

**NANOLIF ÜRETİMİNDE ÇAP KONTROLÜ**

**Özgecan BEYPAZAR**

**Yüksek Lisans**

**Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Özer GÖKTEPE**

**2013**

T.C.  
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANOLİF ÜRETİMİNDE ÇAP KONTROLÜ

Özgecan BEYPAZAR

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

TEKİRDAĞ-2013

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Özer GÖKTEPE danışmanlığında, Özgecan BEYPAZAR tarafından hazırlanan “Nanolif Üretiminde Çap Kontrolü” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

*İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aslıhan DELİTUNA

*İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Reşat MUTLU

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### NANOLİF ÜRETİMİNDE ÇAP KONTROLÜ

Özgecan BEYPAZAR

Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

Polimer solüsyon özellikleri ve elektro lif çekim sistemindeki üretim parametrelerinin nanolif çapına etki ettiği bilinmektedir. Nanolif çapı gelecek uygulamalarda oldukça önemli bir parametre olmasına rağmen, literatürde lif çapının kontrolüne yönelik yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada elektrolif çekim yöntemi ile üretilen nanoliflere ait üretim ve çözelti parametrelerinin ortalama lif çapına etkileri incelenmiş, lif çapının kontrol edilmesinde belirgin etkisi olan parametreler belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda Polivinilalkol (PVA) ve Poliakrilonitril (PAN) polimerleri kullanılmıştır. PVA polimeri için çözücü olarak su kullanılmış, %10, %12 ve %14'lük konsantrasyonlarda 3 farklı çözelti hazırlanmıştır. Her çözelti için 2 farklı iğne çapı, 2 farklı besleme hızı ve 2 farklı mesafede, artan voltaj/mesafe oranlarında yüzey üretimi yapılmıştır. PVA polimerinden, farklı üretim parametrelerinde toplam 96 adet yüzey üretilmiştir. PAN polimeri için çözücü olarak Dimetilformamid (DMF) kullanılarak, %6, %8 ve %10'lük konsantrasyonlarda 3 farklı çözelti hazırlanmıştır. %6'lık ve %10'lük çözeltiler için, 2 farklı iğne çapı ve 2 farklı mesafede, artan voltaj/mesafe oranlarında nanolif üretimi yapılmıştır. %10'lük çözeltide ise lif eğrilmesi gerçekleşmemiştir. PAN polimerinden, farklı üretim parametrelerinde toplam 32 adet yüzey üretilmiştir.

Hazırlanan çözeltilerin viskozite, iletkenlik ve pH değerleri ölçülmüştür. Çözeltilerden üretilen nanoliflerin görüntüsü Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile elde edilmiş, SEM görüntülerinden ortalama çap değeri belirlenmiştir. Ortalama çap değeri her bir numuneye ait SEM görüntüsünden 50 farklı ölçüm yapılarak belirlenmiş ve bu ölçümler sonucunda, her numuneye ait %CV değeri belirlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda ve farklı üretim parametrelerinde elde edilen nanoliflere ait ortalama lif çapları değerlendirildiğinde, konsantrasyonun, iğne çapının ve polimerin molekül

ağırlığının ortalama lif çapını belirlemede önemli parametreler olduğu sonucuna varılmıştır. Hem PVA hem de PAN polimeri için, konsantrasyon artışının lif çapını belirgin şekilde arttırdığı görülmüştür. İğne iç çapının artması da, ortalama lif çaplarını her iki polimerde de arttırmıştır. Molekül ağırlığı daha büyük olan PAN ile üretilen nanoliflerde ortalama lif çaplarının PVA`ya göre daha yüksek olduğu görülmüş ve molekül ağırlığının artışının lif çapını arttırdığı belirlenmiştir.

Uygulanan voltaj, besleme hızı ve mesafenin de ortalama lif çapına etkisi olduğu fakat bu etkilerin çoğu zaman belirsiz olduğu, lif çapı kontrolünde kullanılabilecek tutarlı sonuçlar vermediği kanısına varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** elektrolif çekimi, nanolif çapı, PVA, PAN, çap kontrolü

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **DIAMETER CONTROL ON NANOFIBERS**

Özgecan BEYPAZAR

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

As it is well known, polymer solution and production parameters in electro-spinning influence the nanofiber diameters. However there is no enough study in the literature for full control of fiber diameter in electro-spinning that is essential for future application. Therefore, this study aims to determine the most suitable parameters for a reliable control of fibre diameter. For this purpose, nanofibers were produced by using polyvinyl alcohol (PVA) and polyacrylonitrile (PAN) polymers. PVA polymers were solved with water to prepare three different solutions of 10%, 12% and 14% concentrations. For each solution fibre productions were carried out by increasing voltage/distance rates with two different needle diameters, feed rates and distances. Hence totally, 96 fiber samples were obtained from the PVA polymer based on different production parameters. Similarly, dimethylformamid (DMT) was used for PAN polymer as the solvent and three different solutions of 6%, 8% and 10% concentrations were prepared. For the 6% and 8% solutions, nanofiber productions were carried out by e increasing voltage/distance rates based on two different spine calibers and two different distances. In the 10 % concentrated solution fiber spinning didn't occur. From PAN polymer thirty two nanofibre sample were produced in different parameters in total as fiber could not be obtained at 10% concentration.

During production of nanofibers, viscosity, conductivity and pH values of the polymer solutions that were measured. After production of the samples, SEM images of the nanofibers were taken. The average fiber diameters and CV% values were determined from the SEM images by fifty measurements for each sample.

The average fiber diameters of the nanofibers, which were produced in different concentrations and different production parameters, were evaluated. It was concluded that

concentration, spine caliber and the molecular weight of the polymer are the most effective parameters on average fiber diameter in electro-spinning. It was seen that for both PAN and PVA polymer, the increase in the concentration clearly increases the fiber diameter. In addition, the increase in the inner diameter of the spine increased the average fiber diameters in both polymers. On the other hand, larger fibre diameters were observed in the PAN nanofibers which have more molecular weight compare to PVA polymer.

Other parameters such as the voltage, the feed rate and the distance also have effect on the average fiber diameter, but most of the time these effects are unclear and don't give consistent outcomes that can be used in the control of the fiber diameter.

**Keywords :** electrospinning, nanofiber diameter, PVA, PAN, control of the diameter

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
TEŞEKKÜR.....	xii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Özetleri .....	4
<b>2. KURAMSAL TEMELLER .....</b>	<b>14</b>
2.1 Nanolif Üretim Yöntemleri .....	14
2.1.1. Fibrilasyon Yöntemi.....	14
2.1.2. Meltblown Tekniği ile Nanolif Üretimi.....	14
2.1.3. Bikomponent Yöntemi ile Nanolif Üretimi.....	15
2.1.4. Spunbond Yöntemi ile Nanolif Üretimi .....	16
2.1.5. Elektrolif Çekim Yöntemi (Electrospinning) .....	17
2.1.5.1. Elektrolif Çekim Sisteminin Aşamaları.....	23
2.1.5.2. Elektrolif Çekim Yöntemine Etki Eden Parametreler .....	26
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>35</b>
3.1 Materyal.....	35
3.1.1. Kullanılan Polimerler ve Çözücüler .....	35
3.1.2 Kullanılan Cihazlar.....	36
3.2. Yöntem .....	43
3.2.1. Çözelti Hazırlama.....	43
3.2.2. Deney Parametreleri .....	44
3.2.3 Çap Analizi.....	44



<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA</b> .....	46
4.1. PVA ve PAN çözeltilerinin viskoziteleri.....	46
4.2. PVA ve PAN çözeltilerinin iletkenlik değerleri.....	46
4.3. PVA Lif Çapları .....	47
4.3.1 Konsantrasyonun PVA Lif Çapına Etkisi.....	47
4.3.2. Mesafenin PVA Lif Çapına Etkisi.....	54
4.3.3 İğne Çapının PVA Lif Çapına Etkisi.....	63
4.3.4 Besleme Miktarının PVA Lif Çapına Etkisi.....	67
4.4. PAN Lif Çapları .....	72
4.4.1. Konsantrasyonun PAN Lif Çapına Etkisi.....	72
4.4.2. Mesafenin PAN Lif Çapına Etkisi (%6 PAN).....	75
4.4.3. İğne Çapının PAN Lif Çapına Etkisi.....	78
<b>5. SONUÇ</b> .....	81
<b>KAYNAKLAR</b> .....	83
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	88

Şekil 2.1. Bikomponent lifler .....	15
Şekil 2.2. Bikomponent üretim yöntemiyle üretilmiş liflerin kesit ve boy görüntüleri.....	16
Şekil 2.3. Spunbond yönteminde üretim akışı.....	17
Şekil 2.4. Taylor Konisinde Oluşan Yarı Konik Açısı .....	20
Şekil 2.5. . Kılcal Boru ucundaki damlanın artan voltaj etkisiyle koni şeklini alması ve jetin fişkırması .....	20
Şekil 2.6. ElektroÜretimde Whipping Kararsızlığı ve Taylor Konisi .....	21
Şekil 2.7. İç ve Dış kuvvetler arasındaki dengenin şematik gösterimi.....	23
Şekil 2.8. 25 fps deki whipping olayının fotoğrafı , 4000 fps deki whipping olayının fotoğrafı .....	26
Şekil 2.9. Yüzey geriliminin elektro çekim çözeltisindeki polimer moleküllerine etkisi .....	29
Şekil 3.1. PVA`nın kimyasal formülü .....	35
Şekil 3.2. PAN polimerinin kimyasal formülü .....	36
Şekil 3.3. N,N-dimetilformamid`in kimyasal formülü .....	36
Şekil 3.4. Elektrolif deney düzeneği.....	37
Şekil 3.5 Şırınga pompası.....	38
Şekil 3.6. Elektrolif çekim sistemi.....	39
Şekil 3.7. Çözeltinin elektrolif çekim alanına beslenmesi .....	40
Şekil 3.8. Çekim sırasında alüminyum folyo üzerine oluşan yüzey.....	41
Şekil 3.9. Toplayıcı plaka üzerinden alınan nanoyüzeyler .....	41
Şekil 3.10. Yüksek güç kaynağı .....	42
Şekil 3.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) .....	43
Şekil 3.12. SEM görüntüsü üzerinde örnek çap ölçümü .....	45
Şekil 4.1. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	48
Şekil 4.2. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	48
Şekil 4.3. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	49
Şekil 4.4. %10,%12 ve %14 konsantrasyonlardaki PVA SEM görüntüleri .....	50
Şekil 4.5. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	50
Şekil 4.6. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	51
Şekil 4.7. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	52
Şekil 4.8. %10,%12 ve %14 konsantrasyonlardaki PVA SEM görüntüleri .....	52
Şekil 4.9. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	53
Şekil 4.10. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	53
Şekil 4.11. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	55
Şekil 4.12. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	56
Şekil 4.13. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	56
Şekil 4.14. 10cm ve 15cm`deki PVA SEM görüntüleri (a 10cm, b 15cm) .....	57
Şekil 4.15. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	57
Şekil 4.16. 10cm ve 15cm`deki PVA SEM görüntüleri (a10cm,b 15cm) .....	58
Şekil 4.17. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	59
Şekil 4.18. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	59
Şekil 4.19. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	60

Şekil 4.20. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	60
Şekil 4.21. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	61
Şekil 4.22. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa) .....	62
Şekil 4.23. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa) .....	62
Şekil 4.24. iğne çapının lif çapına etkisi(konsantrasyon %10, besleme hızı 0,10ml/sa).....	63
Şekil 4.25. iğne çapının lif çapına etkisi(konsantrasyon %10, besleme hızı 0,20ml/sa).....	63
Şekil 4.26. 0,7mm ve 0,9mm`lik iğneler ile üretilen PVA liflerine ait SEM görüntüleri .....	64
Şekil 4.27. iğne çapının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 12, besleme hızı 0,10ml/sa).....	65
Şekil 4.28. iğne çapının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 12, besleme hızı 0,20ml/sa).....	65
Şekil 4.29. iğne çapının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 14, besleme hızı 0,10ml/sa).....	66
Şekil 4.30. iğne çapının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 14, besleme hızı 0,20ml/sa).....	66
Şekil 4.31. Besleme hızının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 10, mesafe 10cm) .....	67
Şekil 4.32. Besleme hızının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 10, mesafe 15cm) .....	68
Şekil 4.33. Besleme hızının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 12, mesafe 10cm) .....	68
Şekil 4.34. Besleme hızının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 12, mesafe 15cm) .....	69
Şekil 4.35. Besleme hızının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 14, mesafe 10cm) .....	70
Şekil 4.36. Besleme hızının lif çapına etkisi(konsantrasyon % 14, mesafe 15cm) .....	70
Şekil 4.37.Farklı besleme hızlarında üretilen PVA nanoliflerinin SEM görüntüleri .....	71
Şekil 4.38. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, mesafe 10cm).....	72
Şekil 4.39. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, mesafe 10cm).....	73
Şekil 4.40. 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri .....	73
Şekil 4.41. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, mesafe 15cm).....	74
Şekil 4.42. 1,4kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri .....	74
Şekil 4.43. Konsantrasyonun lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, mesafe 15cm).....	75
Şekil 4.44. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, konsantrasyon %6) .....	75
Şekil 4.45. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, konsantrasyon %6) .....	76
Şekil 4.46. 1,4kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri .....	76
Şekil 4.47. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,7mm, konsantrasyon %8) .....	77
Şekil 4.48. Mesafenin lif çapına etkisi(iğne çapı 0,9mm, konsantrasyon %8) .....	77
Şekil 4.49. 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri .....	78
Şekil 4.50. İğne çapının lif çapına etkisi (mesafe 10cm).....	78
Şekil 4.51. İğne çapının lif çapına etkisi(mesafe 15cm).....	79
Şekil 4.52. 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri .....	80

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 4.1. PVA ve PAN çözeltilerinin viskozite değerleri .....	46
Şekil 4.2. PVA ve PAN çözeltilerinin iletkenlik değerleri.....	46
Şekil 4.3. 10ml/sa besleme hızında üretilen PVA liflerine ait ortalama lif çapları .....	47
Şekil 4.4. 20ml/sa besleme hızında üretilen PVA liflerine ait ortalama lif çapları .....	47

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler Dizini

dielektrik sabiti	$\epsilon$
elektriksel yük	q
kilo volt	Kv
litre	l
mikro metre	$\mu\text{m}$
nano metre	nm
yüzey gerilimi	$\gamma$
saat	h
voltaj	V
yer çekimi sabiti	g
yoğunluk	$\rho$

### Kısaltmalar Dizini

dimetilformamid	DMF
poliakrilonitril	PAN
poliamid6	PA6
poliamid6,6	PA6,6
polietilenoksit	PEO
polietilen tereftalat	PET
polikaprolaktan	PLC
polipirol	PPy
polipropilen	PP
polivinilalkol	PVA
polivinilbütiral	PVB

polivinilpirolidan	PVP
sodyumhidroklorür	NaCl
taramalı elektron mikroskobu	SEM
titanyumdioksit	TiO <sub>2</sub>

## **TEŞEKKÜR**

Bu tez çalıŐmasını gerçekleşmesini sağlayan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, danışman hocam Prof. Dr. Özer GÖKTEPE`ye, laboratuvar ve cihazları kullanımına sunan, tez süresince desteğini esirgemeyen Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE`ye, elektrolif çekim sisteminin topraklanması sırasında destek veren Yrd. Doç. Dr. Reşat MUTLU`ya, viskozite ölçümlerinin yapılmasında destek olan Öğr. Gör. Ahmet Özgür AĞIRGAN`a, tez süresince desteğini esirgemeyen tekstil yüksek mühendisi Murat ERKAN`a ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez alıŐması Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından NKUBAP.00.17.AR.13.10 numaralı araştırma projesi ile maddi olarak desteklenmiŐtir. Ayrıca tez çalışmasında kullanılan elektrolif çekim düzeneği de Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen NKUBAP.00.17.AR.11.03 numaralı araştırma projesi kapsamında kurulmuŐtur.

## 1. GİRİŞ

Nanoteknoloji maddeler üzerinde nanometre (nm) boyutlarda gerçekleştirilen işleme, ölçüm, tasarım, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalarla maddeye atom ve molekül seviyesinde gelişmiş veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı hedefleyen, yeni ve hızla gelişen bir bilim ve teknoloji alanıdır. 1 nanometre, metrenin milyarda biridir. Bu durum, yeni ürün ve uygulama olasılıklarını ortaya koymaktadır (Çakmakçı 2011). Makro ya da yığın halindeki maddeler ile karşılaştırıldığında, nanoparçacıklar tamamen yeni ya da gelişmiş özellikler (boyut, dağılım, morfoloji vb) taşımaktadırlar. Nano materyaller, aynı kütlede daha büyük parçacıklardan oluşmuş materyale göre daha büyük yüzey alanına sahiptir. Bu durum materyali daha reaktif yapmakta ve materyalin mekaniksel ve elektriksel özelliklerini değiştirmektedir. Kuantum etkisi nedeniyle materyalin nano ölçekteki özellikleri baskın hale geçmektedir. Böylece nano ölçekli materyalin optik, elektrik ve manyetik özellikleri değişmektedir (Bonino ve ark. 2011). İnsan saç teli çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaşılmaktadır. Atomlar bakterilerin 1/10000, bakteriler ise bir sivrisineğin 1/10000 büyüklüğündedirler. Yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturmaktadır (Özdoğan ve ark. 2006). Nanoteknoloji, maddenin atomik-moleküler boyutta mühendisliğinin yapılarak yepyeni özelliklerinin açığa çıkarılması; nanometre ölçeğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir. Bir başka ifade ile çeşitli araçların, malzemelerin ve yapıların moleküler düzeyde işlenmesi, oluşturulması ve manipüle edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Nano yapılar nanokapsüller, nanotüpler ve nanolifler olmak üzere üç gruba ayrılır. Nanokapsüller, nanometre boyutlarında ince, içi boş kapsüllerdir. Bu kapsüller içerisinde ilaç veya kozmetik ürünleri hapsedebilir ve kumaş içerisine bu kapsüllerin yerleştirilmesiyle giyim sırasında kıyafeti giyen kişiye ilacın veya kozmetik ürünün uygulanması söz konusu olabilir (Şenol ve ark 2005). Nanotüpler, birkaç mikron veya milimetre uzunluğunda ve çapları nanometre boyutunda olan içi boş yapılardır. Karbon, elmas ve grafit gibi kristal, siyah karbon ve pirokarbon gibi şekilsiz formlarıyla teknolojik materyaller arasında önemli bir yere sahiptirler (Şenol ve ark 2005). Nanolifler ise 1 mikrondan daha küçük çapa sahip lifler olarak adlandırılırlar. Basit donanımlar ile imal edilebilmeleri ve üretimleri için az enerji gerektirmesi nanolifleri cazip hale getirmektedir.



Tekstil endüstrisi de gelişen bu teknolojinin uygulama alanı olmuştur. Her ne kadar bu teknoloji sayesinde yapay lifler üretiliyor olsa da, fikir kaynağı doğada bulunan “Lotus” bitkisinin nano düzeydeki pürüzsüzlüğü olmuştur. Bu pürüzsüzlük sayesinde bitkinin kir ve su tutmazlık özelliği bulunmaktadır. Halen araştırma ve geliştirmesi devam eden bu teknolojiyle 5-10 yıllık bir periyotta hayatımızın her alanında karşılaşabileceğimiz öngörülmektedir. Bu teknolojiden faydalanılarak sektörde su geçirmezlik, leke tutmazlık, buruşmazlık, anti-mikrobiyalite, değişebilirlik, UV-ışınlarından koruyuculuk, yanmazlık veya güç tutuşurluk ve daha iyi boyanabilirlik gibi özellikler kazandırılan ürünler, geliştirilmiş ve kullanımları yaygınlaşmaya başlamıştır. Örneğin; %90 oranında ısı yalıtımını sağlayan ceket, anti-bakteriyel iç çamaşırları, vücudun terini atabilen, ince olmasına rağmen kışın sıcak yazın serin tutan sportif giysiler, yanmaz itfaiye ekipmanları, kir ve kokuyu önleyen araç tavan kaplamaları görülmektedir. Michael PHELPS’ in 2008 olimpiyatlarında dünya rekoru kırdığı mayo, nano teknolojiye üretilmiştir. ”Biocare” ismi verilen kumaş günlük hayatta televizyon, bilgisayar, cep telefonu, mikrodalga fırın gibi elektronik cihazlardan yayılan iyonize olmamış radyasyonu %98,5 oranında engellediği tespit edildi. Ayrıca kalabalıklaşan dünyada üretim – tüketim dengesinin bozukluğu, doğal tekstil liflerinin sektöre tam cevap verememesine yol açmaktadır. Bu boşluğun yanı sıra, sağladığı özellikler ve getireceği kolaylıklar göz önüne alınan nano tekstil ürünlerinin önümüzdeki 30-40 yıl içerisinde tekstil sektörün %70-80’ lik bir kısmında yer alacağı düşünülmektedir. Bu teknolojinin dünya devletleri arasındaki öncüleri, ABD ve Japonya olarak karşımıza çıkmaktadır (Bulut 2013).

Kimyasal lif üreticilerinin daha ince lifler üretmek için yapmış oldukları çalışmalar mikro ve nano incelikteki liflerin geliştirilmesini sağlamıştır (Cireli ve ark. 2006). Genel anlamda lifler söz konusu olduklarında, bir lifi nano diye tanımlarken lif çapı göz önünde bulundurulur. Nanolifler yüksek moleküler oryantasyona sahiplerdir, küçük boyutları sayesinde daha az yapısal kusur taşırlar, bu sayede oldukça iyi mekanik özellikleri vardır, küçük çaplarından ötürü yüzey/hacim oranları veya yüzey/kütle oranları yüksektir, dolayısıyla yüksek spesifik yüzey alanlarına sahiplerdir (Kut ve Güneşoğlu 2005). Nanoliflerin geniş yüzey alanına sahip yapılar oluşturmaları, fonksiyonel grupları, iyonları ve çok çeşitli nano seviyedeki partikülleri tutma veya yayma kapasitelerinin yüksek olmasını sağlamaktadır (Süpüren ve ark. 2007). Lifleri nano boyuta indirgeyerek son ürünlerde elde edilecek özelliklerin değiştirilmesi mümkün olacaktır. Nanolif kullanılarak oluşturulabilen tekstil ürünlerine örnekler aşağıda verilmiştir.

- Filtrasyon amaçlı ürünler

- Biyomedikal uygulamalar: yara bezleri, ilaç iletim sistemleri, sentetik kan damarları, yapay organlar ve koruyucu giysiler
- Tarım uygulamaları: gübrelerin bitkilere zamanla salınmasını sağlayan kumaşlar, bitkileri böceklerden korumak için izolasyon amaçlı kumaşlar
- Yüksek sıcaklık ve yüksek modül gereken yerlerde kullanılan seramik ve karbon nano-lifler.

Günümüzde nanolif üretimi: meltblowing, spunbond, fibrilasyon, bikomponent ve elektrolif çekim yöntemleri kullanılmak suretiyle gerçekleştirilebilmektedir (Süpüren ve ark 2007). Elektrolif çekim yöntemi, minimum ekipman gerektirmesi, oldukça ince lif çaplarının oluşumuna imkan vermesi, birçok farklı polimer ile çalışılabilmesi gibi avantajları nedeni ile tercih edilen nanolif üretim yöntemlerinden birisidir (Erkan ve ark. 2005).

Elektrolif çekim sistemiyle üretilen lif yüzeyi, farklı tabakalar üzerine kaplama olarak kullanılabilir. Örnek olarak gümüş kaplamalı bir lif, yüksek elektrik iletimine, oldukça düşük statik elektriklenmeye sahip olur. Ayrıca antibakteriyel ve antifungisid özellik kazanır. Nanolifler cam, polyester, poliamid ve selüloz gibi çok değişik materyallerin üzerine filtrasyon amacı ile uygulanabilmektedir (Özdoğan ve ark. 2006).

Elektrolif çekim prosesi ile elde edilmiş lifler elektrostatik olarak yüklenmiş olabilirler veya yük üretebilirler. Dairesel liflerin yanında çeşitli enine kesitlere sahip lifler de üretilebilir. Bu lifler çeşitli şekillerde ve boyutlarda farklı polimer çözeltilerinden elde edilebilirler. Genel olarak konvansiyonel çekimde kullanılan pek çok polimer elektro lif çekim prosesi için uygundur (Şenol ve ark. 2005).

Bu tez çalışmasında, nanolif üretiminde en kritik faktörlerden birisi olan çap kontrolü üzerinde çalışılmıştır. Elektrolif çekim yönteminde, lif çapına etki eden faktörler literatür araştırmasında incelenmiştir. Literatür çalışmaları incelendikten sonra, elektrolif çekim yönteminde üretilen lifler üzerinde çap kontrolünün sağlanması amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır.

## 1.1 Literatür Özeti

Huang ve ark. (2004) gelatin polimerini kullanarak yaptıkları çalışmada elektrolif çekim yöntemi ile nanolif üretmişler ve ürettikleri nanoliflerin mekaniksel özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca elektrolif çekim prosesinde, çözelti konsantrasyonunun lif çapına etkilerini de belirtmişlerdir. Düşük konsantrasyonlarda çözeltiler ile çalışılırken oldukça ince lif çaplarının gözlemlendiğini fakat çok fazla boncuk oluştuğunu belirtmişlerdir. Yüksek konsantrasyonlarda çalıştıkça, lif çapının arttığı boncuk oluşumunun azaldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları deneyler boyunca 100nm-350nm çap aralığında lifler ürettiklerini, çalıştıkları gelatin nanolifi için belli konsantrasyonların altına inildiğinde ya da üzerine çıkıldığında eğirme işleminin yapılamadığını belirtmişlerdir.

Kozanoğlu (2006) çalışmasında polivinilalkol (PVA) ve polipropilen (PP) polimerleri kullanarak, elektrolif çekim yöntemi ile nanolif üretmiş ve bazı proses parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Bu parametreler; çözelti konsantrasyonu, iğne-toplayıcı arası mesafe ve uygulanan voltaj değerleridir. PVA polimeri ile yaptığı çalışmada, çözelti konsantrasyonunun artması ile lif çapının arttığını ve yüzeylerin boncuklu yapıdan daha düzgün bir yapıya kavuştuğunu belirtmiştir. Uygulanan voltajın genellikle lif çapında azalmaya yol açtığını ve voltajın artması ile liflerin düzensiz bir hal aldığını, üretimin kontrol altında tutulmasının zorlaştığını söylemiştir. İğne ve toplayıcı plaka arasındaki mesafenin artması ile lif çapının azaldığını ve bu mesafe arttıkça yüzey oluşumu için gereken kritik voltaj değerinin de arttığını belirtmiştir.

Thomson ve ark. (2007) elektrolif çekim prosesinin teorik modellemesi üzerinde 13 farklı parametrenin lif çapına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda; 5 parametrenin (uygulanan voltaj, iğne-toplayıcı arası mesafe, iğne çapı, relaksasyon süresi ve viskozite) lif çapı değişimine önemli etki ettiğini, diğer parametrelerin (başlangıç çözelti konsantrasyonu, solüsyon yoğunluğu, elektrik potansiyeli, pertürbasyon frekansı, çözücü kaynama basıncı) daha düşük etkileri olduğu, relatif nem, yüzey gerilimi ve buhar difuzitesinin, çok az etki ettiğini belirtmişlerdir. Çeşitli parametrelerin lif çapına etkilerinin bilinmesinin, proses kontrolü için gerekli olduğunu söylemişlerdir. Elektrolif çekim yöntemi ile üretilen nanoliflerin, yüksek lif uzunlukları, küçük çapları ve geniş yüzey alanları nedeni ile endüstriyel kullanımlarda ve bilimsel çalışmalarda tercih edildiğini söylemişlerdir. Elektrolif çekim prosesinde üretilen lifin çapını etkileyen çok fazla materyal ve proses parametresi

olduğundan, lif çapını tahminlemenin zor olduğundan bahsetmişlerdir. Lif çapına ait verilerin çoğunun deneysel çalışmalardan elde edildiğini fakat, prosesin çok fazla parametreden etkilenmesi ve bu durumun karmaşıklığı yüzünden, pratikte lif çapını tahminlemenin çok kolay olmadığını belirtmişlerdir.

Ishii ve ark. (2008) nanoliflerin uzunluğu ve çapı üzerine yaptıkları çalışmada, Polietilenoksid (PEO) polimerini kullanmışlar ve klasik elektrolif çekim yönteminde olduğundan farklı bir toplayıcı düzeneği ile çalışmışlardır. Kurdukları düzenekteki toplayıcı kısım; klasik tek toplayıcı plaka yerine 2 adet yan yana duran ve arasındaki mesafe açılıp kapanabilecek şekilde dizayn edilmiş bir sistemdir. Yatay pozisyonda çalışılan elektro lif çekim düzeneğinde, yan yana koyulan 2 plakanın zıt yönde hareket ettirilmesi ile, toplayıcı plaka üzerinde oluşan liflerin boyuna uzaması sağlanmıştır. Bu boyuna uzamanın lif çapına da etki ettiği belirtilmiş ve uzatma işlemi yapılmadan önce ortalama lif çapının 1350nm iken, 50mm`lik bir uzatma ile ortalama lif çapının 531nm`ye kadar düştüğü belirtilmiştir.

Yördem ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, elektrolif çekim işleminde proses parametrelerinin ve materyal özelliklerinin etkilerini araştırmışlardır. Solüsyon konsantrasyonu, uygulanan voltaj ve toplayıcı mesafesinin etkilerini gözlemlemek için response surface methodology (RSM) kullanılmıştır. Bu yöntem, nihai lif çapındaki değişime her parametrenin etki derecesini belirtmektedir. Bu çalışmada, yaygın kullanılan toplayıcı-igne mesafelerinde, voltaj ve konsantrasyon parametreleri değiştirilmiştir. Lif çapı ve varyasyon katsayısı, her toplayıcı mesafesinde voltaj ve konsantrasyonun fonksiyonu olarak, polinomial response surface olarak modellenmiştir. Uygulanan voltajın etkilerinin; yüksek konsantrasyonlarda ve yüksek mesafelerde çalışılırken mikro-skala ölçeğinde neredeyse göz ardı edilebilir olduğunu söylemişlerdir. Buna rağmen 3 parametrenin de, nano skalada lif çapına kayda değer etki ettiği belirtilmiştir. Solüsyon konsantrasyonu, uygulanan voltaj ve toplayıcı arasındaki mesafenin nano-skalada yapılacak üretimler için temel parametreler olduğu belirtilmiştir. Nihai lif çapının; elektrospun lif yüzeylerinin mekanik, elektriksel ve optik özelliklerine etki ettiği söylenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda mukavemetin ve iletkenliğin, lif çapından önemli ölçüde etkilendiğinin kanıtlandığı belirtilmiştir. Bu sebepten üretilen lif çapının boyutlarının kontrol altında tutulmasının önemli olduğu söylenmiştir.

Fridirickh ve ark. (2008) iletkenlik, dielektrik katsayısı, dinamik viskozite, yüzey gerilimi ve yoğunluk gibi materyal parametrelerin ve proses parametrelerini kullanarak bir denklem oluşturmuşlar ve bu denklemi test etmek için deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında

Polietilenoksid (PEO) polimeri ile elde ettikleri liflerde, teorik formül ile oldukça uyumlu sonuçlar elde etmiş olmalarına rağmen poliakrilonitril (PAN) polimeri ile elde ettikleri liflerde aynı uyumu sağlayamadıklarını belirtmişlerdir.

Sukigara ve ark. (2008) yaptıkları deneysel çalışmada, voltajın etkisinin polimer konsantrasyonuna ve toplayıcı iğne arası mesafeye bağlı olarak etkisinin değiştiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada Bombyx Mori ipeği kullanmışlardır. Bu durumun, proses parametrelerinin lif çapına olan etkisinin polimer konsantrasyonuna göre değişebileceğine iyi bir örnek olduğunu belirtmişlerdir.

Du ve ark. (2008) elektro lif çekimi ile elde edilen PAN nanoliflerin çap kontrolü ile alakalı çalışmalarında; molekül ağırlığı 150,000 g/mol olan PAN ve çözücü olarak ise dimetilformamid (DMF) kullanmışlardır. Ayrıca çözeltiye demir asetilaseton tuzu ekleyerek çözeltinin iletkenliğini artırarak, bu durumun lif çapı üzerine etkilerini incelemişlerdir. %8'lik PAN çözeltisiyle yaptıkları çalışmada; viskozite, iletkenlik, yüzey gerilimi, voltaj, besleme miktarı ve iğne-toplayıcı plaka arası mesafenin, lif çapına etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucundan, lif çapına etki eden en önemli parametrelerin; viskoelastik kuvvetler, elektrik alan kuvvetleri ve yüzey gerilim kuvveti olduğunu söylemişlerdir. Polimer konsantrasyonunun artması ile solüsyonun iletkenliğinin arttığını, viskozite ile yüzey geriliminde de değişimler olduğunu ve bunun lif çapına etki ettiğini söylemişlerdir. Voltaj, besleme oranı, mesafe gibi operasyonel parametrelerin de lif çapına ve morfolojisine etki ettiğini belirtmişlerdir. Artan voltajın daha yüksek bir elektrik alan yaratması ve bur durumun jetin kararsızlığını artırıp aldığı yolu uzatması üzerine, lif çapının da arttığını belirtmişlerdir. Artan besleme oranının elektrostatik alana aktarılan solüsyon/çözelti oranını artırmasıyla, lif çapının arttığını ayrıca, mesafenin artması ve elektrostatik lan kuvvetinin azalması sonucuyla, lif çapının yine arttığını belirtmişlerdir.

