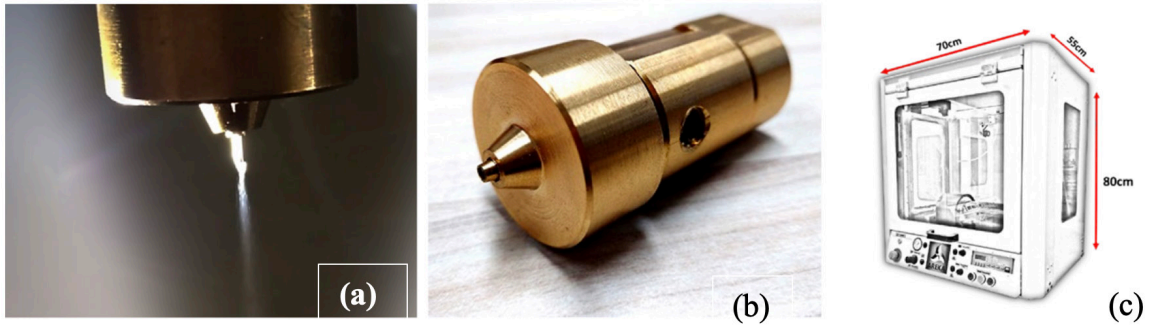
Polimer karıştırma, işlem kabiliyetini geliştirir ve polimer ayrışma oranlarını ayarlamak için kullanılabilir. Daha fazla araştırma, polimerin özelliklerine ve nihai ürün gereksinimlerine dayalı olarak nano yüzeyleri imal etmek için SBS sisteminin proses parametrelerini optimize etmeye odaklanmalıdır.



Şekil III.9 Hava Üflemeyle Eğirme makinesi [55]

3.2.9.3 Hava Üflemeyle Eğirme (Solution/Air Blowing Spining) Makinesinin Özellikleri

Areka Firması'nın ürettiği AeroSpinners makinesinin P1.0 isimli pilot ölçekli üretim makinesinde hava üflemeyle eğirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Toplayıcı ile nozul arası mesafesi uzaklığı maksimum 32 cm'dir. Toplayıcı silindir şeklinde olup 30x35 cm olan numuneler pilot ölçekli olarak üretilebilmektedir. [55]



Şekil III.10 Nozul Başlığının Gösterimi (A) Ve (B), Hava Üflemeyle Eğirme Makinesinin Boyutları (c) [55]

3.2.9.4 Hava Üfleme Metodunun (Solution Blowing) Avantajları

SBS'nin, öncelikle mümkün olan en kısa sürede en fazla nanolifi üretme kapasitesi nedeniyle, nanoliflerin geliştirilmesi için kullanılan yeni teknolojiler arasında olgunlaşmakta olduğu düşünülmektedir [23].

Elektronik ve tıp gibi çeşitli alanlarda gelecekte minyatür uygulamalarla, nano yapıları malzeme pazarı katlanarak büyüyebilir. Bu nedenle, nano materyalleri ticari olarak kullanılabilir hale getirmek için hızlı çıktı oranları gereklidir.

SBS'nin karakteristik özelliği olarak, yeni uygulamalarda dokunmamış elyafı malzemelerin etkinliğini araştırılmaktadır. SBS, elektro-çekim sistemi gibi büyük ölçekli imalata potansiyel uygulamasını kolaylaştıran, endüstriyel üretim sistemlerinde kullanılanlara benzer süreçler kullanır. Örneğin, sırasıyla bir eriyik eğirme veya kuru eğirme sisteminde bir düzeden ekstrüzyondan sonra elyaflardan solventi uzaklaştırmak için soğutma veya buharlaştırma için gaz kullanılır.

SBS, polimer solüsyonunu ekstrüde etmek ve polimer lifleri üretmek için tek bir adımdan oluşan basitleştirilmiş bir işlemle sonuçlanan çözücü buharlaşmasını başlatmak için basınçlı gaz kullanır. Esnekliği ve uyumlu lifleri doğrudan iletme yeteneği nedeniyle fonksiyonel polimer nano lif kaplamalar, dokunmamış tekstiller ve esneyebilir/giyilebilir elektroniklerin üretimi ile ilgili olarak araştırılmıştır. Bu araştırmalar, SBS'nin yüksek hassasiyetli, etkili ve dayanıklı lifli malzemeler üretme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir.

Hava üfleme yöntemiyle elde edilen fiber yüzeyleri ayrıca kataliz uygulamasında yardımcı olan üç boyutlu kıvrımlı ve gevşek lifli morfolojilere sahip olduğu belirtilmelidir [58].

Hava üfleme yöntemiyle (SBS), mikron altı/nano boyutlu liflerin üretimi sırasında elektro-çekim yönteminde karşılaşılan sınırlamalarının üstesinden gelebilecek alternatif bir tekniktir. SBS'nin değeri hem elektriksel olarak iletken hem de yalıtkan sistemlere uygulanabilmesi ve fiber işlemeyi başlatmak için bir elektrik alanı ve iletken toplayıcıların uygulanmasına ihtiyaç duymamasıdır. Çözücü ve polimer olarak iletken bir çözelti hazırlanmasına gerek duyulmamaktadır.

SBS'nin daha yüksek hızı ve karakteristik kuvvetleri, elektro-çekim ile karşılaştırıldığında liflerin daha fazla kristalleşmesine katkıda bulunarak zincir oryantasyonunu desteklemektedir. SBS sistemi, elektro-çekim sistemiyle kıyaslandığında daha az parametreye ve işlem gereksinimine sahiptir. Elektro-çekim sisteminde yüksek voltajlı elektrik akımına ihtiyaç duyulduğundan SBS sistemi daha güvenli çalışma ortamı sağlamaktadır. Hava üfleme yönteminde polimerin toplayıcıya iletilmesinde yüksek basınçlı hava kullanıldığından polimerin ısı bozulması önlenmektedir.

SBS sisteminin avantajlarından biri yüksek eğirme verimliliğidir. Gao ve diğerleri yaptığı çalışmada hava üflemeli eğirmenin verimliliği tek iğneli geleneksel elektro-çekim cihazına göre 5-8 kat daha yüksektir. SBS sistemi, elektro-çekim ile üretilen liflerle aynı boyut aralığında lifler üretir, bu nedenle ticari olarak büyütülme potansiyeli daha yüksektir. SBS üretim tekniğinde elektriksel iletkenliğin lif çapı üzerinde çok az etkiye sahip olmasından dolayı zararlı/zehirli flor esaslı kimyasal çözücü kullanılmasına gerek duyulmamaktadır. Daha çevreci yaklaşımli bir üretim metodudur.

Areka Firması'na göre, tek nozullu bir SBS sistemi 300 L/min basınçlı hava ve 1,5 kWh (yaklaşık) güce ihtiyaç duyarken, elektro-çekim ile 200-500 kWh güç gerektiriyor. Portatif kompresör yerine merkezi kompresör kullanılması ile SBS sistemi için gerekli güç seviyesinin 0,1 kWh düşürüleceği de söylenmektedir [25]. Kompresörün enerji verimliliği, basınçlı havanın maliyeti önemli olduğundan, SBS sisteminin güç tüketiminde önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, SBS'nin üretkenliği elektro-çekime göre 30 kat daha yüksek olduğundan, SBS sisteminin üretim birimi başına enerji tüketim oranı elektro-çekime göre daha düşük olacaktır.

3.2.9.5 Hava Üfleme Metodunun (Solution Blowing) Dezavantajları

SBS metoduyla üretilen nanofiber yüzeylerde daha büyük fiber çapı ve daha fazla boncuklanma yapısı oluşumu görülmektedir. Elyaf morfolojisi, hava üflemeli eğirme yöntemi için zayıfken, elektro-çekim işleminde elde edilen nano lifli malzemenin gözeneklilik ve lif oryantasyonu açısından optimize edilmiş, elyaf morfolojisi sağlamaktadır.

Ancak, eğirme sisteminin eksikliklerini gidermek için SBS sisteminde birtakım iyileştirmeler yapılmaktadır. Örneğin, Zheng ve diğerleri hava germe ve elektrostatik kuvvetleri birleştirerek yüksek dereceli, ultra ince nano lifler üretmek için yeni bir silindirik elektrot destekli üfleme çözümü (cylindrical-electrode-assisted blowing solution (CSBS)) tekniği geliştirdi. PEO nanofiber yüzeyler kabul edilebilir kalitede CSBS kullanılarak başarıyla üretildi. Geleneksel SBS'ye kıyasla CSBS liflerinin çapındaki standart sapma 21%, ortalama lif çapı ise 6,17% oranında azaldı. Başka bir deyişle, CSBS lifleri daha büyük bir homojenliğe ve daha yüksek bir inceliğe sahipti [27].

Ticari ölçekli bir üretim için SBS metodu şu an ki üretim parametreleri ve makine ekipmanları açısından halen araştırma aşamasında olup deneysel çalışmalar için uygunluğu bulunmaktadır [28].

BÖLÜM IV

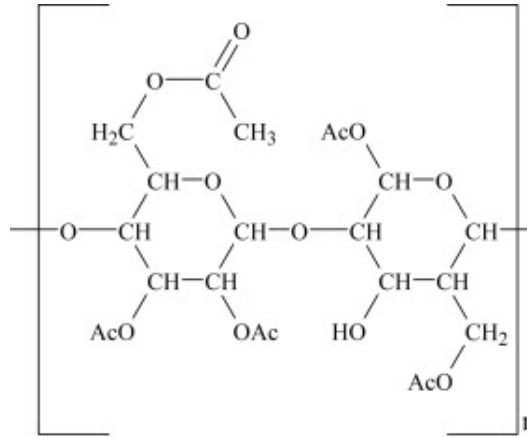
4. MATERİYAL METOT

4.1 MATERİYAL

Bu tez çalışmasında selüloz asetat (CA) ve poliüretan (PU) polimerleri hava ile üfleme yöntemiyle nanolif üretimi esnasında kullanılmıştır. Nano lif üretimi dokusuz tekstil yüzeyi üzerine kaplanmıştır. Dokusuz tekstil yüzeyi olarak spunbond yöntemiyle üretilmiş olan 40gram/m² gramajına sahip kumaş Nonwovens Şirketinden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan PU, Tg 35°C olan şekil hafızalı polimer malzeme (MM3520), granül formda 20 kg bir paket halinde (Diaplex, Tokyo, Japonya) temin edilmiştir. CA Sigma Aldrich firmasından 30.000 M_A kütleli olacak şekilde temin edilmiştir. Asetik asit (AA) ve Tetrahirofuran (THF) Merck firmasından, Dimetilformamid (DMF) Isolab firmasından temin edilmiştir.

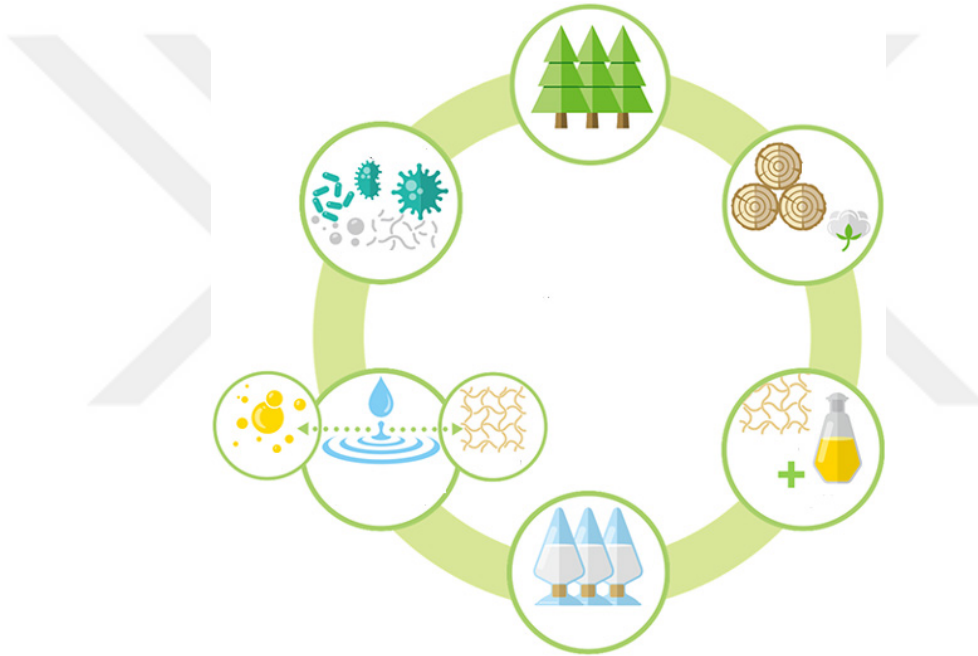
4.1.1 Selüloz Asetat (CA)

CA, selülozun esterleşme tepkimesiyle elde edilen, en çok kullanılan selüloz türlerindendir. Suda çözünmeyen yapıdaki CA sahip olduğu çok iyi su tutma özelliği nedeniyle birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Son zamanlarda fiber yapısı ve mikrokapsülasyon ile elde edilen biyoaktif bileşen arasındaki etkileşimi artırma kabiliyeti nedeniyle elektro-çekim süreçlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Aseton, DMAC, DMF, AA çözücülerinin tek başına veya karışımlarının kullanılmasıyla çözdürülen CA çözeltilerinin elektro-çekim için uygunluğu çeşitli çalışmalarda bulunmaktadır [21].



