

T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İĞNELİ VE İĞNESİZ ELEKTRO LİF ÇEKİM YÖNTEMLERİ
İLE NANO LİF ÜRETİMİNDE TAYLOR KONİ YAPISI VE
FİSKİYE ÖMRÜNÜN ANALİZİ

Baturalp YALÇINKAYA

Danışman: Öğr. Gör. Dr. Demet YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2012

TEZ ONAYI

Baturalp YALÇINKAYA tarafından hazırlanan “**İğneli Ve İğnesiz Elektro Lif Çekim Yöntemleri İle Nano Lif Üretiminde Taylor Koni Yapısı Ve Fıskiye Ömrünün Analizi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Öğr. Gör. Dr. Demet YILMAZ
(Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı)

Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Mehmet DAYIK
(Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı)

Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ
(Süleyman Demirel Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı)

Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Nano Liflerin Tanımı.....	3
1.2.1. Nano liflerin özellikleri.....	4
1.2.2. Nano liflerin kullanım alanları	5
1.2.2.1. Filtrasyon ve koruyucu giysiler	5
1.2.2.2. Kompozitler.....	7
1.2.2.3. Doku mühendisliği ve ilaç salınımı	7
1.2.2.4. Sensör olarak kullanımı	8
1.3. Nano Lif Üretim Metotları.....	8
1.3.1. Fibrilasyon yöntemi ile nano lif üretimi	9
1.3.2. Bikomponent yöntemi ile nano lif üretimi.....	9
1.3.3. Eriyikten lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi.....	10
1.3.4. Elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi.....	11
1.4. Elektro Lif Çekim Yönteminin Esasları	12
1.4.1. Elektro lif çekim yöntemi çeşitleri	12

1.4.1.1. Tek iğneli - tek jetli ve çok jetli yapılar	13
1.4.1.2. Çok iğneli - çok jetli yapılar	14
1.4.1.3. İğnesiz – çok jetli yapılar	16
1.4.2. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler	18
1.4.2.1. Materyal parametreleri	20
1.4.2.2. İşlem parametreler	23
1.4.2.3. Çevresel parametreler	25
1.4.3. Elektro lif çekim yöntemi ile nano lif oluşum aşamaları	27
1.4.3.1. Damla oluşumu	27
1.4.3.2. Taylor koni yapısı	28
1.4.3.3. Sprey başlangıcı	28
1.4.3.4. Uzama ve esneme bölgesi	29
1.4.3.5. Kararsız bölge	29
1.4.3.6. Nano liflerin katılaşması	30
2. KAYNAK ÖZETLERİ	32
2.1. Elektro Lif Çekim Yönteminin Tarihsel Gelişimi	32
2.2. Elektro Lif Çekim İşlemi ve Elektrik Akımı Ölçümü ile İlgili Çalışmalar	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM	41
3.1. Materyal	41
3.2. Yöntem	42
3.2.1. Polimer çözeltilerinin hazırlanması	44
3.2.2. Çözelti özelliklerinin belirlenmesi	45
3.2.2.1. Yüzey gerilim ölçümleri	45
3.2.2.2. İletkenlik ölçümü	47
3.2.2.3. Viskozite ölçümü	48
3.2.3. Elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi	49

3.2.3.1. İğneli elektro lif çekim yöntemi	49
3.2.3.2. Silindirli elektro lif çekim yöntemi.....	51
3.2.4. Silindir üzerindeki polimer film katmanı belirlenmesi	53
3.2.5. Taylor koni yapısının analizi.....	54
3.2.6. Elektrik akımı ölçümü	57
3.2.7. Üretim analizi.....	59
3.2.8. Nano liflerin karakterizasyonu	61
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	62
4.1. Polivinil Alkol ile Yapılan Deneysel Çalışmalar	62
4.1.1. Polivinil alkol polimerinin çözelti özelliklerinin belirlenmesi	62
4.1.1.1. Polivinil alkol polimer çözeltisi yüzey gerilimi ölçüm testi	63
4.1.1.2. Polivinil alkol polimer çözeltisi viskozite ölçüm testi.....	63
4.1.1.3. Polivinil alkol polimer çözeltisi iletkenlik ölçüm testi	64
4.1.2. Polivinil alkol çözeltilerinin silindir yüzeyindeki film katmanı kalınlığı analiz bulguları.....	65
4.1.3. Polivinil alkol çözeltilerinin Taylor koni analiz bulguları.....	66
4.1.4. Polivinil alkol çözeltilerinin üretim analiz bulguları.....	72
4.1.5. Polivinil alkol çözeltilerinin nano lif esaslı yüzey karakterizasyonu	74
4.2. Poliüretan ile Yapılan Deneysel Çalışmalar	77
4.2.1. Poliüretan polimerinin çözelti özelliklerinin belirlenmesi.....	78
4.2.1.1. Poliüretan polimer çözeltisi yüzey gerilimi ölçüm testi	78
4.2.1.2. Poliüretan polimer çözeltisi viskozite ölçüm testi.....	79
4.2.1.3. Poliüretan polimer çözeltisi iletkenlik ölçüm testi	79
4.2.2. Poliüretan çözeltileri ile iğneli elektro lif çekim işlemi	80
4.2.2.1. Poliüretan çözeltilerine ait spreysel yapı analiz bulguları	81
4.2.3. Poliüretan çözeltileri ile silindirli elektro lif çekim işlemi	101

4.2.3.1. Poliüretan çözeltilerinin film katmanı kalınlığı analiz bulguları.....	101
4.2.3.2. Poliüretan çözeltilerinin Taylor koni analiz bulguları	102
4.2.3.3. Poliüretan çözeltilerinin elektrik akım analizi.....	106
4.2.3.4. Poliüretan çözeltilerinin üretim analiz bulguları	115
4.2.3.5. Poliüretan çözeltilerinin nano lif esaslı yüzey karakterizasyonu	117
5. SONUÇ	123
6. KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ.....	140

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İĞNELİ VE İĞNESİZ ELEKTRO LİF ÇEKİM YÖNTEMLERİ İLE NANO LİF ÜRETİMİNDE TAYLOR KONİ YAPISI VE FİSKİYE ÖMRÜNÜN ANALİZİ

Baturalp YALÇINKAYA

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Öğr. Gör. Dr. Demet YILMAZ

Çalışmanın amacı, iğneli ve iğnesiz elektro lif çekim yöntemlerinde elektriksel alanın etkisinde oluşan Taylor koni ve fiskiye yapılarının incelenmesi ve fiskiye ömrünün belirlenmesidir.