İkiz (2009) çalışmasında, PVA polimeri ile çalışmış, çözelti viskozitesi, voltaj ve iğne toplayıcı plaka arasındaki mesafenin, lif çapına ve lif morfolojine olan etkilerini araştırmıştır. Elde ettiği liflerin çapları 85nm-453nm aralığında olmuştur. İkiz araştırdığı parametrelerin, lif çapına etkisini ise şu şekilde belirtmiştir; artan viskozite ve azalan mesafenin lif çapını arttırdığını, artan voltaj ve azalan mesafenin ise lif çapı değişkenliğini arttırdığını söylemiştir. Lif çapı değerlerindeki değişkenlik arttığında ise lif yüzeyinde meydana gelen boncuklanma da artmaktadır. Hazırladığı PVA çözeltilerinin farklı konsantrasyonlarındaki iletkenliklerini ölçmüş ve PVA polimerinin iletkenliğe katkısı olduğu belirtilmiştir fakat PVA

konsantrasyonu arttıkça artması gereken iletkenlik değerindeki bu farklılık net olarak görülememiştir. Bunun nedeni, polimer miktarı arttıkça molekül oryantasyonun azalmasıdır ki molekül zincirlerinin düzensiz yerleşimi iletkenliği azaltmaktadır. İki voltaj değerinin nanolif çapı üzerindeki etkisinin belirsiz olduğunu, bazı durumlarda lif çapında artış gözlenirken, bazı durumlarda beklenmedik azalmalar gözlendiğini fakat voltaj değerinin artmasının, lif çapı değişkenliğini kesin olarak arttırdığını ve yüksek voltaj değerlerinde polimer akışının daha düzensiz olmasından dolayı daha fazla boncuklanma gözlendiğini belirtmiştir. Pipet ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe arttıkça liflerin havada kalma süreleri artacağından life uygulanan kuvvetlerin etki süreleri artacak, çözücü daha fazla buharlaşacak, lif çapları azalacak, azalan lif çapları elektriksel kuvvetleri güçlendirecek ve liflerin daha küçük parçalara ayrılmasını sağlayacaktır. İki yaptığı ölçümlerde, artan mesafenin lif çapını azalttığını gözlemiştir. PVA polimeri için, artan konsantrasyonlarda lif çapının da arttığı gözlemlenmiştir. Konsantrasyon çok düşük olduğunda, polimer lif haline gelmeden yüzeye elektro püskürtme ile damlacıklar halinde düşmektedir. Konsantrasyon çok yüksek olduğunda ise elektriksel kuvvetler yüzey gerilimini ve viskoziteyi yenemediğinden polimer akışı sağlanamamaktadır.

Beachley ve Wen (2009) elektrolif çekim prosesinde lif çapını ve lif uzunluğunu etkileyen parametreler üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Elektrolif ekim proses parametrelerindeki değişimin, maksimum lif uzunluğunu, ortalama lif çapını, lif niformitesini ve lif kalitesini belirlediğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada 2 paralel levhalı sistem kullanarak lif eğirmişler ve polimer konsantrasyonu, toplayıcı plaka büyüklüğü, sodyumhidroklorr (NaCl) konsantrasyonu, voltaj ve besleme hızı parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Polimer olarak polikaprolaktan (PLC) kullanmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışma sonunda çapları 350 nm- 1 µm arasında değişen lifler elde etmişlerdir. Besleme hızının maksimum lif uzunluğuna kayda değer bir etki ettiği gözlemlenememiştir. Besleme hızının artması ile gerekenden daha fazla polimer iğneye sevk edilmiş ve iğnede gereğinden fazla polimer birikmesi olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum lif çapı ve lif uzunluğunun polimer konsantrasyonunun artması ile kayda değer ölçümlerde arttığı belirtilmiştir. ap niformitesi de artan polimer konsantrasyonu ile bir miktar artmıştır fakat bu artış gerekli görülen ölçümlerde olmamıştır. %8`lik ve %20`lik zeltiiler ile lif oluşumu gözlemlenemediği belirtilmiştir. Yaptıkları deneysel çalışmada, voltajın lif çapına etkisinin kayda değer boyutlarda olduğu belirtilmiştir. ap niformitesi de voltajın artması ile artmıştır. Polimer çözeltisine eklenen NaCl ile alakalı ise; çözeltiye tuz eklemenin solüsyon iletkenliğini arttırdığını ve bu durumun

daha önce yapılan çalışmada lif çapına da etki ettiğini fakat bu çalışmada, NaCl eklenmesi ile lif çapında kayda değer bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

Yan ve Gevelber (2009) elektrolif çekiminde proses parametrelerinin lif çapına etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, elektrik alanın ve uygulana voltajın etkilerini incelemişlerdir. Polietineloksit (PEO)'nun farklı konsantrasyonlarındaki çözeltiler ile çalışmışlardır. Çalışmaların sonucunda; Taylor konisinin ve oluşan jetin elektrik alan şiddetinden ve uygulanan voltajdan güçlü şekilde etkilendiğini ve bur durumun elektrospun liflerde, gözle görülür etkiler yarattığını belirtmişlerdir. Taylor konisindeki ve uygulanan voltajdaki değişimlerin nihai lif çapı üzerinde etkisi olduğunu söylemişlerdir. Uygulanan voltajın kontrollü olması ile besleme miktarının kontrollü olmasının, jette oluşacak dalgalanmaları minimuma indireceğini belirtmişlerdir.

Opanasopit ve ark. (2010) kitosan ve PVA polimerlerinin karışımını kullanarak, elektrolif çekim yöntemi ile nanolif elde etmişler ve çözelti konsantrasyonunun lif çapına ve lif morfolojisine etkilerini incelemişlerdir. Farklı oranlarda kitosan ve PVA çözeltileri hazırlayarak, bu çözeltilerin viskozite ve iletkenlik değerlerini ölçmüşlerdir. Çözeltideki kitosan oranı arttırıldığında, ortalama lif çapının ve boncuk oluşumunun azaldığı belirtilmiştir. Çözeltiye kitosan eklenmesi ile viskozitenin azaldığı, viskozitenin azalmasının ise lif çapını düşürdüğü söylenmiştir. Bunun bir sebebinin de PVA'nın noniyonik bir polimerken, kitosanın polielektrolit olmasıdır. Bu durumda kitosan oranının artması ile solüsyonun iletkenlik oranının artmasının bu değişime sebep olduğu söylenmiştir. Ayrıca çözeltilere tuz eklenmesinin, lif morfolojisinde kayda değer değişikliklere sebep olduğu söylenmiştir. Tuz ekleme, solüsyonun iletkenliğini arttırdığından, nanoliflerin çapında azalma ve boncuklu yapıdan üniform yapıya geçiş olduğu belirtilmiştir.

Özkoç (2010) elektrolif çekim prosesinde optimum nanolif üretim parametrelerini bulmak amacı ile yaptığı tez çalışmasında, Poliakrilonitril (PAN), Polivinilalkol (PVA) ve Poliamid 6,6 (PA6,6) polimerleri ile çalışmıştır. PAN polimeri için Dimetilformamit (DMF)'i çözücü olarak kullanmış ve çözeltinin konsantrasyon artışının, lif çapını doğru orantılı olarak arttırdığını belirtmiştir. Deneysel çalışmalarında 133nm-351nm çap aralığında lifler elde ettiğini, değişen iğne-toplayıcı arası mesafe ve voltaj değerlerine rağmen, çözelti konsantrasyonu ve çap artışının doğru orantılı olduğunu, neredeyse lineer şekilde arttığını belirtmiştir. Voltajın artması ile lif çapının düştüğünü fakat bu düşüşün lineer olmadığını, bazı noktalarda tekrar artış gözlemlendiğini söylemiştir. Voltajın değişimi ile en büyük ve en

küçük çap değerleri arasındaki farkın, konsantrasyondaki kadar fazla olmadığını, daha küçük değişimler gözlemlendiğini ve en düzgün liflerin 30-35kV ile elde edildiğini belirtmiştir. PAN polimerinden elde edilen nanolif çapı ve mesafe arasında ise; 5-15cm aralığında lif çapında düşüş gözlemlendiğini, 15-25cm aralığında ise artış gözlemlendiğini, bu artış ve azalışların neredeyse lineer olduğu belirtmiştir. PVA polimeri ile yaptığı çalışmada. çözücü olarak su kullanmış, çözelti konsantrasyonunun artması ile lif çapının bariz şekilde arttığını, bu artışın %12,5`luk çözeltilere kadar daha küçük ve lineer artışlar olduğunu fakat konsantrasyonu %12,5`dan daha büyük çözeltilerde ani artışlar gözlemlendiğini belirtmiştir. PVA polimeri ile yapılan çalışmalarda voltajın etkisi ise şu şekilde belirtilmiştir; deneyler sırasında uygulanan voltajın arttırılması ile lif çapında düşüş fakat boncuk oluşumunda artış, dolayısı ile lif morfolojisinde bozulmalar gözlemlendiği belirtilmiştir. PVA polimeri ile yapılan çalışmalarda, iğne-toplayıcı arası mesafenin lif çapına etkisi ile ilgili, mesafenin artması ile lif çapında küçük azalmalar gözlemlendiği belirtilmiştir. Düşük mesafelerde, düşük konsantrasyonlardaki çözeltilerle çalışılırken, boncuk oluşumunun arttığı ve bu boncuklanmanın azaltılmasının da mesafenin arttırılarak sağlanabildiği belirtilmiştir. SEM görüntülerinin analizi sonucunda elde edilen bilgilere göre, mesafenin lif çapına etkilerinin oldukça sınırlı olduğu, minimum ve maksimum lif çapları arasındaki değer 23nm olduğu söylenmiştir.

Çetiner ve ark. (2010) yaptıkları elektrolif çekimi üzerine yaptıkları çalışmada Polipirole (PPy) polimerini kullanmışlardır. PPy`nin yüksek iletkenlik derecesi nedeni ile nanolif üretimi için en uygun polimerlerden biri olduğunu fakat esnekliğinin ve mukavemetinin sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple başka polimerlerle kompozit olarak kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Nanolifin tekstil uygulamalarında sıkça kullanılan poliakrilonitril polimerini seçmişler ve çalışmalarında PPy ve PAN kompoziti kullanmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, çözeltide kullanılan PPy oranının artması ile lif çapının azaldığını, bu durumun da çözeltinin iletkenliği ile ilişkilendirildiğini belirtmişlerdir. Kullanılan polimer çözeltisinde iletkenlik arttıkça lif çapının küçüldüğünü bu sebeple yüksek iletkenlik değerine sahip olan polimerlerle çalışmanın daha küçük lif çapları ile sonuçlandığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada 140-340nm çapları arasında nanolif elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Uçar ve ark. (2010) elektrolif çekim prosesi ile elastomerik polimerlerden nanoyüzeyler elde etmeyi hedefledikleri çalışmalarında, lif morfolojisini ve çapını etkileyen birçok faktör olduğunu, çözelti konsantrasyonu, viskozitesi, iletkenliği, polimer molekül ağırlığı, ortam sıcaklığı ve nemi, uygulanan voltaj, solüsyon besleme hızı, toplayıcı malzemesi ve toplayıcı



tipinin bunlardan bazıları olduğunu söylemişlerdir. Deneysel çalışmalarında 3 farklı elastomerik polimer kullanmışlar ve voltaj, mesafe, besleme hızı parametrelerini değiştirerek lif morfolojilerini ve çap değişimlerini analiz etmişlerdir. Viskozitenin artması ve buharlaşma sıcaklığının yükselmesi ile elde edilen liflerin çapında artma olduğunu belirtmişleridir. Deneysel çalışmaları sonucunda elde ettikleri istatistiksel verilere göre, elektrolif çekim işleminde voltaj değişiminin mesafe ve besleme hızındaki değişimlere göre daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çözücü olarak tolien kullandıklarında, çok iyi sonuçlar elde edemediklerini ve bunun da tolüenin düşük dielektrik katsayısından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Tolüen yerine Cyclohexane kullandıklarında elektrolif çekim prosesinin daha kolay gerçekleştirilebildiğini ve bunun da Cyclohexane`ın düşük kaynama noktasına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Buna dayanarak çözücünün de önemli bir proses parametresi olduğunu söylemişlerdir.

Üstün (2011) elektrolif çekim yöntemi ile oluşturulan nanoyüzeylerin filtrasyon uygulamalarında kullanımına yönelik yaptığı çalışmada, PVA ve PAN polimerlerini kullanarak çeşitli yüzeyler elde etmiş ve sistem parametrelerinin lif çapına etkilerini incelemiştir. PVA polimeri ile yaptığı çalışmada, genel olarak konsantrasyon arttıkça lif çapının arttığını, düzgün lif elde edebilmek için belirli konsantrasyon aralıklarında çalışmak gerektiğini belirtmiştir. Çözelti konsantrasyonu çok düşük olduğunda ya da gereğinden yüksek olduğunda nanolif elde edilemediğini belirtmiştir. Uygulanan voltaj değerinin PVA polimeri üzerine etkilerinin belirsiz olduğunu, bazı durumlarda voltajın artması ile lif çapının azaldığını fakat bazı durumlarda da arttığını belirtmiştir. PAN polimeri ile yaptığı çalışmada ise; voltaj, iğne toplayıcı arası mesafe ve polimer konsantrasyonun lif çapına etki eden parametreler olduğunu söylemiş, genel olarak konsantrasyon artışının lif çapını arttırdığını mesafe artışının ise lif çapını azalttığını belirtmiştir.

Gemci ve ark. (2011) elektrolif çekim prosesinde, voltajın lif çapına etkilerini araştırdıkları çalışmalarında Polivinilbütiral (PVB) polimeri kullanmışlar ve deneylerinde voltaj haricinde tüm parametreleri sabit tutarak, farklı voltaj değerleri ile yüzeyler üretmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, uygulanan voltajın PVB polimerinden üretilen nanoyüzeyler üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Proses sırasında uygulanan voltajın artması ile ortalama lif çapının arttığını fakat minimum ve maksimum lif çapları arasındaki farkın da arttığını belirtmişlerdir. Voltajın belli bir değere kadar artması ile lif çapındaki istikrarın arttığını fakat voltaj değeri optimum noktayı geçtikten sonra lif çapındaki düzensizliğin tekrar arttığını belirtmişlerdir.

Schueren ve ark. (2011) medikal alanlarda sıklıkla kullanılan Polikaprolaktan (PLC) polimeri ile elektrolif çekim yöntemini kullanarak nanolif üretmişlerdir. PLC polimeri için genellikle kloroform kullanıldığını fakat kloroformun lif yüzeylerinde boncuklanma problemine neden olduğunu ve mikro skalada üretimle sonuçlandığını belirtmişlerdir. Bu sebeple kendi çalışmalarında, PLC polimeri için çözücü olarak formik asit/asedik asit karışımı kullanmışlardır. Bu şekilde kloroformun çözücü olarak kullanıldığı üretime kıyasla 10 kat daha küçük çapta lifler üretebildiklerini belirtmişlerdir. Asedik asit oranının artırılması ile çözeltinin iletkenlik değerinin arttığını, bu şekilde daha düşük lif çaplarına ulaşıldığı belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, konsantrasyon oranının düşmesi ile ortalama lif çapında düşüş olduğunu ve nemliliğin de çapa etki eden parametrelerden birisi olduğunu belirtmişlerdir.

Şener (2011) elektrolif çekim yöntemi ile Sodyum Alginat ve mısır nişastası içeren nanolif elde etme etki eden faktörleri incelemiştir. Sodyum Alginat ve mısır nişastasından lif elde edebilmek için bu çözeltiler farklı konsantrasyonda PVA çözeltileri ile karıştırılıp, nanolif çekimi için uygun hale getirilmiştir. Uygulanan voltaj, besleme hızı, besleme ucu-toplayıcı plaka arası mesafe değerleri sabit tutulurken, çözeltilerin konsantrasyon değerleri değiştirilmiştir. Çözeltilere farklı oranlarda eklenen PVA'nın çözelti iletkenliğine etki ettiği, buna bağlı olarak çözeltilerin elektrik iletkenliğinin belli değerlerin altına düşmesi ya da üzerine çıkması durumunda, nanolif elde edilemediğini belirtmişlerdir. Çözeltilere PVA eklenmesi ile değişen viskozite değerlerine bakıldığında, birbirinden çok farklı sonuçlar görüldüğü ve viskozitenin etkisi ile alakalı bir genelleme yapılamadığı belirtilmiştir. İki farklı polimere, farklı oranlarda PVA eklenmesi ile benzer viskozite değerlerine yaklaşılmış olursa da birisinde lif elde edilebilirken, birisinde lif elde edilemediği belirtilmiştir. Bu durumda, nanoyüzey eldesinin polimer cinsi ile yakından bağlı olduğu, viskozitenin polimer çözeltilerinden nanolif elde etmede etkili bir parametre olduğu ancak bu etkinin neye göre ya da ne oranda etki ettiğinin tam olarak belirlenemediği, bunun için daha çok çalışma yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Yener ve ark. (2011) elektrolif çekim yönteminde, moleküler ağırlığın ve konsantrasyonun nanolif morfolojisi üzerine etkilerini incelemek için yaptıkları çalışmada, PVB polimerini kullanmışlardır. Moleküler ağırlığı 60.000 ve 75.000 g/mol olan iki farklı PVB polimeri kullanmışlar ve farklı konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlamışlardır. Bu çözeltiler üzerinde yaptıkları iletkenlik ve yüzey gerilimi ölçümlerine göre, yüzey gerilimi ve iletkenlik değerlerinin konsantrasyona göre büyük ölçüde değişmediğini, iletkenlik değerinin düşük

moleküler ağırlıktaki PVB`de daha yüksek olduğunu ve buna bağlı olarak daha iyi çekim performansına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Viskozite ile alakalı olarak, yüksek moleküler ağırlığa sahip olan polimerin daha yüksek viskozite değerlerine sahip olduğunu ve artan konsantrasyon değerleri ile viskozitenin arttığını belirtmişlerdir. Düşük viskoziteli çözeltilerden elde ettikleri liflerde boncuklu yapılara rastlamışlar, daha yüksek viskoziteye sahip çözeltilerden elde ettikleri liflerde daha düzgün ve daha büyük çaplarda lifler elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen liflerin çapları 128nm-1027nm arasında oluştuğunu belirtmişlerdir. Yüksek moleküler ağırlığa sahip PVB ile elde edilen liflerin çaplarının daha büyük olduğunu belirtmişlerdir, 60.000g/mol moleküler ağırlığa sahip PVB ile 128nm-611nm çaplarında lifler elde edilirken, 75.000g/mol moleküler ağırlığa sahip olan PVB ile elde edilen liflerin çapları 580nm-1027nm arasında olmuştur. Her iki polimerde de, konsantrasyon yükseldikçe lif çapının yükseldiğini, düşük viskozitenin lifler üzerinde boncuklu yapıya neden olduğunu söylemişlerdir.

Sarлак ve ark. (2012) elektrolif çekim proses parametrelerinin Titanyumdioksit ( $TiO_2$ ) nanolifinin çapına etkilerini araştırmak için yaptıkları çalışmada, çözelti konsantrasyonunun, viskozitenin, iğne toplayıcı arası mesafenin, uygulanan voltajın ve besleme hızının lif çapına etki ettiği belirtilmişlerdir. Ayrıca pH derecesinin de lif çapına dolaylı olarak etki ettiğini söylemişlerdir. Bu parametreler içinde en etkin olanın konsantrasyon değeri ve çözücü olarak kullanılan Polivinilpirolidan (PVP) oranı olduğu, konsantrasyon artışı ile lif çapının arttığı, uygulanan voltajın artırılması ile lif çapının azaldığı, çözeltinin pH değerinin viskozite ile ilişkili olduğu, pH değerindeki küçük bir düşüşün viskozitede büyük bir artışa sebep olduğu bunun da lif çapını etkilediği belirtilmiştir. Proses sırasında uygulanan besleme hızının lif çapına kayda değer bir etki etmediği söylenmiştir.

Cramariuc ve ark. (2013) “Elektrolif çekim prosesinde lif çapı” isimli çalışmalarında, bu proste lif çapı üzerindeki kontrolü arttırmayı amaçlamışlar, besleme hızı ve uygulanan voltaj tarafından lif çapının önceden tahminlenebileceği ve proses üzerindeki kontrolün artabileceğini söylemişlerdir. Lif çapının voltaj ve besleme hızı ile olan bağlantısını açıklamak için, literatürde bulunan denklemlerden yararlanmışlardır. Literatürde polimer jeli için tanımlanan denklemlerden bir kombinasyon oluşturmuşlardır. Bu denklemde; lif çapı ile polimerin kinematik viskozitesi, iğne ve toplayıcı arasındaki mesafe, çözelti yoğunluğu, besleme hızı, akım ve elektrik alanın şiddeti ilişkilendirilmiştir. Geniş mesafelerde lif çapının, çözelti yoğunluğu, besleme hızı, elektrik alanın şiddeti ve iğne toplayıcı arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak ifade edileceğini söylemişlerdir. Toplayıcı plaka ile iğne arasındaki

mesafe azaldığında ise lif çapının; polimer solüsyonun yüzey gerilimi, dielektrik katsayısı, çözeltinin akışkanlığı ve elektrik alan şiddeti ile ilişkilendirilebileceğini belirtmişlerdir. Bu matematiksel ifadelerden yola çıkarak, lif çapının kontrolü için 2 parametre (voltaj ve viskozite) üzerinde durulmuş ve bu parametreler ile lif çapı stabil tutulmaya elektrolif çekim prosesi üzerindeki kontrol artırılmaya çalışılmıştır. %4'lük PEO (polietilen oksit) ile etanol/su (4/6) çözeltisi kullanarak yaptıkları deneyde besleme hızının lif çapına olan etkisini incelemişler, besleme hızını 1-4ml/saat arasında değiştirmişler ve besleme hızının artması ile lif çapının da doğrusala yakın bir artış gösterdiğini söylemişlerdir. Deneysel çalışmada elde edilen lif çapları 292nm-1168nm arasında değişim göstermiştir. Bu sonuçlar, teorik modelleme ile karşılaştırıldığında birbiri ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. Voltajın lif çapına olan etkisini belirlemek için yapılan çalışmada, deneysel sonuçlardan elde edilen lif çapının 2193nm-973nm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Voltajın lif çapına etkileri, teorik modelleme ile karşılaştırıldığında farklılık gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlarda; 2193nm/973nm=2,25 olan oran, teorik modelleme de 415nm/332nm=1,25 olmuştur. Bu değişim, elektrik alan şiddetinin stabil olmayışı ve iklimlendirme şartlarının farklılığına bağlanmıştır. Aynı şekilde deneysel sonuçlarla belirlenen akım değerleri de, teorik modellemenin akım değerleri ile örtüşmemektedir.

Kong ve Ziegler (2013) nişastadan elde edilen nanoliflerin çaplarını araştırdıkları çalışmalarında lif çapının bir çok potansiyel uygulama için anahtar parametre olduğunu belirtmişlerdir. Elektrolif çekim parametreleri ile lif çapı arasındaki niceliksel ilişkiyi belirlemek amacı ile amprik bir modelleme yapmışlar ve solüsyon konsantrasyonu, uygulanan voltaj, iğne toplayıcı arasındaki mesafe ve besleme hızı gibi işlem parametrelerinin lif çapı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu parametreleri değiştirerek yaptıkları çalışmalarda, çoğunluğu oldukça düzgün yüzeyler elde etmişler fakat  $\mu\text{m}$  boyutlarında çaplar ölçmüşlerdir. Yaptıkları modellemede en düşük lif çapının 3.98 $\mu\text{m}$  olarak kaydetmişlerdir. Polimer konsantrasyonun, voltaj ya da mesafeye göre, lif çapını daha çok etkilediğini belirtmişlerdir. Voltajın mesafeye olan oranının ve polimer konsantrasyonun mesafeye olan oranın lif çapı hakkında önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1 Nanolif Üretim Yöntemleri**

Çözelti ya da eriyikten üretilen liflerde kullanılan konvansiyonel teknikler, eriyiğin ya da çözeltinin bir düzeden geçirilmesini ve katılaştırılmasını sağlama esasına dayanmaktadır. Fakat bu yöntemlerle nanoliflerin üretilmeleri mümkün olmamaktadır. Bunun sebebi ise konvansiyonel lif üretim metotlarında kullanılan düze çapının nanolifleri üretebilecek kadar küçültülmesinin olanaksız olmasıdır (Yıldırım ve ark. 2004). Günümüzde nanolif üretimi: Fibrilasyon, meltblowing, bikomponent, spunbond ve elektrolif çekim yöntemleri kullanılmak suretiyle gerçekleştirilebilmektedir (Süpüren ve ark. 2007).

#### **2.1.1. Fibrilasyon Yöntemi**

Selüloz gibi lineer hücreli yapıya sahip liflerin nano boyutlu daha ince lifçikler halinde fibrilasyonu işlemidir. Çözünme, jelleşme, farklı çözücüler kullanarak üretim, dondurma ve nano gözenekli köpük oluşturacak şekilde kurutmayı içerir. Bu işlem zaman alıcı bir süreçtir. Bu teknikle üretilen lifler orta düzeyde mukavemet özelliklerine sahip olmalarına rağmen, boyut ve oluşumda büyük değişiklikler gösterirler. Lyocell liflerinin üretim koşullarının son derece kritik olmasından dolayı, bu teknikte başarılı olma olasılığı son derece azdır (Kozanoğlu 2006). Fibrilasyona uğrayan selülozik liflerden ince, hidrofil yapıda yüzeyler elde edilir. Bu yüzeyler mikrobiyolojik alanda, filtrelerin üretiminde, kağıt yapımında kullanılırlar (Yener 2010).

#### **2.1.2. Meltblown Tekniği ile Nanolif Üretimi**

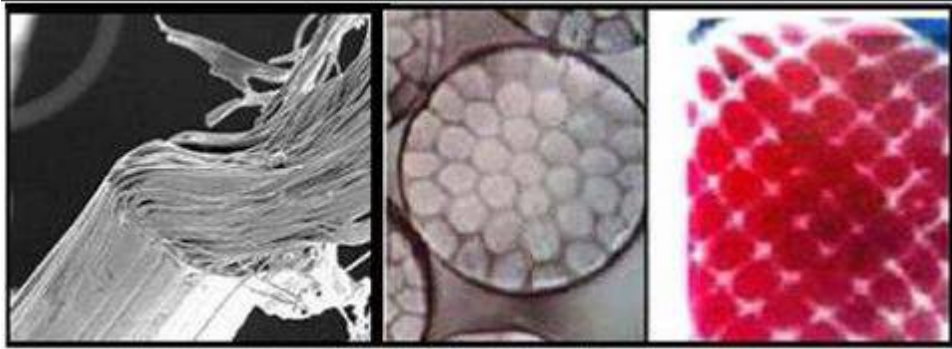
Meltblown prosesi, az miktarlarda lif üretimi için kullanılan yaygın bir yöntem olarak kullanılsa da teorik olarak 0.5 ile 30 µm, pratik olarak ise 2-7 µm çaplarında lif üretmek mümkündür. Meltblown tekniğinde yüksek hızlı sıcak hava ile filamentler düzelerden fibrilli bir tülbent oluşturmak üzere çekim işlemine tabi tutulurlar. Bu teknolojiye termoplastik lifler kullanılmakla beraber yaygın olarak PET, PP, ve PA6 kullanılır. Polimer cipsleri öncelikle bir ekstrüdere beslenirler burada sıvı hale gelen polimer çeşitli filtrelemelerden geçtikten sonra pompa yardımıyla karıştırıcı bölgede homojenlik sağlamak için iletilir. Bu sistemin normal eriyikten üretim sisteminden farkı düze bölümüdür. Bu sistemde düze enine uzunlukta

yaklaşık olarak 1,5-3,0m arasında bir ene sahiptir. Ayrıca düzeden polimer geçirilirken yüksek basınçta sıcak hava üflenerek düzeden çıkan filamentler inceltir ve hareketli bant üzerine dökülür. Filamentler taşıyıcı bantta uzunlamasına serilirler ve daha sonra kalender silindirlerinden geçirilerek levende sarılırlar (Kozanoğlu 2006).

Meltblown işleminden çıkan ürünler; rastgele bir elyaf oryantasyonuna sahip olması, yüksek şeffaflıkla birlikte örtücülük özelliği, yüksek yüzey alanına sahip olmasından dolayı iyi yalıtım ve filtrasyon özelliği, üretilen kumaşların lif çapları ile doğru orantılı olarak gramajlarının düşük olması gibi birçok özelliklere sahiptirler (Yener 2010).

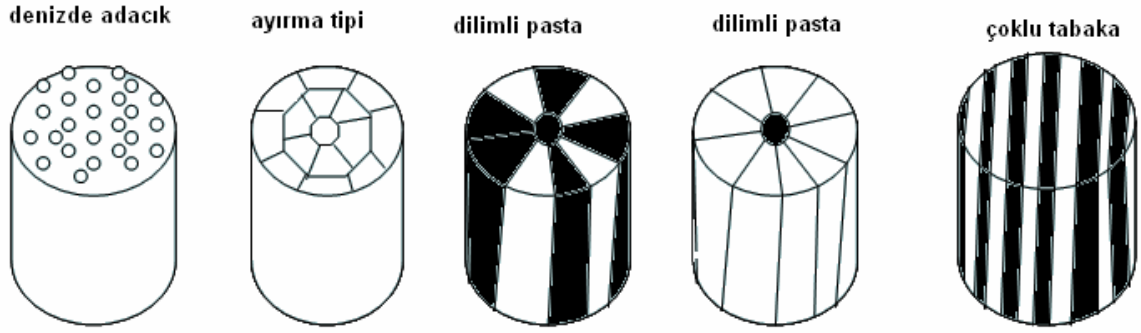
### 2.1.3. Bikomponent Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Bikomponent lif, aynı lifi oluşturacak iki farklı polimerin aynı düze deliğinden akıtılarak elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Bikomponent lifler genel olarak kesit şekillerine göre içi-içe, yan-yana, denizde adacık ya da dilimli pasta bikomponent lifler olarak sınıflandırılırlar (Üstün 2011).



**Şekil 2.1.** Bikomponent lifler (Süpüren ve ark, 2007)

Üzerinde en çok çalışılan yaklaşım ise standart bir üretim-çekim işlemi ile deniz-adacık tipi bikomponent liflerin üretimidir. Şekil 2.1.'de solda görülen, 600 adet "ada" lifinden oluşan yapı görülmektedir. Sağdaki şekilde ise deniz ada yapısındaki bikomponent liflerin kesit görünümü verilmiştir. Bu teknik ile üretilen nanolifler, ticari uygulamalar için ekonomiktirler. Elektrolif çekimi ve meltblown yönteminden farklı olarak, bu teknolojiyle üretilen nanolifler daha dar çap değişim aralıklarına sahiptirler (Kozanoğlu 2006).

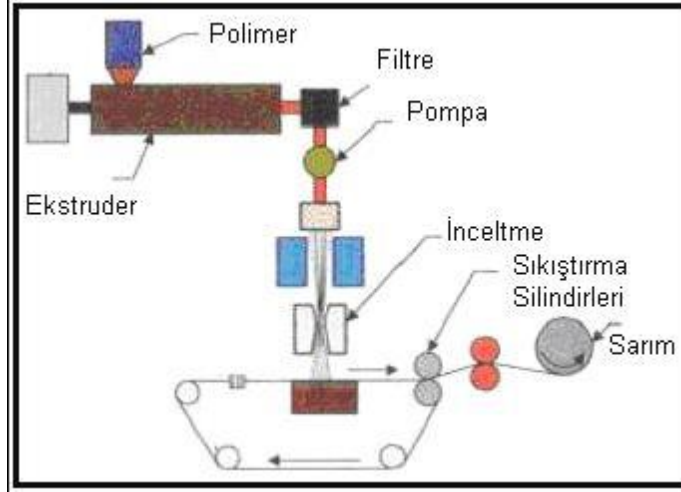


**Şekil 2.2.** Bikomponent üretim yöntemiyle üretilmiş liflerin kesit ve boy görüntüleri  
(Kozonoğlu 2006)

Denizde adacık modelinde iki ayrı polimer özel yapılmış düzelerden geçirilerek içyapıdaki polimer fibrilli bir şekilde dış polimerin içine yerleşir. Genelde adacıkların sayısı 100 ile 600 arasında değişmektedir. Filament üretildikten sonra klasik yöntemlerle kumaş veya iplikler oluşturulur. Daha sonra dış ya da deniz olarak adlandırılan polimer uygun çözücünde çözülür. Adacıklar ya da fibrillerin çapları nanometre seviyelerine kadar inebilmektedir. Bu konuda Hills Şirketi'nin birçok çalışması vardır (Süpüren ve ark. 2007).

#### 2.1.4. Spunbond Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Spunbond yöntemi, meltblowing yöntemi ile teknik olarak çok benzemektedir. Ana farklılıklar, filamentleri inceltmek için kullanılan havanın hacmi ve sıcaklığı ile ilgilidir. Bu farklılıklar, sonuçta oluşan liflerin fiziksel özelliklerini de doğrudan etkilemektedir. Meltblowing metodunda yüksek miktarda hava kullanılmaktadır. Böylece hava akımı ile lifler gerdirilmekte ve inceltilmektedirler. Spunbond yönteminde ise polimer soğuyup katılaştığında germe uygulanmaktadır. Yani üretimleri sırasında liflere bir germe etki etmemektedir. Bu sebeple üretilen lifler daha kalındır. Lif çapları spunbond prosesi ile elde edilen liflerde 20 mikrona kadar çıkabilirken, meltblown prosesi ile elde edilen liflerde bu değer 2 mikronu pek geçmemektedir (Süpüren ve ark, 2007). Şekil 2.3'de spunbond yöntemi şematize edilmektedir.



**Şekil 2.3.** Spunbond yönteminde üretim akışı (Süpüren ve ark. 2007)

### 2.1.5. Elektrolif Çekim Yöntemi (Electrospinning)

Elektroüretim, çok küçük debilerde viskoz sıvılara kilovolt boyutunda gerilim vererek akışkanı nano boyutlu liflere dönüştürme işlemidir. Bu uygulamalarda viskoz sıvı olarak polimer çözeltisi veya eriyiği kullanılmaktadır. Düzgün debide tıbbi şırınganın ucuna gelen çözelti, yüzey gerilimleri etkisi altında küresel bir damlacık oluşturur ve burada elektriksel kuvvetlerin etkisinde, konikleşerek (Taylor konisi) belli mesafedeki topraklanmış toplayıcıya nanolif olarak aktarılır. Çözeltiden elektroüretim sistemleri bu şekilde basitçe kurulabilirken eriyikten nanolif elde etmek için sistem bu denli basitleştirilememektedir. Çünkü polimer granüllerinin, uygun viskozitede akışkan haline gelmesi için belli sıcaklıklarda eritilmeleri gerekmektedir (Kozonoğlu 2006).

Elektrolif çekim işleminin temel prensibi, elektrostatik kuvvetler kullanılarak polimer çözeltisinin üzerindeki viskoelastik ve yüzey gerilim kuvvetlerinin yenilerek çözülden çok ince fibril yapılar oluşturulmasıdır. Oluşan bu yapılar nanoboyutlarda çaplara sahip liflerin oluşturduğu ağimsı yapılardır. Elektrolif çekim yönteminde, çekimini gerçekleştireceğimiz polimer, uygun bir çözücüde çözülür veya ısıtma işlemine tabi tutulup eritilerek bir ucunda küçük bir delik bulunan bir pipetin veya şırınganın içerisine yerleştirilir. Bu pipet/şırınga ile belirli bir mesafede bulunan liflerin toplanmasında kullanılan metal toplayıcı plaka arasında yeterli derecede gerilim uygulanarak bir elektrik alan oluşturulur (Erkan ve ark. 2005).