Şekil IV.1 Selüloz Asetat Kimyasal Formülü

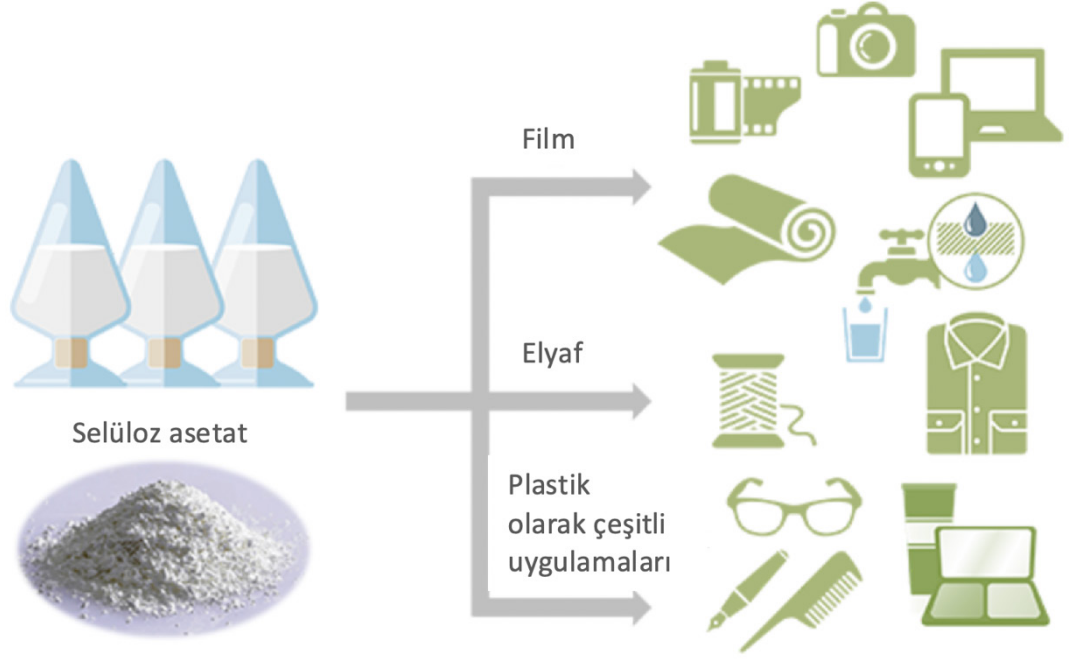
Selüloz, doğada en bol bulunan polimer olarak kabul edilir, lignoselülozik bitkilerde yaygın olarak bulunabilir. Doğal olarak biyopolimer, selüloz mekanik dayanıklılık, kimyasal direnç, termal kararlılık, biyoyumluluk, biyo-bozunur vb. gibi mükemmel fizikokimyasal özellikler sunar. Yukarıdaki avantajlara dayanarak selüloz, biyomedikal uygulamalar, akıllı elektronikler, petrol sahası uygulamaları vb. gibi çeşitli uygulamalarda umut verici bir aday olarak görülmüştür. Bununla birlikte, bozulmamış selülozun, PM kontrolü için nano elyaflara dönüştürülmesinde zorluk teşkil eden suda veya yaygın organik çözücülerde çözünmez olması gibi dezavantajları da vardır. Son zamanlarda, selüloz türevi hava kirliliği kontrolü alanında büyük ilgi gördü. Selülozun esteri olarak, selüloz asetat (CA) en kararlı selüloz türevlerinden biridir ve elektro-çekimle nanolifler şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, geliştirilmiş CA elektro-çekim yönteminde elyaf ve boncukların yaygın olarak bulunması, termal ve mekanik özelliklerin tehlikeye atılmasına neden olabilir [35].



Şekil IV.2 Selüloz Asetatın Yaşam Döngüsü [85]

Almeida ve diğerleri [36] elektro-çekim CA nanoliflerinin tek biçimliliğini düzenlemek için boncukları azaltmak için elektro-çekim CA öncü çözeltisine setilpiridinyum bromürün (CPB) katyonik yüzey aktif maddesini kattı. Ayrıca, CPB eklenmesi nanofiber çapını da azaltabilir. Bitki bazlı selüloz dışında, bakteriyel selüloz (BC) da bir tür polisakkarit selülozdur. Biyoyumluluk, esneklik, yüksek hidrofilik özelliği nedeniyle BC, gıda endüstrisi, biyomedikal alan vb. uygulamalarda kullanılabilir [37]. Sun ve diğerleri [78], hava filtrasyonu için BC zarını işlevsel hale getirmek için öncü birim olarak N-asetil-D-glukozamin kullanmışlardır. Yerinde biyosentez işleminden sonra, işlevsel BC filtresi, küçük parçacıklar ve lif arasında güçlü yapışmayı sağlayabilen yüksek dipol momenti ve mükemmel 3D yapı sergiledi.

Bu nedenle, bakteriyel selüloz bazlı filtrenin mükemmel PM giderme performansı, onu kirli hava kontrolünde de etkili kılar.



Şekil IV.3 Selüloz Asetatın Dönüştürülebileceği Ürün Dağılımları [85]

Polimerin moleküler ağırlığı (M_A), konsantrasyon etkisine benzer şekilde nanolif üretimine etki etmektedir. Fiber çapı M_A ile doğru orantılı artmaktadır. Uygun M_A sahip polimerlerde tek düze fiberler elde edilebilirken, yüksek M_A şerit morfolojisine sahip yapılar oluşabilmektedir [22].

4.1.2 Poliüretan (PU)

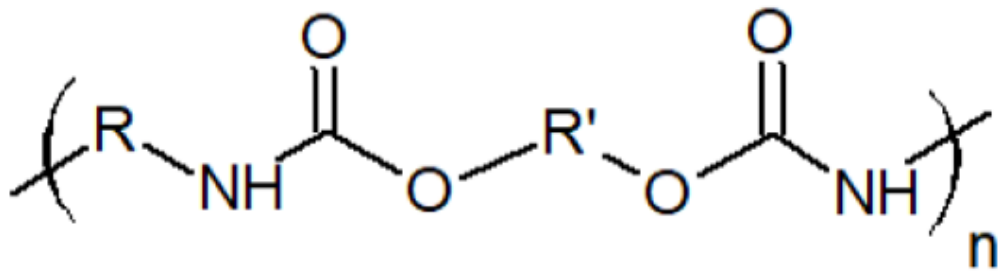
Poliüretanlar, poliizosiyanat ve hidroksil içeren bileşiklerle reaksiyonundan oluşur. İstenilen özellikler, izosiyanat ve poliollerin türü veya izosiyanatların ve poliollerin kombinasyonu seçilerek uygun hale getirilebilir. Güçlü moleküller arası güçlü bağlar ve iyi biyoyumluluklarından dolayı poliüretanları elastomerler, köpükler ve tıbbi uygulamalar dahil olmak üzere yapıştırıcılar ve kaplamalardaki çeşitli uygulamalar için faydalı kılmaktadır.

Bir poliüretan elastomerinin özelliklerini belirleyen faktörler şunlardır: poliölün yapısı, diizosiyanatın türü, zincir genişleticinin tipi, NCO/OH molar oranı, yumuşak segment konsantrasyonu, poliöl ve dolgu maddesinin moleküler ağırlığı. Doğrusal zincir yapısına sahip polimerler iyi darbe dayanımına, iyi fiziksel özelliklere ve

mükemmel işlenebilirliğe sahiptir, ancak sınırlı termal kararlılığa sahiptir. Öte yandan, termoset polimer olan PU daha yüksek termal stabiliteye sahiptir, ancak bazen daha düşük darbe dayanımına sahiptir. Parçalanabilir ve biyouyumlu alifatik PU, eriyik elektro-çekim yoluyla yapı nanofiber matlara dönüştürülebilir. Sıklıkla biyomedikal uygulamalarda kullanılan PU polimeri ayrıca, PU nanolif filtreler, 3 boyutlu partikül filtrasyon modellemesine dayalı elektro-çekim işlemi ile hazırlanmış ve filtrasyon verimliliği için bazı teorik tahminler elde edilmiştir [73,74].

Termoplastik poliüretan (TPU), biyouyumlu, elastik ve mekanik özelliklerinin iyi olması sebebiyle nanolif yapısı üretimi için seçilmiştir [66]. Termoplastik Poliüretan (TPU), uygulama sıcaklıklarında istenen elastomerik özellikleri ve termoplastik işlenebilirliği birleştiren termoplastik elastomerler sınıfına aittir. Özellikleri, sert ve yumuşak segmentlerden oluşan blok kopolimer zincirindeki molekül içi ve moleküller arası etkileşimlere dayanır. Farklı yumuşak sert blok oranları yaratma olasılığı, onu işlenebilir tekstil malzemesi haline getirir ve klasik homopolimerlere göre ana avantajıdır [58]. Sonuç olarak, uygulama yelpazesi örneğin biyomedikal ürünleri, filtrasyonu, mobilyaları, inşaat malzemelerini, izolasyonu ve ayakkabıları içerir ve poliüretan ürünlerini dünya çapında beşinci en büyük polimer pazarı haline getirir [57,58]. TPU polimerlerinin pahalı olması nedeniyle, üretim atıkları gibi tüketici sonrası atıkların geri dönüştürülmesi büyük ilgi görmektedir [58].

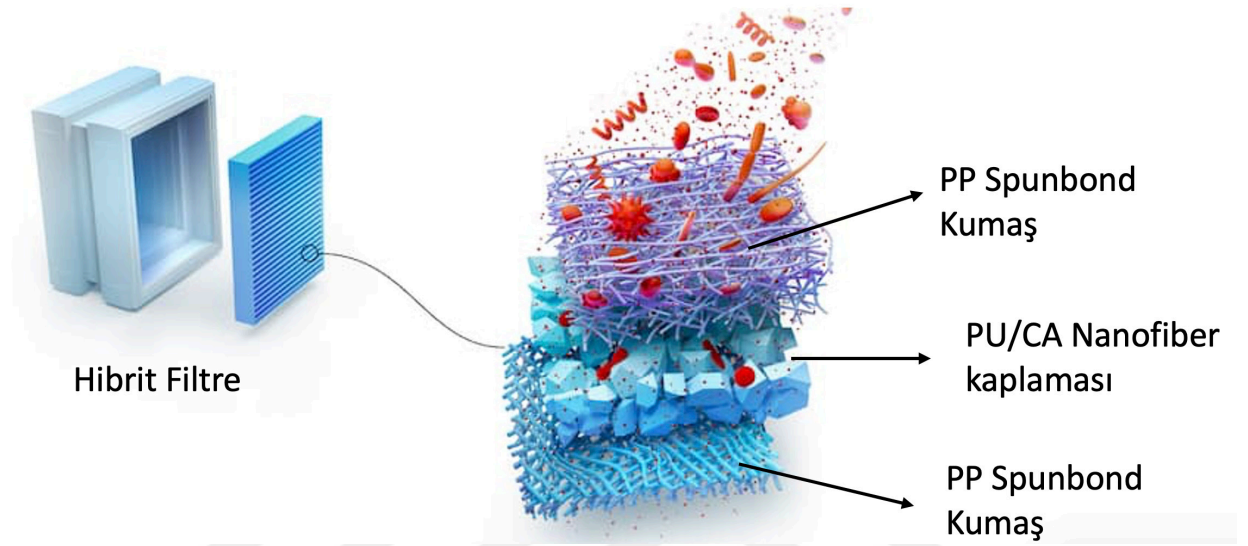
Biyouyumlu ve biyolojik olarak parçalanabilen bir polimer türü olan PU, biyomedikal ve çevresel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek derecede bükülebilirliği nedeniyle PU, nano elyafların geliştirilmesi için popüler bir hava üflemeyle çekim (SBS) malzemesi olarak kabul edilmiştir [35].



Şekil IV.4 PU Kimyasal Formülü

4.2 METOT

Bu çalışmada 5 adet PP spunbond kumaş üzerine hava üflemeyle eğirme yöntemiyle sırasıyla 100 PU, 80 PU, 70 PU, 60 PU, 100CA isimlendirilmiş 5 adet nano yüzey kaplama üretimleri yapılmıştır. Tablo IV.1.'de çözelti oranları verilmiştir.



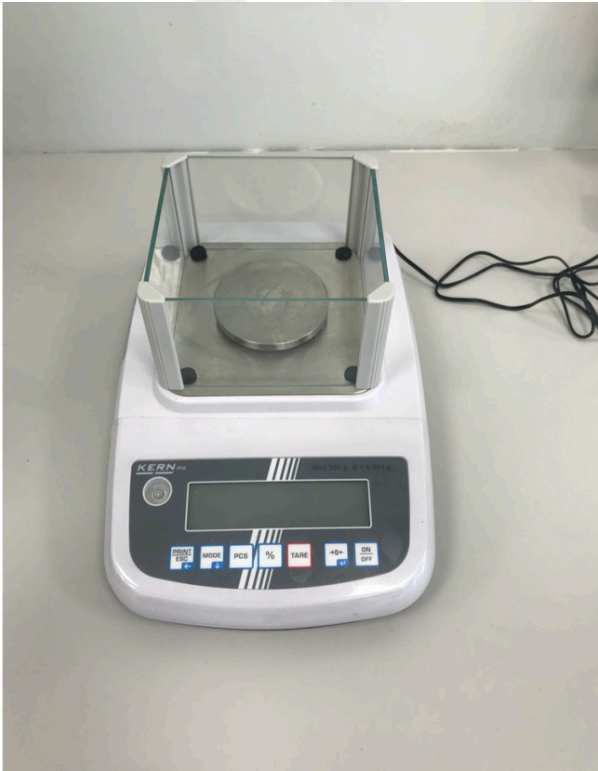
Şekil IV.5 Hibrit Filtre Yapıldıktan Sonraki Son Ürünün İllüstrasyonu

Tablo IV.1 Çözelti Oranları

Çözeltilerin isimleri	PU% Oranı	CA % Oranı	Üretim Durumu
100PU	100% PU	-	Üretildi
90PU	90% PU	10% CA	Üretildi
80PU	80% PU	20% CA	Üretildi
70PU	70% PU	30% CA	Üretilmedi
60PU	60% PU	40% CA	Üretilmedi
100 CA	-	100% CA	Üretilmedi

4.2.1 PU ve CA çözeltilerinin hava üfleme metodu için hazırlanması

Çözelti 2 aşamada hazırlanmıştır. İlk aşamada PU ve CA ayrı ayrı çözündürülmüştür. 10% (v/v) PU, THF/DMF (50/50 oranında) içerisinde çözündürülmüştür. 9% (w/v) CA çözeltisi ayrı olarak AA içerisinde oda sıcaklığında de 3 saat karıştırılarak hazırlanmıştır. İkinci aşamada çözünen PVA ve CA çözeltileri 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 0/100 (v/v) oranlarında birleştirilerek oda sıcaklığında 30 dakika karıştırılmıştır. 70PU,60PU ve 100CA karışımları üretilmemiştir. 70PU ve 60PU Karışımlar hazırlandıktan sonra şırıngaya aktarılma aşamasında çözeltilerde donma yaşanmıştır. PU ve CA birbiriyle reaksiyona girerek polimerleşmiştir. CA polimeri hazırlanmış ancak üretim denemesi sonucunda kumaş üzerinde nano lif bulunamamıştır [49].