İki bölümden oluşan bu tez çalışmasında, iki farklı polimer kullanılmıştır. Birinci bölümde, polivinil alkol (PVA) polimer çözeltilerin yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite özellikleri belirlenerek bu çözeltilerden silindirli elektro lif çekim yöntemi (Nanospider) kullanılarak nano lif esaslı yüzey üretimi gerçekleştirilmiştir. Lif çekimi esnasında eş zamanlı kamera kayıtları alınmış ve Taylor koni sayısı, Taylor koni çapı ve fiskiye ömrü hesaplanarak analiz edilmiştir. Son ürün olarak elde edilen PVA nano lif esaslı yüzeylerden lif çekim performansı değerleri hesaplanarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile lif morfolojisi analizi gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümde, poliüretan (PU) polimeri kullanılarak yine yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite gibi çözelti özellikleri belirlenmiştir. Bu bölümde, iğneli ve silindirli elektro lif çekim yöntemleri kullanılarak PU nano lif esaslı yüzey üretimi gerçekleştirilmiştir. Lif üretimi esnasında yine kameralı kayıtlar ile eş zamanlı olarak fiskiye üzerinden geçen elektrik akım ölçüm kayıtları alınmıştır. Lif çekim performansı değerleri hesaplanan PU nano esaslı lif yüzeylerin görüntüleri SEM ile elde edilerek lif morfolojileri analiz edilmiştir. Her iki polimer çözeltisinden elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

Silindirli elektro lif çekimi esnasında fiskiye üzerinden geçen elektrik akım ölçümü ile ilgili ilk çalışmalar bu tez kapsamında gerçekleştirilmiş olup, elde edilen bulguların bu yöntemin mekanizmasının daha iyi anlaşılmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Poliüretan, Polivinil alkol, nano lif, elektro lif çekimi yöntemi.

2012, 142 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ANALYSIS OF TAYLOR CONE STRUCTURE AND JET LIFE ON THE NANOFIBER PRODUCTION WITH NEEDLE AND NEEDLE-LESS ELECTROSPINNING METHODS

Baturalp YALÇINKAYA

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Textile Engineering**

Supervisor: Lecturer Dr. Demet YILMAZ

The aim of this thesis is the investigation and determination of Taylor cone, jet and life of jet which is under the effect of electrical field in needle and needleless electrospinning.

In this thesis, two different kind of polymer solutions were used and examined in two chapter. In the first chapter, the poly(vinyl alcohol) polymer solution properties such as surface tension, conductivity and surface tension were determined. After determination of solution properties, PVA was spun on roller electrospinning (Nanospider) and fabricated. During the spinning process, camera record was taken to examine the structure and diameter of Taylor cone and life of jet. Fabric throughput was calculated from PVA nanofiber web and then fiber morphology was determined by using Scanning Electron Microscopy (SEM).

In the second chapter, polyurethane polymer solutions were used. Surface tension, conductivity and viscosity of polyurethane (PU) polymer solutions were examined. In this chapter, needle and needleless electrospinning methods were used to produced PU nano webs. During spinning stage, camera records were simultaneously taken with current test on jets. Fabric throughput was calculated and fiber morphologies were identified by using SEM. As a result, both polymer solution results were compared and concluded.

In this thesis, measurement of the current for one Taylor cone was measured during roller electrospinning system. The results will be helpfull for future works to clarify the mechanism of roller electrospinning system.

Key Words: Polyurethane, Poly(vinyl alcohol), nanofiber, electrospinning

2012, 142 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince benden yardımlarını eksik etmeyen, çalışmalarım boyunca beni destekleyen, beni her an anlayışla karşılayan ve doğruyu gösteren hocam Dr. Funda CENGİZ-ÇALLIOĞLU'na ve danışman hocam Dr. Demet YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmam kapsamında bana yol gösteren, derin bilgilerini paylaşan, hayatın her alanında ve akademik hayatta verdiği tavsiyelerle doğruyu ve iyiyi öğütleyen ve tez çalışmalarımı gerçekleştirmemi sağlayan Prof. Dr. Oldrich JIRSAK'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

3050-YL-12 No'lu proje ile bu çalışmaya maddi destek sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca hep yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen doktora öğrencisi Fatma YENER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin hazırlanmasında, deneysel çalışmalarda ve teknik sorunlarda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Filip SANETRNIK, Pavel POKORNY, Tuğba Çiğdem GÖRGEÇ, Mduzi KHUMALO ve Denisa ZALESKOVA'ya ve çalışmalarım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen Jiri CHALOUPEK'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi her konuda beni destekleyen, benden bir an bile olsun ümitlerini kesmeyen ve dualarını eksik etmeyen tüm canım aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunuyorum.

Baturalp YALÇINKAYA
ISPARTA, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Saç telinin poliamid nano liflerle kıyaslanması	4
Şekil 1.2. Polimerik Nano liflerin kullanım alanları.....	5
Şekil 1.3. Konvansiyonel liflerden (a), Nano liflerden yapılmış filtreler (b).....	6
Şekil 1.4. Fare karaciğer hücresinin nano yüzey üzerinde gelişimi.	8
Şekil 1.5. Bikomponent lif üretiminde kesit yapıları.....	10
Şekil 1.6. İğneli elektro lif çekim yöntemi.....	13
Şekil 1.7. Tek iğneli jet üretimi (a), tek iğneli çoklu jet üretimi (b).....	14
Şekil 1.8. Çok iğneli elektro lif üretim sistemi (a), düze başlığı ve koruyucu halka (b), İğneleri sıralanış biçimi (c).	15
Şekil 1.9. Yarin ve Zussman'ın iğnesiz elektro lif düzeneği	16
Şekil 1.10. Balon elektro lif çekim yöntemi.....	17
Şekil 1.11. Silindirli elektro lif çekim yöntemi	18
Şekil 1.12. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler	19
Şekil 1.13 Dağınık ve ıslak liflerin yüzeye toplanması	21
Şekil 1.14. Elektro lif çekim yönteminde kullanılan farklı toplayıcılar	22
Şekil 1.15. Elektro çekim işlemi lif oluşum aşamaları	27
Şekil 1.16. Taylor konisi (a) farklı geometrilerde spreyl başlangıcı	29
Şekil 1.17. Kararsız bölge ve spreyl aldığı biçim.	30
Şekil 1.18. % 12 PVA konsantrasyonda nano liflerin SEM görüntüsü.	31
Şekil 2.1. Cooley patentinde belirtilen elektro lif çekim sistemi	32
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan PVA polimerinin kimyasal yapısı	42
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan PU polimerinin kimyasal yapısı.....	42
Şekil 3.3. Yüzey gerilim ölçüm cihazı.....	46
Şekil 3.4. Yüzey gerilimi ölçümünde sıvı ile levhanın teması	46
Şekil 3.5. İletkenlik ölçüm cihazı	47
Şekil 3.6. İletkenlik ölçümünde levhaların sıvı içinde konumu	48
Şekil 3.7. Viskozite ölçüm cihazı	49
Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan iğneli elektro lif çekim sistemi.....	50
Şekil 3.9. Silindirli elektro lif çekim yöntemi ve döner silindir (a),(b)	51
Şekil 3.10. Polimer çözeltisi film katmanını kalınlığı ölçmede kullanılan cihaz	53

