

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRO ÜRETİM İŞLEMİNİN MODELLENMESİNE HIZLI KAMERA
GÖRÜNTÜLEMESİ İLE KATKILAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yaşar Emre KIYAK**

Anabilim Dalı : Tekstil Mühendisliği

Programı : Tekstil Mühendisliği

TEMMUZ 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRO ÜRETİM İŞLEMİNİN MODELLENMESİNE HIZLI KAMERA
GÖRÜNTÜLEMESİ İLE KATKILAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yaşar Emre KIYAK
(503091815)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Temmuz 2011**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali DEMİR (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nuray UÇAR (İTÜ)
Prof. Dr. Tuğrul OĞULATA(ÇÜ)**

TEMMUZ 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, “Nano liflerden oluşan bir ağ (NanoWeb) üretimi için taşınabilir bir sistemin geliştirilmesi ve prototip imalatı” isim ve 108M045 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında tamamlanmıştır.

Proje ekibinde yer almamı sağlayan ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ali DEMİR’e ve Öğr. Gör. Dr. Ertan ÖZNERGİZ’e, TEMAG Laboratuvarındaki tüm çalışma arkadaşlarıma, hızlı kamera çekimlerinde bana yardımcı olan Gökhan BAYSAL’a ve bana maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli anneme ve tüm aile fertlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz 2011

Y. Emre KIYAK
(Tekstil Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Elektro Üretim İşlemi İçin Matematiksel Modeller	1
1.2.1 Bir boyutlu model	2
1.2.2 Spivak-Dzenis modeli	2
1.2.3 Wan-Guo-Pan modeli	3
1.2.4 Modifiye edilmiş bir boyutlu model	3
1.2.5 Modifiye yük korunumu modeli	5
1.2.6 Reneker'in modeli	8
1.2.7 Sonsuzluk (E-Infinity) teorisi.....	12
1.3 Diğer literatür özetleri	15
2. MATERYAL VE METOT	19
2.1 Çalışmada Kullanılan Cihazlar.....	23
2.1.1 Yüzey gerilim ölçüm cihazı	23
2.1.2 Elektro üretim düzeneği	23
2.1.2.1 Nanolif geliştirme platformunun (NGP) yapısı	24
2.1.2.2 Gövde	24
2.1.2.3 Motorlar ve toplayıcıyı taşıyan mekanizma	25
2.1.2.4 Polimeri yükleme (charging) ünitesi	26
2.1.2.5 Polimer besleme ünitesi	26
2.1.2.6 Kontrol paneli	27
2.1.3 Hızlı kamera	28
2.2 PAN Çözeltilisinden Elektro Üretim Yöntemiyle Elde Edilen Nanolif Numuneler	29
2.3 PAN İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Nanolif Çapına Etkisi	68
2.4 PAN İle Yapılan Denemelerde Akış Oranının Nanolif Çapına Etkisi	70
2.5 PAN İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Düz Jet Mesafesine Etkisi	71
2.6 PAN İle Yapılan Denemelerde Akış Oranının Düz Jet Mesafesine Etkisi	72
2.7 PCL Çözeltilisinden Elektro Üretim Yöntemiyle Elde Edilen Nanolif Numuneler	74
2.8 PCL İle Taylor Konisini Gözlemlemek İçin Yapılan Denemeler	102
2.9 PCL İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Nanolif Çapına Etkisi.....	105

2.10 PCL İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Toplayıcıda Taranan Alana Etkisi.....	106
2.11 PCL İle Yapılan Denemelerde İğne İle Toplayıcı Arası Mesafenin Nanolif Çapına Etkisi	107
2.12 PCL İle Yapılan Denemelerde İğne İle Toplayıcı Arası Mesafenin Toplayıcıda Taranan Alana Etkisi	107
2.13 PCL İle Yapılan Denemelerde Debinin Nanolif Çapına Etkisi.....	108
2.14 PCL İle Yapılan Denemelerde Debinin Toplayıcıda Taranan Alana Etkisi.	109
3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	111
KAYNAKLAR.....	115
EKLER.....	119

KISALTMALAR

PAN	: Poliakrilonitril
PCL	: Polikaprolakton
MC	: Metilenklorür
DMF	: Dimetilformamid

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : PAN polimer çözeltisi için elektro üretim parametreleri	20
Çizelge 2.2 : PCL üretim parametreleri	22
Çizelge 2.3 : PAN çözeltilerinin yüzey gerilim değerleri.....	24
Çizelge 2.4 : 1 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	29
Çizelge 2.5 : 2 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	30
Çizelge 2.6 : 3 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	32
Çizelge 2.7 : 4 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	33
Çizelge 2.8 : 5 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	34
Çizelge 2.9 : 6 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	36
Çizelge 2.10 : 7 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	37
Çizelge 2.11 : 9 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	39
Çizelge 2.12 : 10 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	40
Çizelge 2.13 : 11 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	41
Çizelge 2.14 : 12 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	43
Çizelge 2.15 : 13 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	44
Çizelge 2.16 : 14 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	46
Çizelge 2.17 : 15 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	48
Çizelge 2.18 : 17 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	49
Çizelge 2.19 : 18 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	50
Çizelge 2.20 : 19 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	52
Çizelge 2.21 : 20 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	53
Çizelge 2.22 : 21 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	55
Çizelge 2.23 : 22 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	56
Çizelge 2.24 : 23 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	57
Çizelge 2.25 : 25 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	59
Çizelge 2.26 : 26 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	60
Çizelge 2.27 : 27 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	61
Çizelge 2.28 : 28 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	63
Çizelge 2.29 : 29 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	64
Çizelge 2.30 : 30 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	65
Çizelge 2.31 : 31 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri	67
Çizelge 2.32 : 1 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	74
Çizelge 2.33 : 2 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	76
Çizelge 2.34 : 3 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	77
Çizelge 2.35 : 4 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	79
Çizelge 2.36 : 5 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	81
Çizelge 2.37 : 6 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	82
Çizelge 2.38 : 7 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	84
Çizelge 2.39 : 8 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	86
Çizelge 2.40 : 9 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	87
Çizelge 2.41 : 10 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	89
Çizelge 2.42 : 11 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri.....	91

Çizelge 2.43 :	12 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri	92
Çizelge 2.44 :	13 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri	94
Çizelge 2.45 :	14 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri	96
Çizelge 2.46 :	15 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri	97
Çizelge 2.47 :	16 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri	99
Çizelge 2.48 :	17 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri	101

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : İdeal bir elektronik jetin direnci: $R \sim 1/r^2$, $\delta \rightarrow \infty$ metal bir iletkenindeki gibi kesitte birçok yüklü parçacık bulunmaktadır. $\alpha=2$ üs kuvveti yüklü kesitin fraktal boyutu olarak açıklanabilir.[1]	7
Şekil 1.2 : Yüzey konveksiyon direnci: $r=1/r^1$ $\delta=1$ üs kuvveti $\alpha=1$ yüklü çemberin fraktal boyutu olarak açıklanır.[1]	7
Şekil 1.3 : Elektronik jetin direnci: $R \sim 1/r^\alpha$, $\alpha=2\delta/(\delta+1)$. Üssü kuvvet olan α yüklü bölgenin fraktal boyutu olarak açıklanabilir.[1]	8
Şekil 1.4 : Eğilen (bending) elektro üretim jet modeli [1]	9
Şekil 1.5 : Her bir düzensizlik bir eğilme kararsızlığı oluşturmaktadır [1]	11
Şekil 1.6 : .Jetin zamana bağlı olarak boyutsuz çapı d/d_0 [1]	11
Şekil 1.7 : . Jetin damlacıkla toplayıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak boyutsuz çapı d/d_0 [1]	12
Şekil 1.8 : Lif kesiti: merkezde kümelenmiş makromoleküller, lif yüzeyinde ise yoğun oranda atomlar gözükmemektedir[1].	13
Şekil 1.9 : Fraktal sarma problemi[1]	14
Şekil 1.10 : Bir sonsuzluk teorisi uygulaması olarak türbülans modeli[1]	14
Şekil 1.11 : Sonsuzluk teorisinin uygulanabildiği hiyerarşik yapıdaki kan damarının modeli[1]	14
Şekil 1.12 : Elektro üretim işlemini etkileyen parametrelerin hassasiyeti[26]	15
Şekil 1.13 : Bir(a) iki(b) ve üç(c) taylor konisinin oluştuğu muhtemel mekanizmanın şematik gösterimi[27]	16
Şekil 1.14 : Jetin dikey doğrultuda yaptığı açısı[29]	16
Şekil 1.15 : Lie ve Sun'ın elektro üretim düzeneği solda, elde edilen desenlendirme sağda(a ve b)[30]	17
Şekil 2.1 : Şematik elektro üretim işleminin gösterimi	19
Şekil 2.2 : Rutledge'in tasarladığı elektro üretim düzeneği[43]	21
Şekil 2.3 : Hızlı kamera düzeneği	22
Şekil 2.4 : Yüzey Gerilimi Tayin Cihazı[47]	23
Şekil 2.5 : Nanolif Geliştirme Platformu (NGP)[45]	24
Şekil 2.6 : Farklı Toplayıcı Tipleri	25
Şekil 2.7 : Havuz Tipi Ve İğne Tipi Polimer Besleme Ünitesi	26
Şekil 2.8 : Nanolif Geliştirme Platformu kontrol paneli	27
Şekil 2.9 : Photron marka Hızlı kamera[41]	28
Şekil 2.10 : Led ışık kaynağı[49]	28
Şekil 2.11 : 1 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	29
Şekil 2.12 : 1 nolu PAN denemesinin farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri	30
Şekil 2.13 : 1 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	30
Şekil 2.14 : 2 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	31
Şekil 2.15 : 2 nolu PAN denemesinin farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri	31
Şekil 2.16 : 2 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	31

Şekil 2.17 : 3 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	32
Şekil 2.18 : 3 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	32
Şekil 2.19 : 3 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	33
Şekil 2.20 : 4 nolu denemenin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri ...	33
Şekil 2.21 : 4 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	34
Şekil 2.22 : 4 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	34
Şekil 2.23 : 5 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	35
Şekil 2.24 : 5 nolu denemenin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	35
Şekil 2.25 : 5 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	35
Şekil 2.26 : 6 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	36
Şekil 2.27 : 6 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	36
Şekil 2.28 : 6 nolu PAN nanolif numunenin çap dağılımı	37
Şekil 2.29 : 7 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	37
Şekil 2.30 : 7 nolu PAN denemenin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	38
Şekil 2.31 : 7 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	38
Şekil 2.32 : 9 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	39
Şekil 2.33 : 9 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	39
Şekil 2.34 : 9 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	40
Şekil 2.35 : 10 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	40
Şekil 2.36 : 10 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	41
Şekil 2.37 : 10 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	41
Şekil 2.38 : 11 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	42
Şekil 2.39 : 11 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	42
Şekil 2.40 : 11 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	42
Şekil 2.41 : 12 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	43
Şekil 2.42 : 12 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	44
Şekil 2.43 : 12 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	44
Şekil 2.44 : 13 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	45
Şekil 2.45 : 13 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	45
Şekil 2.46 : 13 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	46
Şekil 2.47 : 14 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	46
Şekil 2.48 : 14 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	47
Şekil 2.49 : 14 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	47
Şekil 2.50 : 15 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	48
Şekil 2.51 : 15 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	48
Şekil 2.52 : 15 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	49
Şekil 2.53 : 17 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	49
Şekil 2.54 : 17 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	50

Şekil 2.55 : 17 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	50
Şekil 2.56 : 18 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	51
Şekil 2.57 : 18 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	51
Şekil 2.58 : 18 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	51
Şekil 2.59 : 19 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	52
Şekil 2.60 : 19 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	52
Şekil 2.61 : 19 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	53
Şekil 2.62 : 20 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	54
Şekil 2.63 : 20 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	54
Şekil 2.64 : 20 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	54
Şekil 2.65 : 21 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	55
Şekil 2.66 : 21 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	55
Şekil 2.67 : 21 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	56
Şekil 2.68 : 22 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	56
Şekil 2.69 : 22 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	57
Şekil 2.70 : 22 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	57
Şekil 2.71 : 23 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	58
Şekil 2.72 : 23 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	58
Şekil 2.73 : 23 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	58
Şekil 2.74 : 25 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	59
Şekil 2.75 : 25 nolu denemenin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	59
Şekil 2.76 : 25 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	60
Şekil 2.77 : 26 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	60
Şekil 2.78 : 26 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	61
Şekil 2.79 : 26 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	61
Şekil 2.80 : 27 nolu denemenin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri.	62
Şekil 2.81 : 27 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	62
Şekil 2.82 : 27 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	62
Şekil 2.83 : 28 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	63
Şekil 2.84 : 28 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	63
Şekil 2.85 : 28 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	64
Şekil 2.86 : 29 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	64
Şekil 2.87 : 29 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	65
Şekil 2.88 : 29 nolu PAN nanolif numunenin çap dağılımı.....	65
Şekil 2.89 : 30 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	66
Şekil 2.90 : 30 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	66
Şekil 2.91 : 30 nolu nanolif numunenin çap dağılımı.....	66
Şekil 2.92 : 31 nolu denemenin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri.	67
Şekil 2.93 : 31 nolu denemenin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	67

Şekil 2.94 : 31 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı	67
Şekil 2.95 : %8'lik PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi.....	68
Şekil 2.96 : %10'luk PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi.....	68
Şekil 2.97 : %12'lik PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi.....	69
Şekil 2.98 : %14'lük PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi.....	69
Şekil 2.99 : %8'lik PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi.....	70
Şekil 2.100 : %10'luk PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi.....	70
Şekil 2.101 : %12'lik PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi.....	71
Şekil 2.102 : %14'luk PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi.....	71
Şekil 2.103 : PAN çözeltisinde yüksek gerilim düz-jet mesafesi ilişkisi.....	72
Şekil 2.104 : %14'lük PAN Çözeltisinde yüksek gerilim düz-jet mesafesi ilişkisi...	72
Şekil 2.105 : %8'lik PAN Çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi.....	72
Şekil 2.106 : %10'luk PAN Çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi.....	73
Şekil 2.107 : %12'lik PAN Çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi.....	73
Şekil 2.108 : %14'lük PAN çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi.....	73
Şekil 2.109 : 1 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	74
Şekil 2.110 : 1 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	75
Şekil 2.111 : 1 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı	75
Şekil 2.112 : 1 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	76
Şekil 2.113 : 2 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	76
Şekil 2.114 : 2 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	76
Şekil 2.115 : 2 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı	77
Şekil 2.116 : 2 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	77
Şekil 2.117 : 3 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	78
Şekil 2.118 : 3 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	78
Şekil 2.119 : 3 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı	78
Şekil 2.120 : 3 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	79
Şekil 2.121 : 4 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	79
Şekil 2.122 : 4 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	80
Şekil 2.123 : 4 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı	80
Şekil 2.124 : 4 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	80
Şekil 2.125 : 5 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	81
Şekil 2.126 : 5 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	81
Şekil 2.127 : 5 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı	82
Şekil 2.128 : 5 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	82
Şekil 2.129 : 6 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	83
Şekil 2.130 : 6 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	83
Şekil 2.131 : 6 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı	83
Şekil 2.132 : 6 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	84
Şekil 2.133 : 7 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	84
Şekil 2.134 : 7 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	85
Şekil 2.135 : 7 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı	85
Şekil 2.136 : 7 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	85

Şekil 2.137 : 8 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	86
Şekil 2.138 : 8 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	86
Şekil 2.139 : 8 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	87
Şekil 2.140 : 8 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	87
Şekil 2.141 : 9 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	88
Şekil 2.142 : 9 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	88
Şekil 2.143 : 9 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	88
Şekil 2.144 : 9 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	89
Şekil 2.145 : 10 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	89
Şekil 2.146 : 10 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	90
Şekil 2.147 : 10 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	90
Şekil 2.148 : 10 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	90
Şekil 2.149 : 11 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	91
Şekil 2.150 : 11 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	91
Şekil 2.151 : 11 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	92
Şekil 2.152 : 11 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	92
Şekil 2.153 : 12 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	93
Şekil 2.154 : 12 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	93
Şekil 2.155 : 12 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	93
Şekil 2.156 : 12 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	94
Şekil 2.157 : 13 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	94
Şekil 2.158 : 13 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	95
Şekil 2.159 : 13 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	95
Şekil 2.160 : 13 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	95
Şekil 2.161 : 14 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	96
Şekil 2.162 : 14 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	96
Şekil 2.163 : 14 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	97
Şekil 2.164 : 14 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	97
Şekil 2.165 : 15 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	98
Şekil 2.166 : 15 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	98
Şekil 2.167 : 15 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	98
Şekil 2.168 : 15 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	99
Şekil 2.169 : 16 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	99
Şekil 2.170 : 16 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri...	100
Şekil 2.171 : 16 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	100
Şekil 2.172 : 16 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	100
Şekil 2.173 : 17 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri	101
Şekil 2.174 : 17 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri...	101
Şekil 2.175 : 17 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı.....	101
Şekil 2.176 : 17 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan.....	102

Şekil 2.177 : Özel tasarım iğne	102
Şekil 2.178 : 12 nolu PCL denemesinin özel tasarım iğne kullanılarak elde edilen farklı saniyelerdeki kareleri	103
Şekil 2.179 : 13 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı	103
Şekil 2.180 : 14 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı	104
Şekil 2.181 : 15 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı	104
Şekil 2.182 : 16 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı	105
Şekil 2.183 : 17 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı	105
Şekil 2.184 : PCL nanolifleri için yüksek gerilim-çap ilişkisi.....	106
Şekil 2.185 : PCL nanolifleri için yüksek gerilim-taranan alan ilişkisi.....	106
Şekil 2.186 : PCL nanolifleri için iğne toplayıcı arası mesafe-çap ilişkisi.....	107
Şekil 2.187 : PCL nanolifleri için iğne-toplayıcı arası mesafe taranan alan ilişkisi	108
Şekil 2.188 : PCL nanolifleri için debi-çap ilişkisi.....	108
Şekil 2.189 : PCL nanolifleri için debi-taranan alan ilişkisi.....	109

ELEKTRO ÜRETİM İŞLEMİNİN MODELLENMESİNE HIZLI KAMERA GÖRÜNTÜLEMESİ İLE KATKILAR

ÖZET

Lif söz konusu olduğunda ‘nano’ terimi, lif inceliği hakkında bilgi verir. Bazı araştırmacılar çapı bir mikronun altındaki liflere nanolif derken, diğerleri ise nanolif için çapı 0,3 mikron veya daha az olan lifler tanımını uygun görmüşlerdir.

Çapı bir mikron ve altındaki lifler nanolif olarak kabul edilmiş ve bu lifleri üretmek için geliştirilmiş en son teknolojilerden biri olan elektro üretim (electrospinning) yöntemi araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında TÜBİTAK, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı desteği ile yürütülen 108M045 numaralı “Nano Liflerden Oluşan Bir Ağ (nanoweb) Üretimi İçin Taşınabilir Bir Sistemin Geliştirilmesi Ve Prototip İmalatı” isimli proje kapsamında elektro üretim işleminin modellenmesi gibi zor bir konu ele alınmıştır.

Elektro üretim işlemi bir polimer çözeltisi, bir pompa ve bir de yüksek gerilim ana bileşenlerinde oluşan bir nanolif üretim yöntemi gibi gözüktüğü de hem malzeme özelliklerini, hem işlem parametrelerini hem de ortam parametrelerini içeren karmaşık bir işlemdir. Jet düzeden çıktıktan sonra ivmelenmekte ve karmaşık bir yol izlemektedir. Lif çapları hem nano mertebesinde olduğundan hem de lifler çok hızlı ilerlediğinden işlemi gözle ve normal bir kamera yardımıyla görmek imkansızdır.

Deneyisel çalışmada önce PAN polimerinden farklı konsantrasyonlarda çözelti elde edilerek, bunların farklı işlem parametrelerinde üretilmesi esnasında hızlı kamera ile görüntüleri incelenmiştir. Deneyisel çalışmaların ikinci kısmında ise PCL polimerinden elde edilen çözeltinin yine farklı işlem parametrelerinde üretilmesi esnasında hızlı kamera ile görüntüleri incelenmiştir. Ayrıca polimer çözeltilerinden elde edilen nanolif numunelerin ortalama çaplarına değişen işlem parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

Sonuç olarak, elektro üretim işlemi, düzeden toplayıcıya kadar olan yolu hızlı kamera ile başarıyla görüntülenmiştir. Elde edilen sonuçlar elektro üretim işleminin modellenmesi için büyük bir öngörü sağlayacaktır.

CONTRIBUTIONS TO MODELLING OF ELECTROSPINNING WITH IMAGING BY HIGH-SPEED CAMERA

SUMMARY

In the case, fiber term of 'Nano' gives information about the fiber fineness. Some researchers regard nanofiber diameter less than one micron, and the others regard nanofiber diameter less than 0.3 microns.

It is assumed that nanofiber diameter is less than one micron and focused on electrospinning as a new technology for producing nanofiber.

This thesis study consists of project named as “Development and prototype manufacturing of a portable system producing Nano web consisting of nanofibers” by the support of TUBITAK (Research grant no:108M045). This work is an entrance for modeling of electrospinning with the help of high-speed camera images.

Electrospinning process consists of a polymer solution, high voltage supplier and a pump. It seems simple but material properties, process parameters and environmental parameters make it hard to control. Jet accelerates and has a complicated pathway after emerging from nozzle or needle. It is hard to see neither eye nor normal camera the electrospinning process. Because, fibers are nano scale and spinning and drawing occurs in a high velocity.

In the experimental study, nanofibers are electrospun from PAN polymer solution with different concentrations. During the production of these, high-speed camera images are recorded. In the next step of experimental study, during the electrospinning of PCL polymer solution, images taken by high-speed camera are investigated. In addition to these, effects of process parameters to average nanofiber diameter are examined.

As a result, electrospinning process especially the pathway from nozzle to collector is recorded successfully by high-speed camera. The results from the images is providing a great insight in order to build a model of electrospinning

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel hedefi, elektro üretim işleminin modellenmesine katkı yapmaktır. Bu amaçla, ilk olarak, elektro üretim işleminin modellenmesi üzerine yapılan teorik çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında ise, hızlı kamera yardımıyla elektro üretim yöntemiyle nanolif elde ederken, polimer çözeltisinin iğne ucundan toplayıcıya kadar olan yolun izlenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda mesafe, debi ve voltajın elektro üretim yöntemiyle elde edilen nanolif çapına olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yeni bir bakış açısı ile bu işlem için birçok elektro üretim parametresinin işlem esnasında kontrollü olarak değiştirilebildiği Nanolif Geliştirme Platformunda hızlı çekim yapabilen kamera yardımıyla işlemin önemli bir kısmın olan iğneden toplayıcıya kadar olan yol izlenmiştir.

1.2 Elektro Üretim İşlemi İçin Matematiksel Modeller

Bu kısım elektro üretim işleminin modellenmesi ile alakalıdır. Teorik modeller, deneysel olarak tamamen anlaşılamayan birçok kompleks olgu, anlaşılabilmesi için derinlemesine önermeler ortaya koyar. Basit bir model örneğin “Atomik yaklaşım” yardımcı faktörleri aydınlatmak için faydalı olabilir. Teorik modeller, morfoloji, gözeneklilik ve fiziksel özelliklerin kontrolünün sağlanması için güçlü araçlardır. Bir çok temel ve bazı özel nitelikler (örneğin biyouyumluluk, degradasyon) voltaj, debi ve diğer bazı elektro üretim parametreleri ayarlanarak değiştirilebilir. Prosesi modellemenin iki ana yolu vardır. Bunlardan biri klasik mekanikte kullanılan Euler ve Lagrange yaklaşımını da içeren deterministik yaklaşım diğeri ise E-sonsuzluk teorisinin tam manasıyla uygulandığı ve kuantum özelliklerinin tamamen açıklandığı olasılıksal yaklaşımdır. Bu bölümün temelini “Electrospun Nanofibres and Their Applications” adlı kitap oluşturmaktadır.[1]

1.2.1 Bir boyutlu model

Bu modelin detayları için Reneker'in modeline[2-6] bakılabilir. Bu modelde düzgün, sonsuz, viskoz jet kapiler bir uçtan çekilir ve sabit bir elektrik alan tarafından ivmelendiği kabul edilir.

(1) Kütlenin korunumu;

$$\pi r^2 \rho u = Q \quad (1.1)$$

Burada Q hacimsel debi, r jetin yarıçapı, ρ sıvının yoğunluğu ve u jetin hızıdır.

(2) Yüzey yükünü σ ile belirtirsek, yükün korunumundan;

$$2\pi r \sigma u + k\pi r^2 E = I \quad (1.2)$$

burada k akışkanın boyutsuz iletkenlik değeri, E uygulanan elektrik alan ve I jetten geçen elektrik akımıdır.

(3) Kuvvet dengesinden;

$$\pi r^2 \rho \frac{Du}{Dt} = -\pi r^2 \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau}{\partial z} + 2\pi r \sigma E \quad (1.3)$$

düzgün rejimli akış için şu şekilde bir denklem elde edilir,

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{u^2}{2} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dz} + \frac{2\sigma E}{r} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (1.4)$$

Burada p akışkanın iç basıncı, ve τ viskotik kuvvettir.

1.2.2 Spivak-Dzenis modeli

Spivak ve arkadaşları[7,8] elektro üretim işleminde düzgün rejimli jet modeli oluşturmuşlardır.

(1) Kütlenin denge denkleminde;

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (1.5)$$

(2) Lineer momentum dengesinden;

$$\rho(u \cdot \nabla)u = \nabla T''' + \nabla T^e \quad (1.6)$$

(3) Elektriksel yük dengesi

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (1.7)$$

Eşitliğin sağ tarafı viskotik ve elektrik kuvvetlerinin toplamıdır.

1.2.3 Wan-Guo-Pan modeli

Bu modelde[9] termal, elektriksel ve hidrodinamik etkiler göz önünde bulundurulmuştur. Düzeltilmiş Navier-Stokes denklemleri, elektrik alan etkisi altında akışkanın ısısının ve akışının kontrolünü, esas denklemler de akışkanın davranışını açıklar.

$$\frac{\partial q_e}{\partial t} + \nabla \cdot J = 0 \quad (1.8)$$

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \nabla \cdot t + \rho f + q_c E + (\nabla E) \cdot P \quad (1.9)$$

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = Q_h + \nabla \cdot q + J \cdot E + E \cdot \frac{DP}{Dt} \quad (1.10)$$

Bu korunum kanunları, polarizasyon gibi alan değişkenleri için uygun bir esas denklem tarafından desteklendiğinde kapalı bir sistem oluşturur.

Polarizasyon, elektriksel iletkenlik, ısı akışı ve Cauchy gerilme tansörünü belirleyen en genel esas denklemler teorisi Eringen ve Maugin[10,11] tarafından geliştirilmiştir.

$$P = \varepsilon_p E \quad (1.11)$$

$$J = kE + \sigma u + \sigma_T \nabla T \quad (1.12)$$

$$q = \kappa \nabla T + \kappa_E E \quad (1.13)$$

$$t = -\tilde{p}I + \eta \left[\nabla v + (\nabla v)^t \right] \quad (1.14)$$

Burada ε_p , σ , σ_T , κ , κ_E , η sabitleri malzemenin özelliklerine bağlıdır ve sıkıştırılamayan akışkanın ısisına bağlı olarak değişkenlik göstermektedirler.

Bu özelliklerin fiziksel etkisini görmek için Ko ve Dulikravich'in derleme makalesine bakılabilir[12]. 1.14 eşitliği sadece Newtonien akışkanları için geçerlidir. Bununla beraber daha kompleks lineer olmayan esas denklemler için genişletilebilir.

1.2.4 Modifiye edilmiş bir boyutlu model

Bu bölümde kararsız, sonlu viskozitedeki jetin kapiler uçtan çekilerek sabit bir harici elektrik alan tarafından ivmelendiği kabul edilmektedir[9].

(1) Kütlenin korunumu kanunundan;

$$r^2 \frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \frac{\partial}{\partial z}(pr^2 u) = 0 \quad (1.15)$$

burada r jetin eksenel z koordinatındaki yarı çapı ve u ise eksenel hızdır.

(2) yükün korunumundan;

$$\frac{\partial}{\partial t} [2\pi r(\sigma + \varepsilon_p E)] + \frac{\partial}{\partial z} [2\pi r(\sigma + \varepsilon_p E)u + \pi r^2 k E + \pi r^2 \sigma_T \frac{\partial T}{\partial z}] = 0 \quad (1.16)$$

Burada σ yüzey yük yoğunluğu ve E aksenal yöndeki elektirik alandır. Akım üç parçadan oluşmaktadır.

(i) bütün haldeki ohmik kondüksiyon akımı

$$J_c = \pi r^2 k E \quad (1.17)$$

(ii) yüzey konveksiyon akımı

$$J_s = 2\pi r \sigma u \quad (1.18)$$

(iii) sıcaklık değişkenine bağlı oluşan akım

$$J_T = \pi r^2 \sigma_T \partial T / \partial z \quad (1.19)$$

(3) Navier-Stokes denklemleri şu hale gelir;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + p \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{2\sigma E}{\rho r} + \frac{1}{\vartheta} \frac{\partial \tau}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \varepsilon_p E \frac{\partial E}{\partial z} \quad (1.20)$$

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + p \frac{\partial T}{\partial z} \right) = Q + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} + k_E E \right) + \left(2\pi r \sigma p + \pi r^2 k E + \pi r^2 \sigma_T \partial T \partial z E + \varepsilon_p E \partial E \partial t + p \partial E \partial z \right) \quad (1.21)$$

burada p akışkanın iç basıncı şu şekilde ifade edilebilir,

$$p = \kappa \gamma - \frac{\varepsilon - \bar{\varepsilon}}{8\pi} E^2 - \frac{2\pi}{\bar{\varepsilon}} \sigma^2 \quad (1.22)$$

Burada κ iki yüzeyin eğiminin iki boyutlu ortalaması $\kappa = 1/R_1 + 1/R_2$, R_1 ve R_2 eğrinin asıl yarı çapları, ε akışkanın dielektirik sabiti ve $\bar{\varepsilon}$ havanın dielektrik sabitidir.

Çoğu akışkan polimerin reolojik özellikleri güçlü akışkan esas denklemleriyle açıklanır.

$$\tau = \mu_o \frac{\partial u}{\partial z} + \sum_{n=1}^m a_n \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^{2n+1} \quad (1.23)$$

Bağlanan ana gövdeye ek olarak dielektrikler de bulunmaktadır. Dielektrikte yüklerin hareketi serbest değildir. Fakat gövdeyi oluşturan pozitif ve negatif yükler bir alan uygulandığında biri diğerine bağlı olarak yer değiştirebilir. Bu durumda gövdenin polarize olduğu söylenebilir. Polarizasyon birim hacimdeki dipol moment olarak ifade edilir ve polarizasyon vektörü olarak adlandırılır. Dielektrikteki hareket halindeki yük veya polarizasyon yükü şu şekilde verilir,

$$q_p = -\nabla \cdot P \quad (1.24)$$

İzotropik lineer dielektrik durumunda polarizasyonun elektrik alanla doğru orantılı olduğu kabul edilir ve bunun sonucunda;

$$P = \varepsilon_p E \quad (1.25)$$

Burada ε_p elektriksel yatkınlıktır.

1.2.5 Modifiye yük korunumu modeli

Bu modelin detayları için [13] numaralı çalışma incelenebilir. Elektro üretimdeki jetin akımı iki parçadan oluşur. Toplam kondüksiyon akımı;

$$J_b = E/R \quad (1.26)$$

yüzey konveksiyon akımı;

$$J_s = 2\pi r \sigma u \quad (1.27)$$

yükün korunumundan;

$$2\pi r \sigma u + \frac{E}{R} = I \quad (1.28)$$

şeklinde okunur.

Ohm kanunundan biliyoruz ki, bir devrede akım voltajın direnci ile doğru orantılı olarak ilerler. Bu yüzden ortalama akım $I=E/R$ şeklinde ifade edilir. Bütün literatürde [2-6], direncin hesaplanması metal dirençler için kullanılan geleneksel formülasyona dayanır ve notasyonu şu şekildedir.

$$R_c = \frac{k}{A} \quad (1.29)$$

Burada R_c iletken direnci, A kesit alanı, k da direnç sabitidir. Elektro üretim işleminde jetin ortalama direnci esas alınır 1.28 denklemi 1.29 denklemine. sadeleşir.

Gerçekte 1.29 denklemi sadece birçok elektronun iletken içinde bulunduğu metal iletkenler için geçerlidir. Ancak, bir elektro üretim jetinde akım elektronlar tarafından oluşmaz, bu yüzden 1.29 denklemi jeti tam olarak ifade etmek için modifiye edilmelidir. [14-16]

İletken bir metalin direnci;

$$R \sim \frac{1}{A} \quad (1.30)$$

Bir yalıtkan için, direnç kesit alanından bağımsızdır. Orantı şeklinde yazılacak olursa,

$$R \sim A^0 \quad (1.31)$$

veya

$$R \sim \frac{1}{A^{0/1}} \quad (1.32)$$

Elektronik bir akışkanı şu şekilde varsayarsak;

$$R \sim \frac{1}{A^\alpha} \quad (1.33)$$

burada α akışkanın iletken karakterine bağlı bir sabittir. İletken akışkanın iletkenlik davranışı bu metal ve yalıtkan arasında yer almaktadır, bu yüzden α 'nın değeri de 0 ile 1 arasındadır.

$$\frac{0}{1} < \alpha < \frac{1}{1} \quad (1.34)$$

Eski çağlarda Çinde birçok interpolasyon formülü [17] kullanılmaktaydı. Diğerleri arasında, burada biz a değerini takribi olarak sabitlemek için He Chengtian'ın[18] eşitsizliği şu şekilde düşünülecek olursa;

$$\frac{a}{b} < x < \frac{c}{d} \quad (1.35)$$

burada a,b,c ve d tam sayıdır. He Chengtian interpolasyonuna göre x değerine şu şekilde yaklaşılabilir.

$$x = \frac{am+cn}{bm+dn} \quad (1.36)$$

burada m ve n bağıl faktörleridir. He Chengtian interpolasyonunun sağlaması ve detayları için [18]'e bakılabilir ve bu eski matematiksel aracın uygulaması [14-17] kaynaklarda verilmektedir.