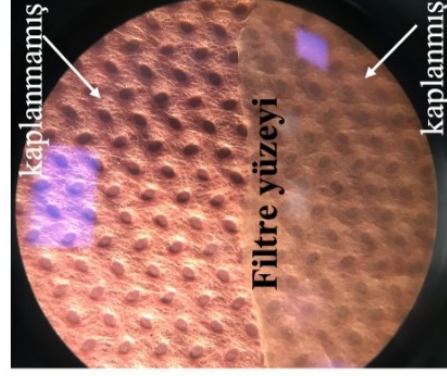
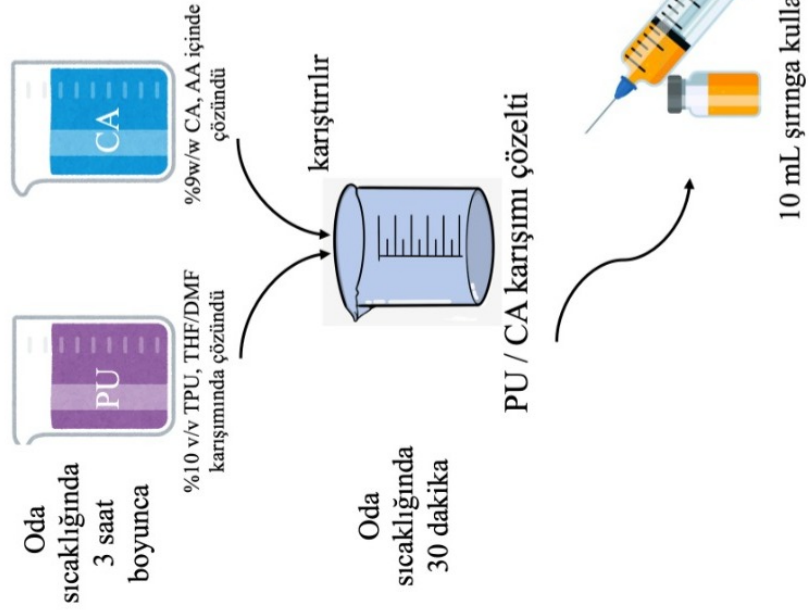
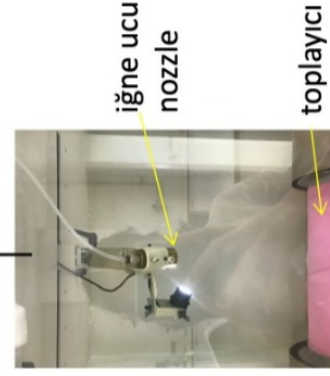
Şekil IV.6. Kern Marka Tartı



Şekil IV.7. ISOLAB Marka Manyetik Karıştırıcı

- 30 cm toplayıcı iğne ucu mesafesi
- 1.5 mL/saat akış hızı
- 1.5 Bar basınç
- 100 RPM dönüş hızı
- 1 saat üretim süresi

Hava Üflemeyle Eğirme Makinesi



Şekil IV.8. Hava Üflemeyle Eğirme Metodunun Döngüsü

4.2.2 Makinenin parametreleri

Tablo VI.2 Makine Parametreleri

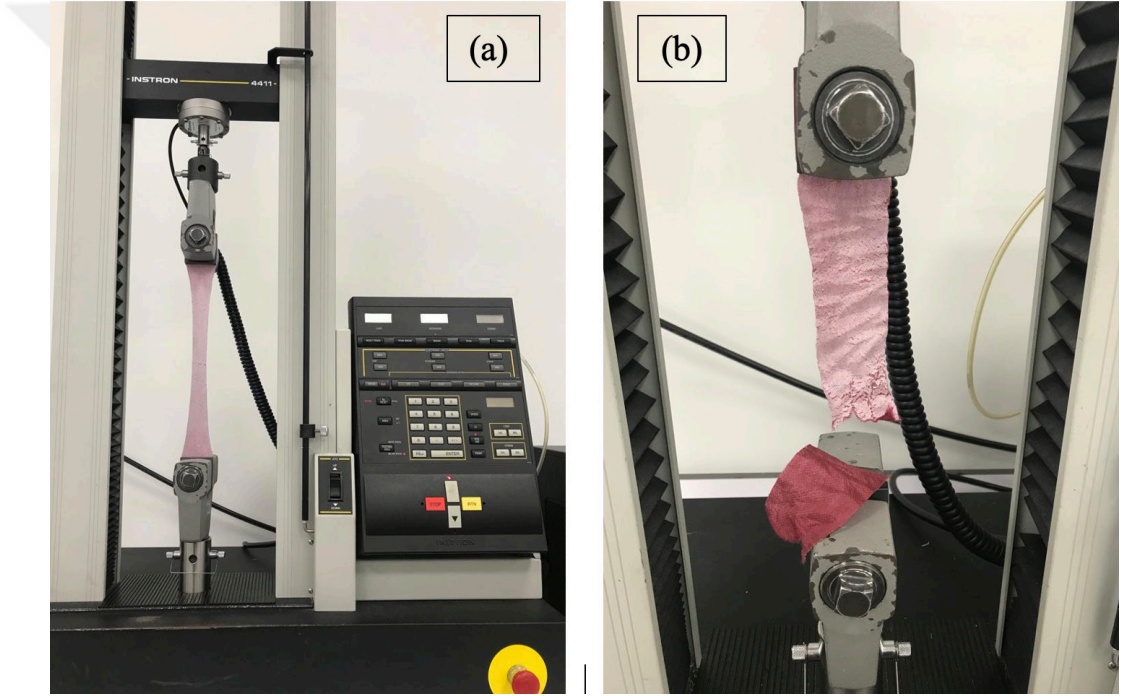
Basınç	0-12 bar / ppm
Toplayıcı İğne Ucu Arasındaki Mesafe	10-30 cm aralığında
Akış Hızı	0.001-9.999 ml/saat
Toplayıcının Dönüş Hızı	0-100 RPM

BÖLÜM V

5. SONUÇ

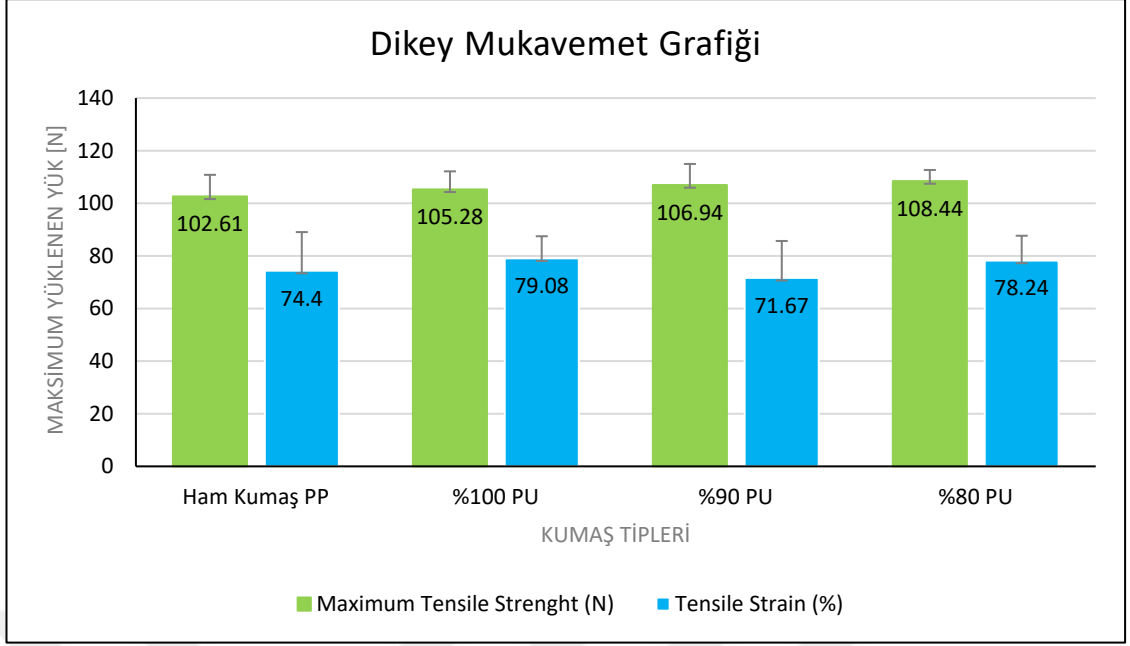
5.1 MUKAVEMET TESTİ

TS EN 20-9073-3 standardına göre Instron 4411 marka Universal test cihazı ile mukavemet testi yapılmıştır. Testler, dokusuz tekstil yüzeyi yapının 20x5cm (boy x en) ölçülerinde kesilmesi ve piston hızı 100mm/dakika ayarlanması ile yapılmıştır. Sonuçlar MPa olarak okunmuştur.



Şekil V.1 Mukavemet Testi (a), Mukavemet Testi Sonucunda Kopma Gerçekleşen Kumaş (b)

Grafik V.1. göre kaplama yapılan üretimlerle elde edilen nano yüzeylerin spunbond kumaş mukavemetine etkisi incelendiğinde kaplanmamış kumaşın mukavemeti 102.61 N olarak ölçülmüştür. Yapıdaki CA oranı arttıkça mukavemette artış bulunmuştur. Kaplanmamış kumaşla, 80% PU kaplanmış kumaş arasında 5,68% oranında mukavemet artışı ölçülmüştür.



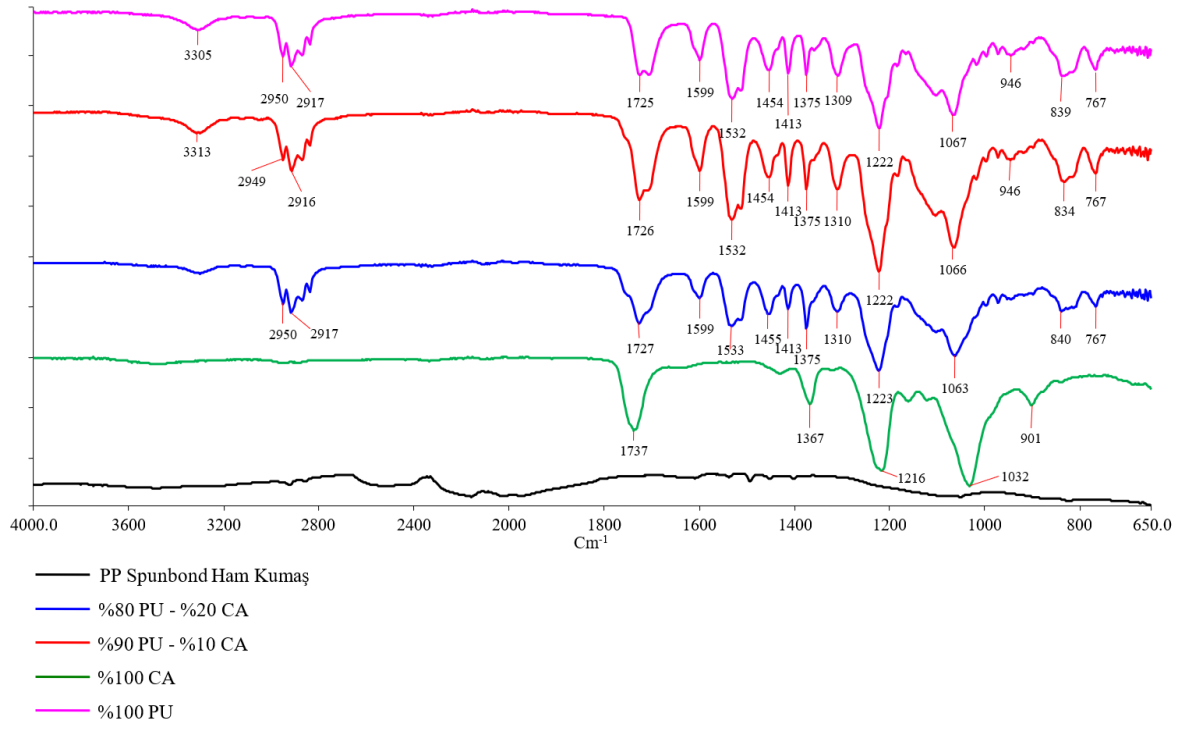
Şekil V.2 Mukavemet Grafiği

5.2 FTIR ANALİZİ

PU karakteristik adsorpsiyon pikleri 1528 cm^{-1} (benzen), 1217 cm^{-1} (C-O), 1532 cm^{-1} , 3313 cm^{-1} -OH esnemesi ve 1217 cm^{-1} 'deki pikleri dahil olmak üzere karışımın karakteristik bağıyla örtüşmüştür. 2950 cm^{-1} de C-H esnemesi, $1727\text{--}1725\text{ cm}^{-1}$ C=O esnemesi bulunmuştur. PU/CA karışımında PU oranı arttıkça C=O bağının şiddeti artmıştır. PU nanofiberin yüzeyi hidrofobik fonksiyonel gruplara sahiptir ve fiber membranın yüzeyi pürüzsüz ve yoğundur. Böylece hazırlanan şeffaf hava filtresinin belirli bir hidrofobik işlevi vardır [68-69]. PU/CA karışım nano yüzeylerinin FTIR ölçümlerinde benzen ve -OH grupları PU karakteristik bağları olarak saptanmıştır. CA için 1737 cm^{-1} 'de (C=O) polimerik zincir üzerindeki asetil grubuna atanabilir, 1367 cm^{-1} (C-CH₃) orta yoğunluk bandı, ester metil grubundaki CH açılmal bozulması ile ilgilidir ve 1216 cm^{-1} 'de (C-O-C) spesifik pikleri bulunmaktadır. Son olarak, sırasıyla C-O ve C-H'ye atanan 1032 cm^{-1} ve 901 cm^{-1} 'de iki bant görünür [70-72].