Şekil 3.11. Sony Full HD NEX-VG10E Handycam kamera	54
Şekil 3.12. İğneli elektro lif çekim yönteminde PU polimer çözeltisinden lif çekimi	55
Şekil 3.13. Silindir üzerinde Taylor koni yapısı ve genişliği	55
Şekil 3.14. Silindirli elektro lif çekim yöntemi PVA polimer çözeltisinin Taylor koni yapısı	56
Şekil 3.15. Silindir üzerinde oluşan Taylor koni görüntüleri	56
Şekil 3.16. Sprey üzerinden geçen elektrik akımının ölçülmesinde kullanılan multimetre	57
Şekil 3.17. İğneli elektro lif çekim yönteminde akım ölçüm sistemi	58
Şekil 3.18. Silindirli elektro lif çekim yönteminde akım ölçüm sistemi	58
Şekil 3.19. Lif çekim performansı hesaplamada kullanılan nano esaslı yüzey.	60
Şekil 3.20. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	61
Şekil 4.1. PVA polimer çözeltilerine ait yüzey gerilimi ölçüm sonuçları	63
Şekil 4.2. PVA polimer çözeltilerine ait viskozite ölçüm sonuçları.....	64
Şekil 4.3. PVA çözeltilerine ait iletkenlik ölçüm sonuçları	65
Şekil 4.4. PVA çözeltilerine ait silindir üzerindeki film katmanı kalınlıkları.....	66
Şekil 4.5. PVA çözeltilerine ait Taylor koni sayıları	67
Şekil 4.6. PVA çözeltilerine ait Taylor koni çapları.....	68
Şekil 4.7. PVA çözeltilerine ait sprej ömürleri.....	69
Şekil 4.8. (a),(b) Silindir üzerindeki Taylor koni durumu	70
Şekil 4.9. NaCl tuzunun silindir üzerindeki çözelti film katmanı ve sprej ömrü üzerindeki etkisi.....	71
Şekil 4.10 PVA tuzsuz (a) ve tuzlu (b) çözeltileri için lif çekim performansları.	73
Şekil 4.11. PVA tuzsuz çözeltilerine ait SEM görüntüleri.....	75
Şekil 4.12 %12 PVA ve tuzlu çözeltilerine ait SEM görüntüleri	76
Şekil 4.13. PU çözeltilerine ait yüzey gerilimi ölçüm sonuçları.	78
Şekil 4.14. PU çözeltilerine ait viskozite ölçüm sonuçları.....	79
Şekil 4.15. PU çözeltilerine ait iletkenlik ölçüm sonuçları	80
Şekil 4.16. Sabit sprej yapısı	81
Şekil 4.17. Düzgün sabit olmayan sprej yapısı.....	82
Şekil 4.18. Dalgalı sprej yapısı.....	82
Şekil 4.19. Çözelti damlamalı sabit jet yapısı	83

Şekil 4.20. Çözelti damlaması sonrası başlayan spre yayısı	83
Şekil 4.21. Çözelti damlaması ile başlayan sonra biten spre yayısı	84
Şekil 4.22. %15 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	85
Şekil 4.23. % 15 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	86
Şekil 4.24. % 15 PU + % 0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	87
Şekil 4.25. %15 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	89
Şekil 4.26. %17,5 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	90
Şekil 4.27. % 17,5 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	91
Şekil 4.28. %17,5 PU+%0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	92
Şekil 4.29. % 17,5 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	93
Şekil 4.30. %20 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	94
Şekil 4.31. %20 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	95
Şekil 4.32. % 20 PU + % 0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	97
Şekil 4.33. % 20 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri	98
Şekil 4.34 PU çözeltilerinin iğneli elektro lif çekim yöntemindeki akım değerleri ...	99
Şekil 4.35. PU çözeltilerine ait film katman analiz bulguları	102
Şekil 4.36. PU çözeltilerine ait Taylor koni sayıları.....	103
Şekil 4.37. PU çözeltilerine ait Taylor koni çapları.....	103
Şekil 4.38. PU çözeltilerine ait spre ömürleri.....	105
Şekil 4.39. % 15 PU çözeltisine ait elektrik akım grafiği	106

Şekil 4.40. % 15 PU + % 0,4 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	107
Şekil 4.41. % 15 PU + % 0,8 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	107
Şekil 4.42. % 15 PU + % 1,27 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	108
Şekil 4.43. % 17,5 PU çözeltisine ait elektrik akım grafiği	109
Şekil 4.44. % 17,5 PU + % 0,4 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	109
Şekil 4.45. % 17,5 PU + % 0,8 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	110
Şekil 4.46. % 17,5 PU + % 1,27 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	111
Şekil 4.47. % 20 PU çözeltisine ait elektrik akım grafiği	111
Şekil 4.48. % 20 PU + 0,4 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	112
Şekil 4.49. % 20 PU + 0,8 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	113
Şekil 4.50. % 20 PU + 1,27 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği	113
Şekil 4.51. PU çözeltilerinin silindirli elektro lif çekim yöntemindeki ortalama akım değerleri	114
Şekil 4.52. PU çözeltilerinin silindirli elektro lif çekim yönteminde her bir sprej üzerinden geçen elektrik akım değerleri	115
Şekil 4.53. % 15 PU çözeltisinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (a:% 0 TEAB, b:% 0,4 TEAB, c:% 0,8 TEAB, d:% 1,27 TEAB) (x10.000) .	118
Şekil 4.54. % 17,5 PU çözeltisinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (a:% 0 TEAB, b:% 0,4 TEAB, c:% 0,8 TEAB, d:% 1,27 TEAB) (x10.000) .	119
Şekil 4.55. % 20 PU çözeltisinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (a:% 0 TEAB, b:% 0,4 TEAB, c:% 0,8 TEAB, d:% 1,27 TEAB) (x10.000) .	120

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. PVB polimeri ile iğneli elektro lif çekimi	26
Çizelge 1.2. PVA polimeri ile silindirli elektro lif çekimi	26
Çizelge 3.1. Birinci bölümde kullanılan PVA çözelti değerleri	44
Çizelge 3.2. İkinci bölüm için çalışmada kullanılan PU çözelti değerleri	45
Çizelge 3.3. İğneli elektro lif çekim yönteminde kullanılan parametreler	50
Çizelge 3.4. Silindirli elektro lif çekim yönteminde PVA polimer çözeltisi için uygulanan parametreler	52
Çizelge 3.5. Silindirli elektro lif çekim yönteminde PU polimer çözeltisi için uygulanan parametreler	52
Çizelge 4.1. PVA çözeltilerinin Taylor konisi çaplarına ait ANOVA test sonuçları ..	68
Çizelge 4.2. PVA çözeltilerinin sprej ömrüne ait ANOVA test sonuçları	69
Çizelge 4.3. PVA çözeltilerinin sprej ömrüne ait ANOVA test sonuçları	72
Çizelge 4.4. PVA çözeltilerine ait üretim analizleri	73
Çizelge 4.5. PVA çözeltilerine ait lif çapları ve lif oluşmayan alan değerleri	77
Çizelge 4.6. PU çözeltilerinin iğneli elektro lif çekim yöntemi ortalama lif çapları ..	100
Çizelge 4.7. PU çözeltilerinin Taylor konisi çaplarına ait ANOVA test sonuçları ..	104
Çizelge 4.8. PU çözeltilerinin sprej ömrüne ait ANOVA test sonuçları	105
Çizelge 4.9. PU çözeltilerine ait üretim analizleri	116
Çizelge 4.10. PU çözeltilerine ait her bir Taylor koni için üretim analizi	116
Çizelge 4.11. PU çözeltilerine ait ortalama lif çapları	121
Çizelge 4.12. PU çözeltilerine ait lif oluşmayan alan bulguları	121