He Chengtian gerçekte aşağıdaki eşitsizliği kullanmıştır,

$$\frac{a}{b} < x < \frac{d}{c} \quad (1.37)$$

burada, a,b,c ve d gerçekte sayılardır. Sonra,

$$\frac{a}{b} < \frac{ma+nd}{mb+nc} < \frac{d}{c} \quad (1.38)$$

ve x yaklaşık olarak,

$$x = \frac{ma+nd}{mb+nc} \quad (1.39)$$

burada m ve n bağıl faktörlerdir.

He Chengtian interpolasyonu uygulanarak, denklemindeki a değeri şu biçimde yazılabilir.

$$\alpha = \frac{n}{m+n} = \frac{n/m}{\frac{n}{m}+1} = \frac{\delta}{\delta+1} \quad (1.40)$$

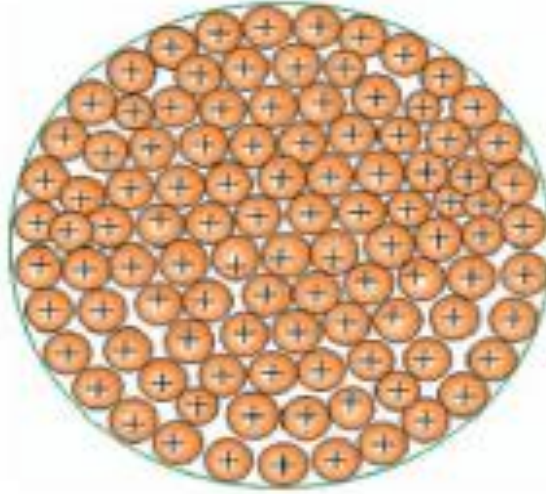
Burada m ve n tam sayılardır. Örneğin $\delta = n/m$

Böylece metal olmayan malzeme için elimizde;

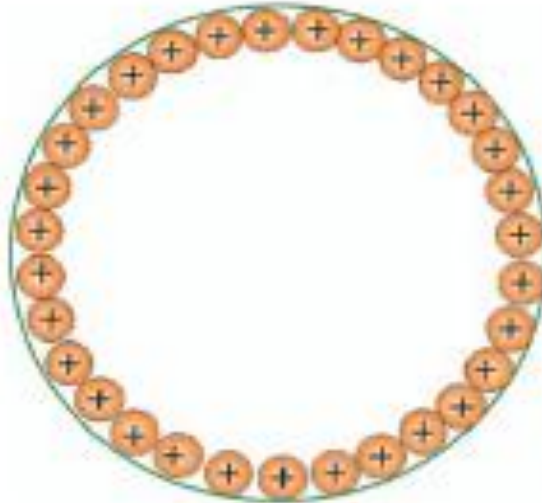
$$R = \frac{k}{A^\alpha}, \alpha = \frac{\delta}{\delta+1} \quad (1.41)$$

burada δ kesitte yük konsantrasyonuna bağlı bir sabittir.

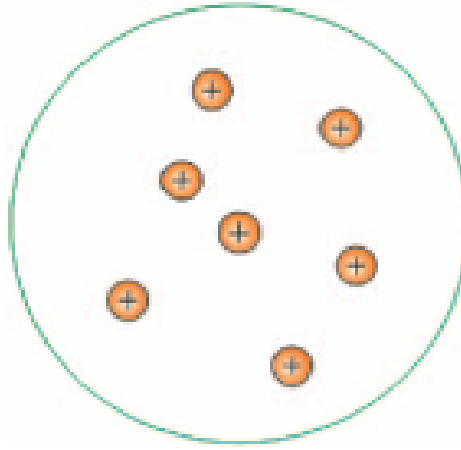
δ sonsuza giderken α 1'e yaklaşır ve metal benzeri bir iletken özelliği gösterir. $\delta = 1$ olduğunda, α 1/2 'ye yaklaşır. Her iki durumda yüzey konveksiyon akımı artar. α değişkeni için bazı olası örnekler için bkz. Şekil 1.1- 1.3



Şekil 1.1 : İdeal bir elektronik jetin direnci: $R \sim 1/r^2$, $\delta \rightarrow \infty$ metal bir iletkendeki gibi kesitte birçok yüklü parçacık bulunmaktadır. $\alpha=2$ üs kuvveti yüklü kesitin fraktal boyutu olarak açıklanabilir.[1]



Şekil 1.2 : Yüzey konveksiyon direnci: $r=1/r^1$ $\delta = 1$ üs kuvveti $\alpha = 1$ yüklü çemberin fraktal boyutu olarak açıklanır.[1]



Şekil 1.3 : Elektronik jetin direnci: $R \sim 1/r^\alpha$, $\alpha = 2\delta/(\delta+1)$. Üssü kuvvet olan α yüklü bölgenin fraktal boyutu olarak açıklanabilir.[1]

Böylece (1.2) denklemi şu şekilde modifiye edilebilir.

$$2r\sigma u + r^{2\delta/(\delta+1)}kE = I \quad (1.42a)$$

veya daha genel formda;

$$hr^\alpha\sigma u + r^\beta kE = I \quad (1.42b)$$

Burada a ve b fraktal boyutun yüklü çemberi ve yüklü bölgesi, h vek da sabitler olarak ifade edilir.

İletken bir tekstil için;

$$R \sim \frac{L}{A^{2/3}}$$

Eğer dokuma, örme veya nonwoven bir iletken tekstil malzemesinden imal edilmiş iki elektrottan oluşan elektrokimyasal pil tasarlanmak istenirse, orantısal değişim şu formülasyonun oluşmasına sebep olur.

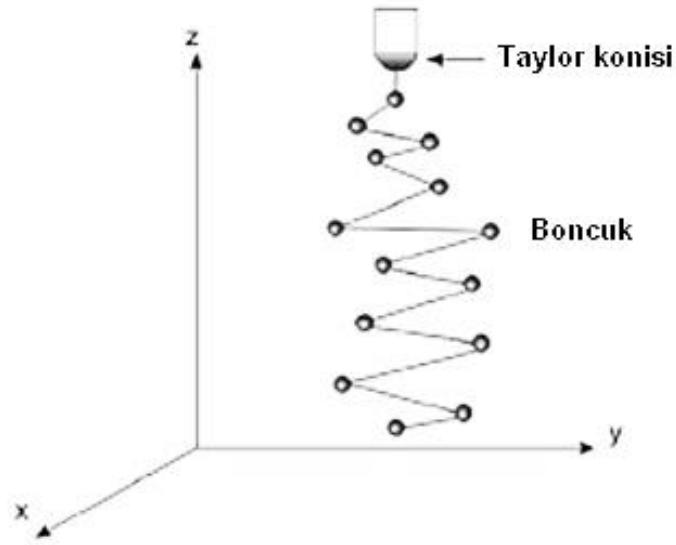
$$R = k \frac{L}{cA^{2/3}} \quad (1.43)$$

Burada k sabit, L elektrotlar arası mesafe, A elektronların yüzey alanı ve c de elektrolit çözeltisinin konsantrasyonudur.

1.2.6 Reneker'in modeli

Reneker ve arkadaşları[19] elektro üretimdeki kararsızlığı açıklamak için matematiksel bir model öne sürmüşlerdir. Viskoelastik jetin açıklanmasına imkan sağlayan polimer çözeltisinin reolojik karmaşıklığını da içeren bir modeldir. Bu modelde, jet Şekil 1.4'te görüldüğü gibi e yüküyle yüklenmiş boncuklardan oluşan ve

viskoelastik elementler tarafından bağlanan **m** kütlelerinden oluşan bir sistem olarak modellenir.



Şekil 1.4 : Eğilen (bending) elektro üretim jet modeli [1]

Şimdi jetin bir kısmını alırsak $(i-1,i)$ boncuğun konumunu $i-1$ 'de sabitlendiği kabul edilir. i boncuğuna etki eden itici Coloumb kuvveti $-e^2/l_{i-1,i}^2$ 'dir. Harici elektrik alanın sebep olduğu i 'ye uygulanan kuvvet $-eV_0/h$ 'dir. Gerilim $\sigma_{i-1,i}$ 'yi $i-1$ 'e çeken gerilim şu şekildedir,

$$\frac{d\sigma_{i-1,i}}{dt} = G \frac{1}{l_{i-1,i}} \frac{dl_{i-1,i}}{dt} - \frac{G}{\mu} \sigma_{i-1,i} \quad (1.44)$$

t zaman, G ve u sırasıyla elastiklik modülü ve viskozite, ve $l_{i-1,i}$ alınan parçanın boyudur ki bu şu şekilde ifade edilir.

$$l_{i-1,i} = \left[(x_i - x_{i-1,i})^2 + (y_i - y_{i-1,i})^2 + (z_i - z_{i-1,i})^2 \right]^{1/2} \quad (1.45)$$

burada $x_i, y_i, z_i, \dots$ boncuğun kartezyen koordinatlarıdır. Bu yüzden, boncuğa etki eden viskoelastik kuvvet $\pi\alpha^2\sigma_{i-1,i}$, burada α parçanın kesit yarı çapıdır.

Toplam boncuk sayısı, N , yeni elektriklenmiş yüklü boncuk sayısı şeklin üzerine eklendikçe zamanla artmaktadır. i 'nci boncuğa etki eden Coloumb kuvveti diğer boncuklardan aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$F_c = \sum_{j=1, \dots, N, j \neq i} \frac{e^2}{R_{ij}^2} (r_i - r_j) \quad (1.46)$$

Burada r_i ve r_j boncuğun konumunu, R_{ij} ise i ve j boncukları arasındaki mesafeyi belirtmektedir.

Elektrik alan tarafından i'nci boncuğa uygulanan elektrik alan kuvveti;

$$F_e = -e \frac{V_0}{h} k \quad (1.47)$$

Burada V_0 elektrik voltajı, h damlacık ile toplayıcı arasındaki mesafedir.

Jetin i'inci boncuğa etki eden viskoelastik kuvvet;

$$F_{ve} = \frac{\pi \alpha_{i,i+1}^2 \sigma_{i,i+1}^2}{l_{i,i+1}} (r_{i+1} - r_i) - \frac{\pi \alpha_{i-1,i}^2 \sigma_{i-1,i}^2}{l_{i-1,i}} (r_{i+1} - r_i) \quad (1.48)$$

Burada $\alpha_{i-1,i}$ ve $\alpha_{i,i+1}$ filament yarıçaplarıdır.

i'inci boncuğa etki eden yüzey gerilim kuvveti ve eğilen jetin denge şeklini tekrar almaya yönelmesi aşağıdaki gibidir.

$$F_B = - \frac{\alpha \pi \left[\frac{1}{2} (\alpha_{i,i+1} + \alpha_{i-1,i}) \right]^2 k}{x_i^2 + y_i^2} [i|x_i| \text{sign}(x_i) + j|y_i| \text{sign}(y_i)] \quad (1.49)$$

Burada α yüzey gerilim katsayısı, k (i-1,i+1) arasında jet parçasının eğikliği “sign”in anlamı ise

$$\begin{aligned} \text{sign}(x) &= 1, \text{ eğer } x > 0 \\ \text{sign}(x) &= -1, \text{ eğer } x < 0 \\ \text{sign}(x) &= 0, \text{ eğer } x = 0 \end{aligned} \quad (1.50)$$

Böylece boncuğun hareketinin momentum denklemi

$$m \frac{d^2 r_i}{dt^2} = F_C + F_E + F_{ve} + F_B \quad (1.51)$$

burada F_C , F_E , F_{ve} , ve F_B daha önce açıklanmıştır.

Birinci boncuk için $i=1$ ve N toplam boncuk sayısı da 1'dir. Daha fazla boncuk eklendikçe N daha da büyür ve 1. boncuk $i=1$ oluşan jetin alt kısmında kalmaktadır.

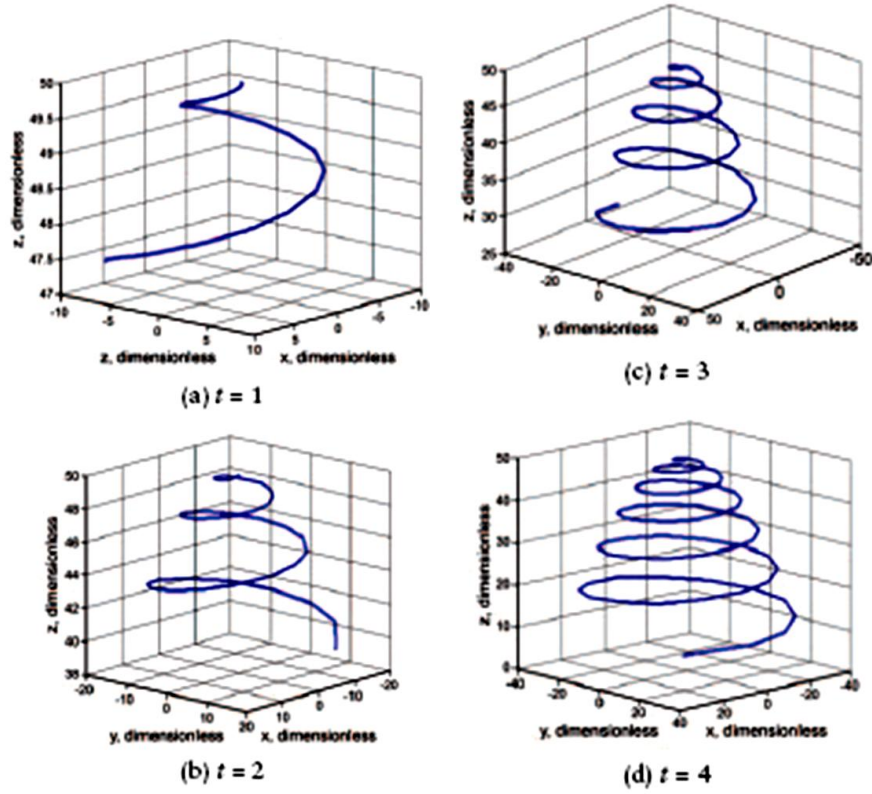
Bu boncuk için $i-1$, i arasında bütün parametreler sıfıra eşitlenerek ayarlanmalıdır.

Zeng ve arkadaşları bu modeli elektro üretim işleminin kararsızlığını simüle etmek için kullanmışlardır [20].

Başlangıç kararsızlığı verildiği gibi;

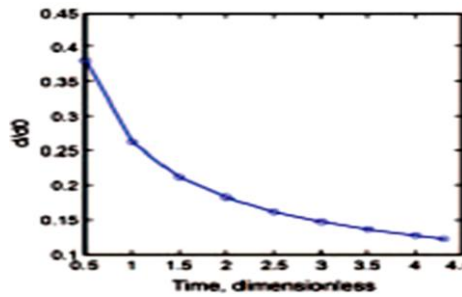
$$\begin{aligned} x_i &= 10^{-3} t L \sin(\omega t) \\ y_i &= 10^{-3} t L \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (1.52)$$

burada L uzunluk skalası olarak tanımlanmıştır, $L = (e^2 / \pi \alpha_0^2 G)^{1/2}$, α_0 ise $t=0$ anındaki başlangıç kesit yarıçapıdır, sayısal simülasyon Şekil 1.5-1.7'de gösterilmektedir[20].

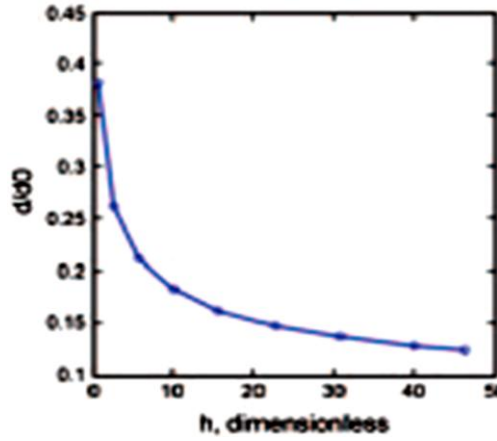


Şekil 1.5 : Her bir düzensizlik bir eğilme kararsızlığı oluşturmaktadır [1]

Carroll ve Joo[21] viskoelastik Boger akışkanlarının elektro üretimi üzerine çalışmışlar, Newtonien ve viskoelastik elektro üretim ile üretilmiş jetler için teorik bir model ortaya koymuşlardır. Özellikle, elektriksel iletkenlik ve viskoelastisitenin elektro üretim işleminin başlangıç safhasında jetin hareketi üzerindeki etkisini çalışmışlardır. Teorik çalışma esnasında akışkan sızıntılı dielektrik olarak açıklanmaktadır ve yükler sadece jetin yüzeyinde bulunmaktadır. Oldroyd-B FENE-P gibi polimer çözeltileri için viskoelastik modeller.



Şekil 1.6 : Jetin zamana bağlı olarak boyutsuz çapı d/d_0 [1]



Şekil 1.7 : . Jetin damlacıkla toplayıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak boyutsuz çapı d/d_0 [1]

Tamamen akışkan momentum denklemleri ve Gauss kanunu ile birleştirilmiş haldedir. İnce filament tahmini kullanılarak jet için bir teorik model oluşturulmuştur.

1.2.7 Sonsuzluk (E-Infinity) teorisi

Son yıllarda, EL Naschie'nin[22,23] uzay-zaman teorisi hakkında ve onun uygulamaları hakkındaki ortaya konan orijinal çalışmalar heyecan verici duruma gelmiştir. Bu teorinin en önemli uygulamaları; büyüleyici bilimsel hassasiyetler, özellikle tamamlayıcı teorik sabitler ve başlangıç partiküllerinin standart modellerinin kütle spektrumlarıdır. Bu bölümde, teorinin nanolif üzerine muhtemel uygulamaları üzerinde durulacaktır. Cantorian'ın uzay-zaman taslağında belirtilen hususlar bu kısım için hayati önem arz etmektedir. Einstein'in alan eşitliğini vererek giriş yapılabilir:

$$F_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R = -K T_{ij} \quad (1.53)$$

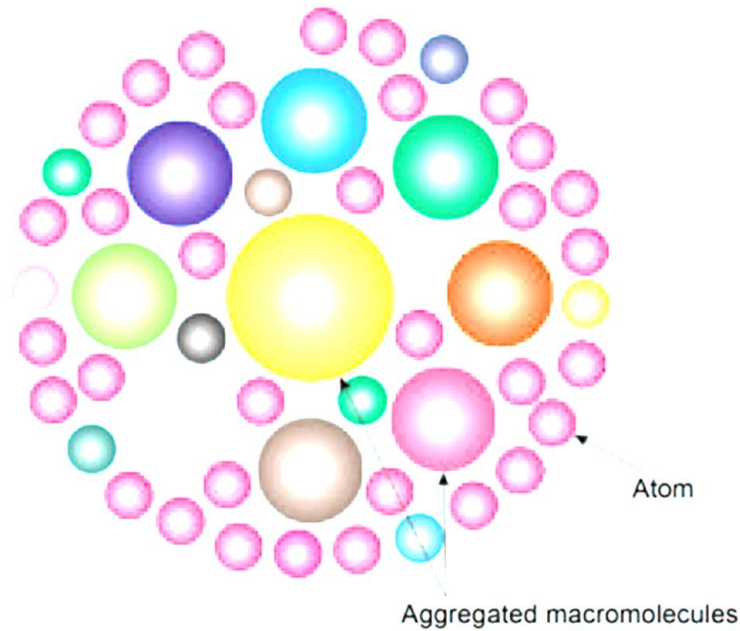
R_{ij} ; Ricci sayısı, T_{ij} ; enerji momentum sayısı, K ; katlama katsayısı ve g_{ij} metrik sayısıdır.

Eşitliğin sağ tarafında kütle bağıntısı bulunmaktadır. Einstein'in meşhur $E=mc^2$ formülüne göre enerji görecelilik teorisinin kuvvetine bağlıdır. Bununla birlikte, temel seviyedeki enerji, Plank'ın quantum eşitliğine uymaktadır. Bundan dolayı, quantum ölçeğine inildiğinde eşitliğin sağ tarafı ayrı ve farklı bir duruma gelmektedir. Fakat, eşitliğin sol tarafı hala devam etmektedir. Bundan dolayı, quantum ölçeğine inildiğinde Einstein'in uzay-zaman teorisi quantum mekaniğinden

ayrı tutulmalıdır. Bu, quantum dalgalanmasından dolayı fırtınalı bir okyanusa benzer ki eşitlik had safhada kısıtlı bir hale gelir.

Einstein'in alan eşitliğindeki problem El Naschie'nin sonsuzluk teorisi[22] ile giderilebilir. Bu teoride uzay ve zaman düzensizlikler ile doludur. Yeni Cantorian uzay-zaman teorisi ile giriş yapılacak olursa, matematiksel olarak imkansız olan sonsuz boyutsal bir gerçek uzay-zaman düşüncesi resmi olarak ifade edilmiştir.

Elektro üretim nanoliflerin üretilmesi için basit bir işlem ve hiyerarşik yapıların kontrollü bir şekilde toplandığı bir üretim yöntemidir[24,25]. Şekil 1.8'de bir nanolif kesitinde merkezde ve ortada kümelenmiş makromoleküller, lif yüzeyinde ise atomlar görülmektedir.



Şekil 1.8 : Lif kesiti: merkezde kümelenmiş makromoleküller, lif yüzeyinde ise yoğun oranda atomlar görülmektedir[1].

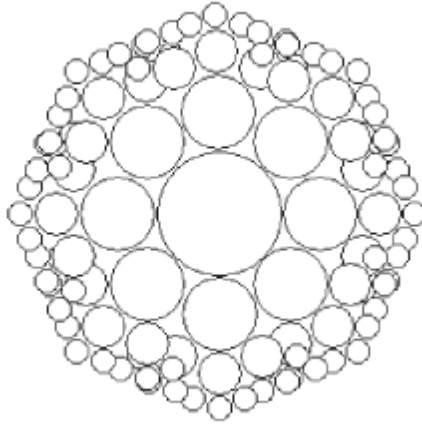
Bu durum alışık olunmadık yüksek yüzey enerjisi, yüzey aktiviteleri ve yüksek termal ve elektrik iletkenliklerine sebebiyet vermektedir.

Şekil 1.8 fraktal sarma probleminde (Şekil 1.9) çok benzemektedir ki bu doğal olarak sonsuzluk teorisine bağlıdır.

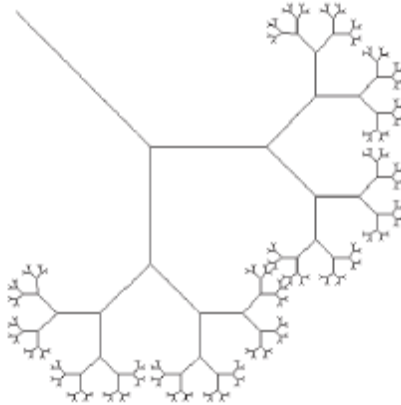


Şekil 1.9 : Fraktal sarma problemi[1]

Hiyerarşik yapılarla uğraşırken sonsuzluk teorisi işe yarıyan çok önemli bir uygulamadır. Şekil 1.10'da bu uygulamalardan biri olan türbülans ve Şekil 1.11'de ise biyolojik bir yapı olan yapay damar uygulaması gözükmemektedir.



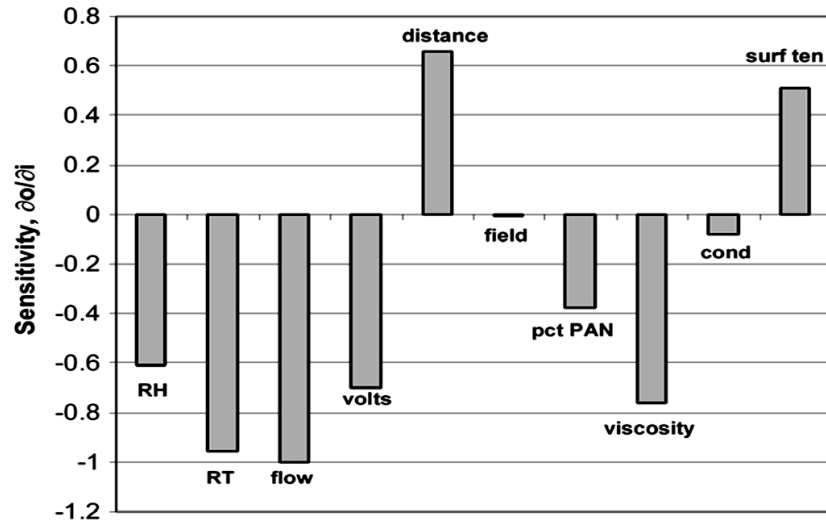
Şekil 1.10 : Bir sonsuzluk teorisi uygulaması olarak türbülans modeli[1]



Şekil 1.11 : Sonsuzluk teorisinin uygulanabildiği hiyerarşik yapıdaki kan damarının modeli[1]

1.3 Diğer literatür özetleri

Nanolif yüzeylerin fiziksel özelliklerini kontrol edebilmek için nanolif çapını çok küçük bir tolerans ile belirleyebilmek gerekir. Rietman[26] çalışmasında 25 nm altında PAN nanolifi üretebilmek için meydan okunmuş. Genellikle düşük konsantrasyon , düşük viskozite, yüksek iletkenlik, yüksek yüzey gerilimi veya yüksek elektrik alan sonucunda oluşan nanolifin düşük çapta olduğunu belirlemiştir. 100 nm altında nanolif üretebilmek için 242 farklı deneme yapılmıştır. Ortaya çıkan nanolif çap sonuçlarına göre 3 boyutlu bir simulasyon geliştirilmiştir.

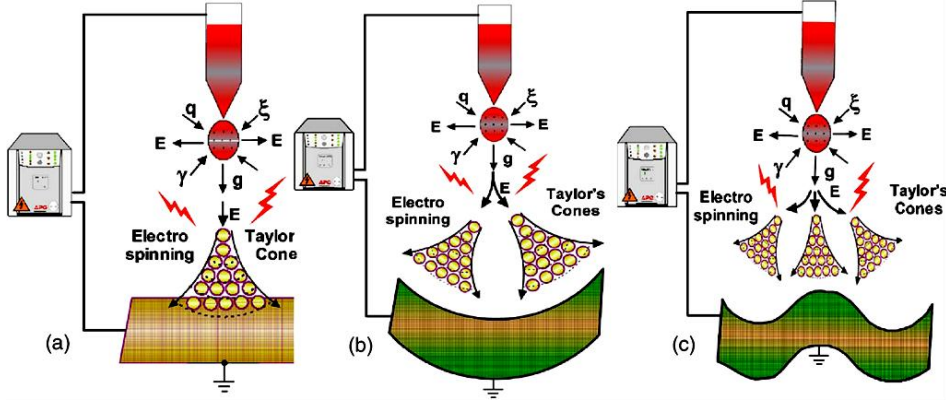


Şekil 1.12 : Elektro üretim işlemini etkileyen parametrelerin hassasiyeti[26]

Şekil 1.12’de elektro üretim işlemini etkileyen parametrelerin hassasiyeti görülmektedir. Özellikle ortam şartlarının etkisi gerçekten de büyük olduğu anlaşılmıştır. Çıkan sonuçlara düşük çapta nanolif elde etmenin hala bir meydan okuma olduğu anlaşılmıştır.

Vaseashta[27] çalışmasında taylor konisinin bir ya da birden fazla oluşabileceğini bildirmiştir. Bunun olmasına ana etken toplayıcı ile jet ucu arasındaki elektrik alan dağılımıdır. Eğer elektrik alan dağılımı toplayıcı tarafında 2 farklı noktaya yoğunlaştırılabilirse 2 farklı jet oluşması kuvvetle muhtemeldir. Düzeden çıkan jet toplayıcıya ulaşırken izlediği yok yine elektrik alanın yoğun olduğu yere doğru olacaktır.

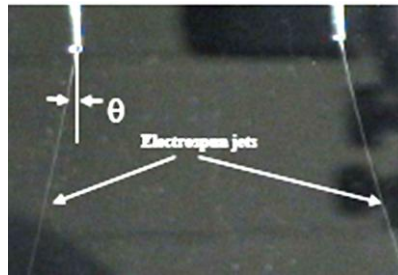
Şekil 1.13’de bir, iki ve üç adet taylor konisinin muhtemel oluşma mekanizması görülmektedir.



Şekil 1.13 : Bir(a) iki(b) ve üç(c) taylor konisinin oluştuğu muhtemel mekanizmanın şematik gösterimi[27]

Chowdhury [28] çalışmasında Naylon 6 polimerini formik asitte çözüp, farklı konsantrasyon(15,20,25), voltaj(12,15,18), mesafe(5,8,11), debi(0.2, 0.25, 0.26, 0.30 ml/sa)nin nanolif çapına ve morfolojiye olan etkisini incelenmiştir. Nanolif viskoziteden, yüzey geriliminden, elektrik iletkenliğinden çözeltiden, elektrik alandan ve mesafeden etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. Düşük konsatrasyonda düşük nanolif çapı elde edilmiştir. Fakat boncuklanma görülmektedir. Voltajın artmasıyla elektrik alan dolayısıyla kuvvet artar sonuçta lif çapı azalmaktadır. Makalede sadece deneysel çalışma yapıp bunların sonuçları grafiklere dökülmüştür[28].

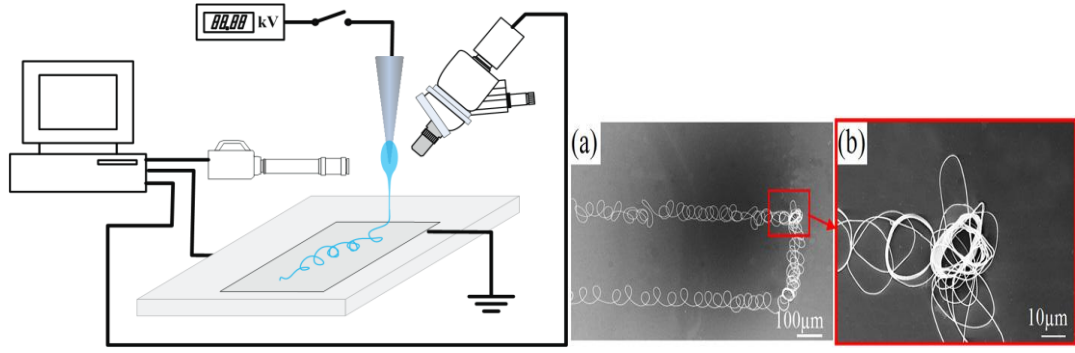
Angammana[29] çalışmasında 2 iğnenin yan yana tutularak elektro üretim süresinde elektrik alanının dağılımı yapılmıştır. Bu işlem sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. İki iğne arasındaki mesafenin değişmesinin lif üzerine etkisi incelenmiştir. Elektrik alan hesaplanması için COMSOL Multiphysics programı kullanılmıştır. Tek iğne ve iki iğneli durumların teorik elektrik alan çizimleri çizilmiştir. İğneler arası mesafenin değişmesiyle değişen elektrik alan değerleri hesaplanmış, ve iğneler arası mesafeler değiştirilerek elektro üretim yapılmıştır ve nanolif çapları incelenmiştir[29].



Şekil 1.14 : Jetin dikey doğrultuda yaptığı açı[29]

Şekil 1.14’de iğneden çıkan jetin, dikey doğrultuda yaptığı açık gösterilmektedir.

Lie ve Sun [30] çalışmalarında normal elektro üretim düzeneğinde yakın mesafede çalışılmış ve toplayıcı bilgisayara bağlanıp, yüksek hareket hassasiyete sahip bir mekanizma ile hareket ettirilmiştir. Mikroelektronik mekanik sistemler ile desen yapılarak elektrik alanı kendisine yönlendirerek veya toplayıcıyı, nanolifin toplayıcıya değdiği andaki hızı ile hareket ettirerek düz ve tek bir nanolif elde edilmiştir. Hatta toplayıcı hareket ettirilerek “U” şeklinde desen bile yapılmıştır. İşte silikon üzerine mikro parçalar yerleştirilerek elektriksel kuvvetinin yönü ayarlanarak ve toplayıcıyı hareket ettirerek desenlendirme yapılabilir. Şekil 1.15’de Lie ve Sun’ın elektro üretim düzeneği ve desenlendirmeye örnekleri gösterilmektedir.

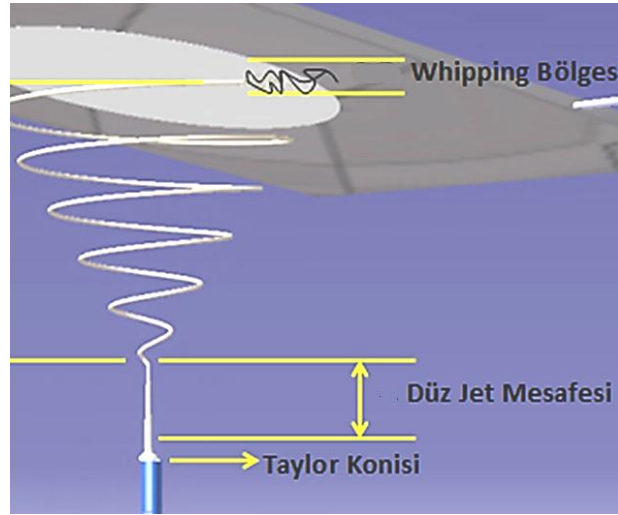


Şekil 1.15 : Lie ve Sun’ın elektro üretim düzeneği solda, elde edilen desenlendirme sağda(a ve b)[30]

Literatür özetlerine ek olarak elektro üretim işlemini etkileyen parametreleri anlatan bir derleme de yapılması düşünülmüştür Fakat daha önce birçok yüksek lisans tezinde[31,32,33] ve bir çok kitapta[34-40] ayrıntılı olarak verildiği için bu tez çalışmasında yer verilmemiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Elektro üretim işleminde bir çok parametrenin, çıkan ürünün özelliklerini etkilediği üzerine bir önceki bölümde değinilmiştir. Polimer çözeltisinin düzeden ilk çıktığı andan itibaren davranışı birçok araştırmaya konu olmuştur. Çünkü ilk önce düz bir yol izlerken, sonra çok karmaşık bir yol izlemektedir. Şematik olarak belirtilen Şekil 2.1’de belirtilen yol hiçbir elektro üretim yöntemiyle nanolif üretimi esnasında gerçekleşmemektedir.