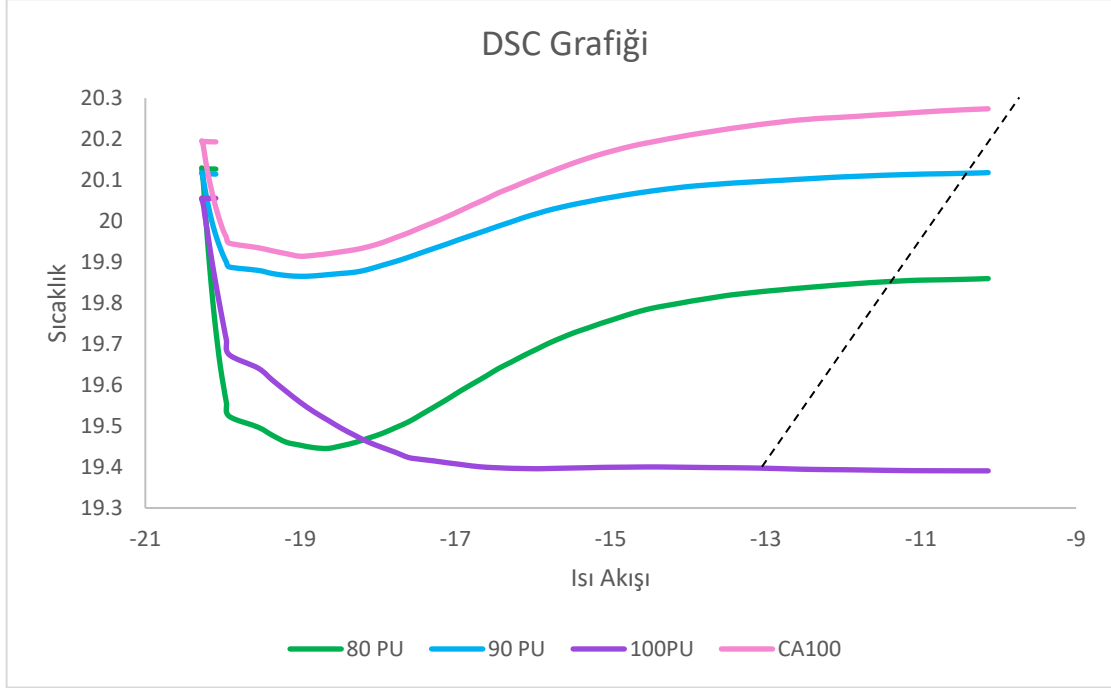
Şekil V.3 Perkin Elmer FTIR Ölçüm Cihazı



Şekil V.4 FT-IR Grafiği

5.3 DSC ANALİZİ

DSC testi Perkin Elmer test cihazında yapılmıştır. -20/250°C aralığında +10°C artış hızında test ölçümü gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri 2,2-2,5 mg aralığında hazırlanmıştır.



Şekil V.5 DSC Grafiği

Polimerlerin fiziksel özellikleri temel olarak camı geçiş sıcaklıkları (Tg) tarafından belirlenir. PU100, PU90, PU80, CA cips numuneleri için Tg değerleri, -13,66°C, -9,41°C, -10,69°C. -12,14°C değerleri elde edilmiştir. edilen numunelerdeki nem içeriğinin buharlaşması nedeniyle 3 numune de PU100, PU90, PU80, CA cips için sırasıyla (Tm) 112,54°C, 69,85°C, 71,36°C, 80,83°C'de endotermik tepe noktaları sergilediği belirlenmiştir.

5.4 KALINLIK ÖLÇÜMÜ

Kalınlık ölçümleri 10 defa tekrarlanarak mm cinsinden değerler okunmuştur. Ortalama ve standart sapma değerleri Tablo V.1’de verilmiştir. Kumaş üzerinde aynı oranda kalınlık ölçülmediğinden hava geçirgenliği değerleri de düzensiz ve birbirinden farklı çıkmıştır.

Tablo VII.1 Kalınlık Ölçümleri Tablosu

	Kaplanmamış Kumaş	100PU	90PU	80PU
1)	0.34	0.32	0.324	0.342
2)	0.298	0.35	0.33	0.277
3)	0.314	0.32	0.303	0.284
4)	0.325	0.32	0.323	0.306
5)	0.329	0.33	0.303	0.322
6)	0.336	0.32	0.321	0.339
7)	0.295	0.30	0.31	0.341
8)	0.298	0.31	0.331	0.316
9)	0.284	0.29	0.34	0.337
10)	0.271	0.32	0.36	0.32
Ortalama	0.309	0.32	0.3245	0.3184
Standart Sapma	0.02328089	0.01591086	0.01739253	0.02335808



Şekil V.6 Kumaş Kalınlık Ölçüm Kumpası

5.5 GRAMAJ ÖLÇÜMÜ

Gramaj 1m^2 kumaşın ağırlığına verilen değerdir. Kaplamalı kumaştan elde edilen gramaj değerleri $1\text{cm}^2 \times 1\text{cm}^2$ kumaşın ağırlığının 10.000 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Nonwovens firmasından kaplanmamış kumaşın gramajı 40 gram/m^2 olarak alınmıştır.

Tablo V.2 Gramaj Ölçümleri tablosu

	100PU	90PU	80PU
Kaplanmış kumaş Gramajı (g)	46.09	44.07	43.75
Kaplanmamış kumaş Gramajı (g)	45.69	43.2	42.82
% Kaplanan kumaş miktarı	0.87%	2.01%	2.17%

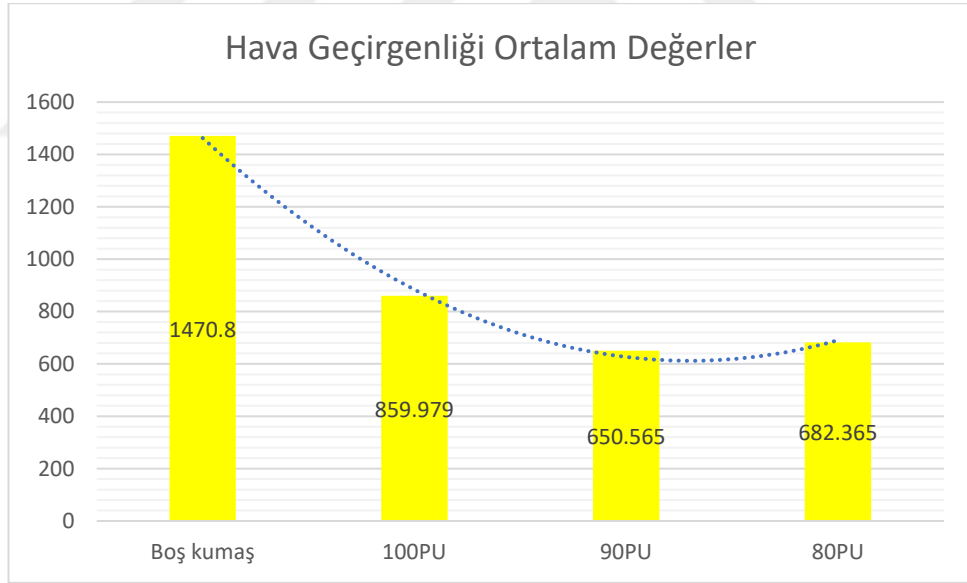
5.6 HAVA GEÇİRGENLİĞİ TESTİ

Hava geçirgenlik testi EN ISO 9237 (Kumaşların hava geçirgenliğinin tayini) standardına göre Prowhite Airtest II test cihazı ile yapılmıştır. Test alanı 20cm^2 , hava basıncı 200 Pa (Pascal) idi. Sonuçlar $\text{l/m}^2.\text{s}$ cinsinden okunmuştur.

Tüm numunelerden onar adet test ölçümü yapılmış ve ortalama değerler grafik V.4'te gösterilmiştir. Hava geçirgenliği aynı kalınlığa, aynı gramaja sahip yani birim alandaki kumaşların karşılaştırılması ile numunelerin lif çapının ya da filtrasyon verimliliğinin özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Birim alandaki lif sayısı ile hava geçirgenliği arasında ters orantı kurulmuştur. Birim alandaki lif sayısı arttıkça hava geçirgenliği değeri düşmüştür. Birim alandaki lif sayısının artması ise üretilen liflerin incilmesi ile mümkün olmaktadır. Sonuç olarak hava geçirgenliği düşük sonuçlanan numunelerin ortalama lif çaplarının daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmıştır. SEM sonuçları ile elde edilen ortalama lif çaplarına bakıldığında hava geçirgenliği ile değerlerin örtüştüğü görülmektedir. 90PU kumaşının en düşük lif çapına sahip olduğu ve hava geçirgenliğinde de en düşük hava geçirgenliği değerine sahip olduğu görülmektedir. Selüloz asetat miktarı arttırıldığında gözenek ve lif çapında artış olduğu test sonuçlarında görülmüştür. Hava geçirgenliği test sonuçlarının ortalaması aşağıdaki grafikte verilmiştir.



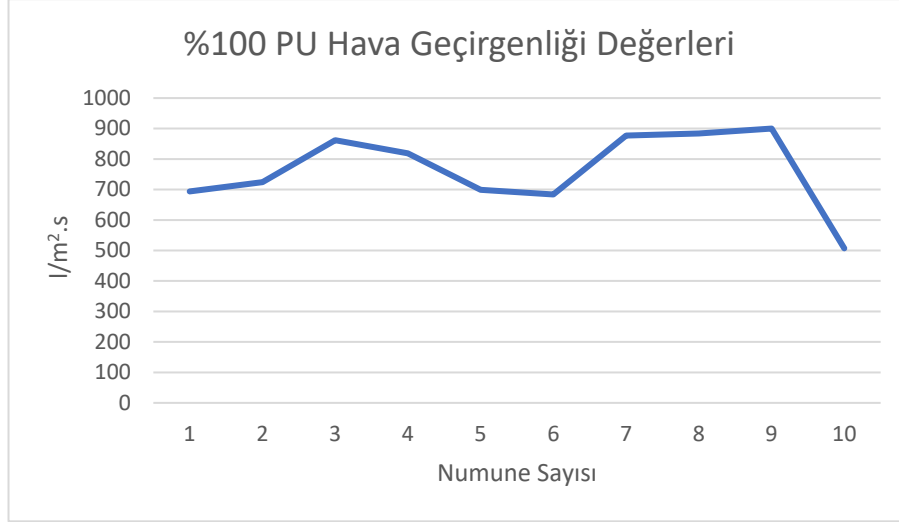
Şekil V.7 Prowhite Airtest II Makinesi



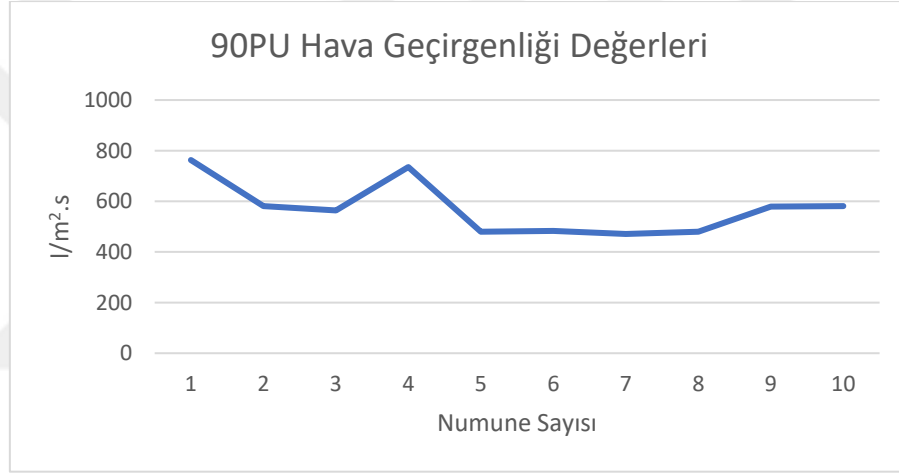
Şekil V.8 Hava Geçirgenliği Ortalama Değer Grafiği

Tablo V.3 100PU, 90PU, 80PU Hava Geçirgenliği Test Ölçümleri

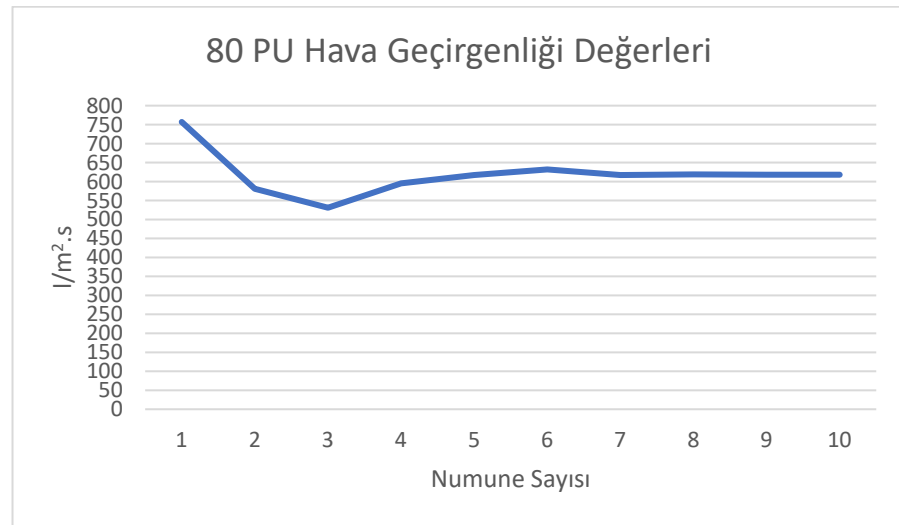
	Hava Geçirgenliği 100% PU	Hava Geçirgenliği 90% PU	Hava Geçirgenliği 80% PU	Basınç	Alan
Numune	694	763	757	200 Pa	20cm ²
Numune	724	581	581	200 Pa	20cm ²
Numune	862	564	531	200 Pa	20cm ²
Numune	819	735	595	200 Pa	20cm ²
Numune	699	480	617	200 Pa	20cm ²
Numune	684	483	632	200 Pa	20cm ²
Numune	877	471	617	200 Pa	20cm ²
Numune	884	480	619	200 Pa	20cm ²
Numune	900	579	618	200 Pa	20cm ²
Numune	507	581	618	200 Pa	20cm ²
Ortalama	765 l/m ² .s	571 l/m ² .s	618.5 l/m ² .s		
Standart sapma	125.3696756	104.548819	56.74944934		



Şekil V.9 100PU Hava Geçirgenliği Değerleri Grafiği



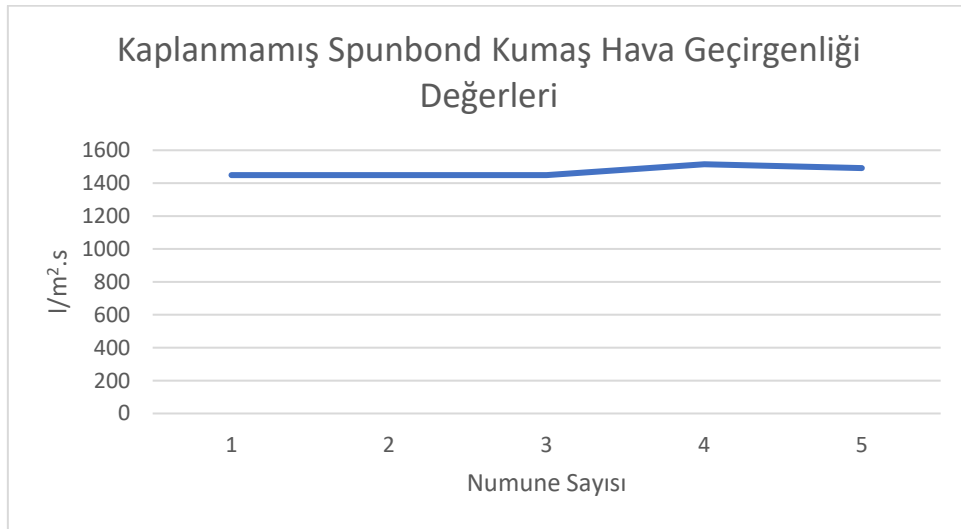
Şekil V.10 90PU Hava Geçirgenliği Değeri Grafiği



Şekil V.11 80PU Hava Geçirgenliği Değeri Grafiği

Tablo V.4 Kaplanmamış Kumaş Hava Geçirgenliği Test Ölçümleri

	Hava Geçirgenliği	Basınç	Alan
Numune kaplanmamış 2 kat Spunbond	1449	200 Pa	20cm ²
Numune kaplanmamış 2 kat Spunbond	1449	200 Pa	20cm ²
Numune kaplanmamış 2 kat Spunbond	1449	200 Pa	20cm ²
Numune kaplanmamış 2 kat Spunbond	1515	200 Pa	20cm ²
Numune kaplanmamış 2 kat Spunbond	1492	200 Pa	20cm ²
Ortalama	1470,8 l/m ² .s		
Standart Sapma	30.93864897		



Şekil V.12 Kaplanmamış Kumaş Hava Geçirgenliği Değerleri Grafiği

5.7 SEM GÖRÜNTÜLERİ

9% w/v CA/ 10% v/v PU konsantrasyonda, 32cm mesafeden ve 1.5 bar basıncıyla hava üfleme yöntemiyle üretilen nanolifli yapıların SEM görüntüleri kullanılarak yapı yüzeyi yorumlanmıştır ve Image J programı ile lif çapları ölçülmüştür.