Uygulanan gerilim yavaş yavaş artırılarak elektrostatik kuvvetlerin polimer damlacığındaki yüzey gerilimi ve viskoelastik kuvvetleri yenmesi beklenir. Uygulanan voltaj kritik değere



ulaştığı anda jet oluşumu başlar, jet toplayıcı plakaya doğru hızla uzar ve inceliyor ayrış. Böylece nano boyutlarda lif üretimi gerçekleşmeye başlar. Lif çapının düşmesinde çözücü moleküllerin uçarak buharlaşması da etkilidir (Kozanoğlu 2006) .

Elektro üretim işlemi yeni bir teknoloji değildir. Bu işlem 1600'lü yıllarda, William Gilbert'in manyetizma üzerine çalışmalarını sürdürürken tesadüfi bir şekilde elektro-manyetizmanın sıvılar üzerine etkisini gözlemlemesiyle ortaya çıkmıştır. Çalışmasında bir su damlasını elektriksel olarak kuru bir yüzeyden belli bir mesafede, bir koni biçiminde çekildiğine işaret etmiştir. İşte bu elektro sprej ve elektro üretim işleminin tarihinin başladığı noktadır (Kozanoğlu 2006).

1882'de Rayleigh, elektrik yüküne sahip damlaların elektro-üretim sırasında gösterdiği düzensiz hareketler üzerinde çalışmıştır. Rayleigh yalıtılmış bir yüklü damlacığın kararlılığı üzerine teorik bir çalışma yapmış ve yükün, kararlılığı sağlayan yüzey geriliminin üstünde bir değer aldığı anda damlacığın kararsız bir hale geldiğini ve parçalanmanın gerçekleştiğini tahmin etmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre; damla üzerine etkiyen iki kuvvetten biri elektrik kuvveti, diğeri ise elektrik kuvvetine tam zıt yönde damlayı etkileyen yüzey gerilimi kuvvetidir. Elektrik kuvveti yüzey geriliminden kaynaklanan kuvveti yendiği anda ise damla ince jetlere ayrılarak akmaya başlar. Aynı zamanda damlanın düze ucundan çıkması için gerekli maksimum yükü de hesaplamıştır. Bu olay için kritik nokta denklemini ise aşağıdaki şekilde vermiştir.

$$q^2 = 64 \pi^2 \epsilon_0 \gamma a^3 \quad (2.1)$$

Burada; q: damla üzerindeki yük,  $\epsilon_0$ : serbest uzayın iletkenlik sabiti,  $\gamma$ : damlanın yüzey gerilimi, a: damlanın çapıdır (Andrady 2008).

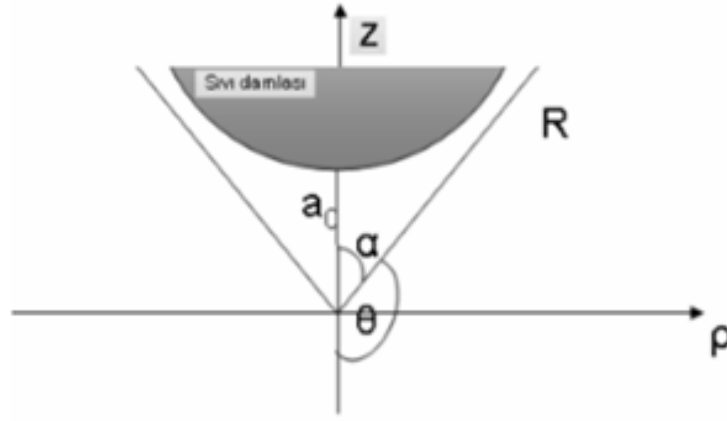
1914 yılında Zeleny, damla ucundaki elektrik yükü yoğunluğunu basınçlı sıvı kolonunun yüksekliğine bakarak tespit etmiştir. Burada, elektrik yüklü damla ucunun elektrik alan sayesinde mekanik bir kuvvet uygulayarak sıvı kolonunu yükselteceği varsayılmıştır. Ayrıca, Zeleny damla ucunda meydana gelen deformasyonları da incelemiş ve 1915 yılında da damladan jete geçiş durumunu incelemiş ve Rayleigh ile aynı sonuçları elde etmiştir. Düşük moleküler ağırlığa sahip bir sıvı kullanarak püskürme olayını fotoğraflarla desteklemiştir. Bu fotoğraflardan anlaşılan ise alkole göre daha yüksek bir yüzey gerilimine sahip olan suyun damladan jete geçiş konumuna gelebilmesi için alkole nazaran daha yüksek bir gerilime ihtiyaç duyduğudur. 1917 yılında ise Zeleny, ilk defa elektriklenmiş sıvı yüzeylerinin hızlı

elektro-hidrokinamik çarpmasını gözlemlemiştir. Gözleminin sonucunda oluşan spreyin çözücünün yapısının, yüksek voltajın ve borunun ucundaki sıvı basıncının bir fonksiyonu olduğunu belirlemiştir (Kozanoğlu 2006).

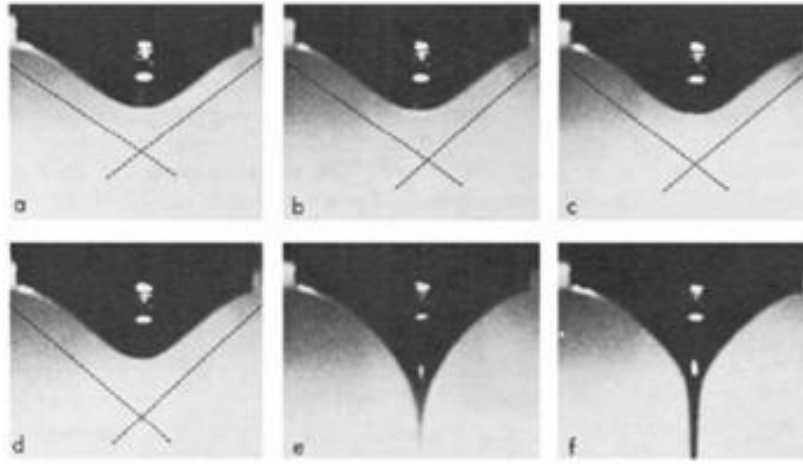
Elektro üretim yöntemiyle lif üretimi hakkındaki ilk patent 1934 yılında Anton Formhals (US Patent, 1-975-504) tarafından alınmıştır. Formhals'ın icadı sıvılar üzerinde elektrik alan kullanımı ile suni ve sentetik filament üretiminin bir tasarımıdır. Formhals polimer filamentlerinin üretimi için elektrostatik kuvvetin kullanıldığı bir sistem geliştirmiştir. Selüloz asetatın polimer çözeltisi elektrik alanına maruz bırakmıştır. Çözelti, selüloz asetatın etilen glikol de çözünmesiyle hazırlanmıştır. Zıt kutuplara sahip elektrotlar arasında yol alan polimer çözeltisinden filamentler elde etmiştir. Elektrotlardan biri çözeltinin içerisine konurken diğeri de hareketli toplayıcıya monte edilmiş, elektrik yüklü lifler hareketli plaka üzerinde toplanmıştır. Bu işlem için gerekli gerilim çözeltinin yapısına bağlı olduğu ve bu yapıyı esas olarak polimerin moleküler ağırlığı ve viskozitesinin belirlediğini belirtmiştir. Küçük deliklere sahip şırıngalar metal alaşımları delerek elde etmiş ve şırınga uçlarının şekillerini, düzensiz akış problemlerini engelleyecek şekilde tasarlamıştır. Bu uçlar üniform, hafif eğimli ve yuvarlak çapraz kesitlere sahiptir.

1939'da sistem, şırınga ile toplayıcı arasındaki mesafenin ayarlanabildiği bir şekilde tekrar tasarlandı. Çünkü mesafe kısa tutulduğu takdirde çözücünün tam olarak buharlaşmaması sebebiyle lifler birbirlerine ve plakaya yapışma eğilimi göstermekteydi. Hareketli toplayıcı plaka sayesinde liflerin tamamen kurummasına imkân tanıyacak mesafe sağlanabiliyordu.

1960'lı yıllarda Taylor tarafından yapılan çeşitli çalışmalarda, elektriklenmiş sıvıların temel teorik prensipleri açıklanmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesinde, 2 sıvı arasındaki koni ara yüzün elektrik alan içerisinde dengede olduğu gösterilmiştir. Elektrik alan etkisi altında sıvı yüzeyi yüklenir ve karşılıklı yüklerin birbirlerini itmesi ile dış bir kuvvet oluşur. Eşik değerini geçtikten sonra elektrostatik kuvvetle, sıvı damlacığı bir koni şeklini alır ve fazla yükler koninin ucunda oluşan yüklenmiş jetten dışarı çıkar. Taylor, elektriksel kuvvetin yüzey gerilimine eşit olduğu bu kritik noktada koni oluştuğunu ve bu koninin yarım açısını  $49.3^\circ$  olduğunu tahmin etmiştir. Şekil 2.4'de Taylor konisi gösterilmiştir. Bu tahminleri yaptığı deneylerle uygunluk göstermiştir. Maksimum kararsızlık halindeki kritik voltaj ( $V_c$ ) değerinin denklemi, Taylor tarafından 1969'da verilmiştir (Kozanoğlu 2006). Bu denkleme ilerleyen bölümlerde yer verilmiştir.



**Şekil 2.4.** Taylor Konisinde Oluşan Yarı Konik Açısı (Kozonoğlu 2006)

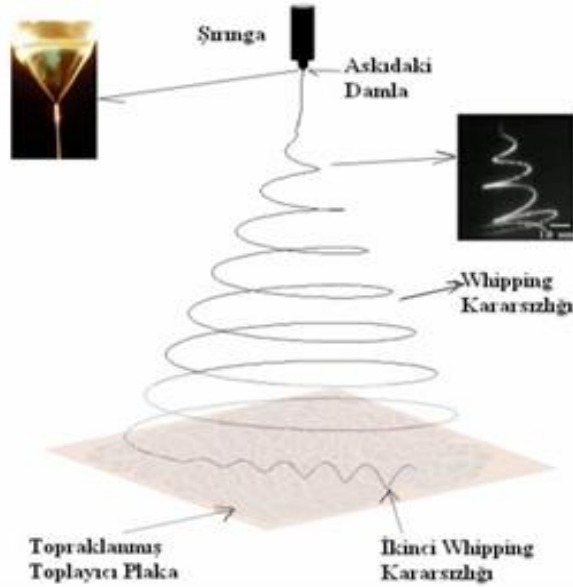


**Şekil 2.5.** Kılcal Boru ucundaki damlanın artan voltaj etkisiyle koni şeklini alması(a,b,c,d) ve jetin fişkırması(e,f) (Şener 2011)

Polimer damlası Taylor konisi halini aldıktan sonra voltajdaki kritik voltaj değerinin aşılmasıyla birlikte koni ucundan bir jet fişkırır. Jet, toplayıcı levha ile iğne ucu arasında ilerlerken farklı yollar izler. Yüklenen jet Taylor konisinden çıktıktan sonra belli bir mesafede kararlı bir şekilde hareket eder. Daha sonra jette kararsızlık hali belirir. Kullanılan polimer çözeltisi veya eriyiğinin özelliğine ve sistem değişkenlerine bağlı olarak değişebilen üç kararsızlık hali mevcuttur. Jet, bu kararsızlık hallerinden sadece birini gösterebileceği gibi üç kararsızlık halini de gösterebilir. Bu kararsızlık halleri; klasik Rayleigh kararsızlığı, eksensel simetrik elektrik alan akımlanması ve Whipping kararsızlığı olarak Shin ve arkadaşları tarafından açıklanmış ve matematiksel olarak modellenmiştir (Şener 2011).

Elektroüretim işleminde en çok görünen kararsızlık hali whippingdir. Whipping oluşumunun nedeni, jet yüzeyindeki yüklerin karşılıklı olarak birbirlerini itmesi ile meydana gelen

merkezden radyal bir şekilde tork oluşmasıdır. Jet toplayıcı plakaya yaklaştığında ise ana jetten ayrılan küçük jetler meydana gelir. Bu küçük jetlerin oluşmasının nedeni ise radyal yüklerin birbirini itmesi sonucu ana jetten ayrılması olarak izah edilmiştir. Jet yeterince incelindiğinde ve viskoelastik kuvvetler yeterince sönümlendiğinde yeni whipping kararsızlıkları oluşur. Bu kararsızlık haline ikinci Whipping kararsızlığı denir (Kozanoğlu 2006). Bu olay Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



**Şekil 2.6.** ElektroÜretimde Whipping Kararsızlığı ve Taylor Konisi (Kozanoğlu 2006)

Elektro üretim işlemi sırasında polimer çözeltisi veya eriyiği üzerine beş kuvvetin etki etmekte olduğu belirtilmektedir. Bu kuvvetler damlacığı bir jet haline getirip, yüksek bir ivmeyle toplayıcıya taşımaktadır. Bu kuvvetler aşağıda gösterilmiştir (Kılıç 2008).

$$F_t = F_E + F_c + F_{ve} + F_{cap} + F_g \quad (2.2)$$

$F_E$  elektrik alanın oluşturduğu çekim kuvvetidir. Bu kuvvet yüklü damlacık ve düze ile topraklanmış toplayıcı arasındaki elektrik alan kuvvetlerinin bileşkesidir, damlacığı toplayıcıya doğru çeker. Denklemi ise aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$F_E = (4\pi\epsilon V^2) / [\ln(4L/R)]^2 \quad (2.3)$$

$\epsilon$  dielektrik sabiti,  $V$  uygulanan voltajdır,  $L$  iğne-toplayıcı plaka arası mesafe,  $R$  ise damlacığın yarıçapıdır.

$F_c$ ; Damlacığın kendi içerisindeki Coulomb itme kuvvetidir. Bu kuvvet damlacığın kendi içinde itme kuvvetleri oluşturur. Denklemi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$F_c = e^2/l^2 \quad (2.4)$$

Burada;  $l$  damlacık içindeki iki parçacık arasındaki mesafedir. Bu kuvvet parçacıkların birbirini itmesini sağlayarak jetin uzamasını sağlar.

$F_{cap}$ ; yüzey gerilim kuvvetidir. Bu kuvvet damlayı ve jeti sabitlemek isteyen kuvvet olup jetin uzamasını engeller.

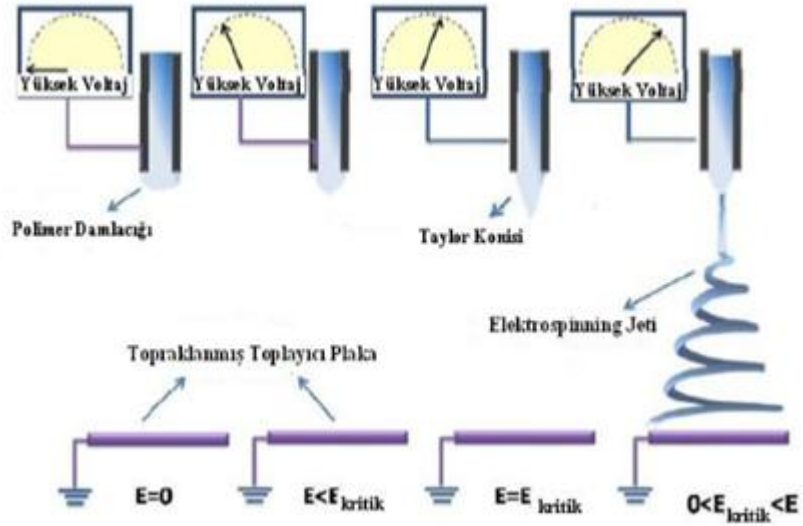
$F_{ve}$ ; viskoelastik kuvvettir. Bu kuvvet polimer jetinin uzamasına ve akmasına engel olur. Polimer zincirlerinin arasında oluşan sürtünme kuvvetleri de denilebilir.

$F_g$ ; yerçekimi kuvvetidir. Damlacığın toplayıcıya ulaşması için, elektro üretimin yönüne göre artı ya da eksi etkiye sahiptir (Kılıç 2008).

$$F_g = \rho \pi r^2 g \text{ olarak ifade edilir.} \quad (2.5)$$

Burada;  $\rho$  çözelti yoğunluğu,  $g$  yerçekimi sabitidir.

Özetle, yüksek gerilim sağlayan güç kaynağının artı ucu şırınganın metal olan ucuna bağlanırken, toplayıcı plaka da topraklanır. Böylece şırınga ve toplayıcı plaka arasında yüksek bir elektrik alan elde edilmiş olur. Güç kaynağı tarafından sağlanan gerilim arttırıldıkça, yeterince yüksek bir değere ulaşan elektrik alan kuvvetleri çözelti üzerindeki viskoelastik ve yüzey gerilimi kuvvetlerini yener ve polimer molekülleri bir jet halinde şırıngadan toplayıcıya doğru taşınır. Toplayıcıda biriken lifler incelendiğinde, gözle görülemeyecek derecede hızlı bir şekilde gerçekleşen bu olayla mikron altı çaplara sahip liflerin üretildiği görülecektir. Elektroüretim olayı sırasında ister jet benzer yüklerin etkisiyle ayrışma gösterebilir, ister toplamda uzun bir yörünge takip ederek incelmış bir jet olsun, sonuçta toplayıcı plaka üzerinde nanoboyutta çaplara sahip liflerin oluşturduğu ağ vardır. Bu incelme ya da ayrışma olayını çıplak gözle ayırt etmek olanaksızdır (Kılıç 2008). Şekil 2.7'de iç ve dış kuvvetler arasındaki dengenin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.7. İç ve Dış kuvvetler arasındaki dengenin şematik gösterimi (Gümüş 2009)

İlk konumda, güç kaynağı kapalı olduğundan elektrik alan kuvveti 0'dır. Daha sonra uygulanan voltaj yükseltilmeye başlandığında, elektrik alan kuvveti yükselmeye başlar. Bu sırada iğne ucunda bulunan polimer damlacığı Taylor konisi şeklini almaya başlar. Elektrik alan kuvvetinin, jetin oluşması için gereken kritik değeri aşması ile jet oluşumu gözlenir.

### 2.1.5.1. Elektrolif Çekim Sisteminin Aşamaları

Elektrolif çekim işleminin başlamasından metal toplama plakasında nanolif ağının meydana gelmesine kadar olan süreçte prosesin bazı aşamalardan geçerek gerçekleştiğinden bahsedilmiştir. Bu aşamalar;

1. Damlacık oluşumu,
2. Taylor konisi oluşumu,
3. Elektro çekim jetinin oluşumu,
4. Kararlı bölgede jetin uzaması,
5. Kararsız bölgenin oluşması,
6. Lif formunda katılaşma, olarak sıralanabilir (Üstün 2011).

## Damlacık Oluşumu

Elektrolif çekim işleminin ilk aşamasıdır. İğne ucuna beslenen polimer çözeltisi, bir damla şeklini alır. İğne ucunda oluşan damlacığa, herhangi bir elektriksel kuvvet yokken etki eden 2 kuvvet vardır. Bunlar; sıvının yüzey gerilimi ( $\gamma$ ) ve yerçekimi kuvveti  $F_g$ ' dir. Damlacığın ilk yarıçapı  $r_0$  ve oluşacak olan kılcalların yarıçapı R olmak üzere;

$$r_0 = (3R\gamma / 2\rho g)^{1/3} \quad (2.6)$$

denklemleri elde edilir. Burada  $\rho$ , sıvının yoğunluğu,  $g$  ise yerçekimi sabitidir. Damlama rejimi, düşük elektrostatik kuvvetlerde de devam edecektir. Bu süre içinde yer çekimi kuvveti ( $F_g$ ) ve elektrik kuvveti ( $F_e$ ), yüzey gerilim kuvvetini yenmeye çalışacaktır. Bu kuvvet ise aşağıda denklem ile ifade edilmiştir (Andrady 2008).

Damlacığın üzerinde taşıyabileceği maksimum yük ( $Q_R$ ) ise aşağıdaki formül ile belirlenmiştir (Andrady 2008).

$$Q_R = 8\pi(\epsilon\gamma r^3)^{1/2} \quad (2.7)$$

$|Q| > Q_R$  olduğunda ise damlanın taşıyabileceği maksimum yük aşılmış olacak ve damla daha küçük parçalara ayrılacaktır.

## Taylor Konisi Oluşumu

Elektrostatik kuvvetlerin yüzey gerilimini aştığı ve polimer eriyiğinin elektrik alan tarafından çekilmeye başladığı andan itibaren polimer damlacığı çeşitli evrelerden geçmektedir. Elektriksel alan kuvveti arttıkça sıvı polimer damlacığı yarım küre şeklinden konik şekline dönüşmektedir. Bu koniye Taylor Konisi denilmektedir. Taylor'un yaptığı teorik çalışmalar, kararsızlık durumunun başlangıcında damlanın önce uzamaya başladığını ve ardından tepe açısı  $49,3^\circ$  derece olacak şekilde bir koni oluşturmaya başladığını göstermiştir (Üstün 2011).

Bu konuyla ilgili yapılan birçok çalışma göstermiştir ki; elektro üretim işleminin başlangıcında polimer çözeltisi yüzey gerilimi sayesinde şırınga ya da kılcal boru ucunda damla şeklinde tutulmaktadır. Uygulanan gerilim belli bir değerinin üzerine çıktığında iğne ucunda Taylor konisi meydana gelmektedir. Elektrolif üretim işlemi devam ettiği sürece, Taylor konisi giderek incelerek jet halini almaktadır. Jet bir süre incelik kararlı yapıya dönüştükten sonra kararsız ayrışma bölgesine gelmektedir. Taylor bazı işlem parametrelerini

göz önüne alarak bir denklem meydana getirmiştir (Üstün 2011). Taylor konisinin jete dönüşmesini sağlayan kritik voltaj formülü aşağıda verilmiştir.

$$V_c^2 = (2L/h)^2 (\ln(2h / R) - 1,5)(0,117 \pi RT) \quad (2.8)$$

Burada, iğne ucunun toplayıcı plakaya olan uzaklığı L, uzunluğu h, yarıçapı r olan kılcal boru ucundaki T yüzey gerilimidir (Andrady 2008).

Elektrolif çekim işlemi, yüzeyde yüklerin akması ve kritik voltaj değeri aşıldığı anda çözeltinin uzaması ile meydana gelmektedir. Taylor konisi meydana geldikten sonra, giderek incelen jet kararlı bir yapıya dönüşür. Kararlı hale gelen jetin giderek incelmesiyle birlikte, çözücünün de buharlaşması jetin birim kütledeki yüzey alanının artmasına sebep olmaktadır (Andrady 2008).

### **Jet Oluşumu**

Karşı elektrota fişkırmakta olan damlacığa jet adı verilmektedir. Bu hareket esnasında çözücü buharlaşmakta ve eriyik katılarak lif formuna dönüşmektedir (Üstün 2011). Elektrolif çekim işlemi, yüzeyde yüklerin akması ve kritik voltaj değeri aşıldığı anda çözeltinin uzaması ile meydana gelmektedir. Taylor konisi meydana geldikten sonra, giderek incelen jet, kararlı bir yapıya dönüşür. Kararlı hale gelen jetin giderek incelmesiyle birlikte, çözücünün de buharlaşması, jetin birim kütledeki yüzey alanının artmasına sebep olmaktadır.

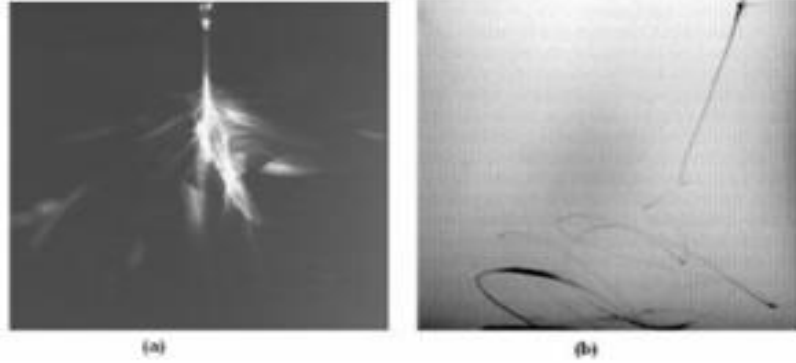
### **Kararsız Bölgenin Oluşması (Whipping Kararsızlığı)**

Polimer jeti, kararlı hale geldikten sonra tekrar kararsız bir bölgeye girmektedir. Elektrolif çekim işleminde en çok karşılaşılan whipping kararsızlığının oluşum nedeni, jet yüzeyindeki liflerin karşılıklı olarak birbirini itmesi ve bir arada olamamaları sonucunda, jette merkezden radyal bir şekilde tork oluşmasıdır. Jet toplayıcı plakaya yaklaştığında ise radyal yüklerin birbirini itmesi sonucunda ana jetten ayrılan küçük jetler meydana gelir. Oluşan küçük jetlerin kararsızlık hallerine ikinci whipping kararsızlığı denir (Üstün 2011).

Whipping olayı, çok hızlı gerçekleşen bir olaydır ve ancak çok yüksek hızlı fotoğrafıma tekniği ile gözlemlemek mümkün olmuştur. Şekil 2.9'da aynı olayın 25 fps'de (frame per second, saniyede çekilen resim sayısı) ve 4000 fps'de çekilmiş iki fotoğrafı görülmektedir. İki



fotoğraf incelendiğinde, Whipping olayının gerçekleşme şekli net olarak ayırt edilmektedir (Kozanoğlu 2006).



**Şekil 2.8.** (a)25 fps deki whipping olayının fotoğrafı (b)4000 fps deki Whipping olayının fotoğrafı (Kozanoğlu 2006)

Polimer jeti kararsız bölgede ilerlerken jet alanının artmasıyla kütle hızları da çok artmakta ve bu esnada çözelti içerisindeki çözücünün buharlaşması gerçekleşmektedir. Jetin kararsızlık bölgesinden geçtiği süreç aynı zamanda çözücünün buharlaşma hızı ile kontrol edilir. Yüksek buharlaşma hızında bir çözücü kullanıldığında whipping kararsızlığı kısa sürecek ve bu sebeple de daha kalın nanolifler elde edilecektir. Kullanılan çözücünün uçuculuğu, lif çapını kontrol etmede önemli rol oynar. Uygun bir çözücünün seçimi, uygun proses parametrelerinde ultra ince nanoliflerin elde edilmesini sağlar (Üstündağ 2009).

Whipping sırasında jete etki eden farklı kuvvetler şu şekilde sıralanır:

1. İğne ucu ve toplayıcı plaka arasında oluşacak olan yer çekimi kuvveti  $F_g$
2. Elektrostatik kuvvet  $F_E$
3. Coulombic tepki kuvveti  $F_c$

#### **2.1.5.2. Elektrolif Çekimine Etki Eden Parametreler**

Elektrolif çekim işlemine etki eden parametreler genel olarak 3'e ayrılabilirler. Bunlar;

##### - Çözeltiye ya da eriyiğe ait parametreler

- Viskozite ve konsantrasyon
- Moleküler ağırlık
- Yüzey gerilimi

- İletkenlik
- pH
- Çözücünün dielektrik sabiti

#### Proses parametreleri

- Uygulanan voltaj
- İğne ucu ve toplayıcı plaka arası mesafe
- Besleme hızı
- İğne/pipet çapı
- Toplayıcı cinsi

#### Çevresel parametreler

- Sıcaklık
- Bağıl nem
- Basınç

- Atmosfer tipi olarak sıralanabilir. Aşağıdaki bölümde bu parametrelerin elektrolif çekim işlemine etkileri ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

### **Çözeltiye ya da Eriyiğe Ait Parametreler**

#### **Viskozite ve konsantrasyon**

Viskozite ve konsantrasyon birbiri ile yakından ilişkili kavramlardır. Çözelti konsantrasyonun yükselmesi ile viskozitenin de yükselmesi yaygın olarak görülen bir durumdur. t22 Fakat çözelti konsantrasyonu ve viskozite arasında lineer bir ilişki yoktur (Yener 2010).

Viskozite ve konsantrasyon elektrolif çekim işleminde temel parametrelerden birisidir. Elektrolif çekim işleminde, polimer jetinin kopuşlar olmadan sürekli şekilde oluşmasını sağlayan etken, molekül zincirlerinin karmaşıklığıdır. (Ramakrishna ve ark. 2005). Çözelti viskozitesinin polimerlerin iç moleküler arası etkileşimine bağlı olduğu göz önüne alındığında elektrolif çekim işleminin gerçekleşebilmesi için çözeltinin viskozitesinin belli değerler arasında olması gerekir (Yener 2010). Viskozitenin çok düşük olması durumunda jetin sürekliliği sağlanamadığından lif oluşumu gözlenmez ya da jetin viskoelastik kuvveti, Coulomb kuvvetinden çok düşük olduğundan ve bu kuvvete karşı koyamadığından jet parçalanarak lif üzerinde boncuklar (bead) oluşturur (Kılıç 2008).

Viskozitenin çok yüksek olması durumunda, elektrostatik kuvvetler, yüzey gerilimini yenemediğinden, polimer sıvısından bir jet oluşturamazlar veya mikron boyutlarında çapa sahip lifler meydana gelir (Gümüş 2009).

Aynı zamanda artan viskozite, jetin Whipping kararsızlığını önleyebilir. Jetin alacağı yol azalır böylece çözelti daha az uzar ve meydana gelen liflerin çapları artar. (Ramakrishna ve ark. 2005)

Genellikle seyreltik polimer çözeltilerinde moleküler içi mesafe çok geniştir. Bundan dolayı moleküler içi etkileşim çok zayıftır. Polimer konsantrasyonu arttığında moleküler içi etkileşimler baskınlaşmaya başlar. (Deitzel ve ark. 2001). Bu etkileşimlerin düşük olması da viskozite de olduğu gibi sürekli jet oluşmamasına, etkileşimlerin elektromanyetik kuvvetler tarafından yenilemeyecek kadar yüksek olması ise lif oluşmamasına sebep olur (Gümüş 2009).

### **Moleküler ağırlık**

Moleküler ağırlık, çözeltinin viskozitesini doğrudan etkileyen parametrelerden biridir. Polimerin molekül ağırlığı polimer zincir uzunluğunun göstergesidir. Bu yüzden monomer ve küçük polimer zincirleri elektrolif oluşturamamaktadır (Ramakrishna ve ark. 2005). Polimer çözeltisinin iğne ucundan toplayıcı plakaya hareketi süresince, jetin dağılmasını önleyen, molekül zincirlerinin birbirine dolanmasıdır. Genellikle daha yüksek moleküler ağırlığa sahip polimerin daha düşük moleküler ağırlığa sahip polimere kıyasla viskozitesi daha yüksek olur. Elektro üretim işleminin gerçekleşmesi için çözeltinin yeterli viskozite ve moleküler ağırlığa sahip olması gerekmektedir (Üstün 2011).

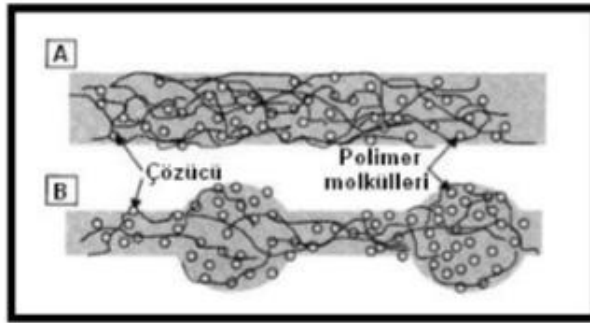
Genellikle düşük moleküler ağırlığa sahip polimer çözeltileri, boncuklu yapı oluşturmaya daha meyillidirler, yüksek moleküler ağırlıktaki polimerler çözeltileri ise daha büyük lif çaplarına sebep olmaktadır (Özkoç 2010).

### **Yüzey gerilimi**

Yüzey gerilimi, bir sıvıdaki moleküller arası kohezif kuvvetlerin bir derecesidir (Özkoç 2010). Elektrolif üretiminin başlayabilmesi için yüklü çözeltinin yüzey gerilimini yenebilmesi gerekir. Yüzey gerilimi, bir sıvının birim kütledeki yüzey alanını azaltma etkisine sahiptir. Yüzey gerilimine bağlı olarak serbest çözücü molekülleri yüksek olduğunda, çözücü moleküllerinin bir araya toplanma ve küresel bir şekil alma eğilimi artacaktır. Bu

durumda, polimer jeti toplayıcı plakaya doğru ilerlerken yüzey gerilimi, jet boyunca boncuklar oluşmasına neden olabilir. Yüksek viskozite, çözücü ve polimer molekülleri arasında daha fazla etkileşim anlamına gelir ve böylece yüklerin etkisi ile çözelti gerildiğinde çözücü molekülleri, karmaşık polimer moleküllerine yayılmaya yönelecek ve bu şekilde yüzey geriliminin etkisi altında çözücü moleküllerinin bir araya toplanma eğilimi azalacaktır. (Ramakrishna ve ark. 2005).

Düzgün nanoliflerin oluşumunu desteklemek için elektro çekim çözeltisine etanol gibi düşük yüzey gerilimine sahip çözücüler ilave edilebilir. Yüzey gerilimini azaltmanın diğer bir yolu da, çözeltiye yüzey aktif madde ilave etmektir. Yüzey aktif madde ilavesi ile daha üniform lifler elde edilebilir (Üstündağ 2009). Daha düşük viskozitelere yüzey gerilimi daha etkili bir faktör olur ve kılcal boru içersindeki sıvı damlacıklara ayrılarak elektrolif üretim işlemi yerine elektrospraying işlemi gerçekleşir, yani lifli yüzeyde boncuk (bead) oluşumu görülür (Üstün 2011). Aşağıda şekil 2.10`da yüzey geriliminin çözücü moleküllerini bir araya toplama etkisi görülmektedir.