Şekil 2.1 : Şematik elektro üretim işleminin gösterimi

Reneker ve arkadaşları[19] çalışmalarında jet yolunun modellenmesi üzerine çalışmaları mevcuttur. Teorik olarak jet için bir güzergah ortaya koymuşlardır. Jetin izlediği yol, nanolifin ve nanoağın mekanik özelliklerini belirleme açısından hayati öneme sahiptir. Çünkü bu yolda çekim işlemi ve eğer çözeltiden elektro üretim yöntemiyle nanolif elde ediliyorsa çözücü buharlaşması gerçekleşmektedir. Toplam çekim miktarı nanolifin inceliğini dolayısıyla mekanik özelliklerini etkilemektedir.

Bu çalışmada PAN (poliakrilonitril) ve PCL (polikaprolaktan) polimerlerinin farklı konsantrasyon, mesafe, voltaj, debide düzeden çıkan jetin izlediği yol izlenmiştir. PAN polimer çözeltisi için yapılan çalışma planı Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : PAN polimer çözeltisi için elektro üretim parametreleri

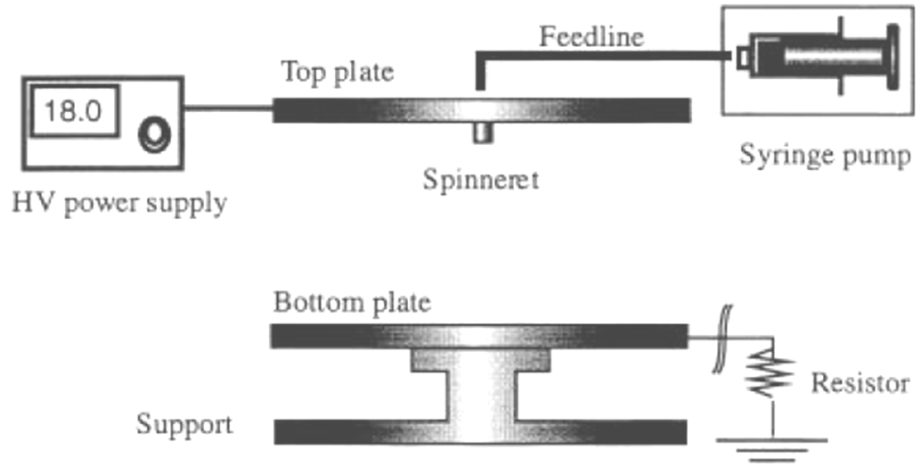
Rumuz	Kons. [%]	mesafe[cm]	Debi[ml/sa]	Voltaj [kv]
1	8	12	1,20	12
2	8	12	1,20	14
3*	8	12	1,20	16
4	8	12	1,20	18
5	8	12	1,00	16
6	8	12	1,40	16
7	8	12	1,60	16
9	10	12	1,10	12
10	10	12	1,10	14
11*	10	12	1,10	16
12	10	12	1,10	18
13	10	12	0,90	16
14	10	12	1,30	16
15	10	12	1,50	16
17	12	12	1,30	14
18	12	12	1,30	12
19*	12	12	1,30	16
20	12	12	1,30	18
21	12	12	0,90	16
22	12	12	1,10	16
23	12	12	1,50	16
25	14	12	1,50	15
26	14	12	1,30	15
27*	14	12	1,10	15
28	14	12	1,10	13
29	14	12	1,10	17
30	14	12	1,10	19
31	14	12	0,90	15

PAN çözeltisi için 4 farklı konsantrasyon hazırlanmış, mesafe sabit tutulup, debi ve voltaj parametreleri değiştirilerek nanolifler elde edilmiştir. Herbir deneme için bir rumuz belirlenmiştir. Konsantrasyon değişimlerine göre gruplandırılıp, her bir grup içerisinde bir referans değeri alınıp, diğer parametreler referansa göre ayarlanmıştır. Her bir grup için yedişer numune üretilip bunların PHOTRON FASTCAM 1024[41] ile görüntüleri Şekil 2.2’de görülen düzenek kurularak çekilmiştir. Daha sonra elde edilen 28 numunenin JEO/JSM-6335F[42] model SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazı kullanılarak incelenip, çap dağılımları çıkartılıp, bazı parametrelerin değişmesi ile değişen yüzey morfolojisi ve lif inceliği belirlenmiştir. Ayrıca, Rutledge[26]’in çalışmasında ortaya koyduğu teorik olarak nanolif çapını

veren formülü (2.1) baz alınarak, elde edilen nanolif çap değerlerinin teorik olarak hesaplanan değere uygunluğu test edilmiştir.

Bu çalışmada MIT’de nanolif üzerine çalışmaları bulunan Rutledge’in çalışmaları baz alınmıştır.[43]

Bu yeni elektro üretim düzeneği ile düze ve toplayıcı arasındaki elektriksel alan düzgün bir konuma geldiği varsayılmaktadır. Elektrik alanının düzgün olması formülasyon çalışmalarında elektrik alanın düzensizliği en aza indirilmiştir.



Şekil 2.2 : Rutledge’in tasarladığı elektro üretim düzeneği[43]

Rutledge ve arkadaşları çalışmalarında özel bir elektro üretim düzeneği geliştirmiş ve etki eden parametrelerden yola çıkarak ortalama lif çapını ifade eden bir formül elde etmişlerdir. Bu formülasyon ile teorik olarak hesaplanan çap ile pratikte elde edilen çap karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu formül;

$$h_t = \left(\gamma \epsilon \frac{Q^2}{I^2} \frac{2}{\pi(2 \ln \chi - 3)} \right)^{1/3} \quad (2.1)$$

(γ) yüzey gerilimi, (ϵ) dielektrik sabiti, (I) akım, (χ) düz jet mesafesi, (Q) debi olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.3 : Hızlı kamera düzeneği

Elde edilen SEM görüntülerinden Adobe Acrobat 8 Prof. Programı[44] yardımıyla 100'er adet çap değeri alınarak ortalama çap değeri ortaya çıkarılmıştır. Buna ek olarak çap dağılımları da grafik olarak hazırlanmıştır.

PCL çözeltileri denemeleri için de benzer bir yol tercih edilmiştir. PCL nanoağ numunelerinin üretim parametreleri Çizelge 2.2 deki gibidir.

Çizelge 2.2 : PCL üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Mesafe[cm]	Debi[ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
1	9	16	2,00	14	3
2	9	18	2,00	14	3
3	9	14	2,00	14	3
4	9	12	2,00	14	3
5	9	20	2,00	14	3
6	9	10	2,00	14	3
7	9	16	2,00	10	3
8	9	16	2,00	12	3
9	9	16	2,00	16	3
10	9	16	2,00	18	3
11	9	16	2,00	20	3
12	9	16	1,00	14	3
13	9	16	1,20	14	3
14	9	16	1,40	14	3
15	9	16	1,60	14	3
16	9	16	1,80	14	3
17	9	16	2,20	12	3

17 farklı numune için üretim esnasında PHOTRON FASTCAM X1024[41] model hızlı çekim yapabilen kamera sistemi ile Şekil 2.2’de gösterildiği şekil üzere çekilmiştir. Bunlara ek olarak, elektro üretim işlemi sonunda toplayıcıda toplanan alan hesaplanarak kayıt altına alınmıştır.

2.1 Çalışmada Kullanılan Cihazlar

PAN polimerinden nanolifler üretilmeden önce, Rutledge[43]’in belirttiği nanolif çapını veren formülasyonu (1.1) çalıştırabilmek için çözeltilerin yüzey gerilim değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın en önemli kısmın olan elektro üretim denemeleri Demir ve arkadaşlarının tasarladığı Nanolif Geliştirme Platformunda[45] yapılmıştır.

2.1.1 Yüzey gerilim ölçüm cihazı

PAN çözeltilerin hazırlanan 4 farklı[%8, %10, %12, %14] numunenin yüzey gerilim değerleri Platin Halka Yöntemiyle[46], Şekil 2.4’de gösterilen Krüss marka cihaz ile ölçülmüştür. Çözeltilerin tayin edilen yüzey gerilim değerleri Çizelge 2.3’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Yüzey Gerilimi Tayin Cihazı[47]

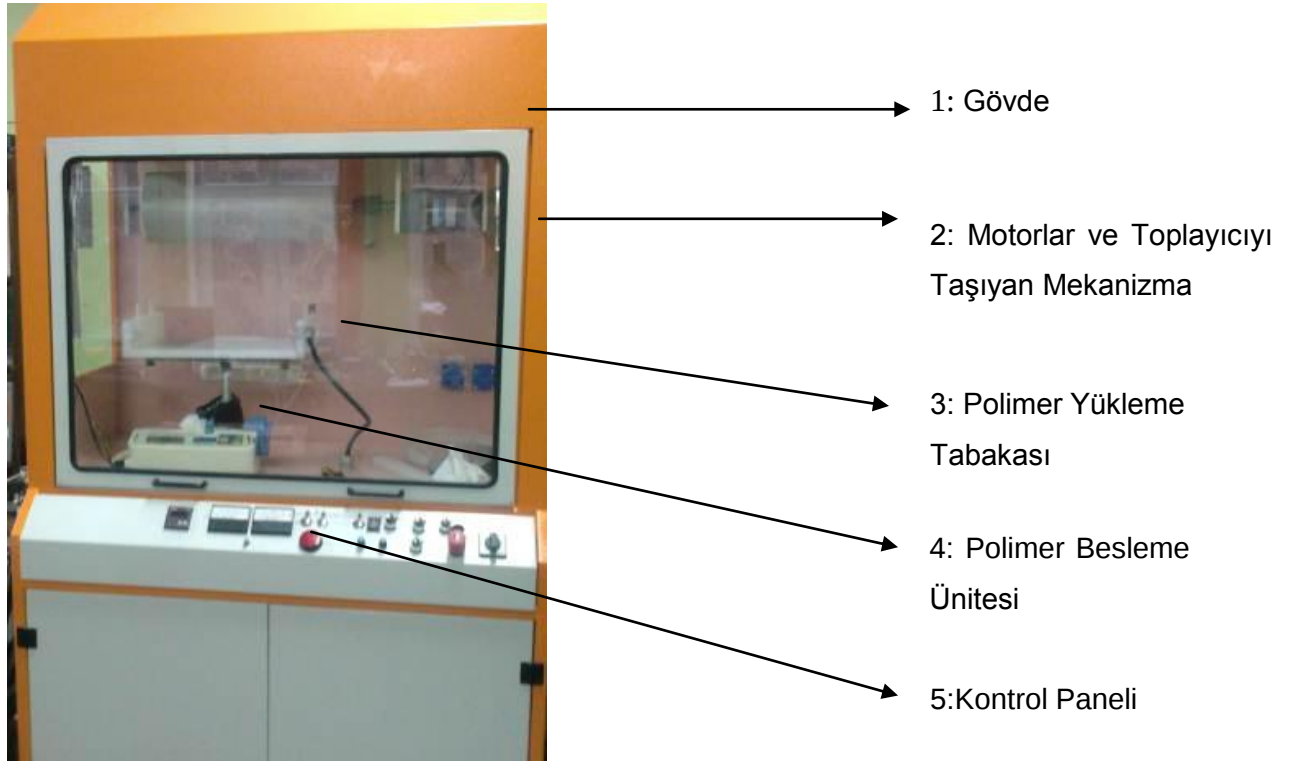
2.1.2 Elektro üretim düzeneği

Elektro üretim yöntemiyle üretilen nanoağ numuneler Demir ve arkadaşlarının tasarladığı şekil 2.5’de gösterilen Çok Fonksiyonlu Nanolif Geliştirme Platformu’nda üretilmiştir[45].

Çizelge 2.3 : PAN çözeltilerinin yüzey gerilim değerleri

	Yüzey Gerilmi [mN/m]
Saf Su	72,5
8%	39,5
10%	39,9
12%	40,3
14%	40,5

2.1.2.1 Nanolif geliştirme platformunun (NGP) yapısı



Şekil 2.5 : Nanolif Geliştirme Platformu (NGP)[45]

2.1.2.2 Gövde

Nanolif geliştirme platformunun gövdesinde :

- Kullanılan çözücünün verimli şekilde tahliyesi için tahliye fanı ve temiz hava besleme için besleme fanı,
- İşlem esnasında sistemi gözlemlene ve müdahale etme imkanı sağlayan bir adeti açılır/kapanır, diğer ikisi sökülebilir olmak üzere üç adet pencere,

- Sistemin tüm elektriksel mekanizmasını ve kontrolünü tek yerde toplayan, böylece gerektiğinde kolayca müdahale edilebilmesini sağlayan bir adet kontrol paneli ve çekmecesini,
- Gerektiğinde cihaza ek elektriksel cihaz bağlanmasını sağlayan iki adet priz,
- Kullanılan tüm kimyasalların aynı yerde depolanmasına imkan veren bir adet dolap bulunmaktadır.

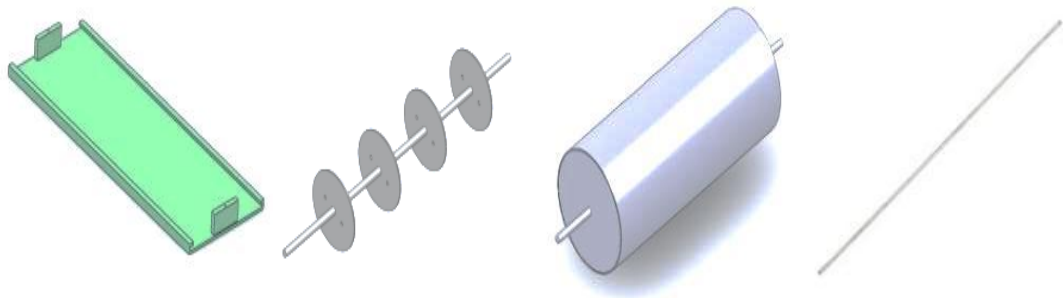
2.1.2.3 Motorlar ve toplayıcıyı taşıyan mekanizma

Toplayıcı, elektro üretim işleminin üç ana bileşeninden biridir. Toplayıcı üzerinde üretilen nanolif toplanır. Hareketsiz bir toplayıcıda toplanan nanolifin, homojen dağılımı çok zor olmaktadır. Bu nedenle toplayıcının hareket ettirilmesi gerekmektedir.

Sistemde toplayıcının kendi eksenini etrafında ve yatayda hareketini sağlayan iki motor bulunmaktadır. Bu motorlar, toplayıcının sağa sola hareketini ve dönmesini sağlayarak nanolifin homojen dağıtılması amaçlanmıştır.

Uygulamaya göre (filtrasyon, damar, yara örtücü gibi) toplayıcı tipi ve motor hızı değiştirilebilmektedir. Şekil 2.6'da gösterilen toplayıcılardan, levha tipi toplayıcı seçilmiştir. Toplayıcılar:

- Levha tipi toplayıcı
- Disk tipi toplayıcı
- Silindir tipi toplayıcı
- Mil tipi toplayıcı

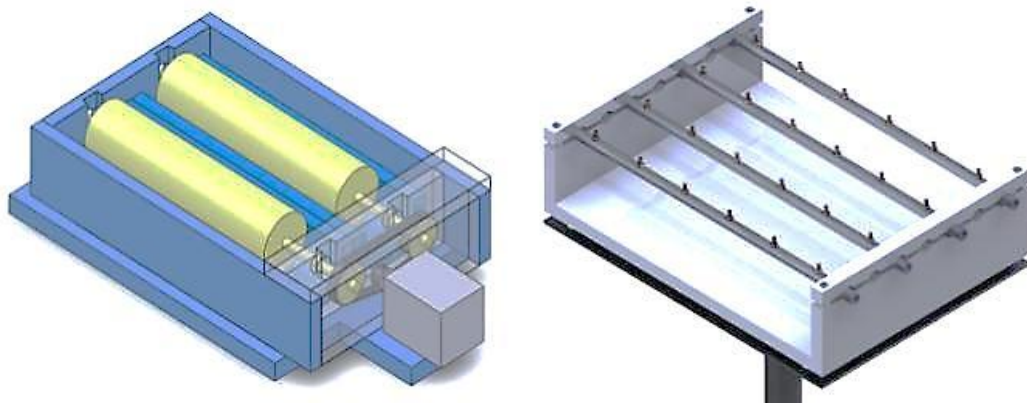


Şekil 2.6 : Farklı Toplayıcı Tipleri

2.1.2.4 Polimeri yükleme (charging) ünitesi

Elektro üretimin sürekli olarak gerçekleştirilmesi için polimeri sürekli olarak elektriksel olarak yükleyecek (charge edecek) bir ekipmana ihtiyaç vardır. Bu ekipman sayesinde polimer elektrik ile yüklenerek toplayıcı yüzeylere sürekli olarak iletilir.

Polimer, polimer besleme ünitesi tarafından polimer yükleme ünitesine aktarılır. Burada polimer elektriksel olarak yüklenerek topraklanmış olan toplayıcıya doğru yönelmeye başlar. Yükleme ünitesi yüzeyi, yüzey gerilimini yenebilmeyi etkilediği için çok önemlidir. Cihazda şekil 2.7’de gösterilen farklı olarak 2 yükleme ünitesi ile kullanılabilmektedir. Denemelerde iğne tipi yükleme ünitesi tercih edilmiştir.



Şekil 2.7 : Havuz Tipi Ve İğne Tipi Polimer Besleme Ünitesi

2.1.2.5 Polimer besleme ünitesi

Kullanılan polimerin polimer yükleme ünitesine polimer sevki iki şekilde gerçekleştirilebilir;

- Polimer, bir pompa vasıtası ile düşük bir sabit debi ile iğne tipi polimer yükleme ünitesine beslenir.
- Polimer, bir havuza boşaltılarak içine silindir kısmen daldırılır. Silindire yüksek gerilim beslenir. Silindirin dönmesiyle toplayıcı ve silindirin açıkta kalan yüzeyi ile toplayıcı yüzeyi arasında oluşan elektrik alanı ile elektro üretim gerçekleşir. Bu işlem, havuz tipi polimer yükleme ünitesi ile gerçekleştirilebilmektedir.

2.1.2.6 Kontrol paneli



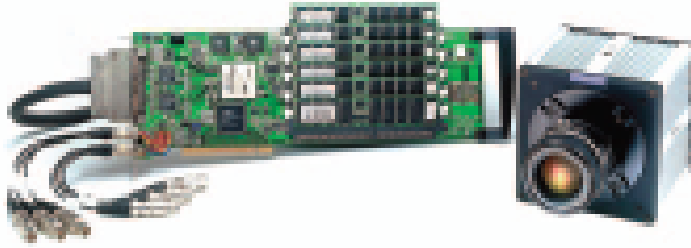
Şekil 2.8 : Nanolif Geliştirme Platformu kontrol paneli

Şekil 2.8’de gösterilen kontrol panelindeki birimler:

- Polimer yükleme ünitesi ile toplayıcı ünitenin arasındaki mesafeyi cm cinsinden gösterir gösterge,
- Polimer yükleme ünitesine kaç kV yüksek gerilim uygulandığını gösterir gösterge,
- Yüksek gerilim güç kaynağından kaç mikroamper akım çekildiğini gösterir gösterge,
- Yüksek gerilim güç kaynağı gerilim ayar butonu,
- Havuz tipi polimer yükleme ünitesi silindir motoru başlat/durdur butonu,
- Toplama ünitesi dönel hareket motoru başlat/durdur butonu,
- Yüksek gerilim başlat/durdur butonu,
- Toplama ünitesi yatay hareket başlat/durdur butonu,
- Fan 1 – Fan 2 hız ayarı potansiyometreleri,
- Toplayıcı – Polimer yükleme ünitesi arası mesafe arttır – azalt
- Havuz tipi polimer yükleme ünitesi silindir motoru hız ayarı butonu,
- Toplama ünitesi dönel hareket motoru hız ayar butonu,
- Toplama ünitesi yatay hareket motoru hız ayar butonu,
- Toplama ünitesi yatay hareket mesafe ayar butonu,
- Acil stop düğmesi,
- Açma/Kapama ana şalter

2.1.3 Hızlı kamera

Denemeler esnasında şekil 2.9’da gösterilen PHOTRON marka, X 1024 PCI model hızlı kamera kullanılmıştır. Max. Çözünürlük 1024x1024 piksel (1000 fps’de), 512x512 piksel (3000 fps’de)’dir. 4 kamerayı tek bilgisayarda senkronize olarak kullanma imkanı olan, CMOS sensörlü, elektronik deklanşöre sahiptir. Cihaz, denemeler esnasında saniyede 3000 ve 6000 kare alacak şekilde ayarlanmıştır. Çözünürlük ise 256x1024, 512x1024, 256x512 olarak ayarlanmıştır. Tüm denemelerde yaklaşık 3000-3500 kare arasında kare alınmıştır. Yani saniyede 6000 kare çeken sistemde yarım saniyelik, saniyede 3000 kare çeken sistemde ise bir saniyelik bir elektro üretime karşılık gelmektedir.[41]



Şekil 2.9 : Photron marka Hızlı kamera[41]

Hızlı kamera çekimlerinde ışık kaynağının gücü, lümeni çok önemlidir. Lümen, fizikte birim zamanda bir kaynaktan çıkan ışık miktarı olan ışık akısının birimidir [48]. Şekil 2.10’da görülen ışık kaynağından (25 Watt, soğuk beyaz ışık)[49] elektro üretim işlemi esnasında 5 tane kullanılmıştır.



Şekil 2.10 : Led ışık kaynağı[49]

2.2 PAN Çözeltisinden Elektro Üretim Yöntemiyle Elde Edilen Nanolif

Numuneler

AKSA Akrilik Kimya Sanayi Anonim Şirketi'nden temin edilen PAN polimerinin ortalama molekül ağırlığı 120.000-150.000 gr/mol aralığındadır. Denemeler esnasında ortamın sıcaklığı 24 °C ve nemi %40'dır.

Çözeltiler hazırlanırken yüzdelere kütlece hesaplanmıştır. Çözücü dimetilformamid (DMF)'dir.

1,2,3 ve 4 nolu denemeler tüm parametrelerin sabit tutulup sadece yüksek gerilimin değiştirildiği denemelerdir.

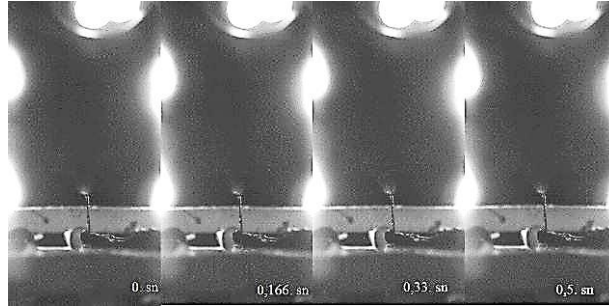
1 nolu PAN denemesi:

%8'lik PAN çözeltisinden Çizelge 2.4'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.4 : 1 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Geril [miliN/met]	Statik Dielektrik- hava	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
1	8	39,5	1,000520	12	1,20	12	3

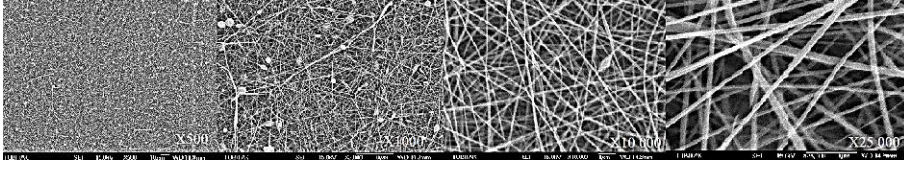
Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 : 1 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

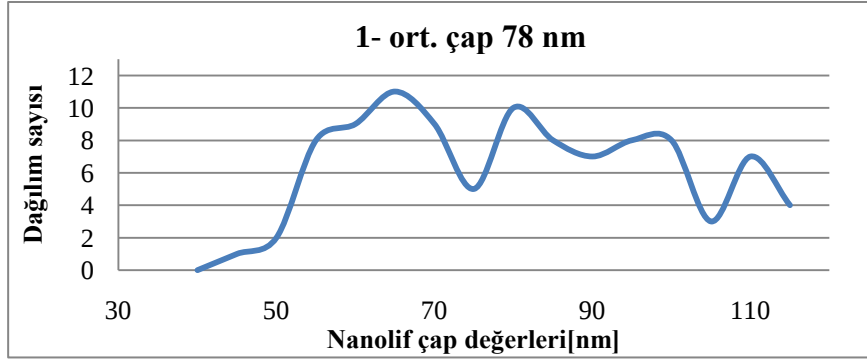
İğnenin iç çapı 0,4 mm'dir. Düz jet mesafesi 2,04 mm olacak ölçülmüştür. Şekil 2.10'daki karelerden elektro üretim esnasındaki eğrilme ve iğne çıkışında oluşan Taylor Konisi görülememektedir. Eğrilme olayının görülmemesinin nedeni ışık kaynağının yetersiz olabileceğinden veya PAN nanoliflerinin ortalama çap değerlerinin küçük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Taylor konisinin görülememesinin sebebi iğne iç çapının çok küçük olması (0,4 mm)'dir. Taylor

konisinin iğne içinde olduğu, bundan ötürü hızlı kamera ile görülemediği düşünülmektedir.



Şekil 2.12 : 1 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.12’de görülen SEM görüntüleri incelendiğinde 500 ve 1000 büyütmedeki resimlerde çözücünün tam olarak buharlaşmadığı, 10000 büyütmede çok az olsa da boncuklaşma olduğu gözükmemektedir. Çözücünün buharlaşamamasına mesafenin yakın olmasının (12 cm) sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Nanoliflerde boncuklaşmanın nedeninin düşük nem olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.13 : 1 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 1.13’de 1 nolu PAN denemesinin çap histogramı görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen ortalama çap 78 nm’dir. SEM görüntüsünden 100 adet çap değeri hesaplanıp ortalaması alınmıştır. Dağılım 40 – 115 nm arasında değişmektedir. Dağılımda ciddi bir dalgalanma gözükmemektedir. Bu, nanolif üretiminin verimliliği açısından bir sorun oluşturmayacağı hakkında fikir vermektetedir.

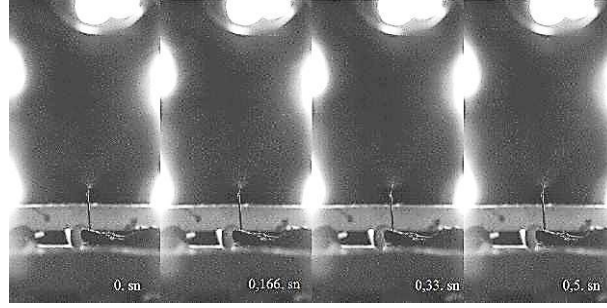
2 nolu PAN denemesi:

Çizelge 2.5 : 2 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
2	8	39,5	1,000520	12	1,20	14	3

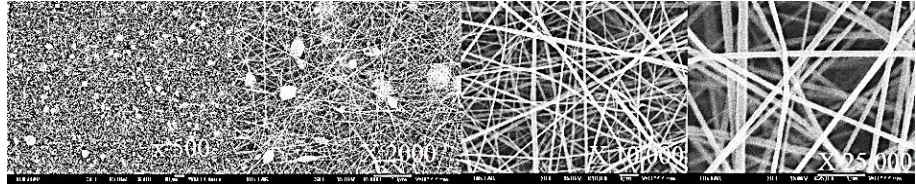
%8’lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.5’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



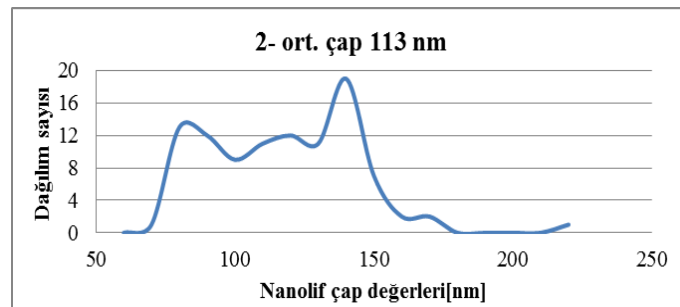
Şekil 2.14 : 2 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.14’de gösterilen farklı saniyelerde çekilen görüntüler incelendiğinde iğne ucunun il çıkışında jete benzer bir oluşum gözükse de gerçek anlamda bir düz jet bölgesi ve kararsız bölgenin oluştuğu görülememektedir. Bu durumun yetersiz ışık kaynağından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 2.15 : 2 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.15’de görülen SEM görüntüleri incelendiğinde 500 ve 2000 büyütmede çözücünün tam olarak buharlaşmadığı görülmektedir. Kararsız bölgede eğirme süresinin az olması veya bu bölgede buharlaşma için yeterli süre olmaması, çözücünün kalmasına neden olabilmektedir. Diğer görüntülerde nanoliflerin sorunsuz elde edildiği görülmektedir.



Şekil 2.16 : 2 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

100 adet nanolif çap değeri alınarak oluşturulan Şekil 2.16 incelendiğinde 140 nm civarında bir artış söz konusudur. Fakat genel olarak birbirine yakın bir dağılım göstermektedir. Çap dağılımının nanolif üretimi için bir sorun teşkil etmediği düşünülmektedir.

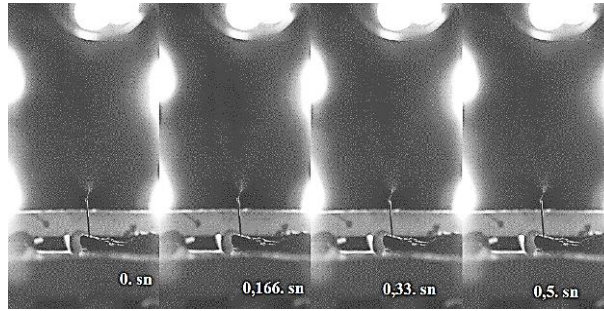
3 nolu PAN denemesi:

%8'lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.6'da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir. Aynı zamanda bu parametre referans olarak alınmış, diğer parametreler buradan türetilmiştir.

Çizelge 2.6 : 3 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

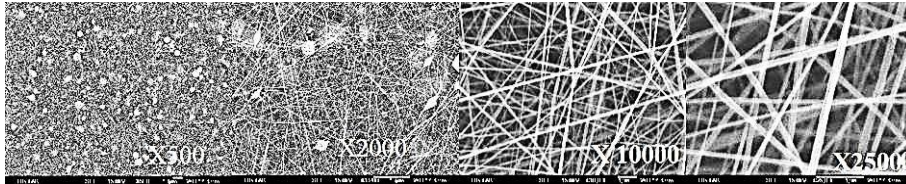
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
3*	8	39,5	1,000520	12	1,20	16	3

Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.17'de gösterilmektedir.



Şekil 2.17 : 3 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

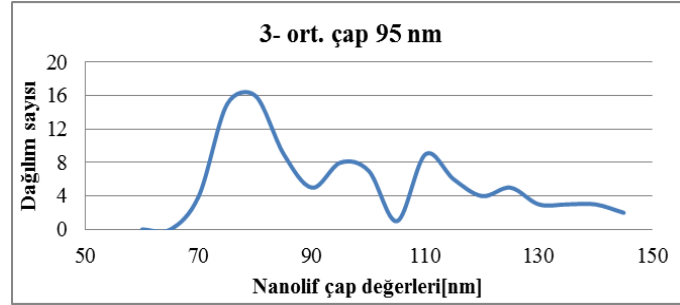
Şekil 2.17'de farklı anlarda çekilen saniyelerde kareler incelendiğinde elektro üretim işlemine benzer bir oluşum gözükse de kesin olarak bir şey söylemem mümkün değildir. Bunun nedeni görüntülerin net olmamasıdır.



Şekil 2.18 : 3 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.18'de 500 ve 2000 büyütmeler incelendiğinde bir miktar çözücünün buharlaşmadığı görülmektedir. Bunun nedeni iğne ile toplayıcı mesafenin kısa (12

cm) olmasından kaynaklanan yeterli miktarda buharlaşma süresinin olmamasıdır. 10000 ve 25000 büyütmelemlerde çözücü görülmemele birlikte nanoliflerin sorunsuz elde edildiğı görülmektedir.



Şekil 2.19 : 3 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.19’da 3 nolu nanolif numunenin çap dağılımı incelendiğinde 60 nm ile 145 nm arasında dağılım görülmektedir. Sadece 80 nm civarında bir yoğunluk vardır. Stabil bir elektro üretim için bu aralığın geniş olduğu düşünülmektedir. Verimli bir lif eldesi için uygun olduğu düşünülmemektedir.