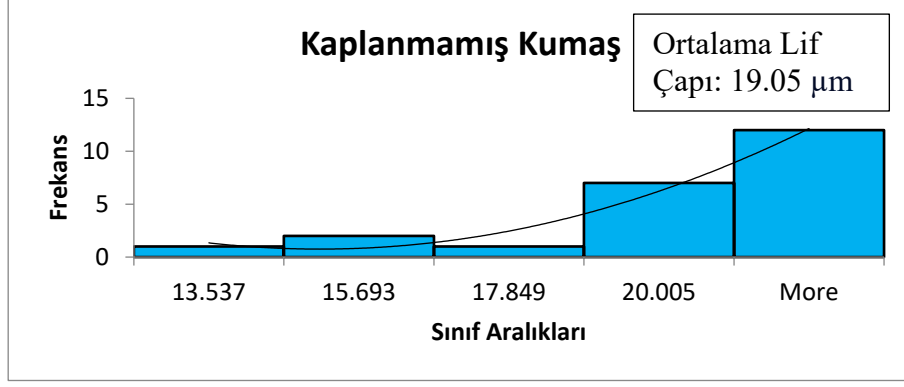
Üretilen liflerin morfolojisi ve çap dağılımı tabloda gösterilmektedir. CA liflerinde farklı boyutlarda boncuklanma bölgeleri olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ağırlıkça 9% w/v CA çözeltisinin düşük viskozitesi olabilmektedir, bu da moleküler zincirler arasında yetersiz karışmaya ve eğirme sırasında kararsız jete yol açabilmektedir. PU polimerinin eklenmesi, karışık çözeltinin moleküler zincirlerin esnekliğini mukavemet testinde görüldüğü üzere arttırmıştır.



Şekil V.13 SEM EVO MA10 Mikroskobu

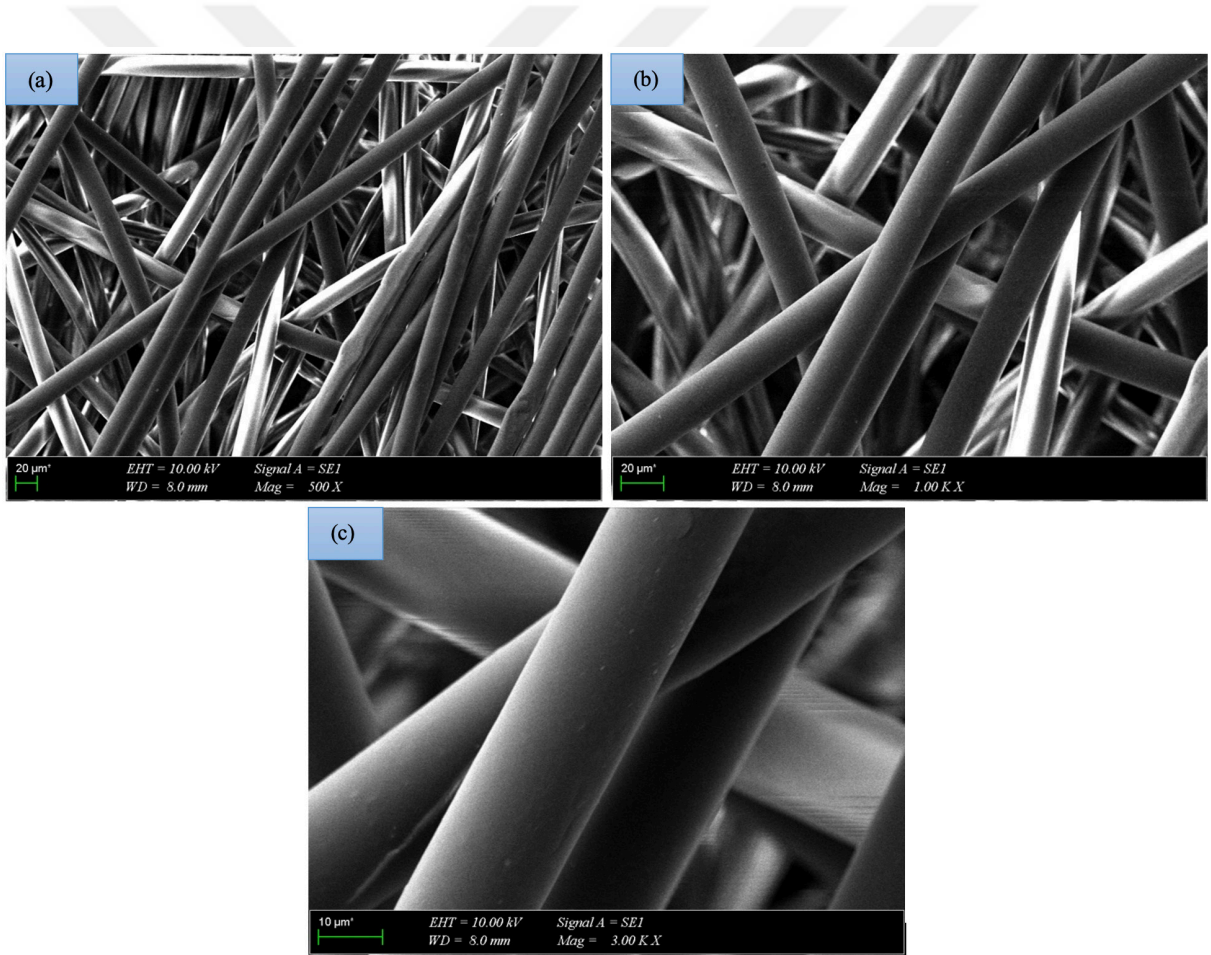
Tablo V.5 SEM Ortalama Lif Çapları

	Kaplanmamış Kumaş	100PU	90PU	80PU
Ortalama Lif Çapı	19.05 μm	0.454 μm	0.343 μm	0.717 μm
Standart Sapma	2.25011333	0.22472081	0.11497285	0.20208147

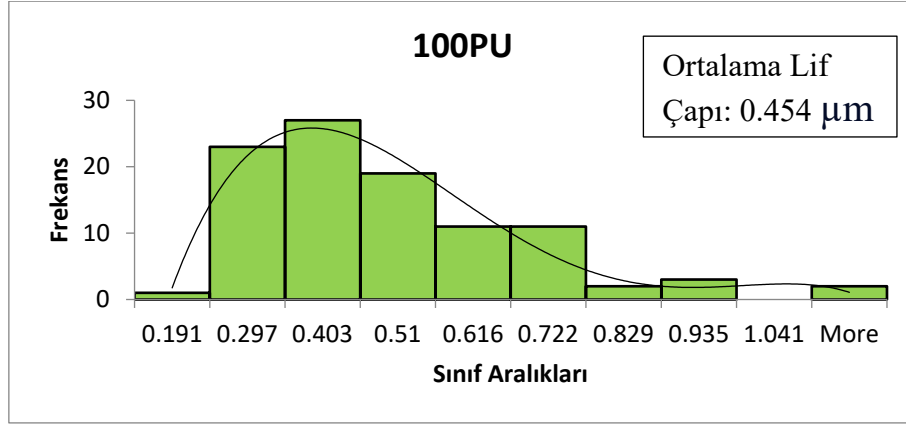


Şekil V.14 Kaplanmamış Spunbond Kumaş Histogram Grafiği

Şekil V.15 gösterilen PP spunbond kumaş için en ince lif çapı 1397 nm en kalın lif çapı 2143nm olarak ölçülmüştür.

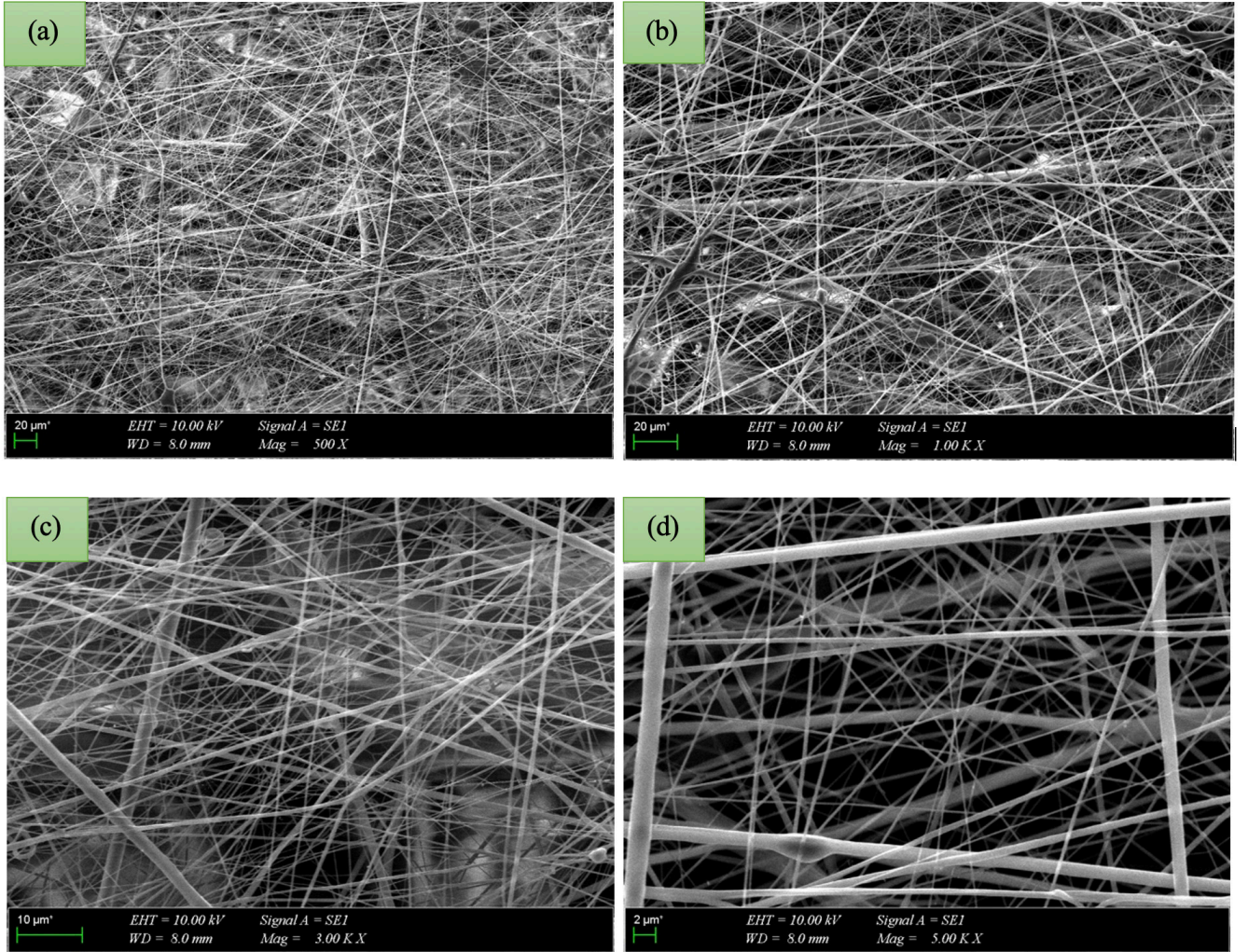


Şekil V.15 Kaplanmamış Spunbond Kumaşın SEM Görüntüleri (a) 500X büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme

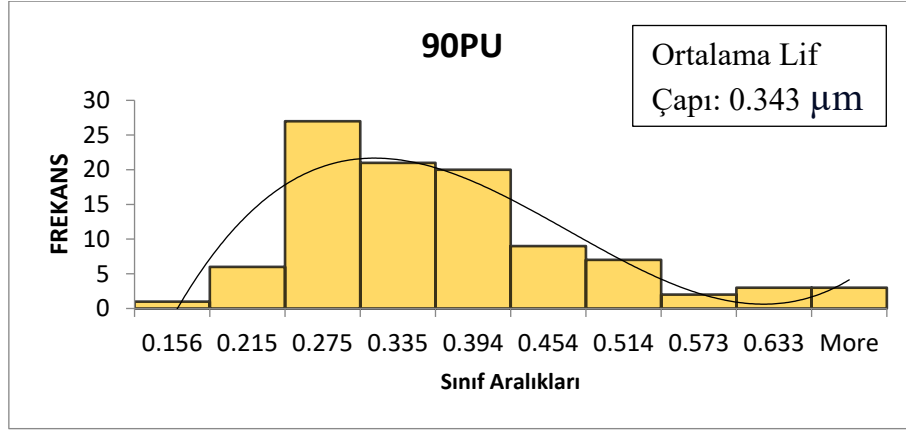


Şekil V.16 100PU Histogram Grafiği

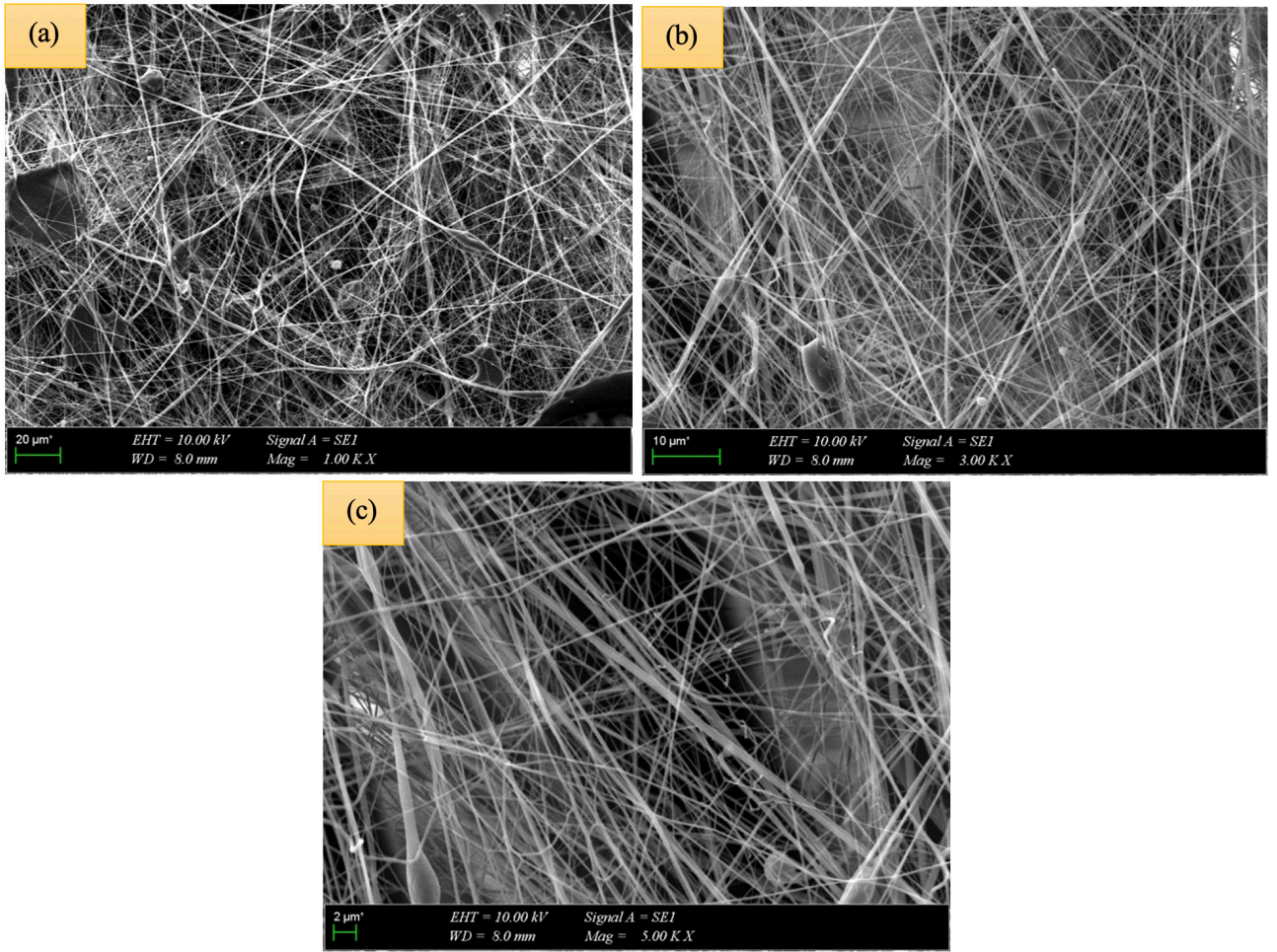
Şekil V.17 gösterilen 100PU çözeltisinden elde edilen nanoliflerde, en ince lif çapı 202 nm en kalın lif çapı 1607nm olarak ölçülmüştür.



Şekil V.17 100PU SEM Görüntüleri (a) 500X Büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme, (d) 5KX Büyütme

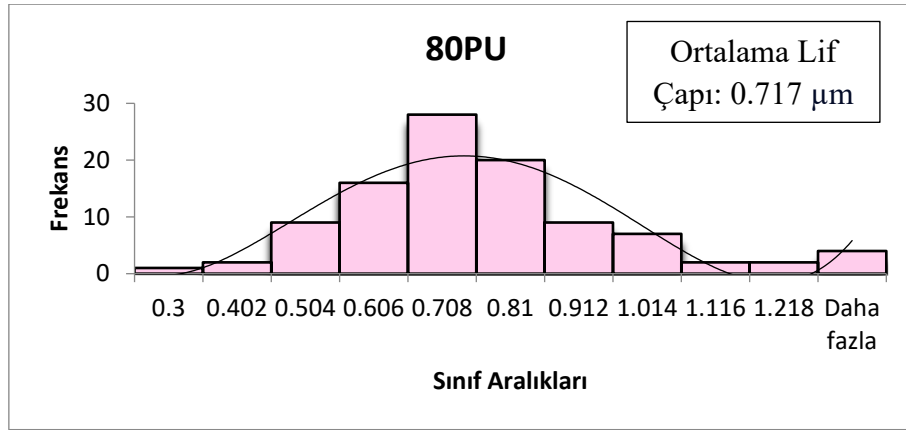


Şekil V.18 90PU Histogram Grafiği



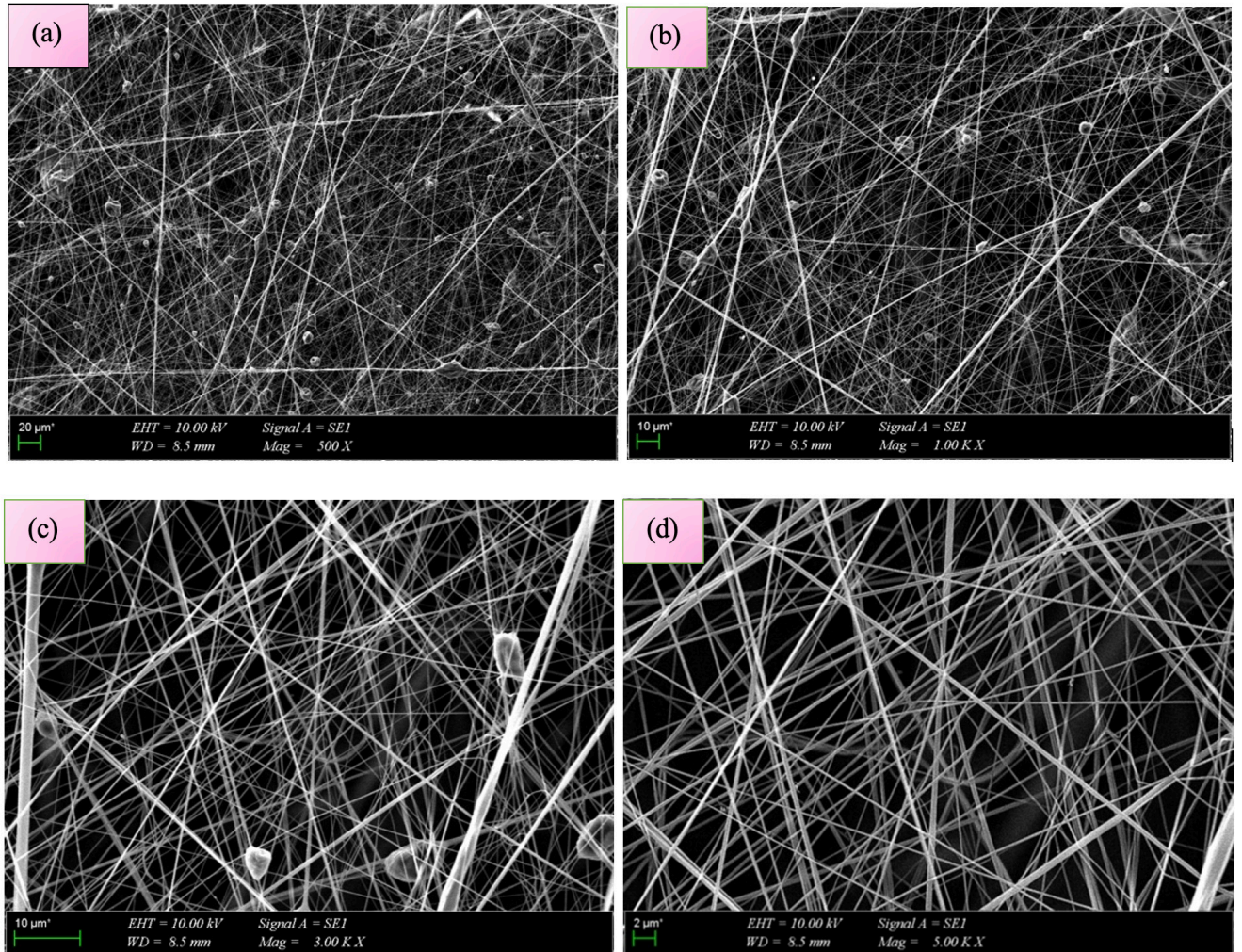
Şekil V.19 90PU SEM Görüntüleri (a) 500X Büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme, (d) 5KX Büyütme

Şekil V.19’de gösterilen, hava üfleme yöntemiyle 1.5 bar basınçta 90PU çözeltisinden elde edilen nanoliflerde, en ince lif çapı 210nm en kalın lif çapı 645nm olarak ölçülmüştür. Yüzey yoğunluğu fazla olan bir yapı ve kesintisiz lif üretimi elde edilmiştir.



Şekil V.20 80PU Histogram Grafiği

Şekil V.21 gösterilen 80PU çözeltisinden elde edilen nanoliflerde, en ince lif çapı 300nm en kalın lif çapı 1237nm olarak ölçülmüştür.



Şekil V.21 80PU SEM Görüntülemeleri (a) 500X Büyütme, (b) 1KX Büyütme, (c) 3KX Büyütme, (d) 5KX Büyütme

5.8 FİLTRASYON TESTİ

Verimlilik ve basınç test sonuçları TSI-8130A makinesinde ölçümleri alınmıştır. Ölçümlerde hava akış hızı 32 litre/dakika sonuçlar elde edilmiştir.

0,4 μm boyutundaki partiküllere karşı ortalama verimliliği 40%'dan küçük olan filtreler, G sınıfı olarak adlandırılır. G sınıfı (G1 – G4) filtrelerin verimlilik değeri “<40%” olarak ifade edilir ve sınıflandırılması toz yüklemeye oranına bağlı ortalama yakalama değerine dayanmaktadır. 0,4 μm boyutundaki partiküllere karşı ortalama verimliliği 40% ile 80% arasında olan filtreler M (M5, M6) sınıfı olarak adlandırılır ve sınıflandırması 0,4 μm ortalama verimine göredir [86].

Tablo V.6 EN ISO 779 Göre Filtre Verimliliği Tablosu

Filtre Sınıfı	ePM ₁	ePM _{2.5}	ePM ₁₀
M5	5-35%	10-40%	40-70%
M6	10-40%	20-50%	60-80%
F7	40-65%	65-75%	80-90%
F8	65-90%	75-95%	90-100%
F9	80-90%	85-95%	90-100%



Şekil V.22 TSI Filtrasyon Testi

0,4 µm boyutundaki partiküllere karşı ortalama verimliliği 80% ve üzeri olan filtreler F (F7-F9) sınıfı olarak adlandırılır ve sınıflandırması eskisinde olduğu gibi 0,4 µm ortalama verime ve test süresince gerçekleşen minimum verime göredir. ISO 16890 standardı, EN 779 standardından farklı olarak 0,3 µm ile 10 µm aralığındaki partikül boyutunu (PM) verimlilik değerlendirmesi için hesaba katar. 0,3-1 µm partikül boyut aralığına kadar ePM₁, 2,5 µm partikül boyut aralığına kadar ePM_{2,5} ve 10 µm partikül boyut aralığına kadar ePM₁₀ verimleri hesaplanmaktadır [86].

Tablo V.7 100PU Filtre Verimliliği Tablosu

100 PU				
	Verim (%)	Basınç (kPa)	Hava Geçirgenliği (l/m ² s 200 Pa)	Filtrasyon Sınıfı
	43.68	0.011	969.63	M
	37.36	0.01	1066.6	M
	51.46	0.016	666.62	F7
	50.25	0.017	627.41	F7
	41.60	0.011	969.63	M
ORTALAMA	44.87	0.013	859.979	M
STANDART SAPMA	5.93	0.00324	198.88	

100PU kumaşı için tablo V.7’de verim, basınç, hava geçirgenliği ve filtrasyon sınıfı verileri verilmiştir. Elde edilen hava geçirgenliği ve verimlilik testlerine bakıldığında filtrasyon sınıfı M sınıfı olarak belirlenmiştir. Kaba hava filtreleri sınıfına giren bu filtre 0,4 µm boyutundaki partiküllere karşı ortalama verimliliği 43% ile 50% arasında olan filtreler EN779 standartına göre M5 sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Tablo V.8 90PU Filtre Verimliliği Tablosu

90 PU				
	Verim (%)	Basınç (kPa)	Hava Geçirgenliği (l/m ² s 200 Pa)	Filtrasyon Sınıfı
	46.74	0.013	820.46	F7
	50.76	0.015	711.06	F7
	53.79	0.02	533.3	F7
	55.21	0.02	533.3	F7
	46.07	0.013	820.46	F7
	63.21	0.022	484.81	F8
ORTALAMA	52.63	0.017	650.56	F7
STANDART SAPMA	6.34	0.0039	152.55	

90PU kumaşı için tablo V.8’de verim, basınç, hava geçirgenliği ve filtrasyon sınıfı verileri verilmiştir. Elde edilen hava geçirgenliği ve verimlilik testlerine bakıldığında filtrasyon sınıfı F7 sınıfı olarak belirlenmiştir. Kaba hava filtreleri sınıfına giren bu filtre 0,4 µm boyutundaki partiküllere karşı ortalama verimliliği 46% ile 63% arasında olan filtreler F7 sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Tablo V.9 80PU Filtre Verimliliği Tablosu

80 PU				
	Verim (%)	Basınç (kPa)	Hava Geçirgenliği (l/m ² s 200 Pa)	Filtrasyon Sınıfı
	62.35	0.018	592.55	F8
	53.76	0.015	711.06	F7
	58.50	0.016	666.62	F8
	65.60	0.018	592.5	F8
	50.68	0.013	820.4	F7
	54.12	0.015	711.06	F7
ORTALAMA	57.50	0.015	682.36	F8
STANDART SAPMA	5.69	0.0019	86.12	

80PU kumaşı için tablo V.9’da verim, basınç, hava geçirgenliği ve filtrasyon sınıfı verileri verilmiştir. Elde edilen hava geçirgenliği ve verimlilik testlerine bakıldığında filtrasyon sınıfı F8 sınıfı olarak belirlenmiştir. Kaba hava filtreleri sınıfına giren bu filtre 0,4 µm boyutundaki partiküllere karşı ortalama verimliliği 54% ile 65% arasında olan filtreler F8 sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Üretilen hibrit filtrelerden, Filtrasyon sınıfı verimliliği ve hava basıncı sonuçlarına göre CA polimerinin, PU polimeriyle katılmasıyla lif kalınlığı artmış ama filtrasyon verimliliği yükselmiştir. Bunun sebebi SEM görüntülerinde 100PU filtresinde boncuklanma sayısının artması ve 80PU filtresinin lif kalınlığı olarak daha dengeye gelen bir lif dağılımı göstermesi olarak yorumlanmıştır. 100PU’nın tek başına olan karışımında filtrasyon verimi 44.88%’ken, 80PU’nun filtrasyon verimi 69% çıkmıştır.