SİMGELER DİZİNİ

nm	Nanometre
MgO	Magnezyum Oksit
PEO	Poli etilen oksit
PVB	Polivinil bütiral
CNT	Karbon nano tüp
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
PANI	Poli anilin
PLA	Polilaktik asit
PU	Poliüretan
TEAB	Tetra etilen amonyum bromid
PVA	Polivinil alkol
PAN	Poliakrilo nitril
DMF	Dimetilforamid
PSU	Poli sulfan
PAMPS	Polidiakrilamiddimetilenpropan
NaCl	Sodyüm Klorür
CaCl ₂	Kalsiyum klorid
PCL	Polikaprolaktan
MC	Metilklorid
PVP	Polivinil prolidon
TKE	Tetrakloritan
PMMA	Polimetilmetakrilat
PPM	Parts Per Million (milyarda bir)

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

İnsanların giyinme, korunma ve örtünme ihtiyacıyla başlayan tekstil materyalini işleme isteği, yüzyıllar boyunca birçok birey ve toplum tarafından tarihte sürekli bir gelişim sürecine sahne olmuştur. 18. yüzyılda tekstil endüstrisi; pamuk, yün, ipek gibi doğal tekstil hammaddelerinin kumaş ve diğer ürünlere çevrilmesiyle tam anlamıyla başlamıştır. 19. ve 20. yüzyıllarda petrol sanayisinin gelişimi ile viskoz, polyester ve akrilik gibi sentetik tekstil hammaddeleri de tekstil sektörünün tarihsel gelişiminde kendilerine büyük yer bulmuşlardır.

Tekstil sektörünün sanayileşme sürecinde tekstil yüzeyi elde etmek için kullanılan aşamalardan olan; tekstil hammaddesinin hazırlanışı, örme ya da dokuma kumaşın üretimi, kumaşa son halini kazandıracak boyama ya da bitim işlemi uygulanması ve son olarak halı, mobilya, kıyafet gibi ürün üretiminde kullanım yeri bulması ilk tekstil sanayisinde özdeşleşmiş işlemlerdir. Günümüzde ise tekstil sektörü, insanların giyinme ihtiyacı dışına çıkmış ve farklılaşarak günlük hayatı kolaylaştıran ya da yardımcı olan fonksiyonel tekstil yüzeyler haline gelmiştir. Teknik özellikler kazandırılmış tekstil yüzeylerini elde etmede, zamanla konvansiyonel yöntemler yetersiz kalmaya başlamıştır.

20. yüzyılda sentetik liflere olan talep artmış, 1980’li yıllarda karbon, aramid gibi yüksek performanslı lifler geliştirilmiştir. 1990’lı yıllarda ise nano teknoloji tüm dünyada büyük önem kazanmaya başlamış ve yetersiz olan konvansiyonel yöntemler aşılarak, teknik yüzeyler elde etmede yeni yöntemlerden olan nano boyutlarda lif üretimi üzerine yoğunlaşmıştır (Hongu et al., 2000).

1998 yılı verilerine göre tekstil sanayisi, dünya ticaretinin yaklaşık 370 milyar dolarını, diğer bir deyişle dünya ticaretinin % 6,3’ünü oluşturmaktadır (WTO, 1998). Günümüzde ise Amerika Ulusal Bilim Vakfı (The National Science Foundation) nano malzemeler için yılda 240 milyar dolar pazar oluşturabileceğini tahmin etmektedir. Literatürde sadece Çin 2010 yılında nano konulu 19.501 makale yayımlamıştır. Amerikalı araştırmacıların ise 1975 ve 2010 yılı arasında toplamda

135.301 yayımlanmış makalesi bulunmaktadır (ISI Web Of Knowledge; SCI, 2012). Güncel verilerle birlikte nano teknolojinin enformasyon devriminde büyük bir yer kapladığı anlaşılmaktadır. Nano teknolojinin 2025 yılına kadar gelişimini tamamlaması ve 21. yüzyıl sonlarına kadar hızla büyüyerek yaygınlaşması beklenmektedir. Dolayısıyla, önemi her yıl katlanarak artan nano teknolojiyi anlamak için ortada temel ve pratik bir soru bulunmaktadır: “Nano” kelimesi nedir ya da “nano-etkin” maddeyi oluşturan nano malzemeler nelerdir?

Terim olarak nano farklı bir geçmişe sahiptir. SI gösterim sistemine sahip olan tüm ön ekler gibi nano ön eki ingilizceden değil, yunancada küçük yaşlı adam anlamı da bulunan ama esas olarak “cüce” ya da “bodur” anlamı taşıyan “nanos” kelimesinden gelmektedir (Ramakrishna et al., 2005). Nano teknoloji ise “mevcut teknolojilerin daha ileri düzeyde duyarlılık ve küçültülmesine dayalı olarak atom veya moleküllerin hassas bir şekilde kullanılması” olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle nano teknoloji; atomsal düzeyde, materyallerin ve araçların inşa edilmesi; bu ölçekte ölçme, tahmin etme ve yapım faaliyetlerinde bulunulması, fonksiyonel cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir (Demir ve Oruç, 2004).

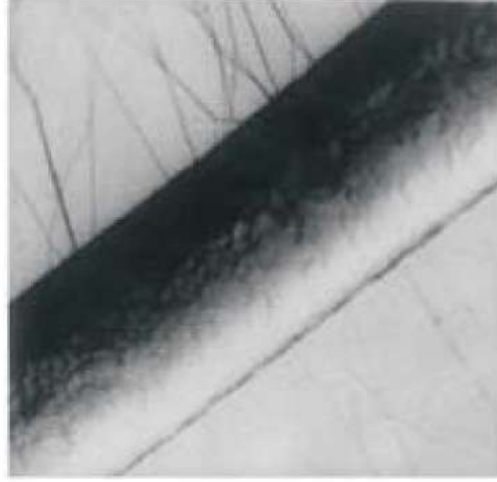
Nano malzemelerin etkin maddesi söz konusu olduğunda ise kullanım yerinin en önemli faktörlerden biri olduğu söylenebilir. Kullanım yerine göre özellik kazandırılan nano materyaller, günümüzde tekstilin yanı sıra otomotiv, elektronik, bilişim, iletişim, tıp gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Nano teknoloji uygulamaları tekstilde nano tekstil olarak adlandırılmaktadır. Tekstil ürünlerinin hammaddesini oluşturan lifler, nano tekstil uygulamaları içinde nano boyuta indirgenerek ya da üretilerek fonksiyonel özellik kazandırılmaktadır. Bu değişim sürecinde hammaddeden elde edilen ürünün özelliklerini de geliştirmektedir. Nano liflerin çok küçük çapta üretilibilmeleri ve oldukça geniş yüzey alanına sahip olmaları en üstün özellikleri arasında yer almaktadır. (Salem, 2001). Tekstil alanında yenilikçi üretimlerden olan nano lifler, sahip oldukları üstün özelliklerle birçok kullanım alanı bulunmaya başlanmıştır. Kullanılan polimer çeşidine göre, kozmetik cilt maskeler, membran, askeri ve koruyucu giysiler, tıbbi tekstiller, hava filtreleri, ses yalıtımı, doku mühendisliğinde, yara bandı yapımı gibi birçok uygulama alanında kullanım alanı bulunmaktadır.