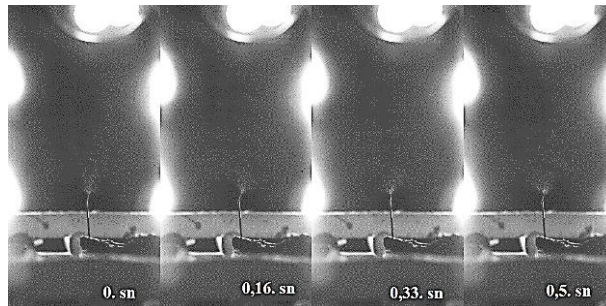
4 nolu PAN denemesi:

%8’lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.7’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.7 : 4 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

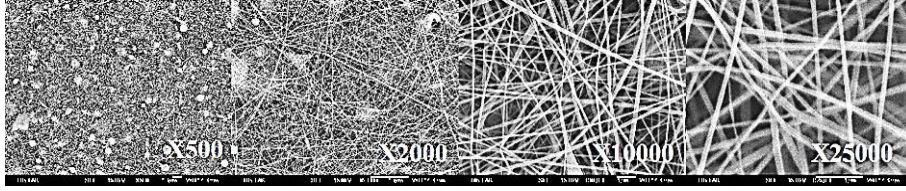
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
4	8	39,5	1,000520	12	1,20	18	3

Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.20’de gösterilmektedir.



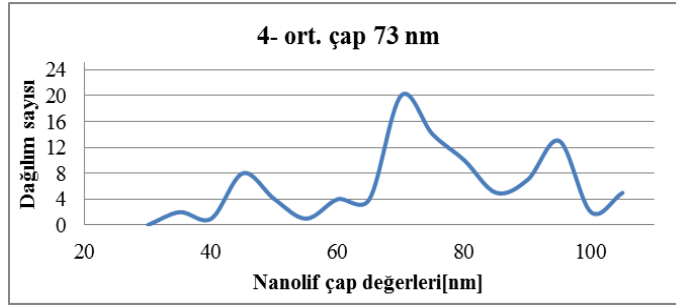
Şekil 2.20 : 4 nolu denemenin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.20’de görülen kareler incelendiğinde elektro üretim işlemi görülememektedir. Bu duruma ışık kaynağının yetersiz olmasının açtığı durumun sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.21 : 4 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.21’de SEM görüntüleri incelendiğinde 500 ve 2000 büyütmede nanoağ üzerinde buharlaşamayan çözücü kaldığı görülmektedir. Bunun nedeni mesafenin kısa olmasından kaynaklanan kararsız bölgede eğrilme süresinin azlığıdır.



Şekil 2.22 : 4 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.22’de gösterilen 4 nolu nanolif numunesinin çap dağılımı incelendiğinde 30 nm ile 110 nm arasında çap değerleri aldığı görülmektedir. Çok geniş olmayan bir aralıkta, özellikle 60-80 nm arasına yoğunlaşma olduğu görülmektedir. Fakat dalgalı dağılım üretimin, nanolif çaplarının birbirine yakın olması gerekliliğinden ötürü, pek uygun olmadığını göstermektedir.

2,5,6 ve 7 nolu denemeler tüm parametrelerin sabit tutulup sadece akış oranının değiştirildiği denemelerdir.

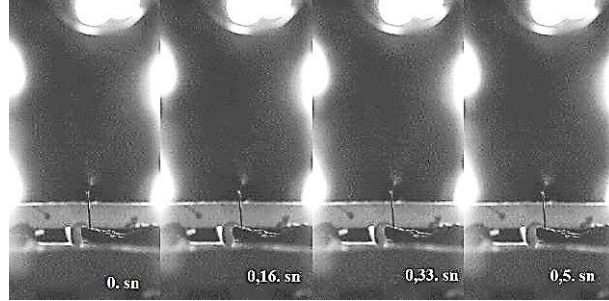
5 nolu PAN denemesi:

Çizelge 2.8 : 5 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
5	8	39,5	1,000520	12	1,00	16	3

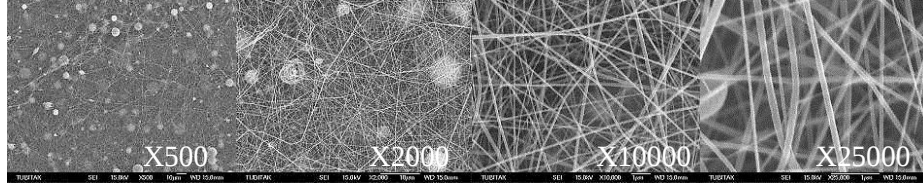
%8'lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.8'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.23'de gösterilmektedir.



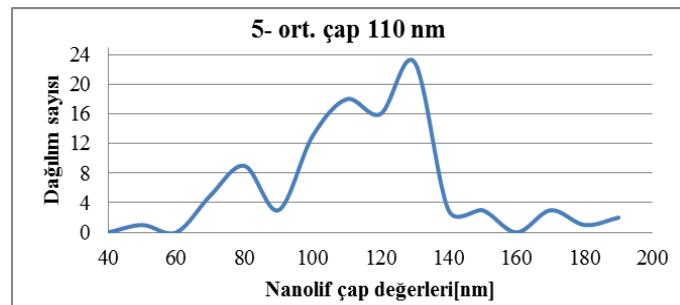
Şekil 2.23 : 5 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.23'de gösterilen karelerde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülmekle birlikte, eğrilme yani kararsız bölge izlenmektedir. Bu duruma sebep, ışık kaynağının yetersiz ve liflerin nano boyutta olmasıdır.



Şekil 2.24 : 5 nolu denemenin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekill 2.24'daki farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 ve 2000 büyütmede yer yer buharlaşamayan çözücü gözükmemektedir. Bunun sebebi iğne ile toplayıcı mesafenin az olmasıdır.



Şekil 2.25 : 5 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.25 de çap dağılımları incelendiğine 100 ile 140 nm arasında bir yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap değeri de 110 nm olarak hesaplanmıştır. Çap dağılımının çok dalgalı olmaması üretimin verimliliği açısından uygun olduğu düşünülmektedir.

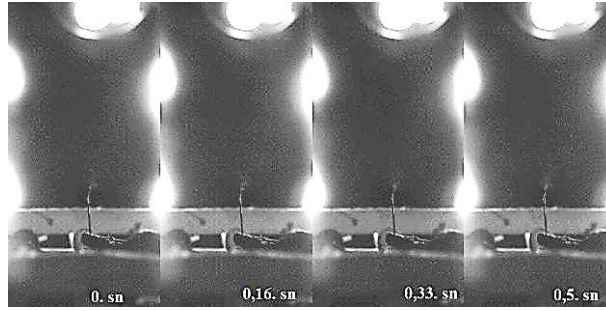
6 nolu PAN denemesi:

%8'lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.9'da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.9 : 6 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

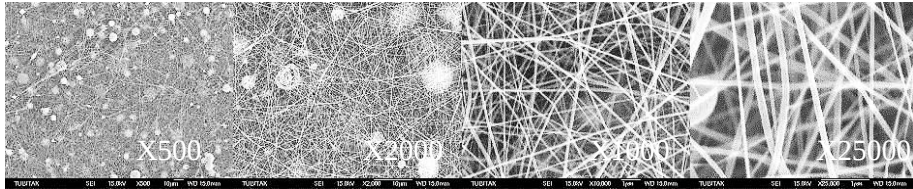
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
6	8	39,5	1,000520	12	1,40	16	3

Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.26'da gösterilmektedir.



Şekil 2.26 : 6 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

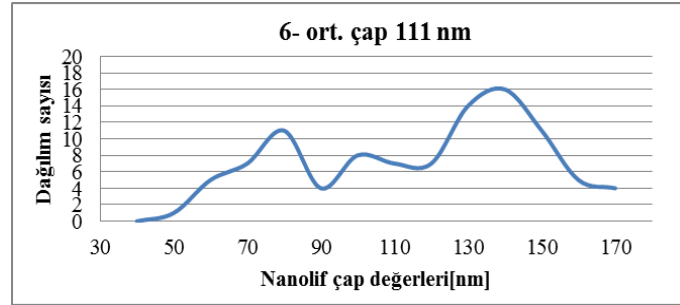
Şekil 2.26'daki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olmasının bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.27 : 6 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri Şekil 2.27'de incelendiğinde 500 ve 2000 büyütmelerde çözücünün tam olarak buharlaşmadığı görülmektedir. İğne ile

toplayıcı arası mesafenin kısa olmasından kaynaklanan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.28 : 6 nolu PAN nanolif numunenin çap dağılımı

Şekil 2.28’de çap dağılımları incelendiğine 130 ile 150 nm ve 70 ile 90 nm arasında bir yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap değeri de 111 nm olarak hesaplanmıştır. Çap dağılımının çok dalgalı olmaması üretimin verimliliği açısından uygun olduğu düşünülmektedir.

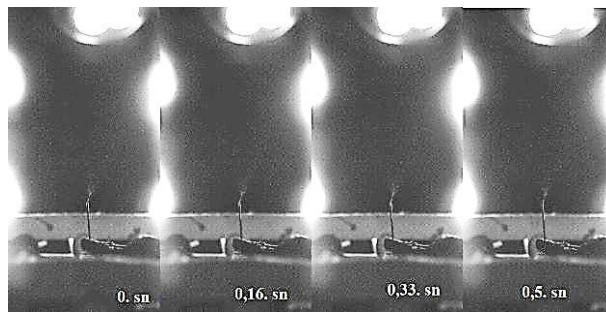
7 nolu PAN denemesi:

%8’lik PAN çözeltisinden Çizelge 2.10’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.10 : 7 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
7	8	39,5	1,000520	12	1,60	16	3

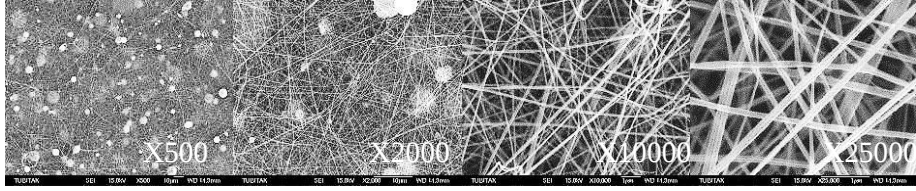
Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.29’da gösterilmektedir.



Şekil 2.29 : 7 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

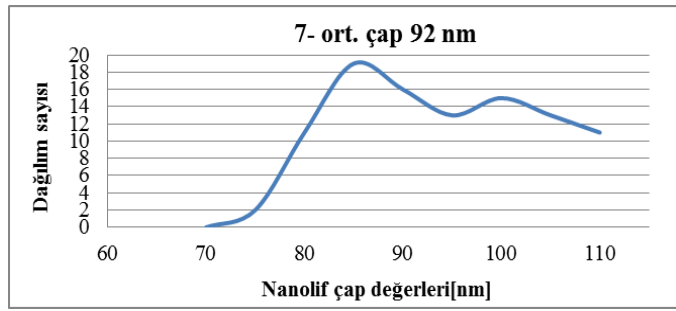
Şekil 2.29’daki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge

görülememektedir. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasının bu duruma neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.30 : 7 nolu PAN denemenin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.30'daki görüntüler incelendiğinde 500 ve 2000 büyütmelelerde çözücünün tam olarak buharlaşmadığı görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasından sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.31 : 7 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.31'de çap dağılımları incelendiğine 80 ile 110 nm arasındaki çap sayısında yakın bir dağılım görülmektedir. Ortalama çap değeri 92 nm olarak hesaplanmıştır. Çap dağılımının çok dalgalı olmaması üretimin verimliliği açısından uygun olduğu düşünülmektedir.

9,10,11 ve 12 nolu deneme yüksek gerilim hariç diğer parametrelerin sabit tutulduğu denemelerdir. Yüksek gerilimin naanolif çapı üzerine etkisi üzerine denemeler yapılmıştır.

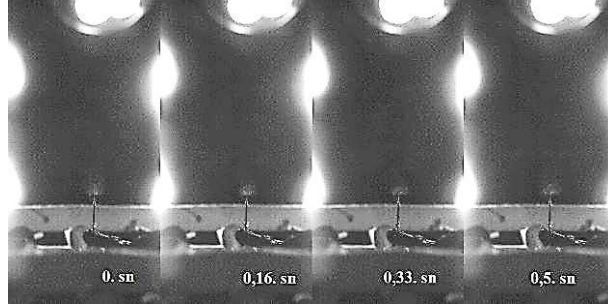
9 nolu PAN denemesi:

%10'luk PAN çözeltisinden Çizelge 2.11'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.11 : 9 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

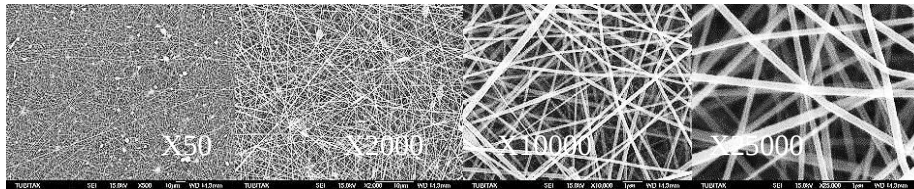
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
9	10	39,9	1,000520	12	1,10	12	3

Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.32’de gösterilmektedir.



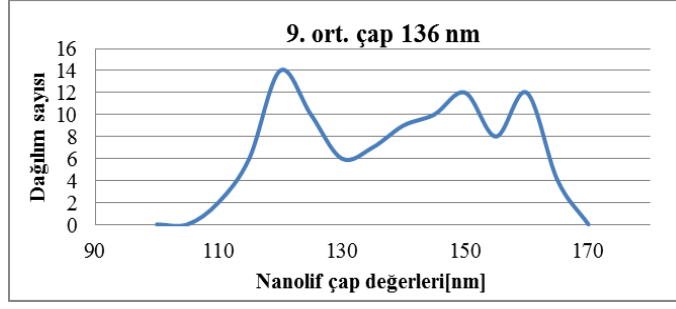
Şekil 2.32 : 9 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.32’deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin bu duruma neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.33 : 9 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.33’de SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözününün az da olsa tam olarak buharlaşmadığı görülmektedir. 2000 büyütmede ise yer yer boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.34 : 9 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.34'deki 9 nolu numunenin çap dağılımı incelendiğinde 120 nm'de bir yoğunluk, diğer çap değerlerinde yakın bir dağılım görülmektedir. Ortalama çap 136 nm olarak belirlenmiştir. Çap dağılımı, etkili bir nanolif üretimi için sorun teşkil etmemektedir.

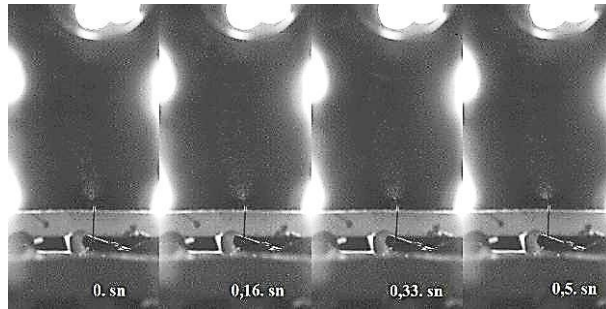
10 nolu PAN denemesi:

%10'luk PAN çözeltisinden Çizelge 2.12'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.12 : 10 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
10	10	39,9	1,000520	12	1,10	14	3

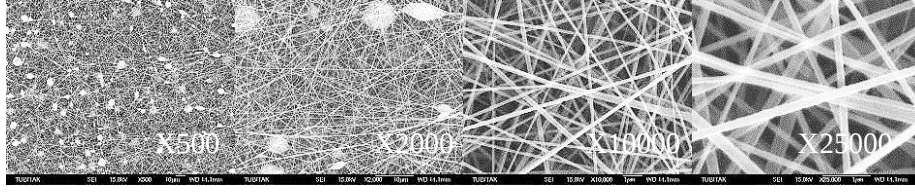
Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.35'da gösterilmektedir.



Şekil 2.35 : 10 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

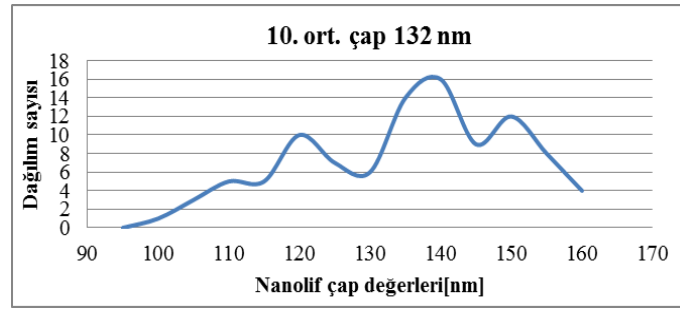
Şekil 2.35'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan

içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin bu duruma neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.36 : 10 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.36’da SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözücünün az da olsa tam olarak buharlaşmadığı ve boncuklaşma olduğu görülmektedir. 2000 büyütmede ise yer yer boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmele görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.37 : 10 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.37’deki 10 nolu numunenin çap dağılımı incelendiğinde 130 nm ile 140 nm arasında yoğunluk, diğer çap değerlerinde yakın bir dağılım görülmektedir. Ortalama çap 132 nm olarak belirlenmiştir. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil edecek bir durum görünmemektedir.

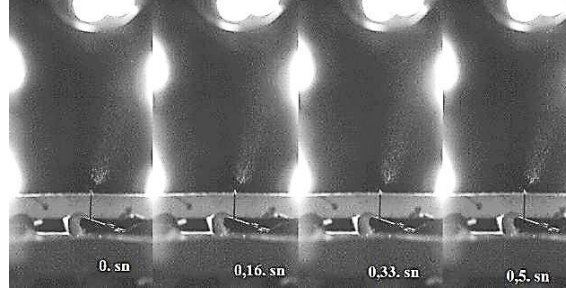
11 nolu PAN denemesi:

%10’luk PAN çözeltisinin Çizelge 2.13’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir. Aynı zamanda bu parametre referans olarak alınmış, diğer parametreler buradan türetilmiştir.

Çizelge 2.13 : 11 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

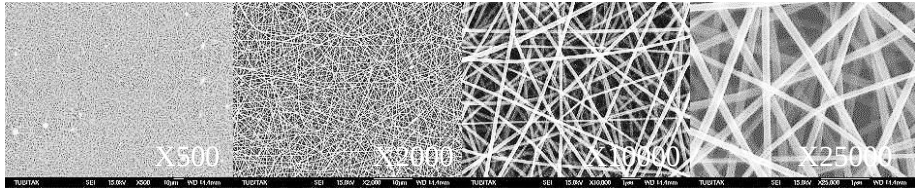
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
11*	10	39,9	1,000520	12	1,10	16	3

Bu deneme esnasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.38’de gösterilmektedir.



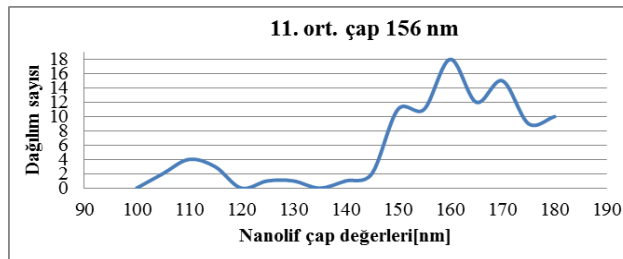
Şekil 2.38 : 11 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.38’deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir.. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. Kararsız bölge sağa eğimli görünmektedir.



Şekil 2.39 : 11 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.39’daki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözücünün çok az da olsa tam olarak buharlaşmadığı görülmektedir. 2000 büyütmede ihmal edilebilecek sayıda boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının boncuklaşmaya sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütme görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.40 : 11 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.40'daki 11 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 150 nm ile 180 nm arasında yoğunluk, diğer çap değerlerinde yakın bir dağılım görülmektedir. Ortalama çap 156 nm olarak belirlenmiştir. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil bir dağılım görülmemektedir.

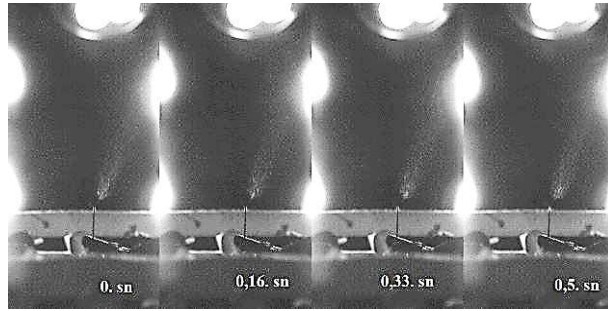
12 nolu PAN denemesi:

%10'luk PAN çözeltisinin Çizelge 2.14'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.14 : 12 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

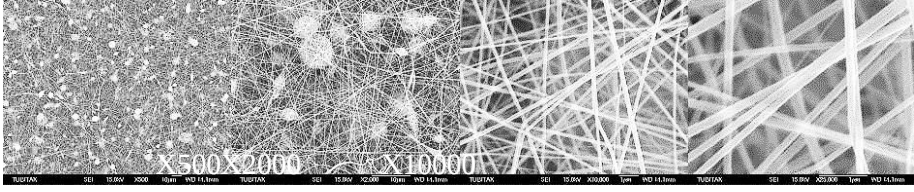
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
12	10	39,9	1,000520	12	1,10	18	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.41'da gösterilmektedir.



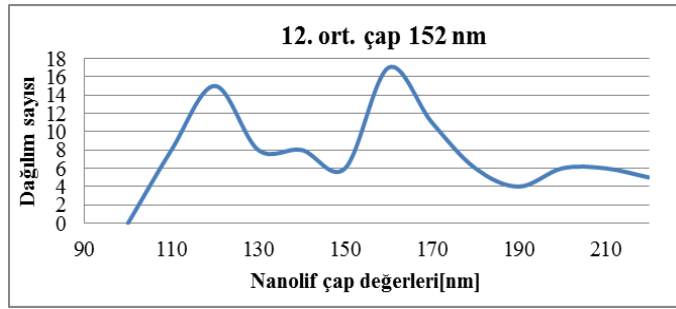
Şekil 2.41 : 12 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.41'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir. Kararsız bölgenin sağa eğimli olduğu görülmektedir. Bu durum elektrik alanın iğne ve naoliflerin toplayıcıya ulaştıkları yerdeki alan arasında yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.42 : 12 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.42’deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözücünün tam olarak buharlaşmadığı ve boncuklaşma olduğu görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine buharlaşmayan çözücü ve boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Çözücü buharlaşacak yeterli zamanı yoktur. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Bu iki büyütmede çözücü veya boncuklanma görünmemesinin nedeni, çekilen yerin çok küçük olmasıdır.



Şekil 2.43 : 12 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.43’deki 12 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 120 nm ve 160 ile 170 nm arasında bir yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 152 nm olarak belirlenmiştir.

11,13,14 ve 15 nolu denemeler de debi hariç diğer parametrelerin sabit tutulduğu denemelerdir. Debinin nanolif çapı üzerine etkisi üzerine denemeler yapılmıştır.

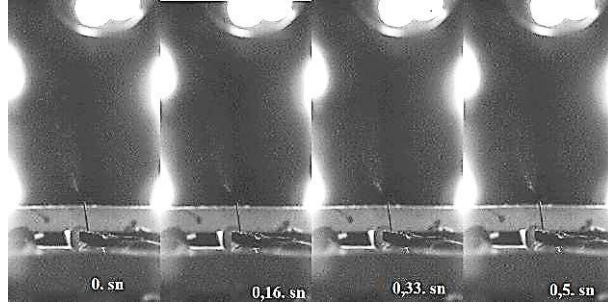
13 nolu PAN denemesi:

%10’luk PAN çözeltisinden Çizelge 2.15’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.15 : 13 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

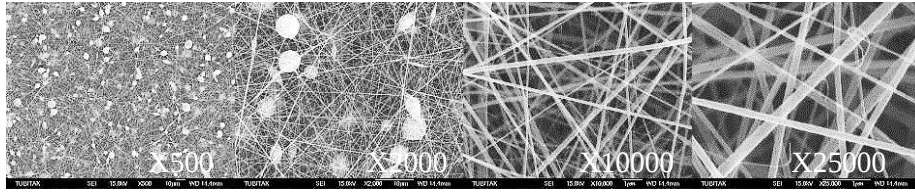
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaaj [kv]	akım [mikroA]
13	10	39,9	1,000520	12	0,90	16	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.44’de gösterilmektedir.



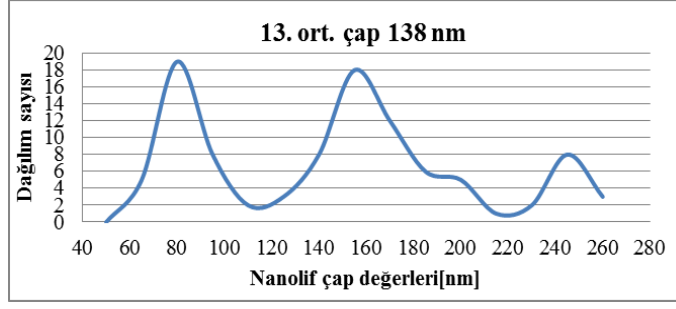
Şekil 2.44 : 13 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.44’deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir. Kararsız bölgenin sola eğimli olduğu görülmektedir. Bu durum elektrik alanın iğne ve nanoliflerin toplayıcıya ulaştıkları yerdeki alan arasında yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.45 : 13 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.45’de SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmeye çözücünün tam olarak buharlaşmadığı görülmektedir. 2000 büyütmeye ise yine buharlaşmayan çözücü ve boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütme görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Bu iki büyütme çözücü veya boncuklanma görünmemesinin nedeni, görüntüsü alınan yerin çok küçük olmasıdır.



Şekil 2.46 : 13 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.46'daki 13 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 80 nm ve 160 nm'de yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 138 nm olarak belirlenmiştir. Çap dağılımı etkili bir üretim için uygun olmadığı düşünülmektedir.

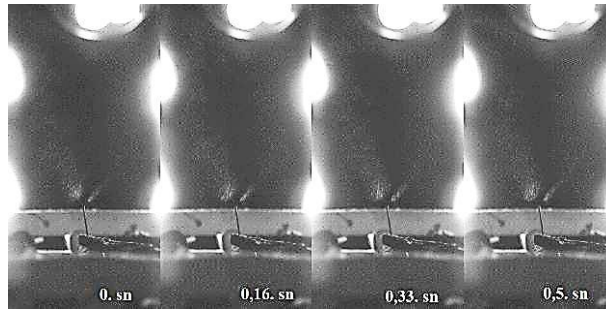
14 nolu PAN denemesi:

%10'luk PAN çözeltisinden Çizelge 2.16'da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.16 : 14 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
14	10	39,9	1,000520	12	1,30	16	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.47'de gösterilmektedir.



Şekil 2.47 : 14 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

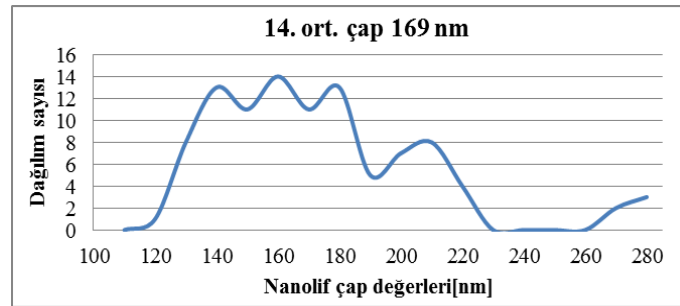
Şekil 2.47'deki görüntüler incelendiğinde düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir. 2 farklı eğrilme bölgesi görülmektedir. Sola eğimli olan büyük, sağa eğimli olan küçük bir jettir. Diğer bir ifade ile tek iğne 2 farklı jet oluşmaktadır. Bu durum elektrik alanının iğne ve nanoliflerin toplayıcıya

ulaştıkları yerdeki alan arasında yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin görüntülerin net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.48 : 14 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.48’de SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözücünün tam olarak buharlaşmadığı ve boncuklaşma olduğu görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine buharlaşmayan çözücü ve boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 büyütme görüntüde bir tane boncuklanma oluşan nanolif görülmektedir 25000 büyütme görüntüde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.49 : 14 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.49’deki 14 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 130 nm ile 180 nm arasında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 169 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil edecek bir durum görülmemektedir.

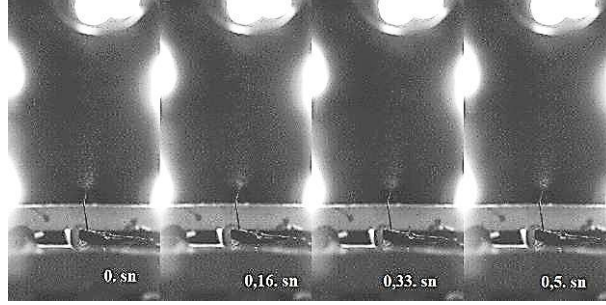
15 nolu PAN denemesi:

%10’luk PAN çözeltisinden Çizelge 2.17’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.17 : 15 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

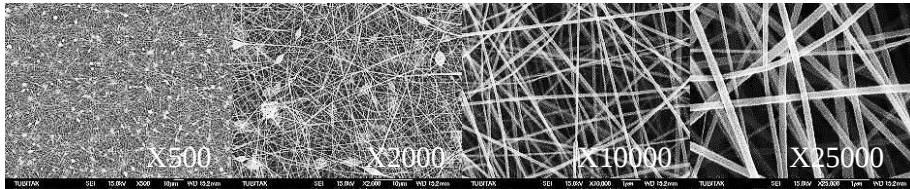
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaaj [kv]	akım [mikroA]
15	10	39,9	1,000520	12	1,50	16	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.50’de gösterilmektedir.



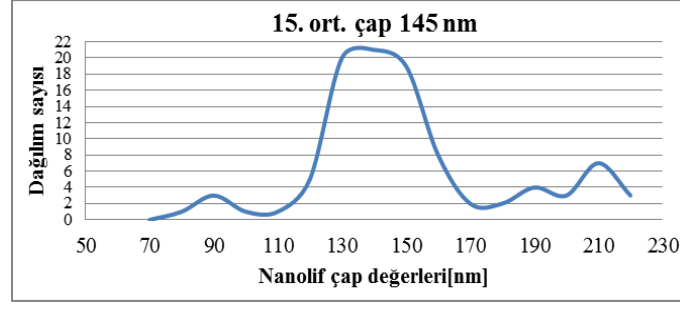
Şekil 2.50 : 15 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.50’deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmese rağmen, kararsız bölge net bir şekilde görülememektedir. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.51 : 15 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.51’de SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözücünün çok azının buharlaşmadığı ve birçok boncuklanmanın gerçekleştiği görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine buharlaşmayan çözücü ve boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütme görüntülerinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Bu iki büyütmede çözücü veya boncuklanma görünmemesinin nedeni, görüntüsü çekilen yerin çok küçük olmasıdır.



Şekil 2.52 : 15 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.52’deki 15 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 120 nm ile 170 nm arasında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 145 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil edecek bir durum görülmemektedir.

17, 18, 19 ve 20 nolu denemeler tüm parametrelerin sabit tutulup sadece yüksek gerilimin değiştirildiği denemelerdir. Aynı zamanda 19 nolu deneme referanstır.

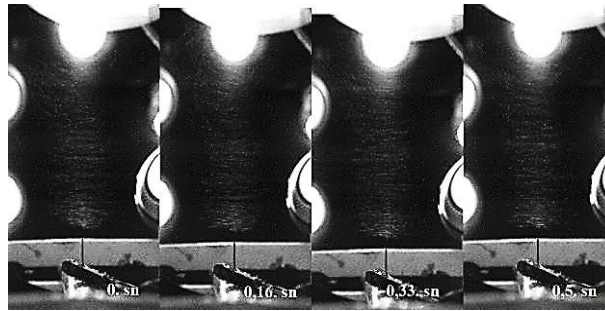
17 nolu PAN denemesi:

%12’lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.18’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.18 : 17 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
17	12	40,3	1,000520	12	1,30	14	3

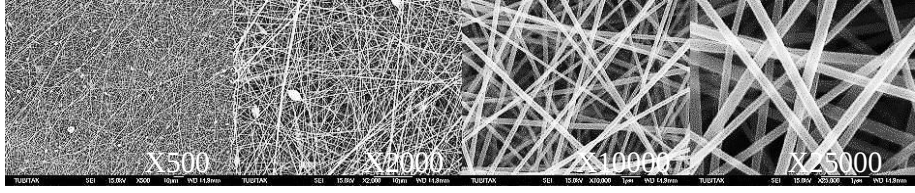
Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.53’de gösterilmektedir.



Şekil 2.53 : 17 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

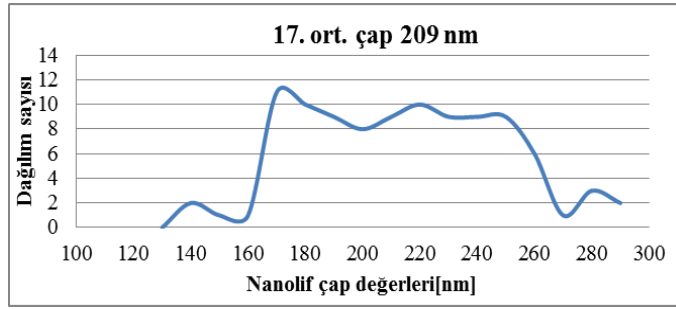
Şekil 2.53’deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge net

bir şekilde görülememektedir. Düz jet kısmı küçük olmasıyla beraber eğrilme bölgesinin uzun olduğu görülmektedir. Bu bölgede liflerin binlerce kez çekim işlemi gerçekleşmesiyle nanolif çapının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.54 : 17 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.54'deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözücünün çok azının buharlaşmadığı ve çok az boncuklanmanın gerçekleştiği görülmektedir. 2000 büyütmede ise az sayıda boncuklaşma olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.55 : 17 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.55'deki 17 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 160 nm ile 260 nm arasında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 209 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil edecek bir durum görülmemektedir.