BÖLÜM VI

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hava ile üfleme eğirme, farklı polimerlerden ve ekonomik bir şekilde daha yüksek çıkış hızlarında lif oluşturan bir itici güç olarak yüksek hızlı gaz akışını kullanarak polimer çözeltilerinden mikron altı/nano lifleri eğirmek için elverişli bir yöntemdir. Bu teknik, geleneksel elektro-çekim ve eriterek üfleme tekniklerinin kısıtlamalarının üstesinden gelmek için geliştirilmiştir.

Bu tezin asıl amacı 99.99% verimlilikte hepa filtre üretimi olarak amaçlanmıştır. PU/CA karışımları ile filtre verimliliği en yüksek 80PU numunesinde görülmüştür. PU80 numunesinde ortalama olarak filtre verimliliği 57.5% olarak hesaplanmıştır. 9% w/v CA, 10% v/v PU çözeltilerinin yüzde derişim konsantrasyonlarının artırılarak filtre verimliliğinin artırılması öngörülmektedir. Çözücü olarak AA ve THF/DMF kullanılmıştır. Sonraki çalışmalar için ortak çözücü denemesi ve lif çaplarının azaltılması için elektro-çekim yöntemiyle lif üretimi yapılması önerilmektedir.

Lif çaplarına bakıldığında 90PU numunesinde lif çapı daha az olsa da 80PU numunesinde filtrasyon verimliliğinin arttığı görülmüştür. Kumaş gramajına bakıldığının yüzeye kaplanan nano lif yüzeyin gramajı 80PU numunesinde daha fazladır. Bu durumda hava geçirgenliği ve filtrasyon verimliliğini olumlu yönde etkilemiştir. Sonraki çalışmalar için H sınıfı (Hepa) filtreler için üretim süresi artırılarak kaplama gramajı artışı beklendiğinden filtre sınıfının yükselmesi beklenmektedir.

Bu eğirme sistemindeki bazı önemli konuların ele alınması gerekse de devam eden araştırma faaliyetleri şüphesiz yakın gelecekte SBS teknolojisindeki ilerlemelere olanak tanıyarak solüsyon üfleme eğirme (SBS) proseslerinin ve ürünlerinin ticarileştirilmesine olanak tanıyacaktır. Araştırmacıların eğirme sürecini ve SBS ile eğrilmiş nanolifleri inceleyebilecekleri pek çok alan bulunmaktadır.

BÖLÜM VII

7. ÖNERİ

Bu tez çalışmasında öncelikle PVA/CA karışımı ile hava üfleme metoduyla nanolif üretimi ve kumaş kaplaması yapılmıştır. PVA suda çözündürülmesi sebebiyle oluşan kaplama yüzeyinin SEM görüntülemelerinde lif oluşumu çok az olduğu ve boncuklu (beadli) yapısının fazlaca olduğu görülmüştür. Yapının yüzeyinin ıslak kaldığı mikroskop incelemelerinde su damlacıkları ve çözücü olduğu ve damlacıklarının giderilmesi için kumaş etüvde 2-6-12-24 saat olmak üzere sırasıyla bırakılmıştır. Ancak etüvden çıkartılan kumaşlarda etkili bir değişim gözlenememiştir.

Kullanılan PP spunbond kumaş için önce 15 gram/m², 30 gram/m², 40 gram/m²'lik kumaşlara kaplama yapılmıştır. 15 ve 30 gram/m² olan kumaşların Hepa filtre yapısı için ince olduğu yapılan hava geçirgenliği testleri sonucunda elemesi yapılmıştır. Bu kumaşlardan 40 gram/m²'lik kumaş seçilmiştir. Kaplama süresi olarak da 5, 10, 15, 30, 60 dakikalık sürelerde denemeler yapılmıştır. Hava üfleme yöntemiyle nano lif üretimi ocak ayından mayıs ayına kadar ki sürede yapılmıştır. Ocak ayında soğuk hava ve nemin nano lifli yüzeye etkisi olumsuz yönde olmuş beadli bir yüzey elde edilmiştir. Kış ayına oranla daha sıcak hava da yapılan çalışmada beadlerin azaldığı SEM görüntülerinde görülmüştür.

Literatür araştırmasında CA polimerinin anti bakteriyel özellik gösterdiği görülmüştür. Tez kapsamında anti bakteriye test yapılmış ama anti bakteriyel özellik test sonuçlarından bulunamamıştır. Selüloz asetat oranı 9% oranında kullanılmış sonraki çalışmalar için daha yüksek oranla denenmesi durumunda anti bakteriyel özelliğe sahip hibrit filtrenin olumlu sonuç vermesi beklenmektedir.

BÖLÜM VIII

8. AÇIKLAMALAR

Bu tez çalışması Marmara Üniversitesi BAPKO (Bilimsel Araştırmalar Projeler Koordinasyonu) tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 10495



KAYNAKÇA

- [1] ÜSTÜN A., HAVA FİLTASYONU İÇİN NANOLİF ÜRETİMİ, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2011)
- [2] ÖZDEN D., FİLTASYON UYGULAMALARI İÇİN KİTOSAN NANOLİFLERİNİN ELEKTROLİF ÇEKİM YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (2011)
- [3] Doç. Dr. BULGURCU H., 3. Bölüm Havalandırma Filtreleri http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-3_63272884.pdf
- [4] Gürol, Ö. N. A. L., DİNCER, K., AKDEMİR, A., & SELBES, M. (2018). Nanofiber Tabakalı Hava Filtrelerinin Partikül Yakalama Performanslarının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, 32-41.
- [5] Prof. Dr. Özkaynak T., TEMİZ ODALARDA KULLANILAN HEPA FİLTRELER VE BUNLARLA İLGİLİ TEST STANDARTLARI, TTMD Dergisi 49 (2007) 36-44 (ISSN 1302-2415)
- [6] Graham, K., Ouyang, M., Raether, M., Grafe, T., McDonald, B., Knauf, P., 2002, POLYMERIC NANOFIBERS IN AIR FILTRATION APPLICATIONS, 15. Annual Technical Conference Expo of the American Filtration & Separations Society, Galveston, Texas, USA, 17p.
- [7] X. Qin, S. Subianto, ELECTROSPUN NANOFIBERS FOR FILTRATION APPLICATIONS, Woodhead Publishing Series in Textiles Elsevier Publishing, 2017, Pages 449-466 <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100907-9.00017-9>
- [8] DÖKMEN B., YÜKSEK VERİMLİ HAVA FİLTRELERİNİN TESTLERİ, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2011)
- [9] Polat Y., Calisir M., Gungor M., Sagirli M. N., Atakan R., Akgul Y., Demir A., Kilic A., SOLUTION BLOWN NANOFIBROUS AIR FILTERS MODIFIED WITH GLASS MICROPARTICLES, Journal of Industrial Textiles (2019) DOI: 10.1177/1528083719888674
- [10] N. A. S. GÜNDOĞDU, AEROSOL FILTRATION PERFORMANCE OF NANOFIBROUS WEBS PRODUCED VIA CENTRIFUGAL SPINNING TECHNIQUE, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2016)

- [11] M. AKALIN, M.S. ÖZEN, TÜLBENT ESASLI KUMAŞLAR KİTABI, (2010)
- [12] Shi, L., Zhuang, X., Tao, X. et al. (2013), Solution blowing nylon 6 nanofiber mats for air filtration, *Fibers Polymer* 14: 1485. <https://doi.org/10.1007/s12221-013-1485-5>.
- [13] John L. Daristotle, Adam M. Behrens, Anthony D. Sandler, and Peter Kofinas (2016), A Review of the Fundamental Principles and Applications of Solution Blow Spinning, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8, 51, 34951-34963.
- [14] ÇİÇEK ÖZKAN B., Çapraz Bağlı Kitosan/Selüloz/Grafen Kompozitinin Şişme Davranışlarının İncelenmesi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* 33(1), 329-337, 2021
- [15] Zhou, Y.; Liu, Y.; Zhang, M.; Feng, Z.; Yu, D.-G.; Wang, K. Electrospun Nanofiber Membranes for Air Filtration: A Review. *Nanomaterials* 2022, 12, 1077. <https://doi.org/10.3390/nano12071077>
- [16] Alsaid Ahmed Almetwally, M. El-Sakhawy, M. H. Elshakankery1 & M. H. Kasem, Technology of Nanofibers: Production Techniques and Properties-Critical Review, *Journal of the Textile Association* (May-June 2017)
- [17] Ismail YUCE, TEXTILE PRODUCTS USED IN FILTER PRODUCTION AND THEIR USAGE AREAS, *UMUFED International Journal of Western Black Sea Engineering And Science*, 1(1): 50-59, (2019)
- [18] DEMİRÖZ GÜN A., DEMİRCAN B., ŞEVKAN A., Mikroliflerin Üretim Yöntemleri, Özellikleri Ve Kullanım Alanları / Production Methods, Properties And Applications Of Microfibers, *The Journal of Textiles and Engineers*, Yıl 18- Sayı 83: 38-46, (2011)
- [19] Y. Gao, J. Zhang, Y. Su, H. Wang, X. Wang, L. Huang, M. Yu, S. Ramakrishna and Y. Long, *Mater. Horiz.*, 2020, DOI: 10.1039/D0MH01096K.
- [20] Özdoğan E., Demir A., Seventekin N., Nanoteknoloji Ve Tekstil Uygulamaları (Bölüm 2), *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi* Sayı 4/ 2006
- [21] H. Souriyani-Reyhani pour, R. Khajavi, M.E. Yazdanshenas, P. Zahedi, M. Mirjalili, Cellulose acetate/poly (vinyl alcohol) hybrid fibrous mat containing tetracycline hydrochloride and phenytoin sodium: Morphology, drug release, antibacterial, and cell culture studies, *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 33 (2018) 597-611.
- [22] A. Koski, K. Yim, S. Shivkumar, Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning, *Materials Letters*, 58 (2004) 493-497.

- [23] Khan MKR, Hassan MN. Solution Blow Spinning (SBS): A Promising Spinning System for Submicron/Nanofiber Production. *Textile & Leather Review*. 2021; 4(3):181-200. <https://doi.org/10.31881/TLR.2021.04>
- [24] Bonan RF, Bonan PR, Batista AU, Perez DE, Castellano LR, Oliveira JE et al. Poly (lactic acid)/poly (vinyl pyrrolidone) membranes produced by solution blow spinning: structure, thermal, spectroscopic, and microbial barrier properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2017; 134(19):44802. <https://doi.org/10.1002/app.44802>
- [25] Areka Nanofiber. Nanofiber solutions Aerospinner. Available from: <http://www.arekananofiber.com/solution-blowing.html>
- [26] Medeiros E.S., Glenn G.M., Klamczynski A.P., Orts W.J., Mattoso L.H., Solution blowspinning: A new method to produce micro- and nanofibres from polymer solutions. *Journal of Applied Polymer Science*. 2009; 113(4):2322-2330. <https://doi.org/10.1002/app.30275>
- [27] Zheng W, Zheng W, Shi C, Wang X. Cylindrical-electrode-assisted solution blowing for nanofiber spinning. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018; 136(8):47087. <https://doi.org/10.1002/app.47087>
- [28] Gao Y, Zhang J, Su Y, Wang H, Wang XX, Huang LP et al. Recent progress and challenges in solution blow spinning. *Materials Horizons*. 2021; 8(2):426-446 <https://doi.org/10.1039/D0MH01096K>
- [29] Ganesh Kumar R & T. Palani Rajan (2022) A Review on Electrospinning of Natural Bio Herbs Blended with Polyvinyl Alcohol Nanofibres for Biomedical Applications, *Journal of Natural Fibers*, 19:15, 11984-12003, DOI: 10.1080/15440478.2022.2048941
- [30] Cui, J.; Wang, Y.; Lu, T.; Liu, K.; Huang, C. High Performance, Environmentally Friendly and Sustainable Nanofiber Membrane Filter for Removal of Particulate Matter 1.0. *J. Colloid Interface Sci*. 2021, 597, 48–55
- [31] Xie, F.; Wang, Y.; Zhuo, L.; Ning, D.; Yan, N.; Li, J.; Chen, S.; Lu, Z. Multiple Hydrogen Bonding Self-Assembly Tailored Electrospun Polyimide Hybrid Filter for Efficient Air Pollution Control. *J. Hazard. Mater*. 2021, 412, 125260.
- [32] Sparks, T. (2012). History of Filtration. *Solid-Liquid Filtration*, 13–19. doi:10.1016/b978-0-08-097114-8.00002-2
- [33] He, H.; Kara, Y.; Molnar, K. Effect of Needle Characteristic on Fibrous PEO Produced by Electrospinning. *Resolut. Discov*. 2019, 4, 7–11.
- [34] Alsaid Ahmed Almetwally, M. El-Sakhawy, M. H. Elshakankery, M. H. Kasem, Technology of Nano-Fibers: Production Techniques and Properties-Critical Review, *Journal of the Textile Association* May 2017 sf. 5-19