Günümüzde nano lif üretim sistemlerinden olan elektro lif çekim yöntemi en çok tercih edilen yöntemlerden biri olmuştur. Literatürde elektro lif çekim esnasında bu sistemin mekanizmasını anlamaya yönelik çalışmalara sıkça yer verilmektedir. Bu çalışmalara detaylı, bir şekilde kaynak özetleri kısmında yer verilmiştir.

Bu çalışmada, iğneli ve seri üretim sistemlerinden olan silindirli elektro lif çekim yöntemi ile farklı polimerlerle nano lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan polimer çözeltilerin iletkenlik, yüzey gerilimi ve viskozite özellikleri belirlenmiş, silindir yüzeyinde oluşan polimer çözeltisi film tabakasının kalınlığı ölçülmüştür. Üretim sırasında kameralı kayıtları alınarak hesaplanan toplam Taylor koni sayısı belirlenmiştir. Üretim sonrası elde edilen nano lif esaslı yüzeylerden lif çekim performansı ve kumaş performansı hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalarda, bu konuyla ilgili daha önce tamamlanmış olan doktora çalışmalarının materyal metot kısımları takip edilmiştir (Tuan, 2010; Cengiz-Çallıoğlu, 2011) . Bu tez kapsamında yenilik ise elektro lif çekim yönteminde mekanizma elemanlarından olan Taylor koni ve fiskiye yapısını ayrıca fiskiye ömrünü anlamak ve yorumlayabilmek için eş zamanlı olarak kameralı görüntü ve akım ölçüm kayıtları alınmıştır. Özellikle de silindirli elektro lif çekim yönteminde üretim esnasında, Taylor koni yapısı ve fiskiye (sprey) ömrü analizi ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma yer almadığı için bu boşluğu doldurmak açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

1.2. Nano Liflerin Tanımı

Modern tanımıyla nano, fiziksel miktarların milyarda biridir. Nano saniye (zaman), nanogram (ağırlık) gibi kullanım şekilleri bulunmakla birlikte tekstilde lif çapı için kullanılan birim nanometredir (uzunluk). Lif çapını ifade ederken kullanılan nanometre ($1 \text{ nm} = 10^{-9}$) akademik alanda 100 nm ve altı olarak kabul edilmiştir. Nano teknolojide ticari sektörler sınıflandırma yaparken 300 nm veya 500 nm gibi geniş bir esnekliğe izin vermiştir. Bazı akademisyenler ise alt mikron olarak sınıflandırmışlardır (Ramakrishna et al, 2005). Genel olarak nano lifler için “çapı 1 mikron ve altındaki lifler” tanımı tercih edilmiştir (Rao and Cheetham, 2001). Şekil 1.1.’de nano liflerin insan saç teline olan karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 1.1. Saç telinin poliamid nano liflerle kıyaslanması (Gibson et al., 2001)

1.2.1. Nano liflerin özellikleri

Nano liflerin sahip olduğu geniş yüzey alanı ve küçük gözenek boyutları, bu liflere olan önemi arttırmaktadır. Üretilen nano liflerin özellikleri, işlem esnasında kullanılan besleme debisine, uygulanan voltaja diğer taraftan polimerin viskozitesine, yüzey gerilimine ya da iletkenliğine bağlı olarak değişmektedir (Subbiah et al., 2005). Ayrıca nano liflerin diğer özellikleri şu şekilde özetlenebilir;

- Yüksek mekanik özelliklere ve esnekliğe sahiptir,
- Mikroorganizmalara ve küçük parçacık geçişine karşı iyi bir bariyerdir,
- Birim ağırlığında iyi mukavemet gösterir,
- Yüksek nem ve ya buhar geçiş oranı sağlar,
- Direkt yüzey kaplamalarında fonksiyonel davranışlar sergiler,
- Oda sıcaklığında kuvvetli, basit sermaye donanımıyla üretilir,
- Üretim için düşük enerji gerekir,
- Ağırlığına oranla yüksek yüzey alanına sahiptir,
- Sıkı gözenek yapısı vardır,
- Pürüzsüzdür ve kaplama özelliğine sahiptir. (Nanostatic, 2009)

1.2.2. Nano liflerin kullanım alanları

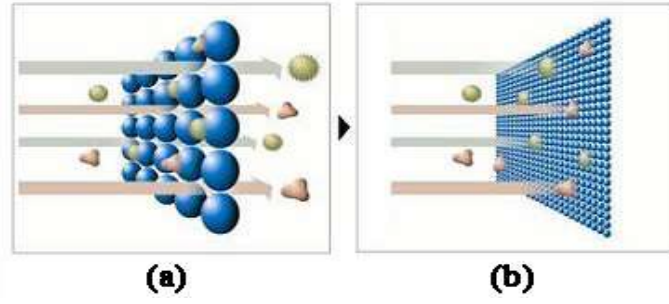
Son yıllarda nano liflerle ilgili bilimsel yayınların ve patentlerin sayısında hızla bir artış meydana gelmiştir. Bu teknoloji üzerine verilen patentlerin büyük bir çoğunluğu ABD ülkesine ait biyolojik ya da tıbbi tekstiller alanında yapılmış çalışmalardır. Araştırmacıların çoğu tarafından takip edilen nano liflerin filtrasyon üzerine yapılan çalışmaları büyük yer tutmaktadır. Sensörler, kompozitler ve katalizler nano liflerin uygulama alanlarının çeşitliliğini ortaya koymaktadır. Şekil 1.2’de nano liflerin kullanım alanları geniş bir şekilde verilmiştir (Huang et al., 2003).



Şekil 1.2. Polimerik Nano liflerin kullanım alanları (Huang et al., 2003)

1.2.2.1. Filtrasyon ve koruyucu giysiler

Filtrelerin havadaki parçacıkları yakalayabilme veriminin artması için filtre olarak kullanılan yüzeyi oluşturan liflerin çapları küçük olması gerekmektedir (Liu and Rubow, 1986; Park and Park, 2005; Qin and Wang, 2006).



Şekil 1.3. Konvansiyonel liflerden (a), Nano liflerden yapılmış filtreler (b)
(Anonymous, 2012)

Filtrasyon verimi, filtre olarak kullanılan yüzeylerin yapısında bulunan liflerin çapıyla doğrudan alakalıdır. Dolayısıyla lif çapı, filtre performansını etkilemektedir, Şekil 1.3’de görüldüğü gibi geleneksel ve nano yapıli yüzeylerden görüldüğü gibi, lif çapının azalmasıyla filtre olarak kullanılan yüzey daha verimli hale gelmektedir ve partiküller daha kolay yakalanmaktadır.