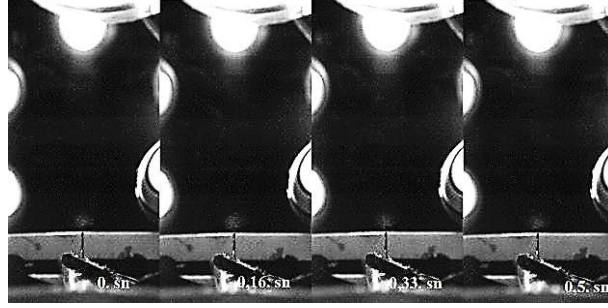
18 nolu PAN denemesi:

%12'lik PAN çözeltisinden Çizelge 2.19'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.19 : 18 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

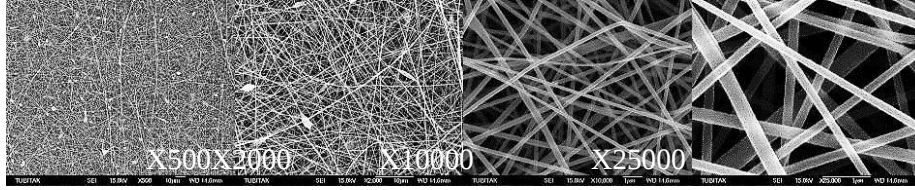
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
18	12	40,3	1,000520	12	1,30	12	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.56’da gösterilmektedir.



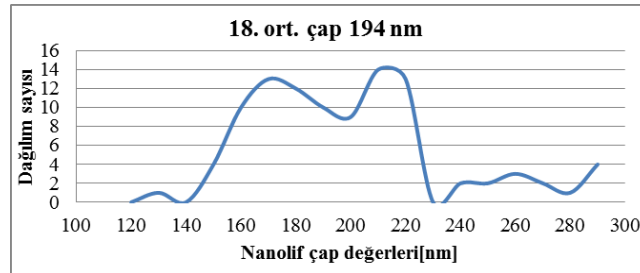
Şekil 2.56 : 18 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.56’daki görüntüler incelendiğinde düz jet ve uzunluğu görülebilmese rağmen, kararsız bölge net bir şekilde görülememektedir. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.57 : 18 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.57’deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmeye çözücünün çok azının buharlaşmadığı ve boncuklanmanın gerçekleştiği görülmektedir. 2000 büyütmeye ise yine boncuklaşmalar olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütme görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.58 : 18 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.58'deki 18 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 160 nm ile 220 nm arasında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 209 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil edecek bir durum görülmemektedir.

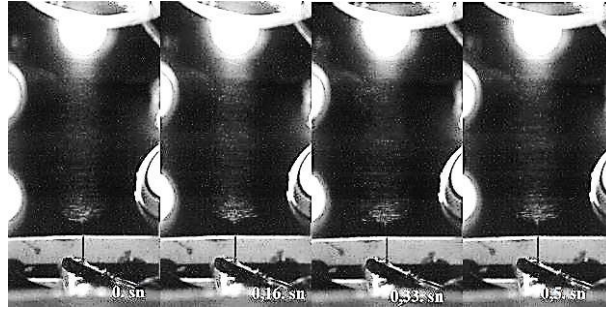
19 nolu PAN denemesi:

Çizelge 2.20 : 19 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
19*	12	40,3	1,000520	12	1,30	16	3

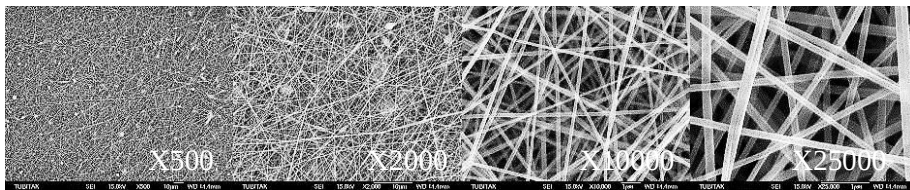
%12'lik PAN çözeltisinden Çizelge 2.20'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.59'da gösterilmektedir.



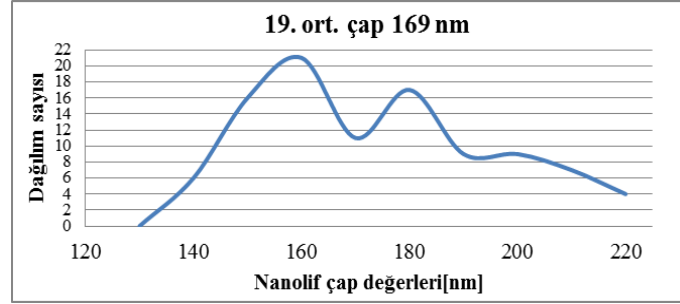
Şekil 2.59 : 19 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.59'daki görüntüler incelendiğinde düz jet ve uzunluğu görülebilmesine rağmen, kararsız bölge net bir şekilde görülememektedir. Düz jet kısmı küçük olmasıyla beraber eğrilme bölgesinin geniş bir alanı kapladığı görülmektedir. Bu bölgede liflerin binlerce kez çekim işlemi gerçekleşmesiyle çapının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.60 : 19 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.60'daki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çözücünün bir kısmının buharlaşmadığı ve boncuklanmanın gerçekleştiği görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine boncuklaşmalar olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.61 : 19 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.61'deki 19 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 160 nm ve 180 nm'de yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 169 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil edecek bir durum görülmemektedir.

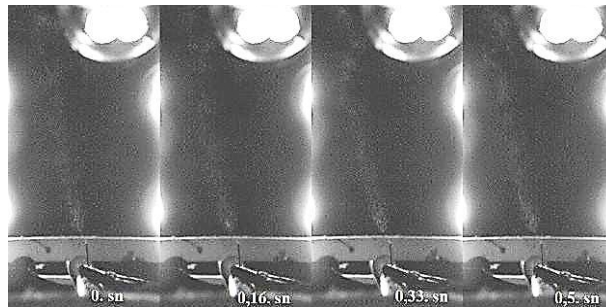
20 nolu PAN denemesi:

%12'lik PAN çözeltisinden Çizelge 2.21'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.21 : 20 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

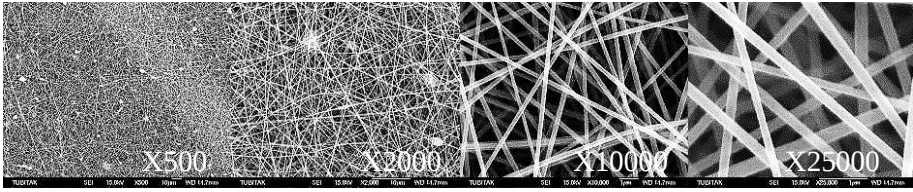
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
20	12	40,3	1,000520	12	1,30	18	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.45'de gösterilmektedir.



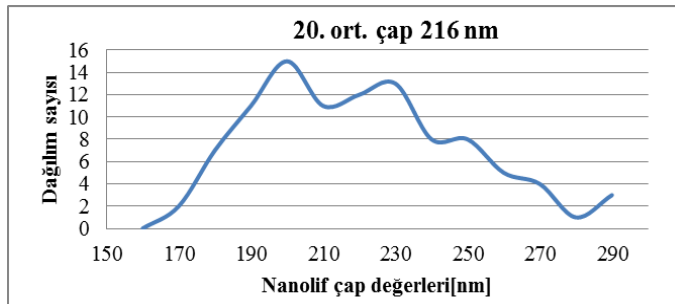
Şekil 2.62 : 20 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.62'deki görüntüler incelendiğinde düz jet ve uzunluğu görülebilmemesine rağmen, kararsız bölge görülememektedir. Kararsız bölgenin sola eğimli olduğu görülmektedir. Bu durum elektrik alanının iğne ve naoliflerin toplayıcıya ulaştıkları yerdeki alan arasında yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Işık kaynağının yetersiz olması, PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin iyi bir görüntü alınamamasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.63 : 20 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.63'deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 ve 2000 büyütmede yine boncuklaşmalar olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.64 : 20 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.64'deki 20 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 190 nm ve 250 nm arasında bir yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 216 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için sorun teşkil edecek bir durum görülmemektedir.

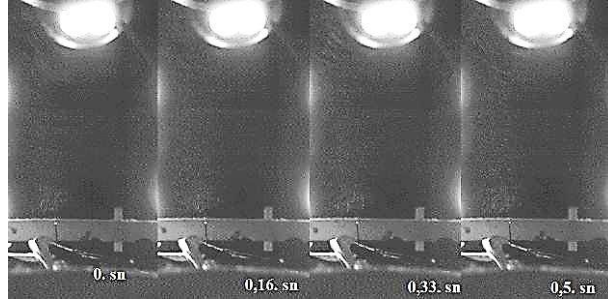
21 nolu PAN denemesi:

%12'lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.22'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.22 : 21 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

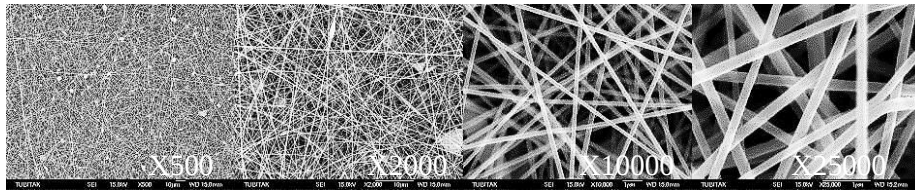
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
21	12	40,3	1,000520	12	0,90	16	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.65'de gösterilmektedir.



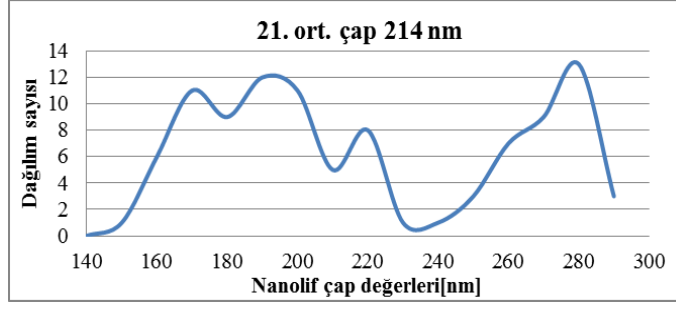
Şekil 2.65 : 21 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.65'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.66 : 21 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.66'daki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmeye çözünürlüğünde bir kısmının buharlaşmadığı ve boncuklanmanın gerçekleştiği görülmektedir. 2000 büyütmeye ise yine boncuklaşmalar olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütme görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.67 : 21 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.67'deki 21 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 160 nm ve 220 nm'de ve 280 nm civarında bir yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 214 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için çok uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.

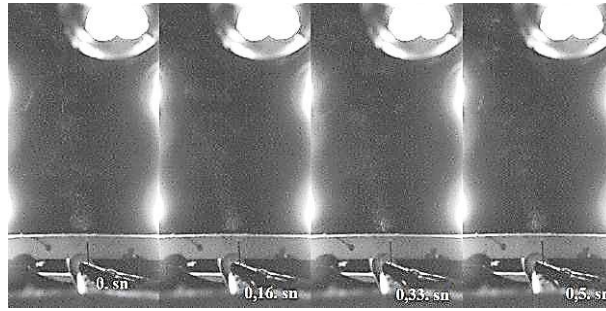
22 nolu PAN denemesi:

%12'lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.23'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.23 : 22 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
22	12	40,3	1,000520	12	1,10	16	3

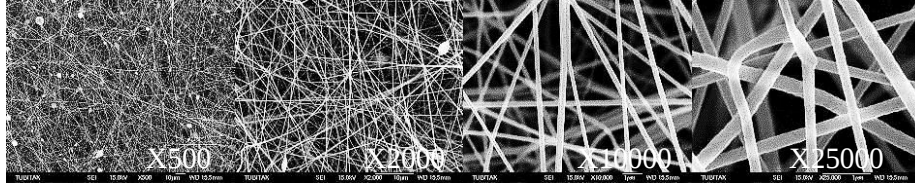
Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.68'de gösterilmektedir.



Şekil 2.68 : 22 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

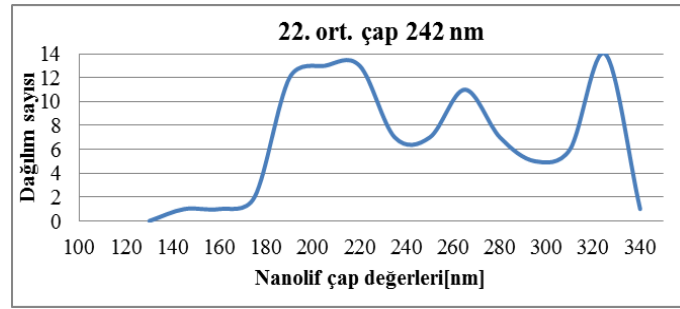
Şekil 2.68'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan

odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.69 : 22 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.69'daki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmeye çözücünün çok az bir kısmının buharlaşmadığı ve boncuklanmanın gerçekleştiği görülmektedir. 2000 büyütmeye ise yine az sayıda boncuklaşmalar olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısırlığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütme görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.70 : 22 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.70'deki 22 nolu numunenin 100 adet nanoliften elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 140 nm ile 340 nm arasında bir dalgalanma söz konusudur. 3 tepe noktası bulunmaktadır. Ortalama çap 242 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için çok uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.

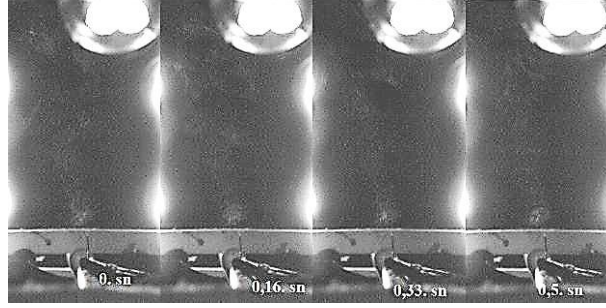
23 nolu PAN denemesi:

%12'lik PAN çözeltisinin Çizelge 2.24'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.24 : 23 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

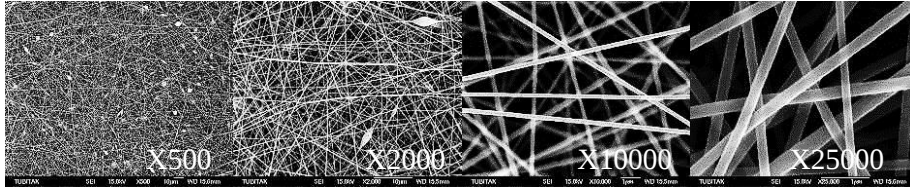
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
23	12	40,3	1,000520	12	1,50	16	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.71’de gösterilmektedir.



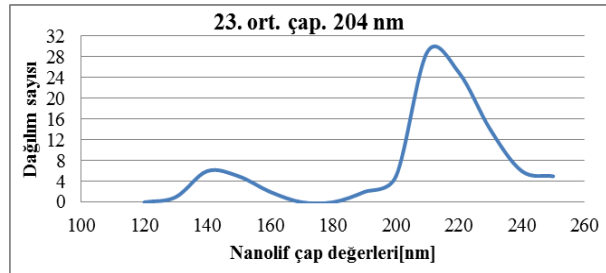
Şekil 2.71 : 23 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.71’deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. Eğrilme işleminde çekimin çokça olduğu görüntülerden anlaşılmaktadır. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.72 : 23 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.72’deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede boncuklanmanın olduğu görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine az sayıda boncuklaşmalar olduğu görülmektedir. İğne ile toplayıcı arası mesafenin kısa olmasının sonucu olan jet yolunun kısalığının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütme görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.73 : 23 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.73'deki 23 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 215 nm civarında bir yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 204 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.

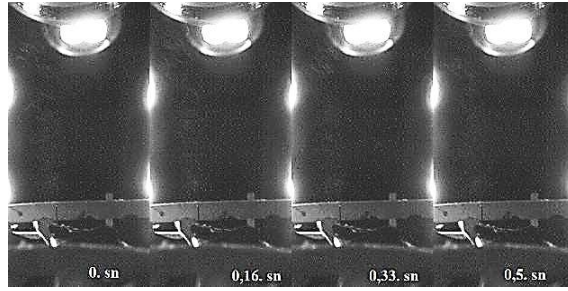
25 nolu PAN denemesi:

%14'lük PAN çözeltisinin Çizelge 2.25'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.25 : 25 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

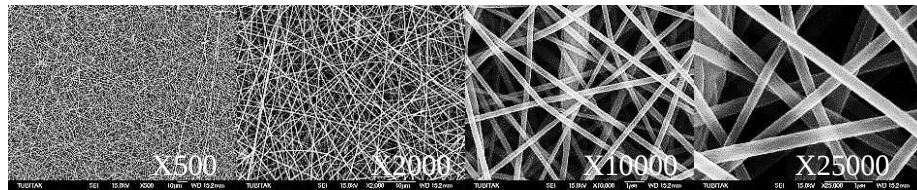
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
25	14	40,5	1,000520	12	1,50	15	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.74'de gösterilmektedir.



Şekil 2.74 : 25 nolu PAN denemesi'nin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

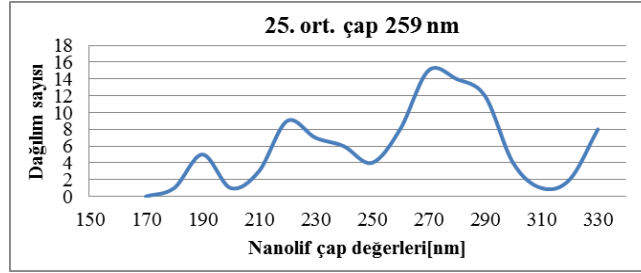
Şekil 2.74'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.75 : 25 nolu denemenin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.75'deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede çok az sayıda boncuklanmanın olduğu görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine çok az sayıda

boncuklanma olduğu görülmektedir. Bu durumun elektro üretim için bir sorun teşkil etmeyeceği düşünülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerde birer tane boncuklanma görülmektedir.



Şekil 2.76 : 25 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.76'daki 25 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 280 nm civarında bir yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 259 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.

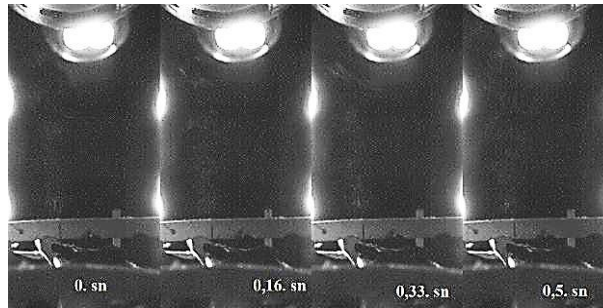
26 nolu PAN denemesi:

%14'lük PAN çözeltisinden Çizelge 2.26'da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.26 : 26 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
26	14	40,5	1,000520	12	1,30	15	3

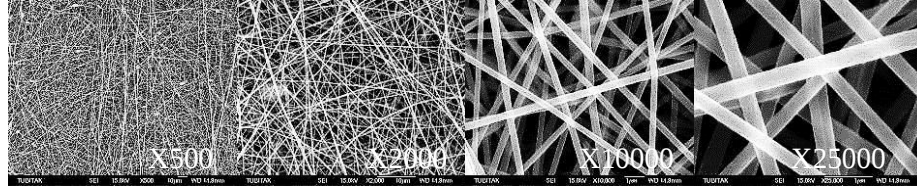
Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.77'de gösterilmektedir.



Şekil 2.77 : 26 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

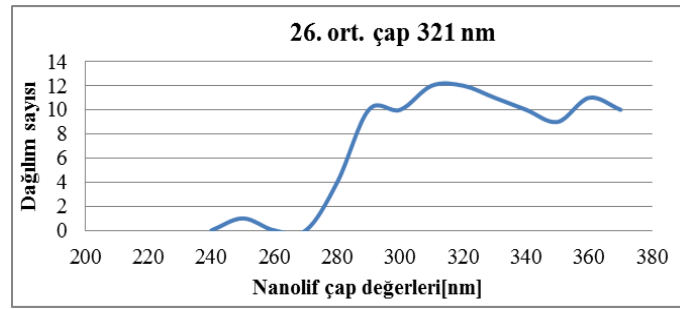
Şekil 2.77'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme

esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının, görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.78 : 26 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.78’de SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede az sayıda boncuklanmanın olduğu görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine az sayıda boncuklanma olduğu görülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmele görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.79 : 26 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.79’deki 26 nolu numunenin 100 adet nanoliften elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 290 nm ile 360 nm arasında dengeli bir dağılım göze çarpmaktadır. Ortalama çap 321 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.

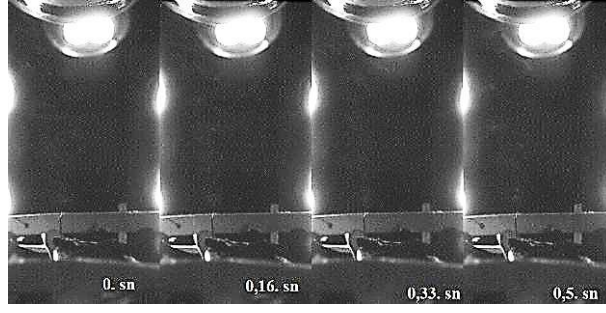
27 nolu PAN denemesi:

%14’lük PAN çözeltisinden Çizelge 2.27’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.27 : 27 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

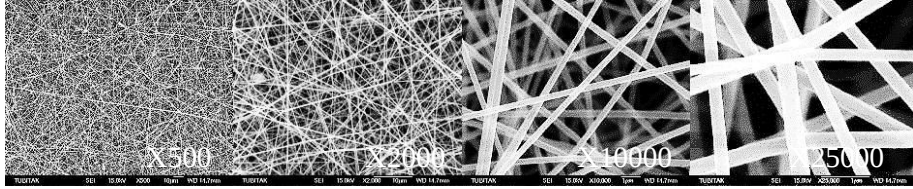
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
27*	14	40,5	1,000520	12	1,10	15	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.80’de gösterilmektedir.



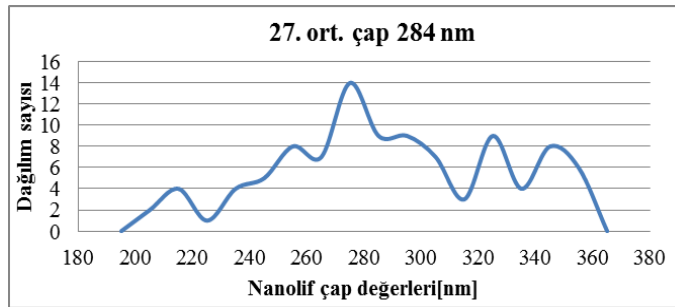
Şekil 2.80 : 27 nolu denemenin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.80'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının, görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.81 : 27 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.81'deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede az sayıda boncuklanmanın olduğu görülmektedir. 2000 büyütmede ise yine az sayıda boncuklanma olduğu görülmektedir. 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.82 : 27 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.82'deki 27 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde geniş bir dağılım göze çarpmaktadır. Ortalama çap 284 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.

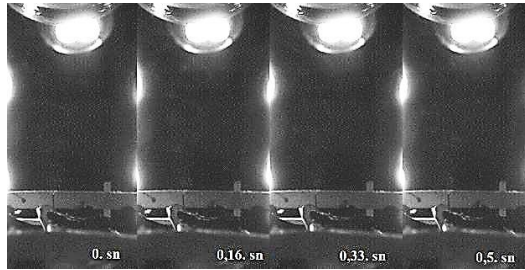
28 nolu PAN denemesi:

%14'lük PAN çözeltisinin Çizelge 2.28'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.28 : 28 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

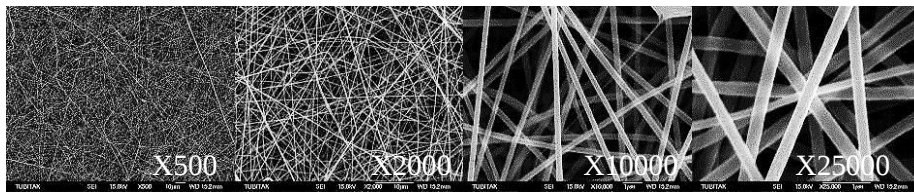
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
28	14	40,5	1,000520	12	1,10	13	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.83'de gösterilmektedir.



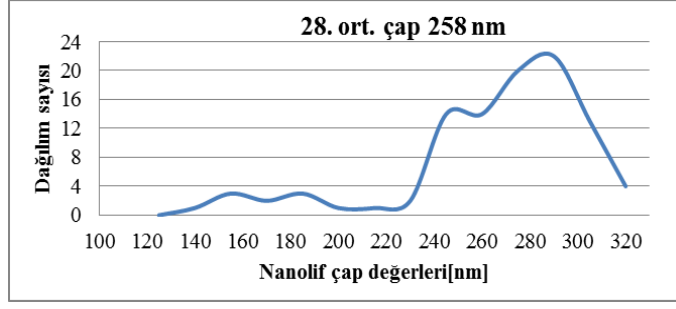
Şekil 2.83 : 28 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.83'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının, görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.84 : 28 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.84'de SEM görüntüleri incelendiğin tüm büyütmelerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.85 : 28 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.85’deki 28 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 240 ile 320 nm arasında dengeli bir dağılım görülmektedir. Ortalama ap 258 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.

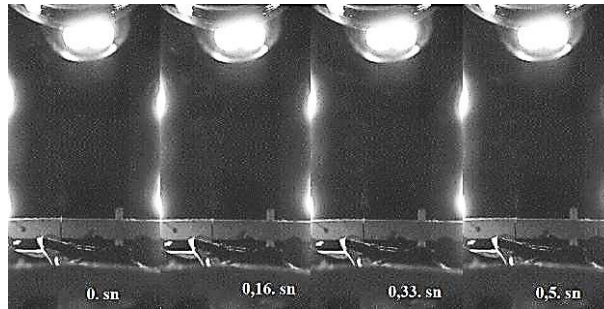
29 nolu PAN denemesi:

%14’lk PAN zeltisinin izelge 2.29’da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.29 : 29 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
29	14	40,5	1,000520	12	1,10	17	3

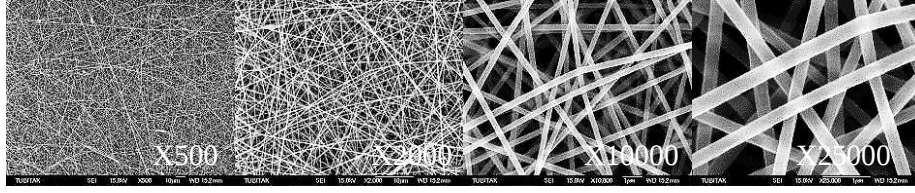
Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.86’da gösterilmektedir.



Şekil 2.86 : 29 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

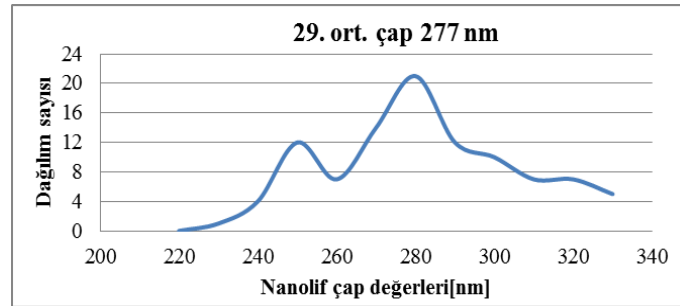
Şekil 2.86’daki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğirilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin

ve yetersiz ışık kaynağının, görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.87 : 29 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.87’de SEM görüntüleri incelendiğinde 500 büyütmede az sayıda boncuklanmanın olduğu görülmektedir. 2000, 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.88 : 29 nolu PAN nanolif numunenin çap dağılımı

Şekil 2.88’deki 29 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 240 ile 320 nm arasında dengeli bir dağılım görülmektedir. Ortalama çap 277 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.

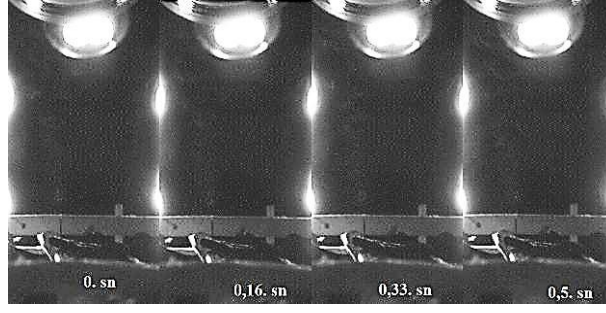
30 nolu PAN denemesi:

%14’lük PAN çözeltisinden Çizelge 2.30’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.30 : 30 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

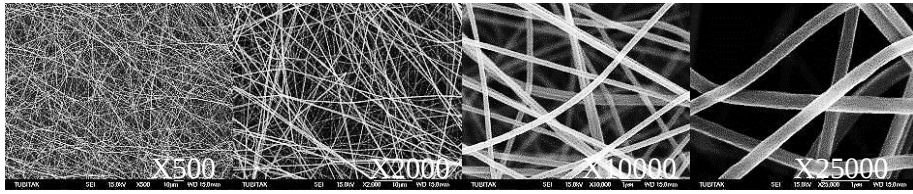
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
30	14	40,5	1,000520	12	1,10	19	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.89’da gösterilmektedir.



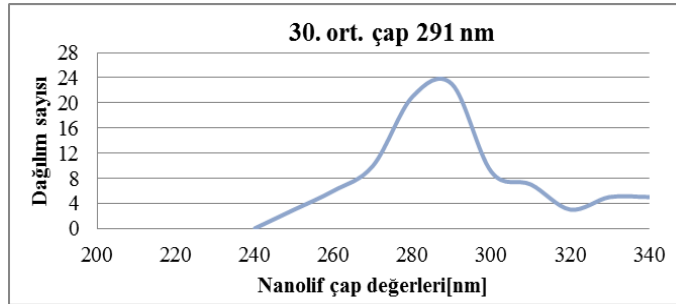
Şekil 2.89 : 30 nolu PAN denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.89'daki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının, görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.90 : 30 nolu PAN denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.90'deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500,2000, 10000 ve 25000 büyütmeli görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.91 : 30 nolu nanolif numunenin çap dağılımı

Şekil 2.91'deki 30 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 260 ile 320 nm arasında dengeli bir dağılım görülmektedir. Ortalama çap 291 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.

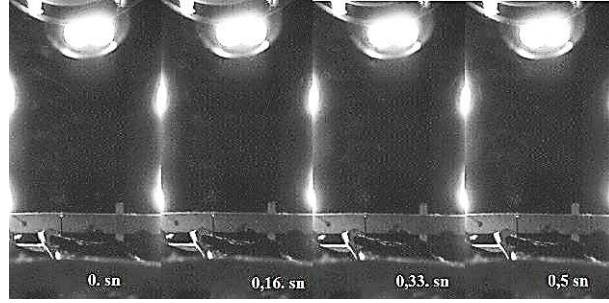
31 nolu PAN denemesi:

%14'lük PAN çözeltisinin Çizelge 2.31'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.31 : 31 nolu PAN nanolif numunesinin üretim parametreleri

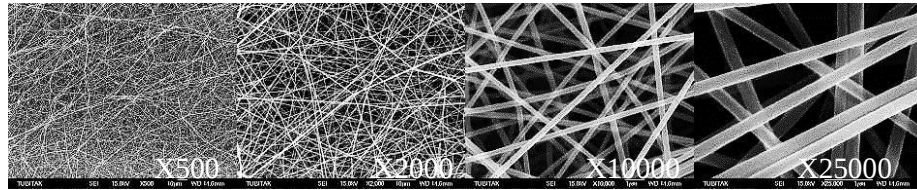
Rumuz	Kons. [%]	Y. Gerilim [miliN/met]	Statik Dielektrik-hava	mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	akım [mikroA]
31	14	40,5	1,000520	12	0,90	15	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x512 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.92'de gösterilmektedir.



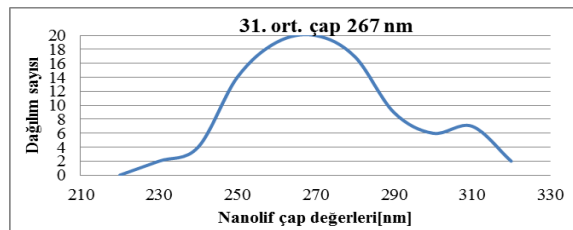
Şekil 2.92 : 31 nolu denemenin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.92'deki görüntüler incelendiğinde elektro üretim işlemi tam olarak görülememektedir. PAN nanoliflerinin çap değerlerinin düşük olması ve eğrilme esnasında kararsız bölgenin geniş bir alan içerisinde olmasından kaynaklanan odaklanma probleminin ve yetersiz ışık kaynağının, görüntünün net olmamasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.



Şekil 2.93 : 31 nolu denemenin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.93'deki SEM görüntüleri incelendiğinde 500, 2000, 10000 ve 25000 büyütme görüntülerde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.

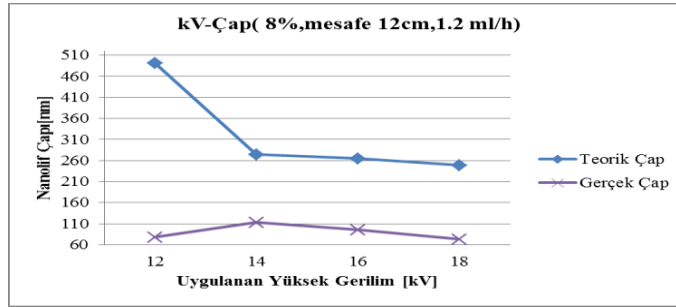


Şekil 2.94 : 31 nolu PAN nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.94'deki 31 nolu numunenin 100 adet nanolifden elde edilen çap dağılımı incelendiğinde 260 ile 300 nm arasında dengeli bir dağılım görülmektedir. Ortalama çap 267 nm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.

2.3 PAN İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Nanolif Çapına Etkisi

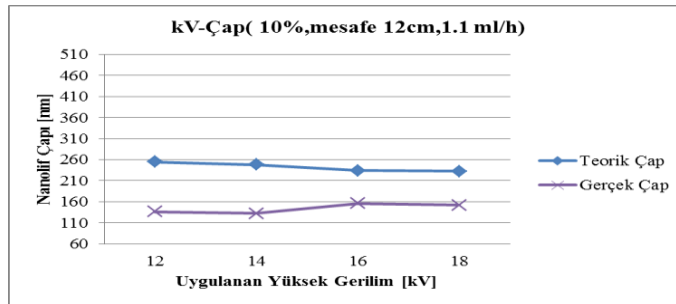
Yukarıdaki bölümde yapılan tüm denemeler ayrıntılı olarak anlatılmıştı. Voltajın %8'lik PAN çözeltisinde nanolif çapına etkisi Çizelge 2.95'de gösterilmektedir.