**Şekil 2.9.** Yüzey geriliminin elektro çekim çözeltisindeki polimer moleküllerine etkisi  
(A)Yüksek viskozitede çözücü molekülleri (B) Düşük viskozitede çözücü molekülleri (Üstün 2011)

### İletkenlik

Polimer çözeltisinin elektrolif olarak çekilebilmesi için belli bir iletkenlik değerine sahip olması gerekir. Elektrolif çekim işleminde jet oluşması için yüzeyde yüklerin akması ve bu sayede de çözeltinin uzama olayı gerçekleşmelidir. Çözeltinin iletkenliği artırılır ise jet tarafından daha fazla yük taşınır. Çözeltiye bir miktar tuz veya iyon ilave edildiği takdirde artan yükler ile çözelti daha fazla uzayacaktır. Böylece boncuklu yapılar oluşmaz ve daha düzgün lif elde edilir. Polimer jetinin uzaması aynı zamanda da daha küçük çaplarda lif oluşmasını sağlar. Ancak lif çapındaki düşüşün bir sınırı vardır (Ramakrishna ve ark. 2005).

Çözelti iletkenliği fazla olan polimerlerde iyonların fazla olmasından dolayı yük taşıma kapasitesi artar ve bu da uygulanan elektrik alan ile daha fazla gerilime sebep olur. Baumgarten jet çapının çözeltinin iletkenliğinin küp kökünün tersiyle orantılı olduğunu göstermiştir (Kozanoğlu 2006).

Elektrik iletkenliği her ne kadar elektro çekim prosesi için avantaj sağlasa da belirli bir sınırdan sonra prosesi güçleştiren hatta imkânsız kılan bir etkiye sahiptir. Çok yüksek iletkenlik değerlerinde elektro çekimde iğne ucunda bulunan damlacık yüzeyindeki yükleri muhafaza etmek oldukça güçleşir ve bu durum karakteristik koni oluşumunu etkiler. İletkenlik yükseldikçe klasik koni-jet modeli değişir ve multijet oluşumu görülebilir. Bu nedenle, iletkenliğin çok yüksek olduğu çözeltilerde koni ve jet oluşumu görülmez (Üstündağ ve Karaca 2009).

## **pH**

Çözeltinin pH değeri, elektrik iletkenliğinin bir göstergesidir. Bazı araştırmacılar, pH değerinin değişmesiyle iletkenliğin de değiştiiğini gözlemlemişlerdir. pH değerlerinin artmasıyla, yani çözeltinin bazik durumda olmasıyla liflerin daha düzgün ve ince yapıda oldukları ancak asidik ortamda boncuklu yapıların oluştuğu belirtmişlerdir (Üstün 2011). Bu durumun, asidik durumda polimerin proton fazlalığından kaynaklandığı belirtilmiştir (Kozanoğlu 2011).

## **Çözücünün dielektrik sabiti**

Bir çözücünün dielektrik sabiti, elektro çekim için oldukça önemli bir etkidir. Genellikle, yüksek dielektrik özelliğine sahip bir çözelti, boncuk oluşumunu ve elde edilen lif çapını azaltır. Yüksek dielektrik sabiti ile elektro çekim jetinin kararsızlığı da artar. Bu durum, liflerin plaka üzerinde toplandığı alanın artmasını sağlar. Böylece jet izlediği yol artacağından lif çaplarının azalması da kolaylaşır (Ramakrishna ve ark. 2005).

## **Proses Parametreleri**

### **Uygulanan Voltaj**

Polimer çözeltilisine yüksek voltaj uygulanması, elektro çekim prosesinin kilit noktasıdır. Daha önceki bölümlerde elektrolif çekim yönteminin çalışma prensibinde bahsedildiği üzere, lif oluşumu sağlayan etken elektromanyetik kuvvetlerdir. Oluşacak elektromanyetik kuvvetin şiddetini belirleyen ise proses sırasında uygulanan voltajdır.

Voltaj uygulandığında, elde edilen elektrik alan, jetin gerilmesine ve hızlanmasına etki eder. Yani hem voltaj hem de elde edilen elektrik alan, lif morfolojisi üzerinde etkiye sahiptir. Daha yüksek voltaj uygulandığında, jet içindeki Coulomb kuvvetlerinin de daha fazla olmasına ve daha güçlü elektrik alan oluşmasına bağlı olarak, çözelti daha fazla gerilecektir. Bu durum, lif çapının azalmasını sağladığı gibi aynı zamanda çözücünün daha hızlı buharlaşmasına neden olarak daha kuru liflerin elde edilmesini sağlar. Düşük viskozitelerde çözelti kullanıldığında yüksek voltaj uygulanması, elektro çekim süresince ikincil jet oluşumunu sağlayabilir. Bu da, lif çapında azalmaya neden olur. (Ramakrishna ve ark. 2005).

Lif çapını etkileyebilecek bir diğer faktör de, elektro çekim jetinin uçuş süresi yani havada ilerleme süresidir. Uzun bir uçuş süresi, toplayıcı plakaya ulaşmadan önce, liflerin gerilmesi ve uzaması için daha uzun zaman sağlar. Düşük voltajda, azaltılmış bir jet hızı ve zayıf elektrik alan, elektro çekim jetinin uçuş süresini artırabilir. Artan uçuş süresi de, daha ince liflerin oluşumuna olanak tanır. (Ramakrishna ve ark. 2005).

Voltaj arttıkça jet üzerindeki elektrostatik itme kuvvetlerinin de artması sonucu elde edilen lif çapı incilir ve genel olarak boncuk oluşumu azalır . Ancak çok yüksek voltajlarda, Coulomb kuvvetinin fazla artması nedeni ile, çözeltinin toplayıcı plakaya çekilme hızı, besleme hızından daha düşük kalır. Bu durumda Taylor konisinin düze içerisine geri çekilmesi ile jet kararsızlığında artış görülebilir ve bunun bir sonucu olarak da boncuk oluşumunda artış görülebilir (Deitzel ve ark. 2001).

Uygulanan voltaj, liflerin kristalinitesine de etki etmektedir. Elektrostatik alan polimer moleküllerinin daha düzenli yapıda olmasını ve dolayısı ile liflerin kristalinitesinin de daha iyi olmasını sağlar fakat uygulanan voltaj belli bir değeri geçtiğinde, Coulomb kuvvetlerinin çok baskın olması ve jetin hızlanması sonucunda, liflerin oryante olması için gereken zaman azalacaktır. Bu durumda uygulanan voltaj belli bir değer üzerine çıktığında, lifler yeterince oryante olamadığından, kristalinitesi düşer (Şahintürk 2010).

### **Mesafe**

İğne ucu ve toplayıcı plaka arası mesafe, jetin oluşacağı mesafeyi belirleyecek ve elektrostatik kuvvetlerin şiddetine etki edecektir. Bu mesafede lif oluşumu meydana gelir, çözücü uzaklaşır ve lif katılaşır, toplayıcıya lif depolanma zamanı bu arada gerçekleşir (Üstün 2011).

Bu mesafenin artması ile jetin izleyeceği mesafe artar ve dolayısı ile jetin daha fazla yol alması ile daha ince lif oluşumu beklenir. Ayrıca çözücünün buharlaşması için geçen süre de

arttığında, lifler daha kuru bir şekilde plaka üzerine toplanır. Mesafe kısaldığında elektrosatik kuvvetlerin etkisi artar ve jet hızlanır. Bu durumda çözücünün uzaklaşması için gerekli süre geçmediğinden plaka üzerinde ıslak, birbirine yapışmış yapılar gözlenebilir (Şahintürk 2010).

### **Besleme hızı**

Besleme hızı jetin hızını ve malzeme transfer hızını etkileyen önemli bir parametredir. Akış hızındaki artış, aktarılan çözeltili hacmine etki eden elektrostatik kuvveti azaltacağından, lif çapının artmasına olmasına neden olur (Kozanoğlu 2006).

Çözeltili besleme hızı, iğne ucundan toplayıcıya uçuş süresince çözücünün buharlaşması için yeterli süreyi sağlaması için yeterli seviyede düşük olmalıdır. Aksi takdirde, lifler toplayıcı üzerine düşene kadar kurumaz ve liflerin birbirleri ile temas ettikleri noktalarda yapışmalar meydana gelir. Bu nedenle daha düşük besleme hızı, buharlaşma için daha fazla zaman sağlayacağı için daha istenir bir durumdur (Üstün 2011).

### **İğne/pipet çapı**

Pipet/iğne iç çapının elektrolif çekim prosesinde belirgin etkisi vardır. İğne çapı küçüldüğünde, iğne ucunda oluşan damla küçülür ve damlanın yüzey gerilimi artar. Artan yüzey gerilimi ise jetin oluşabilmesi için daha yüksek Coulomb kuvveti gerektirir. Uygulanan voltaj aynı kaldığında, Coulomb kuvvetinin şiddeti düşeceğinden oluşan jet yavaşlar ve lif oluşumuna havada geçirdiği süre artar. Bu sayede lif çapı azalmış olur. Ancak, pipet/iğne çapı çok düşük olursa da damlacığın pipet/iğne ucundan püskürtülmesi sorun olabilir (Şahintürk 2011). İğne çapı arttığında ise oluşan damla büyüyecek, yüzey gerilimi azalacaktır. Bu sayede Coulomb kuvvetinin etkisi artacak ve jet hızlanacak, havada geçirdiği zaman azalacak ve dolayısı ile lif çapı artacaktır.

### **Toplayıcı cinsi**

Toplayıcı cinsi, elektrik alanın sağlanabilmesi açısından önemlidir. Pek çok sistemde, bu elektrik alanın sağlanabilmesi için metal, alüminyum gibi iletken plakalar kullanılır ve bu materyal elektriksel olarak topraklanır. Böylece besleme ünitesi ve toplayıcı plaka arasında stabil bir potansiyel fark oluşmuş olur (Andrady 2008).

Elektro çekim prosesinde oluşan liflerin toplayıcı üzerinde konumlanma şekli, elde edilen yüzeyin özellikleri üzerinde etkili bir faktördür. Sabit plaka üzerinde toplanan lifler, birbiri

üzerinde rastgele konumlanır. Bu rastgele konumlanma, elektro çekim yöntemi ile elde edilen nanolifli yüzeyin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Nanoliflerin potansiyel kullanım alanlarını artırmak için nanoliflerin çeşitli örüntülerde hizalanması ve bunun için de farklı toplayıcı tipleri kullanarak kontrollü nanolif konumlanması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla dönen tambur veya disk, taşıyıcı bant gibi hareketli toplayıcılar kullanılabilirken, paralel bilezik veya çerçeveler gibi sabit toplayıcılar da kullanılabilir. Hareketli toplayıcıların dönüş hızları da oluşan liflerin hizalanmasında önemli etkiye sahiptir (Ramakrishna ve ark. 2005).

### **Çevresel Parametreler**

Elektrolif çekim prosesinde ortam şartlarının değişiminin polimer jetine etkilerini konu alan araştırma sayısı, çözelti ve proses parametrelerini konu alan araştırma sayısına göre oldukça azdır. Ancak çalışılan ortamın sıcaklığı, rutubeti, atmosfer tipi ve basıncı elde edilen liflerin yapısına etki eden çevresel faktörler içinde sayılabilir (Üstündağ 2009).

Ortam sıcaklığı, çözücünün buharlaşma hızını ve çözelti viskozitesini etkilemektedir. Çözücünün buharlaşma hızı sıcaklık arttıkça artacaktır. Çözelti viskozitesi ise sıcaklık artışı ile düşecektir. Düşük viskozitelerde, Coulomb kuvvetleri jet üzerinde daha fazla gerilme yaratarak daha düzgün ve ince liflerin elde edilmesinin sağlar. Çözelti sıcaklığının artması ile polimer moleküllerinin de hareketliliği artar. Bu durumda, Coulomb kuvvetlerinin çözelti üzerindeki çekim etkisi de daha fazla olur (Ramakrishna ve ark. 2005).

Elektrolif çekim işlemi süresince ortamdaki nem polimer çözeltisini etkileyerek ortalama lif çapına etki eder fakat her polimerin kimyasal ve moleküler yapısının farklı olması ve kullanılan çözücülerin buharlaşma hızlarına farklı etki etmesi nedeni ile, bağıl nemin her çözeltiye etkisi farklı olabilmektedir (Özkoç 2010).

Elektrolif çekim işlemine basıncın etkisini ancak kapalı ortamda görebilmek mümkündür. Genellikle, ortamdaki basıncın azalmasının elektrolif çekim işleminde olumsuz etkiye sahip olduğu görülmüştür. Elektrolif çekimi işlemi, atmosfer basıncından daha düşük bir basınç altında gerçekleştirildiğinde şırıngadaki çözeltinin dışarı akma eğilimi daha fazla olur ve bu durum stabil olmayan bir jet başlangıcına sebep olmaktadır. Elektrolif çekim işleminin gerçekleştiği havanın bileşimi bu prosesi etkileyen bir diğer faktördür. Bazı gazlar yüksek elektriksel alan içerisinde farklı davranışlar sergilemektedir. Örneğin helyum, yüksek



elektriksel alanda bozulur ve elektrolif çekim işlemini engellemektedir (Ramakrishna ve ark. 2005).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

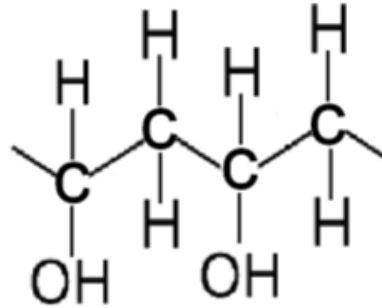
#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan Polimerler ve Çözücüler

###### Polivinilalkol (PVA)

Suda çözünebilir sentetik bir biyopolimer olan poli(vinil alkol) (PVA), kullanım kolaylığı ve çok iyi nanolifli materyal oluşturma yeteneği nedeni ile elektro çekim prosesinde tercih edilmiştir. PVA polimerinin suda çözünürlüğü, hidrofil yapısı, biyouyumluluğu, kimyasal dayanımı, doğal yapışkanlığı ve hidroksil gruplarının kolay modifikasyonu gibi avantajları vardır (Üstün 2011).

PVA'nın kapalı kimyasal formülü,  $(CH_2CHOH)_n$  olup, açık kimyasal formülü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. PVA'nın kimyasal formülü (Üstün 2011)

Bu çalışmada kullanılan PVA polimeri, Sigma (Amerika) firmasından alınmıştır. Molekül ağırlığı 89.000-98.00 g/mol'dür.

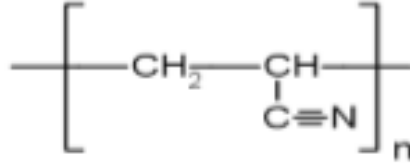
###### Saf su

PVA polimeri için çözücü olarak saf su kullanılmıştır.

###### Poliakrilonitril (PAN)

Poliakrilonitril (PAN) üstün özellikleri nedeni ile elektrolif çekim prosesinde sıklıkla kullanılan bir polimerdir. PAN polimeri güçlü asitlerden etkilenir, alkalilere ve ultraviyole

ışınlara karşı dayanıklıdır. Poliakrilonitril hidrofobik olmasına rağmen, oldukça çeşitli çözücülerde çözünebilmektedir (Şahintürk 2010). Kimyasal formülü Şekil 3.2`de verilmiştir.

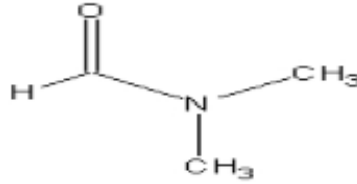


**Şekil 3.2.** PAN polimerinin kimyasal formülü (Şahintürk 2010)

Bu çalışmada kullanılan PAN polimeri Sigma (Amerika) firmasından alınmıştır. Molekül ağırlığı 150.000 g/mol`dür.

### **Dimetilformamid**

N,N-dimetilformamid PAN polimeri için çözücü olarak kullanılmıştır. Literatürde PAN için yaygın olarak kullanılan çözücü olmasından dolayı tercih edilmiştir. Kimyasal formülü Şekil 3.3.`de gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** N,N-dimetilformamid`in kimyasal formülü (Şahintürk 2010)

### **3.1.2 Kullanılan Cihazlar**

#### **Elektrolif deney düzeneği**

Bu çalışmada kullanılan elektrolif çekim ünitesi Şekil 3.4`de görülmektedir.

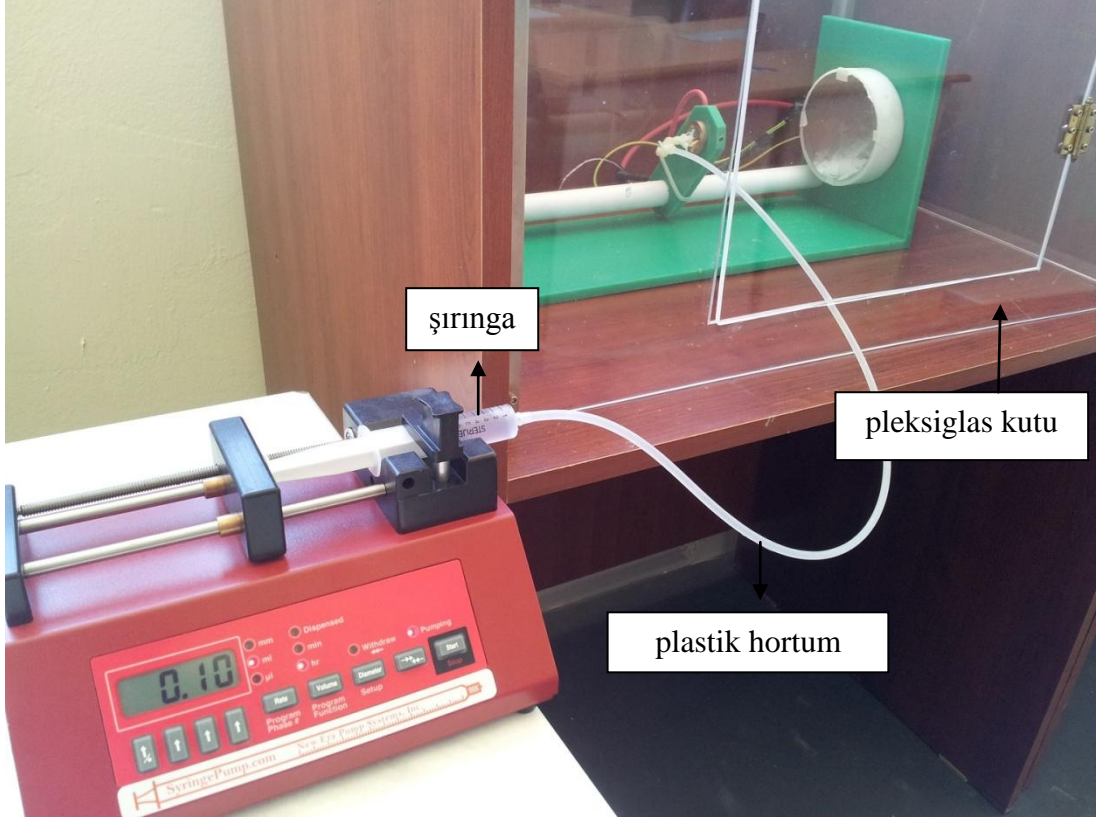


Şekil 3.4. Elektrolif deney düzeneği

Nanolif üretimi için kullanılan elektrolif çekim düzeneği, 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, çözeltinin çekim alanına beslenmesini sağlayan şırınga pompası, çekim ünitesi ve yüksek güç kaynağıdır.

### Şırınga pompası

Çözelti konsantrasyonunu çekim sistemine kontrollü şekilde sevk etmek için Newera Ne-300 şırınga pompası kullanılmıştır. Şekil 3.5`de şırınga pompası görülmektedir.

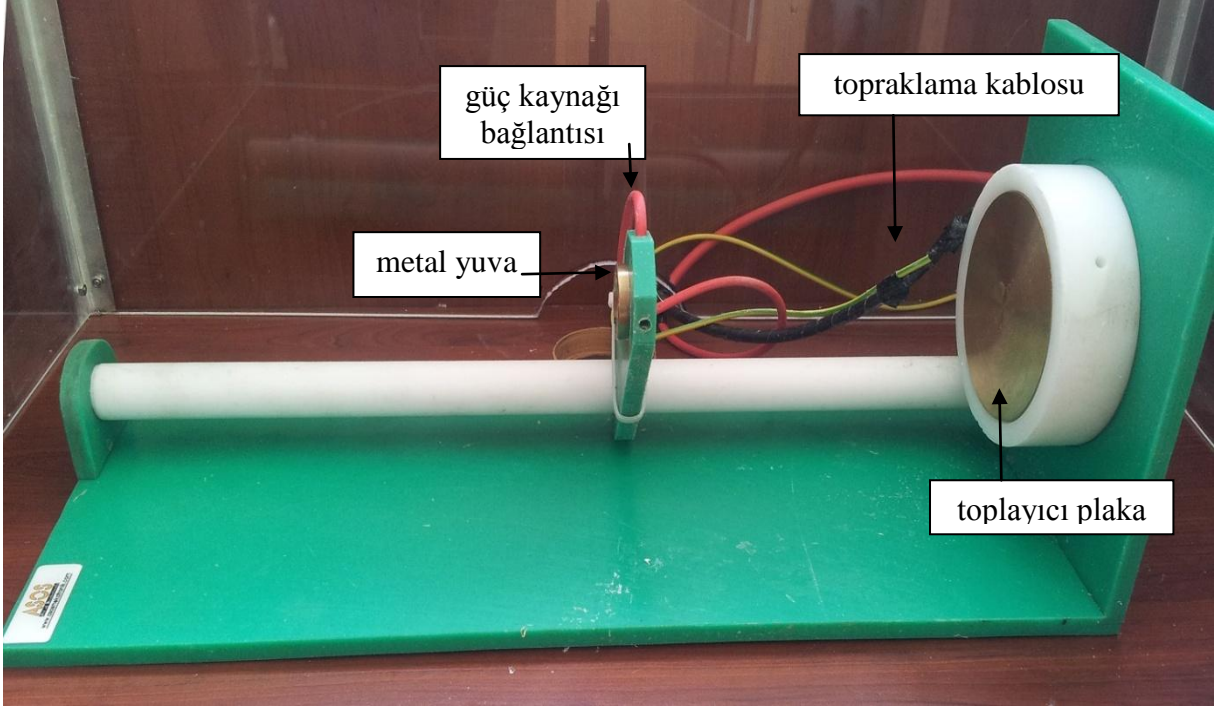


**Şekil 3.5** Şırınga pompası

Plastik şırınganın içine çekilen çözelti, şırınga pompasına yerleştirildi ve plastik serum hortumu vasıtası ile elektrolif çekim alanına yönlendirildi. Bu sırada, istenilen değere ayarlanan şırınga pompası çözeltinin sabit bir hızla çekim alanına sevk edilmesini sağladı. Üretim sırasında koruma sağlamak için, elektrolif çekim alanı pleksiglas bir kutu içerisinde konumlandırılmış durumdayken çalışıldı.

### **Elektrolif çekim alanı**

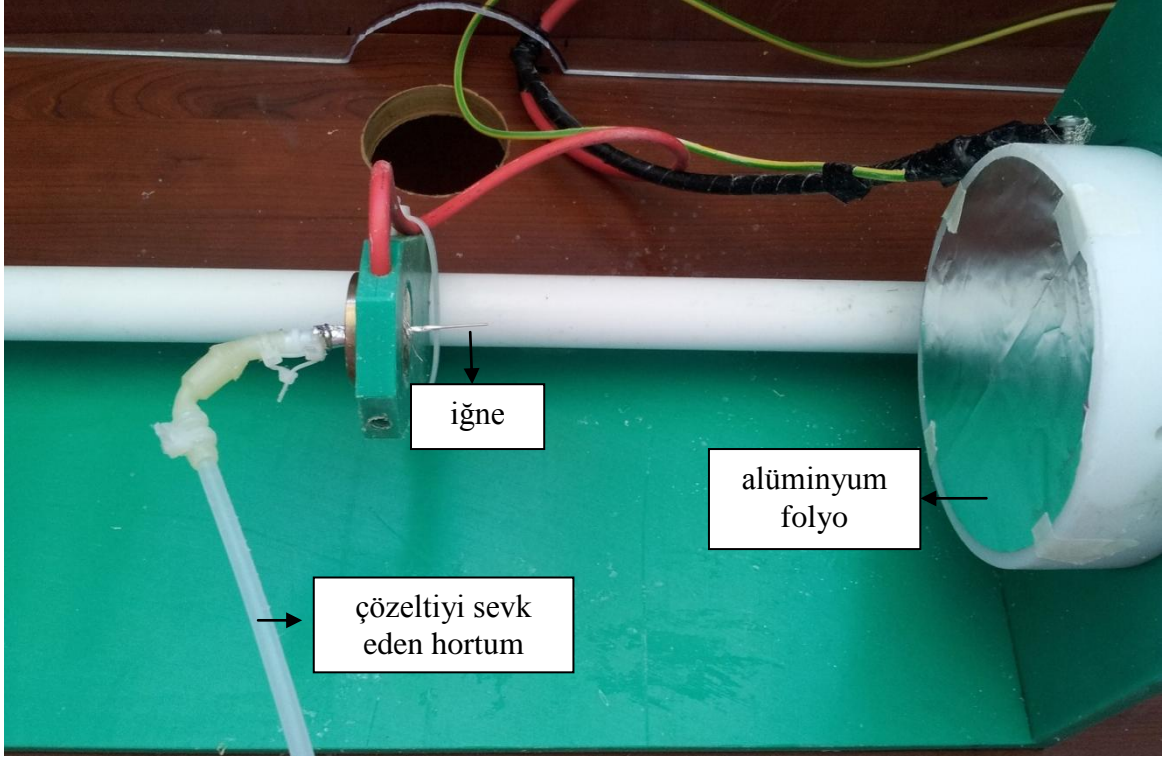
Şekil 3.6`da, bu çalışmada kullanılan elektrolif çekim alanı görülmektedir.



**Şekil 3.6.** Elektrolif çekim sistemi

Bu çalışmada kullanılan elektrolif çekim sistemi, yer çekimi etkisini azaltmak için yatay konumda kullanılmıştır. Alt kısımda bulunan dairesel şekildeki metal plaka ve üst kısımda bulunan, iğnenin oturtulduğu küçük metal yuva bulunmaktadır. Yüksek güç kaynağının bu metal yuvaya bağlanması ile, elektrolif çekim işleminin gerçekleşmesini sağlayan elektrostatik alan elde edilmiş olur. Güvenlik açısından, toplayıcı plaka topraklanmıştır.

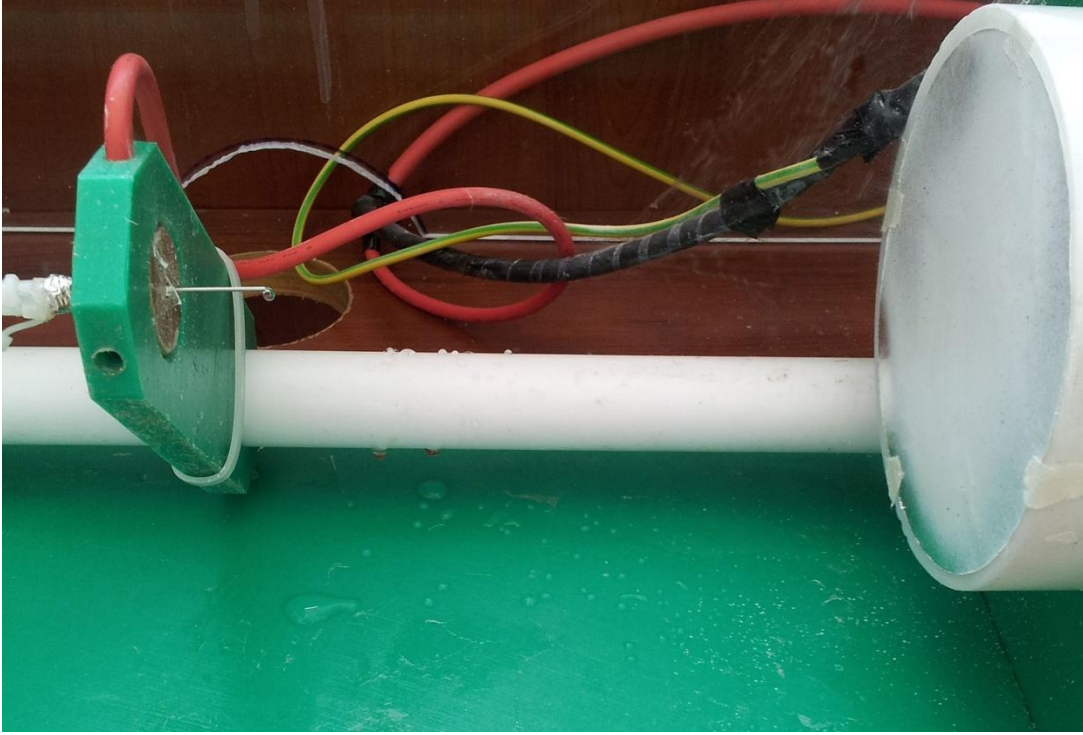
Şırınga pompasından gelen çözelti hortumunun, elektrolif çekim alanına yerleştirilmesi ise şekil 3.7'da gösterilmektedir.



**Şekil 3.7.** Çözeltinin elektrolif çekim alanına beslenmesi

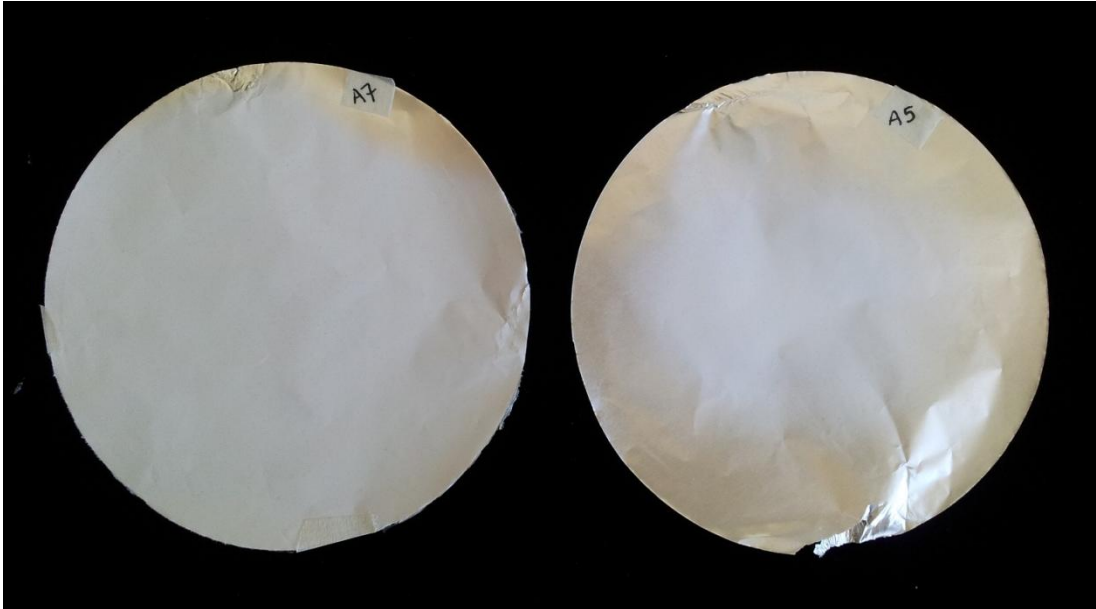
Şırınga pompasından gelen hortumun ucuna kullanılacak iğne takıldıktan sonra, metal yuvaya oturtulup sabitlenmiştir. Daha sonra toplayıcı plakanın ölçülerine uygun olarak kesilen alüminyum folyo, plaka üzerine yerleştirilmiş ve nanoliflerin bu yüzeye toplanması sağlanmıştır. Şekil 3.8`de çekim sırasında, alüminyum folyo üzerine toplanan lifler görülmektedir.





**Şekil 3.8.** Çekim sırasında alüminyum folyo üzerine oluşan yüzey

İstenilen parametrelerde yüzey oluşumu tamamlandıktan sonra, alüminyum folyolar toplayıcı plaka üzerinden alınarak SEM cihazında incelenmek üzere muhafaza edilmişlerdir. Şekil 3.9`de toplayıcı plaka üzerinden alınan nanoyüzeyler görülmektedir.



**Şekil 3.9.** Toplayıcı plaka üzerinden alınan nanoyüzeyler



### **Güç kaynağı**

Nanolif elde etmek için gereken yüksek voltajı sağlamak için MATSUSADA AU30-DC yüksek voltaj güç kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan güç kaynağı maksimum 30kV`ya kadar alternatif akım uygulayabilmektedir. Güç kaynağı şekil 3.10`da verilmiştir.



**Şekil 3.10.** Yüksek güç kaynağı

### **Hassas terazi**

Çözelti hazırlık aşamasında Precesa marka hassas terazi kullanılmıştır.

### **Magnetik karıştırıcı**

Hazırlanan çözeltilerin karıştırılması için Wisestir marka magnetik karıştırıcı ve ısıtıcı kullanılmıştır.

### **Nem ve sıcaklık ölçer**

Çalışılan ortamın nemini ve sıcaklığını ölçmek için Lutron marka nem ölçer kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında ortam sıcaklığı 26,5-27 °C ve relatif rutubet %57`dir.

### **İletkenlik ölçer**

Hazırlanan çözeltilerin elektrik iletkenliğini ölçmek için Eutech marka iletkenlik ölçer kullanılmıştır.

### **Viskozimetre**

Hazırlanan çözeltilerin viskozitelerini ölçmek için Brookfield DV-F marka viskozimetre kullanılmıştır. Viskozite ölçümü sırasında ortam sıcaklığı 25°C, ölçüm hızı 30rpm, tork değeri %17,8 ve spindle numarası 521`dir.

## Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Elde edilen yüzeylerin görüntüleri Quanta Feg 250 marka Sem ile elde edilmiştir. Şekil 3.11`de SEM cihazı görülmektedir.



Şekil 3.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Çözelti Hazırlama

PVA polimerinden hacimce %10`luk, %12`lik ve %14`lük 3 ayrı çözelti, 70 °C`de, ağzı kapalı şekilde, 3 saat orta hızda karıştırılarak hazırlanmış ve 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. PAN polimerinden hacimce %6`lık, %8`lik ve %10`luk 3 farklı çözelti, 70 °C`de, ağzı kapalı şekilde, 1 saat orta hızda karıştırılarak hazırlanmış ve 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra çözeltilerin iletkenlik ve viskozite değerleri ölçülmüştür.