Nano lifler, hava ya da gaz filtreleri kadar sıvı filtrelerinde de geniş kullanım alanına sahiptir (Shin et al., 2005; Wang et al., 2005; Yoon et al., 2006). Nano liflerden üretilmiş yüzeylerin havaya karşı çok düşük direnç göstermeleri filtrasyon alanında bu yüzeyleri özellikli kılmaktadır. Hava filtresi üreticisi Donaldson ticari firması uzun yıllardır entegre nano lifler ile ürettikleri yapılarla birçok patentin sahibidir. 1981 de ticari ismini alan Donaldson’s ultraweb nano lif filtreleri endüstriyel alanda hava filtresi olarak kullanılmaktadır. Düşük maliyetli, yüksek verimli hava filtreleri iç güvenlik ve askeri pazarlarda da büyümesi beklenmektedir. Askeri personellerinde kullanabileceği kimyasal gazlara ve sıvılara karşı filtre görevi görece nano lifli yapılara şimdiden talep vardır. Filtrelerden istenen yüksek nem geçirgenliği, nefes alabilir yüzeyler ve diğer taraftan biyolojik parçacıkları dışarıda tutacak şekilde tasarlanmalıdır. Yüksek zorlanmaya ve sıcaklığa dayanabilen özellikle kimyasal parçacıklı tehditlere karşı filtre görevi gören magnezyum oksit (MgO) nano liflerden üretilmiş filtreler bulunmaktadır (Ramaseshan et al., 2006). Sinir sistemini etkileyen kimyasal gazlara karşı koruma gösteren ve MgO – polietilen oksit (PEO) kompozit polimer karışımından üretilen filtreler üzerine çalışmalar yapıldığı bildirilmiştir (Subbiah et al., 2005).

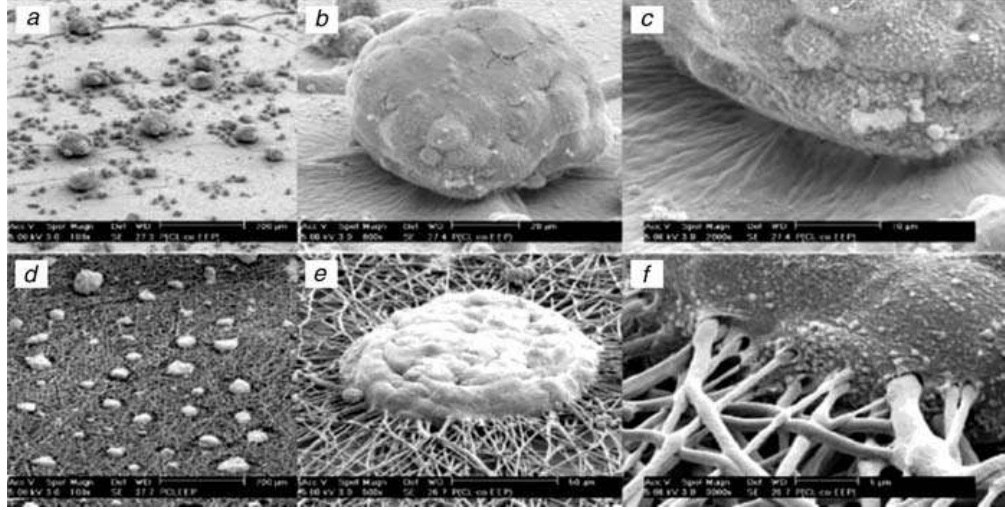
Nano lifler tek başına kullanılabildiği gibi dokusuz yüzeylerle kombine olarak koruyucu kıyafetler de kullanılabilmektedir.

1.2.2.2. Kompozitler

Dolgu maddeleri ve elyaf içerikli yapıların mekanik özelliklerini arttırmak için polimer teknolojisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Konvansiyonel liflerden olan karbon, cam ve aramid lifleri, polimerle sıkça kullanılan kompozit karışımlardandır (Chronakis, 2005). Katkı maddelerin az miktarda kullanımı, kompozit yapıların mukavemetini ve uzama katsayılarına büyük etki yapmaktadır. Bu tür iyileştirmeler kompozit yapıların bileşenlerine bağlı olmakla birlikte lif yüzey alanından da etkilenmektedir. Nano liflerin ise geniş yüzey alanları sayesinde iyi bir kompozit özelliği sunmaktadır. Li ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Polivinil butiral (PVB) polimerinin etanol içinde çözölmüş ve çözelti içine elde edilen son ürünün mekanik özelliklerini yükseltmek için farklı konsantrasyonlarda karbon nano tüp eklemiştir. Hazırladıkları PVB/CNT kompozit çözeltisini elektro lif üretim sisteminde çekerek, yüzey elde etmişler ve elde edilen yüzeyin mukavemetinde ve özellikle elektrik iletkenliğinde büyük artış gözlemlemişlerdir (Li et al., 2011).

1.2.2.3. Doku mühendisliği ve ilaç salınımı

Yapay organlara (Venugopal and Ramakrishna, 2005; Zong et al., 2005), biorezorbabl 3 boyutlu doku şaplona (Murugan and Ramakrishna, 2006) ve ilaç taşınımı sağlayan platformlara (Zhang et al., 2005a) olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu liflerin, nano liflerin yüksek yüzey alanına sahip olması avantajı, tıp alanında kullanım alanı bulmasını kolaylaştırmaktadır. Bakteriler tarafından parçalanabilen polimerler, nano boyuta indirgenerek nano yüzeyler haline getirilebilmektedir. Bazı hücreler tarafından ise konak olarak kullanılarak üzerinde çoğalabilmelerine izin vermektedir. Özellikle memeli kök hücrelerinin nano yüzeylerin üzerinde yaşayıp çoğalabilmeleri araştırmacıları heyecanlandırmaktadır.



Şekil 1.4. Fare karaciğer hücresinin nano yüzey üzerinde gelişimi

Galaktoz içeren nano yüzey üzerinde fare karaciğer hücresinin gelişimi Şekil 1.4’te verilmiştir. Üst kısımda bulunan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde hücre ve altında polimer film yüzeyi görülmektedir. Alt kısımdaki görüntülerde ise hücrenin gelişimi gözlenebilmektedir (Chua et al., 2005).

1.2.2.4. Sensör olarak kullanımı

Nano liflerin, yüksek fonksiyonel alana sahip olması yanında düşük seviyedeki analitlere hızlı tepki vermeleri, onları cazip sensör malzemelerinden yapmaktadır (Aussawasathien et al., 2005; Dersch et al., 2005; Ding et al., 2005). Örneğin, Poli anilin (PANI) polimeri kullanarak 100 nm lif çaplarında üretilen nano yüzeyler üzerinde yapılan çalışmalarda, 0,5 ppm den küçük değerlerde (NH_3) amonyak tespit edilebilmiştir. (Liu et al., 2004). Nano liflerin geometrik yapısının ise kimyasal sensör kullanımda etkiye - tepki süresini ve hassasiyetini geliştirdiği ortaya çıkmıştır.

1.3. Nano Lif Üretim Metotları

Polimer esaslı nano lifler birçok farklı teknik ile üretilenmektedir. Günümüzde ise en yaygın olarak kullanılan yöntem, elektrostatik alanın etkisiyle nano lif üretimidir. Diğer üretim yöntemlerinden olan fibrilasyon, eriyikten lif çekimi ve bikomponent yöntemi ile nano lif üretimi çok kullanılsa da, bilimsel çalışmalarda ve ticari

Üretim yöntemlerinde elektrik alanın etkisi olmadan düzelerden çekilerek elde edilen yöntemler olarak bilinmektedir.