Şekil 2.95 : %8'lik PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi

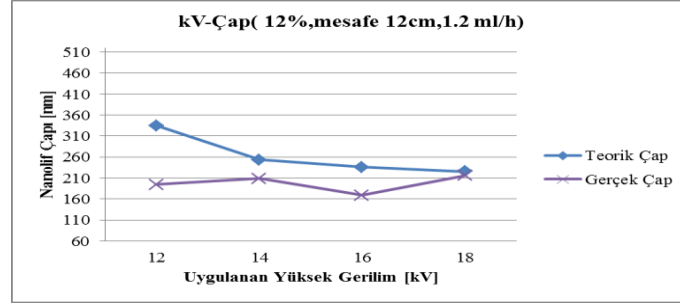
Şekil 2.95'de görüldüğü gibi teorik olarak hesaplanan nanolif çapı ile gerçek çap arasında ciddi bir fark görülmektedir. Uygulanan yüksek gerilimin artmasıyla 14 kV'dan itibaren ortalama nanolif çapı azalma eğilimindedir. Uygulanan yüksek gerilimin artmasıyla iğne ile tolayıcı arasındaki elektrik alan artacak, bunun sonucunda da polimer çözeltisine lif çekimi için uygulanan kuvvet artacaktır. Dolayısıyla nanolif çapının az da olsa azalması beklenmektedir. 12 kV'daki ciddi fark ise düz jet mesafesinin çok kısa oluşmasından kaynaklanmaktadır.

Yüksek gerilimin %10'luk PAN çözeltisinde nanolif çapına etkisi Çizelge 2.96'da gösterilmektedir.



Şekil 2.96 : %10'luk PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi

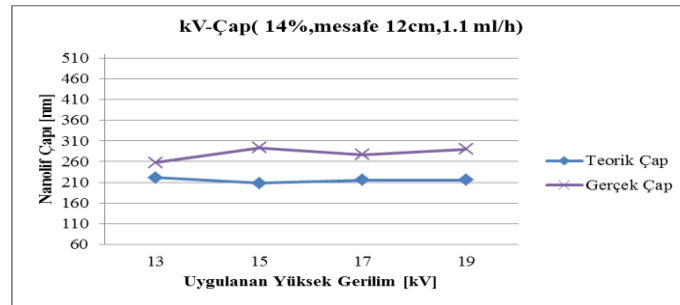
Şekil 2.96’da teorik ve gerçek nanolif çap değerleri incelendiğinde nispeten birbirlerine yakın görülmektedir. Fakat %10’luk PAN çözeltisinde yüksek gerilimin nanolif çapına olan etkisi için bir fikir vermemektedir. Teorik olarak azalma eğilimindedir. Çünkü voltajın artmasıyla düz jet mesafesi artmaktadır.



Şekil 2.97 : %12’lik PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi

Şekil 2.97’de görüldüğü gibi teorik olarak hesaplanan nanolif çapı yüksek gerilimin artmasıyla azalmaktadır. Çünkü gerilimin artmasıyla düz jet mesafesi artmaktadır. Gerçek ortalama nanolif çapında ise net bir şey söylemek mümkün değildir. Çünkü dalgalı bir seyir göstermektedir.

Yüksek gerilimin %14’lik PAN çözeltisinde nanolif çapına etkisi Şekil 2.98’de gösterilmektedir.

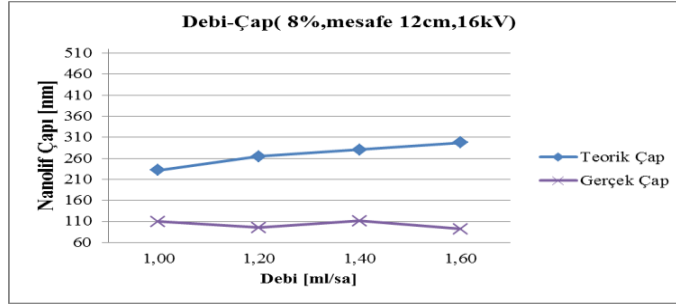


Şekil 2.98 : %14’lük PAN çözeltisinde Çap-Voltaj ilişkisi

Şekil 2.98’de görüldüğü üzere ne hava ortamı için hesaplanan teorik nanolif çapında ne de üretilen numunenin gerçek nanolif çapı için voltaj ile düzenli bir değişimden söz edilememektedir. Teorik olarak hesaplanan değerler ile gerçek çaplar birbirine yakın değerdedirler.

2.4 PAN İle Yapılan Denemelerde Akış Oranının Nanolif Çapına Etkisi

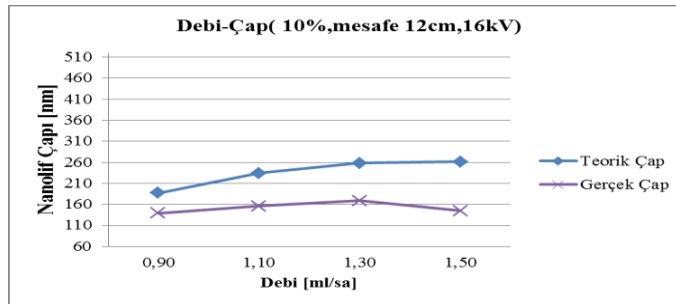
Tüm elektro üretim parametreleri sabit tutulup, akış oranının değişmesiyle nanolif çapına olan etkisi incelenmiştir. %8'lik PAN çözeltisinde akış oranının nanolif çapına olan etkisi Şekil 2.99'da gösterilmektedir.



Şekil 2.99 : %8'lik PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi

Şekil 2.99'da teorik olarak hesaplanan nanolif çapı debi miktarının artmasıyla artmaktadır. Fakat gerçek nanolif çapları incelendiğinde düzenli bir artıştan söz edilememektedir. Daha fazla çözeltinin iğne ucuna gelmesiyle birim maddeye uygulanan kuvvet miktarı azalacağından nanolif çapının artması gerekmektedir. Fakat bu durum söz konusu denemelerde gözlenememiştir.

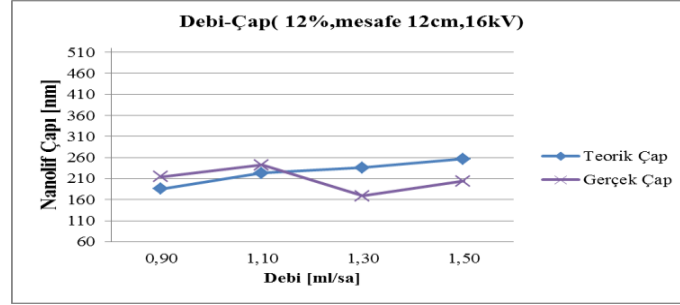
%10'luk PAN çözeltisinde akış oranının nanolif çapına olan etkisi Şekil 2.100'de gösterilmektedir.



Şekil 2.100 : %10'luk PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi

Şekil 2.100'de gösterilen nanolif çapları hem teorik hem de pratik olarak debinin artmasıyla artmaktadır. Debinin artmasıyla birim zamanda iğne ucuna gelen çözelti miktarı artar. Kuvvet sabit kaldığı için birim çözelti başına uygulanan elektro statik kuvvet de düşer. Dolayısıyla daha kalın lifler elde edilir. Teorik değer ile gerçek çaplar arasında bir yakınlık görülmektedir.

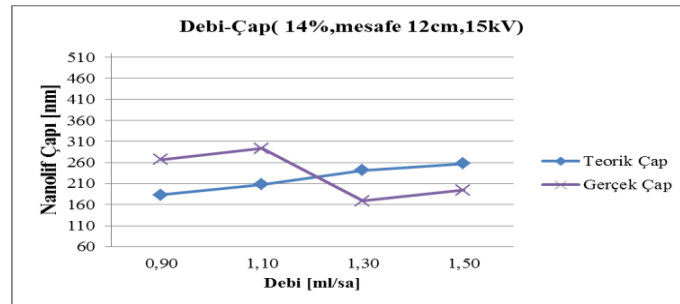
%12'lik PAN çözeltisinde akış oranının nanolif çapına olan etkisi Şekil 2.66'da gösterilmektedir.



Şekil 2.101 : %12'lik PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi

Şekil 2.101'de hava ortamında teorik olarak hesaplanan nanolif çapı debinin artmasıyla artmaktadır. Fakat böyle bir eğilim gerçek çaplar için söylenememektedir. %12'lik çözelti için gerçek ortalama çap ile teorik ortalama çap değerleri birbirine yakındır.

%14'lik PAN çözeltisinde akış oranının nanolif çapına olan etkisi Şekil 2.102'de gösterilmektedir.

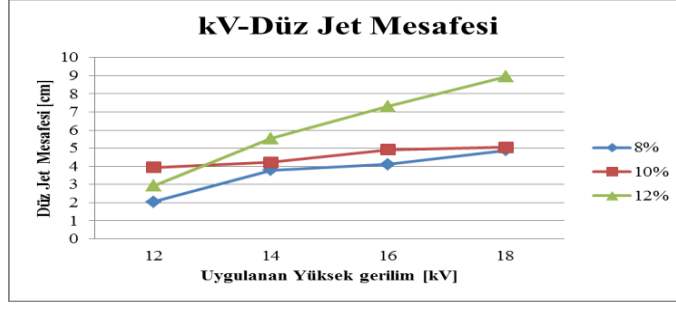


Şekil 2.102 : %14'luk PAN çözeltisinde debi-çap ilişkisi

Şekil 2.102'de hava ortamında teorik olarak hesaplanan nanolif çapı debinin artmasıyla artmaktadır. Fakat böyle bir eğilim gerçek çaplar için söylenememektedir.

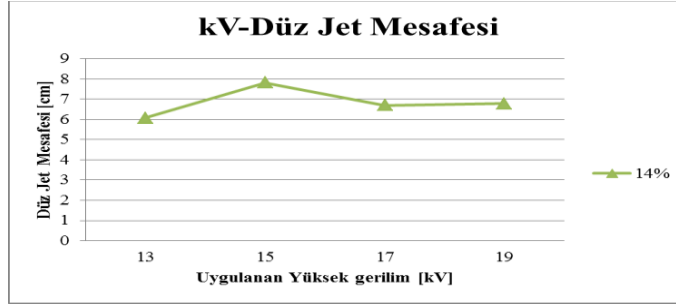
2.5 PAN İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Düz Jet Mesafesine Etkisi

Şekil 2.103'de PAN çözeltisinde farklı konsanstrasyonlar için yüksek gerilim düz jet mesafesi ilişkisi gösterilmektedir



Şekil 2.103 : PAN çözeltilerinde yüksek gerilim düz-jet mesafesi ilişkisi

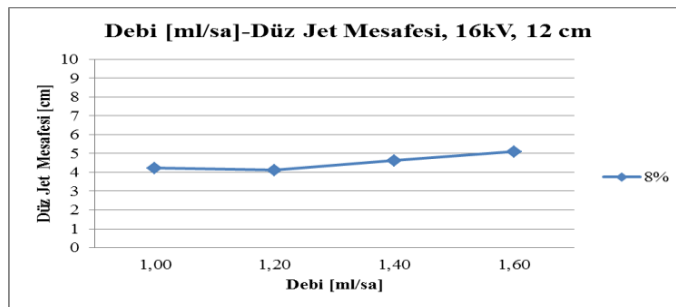
%8, %10 ve % 12'lik PAN polimer çözeltisinde gerilim artarken düz jet mesafesi artmaktadır. Gerilim artarken elektrik alan değeri de artacak dolayısıyla, bu elektrik alan içerisindeki iğne ucundaki çözeltiye uygulanan kuvvet artacaktır. Bu artan kuvvet neticesinde de düz jet mesafesi artmaktadır. Aynı zamanda konsantrasyon artarken düz jet mesafesinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 2.104 : %14'lük PAN Çözeltisinde yüksek gerilim düz-jet mesafesi ilişkisi

Şekil 2.104'de %14'lük PAN çözeltisi için yüksek gerilim düz jet mesafesi ilişkisi gösterilmektedir. Yüksek gerilim artarken düz jet mesafesi de artması gerekirken artmamıştır. Deneme esnasında ortaya çıkan parametre değişikliklerinden veya yanlış ölçümden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

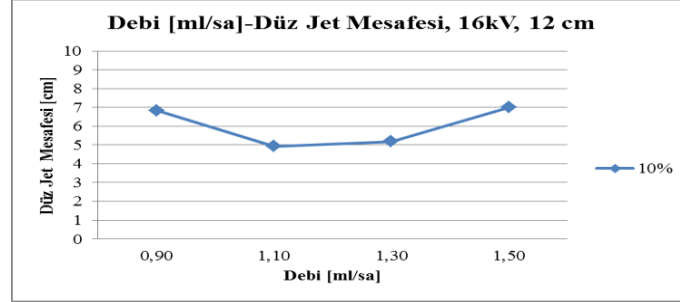
2.6 PAN İle Yapılan Denemelerde Akış Oranının Düz Jet Mesafesine Etkisi



Şekil 2.105 : %8'lik PAN Çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi

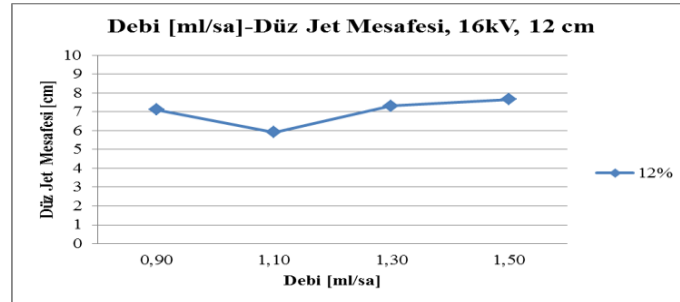
Farklı konsantrasyonlarda debi ile düz jet arasındaki ilişki incelenmiştir.

Şekil 2.105’de debinin artmasıyla düz jet mesafesinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Debi artışıyla iğne ucundaki çözelti miktarı artar elektrik alan kuvveti sabit olduğundan taylor konisinde oluşan açı genişleyecek bu da düz jet mesafesini uzatacaktır.



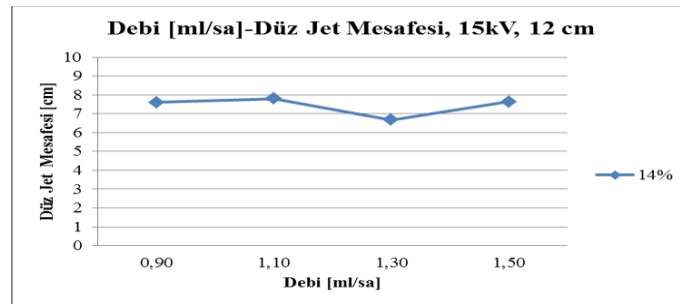
Şekil 2.106 : %10’luk PAN Çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi

Şekil 2.106’da debinin artmasıyla düz jet mesafesinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Saadece 0,9 ml/sa’lik debide bu eğilim görülememektedir. Bu değerde elektro üretim esnasında bir değişim olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.107 : %12’lik PAN Çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi

Şekil 2.107’de debinin artmasıyla düz jet mesafesinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Saadece 0,9 ml/sa’lik debide bu eğilim görülememektedir. Bu değerde elektro üretim esnasında bir değişiklik olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.108 : %14’lük PAN çözeltisinde debi düz-jet mesafesi ilişkisi

Şekil 2.108’de %14’lük PAN çözeltisinden elde edilen debi düz jet mesafesi değişimi verilmektedir. Debinin değişmesiyle düz jet mesafesi arasında bir bağlantı kurulamamaktadır.

2.7 PCL Çözeltisinden Elektro Üretim Yöntemiyle Elde Edilen Nanolif Numuneler

PAN ile yapılan elektro üretim denemelerinde istenen hızlı kamera görüntüleri edilememiştir. Çalışmanın ikinci kısmı olan PCL ile deneme yapılması planlanmıştır. PCL ile çalışılmasının nedeni PCL polimerinden elde edilen nanoliflerin çaplarının PAN polimerine göre büyük olmasıdır. Işık kaynağı sayısı 2 adet arttırılmıştır. Böylelikle daha iyi görüntü elde edilmesi amaçlanmıştır.

Ortam parametreleri tüm PCL nanolif üretim denemeleri esnasında 24 ° C ve 40%.bağıl nem olarak ölçülmüştür.

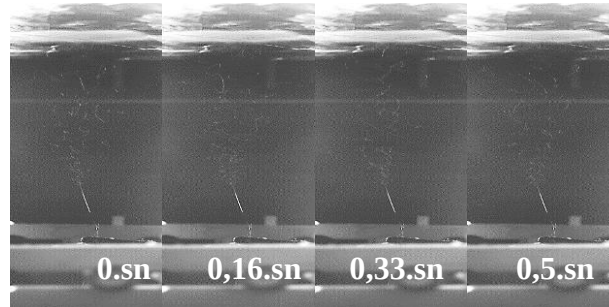
PCL’in molekül ağırlığı 70.000-90.000 g/mol arasında Sigma Aldrich’den temin edilip, Metilenklorür(MC)/Dimetilformamit(DMF) (3:1) çözücüsü kullanılarak çözelti elde edilmiştir.

1 nolu PCL denemesi:

Çizelge 2.32 : 1 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
1	9	16	2,00	14	3

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.32’ de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.



Şekil 2.109 : 1 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.109’da gösterilmektedir.

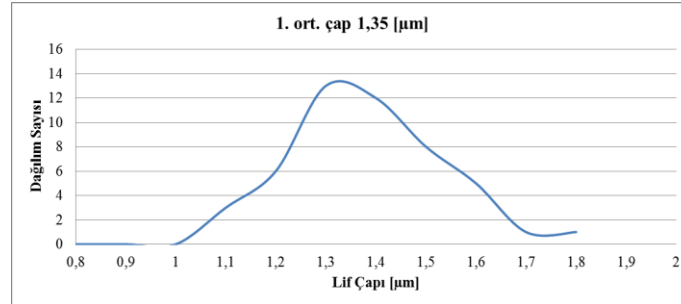
Şekil 2.67’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda eğrilme daha iyi görülmektedir. Şekil 2.109’da Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi spiral bir eğrilme görülememektedir.

Şekil 2.110’da 1 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelemlerde çekilen SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.110 : 1 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelemlerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.110’da 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.111 : 1 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.111’de 1 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri genelde 1,35 civarında seyretilmektedir. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.

Şekil 2.112’de 1 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 21,35 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan Şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması gayet doğaldır.



Şekil 2.112 : 1 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

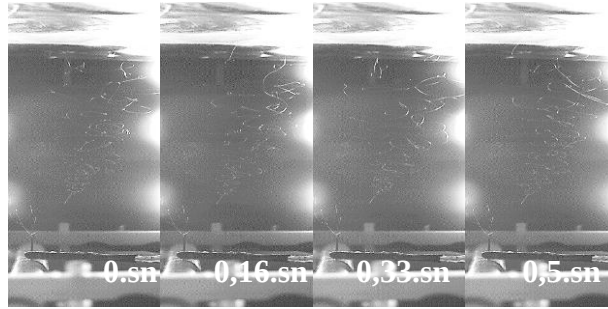
2 nolu PCL denemesi:

%9'luk PCL çözeltisinin Çizelge 2.33' de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.33 : 2 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

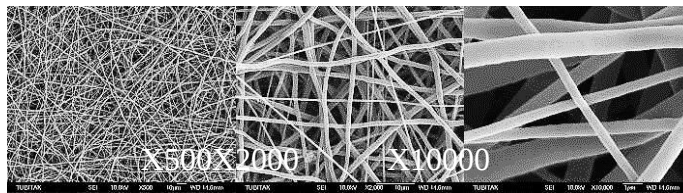
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
2	9	18	2,00	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.113'de gösterilmektedir.



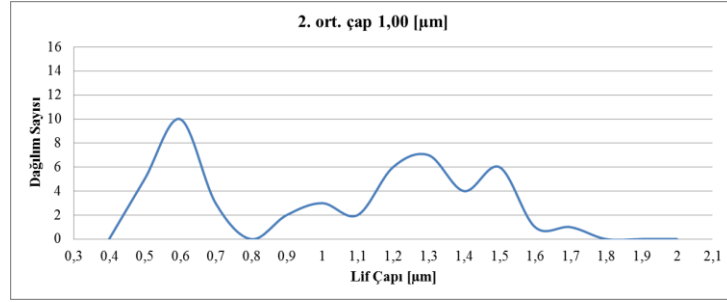
Şekil 2.113 : 2 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.113'de görüntüler dikkatle incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre daha uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD'de verilmiştir. Düz jetten sonraki eğrilme açık bir şekilde daha iyi görülmektedir. Şekil 2.113'da Şekil 2.1'de gösterilen şematik görüntüdeki gibi spiral bir eğrilme görülememektedir



Şekil 2.114 : 2 nolu PCL denemesinin farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri

Şekil 2.114’de 500, 2000 ve 10000 büyütme SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Liflerin kalın olması dikkat çekmektedir.



Şekil 2.115 : 2 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.115’de 2 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 1,8 µm arasında seyretmektedir. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.116 : 2 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.116’da 2 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 43,28 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan Şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

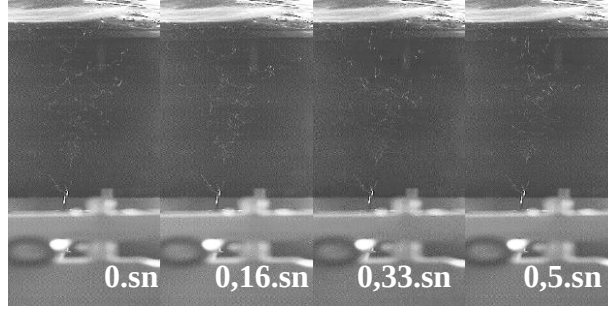
3 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.34’ de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.34 : 3 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

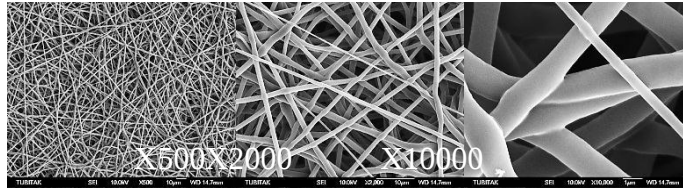
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
3	9	14	2,00	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.117’de gösterilmektedir.



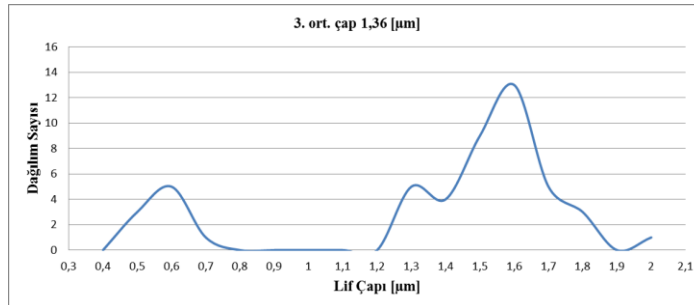
Şekil 2.117 : 3 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.117’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda eğrilme daha iyi görülmektedir. Şekil 2.117’de Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi spiral bir eğrilme görülememektedir.



Şekil 2.118 : 3 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

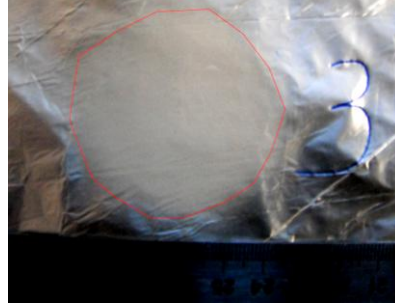
Şekil 2.118’de 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Liflerin mikro boyutta olması dikkat çekmektedir.



Şekil 2.119 : 3 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.119’da 3 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 2 µm arasında

seyretmektedir. 1,6 μm 'de bir yoğunluk görülmektedir. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.120 : 3 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.120'de 3 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 22,93 cm^2 olarak hesaplanmıştır. Taranan alan Şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

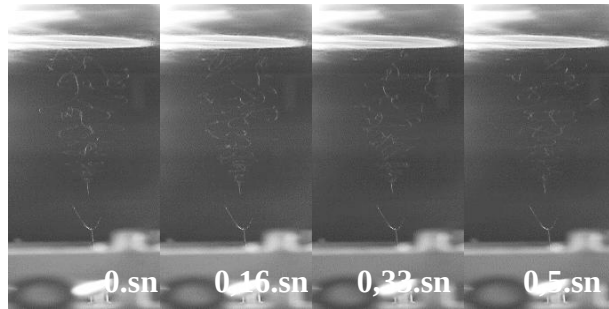
4 nolu PCL denemesi:

%9'luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.35' de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.35 : 4 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaaj [kv]	Akım [mikroA]
4	9	12	2,00	14	3

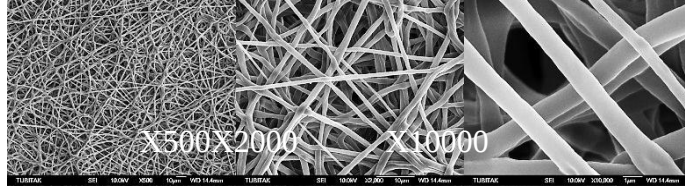
Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.121'de gösterilmektedir.



Şekil 2.121 : 4 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

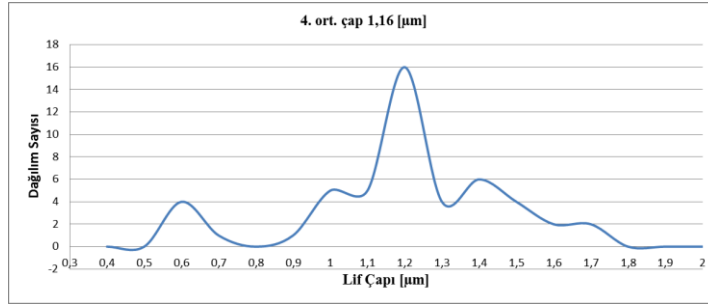
Şekil 2.121'de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur.

Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda eğrilme daha iyi görülmektedir. Şekil 2.121’de Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi spiral bir eğrilme görülememektedir.



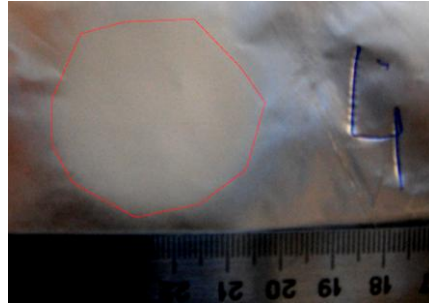
Şekil 2.122 : 4 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.122’de 500, 2000 ve 10000 büyütme SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Liflerin mikro boyutta olması dikkat çekmektedir.



Şekil 2.123 : 4 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.123’de 4 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 2 µm arasında seyretmektedir. 1,2 µm’de bir yoğunluk görülmektedir. Ortalam çap 1,16 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.124 : 4 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.124’de 2 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 11,23 cm² olarak

hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklin dairesel olması beklenen sonuçtur.

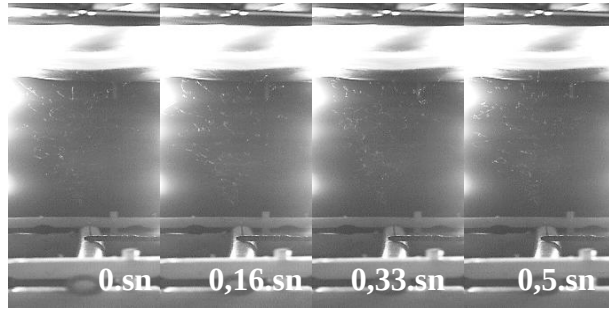
5 nolu PCL denemesi:

%9'luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.36'da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.36 : 5 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

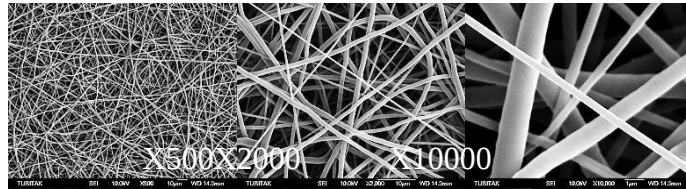
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
5	9	20	2,00	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.125'de gösterilmektedir.



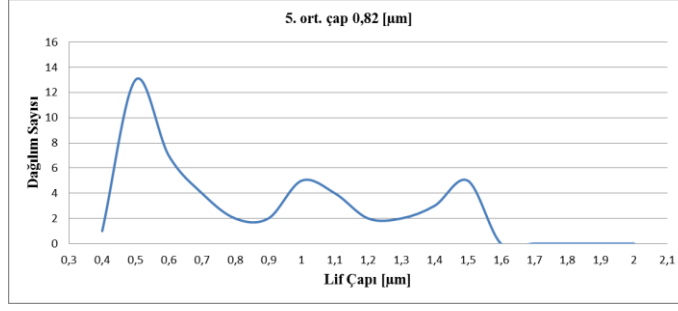
Şekil 2.125 : 5 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.125'de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD'de verilmiştir. Videoda eğrilme daha iyi görülmektedir. Şekil 2.125'de Şekil 2.1'de gösterilen şematik görüntüdeki gibi spiral bir eğrilme görülememektedir.



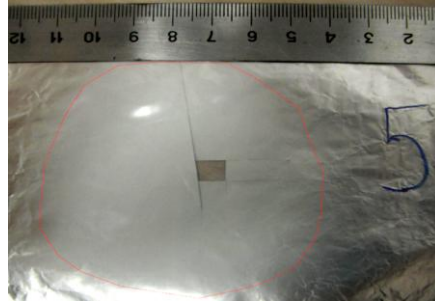
Şekil 2.126 : 5 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.126'da 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.127 : 5 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.127’de 5 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 1,6 µm arasında seyretmektedir. 0,5 µm’de bir yoğunluk görülmektedir. Ortalam çap 0,82 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.128 : 5 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.128’de 5 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 43,30 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklin dairesel olması beklenen sonuçtur.

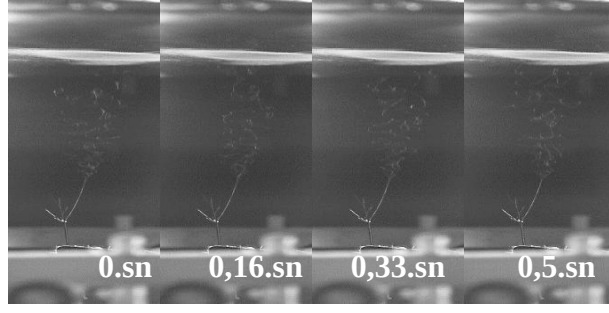
6 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.37’ de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.37 : 6 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

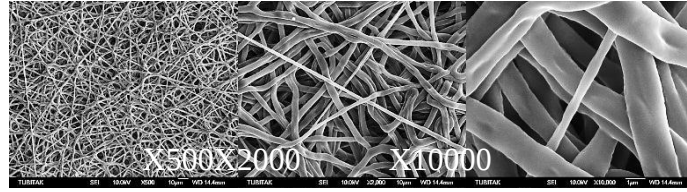
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
6	9	10	2,00	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen fotoğraflardan 4 tanesi Şekil 2.129’da gösterilmektedir.



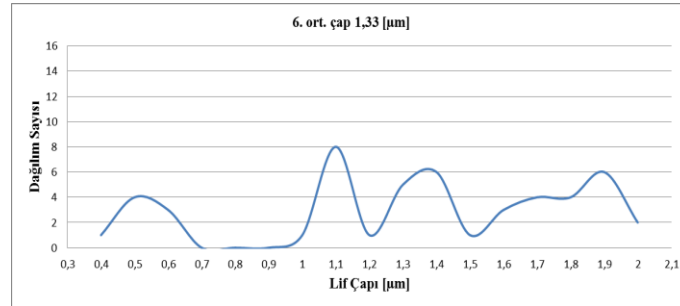
Şekil 2.129 : 6 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.129’da görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.129’da, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



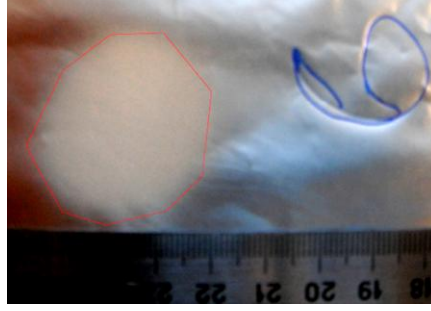
Şekil 2.130 : 6 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.130’da verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.131 : 6 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.131’de 6 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 2 µm arasında seyretmektedir. Ortalama çap 1,33 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.132 : 6 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.132’de 6 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan $8,73 \text{ cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

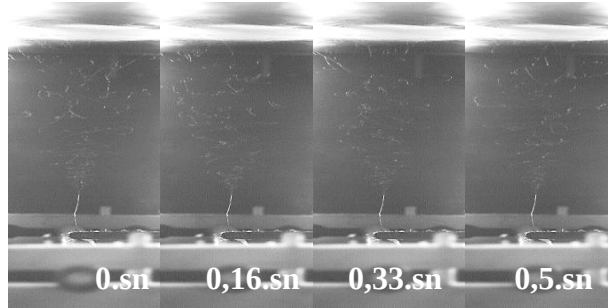
7 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.38’ de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.38 : 7 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
7	9	16	2,00	10	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256×1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.133’de gösterilmektedir.