- [35] Ye Bian, Chencheng Zhang, Hui Wang, Qi Cao, Degradable nanofiber for eco-friendly air filtration: Progress and perspectives, *Separation and Purification Technology* Volume 306, Part A, 1 February 2023, 122642 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122642>
- [36] D.S. de Almeida, L.D. Martins, E.C. Muniz, A.P. Rudke, R. Squizzato, A. Beal, P. R. de Souza, D.P.F. Bonfim, M.L. Aguiar, M.L. Gimenes, Biodegradable CA/CPB Electrospun nanofibers for efficient retention of airborne nanoparticles, *Process Saf. Environ. Prot.* 144 (2020) 177–185.
- [37] M. Florea, H. Hagemann, G. Santosa, J. Abbott, C.N. Micklem, X. Spencer-Milnes, L. De Arroyo Garcia, D. Paschou, C. Lazenbatt, D. Kong, H. Chughtai, K. Jensen, P. S. Freemont, R. Kitney, B. Reeve, T. Ellis, Engineering control of bacterial cellulose production using a genetic toolkit and a new cellulose producing strain, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113 (2016) E3431–E3440.
- [38] C. Liu, P.C. Hsu, H.W. Lee, M. Ye, G. Zheng, N. Liu, W. Li, Y. Cui, Transparent air filter for high-efficiency PM 2.5 capture, *Nature Communication.* 6 (2015) 6205.
- [39] J.H. Yeo, M. Kim, H. Lee, J. Cho, J. Park, Facile and Novel Eco-Friendly Poly (Vinyl Alcohol) Nanofilters Using the Photocatalytic Property of Titanium Dioxide, *ACS Omega* 5 (10) (2020) 5026–5033.
- [40] Liu, L., & Wang, S. The development and applications of air Filter. *Filter & Separator*, volume 10, page: 8–9. (2000)
- [41] Bandosz, T. J., & Ania, C. O. Other forms of carbon absorbents. In T. J. Bandosz (Ed.), *Activated carbon surfaces in environmental remediation* (2006).
- [42] Wang, H., Yang, Z. Y., Liu, J. Y., Zheng, G. F., & Liu, Y. P. Research on the advantages of nanofibrous air filtration membrane. *Key Engineering Materials*, 474–476, (2016).
- [43] Tsai, P.P., & Ke, Q. World wide technology trend in filter media. *Technical Textiles*, 21, 8–11 (2003).
- [44] Zhang, X., Li, H., Zhao, M., Wu, M., Fang, D., & Ma, H. Compound antibiotic filtration filter core, screen window, air purification device and gauze mask. Shanghai: Shanghai Jie Sheng Environmental Protection Technology Co., LTD (2015).
- [45] Shichao Zhang, Nadir Ali Rind, Ning Tang, Hui Liu, Xia Yin, Jianyong Yu, Bin Ding, Electrospun Nanofibers For Air Filtration, *Electrospinning: Nanofabrication and Applications Micro and Nano Technologies*, Pages 365–389 (2019) <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51270-1.00012-1>

- [46] Muzafar A. Kanjwal, Amal Al Ghafer, Hybrid nanofibers opportunities and frontiers – A review, *Journal of Environmental Chemical Engineering* Volume 10, Issue 6, (December 2022), 108850, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108850>
- [47] Liu, G., Xiao, M., Zhang, X., Gal, C., Chen, X., Liu, L., Pan, S., Wu, J., Tang, L. and Clements-Croome, D. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation. *Sustainable Cities and Society*, 32. pp. 375-396. ISSN 2210-6707 (2017) Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.011>
- [48] Aditya Roy, Chetan Mishra, Sarthak Jain, Naveen Solanki, A REVIEW OF GENERAL AND MODERN METHODS OF AIR PURIFICATION, *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 5, No. 2, Special Issue 9, pp. 22-28, (February 2019) Yildiz Technical University Press, Istanbul, Turkey
- [49] Felgueiras H. P., Teixeira M. A., M., Tavares T. D., Amorim T. P., (2019) New method to produce poly (vinyl alcohol)/cellulose acetate films with improved antibacterial action, Elsevier.
- [50] Shah, T.H., Rawal, A., Textiles in Filtration, *Handbook of Technical Textiles* Second Edition, Edited by Horrocks A.R., Anand S.C., Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 170, Cambridge, UK, 57-110, (2016)
- [51] Wei Zou, Rongyuan Chen, Guizhen Zhang, Haichen Zhang, Jinping Qu, Recent Advances in Centrifugal Spinning Preparation of Nanofibers, *Advanced Materials Research* ISSN: 1662-8985, Vol. 1015, pp 170-176, Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1015.170 (2014)
- [52] Sakpal P.P., Landage S.M., Wasif A.I., Application Of Nonwovens For Water Filtration, *International Journal of Advanced Research in Management and Social Sciences*, Vol. 2, No. 2, (February 2013) ISSN: 2278-6236
- [53] Derya Bahalı, Yağ Filtresi Kovan Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Karşılaştırılması, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (2019)
- [54] Magdalena Stanik, Szymon Caban, Marlena Klonecka, Mateusz Buczak And Piotr Wisniewski, Numerical Studies Of Internal Flow In Different Types Of Filters, *Task Quarterly* Vol. 24, No 4, (2020), Pp. 335–344
- [55] Areka Groupe Ürün Kataloğu, Erişim tarihi 03.01.2023 https://www.arekagroup.com/pdf/Areka_Group_Products.pdf
- [56] Wood, E.J. Fibres for non-wovens. WOOL482/582 Wool Processing 23 – 1, New Zealand (2006) Erişim tarihi 04.01.2023 <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/07/WOOL-482-582-12-T-10.pdf>
- [57] Polat Y., Pampal E.Ş., Stojanovska E., Simsek R., Hassanin A., Kilic A., Demir A., Yilmaz Ş., Solution Blowing Of Thermoplastic Polyurethane Nanofibers:

A Facile Method To Produce Flexible Porous Materials, Journal of Applied Polymer Science. 2016, DOI: 10.1002/APP.43025

[58] Wölfel B, Seefried A, Allen V, Kaschta J, Holmes C, Schubert DW. Recycling and Reprocessing of Thermoplastic Polyurethane Materials towards Nonwoven Processing. Polymers. 2020; 12(9):1917. <https://doi.org/10.3390/polym12091917>

[59] Heikkilä, P., Taipale, A., Lehtimä, M., Harlin, A., 2008. Electrospinning of Polyamides With Different Chain Compositions for Filtration Application. Polymer Engineering and Science p 1168.

[60] Sundarrajan S., Tan K.L., Lim S.H., Ramakrishna S., Electrospun Nanofibers for Air Filtration Applications, ICMAT 2013, 7th International Conference on Materials for Advanced Technologies, 30 June -5 July 2013, Suntec Singapore, Procedia Engineering 75 (2014) 159 – 163 Doi: 10.1016/j.proeng.2013.11.034

[61] Zhang, Qi., James, W, H., Park, Wu C –Yu., Sigmund, W., Marijnissen, J. C. M., 2010. Improvement in Nanofiber Filtration by Multiple Thin Layers of Nanofiber Mats. Journal of Aerosol Science; 41, p230.

[62] Wang, N., Raza, A., Si, Y., Yu, J., Sun, G., Ding, B., 2013. Tortuously Structured Polyvinylchloride /Polyurethane Fibrous Membranes for High- Efficiency Fine Particulate Filtration, Journal of Colloid and Interface Science 398, p240.

[63] Maze, B., Vahedi, T. H., Wang, Q, Pourdeyhimi, B., 2007. A Simulation of Unsteady-State Filtration via Nanofiber Media at Reduced Operating Pressures, Aerosol Science 38, p550.

[64] Zhang, L., Luo, J., Menkhaus, T.J., Varadaraju, H., Sun, Y., Fong, H., 2011. Antimicrobial Nano-fibrous Membranes Developed from Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers, Journal of Membrane Science, 369, p 499.

[65] Montazer, M., Malekzadeh, S.B., 2012. Electrospun Antibacterial Nylon Nanofibers through In situ Synthesis of Nanosilver: Preparation and Characteristics, Journal of Polymer Research 19, p 9980.

[66] Emine CANBAY GÖKÇE, Yasin AKGÜL, Ali KILIÇ, Ercan AÇMA (2018): Antibakteriyel Nanolif Yapılarının Çözeltilerden Üfleme Sistemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu, Tekstil ve Mühendis, 25: 110, 78-85. <https://doi.org/10.7216/1300759920182511002>

[67] Zongqi Zhang, Shuyue Jia, Wenting Wu, Guomin Xiao, Subramanian Sundarrajan, Seeram Ramakrishna, Electrospun transparent nanofibers as a next generation face filtration media: A review, Biomaterials Advances, Volume 149, 2023, m213390, ISSN 2772-9508, <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2023.213390>

- [68] Liang, W., Xu, Y., Li, X. et al. Transparent Polyurethane Nanofiber Air Filter for High-Efficiency PM2.5 Capture. *Nanoscale Res Lett* 14, 361 (2019). <https://doi.org/10.1186/s11671-019-3199-0>
- [69] Samimi Gharaie S, Habibi S, Nazockdast H. Fabrication and characterization of chitosan/gelatin/thermoplastic polyurethane blend nanofibers. *Journal of Textiles and Fibrous Materials*. (2018); 1. doi:10.1177/2515221118769324
- [70] Zeeshan Khatri, Kai Wei, Byoung-Suhk Kim, Ick-Soo Kim, Effect of deacetylation on wicking behavior of co-electrospun cellulose acetate/polyvinyl alcohol nanofibers blend, Elsevier. (2011)
- [71] Song J., Birbach N. L., Hinestroza J. P., Deposition of silver nanoparticles on cellulosic fibers via stabilization of carboxymethyl groups, *Cellulose* 19:411–424 Springer. (2012)
- [72] Ibrahim M., Nada A., Kamal D.E., Density functional theory and FTIR spectroscopic study of carboxyl group, *Indian Journal of Pure & Applied Physics* Vol. 43, December 2005, pp. 911-917 (2005)
- [73] Akduman C., Akkoca Kumbasar E.P., Electrospun Polyurethane Nanofibers, *Aspects of Polyurethanes Book*, Chapter 2, S:18-44 (2018) Doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69937>
- [74] Wannes Sambaer, Martin Zatloukal, Dusan Kimmer, v3D modeling of filtration process via polyurethane nanofiber based nonwoven filters prepared by electrospinning process, *Chemical Engineering Science*, Volume 66, Issue 4, 2011, Pages 613-623, ISSN 0009-2509, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2010.10.035>.
- [75] A. Pourmohammadi, Chapter 10 - Thermal bonding, In *The Textile Institute Book Series, Handbook of Nonwoven is (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2022, Pages 441-469, ISBN 9780128189122, Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818912-2.00007-0>
- [76] Hemamalini, T., & Giri Dev, V. R. (2019). Wet Laying Nonwoven Using Natural Cellulosic Fibers and Their Blends: Process and Technical Applications. A Review. *Journal of Natural Fibers*, 1–11. Doi: 10.1080/15440478.2019.1701606
- [77] Süpüren, G. Kanat, Z.E. Çay, A. Kırıcı, T. Gülümser, T. Tarakçıoğlu, I. 2007b. Nano Lifler (Bölüm 1). *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(1):15-17.
- [78] Şenol F, Tayyar A.E, Doğan G, Yaman N (2005). Nanolifler ve Uygulama Alanları. *Tekstil Maraton*, 15:20-25.
- [79] Erkan G, Erdoğan Ü.H, Kayacan O (2005). Tekstil Sektöründe Nano-Teknoloji Uygulamaları, *Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makinaları Kongresi*, Gaziantep, 19-27.

- [80] Kut D, Güneşoğlu C (2005). Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları. Tekstil & Teknik, Şubat: 224-230.
- [81] <https://manuals.plus/airthereal/hepa-air-purifier-glory-days-manual#axzz84ELgQkkQ> (Erişim tarihi 10.06.2023)
- [82] <https://www.nano2health.com/nanofiltration> (Erişim tarihi 12.06.2023)
- [83] <https://www.lg.com/uk/lgnanocell/sub/colors.jsp> (Erişim tarihi 17.04.2023)
- [84] https://www.philips.com.tr/c-p/FY2180_30/series-3-nano-koruma-filtresi (Erişim tarihi 17.05.2023)
- [85] https://www.daicel.com/cell_ac/en/sustainability/ (Erişim tarihi 12.06.2023)
- [86] <https://www.ulpatek.com/tr/filtre-teknolojisi/en-779/> (Erişim tarihi 02.05.2023)
- [87] Kris Kosmider, Jim Scott, Polymeric nanofibres exhibit an enhanced air filtration performance, Filtration & Separation, Volume 39, Issue 6, 2002, Pages 20-22, ISSN 0015-1882, Doi: [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(02\)80187-2](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(02)80187-2).
- [88] Almetwally, A.A. and El-Sakhawy, Mohamed and Elshakankery, Mahmoud and Kasem, M.H, Technology of nano-fibers: Production techniques and properties-Critical review, 2017, page: 5-14 Volume: 78 Journal of the Textile Association
- [89] Hassanpour M. Technologies to Manage Used Automotive Oil Filters in Iran: A Review Study. Archives of Hygiene Sciences. 2021; 10(2):97-110. <http://dx.doi.org/10.32598/AHS.10.2.313.1>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı: Dicle Ayça ERTEK KİRAZ

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Bilgileri:

Lisans, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye 10.2015 – 02.2020.

Erasmus, Technical University of Liberec, Faculty of Textile Engineering, Textile Engineering Department, Liberec, Çekya 09.2017 – 06.2018.

Lise, Kadıköy İntaş Lisesi, İstanbul, Türkiye 09.2011- 06.2015.

İş deneyimi:

Araştırma Görevlisi, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 03.2021- Halen devam Ediyor.

Assistant Buyer, LC Waikiki Firması, Kadın Çorap Departmanı, 10.2020 – 02.2021

Assistant Merchandiser, Shirt By Shirt Firması (SBS), Erkek Dokuma Gömlek Departmanı, 02.2020 – 08.2020

SCI, SSCI ve AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

Environmentally friendly, antibacterial materials from recycled keratin in incorporated electrospun PLA films with tunable properties, ERTEK D.A., ŞANLI N.Ö., Menciloglu Y.Z., Avaz Seven S. European Polymer Journal, cilt.185,2023 (SCI-Expanded)

Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Agro Textiles-I Özen M.S., Pala N., Ertek D.A., Akyıldız S.H., Usta İ. Uluslararası Nonwoven Teknik Tekstil Teknoloji Dergisi, cilt.2, sa.71, ss.58-62, 2021.

Hakemli Kongre / Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

Increasing Leukocyte Hormone in the Body by Adding Ginger Nano fiber to Artificial Kidney Ertek D.A., Yüksek M., Uzun M. 8th International Istanbul Textile Conference, İstanbul, Türkiye, 14-16 Nisan 2018

Tez Çalışmasından Hazırlanan Uluslararası Kongrelerde Sunulan Bildiriler:

Polyvinyl alcohol (PVA) / Cellulose acetate (CA) Based Environmentally Friendly Hybrid Filter Production, Ertek D.A., Yüksek M. 8th INTERNATIONAL TECHNICALTEXTILES CONGRESS, İzmir, Türkiye, 13-14 Ekim 2022, ss.157-161.