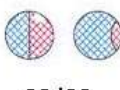
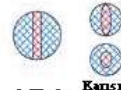
1.3.1. Fibrilasyon yöntemi ile nano lif retimi

Genellikle yüksek basıncı homojenleyici gibi fiziksel ya da asit hidrolizi gibi kimyasal bitim işlemleriyle selüloz fibril ve bir araya getirilmiş fibriller hazırlanmaktadır. Fibrilasyonlaştırılmış liflerin çapı 50-500 nanometre arasında değişmektedir. Bu ap aralığı nano lif doku oluşturan elektro lif çekim ve eriyikten çekim yöntemleriyle hemen hemen aynıdır. Bu fibrilleştirilmiş lifler, kağıt yapımı ve diğer ıslak proseslerde kullanılmaktadır (Yener, 2010).

1.3.2. Bikomponent yöntemi ile nano lif retimi

Bikomponent yöntemi ile lif üretimi, iki adımdan oluşan bir süreçtir. İlk olarak iki farklı polimer aynı dzeden çekilmekte ve ardından bir polimer çözülerek uzaklaştırılmaktadır (Jeffries, 1971). Bikomponent lifler kesit şekline göre denizde adacık (island of sea), yan-yana, i-içe, kabuk-öz gibi çeşitlerden oluşmaktadır. Bu retim tekniğinde üretilen liflerin kesitsel çapları mikrometre çaplara sahip olsa da mevcut lif üretim tekniklerindeki gelişmelerle nano boyutlara inilememiştir.

Nylon 6 (ada) ve poli laktik asit (PLA – deniz) polimerleri aynı dzeden çekilerek denizde adacık kesit şekline göre üretilmiş ve deniz kısmının ayrılmasıyla elde edilen liflerin mikron ya da nano boyutta olduğu bildirilmiştir (Fedorova and Pourdeyhimi, 2007). şekil 1.5’ te farklı kesit yapılarında bikomponent liflere örnek verilmiştir.

Lif Kesit Yapısı	BİKOMPONENT LİFLER ŞEKİLLERİ				
Kabuk Öz	 50/50	 20/80	 Rastgele	 Uç parçalı	 İletken
Yan Yana	 50/50	 Karışık Viskoziteli	 ABA Karışık Viskoziteli	 Uç parçalı	 İletken
Uç Yapılı	 Uç parçalı	 Karşılıklı			
Micro Denye	 Dilimli pasta	 Denizde ada	 Çizgili		

Şekil 1.5. Bikomponent lif üretiminde kesit yapıları
(www.hillsinc.net/brochures/Nanofibers)

1.3.3. Eriyikten lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi

Eriyikten lif çekim yöntemi, bir adımda mikrometre ve daha küçük boyutlarda üretim gerçekleştirebilen çok yönlü bir işlemdir. Bu teknoloji ilk olarak 1950’de Amerikalı araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir (McCulloch, 1999). Eritilmiş polimer düzelerden çekilmekte ve çıkışta sıcak hava üflenerek inceltilmektedir. Sonuçta uygun toplayıcı elektrot üzerine lifler ağ şeklinde toplanmaktadır. Toplam lif çapı; lif üretim verimine, eriyik polimerin viskozitesine, polimerin sıcaklığına, üflenilen havanın sıcaklığına ve hacmine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Farklı araştırmacılar tarafından, eriyikten lif çekim yöntemi ve bu sistemden üretilen lif yapısı özellikleriyle ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Shambaugh, 1988; Dutton, 2008; Gahan and Zguris, 2002). Bhat ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada eriyikten lif çekim sisteminde kullandıkları özel düzelerle ve değiştirilmiş üretim parametreleriyle 50-2000 nm arası çapa sahip nano lif üretimi gerçekleştirilmiştir (Bhat et al., 2009). Başka bir çalışmada, Brang ve arkadaşları düzede bulunan gözeneklerde değişikliğe giderek küçük gözeneklerden geniş yüzey alanına sahip lif çekimi sağlamıştır. Polimer besleme hızı yavaşlatılmış (0.01 g/gözenek/dakika) ve üretim hızındaki azalma çekim düzelerindeki gözenek artışıyla telafi edilmiştir. (her inçte 100 gözenek). Sıcak ve basınçlı hava düzelerden çıkan liflere uygulanarak lifler

dönen silindirlere toplanmıştır. Geliştirilen sistemde termo plastik polimerlerde, çapı 500 nm den küçük liflerin seri şekilde üretimi yapılabilmektedir.

1.3.4. Elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi

Nano lif üretiminde kullanılan en yaygın yöntem, elektro lif çekim (electrospinning) yöntemidir. Elektro lif çekim yönteminin kökeni, 1934'te elektrik alan kuvvetini kullanarak suni lif üreten Formhals patentine dayanmaktadır (Formhals, 1934). Formhals sistemi, “elektrik alan kuvvetinin sıvılara olan etkisine dayanır ve uygun elektrik alan içinde bulunan sıvı damlası ya da iğne ucundan beslenen sıvı, koni şeklini alır ve daha sonra sprey haline gelmesi” şeklinde özetlenmektedir.

Elektro lif çekimi iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar, polimer hazırlanarak çözültiden elektro lif çekimi ve eriyikten elektro lif çekimi. Polimer çözültiden elektro lif çekimi daha yaygın olmakla beraber, bu çalışmada da polimer esaslı elektro lif çekimi uygulanmıştır.

Elektro lif çekim yöntemi ile üretilen nano yüzeyler, nano yüzeylerin özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili konular birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Bognitzki et al., 2001; Duan et al., 2004; Koski et al., 2004; McKee et al., 2004; Lin et al., 2004). Elektro lif çekimi en yaygın nano lif üretim metotlarından olmasına rağmen, düşük üretim başlıca sorunlarını oluşturmaktadır.

Bu tür sorunlar, günümüzde yapılan gelişmelerle aşılmış durumdadır. Farklı araştırmacılar tarafından elektro lif çekim yönteminde üretimi artırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır (Yarin and Zussman, 2004; Fujihara and Ramakrishna, 2005; Tomaszewski, 2005; Bocanegra et al., 2005; Paruchuri and Brenner, 2007; Vaseashta, 2009). Nano lif üretimini artırmaya dayanan en basit prensip, üretim esnasında oluşan sprey sayısını artırmaktır. Bunun için farklı teknikler uygulanmıştır. Nano lif üretim tekniklerinden olan bu yöntemler; çok spreyli (fiskiyeli) - tek iğneli, çok spreyli (fiskiyeli) – çok iğneli ve iğnesiz (Yarin and Zussman, 2004; Jirsak et al., 2005) sistemdir.

1.4. Elektro Lif Çekim Yönteminin Esasları

Elektro lif çekim sistemini anlamak için, polimer esaslı lif üretimi ardında yatan mekanizmaya bakılması gereklidir. Büyük çaplarda lif üretimine sahip olan konvansiyonel lif üretiminde, düzelerden eritilmiş polimer akıtılarak ve silindirlerde çekilerek lif oryantasyonu gerçekleştirilmektedir.