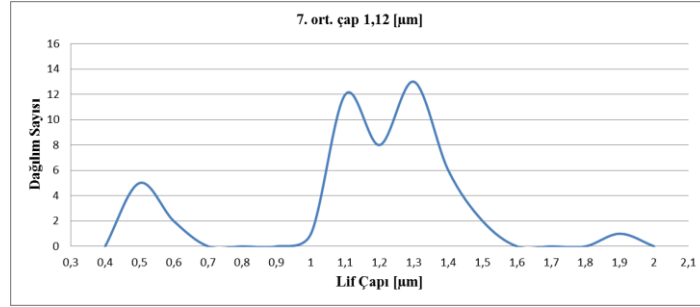
Şekil 2.133 : 7 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.133’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Jet yolunda lifler birbirine karışmış durumdadır. Şekil 2.133’de, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



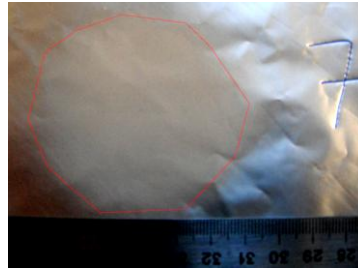
Şekil 2.134 : 7 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.134’de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.135 : 7 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.135’de 7 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 2 µm arasında seyretilmektedir. 1,1 µm ile 1,4 µm arasında yoğunluk görülmektedir. Ortalam çap 1,12 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.136 : 7 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.136’da 7 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 26,74 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

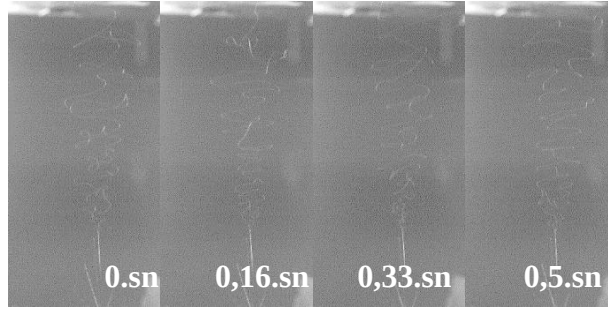
8 nolu PCL denemesi:

%9'luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.39'da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.39 : 8 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

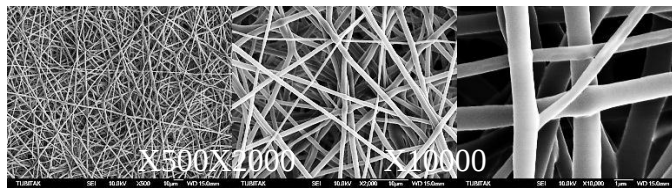
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
8	9	16	2,00	12	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.137'de gösterilmektedir.



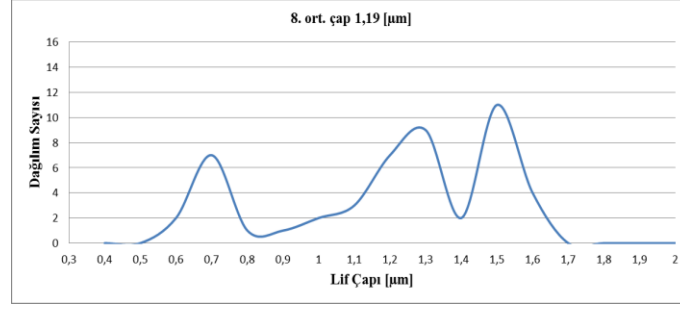
Şekil 2.137 : 8 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.137'de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD'de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.137'de, Şekil 2.1'de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



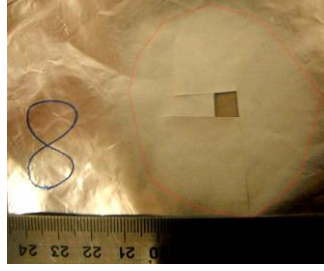
Şekil 2.138 : 8 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.138'de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.139 : 8 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.139’da 8 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,5 µm ile 1,7 µm arasında değişmektedir. 0,7 µm, 1,3 µm ve 1,5 µm civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalam çap 1,19 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.140 : 8 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.140’da 8 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 26,85 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

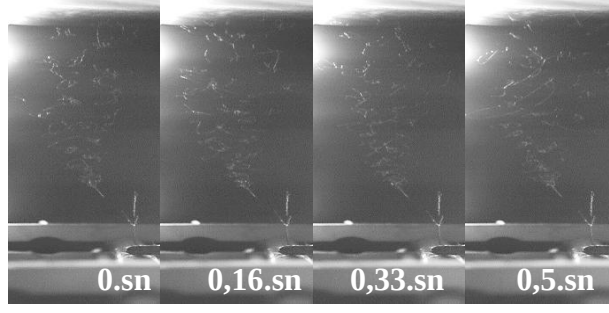
9 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.40’da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.40 : 9 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

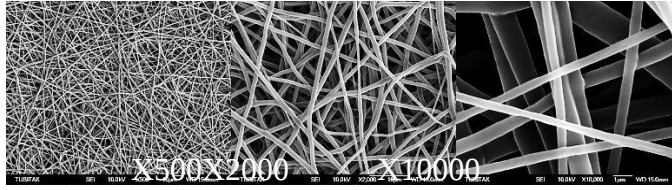
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
9	9	16	2,00	16	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.141’de gösterilmektedir.



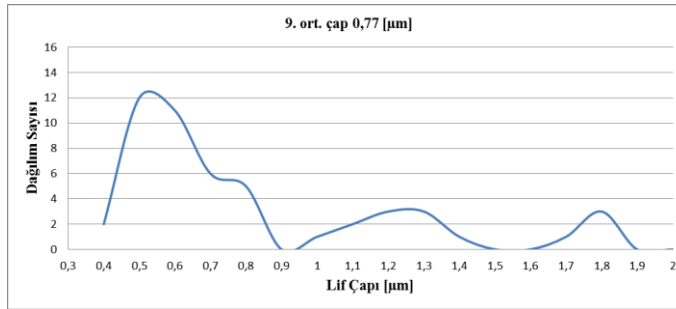
Şekil 2.141 : 9 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.141’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.141’de, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



Şekil 2.142 : 9 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.142’de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.143 : 9 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.143’de 9 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 1,9 µm arasında değişmektedir. 0,5 µm, civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalam çap 0,77 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.144 : 9 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.144’de 9 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan $20,64 \text{ cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

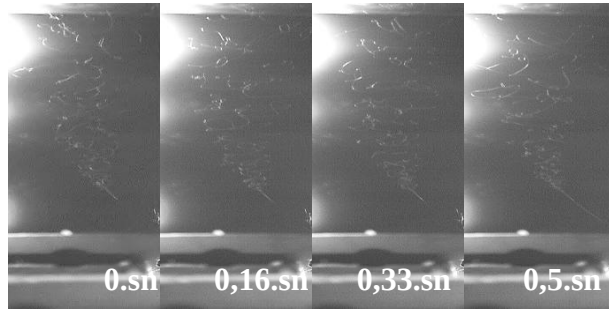
10 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.41’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.41 : 10 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

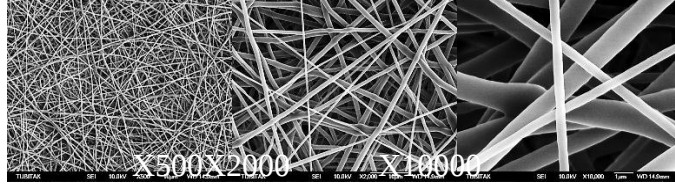
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
10	9	16	2,00	18	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256×1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.145’de gösterilmektedir.



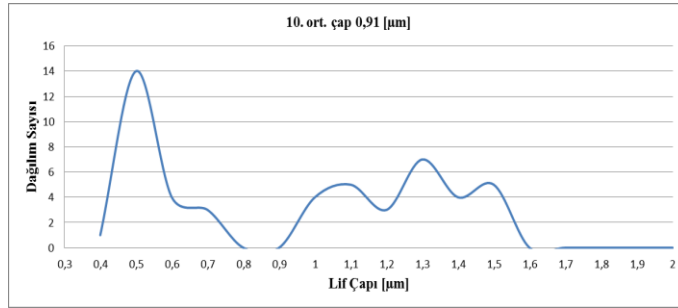
Şekil 2.145 : 10 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.145’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.145’de, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



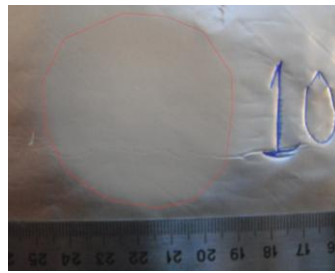
Şekil 2.146 : 10 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.146’da verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.



Şekil 2.147 : 10 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.147’de 10 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 1,6 µm arasında değişmektedir. 0,5 µm, civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalam çap 0,91 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.148 : 10 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.148’de 10 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 26,40 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

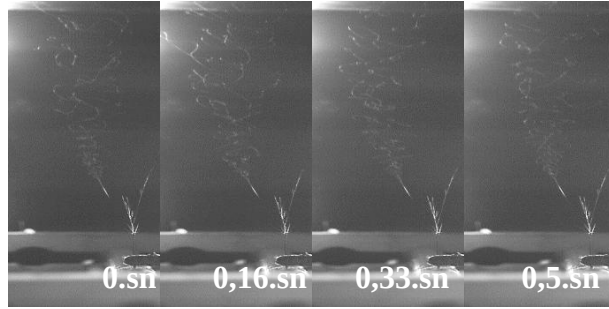
11 nolu PCL denemesi:

%9'luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.42'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.42 : 11 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

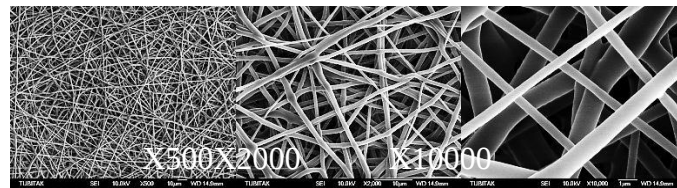
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
11	9	16	2,00	20	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.149'da gösterilmektedir.



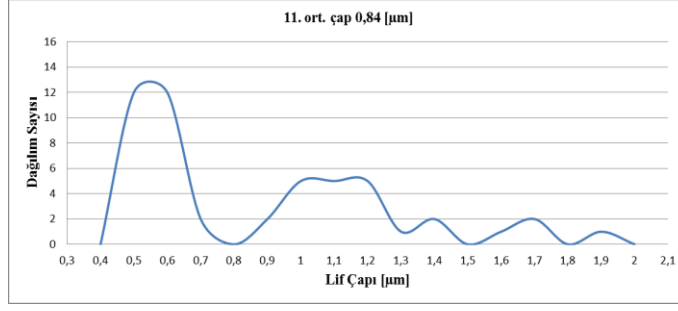
Şekil 2.149 : 11 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.149'da görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD'de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.149'da, Şekil 2.1'de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



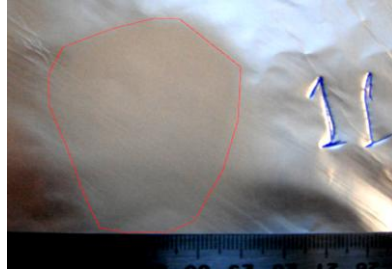
Şekil 2.150 : 11 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.150'de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.



Şekil 2.151 : 11 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.151’de 11 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 2 µm arasında değişmektedir. 0,5 µm, civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalam çap 0,84 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir.



Şekil 2.152 : 11 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.152’de 11 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 23,01 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

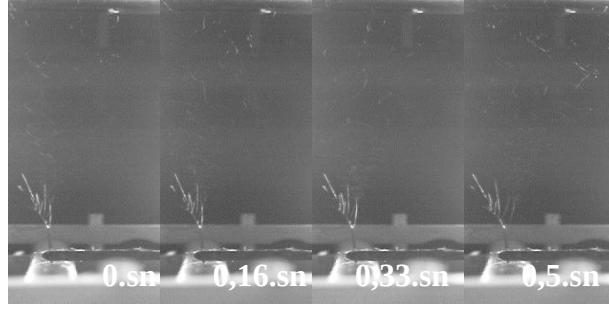
12 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.43’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.43 : 12 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

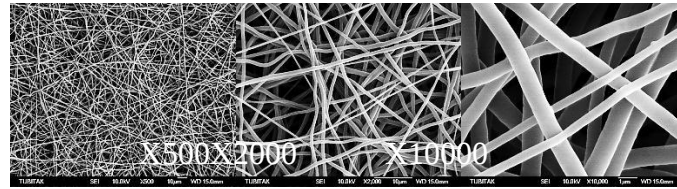
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
12	9	16	1,00	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.153’de gösterilmektedir.



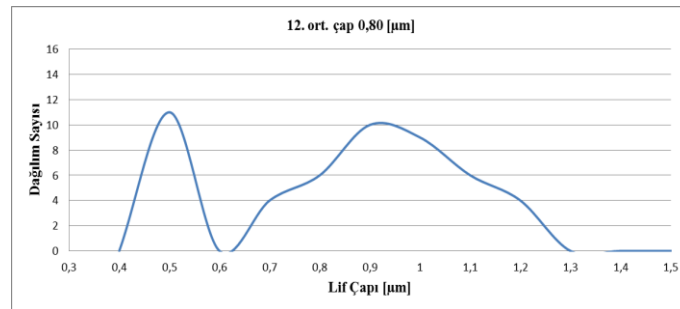
Şekil 2.153 : 12 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.153’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre oldukça uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.153’de, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



Şekil 2.154 : 12 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri

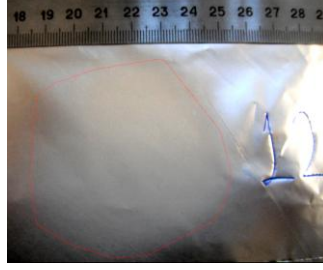
Şekil 2.154’de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.155 : 12 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.155’de 12 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 1,3 µm arasında değişmektedir. 0,5 µm ve 0,9 µm civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 0,80 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif

üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.



Şekil 2.156 : 12 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.156’da 12 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 36,44 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

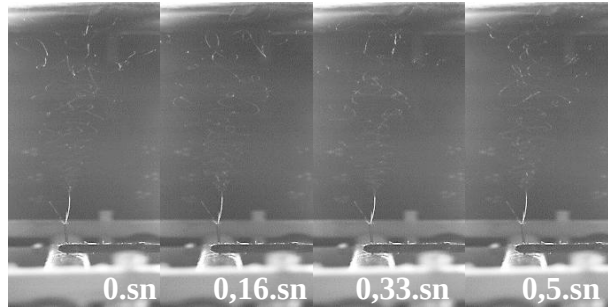
13 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.44’de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.44 : 13 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
13	9	16	1,20	14	3

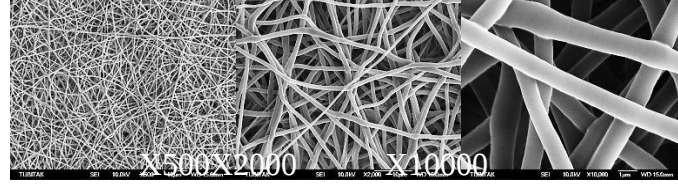
Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.157’de gösterilmektedir.



Şekil 2.157 : 13 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

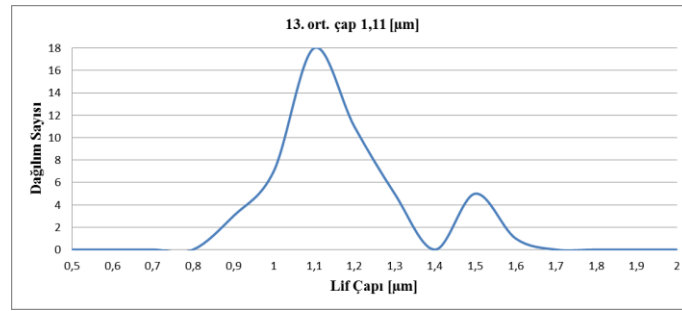
Şekil 2.157’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi

görülmektedir. Şekil 2.157’de, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



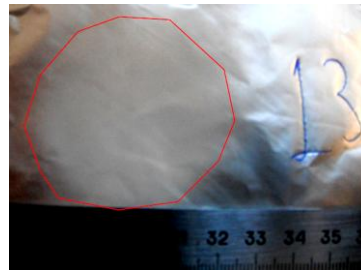
Şekil 2.158 : 13 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.158’de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.159 : 13 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.159’da 13 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 1,3 µm arasında değişmektedir. 1,2 µm civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 1,11 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.



Şekil 2.160 : 13 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.160’da 13 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 21,16 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

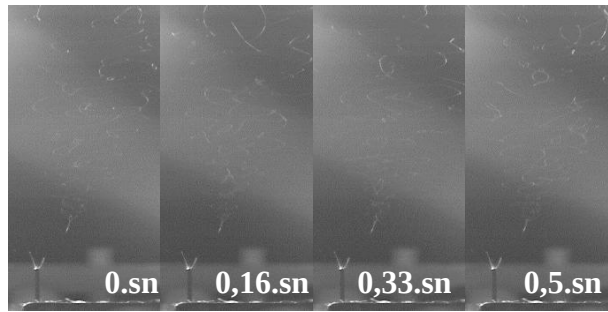
14 nolu PCL denemesi:

%9'luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.45' de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.45 : 14 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

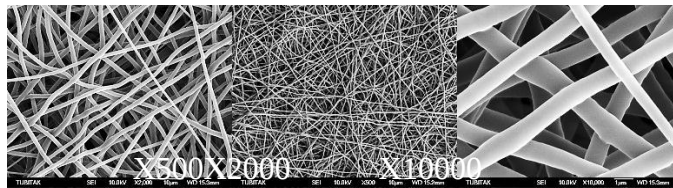
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
14	9	16	1,40	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.161'de gösterilmektedir.



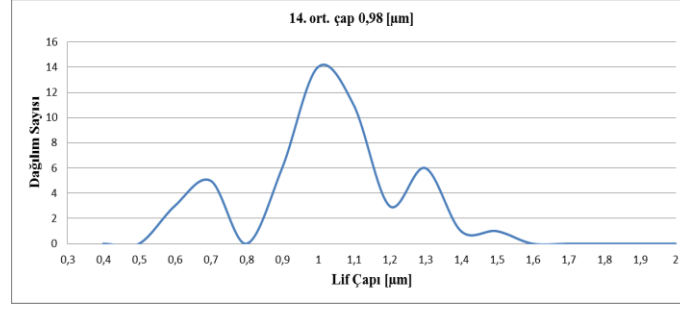
Şekil 2.161 : 14 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.161'de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD'de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.161'de, Şekil 2.1'de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



Şekil 2.162 : 14 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.162'de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.163 : 14 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.163’de 14 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,5 µm ile 1,6 µm arasında değişmektedir. 1 µm civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 0,98 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.



Şekil 2.164 : 14 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.164’de 14 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 28,88 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

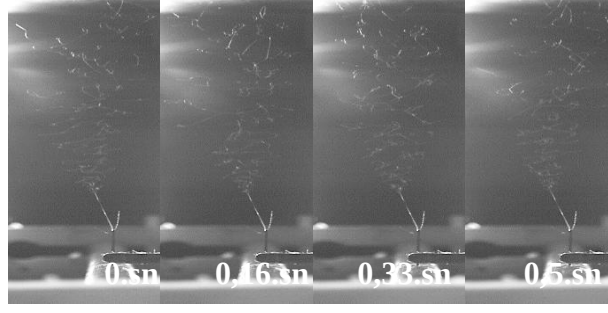
15 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.146’ da gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.46 : 15 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

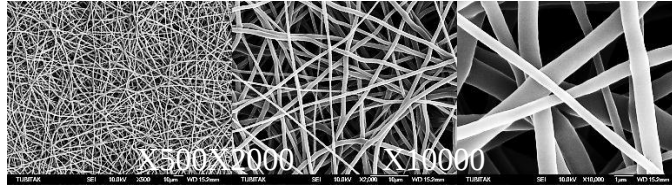
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
15	9	16	1,60	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.165’de gösterilmektedir.



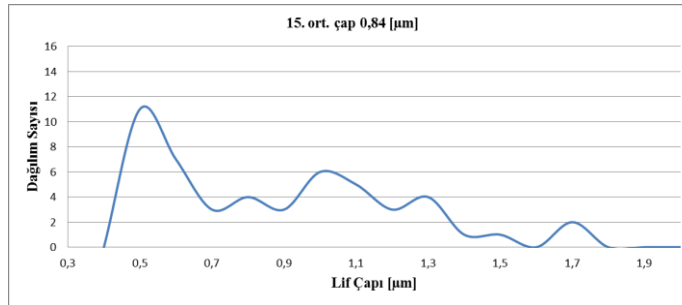
Şekil 2.165 : 15 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.165’de görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.165’de, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



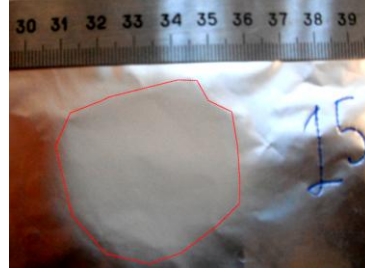
Şekil 2.166 : 15 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.166’da verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.167 : 15 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.167’de 15 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,5 µm ile 1,8 µm arasında değişmektedir. 0,51 µm civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 0,84 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.



Şekil 2.168 : 15 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.168’de 15 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan $19,18 \text{ cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

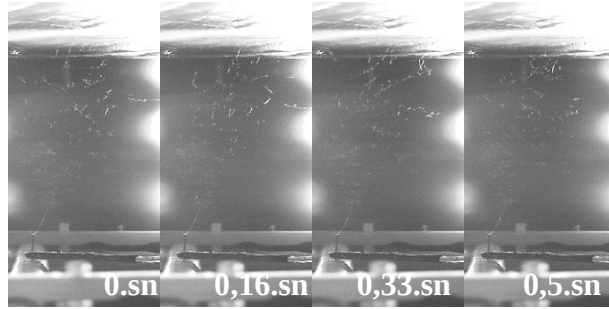
16 nolu PCL denemesi:

%9’luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.147’ de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.47 : 16 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

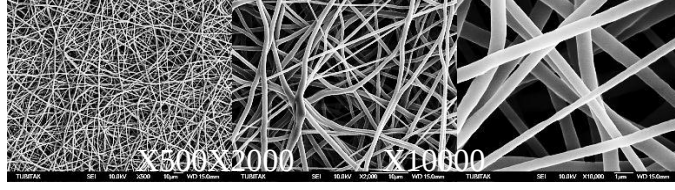
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
16	9	16	1,80	14	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.169’da gösterilmektedir.



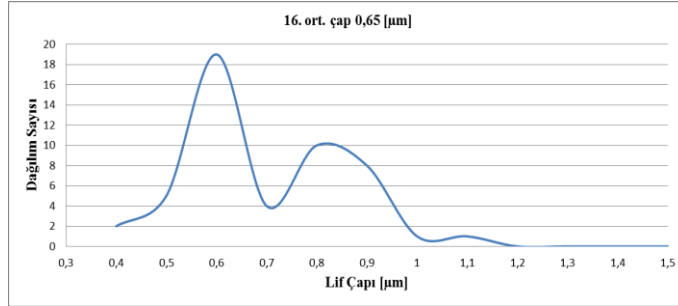
Şekil 2.169 : 16 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.169’da görüntüler dikkatlice incelendiğinde düz jet mesafesi ve eğrilme bölgesi görülmektedir. Düz jet mesafesi PAN görüntülerine göre uzundur. Görüntüler video haline getirilip CD’de verilmiştir. Videoda jet yolu daha iyi görülmektedir. Şekil 2.169’da, Şekil 2.1’de gösterilen şematik görüntüdeki gibi bir jet yolu görülememektedir.



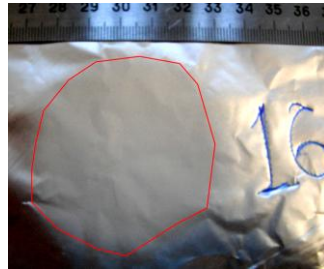
Şekil 2.170 : 16 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.170’de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütme SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.171 : 16 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.171’de 16 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet çap değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. Çap değerleri 0,4 µm ile 1,2 µm arasında değişmektedir. 0,6 µm civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalama çap 0,65 µm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak çap dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.



Şekil 2.172 : 16 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.172’de 16 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 28,46 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

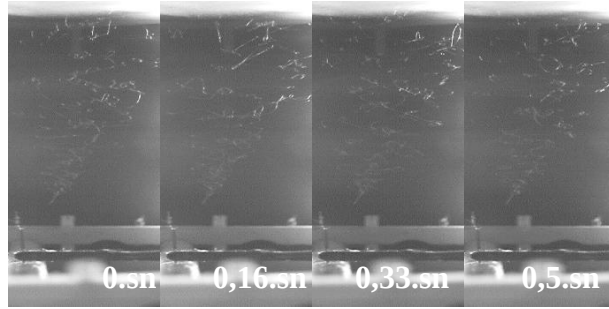
17 nolu PCL denemesi:

%9'luk PCL çözeltisinden Çizelge 2.48'de gösterilen parametrelerde elektro üretim yöntemiyle nanolifler 5 dakika süreyle üretilmiştir.

Çizelge 2.48 : 17 nolu PCL nanolif numunesinin üretim parametreleri

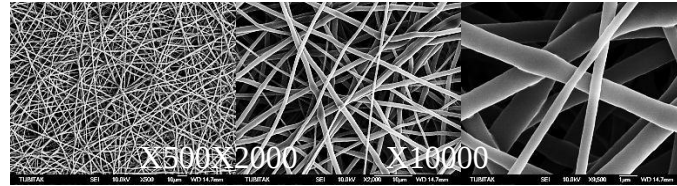
Rumuz	Kons. [%]	Mesafe [cm]	Debi [ml/sa]	Voltaj [kv]	Akım [mikroA]
17	9	16	2,20	12	3

Bu deneme sırasında saniyede 6000 kare, 256x1024 çözünürlükte hızlı kamera yardımıyla çekilen karelerden 4 tanesi Şekil 2.173'de gösterilmektedir.



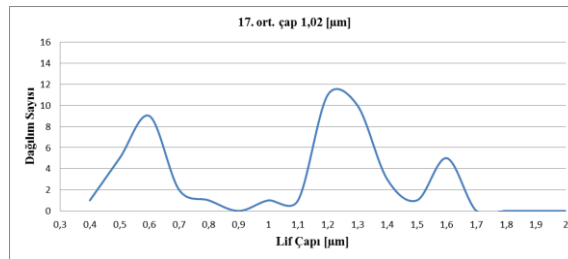
Şekil 2.173 : 17 nolu PCL denemesinin hızlı kamera ile farklı saniyelerde çekilen kareleri

Şekil 2.173'de 17 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 20,47 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan şekil olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.



Şekil 2.174 : 17 nolu PCL denemesinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 2.174'de verilen 500, 2000 ve 10000 büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde nanoliflerin sorunsuz üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.175 : 17 nolu PCL nanolif numunesinin çap dağılımı

Şekil 2.175’de 17 nolu PCL nanolif numunesinin 50 adet ϕ değeri hesaplanarak elde edilen histogramı görülmektedir. ϕ değerleri 0,4 μ m ile 1,7 μ m arasında değişmektedir. 0,6 ve 1,3 μ m civarında yoğunluk görülmektedir. Ortalama ϕ 1,02 μ m olarak hesaplanmıştır. Genel olarak ϕ dağılımına bakıldığında, nanolif üretimi için uygun bir dağılım olduğu düşünülmemektedir. Üretilen lifler mikro boyuttadır.

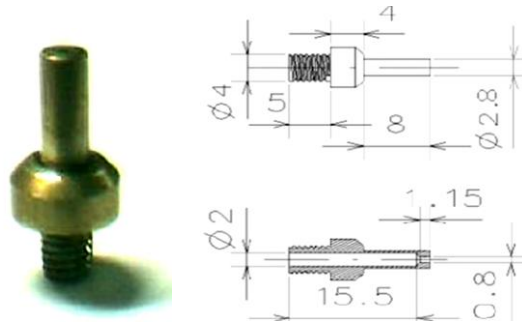


Şekil 2.176 : 17 nolu PCL denemesinin toplayıcıda taradığı alan

Şekil 2.176’da 17 nolu PCL nanolif denemesinin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. Adobe Prof. Programı yardımıyla hesaplanan alan 20,47 cm² olarak hesaplanmıştır. Taranan alan ϕ olarak daireye benzemektedir. Eğrilme olayı göz önüne alındığında taranan alan ϕ şeklinin dairesel olması beklenen sonuçtur.

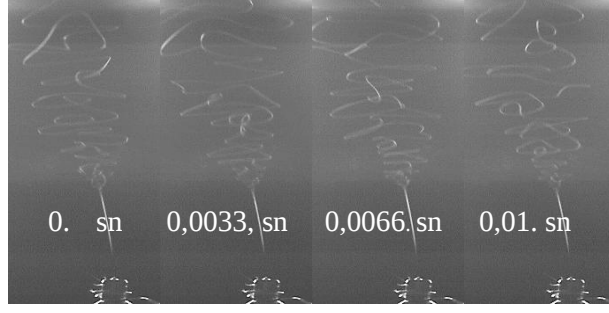
2.8 PCL İle Taylor Konisini Gözlemlemek İçin Yapılan Denemeler

İç ϕ 0,8 mm olan iğneler ile yapılan denemelerin hızlı kamera görüntülerinde Taylor konisi görülemeyince Şekil 2.177’de gösterilen özel tasarım iğneleri kullanılmıştır.



Şekil 2.177 : Özel tasarım iğne

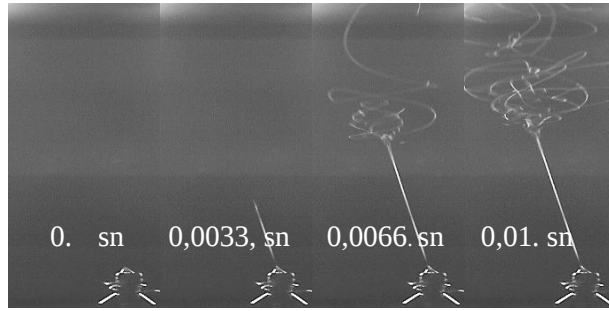
Şekil 2.178’de 12 nolu PCL denemesinin Çizelge 2.43 ‘deki parametrelerinde gerçekleştirilen elektro üretim denemesinin farklı saniyelerde hızlı kamera görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.178 : 12 nolu PCL denemesinin özel tasarım iğne kullanılarak elde edilen farklı saniyelerdeki kareleri

Şekil 2.178'deki kareler incelendiğinde düz jet ve eğrilme bölgesi net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca küçük olsa da Taylor Konisi de görülmektedir. Görüntülerden oluşturulan video CD içerisinde verilmiştir.

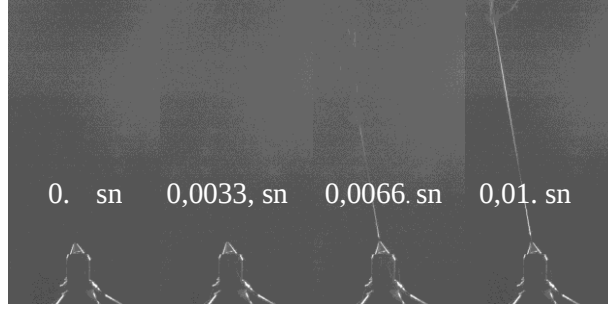
Şekil 2.179'de 13 nolu PCL denemesinin çizelge 2.44'deki parametrelerinde 256 x1024 çözünürlükte 6000 fps'de gerçekleştirilen elektro üretim denemesinin farklı saniyelerde hızlı kamera görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.179 : 13 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı

Şekil 2.179'da gösterilen elektro üretim işleminin anı incelendiğinde taylor konisi küçük de olsa görülmektedir. Jet sola eğimli başlamıştır. Görüntülerden oluşturulan video CD içerisinde verilmiştir.

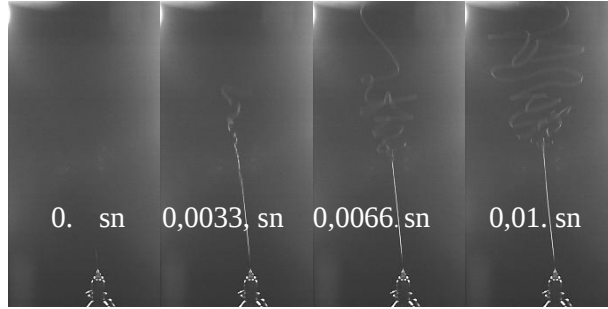
Şekil 2.180'de 14 nolu PCL denemesinin Çizelge 2.45'deki parametrelerinde 256x512 çözünürlükte 6000 fps'de gerçekleştirilen elektro üretim denemesinin farklı saniyelerde hızlı kamera görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.180 : 14 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı

Şekil 2.180’de gösterilen elektro üretim işleminin anı incelendiğinde taylor konisi küçük de olsa görülmektedir. Jet sola eğimli başlamıştır. Görüntülerden oluşturulan video CD içerisinde verilmiştir. Video halinde taylor konisinin oluşması daha iyi görülmektedir.

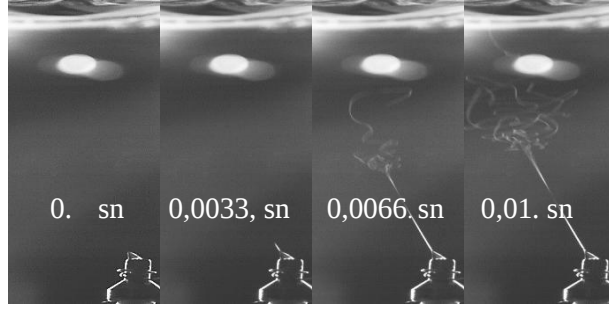
Şekil 2.181’de 15 nolu PCL denemesinin Çizelge 2.46’daki parametrelerinde 512x1024 çözünürlükte 6000 fps’de gerçekleştirilen elektro üretim denemesinin farklı saniyelerde hızlı kamera görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.181 : 15 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı

Şekil 2.181’de gösterilen elektro üretim işleminin anı incelendiğinde taylor konisi küçük de olsa görülmektedir. Jet düz çıkmakta önce bir kararsızlık olmakta sonra düzene girmektedir. Görüntüler video haline getirilip CD içerisinde verilmiştir.