### 3.2.2. Deney Parametreleri

Yapılan deneysel çalışmada, PVA polimerinden hazırlanan %10`luk çözelti ile, 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında, iğne ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe (daha sonraki bölümlerde kısaca mesafe olarak söylenecektir) 10 cm olduğu durumda, sırasıyla 14kV, 16kV, 18kV ve 20kV voltaj uygulanarak 4 adet yüzey elde edilmiştir. Elde edilen tüm yüzeyler, toplayıcı plakaya uygun büyüklükte kesilmiş alüminyum folyo üzerine toplanmıştır. Daha sonra diğer parametreler aynı kalmak koşulu ile mesafe 15cm`e çıkartılmış ve voltaj oranı da mesafe ile orantılı artırılarak, sırasıyla 21kV, 24kV, 27kV ve 30kV voltaj değerlerinde 4 adet yüzey daha elde edilmiştir.

Daha sonra diğer parametreler aynı kalmak koşulu ile besleme hızı 0,20ml/sa`e çıkarılmış ve yine 10 cm`de, sırasıyla 14kV, 16kV, 18kV ve 20kV voltaj uygulanarak 4 adet ve 15 cm`de sırasıyla 21kV, 24kV, 27kV ve 30kV voltaj uygulanarak 4 adet yüzey elde edilmiştir.

Daha sonra iğne çapı 0,9mm`ye çıkartılıp aynı düzende yüzey üretimine devam edilmiştir. Yani 0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında 8 adet yüzey (10 cm ve 15 cm mesafede), 0,9mm iğne çapında ve 0,20ml/sa besleme hızında 8 adet yüzey elde edilmiştir. böylece %10`luk PVA çözeltisinden toplamda 32 adet yüzey elde edilmiştir.

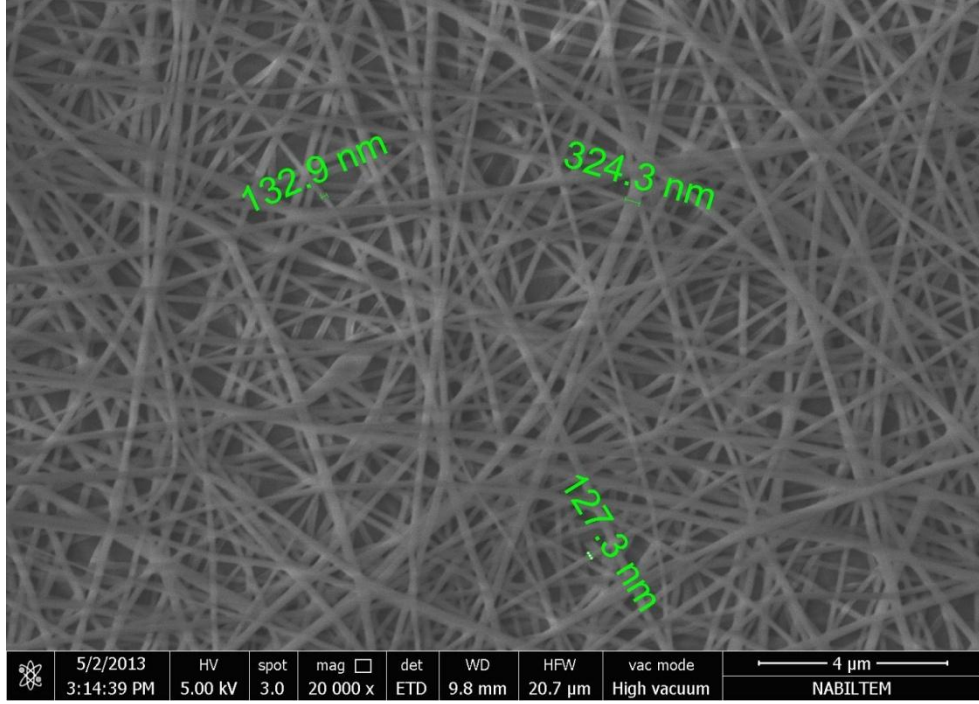
Aynı düzende üretim %12`lik ve %14`lük PVA için tekrarlanarak toplamda 96 adet yüzey üretimi denenmiştir.

PAN polimerinden hazırlan %6`lık çözelti ile 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında, 10cm mesafede 14kV, 16kV,18kV ve 20kV voltaj oranlarında 4 adet yüzey üretilmiş, daha sonra mesafe 15 cm`e çıkarılarak aynı oranlarda artan voltaj ile 4 adet yüzey daha üretilmiştir. Bir sonraki aşamada 0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında yine aynı sıra ile 8 adet yüzey üretimi denemiştir. Bu işlemler %8`lik ve %10`luk çözeltiler için de tekrarlanmıştır.

### 3.2.3 Çap Analizi

Elde edilen yüzeylerin hepsi numaralandırılarak SEM cihazında farklı büyütmelemlerde görüntüleri alınmıştır. Elde edilen görüntüler üzerinde, image analiz programı yardımı ile çap ölçümü yapılmıştır. Her bir numuneye ait görüntüden 50`şer adet çap ölçülerek ortalama lif

apı, standart sapma ve %CV değeri hesaplanmıştır. Şekil 3.12'de SEM görüntüsü üzerinde ölçülen lif çaplarına örnek verilmiştir.



**Şekil 3.12.** SEM görüntüsü üzerinde örnek çap lm

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. PVA ve PAN Çözeltilerinin Viskoziteleri

Çizelge 4.1`de farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PVA ve PAN çözeltilerine ait, 25°C`de ölçülen viskozite değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** PVA ve PAN çözeltilerinin viskozite değerleri

<b>Konsantrasyon</b>	<b>Viskozite (cp)</b>
%10 PVA	297
%12 PVA	808
%14 PVA	1230
%6 PAN	107
%8 PAN	376
%10 PAN	890

Her iki polimer için de çözelti konsantrasyonundaki artışın, viskoziteyi arttırdığı görülmektedir.

### 4.2.PVA Ve PAN Çözeltilerinin İletkenlik Değerleri

Çizelge 4.2`de farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PVA ve PAN çözeltilerine ait, 25°C`de ölçülen iletkenlik değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** PVA ve PAN çözeltilerinin iletkenlik değerleri

<b>Konsantrasyon</b>	<b>İletkenlik (<math>\mu\text{S}\backslash\text{cm}</math>)</b>
%6 PAN	120,1
%8 PAN	126,6
%10 PAN	116.6
%10 PVA	555
%12 PVA	575
%14 PVA	520

Sonuçlara bakıldığında, artan polimer miktarının iletkenliğe katkısı olduğu görülmektedir. Fakat polimer konsantrasyonu arttıkça artması beklenen iletkenlik değerindeki bu artış tam olarak gözlenememektedir. Çünkü polimer miktarı arttıkça molekül oryantasyonu azalacaktır, bu durumda molekül zincirlerinin düzensiz yerleşimi iletkenliği azaltmıştır (İkiz 2009).

### 4.3. PVA Lif çapları

Çizelge 4.3 ve izelge 4.4`de elde edilen tüm PVA liflerine ait ortalama çaplar verilmiştir. Sonuçların birimi nm`dir. \* işareti ile belirtilen parametrelerde yüzey elde edilememiştir.

**Çizelge 4.3.** 0,10ml/sa besleme hızında üretilen PVA liflerine ait ortalama lif çapları

	İğne apı: 0,7mm Besleme hızı: 0,10ml/sa				İğne apı: 0,9mm Besleme Hızı: 0,10ml/sa			
	1,4kV/cm	1,6kV/cm	1,8kV/cm	2kV/cm	1,4kV/cm	1,6kV/cm	1,8kV/cm	2kV/cm
%10PVA-10cm	129	132	115	110	185	218	213	241
%10PVA-15cm	132	100	108	140	193	205	123	94
%12PVA-10cm	179	157	150	147	273	245	239	235
%12PVA-15cm	157	151	145	188	227	218	209	200
%14PVA-10cm	259	267	328	339	314	332	353	435
%14PVA-15cm	247	259	*	323	311	321	274	355

**izelge 4.4.** 0,20ml/sa besleme hızında retilen PVA liflerine ait ortalama lif çapları

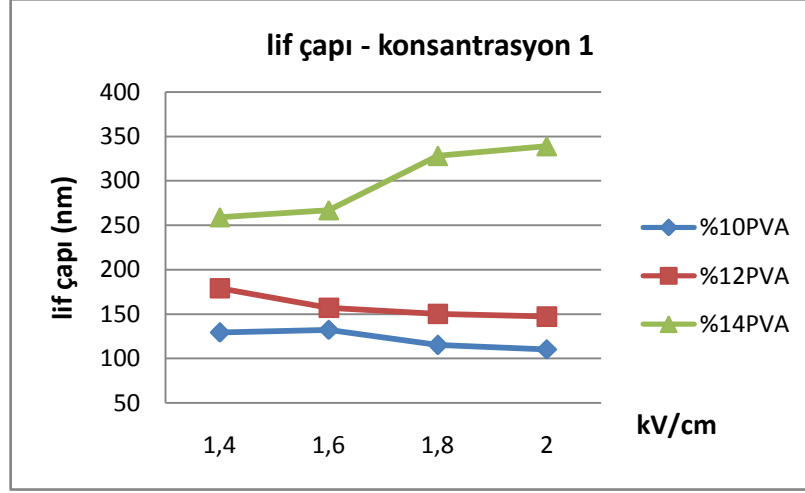
	İğne apı: 0,7mm Besleme Hızı: 0,20ml/sa				İğne apı: 0,9mm Besleme Hızı: 0,20ml/sa			
	1,4kV/cm	1,6kV/cm	1,8kV/cm	2kV/cm	1,4kV/cm	1,6kV/cm	1,8kV/cm	2kV/cm
%10PVA-10cm	109	101	89	80	133	173	165	153
%10PVA-15cm	79	75	85	83	130	110	104	116
%12PVA-10cm	230	218	237	162	226	251	239	310
%12PVA-15cm	193	221	210	174	213	243	249	230
%14PVA-10cm	342	331	240	397	339	*	*	*
%14PVA-15cm	252	290	320	324	398	455	*	*

#### 4.3.1 Konsantrasyonun PVA Lif apına Etkisi

Çözelti konsantrasyonu ve lif çapı arasındaki ilişki, iğne ucu ve toplayıcı plaka arası mesafenin 10cm ve 15cm olduğu durumlar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

### Konsantrasyonun PVA Lif Çapına Etkisi (10 cm)

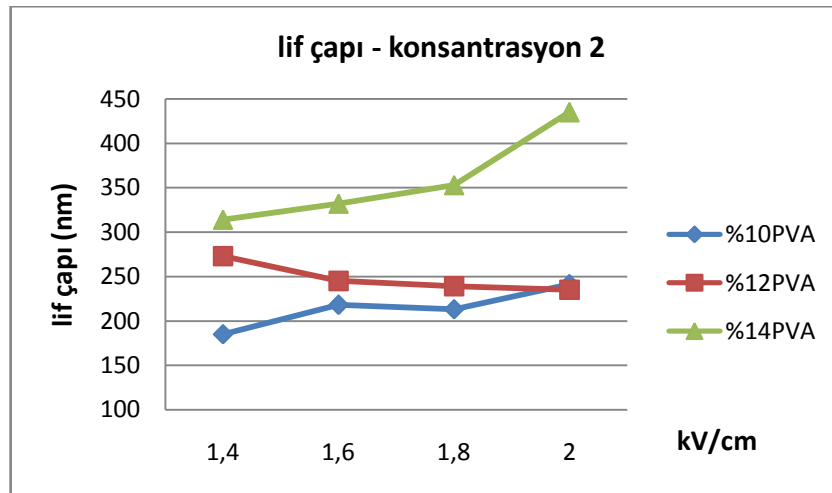
Mesafenin 10 cm, iğne çapının 0,7 mm ve besleme hızının 0,10 ml/sa olduğu durumda, %10, %12 ve %14'lük PVA çözeltilerinden elde edilen yüzeylere ait ortalama lif çapları aşağıda şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

Şekilde görüldüğü üzere konsantrasyon arttıkça lif çapı da belirgin bir şekilde artmıştır. Konsantrasyon %14'e çıktığında lif çapındaki artış çok daha yüksek olmuştur.

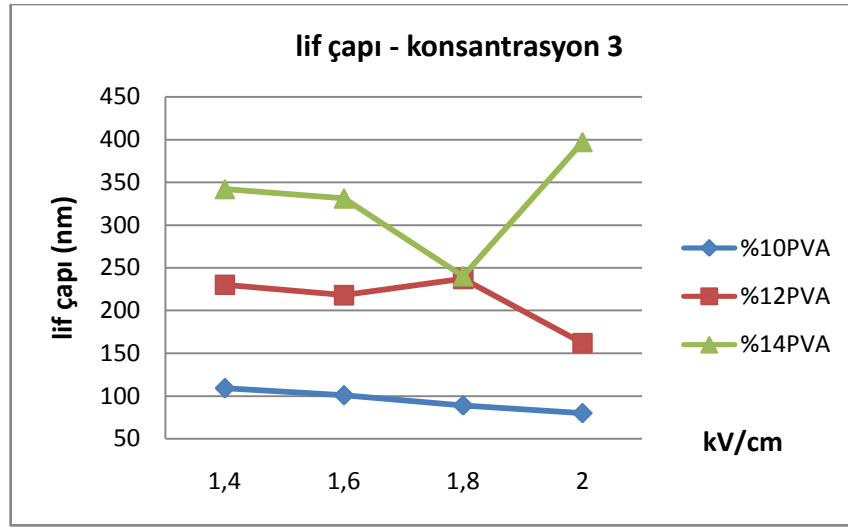
10cm mesafede, 0,9 mm iğne çapı ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

Genel olarak konsantrasyon artışının lif çapını arttırdığı görülmektedir. Bir önceki şekilden farklı olarak, düşük voltaj/mesafe oranında, konsantrasyonlara göre lif çapları arasındaki farkın daha düşük olduğu fakat voltaj/mesafe oranı arttıkça %14'lük çözeltiliye ait lif çaplarının %10'luk ve %12'lik çözeltilerin lif çaplarına göre daha belirgin artış gösterdiği görülmektedir.

10cm mesafede, 0,7mm iğne çapında, 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.3`de görülmektedir.

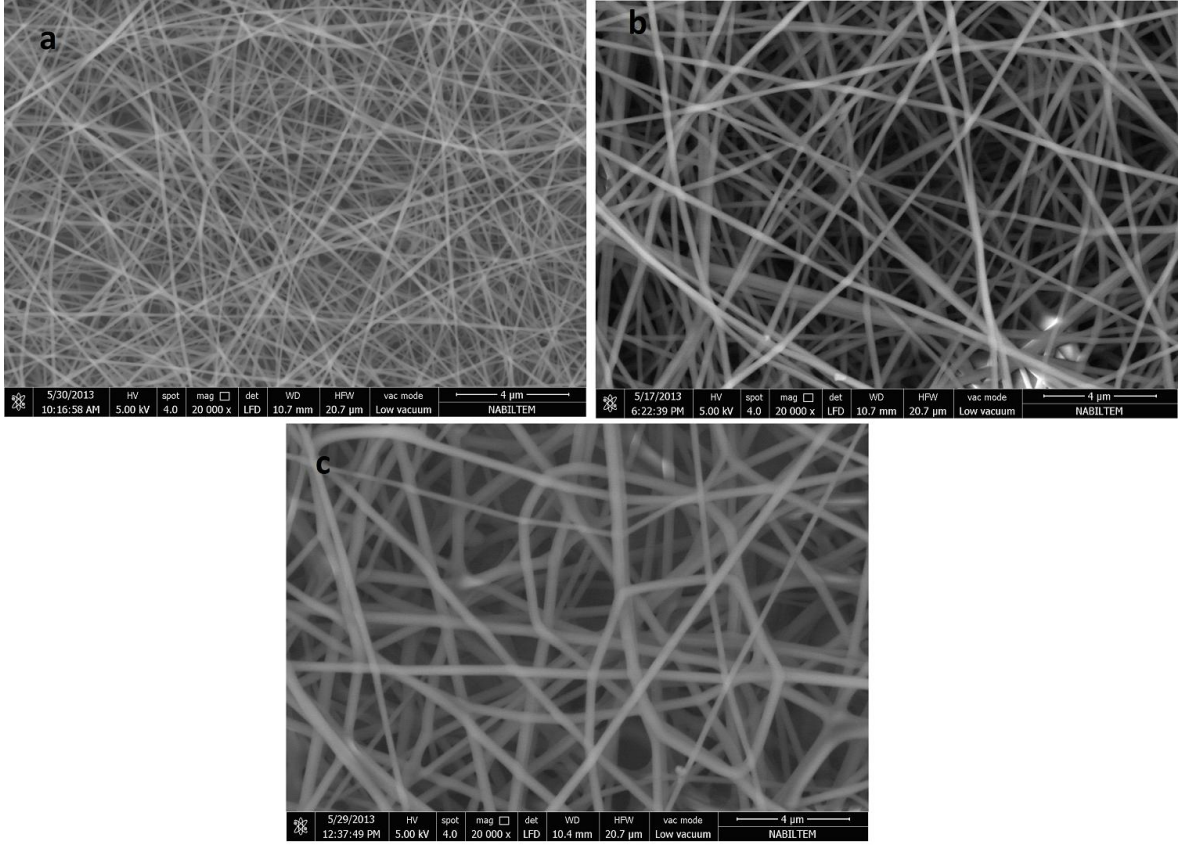


**Şekil 4.3.** Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

%14'lük çözeltide, 1,8kV/cm`de ortalama lif çapında ani bir düşüş gerçekleşmiştir. Bunun haricinde, yine konsantrasyon artışının ortalama lif çaplarını arttırdığı görülmektedir.

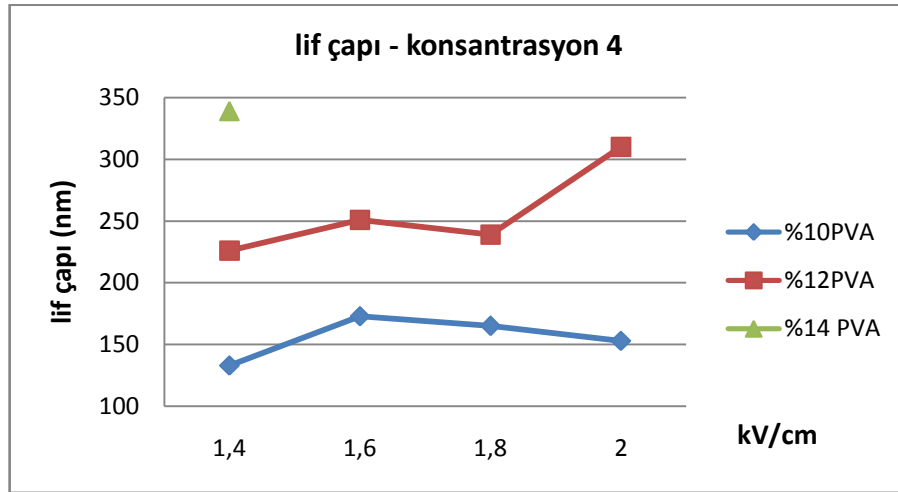
Şekil 4.3`de 1,4kV/cm`de verilen değerlere ait SEM görüntüleri Şekil 4.4`de verilmiştir.





**Şekil 4.4.** Farklı konsantrasyonlardaki PVA SEM görüntüleri (a%10, b%12, c%14)

10cm mesafede, 0,9mm iğne çapında, 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.5`de görülmektedir.



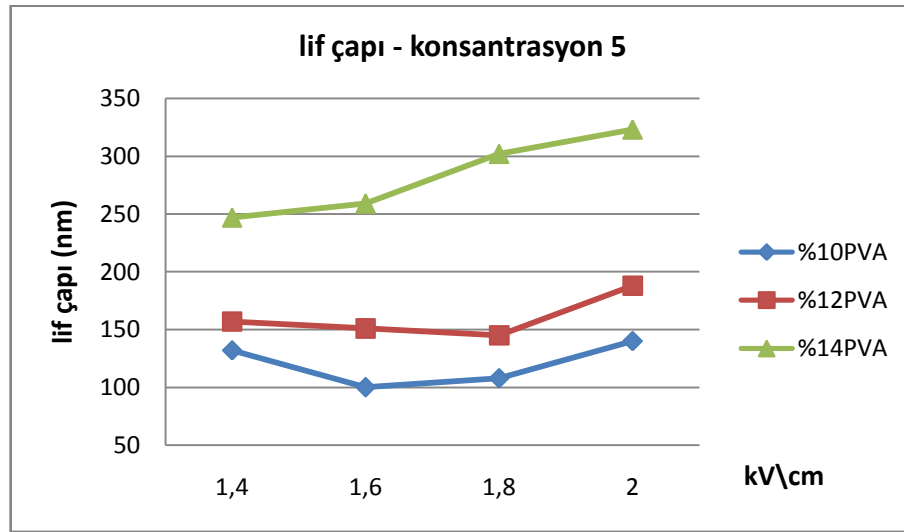
**Şekil 4.5.** Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

%14`lük çözelti ile sadece 1,4kV/cm`de üretim yapılabilmiş, artan voltaj oranlarında üretim yapılamamıştır. Bu durum yüksek voltajlarda, Coulomb kuvvetinin fazla artması nedeni ile,

çözeltinin toplayıcı plakaya çekilme hızının, besleme hızından daha düşük kalması ve bu durumda jet oluşmaması ile açıklanabilir. Bu görüşü şu şekilde desteklemek de mümkündür; bir önceki şekilde, aynı parametrelerde 0,7mm iğne çapında üretim yapılabilmektedir. Fakat burada iğne çapının artması ile yüzey gerilimi azalmış ve Coulomb kuvvetinin etkisi artmıştır.

#### Konsantrasyonun PVA Lif Çapına Etkisi (15 cm)

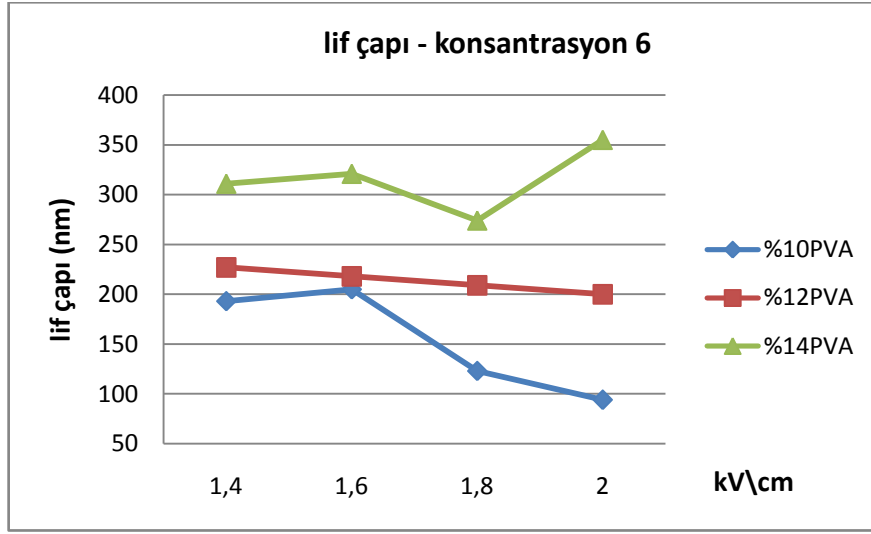
15cm mesafe, 0,7mm iğne çapı ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.6`da görülmektedir.



Şekil 4.6. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

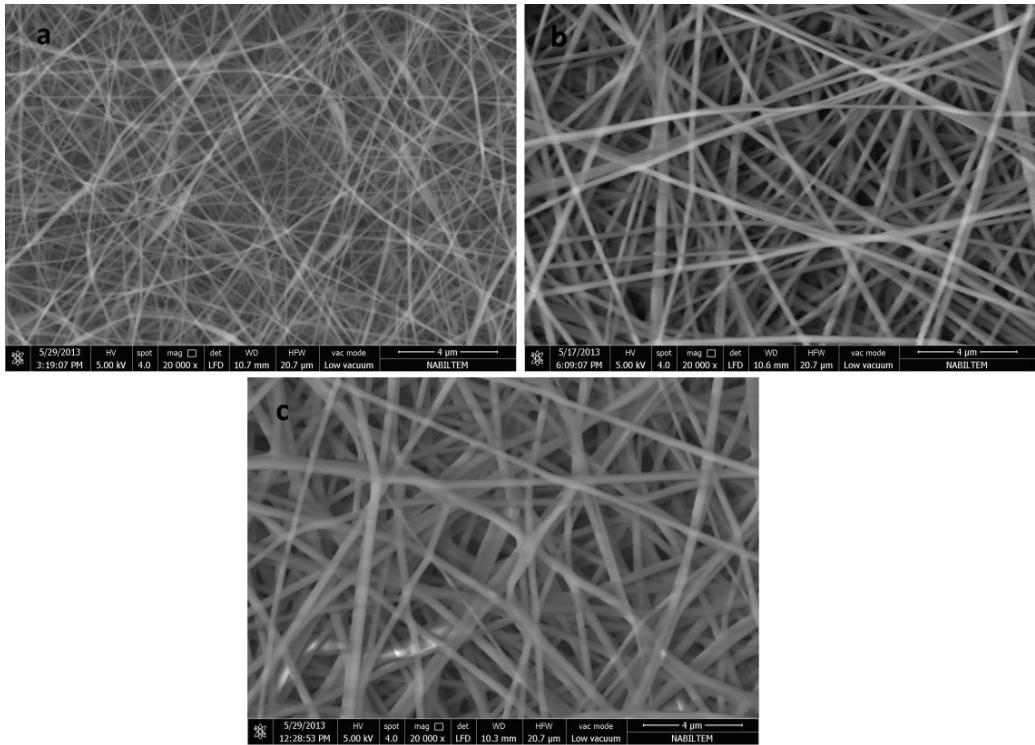
Üretim mesafesi 15cm`e çıktığında da %14`lük PVA çözeltisi ile üretilen liflerin ortalama çaplarının daha belirgin olarak yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, artan konsantrasyon ile viskoelastik kuvvetlerin artması ve bu kuvvetlerin Coulomb kuvvetinden daha baskın hale gelmesi, Whipping kararsızlığının azalması ile açıklanabilir.

15cm mesafede, 0,9mm iğne çapında, 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.7`de görülmektedir.



Şekil 4.7. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

Şekil 4.7`de 2kV/cm`de gösterilen değerlere ait SEM görüntüleri Şekil 4.8`de verilmiştir.

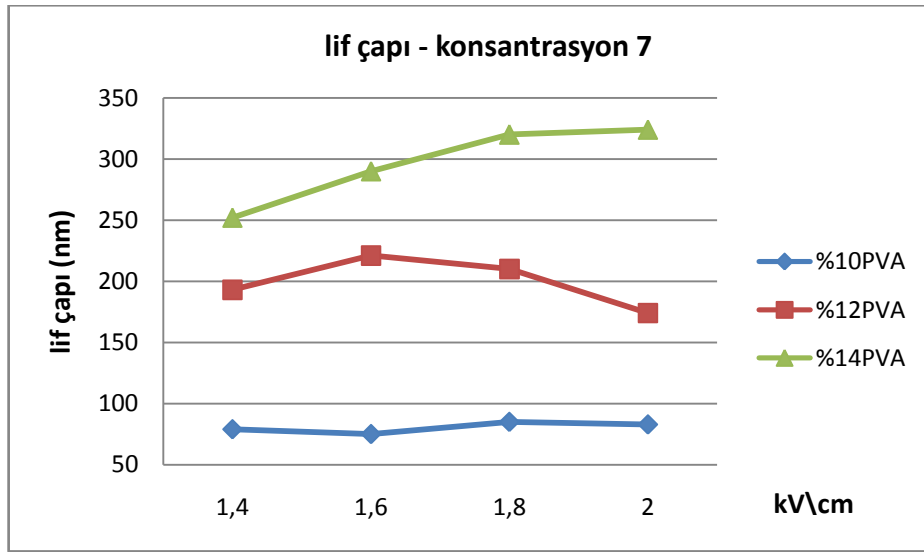


Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonlardaki PVA SEM görüntüleri (a%10, b%12, c%14)

İğne çapı arttığında, 0,7mm`lik iğne ile yapılan üretilere göre, voltaj artışının lif çapları üzerinde ani yükselişler ve ani düşümlere sebep olduğu görülmüştür. Bu durum, iğne çapının

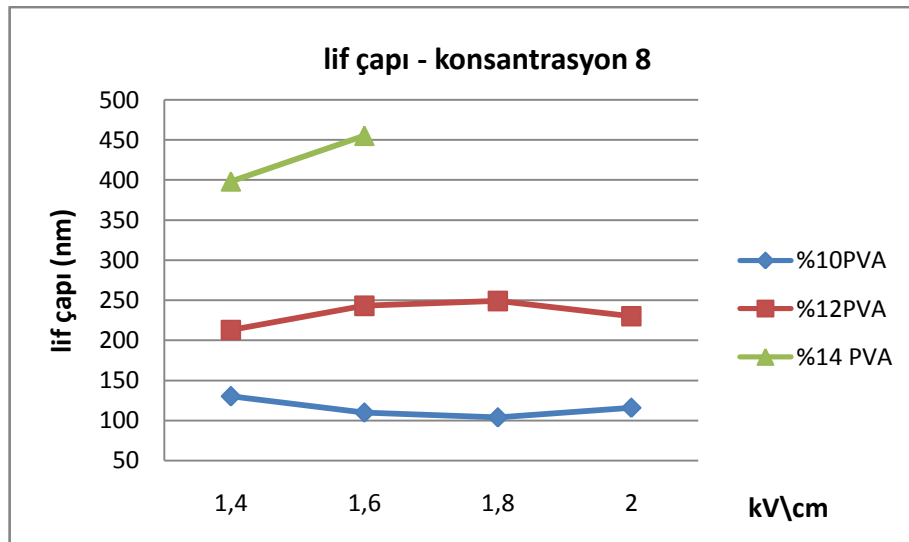
artması ile yüzey geriliminin azalması ve iğne ucundaki çözelti miktarının daha fazla olması sonucunda, etki eden Coulomb kuvvetinin etkisinin fazlalaşması ile açıklanabilir. Artan voltaj/mesafe oranında etki eden elektrosatik kuvvetler ve Coulomb kuvveti fazlalaşmış ve iğne çapının büyümesi ile bu kuvvetlerin etkisi daha baskın hale gelmiştir. Elektriksel kuvvetlerin baskın etkisi, jet oluşumunda kararsızlığa neden olduğundan, lif çaplarında büyük değişimlere neden olmuştur.

15cm mesafede, 0,7mm iğne çapında, 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.9`da verilmiştir.



Şekil 4.9. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

15cm mesafede, 0,9mm iğne çapında, 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.10`da görülmektedir..



**Şekil 4.10.** Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

Aynı parametrelerde 10cm mesafede elde edilen sonuçlarda (Şekil 4.5) da, %14`lük çözelti ile artan voltaj/mesafe oranında üretim yapılamadığı hatırlandığında, bu parametrelerden elde edilen sonuçlar, şekil 4.5 ile alakalı teoriyi doğrulamaktadır. Burada mesafe 10cm`den 15cm`e çıkartıldığında, 1,6kV/cm voltaj oranında da üretim yapılabilmesi ise, voltaj/mesafe oranının teorik olarak aynı kalmasına rağmen, pratikte daha farklı sonuç verebileceğini gösterir. 1,6kV/cm voltaj oranında 10cm mesafede üretim yapılamazken, 15cm mesafede üretim yapılabilmesi artan mesafenin Coloumb kuvvetinin etkisini azaltması ile açıklanabilir.

Çözelti konsantrasyonunun PVA lif çapına etkilerine bakıldığında, nedeysse tüm parametreler için konsantrasyon artışının lif çapını arttırdığı görülmektedir. bunun sebebi, yükselen konsantrasyonla birlikte viskozitenin de artması ve çözelti molekülleri arasındaki viskoelastik kuvvetlerin baskın hale gelmesidir. Artan viskoelastik kuvvetler, whipping kararsızlığını azaltır ve bu sayede oluşan jetteki Whipping kararsızlığı azalır, jetin alacağı yol azalır. bu durumda jet elektrostatik alanda daha kısa süre kalacağından oluşan lif çapı artar.

Genel olarak besleme hızının 0,10ml/sa olduğu durumda, %14`lük PVA çözeltisine ait lif çaplarındaki artış oranının, besleme hızı 0,20ml/sa olduğu durumdaki %14`lük PVA çözeltisine ait lif çapındaki artış oranına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum besleme hızının artması ile iğneye beslenen çözelti miktarının artması ve birim çözelti kütesine etki eden elektriksel kuvvetlerin etsinin azalması, dolayısı ile %14`lük çözeltine zaten baskın olan elektrostatik kuvvetlerin etkisinin daha da belirgin hale gelmesi ile açıklanabilir.

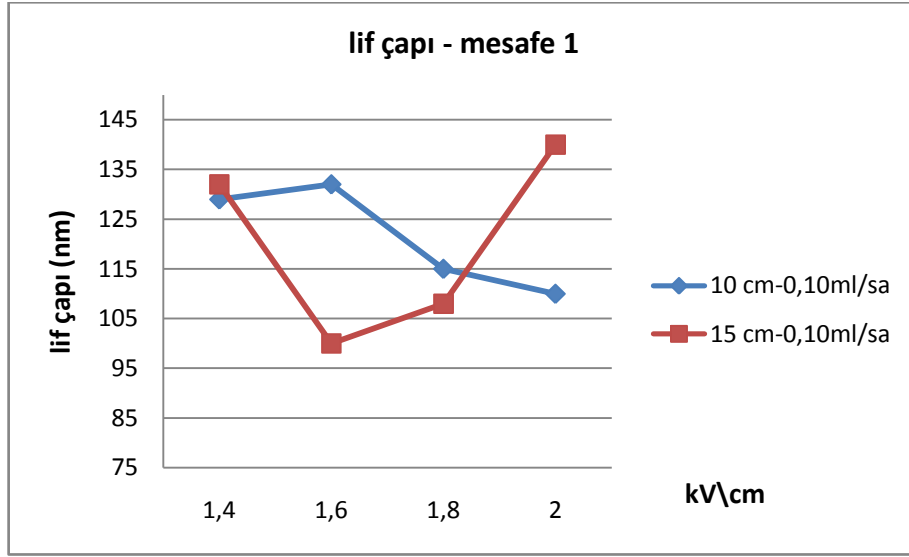
#### **4.3.2. Mesafenin PVA Lif Çapına Etkisi**

İğne ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafenin ortalama lif çapına olan etkisini gösteren grafikler %10 PVA, %12 PVA ve %14 PVA başlıkları altında ayrı ayrı verilmiştir.