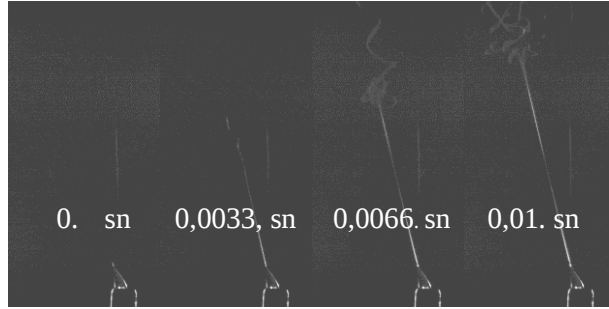
Şekil 2.182’de 16 nolu PCL denemesinin Çizelge 2.47’deki parametrelerinde 256x1024 çözünürlükte 6000 fps’de gerçekleştirilen elektro üretim denemesinin farklı saniyelerde hızlı kamera görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.182 : 16 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı

Şekil 2.182’de gösterilen elektro üretim işleminin anı incelendiğinde taylor konisi küçük de olsa görülmektedir. Jet sola eğimli çıkmaktadır. Bu durum elektrik alanının yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Görüntüler video haline getirilip CD içerisinde verilmiştir.

Şekil 2.183’de 17 nolu PCL denemesinin Çizelge 2.48 parametrelerinde 256x512 çözünürlükte 6000 fps’de gerçekleştirilen elektro üretim denemesinin farklı saniyelerde hızlı kamera görüntüleri görülmektedir.



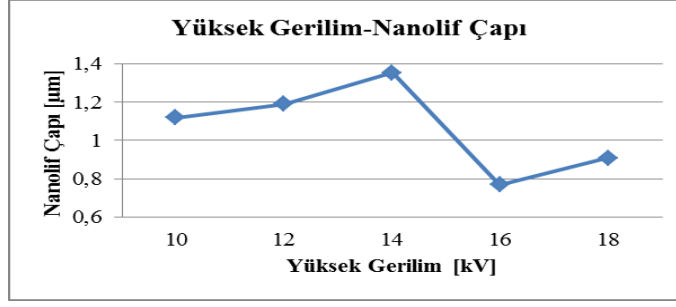
Şekil 2.183 : 17 nolu PCL denemesinin elektro üretime başlama anı

Şekil 2.183’de gösterilen elektro üretim işleminin anı incelendiğinde taylor konisi küçük de olsa görülmektedir. Jet sola eğimli çıkmaktadır. Bu durum elektrik alanının yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Görüntüler video haline getirilip CD içerisinde verilmiştir.

2.9 PCL İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Nanolif Çapına Etkisi

PCL polimerinden elde edilen lifler ortalama çapına, uygulanan yüksek gerilimin etkisini görebilmek için yüksek gerilim hariç diğer tüm parametreler sabit tutulup denemeler yapılmıştır.

Denemeler esnasında sabit olan parametreler debi (2,00 ml/sa), konsantrasyon(%9) ve toplayıcı iğne arası mesafedir(16 cm).



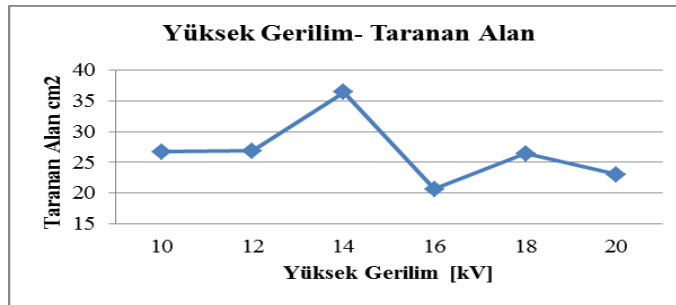
Şekil 2.184 : PCL nanolifleri için yüksek gerilim-çap ilişkisi

Şekil 2.184’de PCL polimerinden elde edilen 5 farklı nanolif numunesi için yüksek gerilim-çap ilişkisi görülmektedir. 14 kV’a kadar nanolif çapı, gerilimin artmasıyla artmaktadır. Fakat 16 kv’da ciddi bir düşüş görülmekte ve daha sonra tekrar artma eğilimindedir. PCL nanolifleri için 14kV’a kadar voltajın artmasıyla nanolif çapı artma, daha sonra azalma eğilimindedir.

2.10 PCL İle Yapılan Denemelerde Yüksek Gerilimin Toplayıcıda Taranan Alana Etkisi

PCL polimer çözeltisinden toplayıcıya liflerin toplanırken silindire alüminyum folyo sarılarak üzerine toplanılması sağlanmıştır. 5 dakika süreyle iğne ve toplayıcı sabit tutularak denemeler gerçekleştirilmiştir. Yüksek gerilim, debi ve mesafenin toplayıcıda taranan alana etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Denemeler esnasında sabit olan parametreler, debi (2,00 ml/sa), konsantrasyon(%9) ve toplayıcı iğne arası mesafedir(16 cm)



Şekil 2.185 : PCL nanolifleri için yüksek gerilim-taranan alan ilişkisi

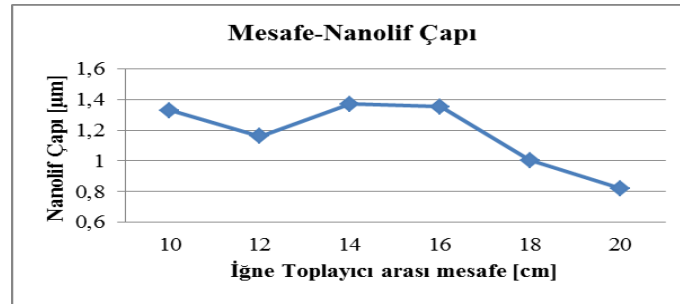
Şekil 2.185’de farklı yüksek gerilim değerleri için nanoliflerin toplayıcıda taradığı alan gösterilmektedir. 14 kV’a kadar artma eğiliminde, 14 kV’dan sonra ise azalma eğilimindedir. Uygulanan gerilimin artmasıyla jetin ivmelenmesi hızlanması ve

toplayıcıya daha kısa sürede ulaşması gerekmektedir. 14 kV'dan sonrası için böyle bir değişimden bahsedilebilir.

2.11 PCL İle Yapılan Denemelerde İğne İle Toplayıcı Arası Mesafenin Nanolif Çapına Etkisi

İğne ile toplayıcı arası mesafenin artması, jet yolunu arttıracaktır. Jet yolunun artması da lifin kısılmasına sebep olacaktır. Çünkü lif ivmelenirken sürekli bir çekime uğramaktadır.

Denemeler esnasında sabit olan parametreler, debi (2,00 ml/sa), konsantrasyon(%9) ve yüksek gerilimdir(14 kV).



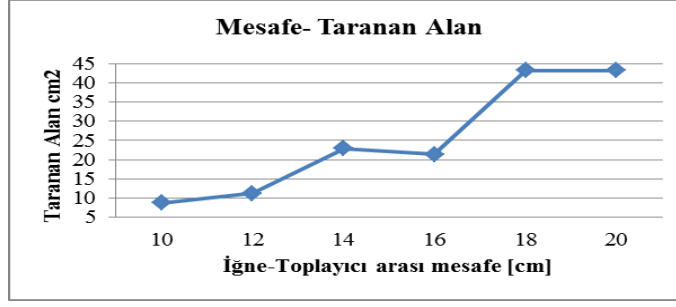
Şekil 2.186 : PCL nanolifleri için iğne toplayıcı arası mesafe-çap ilişkisi

Şekil 2.186'da iğne toplayıcı arası mesafenin nanolif çapına olan etkisi görülmektedir. 10,12 ve 14 cm arasında bir bağlantı kurulamasa da 14 cm'den 20 cm'e kadar olan mesafe artışıyla birlikte nanolif çapı azalmaktadır. Genel olarak bakıldığında toplayıcı iğne arası mesafe arttıkça nanolif çapı azalmaktadır. 10 ve 12 cm'lik denemelerde bir yanlış yapılmış olması gerekmektedir.

2.12 PCL İle Yapılan Denemelerde İğne İle Toplayıcı Arası Mesafenin Toplayıcıda Taranan Alana Etkisi

İğne ile toplayıcı arası mesafe artarken jet yolu artmaktadır. Lifin, jet yolu içerisinde fazladan bulunduğu her an, jetin daha geniş bir alana yayılmasına sebebiyet verecektir. Bu da taranan alanın genişlemesine yol açacaktır.

Denemeler esnasında sabit olan parametreler, debi (2,00 ml/sa), konsantrasyon(%9) ve yüksek gerilimdir(14 kV).



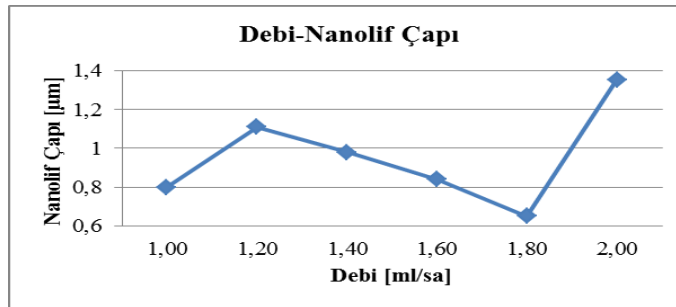
Şekil 2.187 : PCL nanolifleri için iğne-toplayıcı arası mesafe taranan alan ilişkisi

Şekil 2.187’de gösterilen iğne-toplayıcı arası mesafe ile taranan alan ilişkisi incelendiğinde 16 cm’deki deneme haricinde artan mesafeyle taranan alan artmaktadır. Sadece 16 cm’de bir yanlışlık yapılmış olması gerekmektedir.

2.13 PCL İle Yapılan Denemelerde Debinin Nanolif Çapına Etkisi

Akış oranı artmasıyla iğne ucuna beslenen çözelti miktarı artmaktadır. iğne ucunda daha fazla çözelti bulunacak ve taylor konisi daha geniş açıda olacaktır. Bu durumun düz jet mesafesini arttırması beklenmektedir. Düz jet mesafesi artınca, iğne ile toplayıcı arası mesafe sabit olduğundan eğrilme bölgesindeki jetin izlediği yol azalmaktadır. Dolayısıyla nanolif çapının azalması gerçekleşir.

Denemeler esnasında sabit olan parametreler, iğne toplayıcı arası mesafe (16 cm), konsantrasyon (%9) ve yüksek gerilimdir(14 kV).



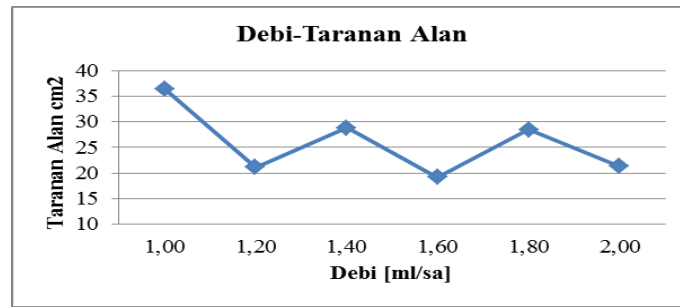
Şekil 2.188 : PCL nanolifleri için debi-çap ilişkisi

Şekil 2.188’de gösterilen PCL nanolifleri için debi-çap ilişkisi incelendiğinde 1,00 ve 2,00 ml/sa debinin dışında diğer denemelerde debinini artmasıyla nanolif çapı azalmaktadır. 1,00 ve 2,00 ml/sa ‘lik denemelerde bu eğime uygun değerler görülememektedir.

2.14 PCL İle Yapılan Denemelerde Debinin Toplayıcıda Taranan Alana Etkisi

Akış oranı artmasıyla iğne ucuna beslenen çözelti miktarı artmaktadır. İğne ucunda daha fazla çözelti bulunacak ve taylor konisi daha geniş açıda olacaktır. Bu durumun düz jet mesafesini arttırması beklenmektedir. Düz jet mesafesi artınca, iğne ile toplayıcı arası mesafe sabit olduğundan eğrilme bölgesindeki jetin izlediği yol azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle eğrilme azalacaktır. Bu da lifin toplayıcıda taranan alanı azaltması gerekmektedir.

Denemeler esnasında sabit olan parametreler, iğne toplayıcı arası mesafe (16 cm), konsantrasyon (%9) ve yüksek gerilimdir(14 kV).



Şekil 2.189 : PCL nanolifleri için debi-taranan alan ilişkisi

Şekil 2.189’da gösterilen PCL nanolifleri için debi- toplayıcıda taranan alan arasındaki ilişki incelendiğinde çok dalgalı bir alanın nanolifler tarafından kaplandığı görülmektedir. Düzenli bir değişimden bahsedilememektedir.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

PAN nanoliflerinin hızlı kamera yardımıyla yapılan denemelerde başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Denemeler esnasında yetersiz ışık kullanılmış olabileceği sonucuna varılmıştır. Bundan dolayı PCL ile elektro üretim yaparken ışık kaynağı sayısı 2 tane arttırılmıştır. Böylelikle daha iyi görüntüler elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle hızlı kamera ile çekim yapılacakken ışık kaynağının çok güçlü olması gerekmektedir.

PAN ile yapılan elektro üretim işlemine benzer bir oluşum gözükmemektedir. Fakat lifler ayırt edilememektedir. Bu noktadan yola çıkarak PCL ile yapılan denemeler esnasında hızlı kamera elektro üretim bölgesine biraz daha yakınlştırılmıştır. Ayrıca ortalama çap değeri daha büyük olan PCL polimerinin seçilmesiyle liflerin küçük olmasından kaynaklanan problem özölmüştür.

Elektro üretim işlemine başlanmadan önce sadece iğne ucu görüntü içerisinde olduğundan odaklanma iğneye yapılmıştır. Fakat düz jetten sonra eğrilmenin başlamasıyla nanolifler geniş bir alana yayılıyor böylelikle odak problemi ortaya çıkmaktadır. Özellikle toplayıcıya ulaşmasına yakın yerlerde nanolif görüntüsü bulanıklaşmaktadır. Yüksek gerilimin etkisinden korunmak için hızlı kamera, elektro üretim bölgesine de fazla yakınlştırılamamıştır. Lifler nanoboyutta olduğu için çok yakından çekim yapmak gerekmektedir. İleriki alışmalar için mutlaka çok iyi özelliklere sahip merceğe sahip olunmalıdır.

Hızlı kamera ile yardımıyla jetin izlediği yolu görebilmek için üç anahtar vardır: iyi bir ışık kaynağı, iyi bir mercek ve iyi bir hızlı kamera.

PAN polimerinden elde edilen nanolif numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde %8, %10 ve %12'lik çözeltilerden elde edilen 500 büyötmeli görüntülerde buharlaşmayan özöcü ve hemen hemen hepsinde boncuklanma görölmektedir. %14'lük çözeltilerden elde edilen görüntülerde ise genel itibariyle düzgün bir üretim görölmektedir. Bundan dolayı yüksek konsantrasyona (%14) sahip PAN özeltilisi elektro üretim yöntemiyle nanolif üretimi için daha uygun görölmektedir.

PAN nanoliflerinin ϕ dağılımları incelendiğinde, çok geniş bir aralıkta ϕ değerlerinin değiştiği görülmektedir. Etkili bir elektro üretim için ϕ dağılımının çok dalgalı olmaması gerekmektedir. PAN nanolifleri için sorun teşkil edecek çok fazla deneme bulunmamaktadır. Bu da elektro üretim esnasında parametrelerin çok fazla değişmediği veya üretim esnasında herhangi bir problem olmadığı hakkında bir fikir vermektedir.

PAN ϕ zeltelerinden elde edilen nanoliflerin voltaj- ϕ değişimlerini gösteren şekilleri (2.95, 2.96, 2.97 ve 2.98) incelendiğinde tüm konsantrasyonlar için ortak bir sonuç çıkarılamamaktadır. %8'lik PAN ϕ zeltisi için voltaj artarken ϕ azalma eğiliminde iken, diğer konsantrasyonlar için net bir şey söylenememektedir. Buradan elektro üretim yöntemiyle PAN nanolifi üretiminde elektrik alan değişiminin nanolif ϕ pını çok fazla etkilemediği sonucu çıkarılmaktadır.

PAN ϕ zeltelerinden elde edilen nanoliflerin debi- ϕ şekilleri (2.99, 2.100, 2.101 ve 2.102) incelendiğinde tüm konsantrasyonlar için ortak bir sonuç çıkarılamamaktadır. Fakat %8 ve %10'luk ϕ zelteler için debi artarken nanolif ϕ pının arttığı görülmektedir.

PAN ϕ zeltelerinden elde edilen nanoliflerin voltaj-düz jet mesafesi. Şekil 2.103 ve 2.104'de incelendiğinde %8, %10 ve %12'lik ϕ zeltelerde voltaj arttıkça düz jet mesafesinin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda konsantrasyon artarken düz jet mesafesi de artmaktadır.

PAN ϕ zeltelerinden elde edilen nanoliflerin debi-düz jet mesafesi. Şekil 2.105, 2.106, 2.107 ve 2.108'de incelendiğinde %8, %10 ve %12'lik ϕ zeltelerde debi arttıkça düz jet mesafesinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

PCI ϕ zeltisinin elektro üretim yöntemiyle nanolif üretimi esnasında çekilen hızlı kamera görüntüleri tatmin edici niteliktedir. Nanolifler ayrı ayrı görünmekte, eğrilme olayı görülmekte, fakat Şekil 2.1'deki gibi bir eğrilme hiç bir kamera görüntüsünde görülememektedir. Yine hızlı kamera görüntüleri sayesinde düz jet mesafesinin sürekli değiştiği görülmüştür. Düz jet mesafesinin değişmesi nanolif ϕ p değerini değiştirmektedir. Bu durum nanoağ üzerinde niye çok farklı ϕ plarda nanolif bulunduğunu açıklamaktadır.

PCL denemelerinde iğne kullanıldığından Taylor konisi görülememektedir. Taylor konisinin çok küçük veya iğnenin içerisinde olduğu düşünülmektedir. Taylor konisini görebilmek için özel tasarım iğneler kullanılmıştır.

PCL polimerinden elde edilen nanoliflerin ortalama çapları mikron mertebesinde olmuştur.

PCL nanolifleri için yüksek gerilim çap ilişkisi incelendiğinde (Şekil 2.184) 14 kV'a kadar düzenli bir artış görülmekte iken artan gerilimle böyle bir değişim görülememiştir.

PCL nanolifleri için yüksek gerilim ile toplayıcıda taranan alan ilişkisi incelendiğinde (Şekil 2.185) aralarında düzgün bir ilişki kurulamamıştır. Voltajın taranan alana ciddi bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

PCL nanolifleri için mesafe çap ilişkisi incelendiğinde (Şekil 2.186) mesafe arttıkça nanolif çapı azalmaktadır. Çünkü jet yolunun uzun olması onun daha çok incelmeye sebebiyet verecektir.

PCL nanolifleri için mesafe taranan alan ilişkisi incelendiğinde (Şekil 2.187) mesafe arttıkça taranan alan artmaktadır. Eğrilme göz önüne alındığında taranan alanın artması beklenen sonuçtur.

PCL nanolifleri için debi çap ilişkisi incelendiğinde (Şekil 2.188) debinin artmasıyla nanolif çapı azalma eğilimindedir. En düşük ve en yüksek debi değerleri bu eğilime uymamaktadır.

PCL nanolifleri için debi taranan alan ilişkisi incelendiğinde (Şekil 2.189) dalgalı bir durum görülmektedir. Değişim için net bir şey söylenememektedir.

Sonuç olarak elektro üretim işleminin ilk jet oluşmaya başladığı andan toplayıcıya ulaşana kadar olan yolu PCL ile yapılan denemelerde başarıyla izlenmiştir. Yine PCL ile yapılan denemelerde elektro üretime başlama anı ve Taylor konisi kayıt altında alınmıştır. İleride, daha geniş iç çapa sahip düzeler kullanılarak yapılacak çalışmalarda Taylor konisinin açısı, parametrelerin değişimiyle nasıl değiştiği gözlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **He Ji-Huan., Liu H., Mo L., Wan Y.,** Xu L., Electrospun Nanofibres and Their Applications, 2008, p. 17-39.
- [2] **J.J. Feng,** Feasibility Study of Conjugated Polymer Nano-composites For Thermoelectrics, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 2003,116, 55.
- [3] **A.M. Ganan-Calvo,** Cone-Jet Analytical Extension Of Taylor's Electrostatic Solution And The Asymptotic Universal Scaling Laws In Electrospray,*Physical Review Letters*, 1997, 79, 217.
- [4] **A.M. Ganan-Calvo,** On The Theory Of Electrohydrodynamically Driven Capillary Jets, *Journal of Fluid Mechanics*, 1997, 335,165
- [5] **A.M. Ganan-Calvo,** The Electrohydrodynamics Of The Charged Liquid Jet Issuing From An Electrified Taylor Cone. Universal Scaling Laws, *Journal of Aerosol Science*, 1999, 30, 7,863.
- [6] **A.M. Ganan-Calvo,** J. Davila and A. Barrero, Current And Droplet Size In The Electrospraying Of Liquids: Scaling Laws, *Journal of Aerosol Science*, 1997, 28,2,249.
- [7] **A.F. Spivak and Y.A. Dzenis,** Asymptotic Decay Of Radius Of A Weakly Conductive Viscous Jet In An External Electric Field, *Applied Physics Letters*, 1998,73, 21, 3067.
- [8] **A.F. Spivak, Y.A. Dzenis and D.H. Reneker,** Mechanics Research Communications, 2000, 27, 1, 37.
- [9] **Y-Q. Wan, Q. Guo and N. PAN,** Thermo-electro-hydrodynamic Model for Electrospinning Process, *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 2004, 5, 1, 5.
- [10]**A.C. Eringen and G.A. Maugin,** Electrodynamics of Continua1: Foundations and Solid Media, *Springer-Verlag*, New York,NY, USA, 1990.
- [11]**A.C. Eringen and G.A. Maugin,** Electrodynamics of Continua 2: Fluids and Complex Media, *Springer-Verlag*, New York,NY, USA 1990..
- [12]**H.J. Ko and G.S. Dulikravich,** A fully non-linear theory of electro-magneto-hydrodynamics, *International Journal ofNonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 2000, 1, 4, 247.
- [13]**J-H. He and Y.Q. Wan,** Allometric Scaling For Voltage And Current In Electrospinning, *Polymer*, 2004, 45, 19, 6731.
- [14]**J-H. He,** Resistance In Cell Membrane And Nerve Fiber, *Neuroscience Letters*, 2005, 373, 1, 48.
- [15]**J-H. He,** Critical Length Of Straight Jet In Electrospinning, *Polymer*, 2004, 45, 26, 9067.

- [16] **J-H. He**, A Modified Hodgkin-Huxley Model, *Chaos, Solutions & Fractals*, 2006, 29, 2, 303.
- [17] **J-H. He**, Some Asymptotic Methods For Strongly Nonlinear Equations, *International Journal of Modern Physics B*, 2006,20, 10, 1141.
- [18] **J-H. He**, He Chengtian's Inequality And It's Applications, *Applied Mathematics and Computation*, 2004, 151,3, 887.
- [19] **D.H. Reneker, A.L. Yarin, H. Fong and S. Koombhongse**, Bending instability of electrically charged liquid jets of polymer solutions in electrospinning, *Journal of Applied Physics*, 2000, 87, 9, 4531.
- [20] **Y.C. Zeng, Y. Wu, Z.G. Pei and C.W. Yu**, "Numerical approach to electrospinning, *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 2006, 7, 4, 385.
- [21] **C.P. Carroll and Y.L. Joo**, Electrospinning of Viscoelastic Boger Fluids: Modeling and Experiments, *Physics of Fluids*, 2006, 18, 5,053102.
- [22] **M.S. El Naschie**, A review of E-infinity theory and the mass spectrum of high energy particle physics, *Chaos, Solitons and Fractals*, 2004, 19, 1, 209
- [23] **M.S. El Naschie**, Elementary prerequisites for E-infinity, *Chaos, Solitons and Fractals*, 2006, 30, 3, 579
- [24] **R. Ostermann, D. Li, Y.D. Yin, Y.T. McCann and Y. Xia**, Nanorods on TiO₂ Nanofibers: A New Class of Hierarchical Nanostructures Enabled by Electrospinning and Calcination, *Nano Letters*, 2006, 6, 6, 1297
- [25] **Li D.,Y. L. Wang and Y. N. Xia**, Electrospinning Nanofibers as Uniaxially Aligned Arrays and Layer-by-Layer Stacked Films, *Advanced Materials*, 2004, 16, 4, 361
- [26] **Costolo M. A., Lennhoff J. D., Pawle R., Rietman E. A., Stevens A. E.**, a nonlinear system model for electrospinning sub-100 nm polyacrylonitrile fibres, *Nanotechnology*, 19, 2008
- [27] **Vaseashta A.**, Controlled formation of multiple Taylor cones in electrospinning process, *Applied Physics Letters*, 90, 2007
- [28] **Chowdhury M., George Stylios**, Effect of experimental parameters on the morphology of electrospun Nylon 6 fibres, *International Journal of Basic & Applied Science*,10, 66, 2010
- [29] **Angammana C. J., Jayaram S.H.**, Effects of electric field on the multi-jet electrospinning process and fiber morphology, *Microfluidics & Electrospinning*, 2011
- [30] **Zheng G., Li W., Wang X., Wu D., Sun D., Lin L.**, Precision deposition of a nanofiber by near-field electrospinning, *Journal of Physics D: Applied Physics*,43, 2010
- [31] **Kozanoğlu, G. S.** Elektrospinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2006

- [32] **Gümüş T.**, Design and Manufacture of Polymeric Nanofiber Membranes via Electrospinning method, Yüksek lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009
- [33] **Kılıç A.**, Eriyikten elektroüretim Yöntemiyle Polipropilen Nanolif Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2008
- [34] **Ramakrishna S., Fujihara K.,Teo W., Lim T., Ma Z.**, An Introduction to Electrospinning and Nanofibers,2005, 63-117
- [35] **Greiner A., Wendorff J. H.**, Electrospinning: A Fascinating Method for the preparation of Ultrathin Fibers, Review,2007,46,5670-5730
- [36] **Filatov Y., Budyka A., Kirichenko V.**, Electrosopinning of Micro- and Nanofibers: Fundamentals and Applications in separation and Filtration Process, 2007, 103-140
- [37] **Guceri S., Gogotsi Y. G., Kuznetsov V.**, Nanoengineered Nanofibrous Materials, 2004, 283
- [38] **Patanaik A., Anandjiwala R. D., Rengasamy R. S., Ghosh A., Pal H.**, Nanotechnology in Fibrous Materials-a new perspective,2007, 73-77
- [39] **Gogotsi Y.** , Nanotubes and Nanofibers,2006, 233-243
- [40] **Andrady A. I.**, Science and Technology of Polymer Nanofibers, ,2008,81-111
- [41] **Url-1**<http://www.photron.com/datasheet/FASTCAM_1024_PCI.pdf> alındığı tarih 03.05.11
- [42] **Url-2**<http://www.ims.uconn.edu/facilities/microscopy_lab_jsm6335.html > alındığı tarih 03.05.11
- [43] **G. C. Rutledge, Y. Li, S., Fridrikh, S. B. Warner, V.E. Kalaycı, P. Patra**, Electrostatic Spinning and Properties of Ultrafine Fibers, *National Textile Center Annual Report*, November,2001
- [44] **Url-3** < <http://www.adobe.com/products/acrobatpro.html> > alındığı tarih 03.05.11
- [45] **Gumus T., Erden O., Gulsen S., Oznergiz E., Demir A.**, A Novel Multifunctional Electrospinning Platform (MEP), *Nano For The 3rd Millennium 2010 Conference*, Raleigh,2010
- [46] **TS EN 14210**, 2005, Yüzey aktif maddeler – Yüzey aktif madde çözeltilerinin ara yüzey geriliminin üzeni veya halka metoduyla tayini ,*Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [47] **Url-4**<<http://www.kruss.de/en/products/tensiometer/educational-tensiometer-k6.html>> alındığı tarih,03.05.11
- [48] **Url-5** < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Lumen> > alındığı tarih 03.05.11
- [49] **Url-6** <http://www.osram.com/osram_com/Consumer/Home_Lighting/LED_lamps/Product_overview/led_reflector_lamps/PARATHOM_R50/index.html>, alındığı tarih 03.05.2011

EKLER

SEMBOL LİSTESİ

ρ : Sıvının yoğunluğu
 u : Jetin hızı
 Q : Hacimsel debi
 σ : Yüzey yükü
 r : Jetin yarıçapı
 k : Akışkanın iletkenlik değeri
 E : Uygulanan elektrik alan
 I : Jetten geçen elektrik akım
 p : Akışkanın iç basıncı
 τ : Viskotik kuvvet
 r : Eksenel z koordinatındaki yarı çapı
 u : Eksenel hız
 σ : Yüzey yük yoğunluğu
 I_c : Ohmik kondüksiyon akımı
 I_s : Yüzey konveksiyon akımı
 I_T : Sıcaklık değişkenine bağlı oluşan akım
 κ : İki yüzey eğiminin ortalaması
 ϵ : Akışkanın dielektrik sabiti
 ϵ : Havanın dielektrik sabiti
 ϵ_p : Elektriksel yalıtkanlık
 I_b : Toplam kondüksiyon akımı
 R_c : İletkenin direnci
 A : Kesit alanı
 k : Direnç sabiti
 δ : Kesitte yük konsantrasyonuna bağlı sabit
 L : Elektrotlar arası mesafe
 $A::$ Elektronların yüzey alanı
 c : Elektrolit çözeltisinin konsantrasyonu
 t : Zaman
 G : Elastiklik Modülü
 u : viskozite
 $l_{i-1,j}$: Alınan parçanın boyu
 x_i, y_i, z_i : Boncuğun kartezyan koordinatları
 α : Parçanın kesit yarı çapı
 N : Toplam boncuk sayısı
 r_i ve r_j : Boncuğun konumu
 R_{ij} : i ve j boncukları arasındaki mesafe
 V_o : Voltaj
 h : Damlacık ile toplayıcı arasındaki mesafe
 $\alpha_{i-1,i}$ ve $\alpha_{i,i+1}$: Filament yarıçapları

F_{ve} : Viskoelastik kuvvet
 F_B : Yüzey gerilim kuvveti
 R_{ij} : Ricci sayısı
 T_{ij} : Enerji Momentum Sayısı
 K : Katlama Sayısı
 g_{ij} : Metrik Tensör

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Y. Emre KIYAK

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa, 18.06.1986

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- DOĞAN Z., **KIYAK Y.E.**, ÖZNERGİZ E., DEMİR A., “ Elektro-Üretim Yöntemiyle Nanolif Yara Örtücü Üretimi”, 3. *Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı*, Bursa, 2011, s. 104-105. (Bu eser Teknik Tekstiller konusundaki yayınlar arasında ikincilik ödülü olarak 2000 USD kazanmıştır)
- GÜMÜŞ T., GÜLŞEN S., **KIYAK Y.E.**, ERDEN O., ÖZNERGİZ E., DEMİR A., “ Çok Fonksiyonu Nanolif Geliştirme Platformu”, 3. *Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı*, Bursa, 2011 , s. 121,1222
- ÖZNERGİZ E., GÜLŞEN S., **KIYAK Y.E.**, GÜMÜŞ T., AŞLAMACI A., DEMİR A., “ Taşınabilir Elektro Üretim Cihazları”, 3. *Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı*, Bursa,2011 , s. 138,139
- ÖZNERGİZ E., GÜLŞEN S., **KIYAK Y.E.**, DEMİR A., “Hava-jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Teknolojisi (AJT²)”, 3. *Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı*, Bursa,2011 , s.161,162
- **KIYAK Y.E.**, ÖZNERGİZ E., DEMİR A., “ Elektro Üretim işleminde Hızlı Kamera Yardımıyla Jet Yolunun Modellenmesi ve Nanolif Çap Tayini için Yeni Bir Yaklaşım”, 3. *Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı*, Bursa,2011 , s.289-290
- DEMİR A., ÖZNERGİZ E., GÜLŞEN S., ERDEN O., DOĞAN Z., BAYCULAR N., GÜMÜŞ T., KOZANOĞLU G.S., **KIYAK Y.E.**, “Nano Liflerden Oluşan Bir Ağ (Nanoweb) Üretimi İçin Taşınabilir Bir Sistemin Gelistirilmesi Ve Prototip İmalatı”, *IITAS 2010 XII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu*, 28-30 Ekim 2010 , s. 418-421

- DOĞAN Z., GÜLŞEN S., ÖZNERGİZ E., **KIYAK Y.E.**, DEMİR A., “Elektro Üretim İşlemi İle Nanolif Yara Örtücü Malzeme Üreten Cihazın Tasarımı”, *5. Ulusal Yara Bakım Kongresi*, Gaziantep, Ekim 2010., s. 54
- **KIYAK Y. E.**, AŞLAMACI A., ÖZNERGİZ E., DEMİR A., “Coating Of A Plant With Nanoweb Using By A Newly Designed Portable Electrospinning Device”, *Nano For The 3rd Millennium 2010 Conference*, Raleigh, August’ 2010.
- DEMİR A., **KIYAK Y.E.**, GUMUS T., Industrial Nanofiber Membrane Production For Separation Technology, *Regional Conference and Exhibition on Membrane Technology and Water Reuse*, 2010, Istanbul
- DEMİR A., **KIYAK Y.E.**, GUMUS T., *Electrospun Nanofiber Waterproof Breathable Membranes*, The Fiber Society Spring 2010, Bursa