##### **Mesafenin PVA Lif Çapına Etkisi (%10 PVA)**

%10`luk PVA çözeltisinde, iğne ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe artışının lif çapına olan etkisi farklı iğne çapları ve farklı besleme hızları için ayrı ayrı grafiklerde değerlendirilmiştir.

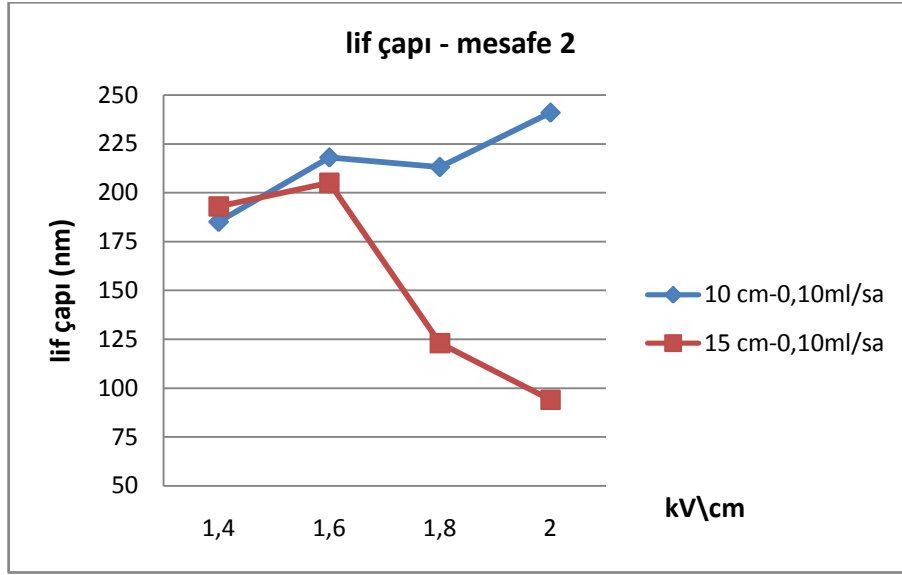
%10 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.11`de görülmektedir.



**Şekil 4.11.** Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

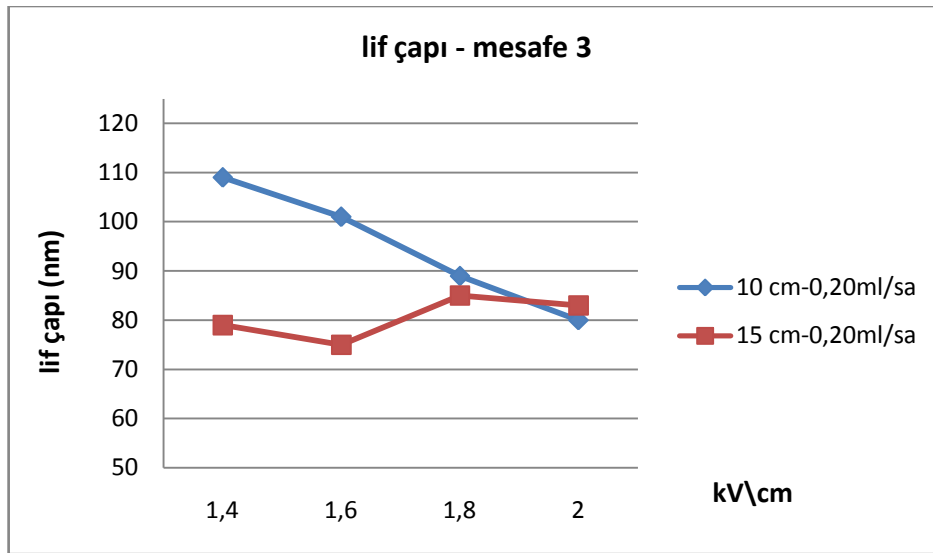
Şekil 4.11`de 10cm`de ve 15cm`de üretilen %10 konsantrasyondaki PVA lif çapları görülmektedir. 1,6kV/cm oranına kadar 10cm mesafedeki lif çapında artış, 15cm mesafedeki lif çapında azalış görülmekte, 1,6kV/cm voltaj oranı geçildikten sonra bu trend tam tersine dönmektedir. Başlangıçta aynı olan lif çapları voltaj/mesafe oranının artması ile ters bir trend sergilemiştir.

%10 konsantrasyonda, 0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.12`de görülmektedir.



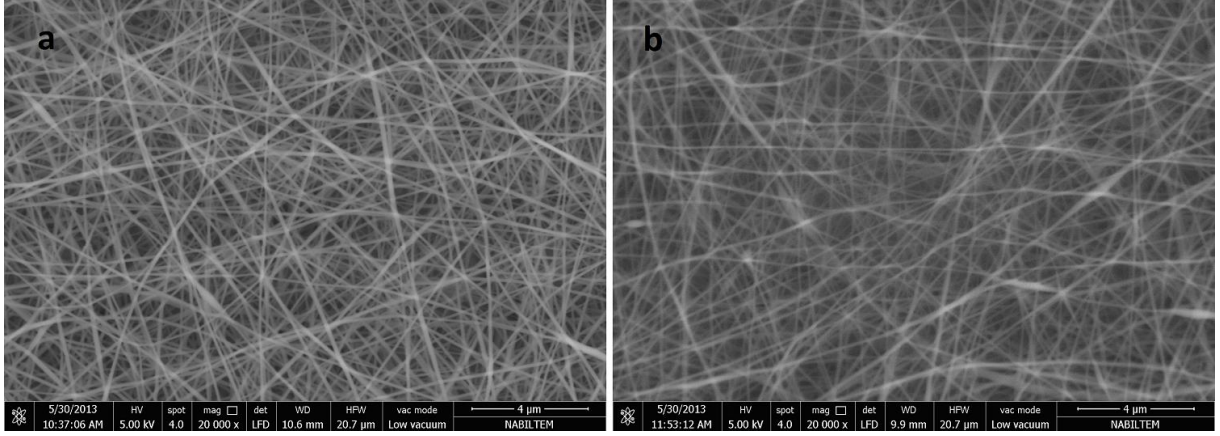
Şekil 4.12. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

%10 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında ve 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.13`de görülmektedir.



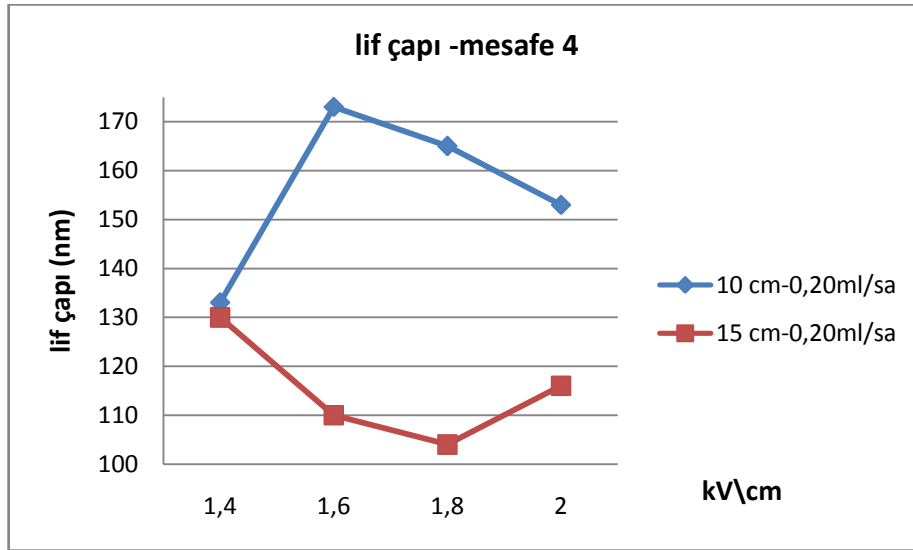
Şekil 4.13. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

Şekil 4.13`de 1,6kV/cm`de gösterilen değerlere ait SEM görüntüleri, Şekil 4.14`de verilmiştir.



**Şekil 4.14.** 10cm ve 15cm`deki PVA SEM görüntüleri (a 10cm, b 15cm)

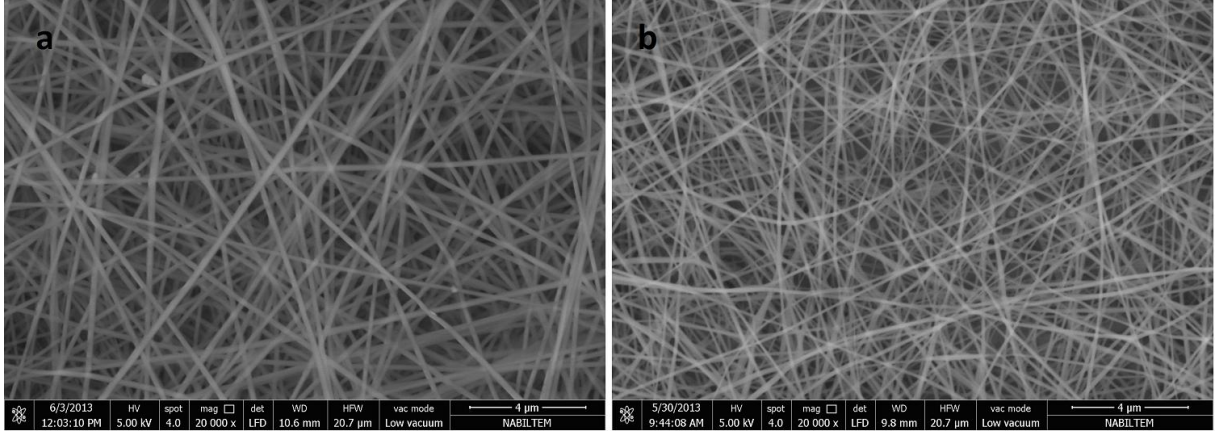
%10 konsantrasyonda, 0,9mm iğne çapında ve 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.15`de görülmektedir.



**Şekil 4.15.** Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

Şekil 4.15`de 1,6kV/cm`de gösterilen değerlere ait SEM görüntüleri, Şekil 4.16`de verilmiştir.





**Şekil 4.16.** 10cm ve 15cm`deki PVA SEM görüntüleri (a 10cm, b 15cm)

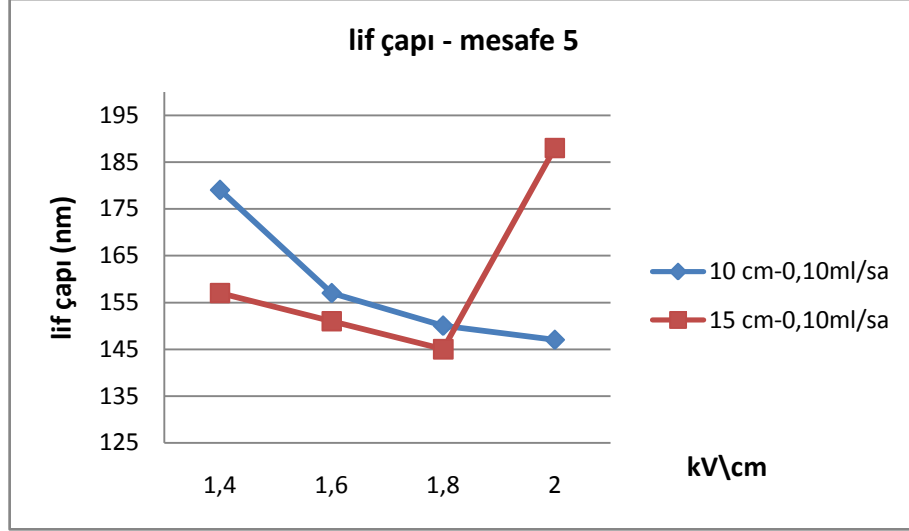
%10`luk PVA çözeltisinden elde edilen lif çapları, mesafe haricindeki parametrelerin aynı tutulduğu durumlar için tek tek kıyaslanmıştır. Genel olarak mesafenin 15cm olduğu durumda lif çaplarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, mesafe artışı ile jetin alacağı mesafenin artması ve elektrostatik alanda daha fazla kaması sonucunda daha ince lifler oluşmasıdır. Ayrıca mesafenin artışı ile çözücünün buharlaşması için geçen sürenin artması da, çözünün daha iyi uzaklaşmasına ve liflerin daha ince olmasına neden olmaktadır.

Artan voltaj/mesafe oranına bakıldığında, genellikle 10cm`deki ve 15cm`deki lif çapları ters bir trend izlemişlerdir. Bu durum, 10cm`de üretim yapılırken voltaj/mesafe oranının artması ile, jete etki eden elektrostatik kuvvetin ve Coulomb kuvvetinin artması ile jetin hızlanması, hızlanan jetin, elektrostatik alanda daha az kalarak, daha büyük lif çapı oluşturması, 15cm`de ise hızlanan jetin alacağı yolun daha fazla olması ile elektrostatik alanda daha kalarak daha ince lifler oluşturması ile açıklanabilir.

#### **Mesafenin PVA Lif Çapına Etkisi (%12 PVA)**

%12`lik PVA çözeltisinde iğne ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe artışının lif çapına olan etkisi farklı iğne çapları ve farklı besleme hızları için ayrı ayrı grafiklerde değerlendirilmiştir.

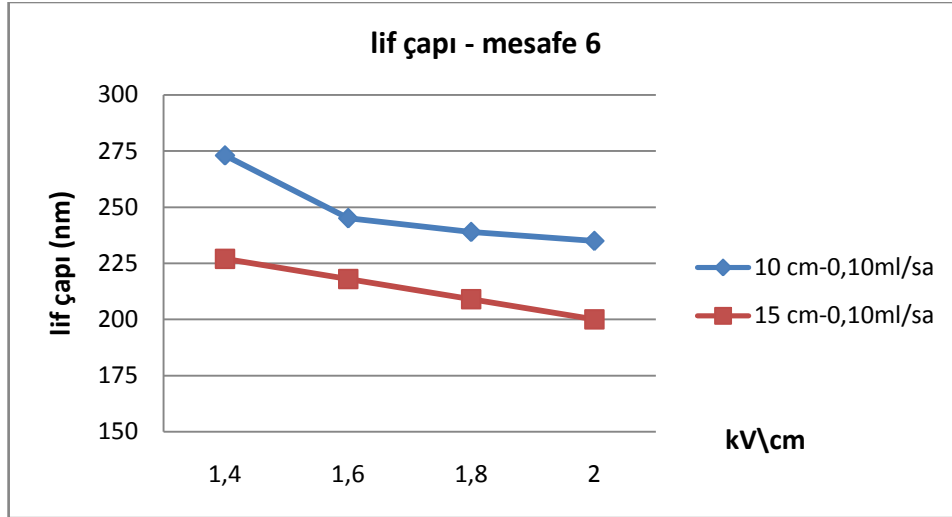
%12 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.17`de verilmiştir.



**Şekil 4.17.** Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

15 cm`de üretilen numunelere ait lif çaplarının daha düşük olduğu fakat, voltaj/mesafe oranının 2 olduğu durumda, 15cm mesafedeki lif çapında ani bir artış olduğu gözlenmiştir.

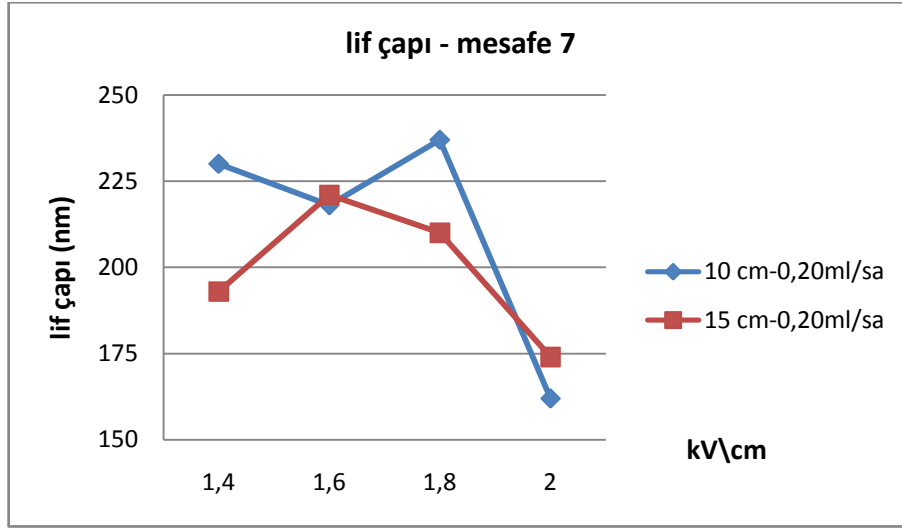
%12 konsantrasyonda, 0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.18`de verilmiştir.



**Şekil 4.18.** Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

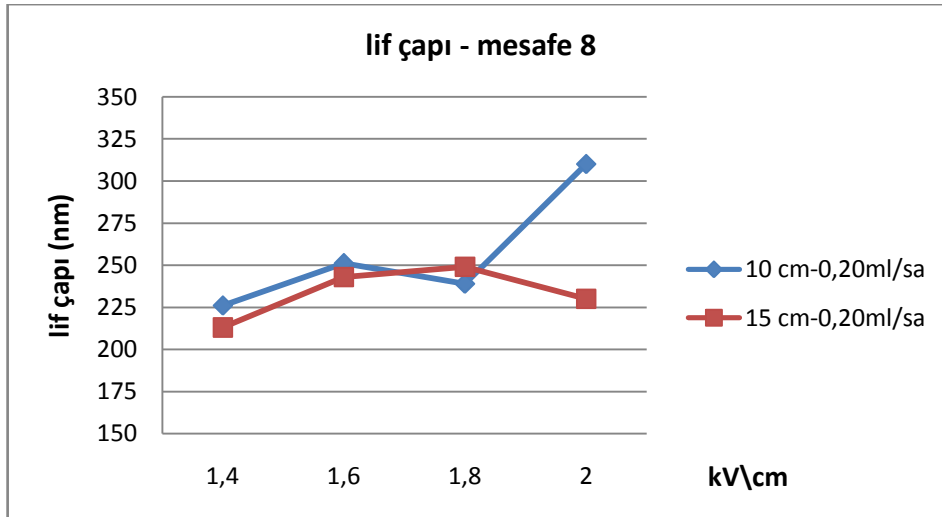
15cm mesafede elde edilen lif çaplarının 10cm mesafede üretilen lif çaplarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Artan voltaj oranı ise beklenmedik sonuçlara yol açmamış, her iki parametredeki değerlerin benzer trendlerde olmasını sağlamıştır.

%12 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında ve 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.19`da verilmiştir.



Şekil 4.19. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

%12 konsantrasyonda, 0,9mm iğne çapında ve 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.20`de verilmiştir.



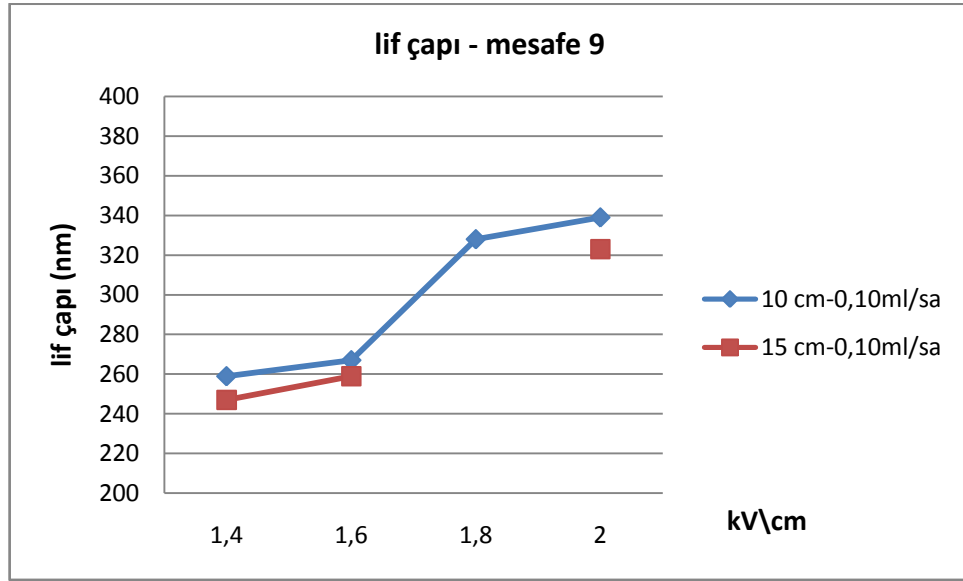
Şekil 4.20. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

%12`lik PVA çözeltisine ortalama lif çapları, mesafenin artışına göre değerlendirildiğinde genellikle artan mesafenin lif çapını azalttığı görülmüştür. Fakat bazı üretim parametrelerinde, özellikle artan voltaj/mesafe oranlarında aksi durumlar da görülmektedir.

Burada dikkat çeken bir nokta ise, mesafe değişiminin lif çapına olan etkisinin %10'luk çözeltiye göre azaldığı yani %12'lik çözeltide üretilen numunelerdeki 10cm ve 15cm'deki lif çaplarının birbirine daha yakın olduğudur. Bu durum, çözelti konsantrasyonunun dolayısı ile viskozitenin artması sonucunda, elektrostatik kuvvetlerin etkisinin azalması ile açıklanabilir.

#### Mesafenin PVA Lif Çapına Etkisi (%14 PVA)

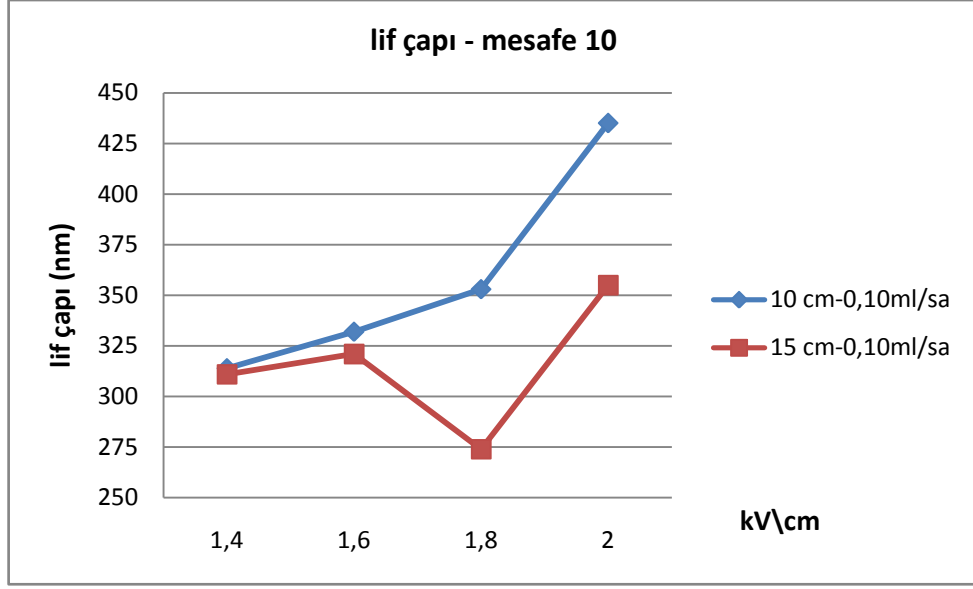
%14 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

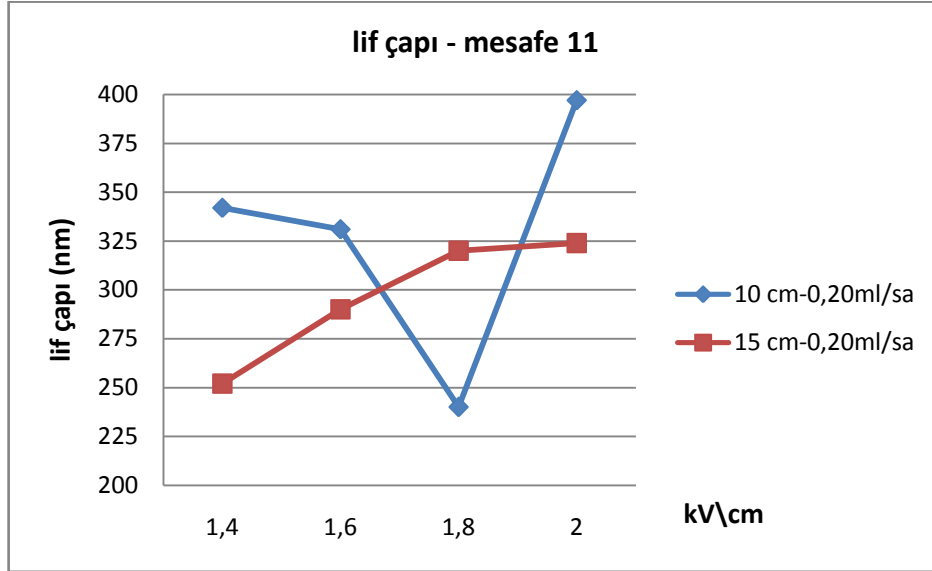
%14'lük konsantrasyonda çalışırken, viskozitenin oldukça yüksek olması nedeni ile bazı değerlerde üretim yapılamamıştır.

0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, besleme hızı 0,10ml/sa)

%14 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında ve 0,20ml/sa besleme hızında lif çaplarının mesafeye göre değişimi aşağıda şekil 4.23`de verilmiştir..



Şekil 4.23. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, besleme hızı 0,20ml/sa)

%14'lük konsantrasyonlarda da, genellikle 15cm`de üretilen numunelerin ortalama lif çapları daha düşük olmuştur. Bu durum, mesafenin artması nedeni ile, çözücünün daha iyi

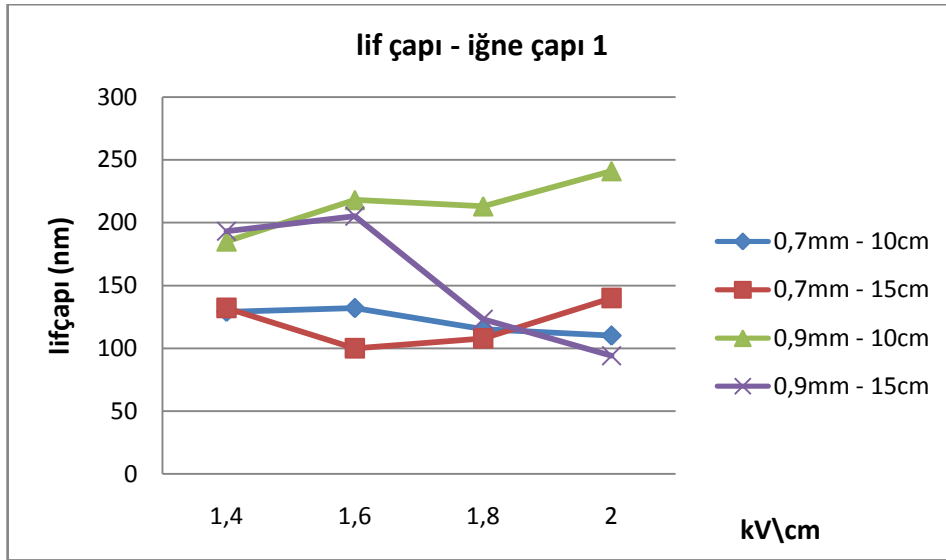
buharlaşması ve dolayısı ile daha ince lifler oluşması ile açıklanabilir. Fakat uygulanan voltaj oranı arttıkça, lif çaplarında ani düşüş ya da yükselişler gözlenmiştir.

#### 4.3.3 İğne Çapının PVA Lif Çapına Etkisi

İğne çapının PVA lif çapına etkisi her konsantrasyon değerinde ayrı grafiklerde incelenmiştir.

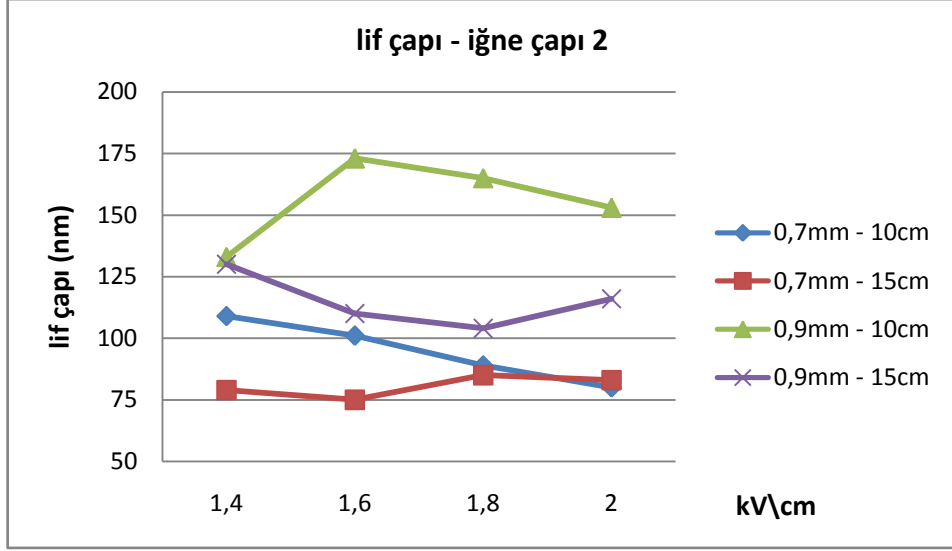
#### İğne Çapının PVA Lif Çapına Etkisi (%10 PVA)

%10 PVA çözeltisinden, 0,10ml/sa besleme hızı ile üretilen liflerin, iğne çaplarına göre değişimi aşağıda şekil 4.24`de gösterilmiştir.



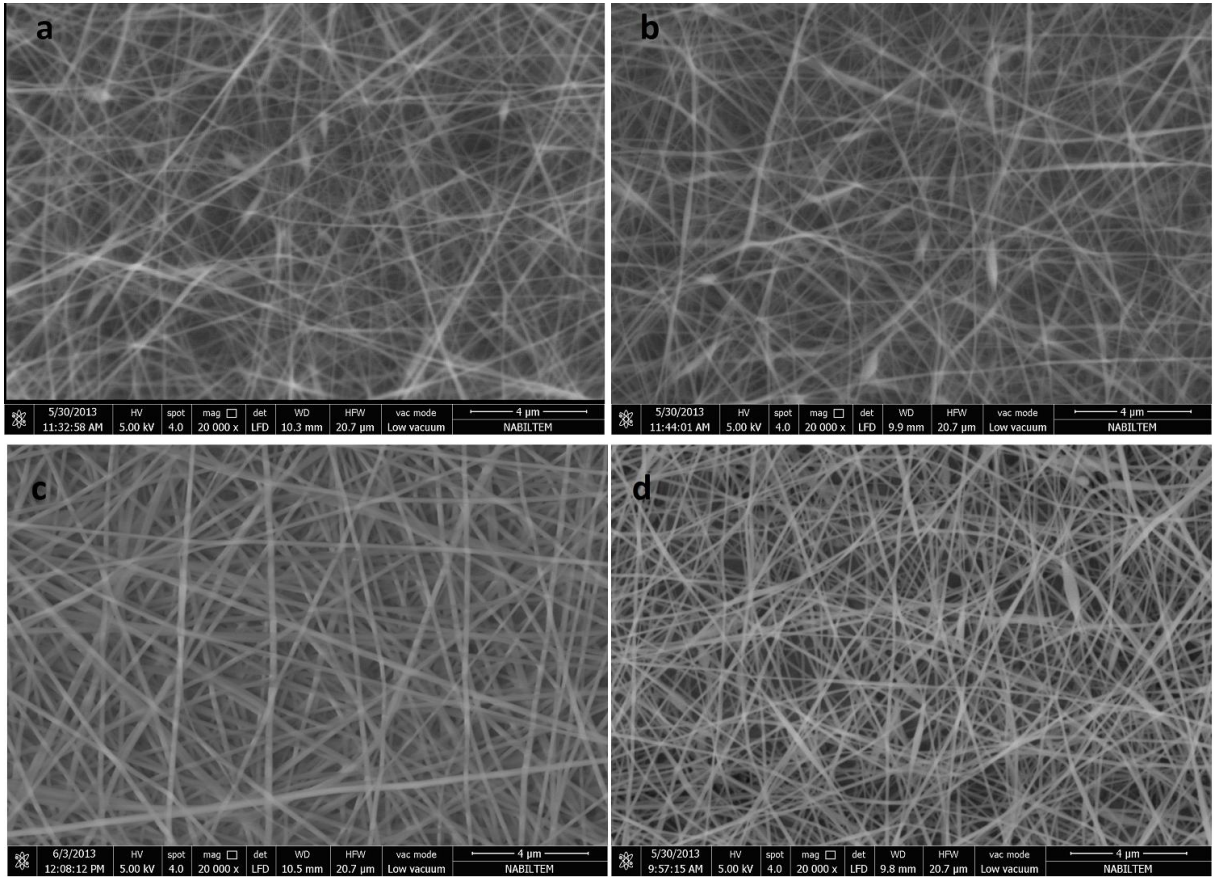
Şekil 4.24. iğne çapının lif çapına etkisi (konsantrasyon %10, besleme hızı 0,10ml/sa)

%10 PVA çözeltisinden, 0,20ml/sa besleme hızı ile üretilen liflerin, iğne çaplarına göre değişimi aşağıda şekil 4.25`de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. İğne çapının lif çapına etkisi (konsantrasyon %10, besleme hızı 0,20ml/sa)

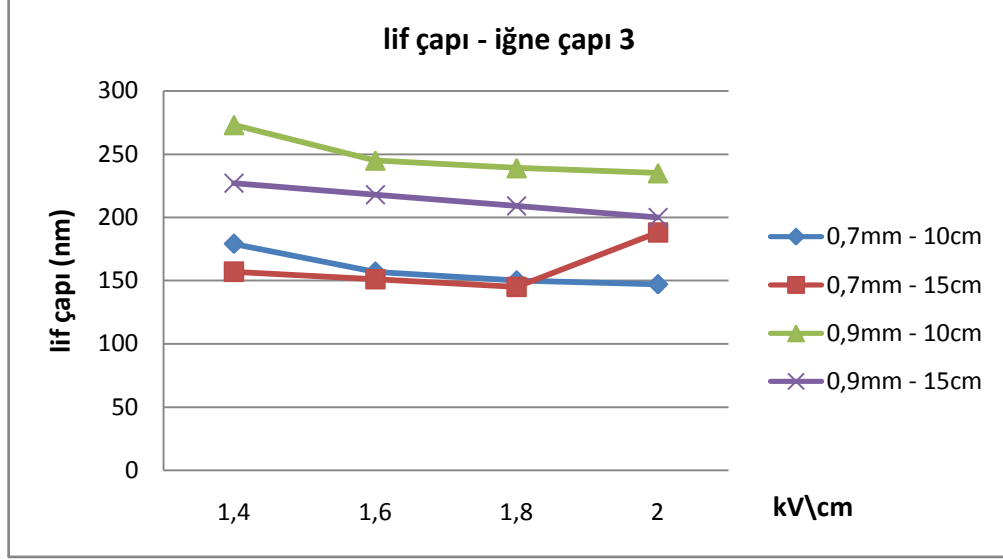
Aşağıda şekil 4.26`da 0,7mm ve 0,9mm`lik iğneler ile üretilen PVA liflerine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.26. 0,7mm ve 0,9mm`lik iğneler ile üretilen PVA liflerine ait SEM görüntüleri (a 0,7mm iğne çapı, 10cm mesafe; b 0,7mm iğne çapı, 15cm mesafe; c 0,9mm iğne çapı, 10cm mesafe; d 0,9mm iğne çapı, 15cm mesafe)

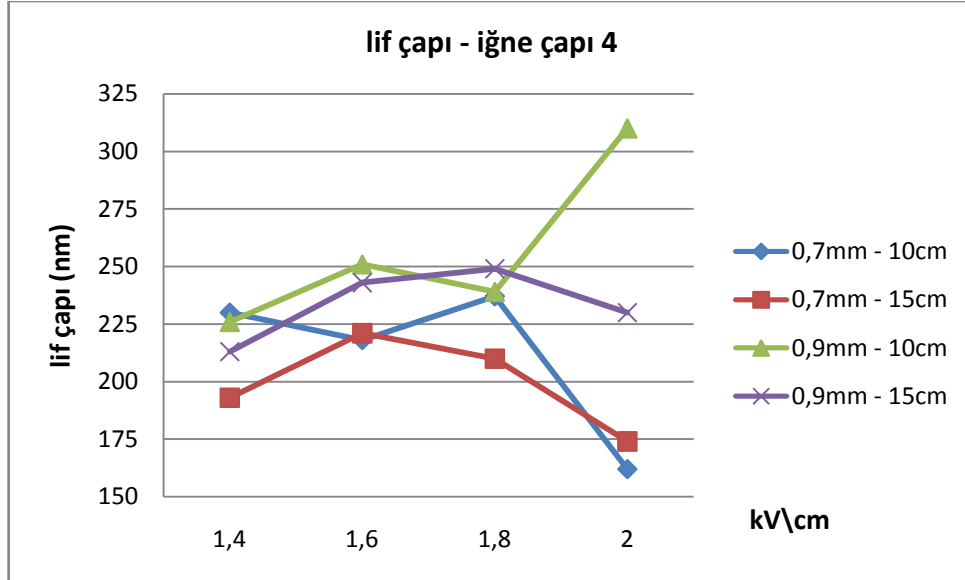
### İğne Çapının PVA Lif Çapına Etkisi (%12 PVA)

%12 PVA çözeltisinde, 0,10ml/sa besleme hızında lif çapının iğne çapına göre değişimi aşağıda şekil 4.27`de verilmiştir.



Şekil 4.27. İğne çapının lif çapına etkisi (konsantrasyon %12, besleme hızı 0,10ml/sa)

%12 konsantrasyonda, 0,20ml/sa besleme hızında, lif çapının iğne çapına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.28`de verilmiştir.

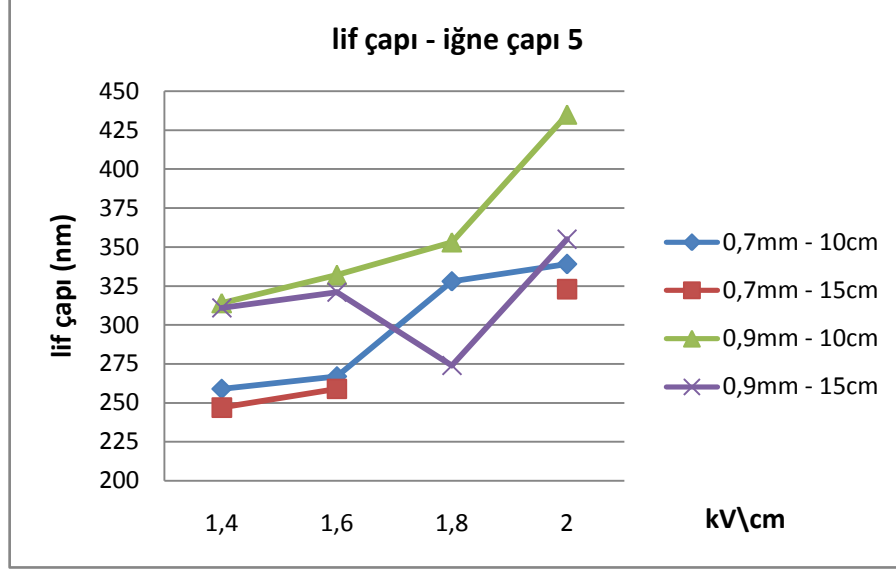


Şekil 4.28. İğne çapının lif çapına etkisi (konsantrasyon %12, besleme hızı 0,20ml/sa)



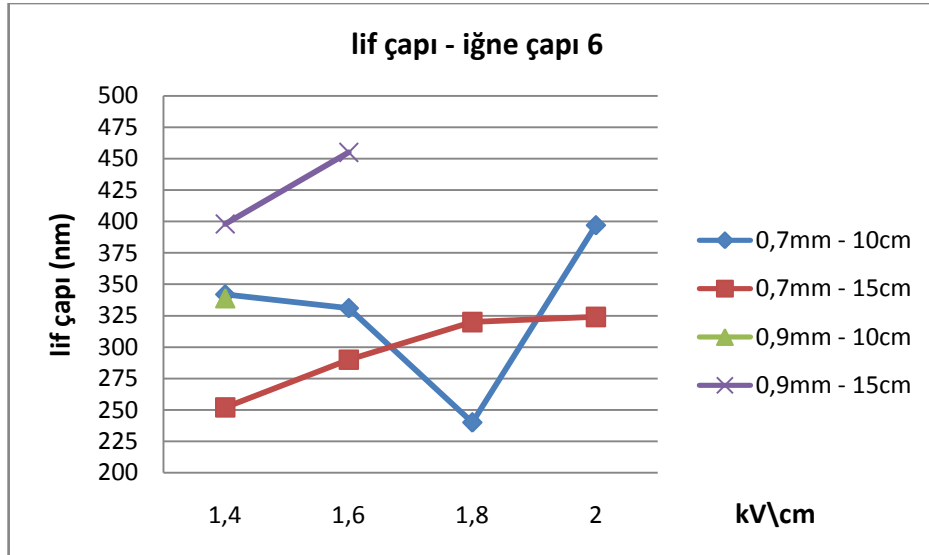
### İğne Çapının PVA Lif Çapına Etkisi (%14 PVA)

%14 konsantrasyonda, 0,10ml/sa besleme hızında lif çapının iğne çapına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.29`da verilmiştir.



Şekil 4.29. iğne çapının lif çapına etkisi (konsantrasyon %14, besleme hızı 0,10ml/sa)

%14 konsantrasyonda, 0,20ml/sa besleme hızında lif çapının iğne çapına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.30`da verilmiştir.



Şekil 4.30. iğne çapının lif çapına etkisi (konsantrasyon %14, besleme hızı 0,20ml/sa)

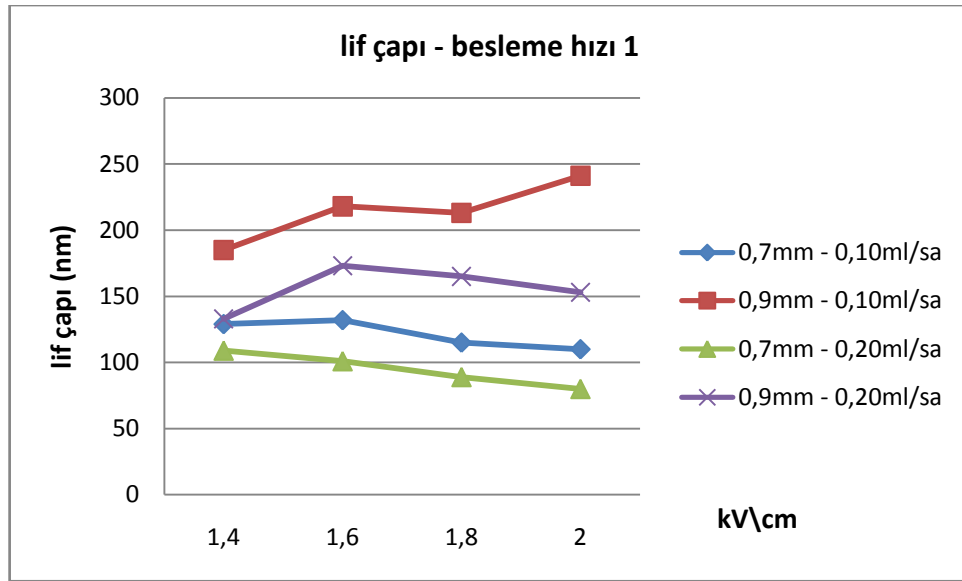
İğne çapının lif çapına olan etkisine bakıldığında genellikle 0,7mm çapa sahip iğneler ile çalışıldığında daha küçük lifler, 0,9mm çapa sahip iğne ile çalışıldığında daha büyük lifler elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeni, artan iğne çapının damlacıkta oluşan yüzey gerilimini düşürmesi ve bu sayede Coulomb kuvvetinin jete olan etkinin artması ile açıklanabilir. Coulomb kuvvetinin jete olan etkisinin artması jeti hızlandırır, hızlanan jetin havada kalma süresi azaldığından lif çaplarında artış görülür.

#### 4.3.4 Besleme Miktarının PVA Lif Çapına Etkisi

İğne çapının PVA lif çapına etkisi her konsantrasyon değerinde ayrı grafiklerde incelenmiştir.

##### Besleme Miktarının PVA Lif Çapına Etkisi (%10PVA)

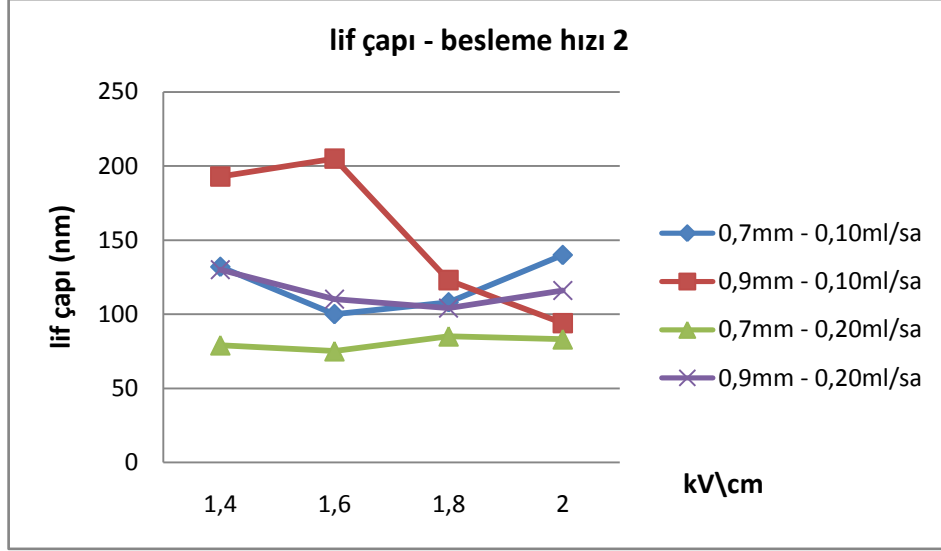
%10 konsantrasyonda, 10cm mesafede lif çapının besleme hızına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.31`de verilmiştir.



Şekil 4.31. Besleme hızının lif çapına etkisi (konsantrasyon %10, mesafe 10cm)

Belirtilen parametreler için artan besleme miktarının lif çapını azalttığı belirgin şekilde görülmektedir. Bir önceki bölümde açıklandığı gibi, artan iğne çapı lif çapını arttırdığından, en kalın lif çapları 0,9mm iğne çapı ve 0,10ml/sa besleme hızındaki üretimde, en düşük lif çapları ise 0,7mm iğne çapı ve 0,20ml/sa besleme hızındaki üretimde elde edilmiştir.

%10 konsantrasyonda, 15cm mesafede lif çapının besleme hızına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.32`de verilmiştir.

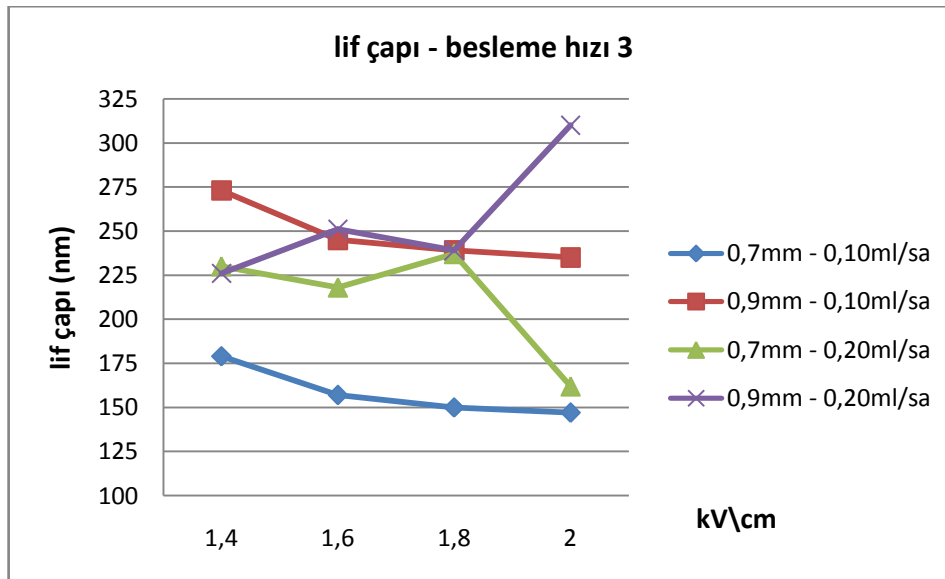


Şekil 4.32. Besleme hızının lif çapına etkisi (konsantrasyon %10, mesafe 15cm)

Bir önceki parametrelerde olduğu gibi net sonuçlar olmasa da, artan besleme miktarının lif çapında azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Bu durum, artan besleme miktarının iğne ucuna sevk edilen çözelti miktarını arttırması ile açıklanabilir. Sevk edilen çözelti miktarı artığında birim kütleyle etki edecek elektrostatik kuvvetler azalır ve bu durumda jet yavaşlar ve elektrostatik alanda daha fazla kalarak, daha ince lifler oluşmasına neden olur.

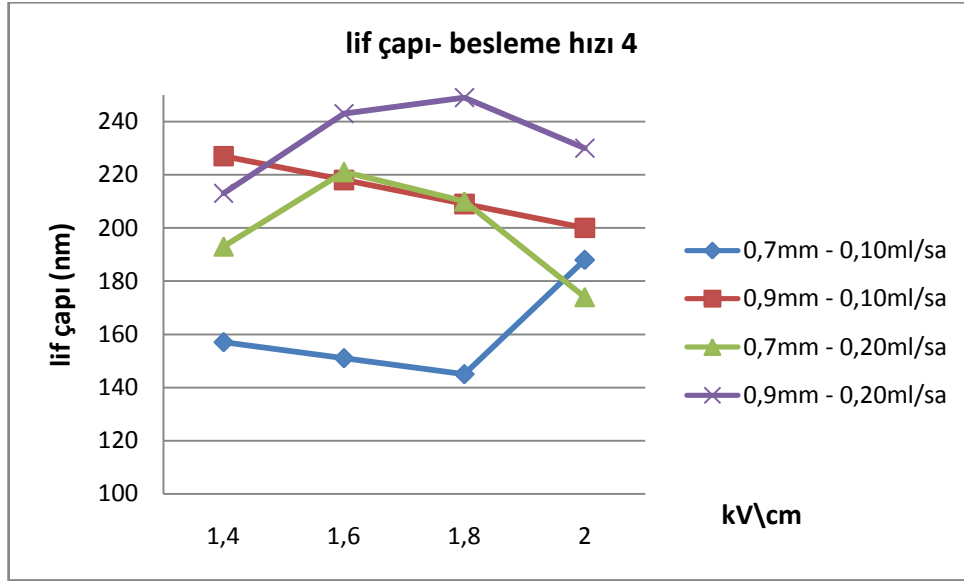
#### Besleme Miktarının PVA Lif Çapına Etkisi (%12PVA)

%12 konsantrasyonda, 10cm mesafede lif çapının besleme hızına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.33`de verilmiştir.



Şekil 4.33. Besleme hızının lif çapına etkisi (konsantrasyon %12, mesafe 10cm)

%12 konsantrasyonda, 15cm mesafede lif çapının besleme hızına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.34`de verilmiştir.

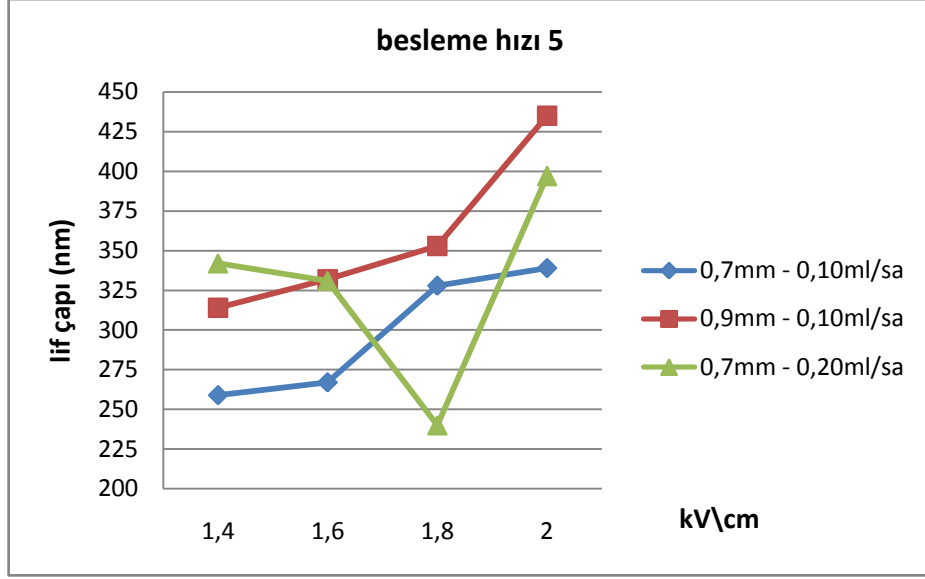


Şekil 4.34. Besleme hızının lif çapına etkisi (konsantrasyon %12, mesafe 15cm)

%12`lik PVA çözeltilerinden elde edilen lif çapları, besleme miktarına göre kıyaslandığında, %10`luk çözeltidekinin aksine yüksek besleme miktarında lif çapının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, %10`luk çözeltiye göre %12`lik çözeltide viskoelastik kuvvetlerin artması ve bu durumda elektriksel kuvvetlerin birincil etkisinin kaybolması ile açıklanabilir. Bu durumda besleme miktarı arttığında, artan çözelti miktarı yüzey gerilimini düşürür ve Coulomb kuvvetlerinin etkisi artar, jet hızlanır ve hava kalma süresi kısalmır ve lif çapı artar.

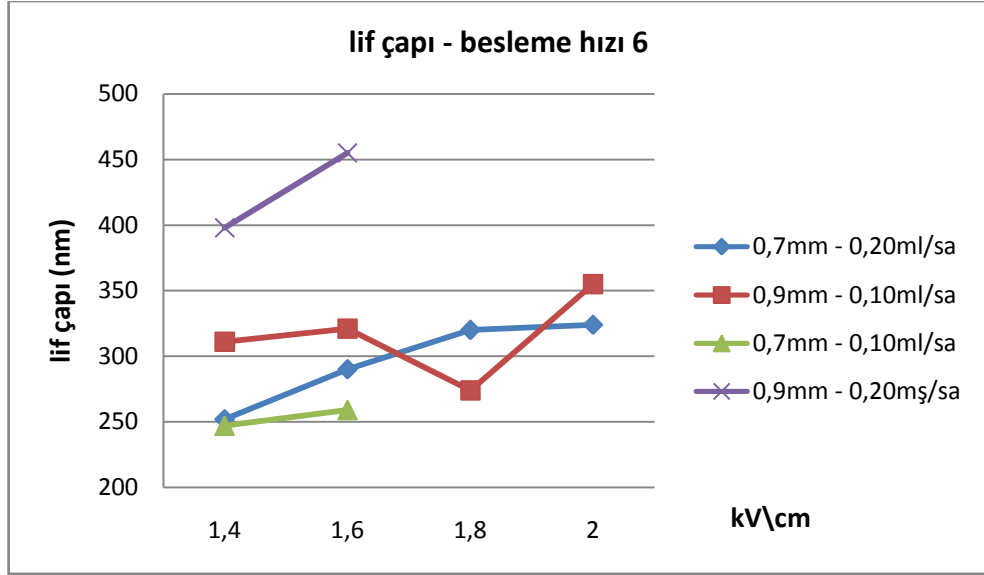
#### Besleme Miktarının PVA Lif Çapına Etkisi (%14PVA)

%14 konsantrasyonda, 10cm mesafede lif çapının besleme hızına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.35`de verilmiştir.



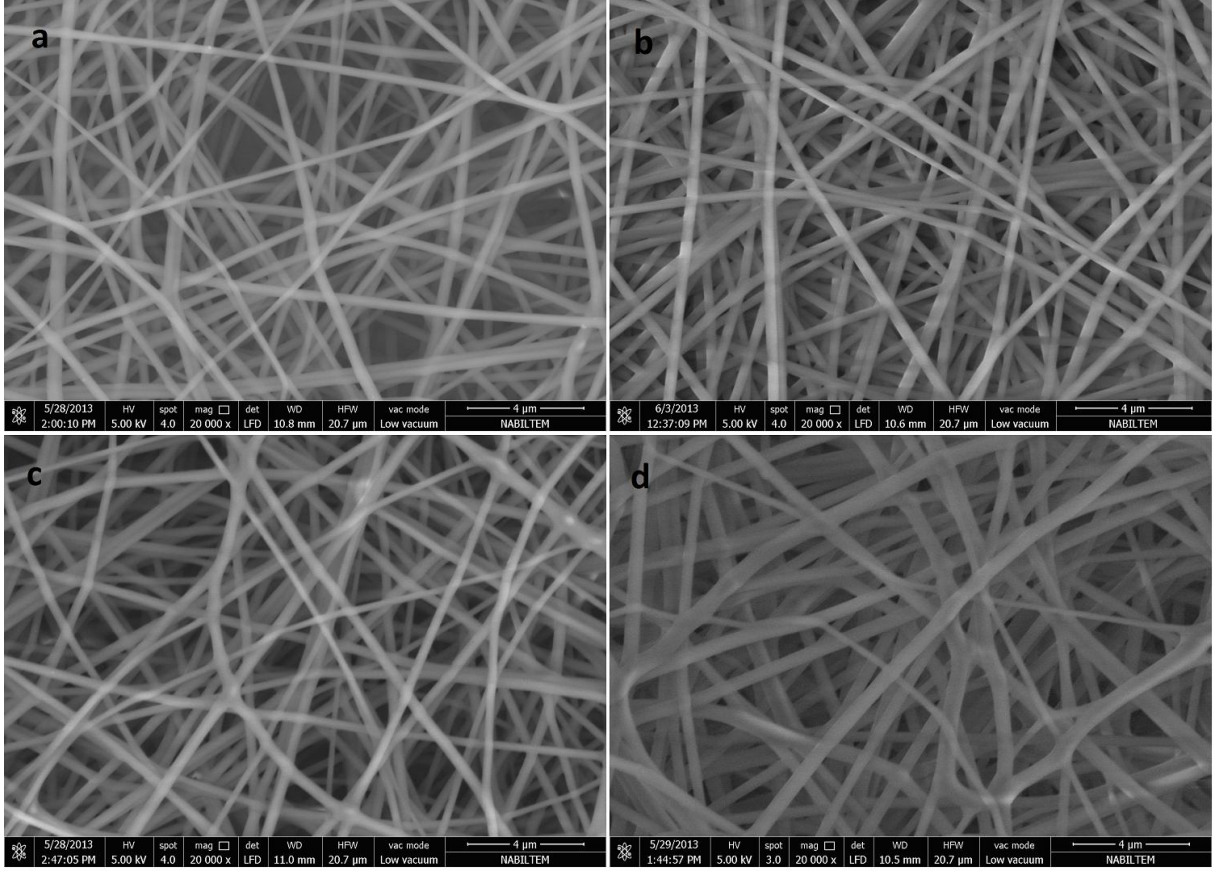
Şekil 4.35. Besleme hızının lif çapına etkisi (konsantrasyon %14, mesafe 10cm)

%14 konsantrasyonda, 15cm mesafede lif çapının besleme hızına göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.36`da verilmiştir.



Şekil 4.36. Besleme hızının lif çapına etkisi (konsantrasyon %14, mesafe 15cm)

Şekil 4.37`de 1,6kV/cm`de farklı besleme hızlarında üretilen PVA nanoliflerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.37.** Farklı besleme hızlarında üretilen PVA nanoliflerinin SEM görüntüleri (a 0,7mm iğne çapı, 0,10ml/sa besleme hızı; b 0,7mm iğne çapı, 0,20ml/sa besleme hızı; c 0,9mm iğne çapı, 0,10ml/sa besleme hızı; d 0,9mm iğne çapı, 0,20ml/sa besleme hızı)

% 14'lük PVA çözeltisinde de %12'lik çözelti için açıklanan durumun geçerli olduğu söylenebilir.

#### 4.4. PAN Lif apları

PAN polimerinden elde edilen yüzeylere ait ortalama lif çapları izelge 4.3`de verilmiştir.

Çizelge 4.3. PAN çözeltilerine ait ortalama lif çapları

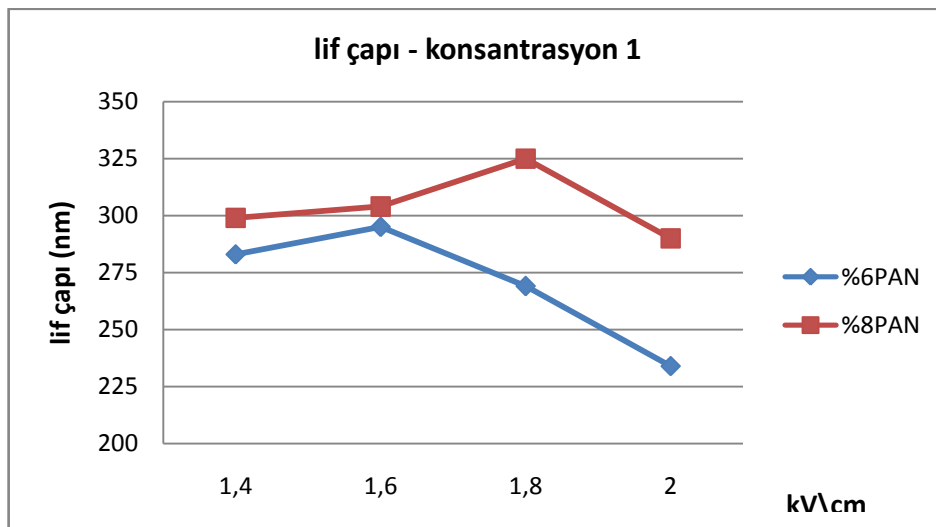
	1,4kV/cm	1,6kV/cm	1,8kV/cm	2kV/cm	1,4kV/cm	1,6kV/cm	1,8kV/cm	2kV/cm
%6PAN-10cm	283	295	269	234	351	330	321	261
%6PAN-15cm	247	221	212	256	310	291	274	251
%8PAN-10cm	299	304	325	290	410	375	360	341
%8PAN-15cm	303	301	337	375	310	331	323	420
%10PAN-10cm	Lif oluşumu yok				Lif oluşumu yok			
%10PAN-15cm	Lif oluşumu yok				Lif oluşumu yok			

#### 4.41. Konsantrasyonun PAN Lif apına Etkisi

Konsantrasyonun PAN lif çapına olan etkisi üretim mesafenin 10cm ve 15cm olduğu durumlarda ayrı ayrı incelenmiştir.

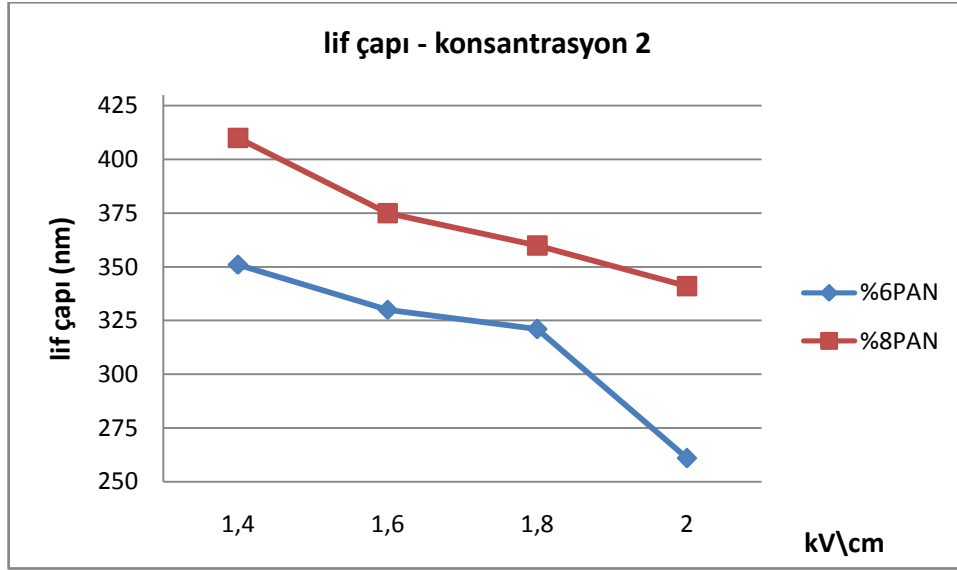
#### Konsantrasyonun PAN Lif apına Etkisi (10cm)

10cm mesafede, 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında, 10cm mesafede, lif çapının konsantrasyona göre değişimi aşağıda Şekil 4.38`de verilmiştir.



Şekil 4.38. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, mesafe 10cm)

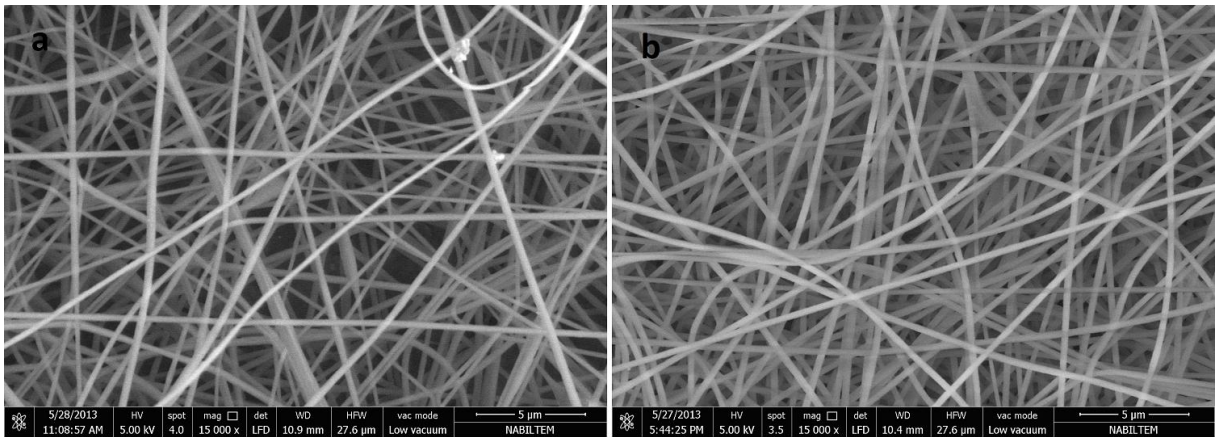
10cm mesafede, 0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında, lif çapının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.39`da verilmiştir.



Şekil 4.39. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, mesafe 10cm)

Görüldüğü gibi artan çözelti konsantrasyonu lif çapını artırmıştır. Artan voltaj değerlerinde, her iki konsantrasyon içinde lif çapı azalmış ve doğrular benzer trend göstermiştir. Bu durum PAN polimerinin molekül ağırlığının daha büyük olması, dolayısı ile elektriksel kuvvetlerden daha az etkilenmesi ile açıklanabilir.

Şekil 4.39`da 1,6kV/cm`de verilen değerlere ait SEM görüntüleri, şekil 4.40`da verilmiştir.

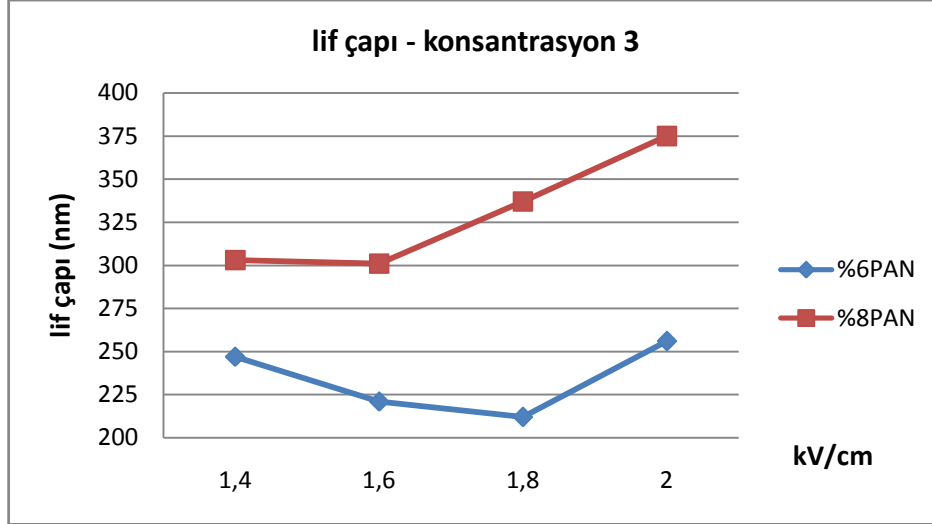


Şekil 4.40. 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri (a %6, b %8)



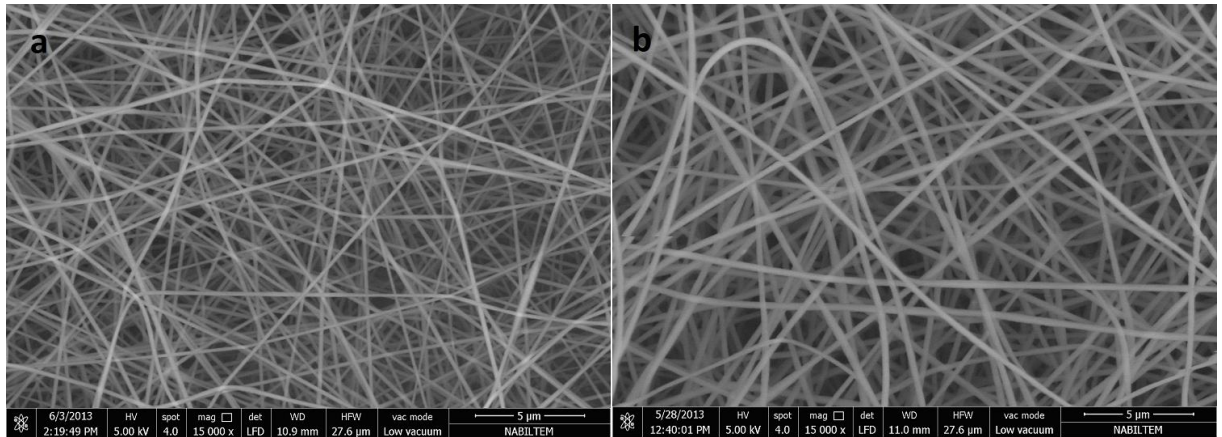
### Konsantrasyonun PAN Lif Çapına Etkisi (15cm)

15cm mesafede, 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında, 15cm mesafede, lif çapının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.41`de verilmiştir.



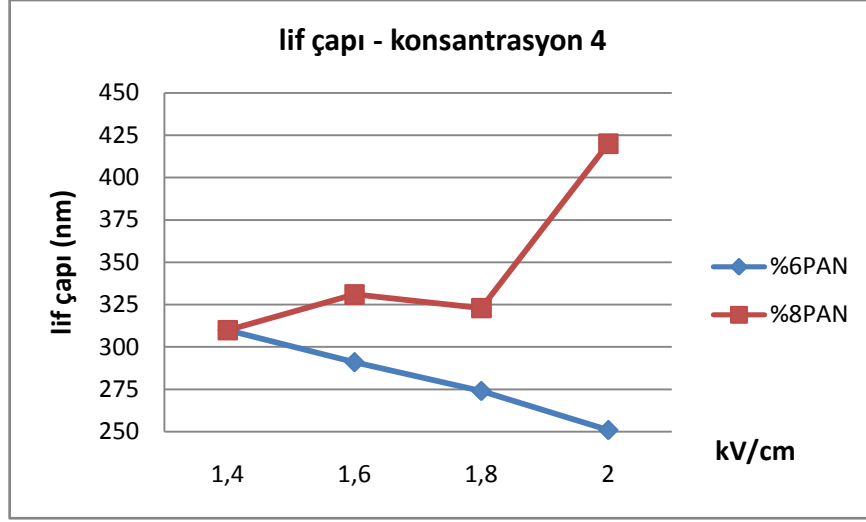
Şekil 4.41. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, mesafe 15cm)

Aşağıda Şekil 4.42`de 1,4kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.42. 1,4kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri (a %6, b %8)

15 cm mesafede, 0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında, lif çapının konsantrasyona göre değişimi aşağıda şekil 4.43`de verilmiştir.

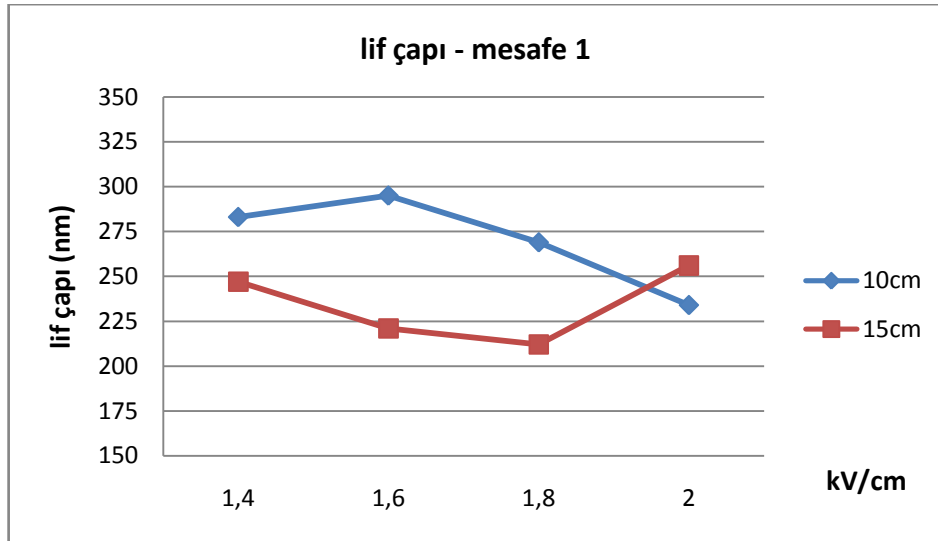


Şekil 4.43. Konsantrasyonun lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, mesafe 15cm)

Konsantrasyon artışının PAN lif çapını arttırdığı bariz şekilde görülmektedir. Genel olarak sonuçlara bakıldığında, PAN polimerinin voltaj artışından daha az etkilendiği görülmektedir.

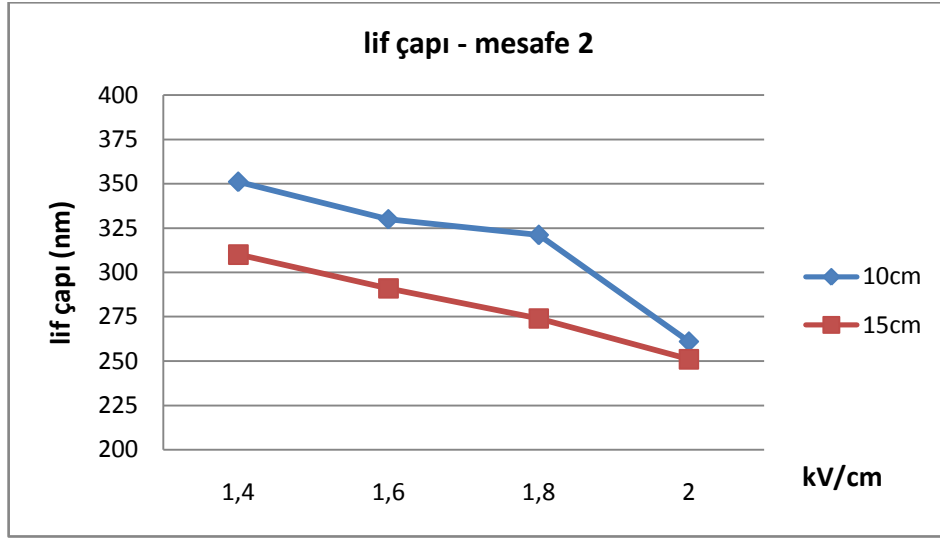
#### 4.4.2. Mesafenin PAN Lif Çapına Etkisi (%6 PAN)

%6 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çapının mesafeye göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.44`de verilmiştir.



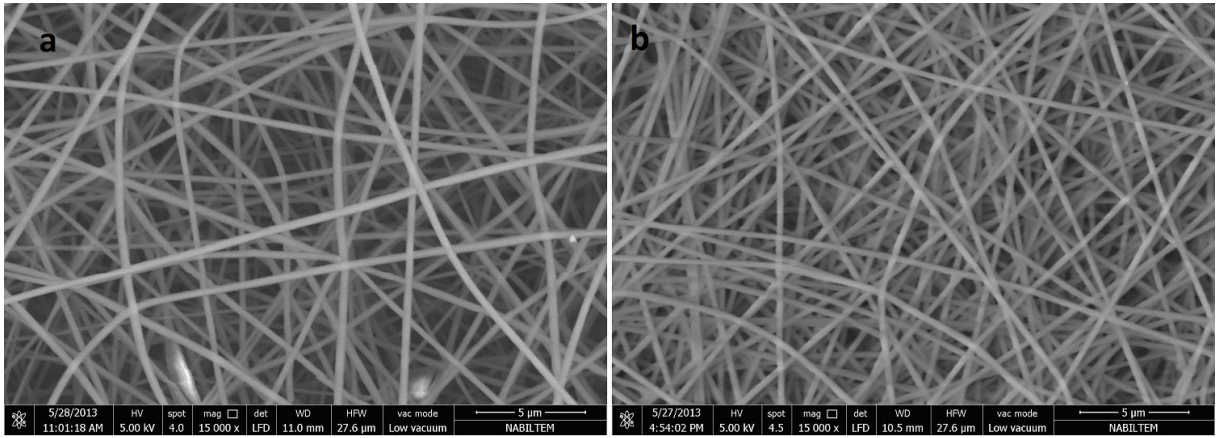
Şekil 4.44. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, konsantrasyon %6)

%6 konsantrasyonda, 0,9mm iğne çapında ve 0,10ml/sa besleme hızında lif çapının mesafeye göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.45`de verilmiştir.



Şekil 4.45. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, konsantrasyon %6)

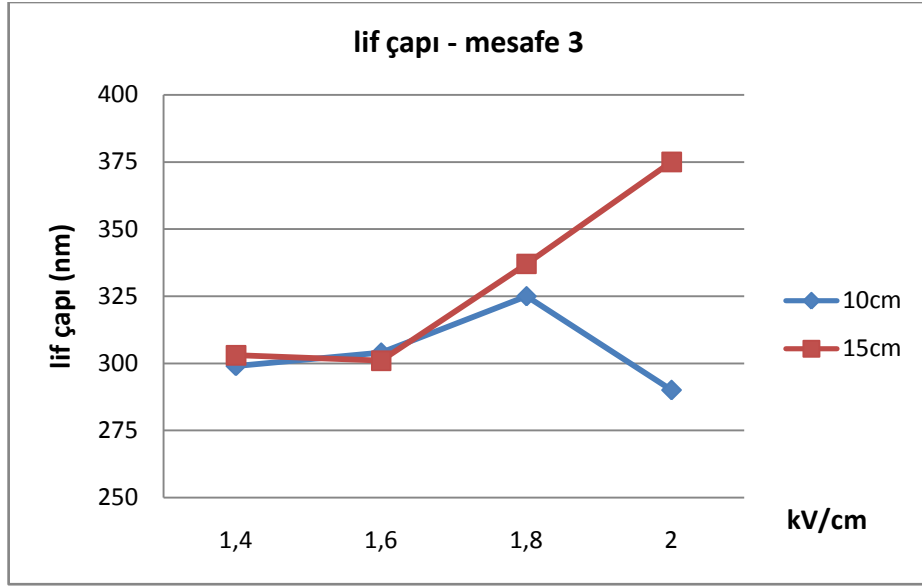
Aşağıda şekil 4.46`da 1,4kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.46 1,4kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri verilmiştir. (a 10cm, b 15cm)

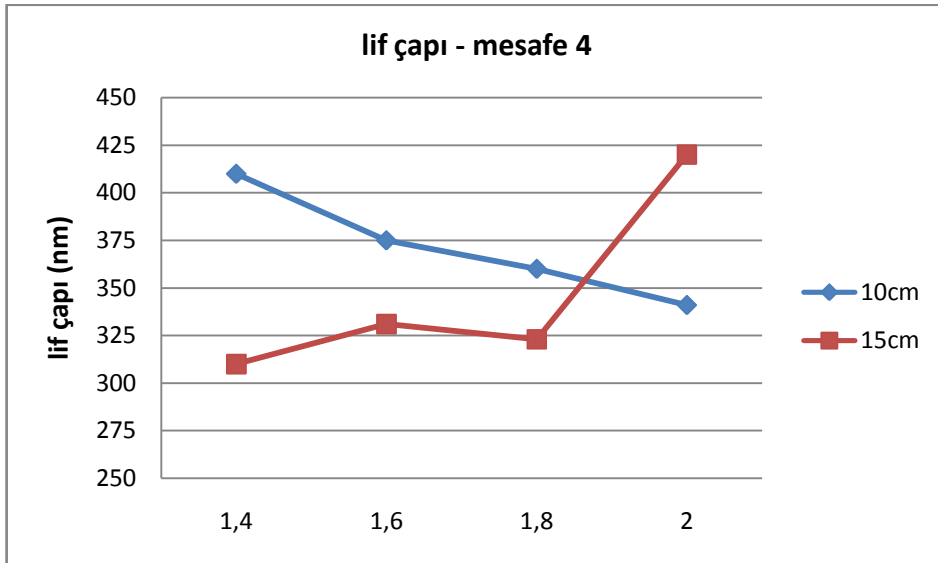
#### Mesafenin PAN Lif Çapına Etkisi (%8 PAN)

%8 konsantrasyonda, 0,7mm iğne çapında, 0,10ml/sa besleme hızında ve lif çapının mesafeye göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.47`de verilmiştir.



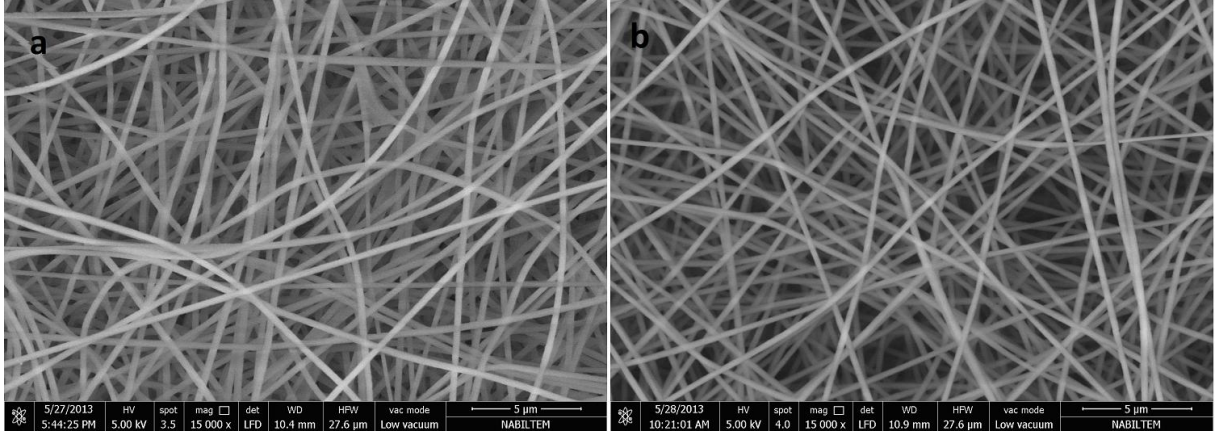
Şekil 4.47. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,7mm, konsantrasyon %8)

%8 konsantrasyonda, 0,9mm iğne çapında, 0,10ml/sa besleme hızında lif çapınının mesafeye göre değişimini gösteren grafik aşağıda şekil 4.48`de verilmiştir.



Şekil 4.48. Mesafenin lif çapına etkisi (iğne çapı 0,9mm, konsantrasyon %8)

Aşağıda Şekil 4.49`da 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.49. 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri. (a 10cm, b 15cm)

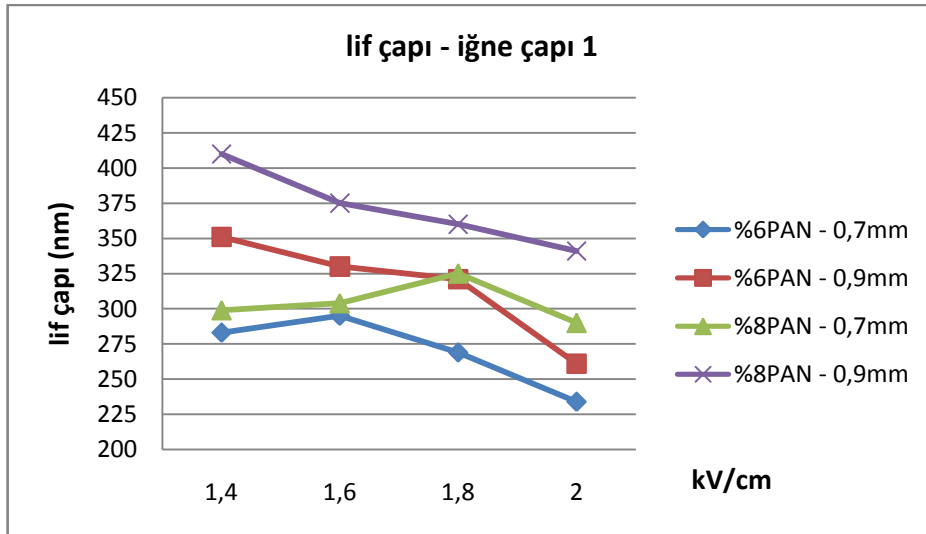
Genel olarak mesafe artışının lif çapını azalttığı görülmektedir. PVA polimeri için açıklanan teori PAN için de geçerlidir. %6`lık ve %8`lik konsantrasyonlar kıyaslandığında, mesafenin etkisinin %6`lık konsantrasyonda daha düzgün olduğu görülmektedir.

#### 4.4.3. İğne Çapının PAN Lif Çapına Etkisi

İğne çapının PAN lif çapına etkisi mesafenin 10cm ve 15cm olduğu durum için ayrı ayrı incelenmiştir.

#### İğne Çapının PAN Lif Çapına Etkisi (10cm)

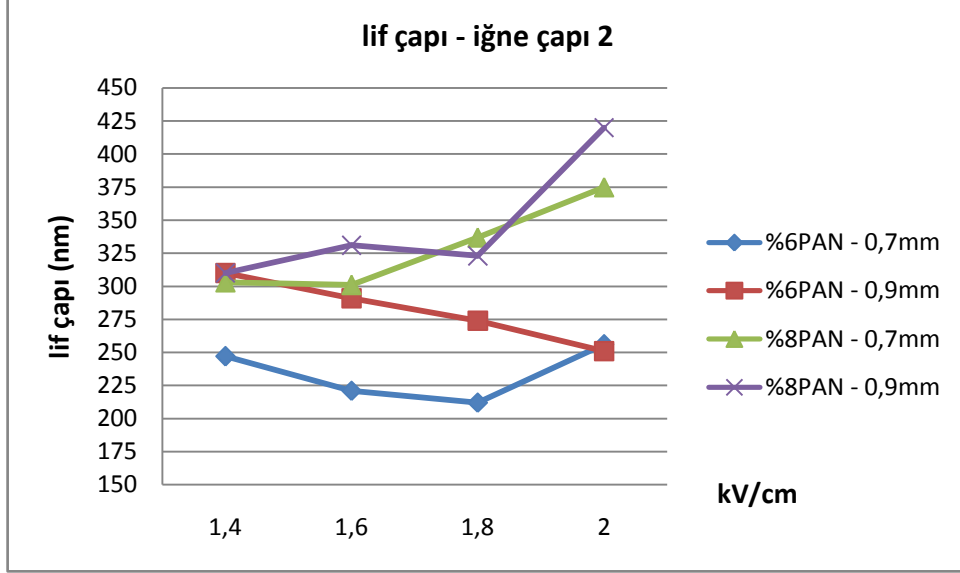
10cm mesafede ve 10ml/sa besleme hızında, iğne çapının lif çapına olan etkisini gösteren grafik aşağıda şekil 4.50`de verilmiştir.



Şekil 4.50. İğne çapının lif çapına etkisi (mesafe 10cm)

## İğne Çapının PAN Lif Çapına Etkisi (15cm)

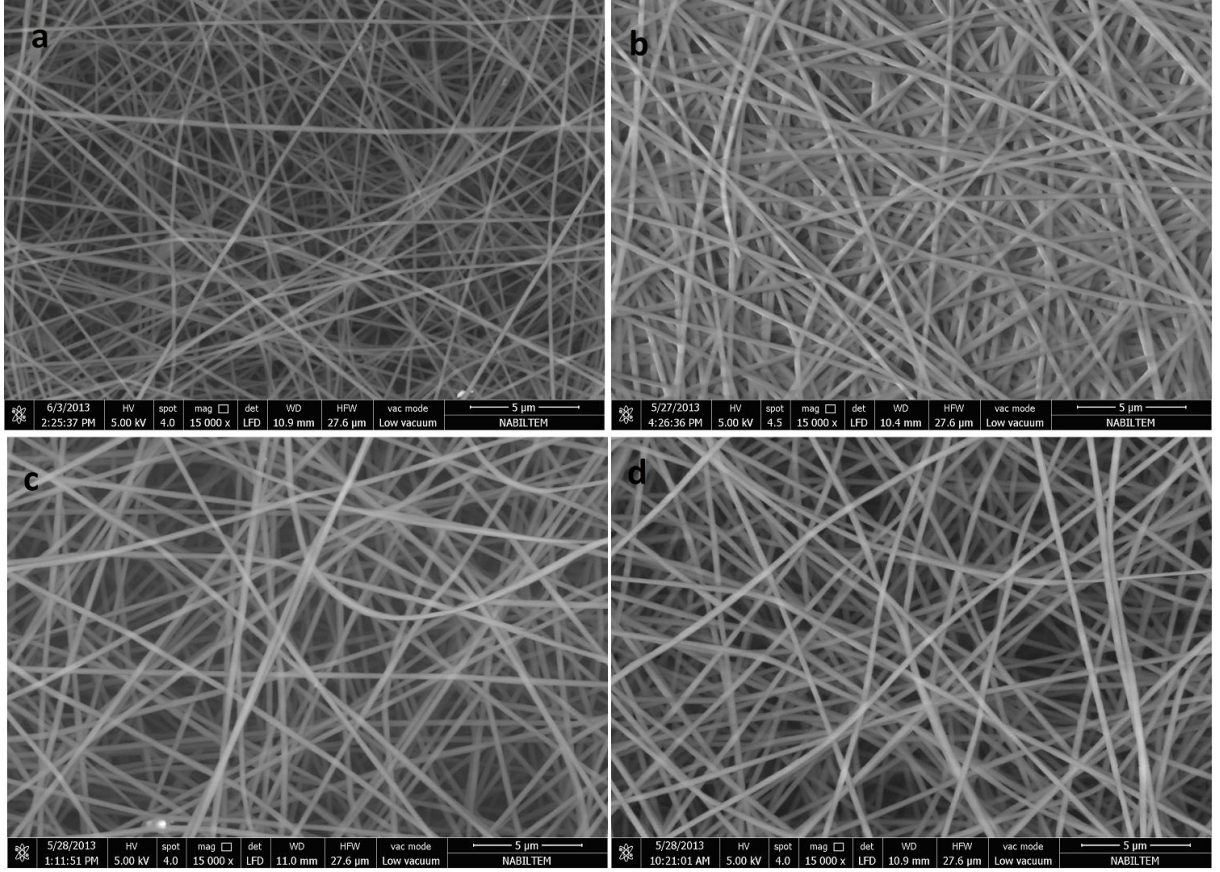
15cm mesafede ve 10ml/sa besleme hızında, iğne çapının lif çapına olan etkisini gösteren grafik aşağıda şekil 4.51`de verilmiştir.



Şekil 4.51. İğne çapının lif çapına etkisi (mesafe 15cm)

Aşağıda şekil 4.52`de 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri verilmiştir.





**Şekil 4.52** 1,6kV/cm`de üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri (a iğne çapı 0,7mm, %6; b iğne çapı 0,9mm, %8; c iğne çapı 0,7mm %8; d iğne çapı 0,9mm, %8)

İğne çapı arttıkça PAN lif çapının da genel olarak arttığı görülmektedir. Bu durum, iğne çapının artması ile damlacığın yüzey geriliminin düşmesi ile açıklanabilir.

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında nanolif üretimde çap kontrolünü sağlamak amacıyla, PVA ve PAN polimerlerinden nanoyüzeyler elde edilmiş, bu yüzeylerin SEM görüntüleri çekilmiş ve ortalama lif çapları hesaplanmıştır. Her iki polimerde de, lif çapına etki eden en büyük faktörün çözelti konsantrasyonu olduğu sonucuna varılmıştır. Çözelti konsantrasyonunun ve viskozitenin artması ile ortalama lif çaplarında artış olduğu görülmüştür.

PAN polimerinin molekül ağırlığının PVA polimerinin molekül ağırlığından daha büyük olması sonucunda, daha düşük çözelti konsantrasyonuna sahip olmasına rağmen, viskozitesinin daha yüksek olduğu ve bu nedenle, PAN çözeltilerinde ortalama lif çaplarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

PAN ve PVA polimerlerinin çözeltilerinde artan mesafenin genellikle lif çapını azalttığı, 10cm ve 15 cm mesafede üretilen tüm yüzeylere ait ortalama lif çaplarının genel ortalaması alındığında, mesafenin lif çapına etkisinin oldukça belirgin şekilde olduğu görülmüştür.

PAN ve PVA polimerleri için iğne çapının artması ile ortalama lif çaplarının arttığı görülmüştür. Besleme hızının artması ise bazı durumlarda lif çapını arttırırken, bazı durumlarda da düşüşüne sebep olmuştur.

Uygulanan voltaj etkisinin ise oldukça farkı olduğu, bazı durumlarda lif çapını arttırırken bazı durumlarda düşürdüğü ve çoğunlukla ani düşüş ve çıkışlara sebep olduğu görülmüş ve voltaj ile ilgili bir genelleme yapılamamıştır.

SEM görüntülerine ait %CV sonuçlarının ise, PVA`dan elde edilen yüzeylerde %14-27 aralığında, PAN`dan elde edilen yüzeylerde %9-22 aralığında olduğu görülmüştür. %12`lik PVA ve %8`lik PAN için en iyi CV değerlerine ulaştığı görülmüştür. Polimer konsantrasyonunun düşük ya da yüksek olması lif morfolojisinde bozulmalara sebep olmuştur. Düşük konsantrasyonlarda bead oluşumu görülürken, yüksek konsantrasyonlarda yapışmalar görülmüştür.

Nanoliflerde lif çapını belirlemede en önemli faktörün viskozite ve dolayısı ile konsantrasyon ve polimerin moleküler ağırlığı olduğu sonucuna varılmıştır. Daha düşük lif çapları elde etmek için daha düşük viskozitede çözeltiler ile ve moleküler ağırlığı daha düşük polimerle çalışmalı ve iğne ucu- toplayıcı plaka arasındaki mesafe daha fazla olmalıdır.



Daha büyük lif çapları elde edilmek isteniyorsa daha yüksek viskozitelerde ve yüksek konsantrasyonlarda çözelti ve yüksek moleküler ağırlıktaki polimerlerle çalışılmalı ve iğne ucu- toplayıcı plaka arasındaki mesafe daha kısa olmalıdır. Yalnız çok viskozitenin ve moleküler ağırlığının çok yükselmesi yada çok düşmesi durumunda elektrolif çekim işleminin gerçekleşmeyeceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Andrady, A.L. 2008 :Science and Technology of Polymer Nanofibers. Wiley Pres, New Jersey.
- Beachley V., Wen X., 2009, "Effect of Elektrospinning parameters on the Diameter and Length" Material Science and Engineering C 29, 663-668
- Bonino C., Krebsb, M., Saquina ., Jeong, S., Shearera, K., Alsberg E., Khana S., 2011. Electrospinning alginate-based nanofibers: From blends to crosslinked low molecular weight alginate-only systems, Carboh. Polym
- Bulut S., 2013, <http://www.bilgiustam.com/nano-tekstil-nedir>
- Celep Ş., 2007, "Nanoteknoloji ve Tekstilde Uygulama Alanları", Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana
- Çetiner S., Kalaoğlu F., Karakas H., Sarac A.S., 2010, "Electrospun Nanofibers of Polypyrrole-Poly(Acrylonitrile-co-Vinyl Acetate)", Textile Research Journal
- Cireli, A., Kutlu, B., Onar, N., Erkan, G., 2006. Tekstilde İleri Teknolojiler. Tekstil Ve Mühendis
- Cramariuc B., Cramariuc R.,Scarlet R., Rozemarie L., Cramariuc L., 2013, "Fiber Diameter in Electrospinning Process" Journal of Electrostatics
- Çakmakçı, E., 2011 : Elektrospinning Yöntemiyle Yeni Polimerik Malzemelerin Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi,
- Deitzel, J.M., Kleinmeyer, J., Haris, D. (2001). The Effect of Processing Variables on the Morphology of Electrospun Nanofibers and Textiles. Polymer
- Du J., Shintay S., Zhang X., 2008, "Diameter control of electrospun polyacrylonitrile/iron acetylacetone ultrafine nanofibers", Journal of Polymer Science : Part B; Polymer Physics
- Erkan, G., Erdogan, H. ve Kayacan, O., 2005. Tekstil Sektöründe Nanoteknoloji Uygulamaları, Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makineleri Kongresi Gaziantep, Türkiye
- Gemci R., Yener F., Solak H., 2011, "Uygulanan Voltaj Değeri ile Pvb Nanolif Çapı Arasındaki İlişki", KSU Mühendislik Dergisi, 14(1),2011
- Gümüş T., 2009 " Design and Manufacture of polymeric nanofiber membranes via electrospinning method" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Huang Z., Zhang Y.Z., Ramakrishna S., Lim C.T., 2004, "Electrospinning and Mechanical Characterization of Gelatin Nanofibers", Science Direct, Polymer

- Ishii Y., Sakai H., Murata H., 2008, ‘‘A new electrospinning method to control the number and a diameter of uniaxially aligned polymer fibers’’ , Materials Letters
- İkiz Y., 2009, ‘‘Elektro Çekim Yöntemi İşlem Parametrelerinin PVA Nanolif Morfolojisine Etkileri’’, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 15, Sayı 3, 2009, sayfa 363-369
- Jirsak O., Yener F., Yalçınkaya B., 2011, ‘‘Materyal Parametrelerinin Elektro Lif Çekim Yöntemiyle Oluşturulan Polivinil Butiral Nano Lifleri Üzerindeki Etkisi’’, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 5, No 2, 2011
- Kanafchian M., Valizadeh M., Haghi A. K., 2011, "Prediction of Nanofiber Diameter for Improvement in Incorporation of Multilayer Electrospun Nanofibers" Korean J., Chem Eng., 28, 751-755
- Kılıç A., 2008, " eriyikten elektroüretim yöntemiyle polipropilen nanolif üretimi" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Kong L., Ziegler G.R., 2013, "Quantative Relationship Between Electrospinning Parameters and Starch Fiber Diameter", Science Direct, Carbohydrate Polymers 92 (2013) 1416-1422
- Kozanoğlu G., 2006, " elektrospining yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Kut, D., Güneşoğlu, C., 2005. Nanoteknoloji Ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları. Tekstil&Teknik, Şubat
- Opanasopit P., Charernsriwilaiwat N., Rojanarata T., Ngawhirunpat T., Supaphole P., (2010) ‘‘Preparation and characterization of chitosan-hydroxybenzotriazole/polyvinyl alcohol blend nanofibers by the electrospinning technique’’, Carbohydrate Polymers
- Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N., 2006. Lotus Etkili Yüzeyler, Tekstil Ve Konfeksiyon Dergisi
- Özkoç Ü., 2010, " Experimental Investigation of Optimal Spinning Parameters for Nanofibers" Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W.E., Yong, T., Ma, Z. 2006, Electrospun Nanofibers: Solving Global Issues. Materials Today.
- Sarлак N., Nejad M.A., Shakhesi S., Shabani K., 2012, ‘‘Effects of electrospinning parameters on titanium dioxide nanofibers diameter and morphology: An investigation by Box-Wilson central composite design’’ , Chemical Engineering Journal.
- Süpüren G., Kanat Z., Çay A., Kırıcı T., 2007, ‘‘Nanolifler (Bölüm 2)’’, Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi.

- Şahintürk Y., 2010, " poliakrilonitril bazlı nanoelyafların elektroçirme yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu" Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Schueren L., Kalaoğlu Ö., Clerck K., 2011. " An alternative solvent system for the steady state electrospinning of polycaprolactone " European Polymer Journal
- Şener A., 2011, " elektro üretim yöntemiyle sodyum aljinat ve mısır nişastası içeren nanolif eldesine etki eden faktörlerin incelenmesi" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Senol, F., Tayyar, E., Dogan, G. ve Yaman, N., 2005. Nanolifler ve Uygulama Alanları, Tekstil Maraton, 3, 20-25.
- Thompson C.J., Chase G.G., Yarin A.L., Reneker D.H., 2007, "Effects of Parameters on Nanofiber Diameter Determined From Electrospinning Model", ScienceDirect, Polymer
- Üstün A., 2011., " hava filtrasyonu için nanolif üretimi" Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli
- Üstündağ G. C., 2009, "Elektrospinning Yöntemi ile Biyomedikal Kullanıma Yönelik Nanolif Yüzey Üretimi ve Uygulamaları" Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa
- Yan X., Gevelber M., 2009, "Investigation of electrospun fiber diameter distribution and process dynamics", Conf Presentation, Boston University
- Yener F., 2010, "Klasik Ve İğnesiz Elektrospinning Yöntemleriyle Elde Edilen Nano Liflerin Kıyaslanması Ve Bu Yöntemlerdeki Sistem Parametrelerinin Lif Üzerindeki Etkileri" Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş
- Yener F., Yalçınkaya B., Jırsak O., 2011, "Materyal Parametrelerinin Lif Çekim Yöntemiyle Oluşturulan Polivinil Butiral Nano Lifleri Üzerindeki Etkisi" Tekstil Teknolojileri Dergisi.
- Yıldırım, D., Öktem, T., Seventekin, N., 2004. Nano Lifler. Tekstil Ve Konfeksiyon
- Yördem O. S., 2008., Papila M., Menceloğlu Y.Z., "Effects of Electrospinning Parameters on Polyacrylonitrile Nanofiber Diameter: An Investigation by Response Surface Methodology", ScienceDirect , Materials and Design
- Zdraveva E., Pejnovic N., Mijovic B., (2011) "Electrospinning of Polyurethane/Poly(ethylene oxide) Systems", Icontex 2011

## **ÖZGEÇMİŞ**

Özgecan BEYPAZAR 1988 yılında İzmir`de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmir Şerif Remzi İlköğretim Okulu`nda, lise öğrenimi ise İzmir Şehit Erkan Özcan Anadolu Lisesi`nde tamamladı. 2006 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü`nde üniversite öğrenimine başladı. 2010 yılında bu bölümden mezun olarak, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı`nda yüksek lisans eğitimine başladı, 2013 yılında ise Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı`na yatay geçiş yaptı. 2013 yılından beri Namık Kemal Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü`nde Araştırma Görevlisi olarak çalışıyor.