Eritilerek çekilen polimer çözeltisinin, düzelerden aldığı formu koruması için kurutulması gerekmektedir. Elektro lif çekim yöntemi de aynı şekilde polimer çözeltisinin çekilmesiyle elde edilir. Ancak konvansiyonel yöntemlerdeki gibi düzelerden akıtılan erimiş polimer çözeltilerinin mekanik sistemlerde lif şekli verilmesinin aksine, elektro lif çekim yönteminde; polimer çözeltileri elektriksel alan kuvvetine maruz bırakılarak, polimer çözeltisi besleyen elektrottan diğer elektrot olan toplayıcıya bir çekim kuvveti kazandırmaktır. Polimer çözeltisi besleyici platformdan toplayıcı elektrot arasında elektrik alan oluşturmak için, yüksek voltaj kaynağından uygulanan gerilim, yeterli değere ulaştığında beslenen polimer çözeltisi damlasından toplayıcıya doğru fiskeye (sprey) oluşturmaktadır. Çözelti içerisindeki polimer zincir dolaşıklığı elektro lif çekiminde oluşan spreyn toplayıcıya doğru uzanmasını sağlamakta ve kopmasını önlemektedir. Konvansiyonel yöntemlerde kullanılan eriyik polimer çözeltileri atmosfer şartlarında soğumakta ve katılaşmaktadır. Elektro lif çekim yönteminde kullanılan polimer çözeltilerinde ise çözücünün uçması ile polimer lifleri katılaşır. Toplayıcıya biriktirilirken katılaşan polimer çözeltisi toplayıcı üzerinde kuru veya yarı kuru nano lifler halinde toplanmaktadır. Elektro lif çekim yöntemi, temelde bir polimer akışkan çekim yöntemidir ve bu sebeple birçok polimerden bu yöntemle lif oluşturulabilmektedir. Elektro lif çekim yöntemiyle farklı uygulama alanına bağlı olarak materyaller, üretilebilmektedir. Polimer ve polimer nano lif kompozitli materyaller doğrudan elektro lif çekim yöntemiyle üretilebilmektedir (Ramakrishna et al., 2005).

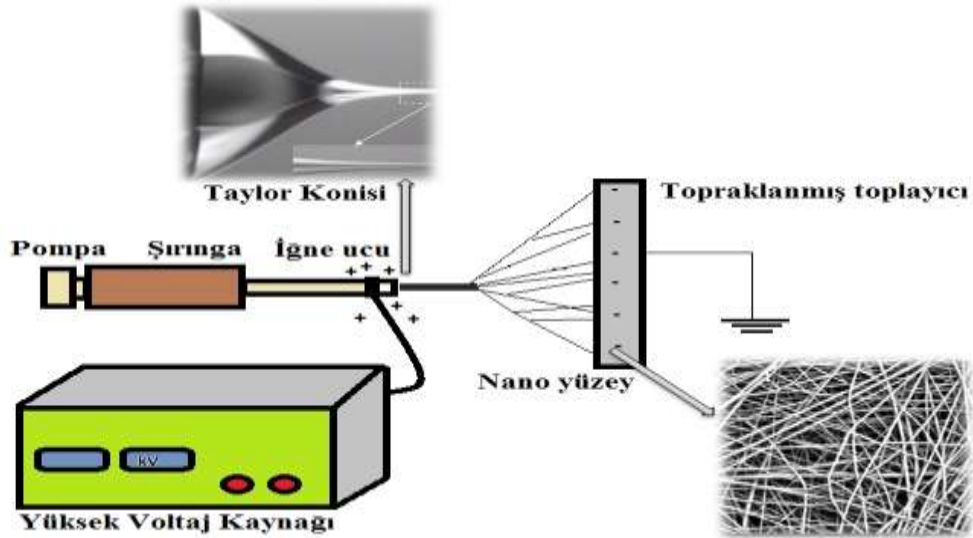
1.4.1. Elektro lif çekim yöntemi çeşitleri

Önceki başlıklarda bahsedildiği gibi polimer esaslı elektro lif çekim sisteminde bulunan basit lif üretim sistemlerini geliştirmek ve üretim performansını arttırmak

için çalışılmıştır. Elektro lif çekim yönteminde nano lif üretim sistemleri tek iğneli, çok iğneli ve iğnesiz yapılar olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

1.4.1.1. Tek iğneli - tek jetli ve çok jetli yapılar

Genel olarak, elektrik alanının meydana gelmesiyle tek iğne başlığından sadece bir koni ve sonucunda tek sprej elde edilmektedir. Elektriksel voltaj uygulanan çözelti damlasının şekil değiştirerek koni halini alması ilk kez Taylor tarafından 1960'lı yıllarda bulunmuştur ve adına Taylor konisi denmiştir (Taylor, 1964). Günümüzde nano lif üretiminde konvansiyonel sistemlerden olan tek iğneli lif üretim yönteminde polimerik yapıdaki çözeltileri elektro statik kuvvetlerin etkisiyle nano lif esaslı yüzey üretimi kolay ve zahmetsizdir. Seri üretime uygun olmaması nedeniyle çoğunlukta laboratuvar şartlarında araştırma amaçlı az miktarda üretim yapılmaktadır. Şekil 1.6'da en yaygın elektro lif yöntemlerinden olan iğneli düzenek bulunmaktadır.



Şekil 1.6. İğneli elektro lif çekim yöntemi

İğne ucundan pompa yardımıyla belirli hızda beslenen polimer çözeltisine uygulanan yüksek voltaj, iğne ucu ile toplayıcı elektrot arasında elektriksel alan oluşturmaktadır. İki elektrot arasında oluşan yüksek gerilim farkından dolayı iğne ucundaki çözelti damlasının şekli değiştirmekte ve Taylor konisi şeklini almaktadır. Yeterli voltaj, polimer çözeltisinin yüzey gerilimini aştığı anda Taylor koni yapısının

tepe kısmından çözelti sprej haline gelmekte ve iğne ucu ile toplayıcı elektrot arasındaki mesafe kadar yol kat etmektedir. Aynı anda buharlaşarak katılaşmakta, toplayıcı üzerinde kuru nano lif esaslı yüzey halinde toplanmaktadır.

Elektro lif çekim yöntemi ile lif çekim işlemi çok hızlı gelişmektedir. Çözelti sprej halini almasıyla lif halinde toplayıcı yüzeyde toplanması saniyenin 10' da 1' i kadar (0,1s) sürede meydana gelmektedir. Buna rağmen, iğneli sistemde üretim miktarı çok düşüktür ve iğnede yaşanan sürekli tıkanma sorunu nedeniyle üretim esnasında kesilmeler meydana gelmektedir. Bu problemleri gidermek amacı ile yeni yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır.

İlk kez Yamashita, tek iğneli düzenekten çoklu sprej elde etmiştir. El yapımı ve paslanmaz çelikten yivli bir ucu, camdan yapılmış şırınga üzerene monte etmiş ve kurduğu elektro lif çekim düzeneğinden boncuksuz polibütadien yüzey elde etmiştir.



Şekil 1.7. Tek iğneli jet üretimi (a) ve tek iğneli çoklu jet üretimi (b)

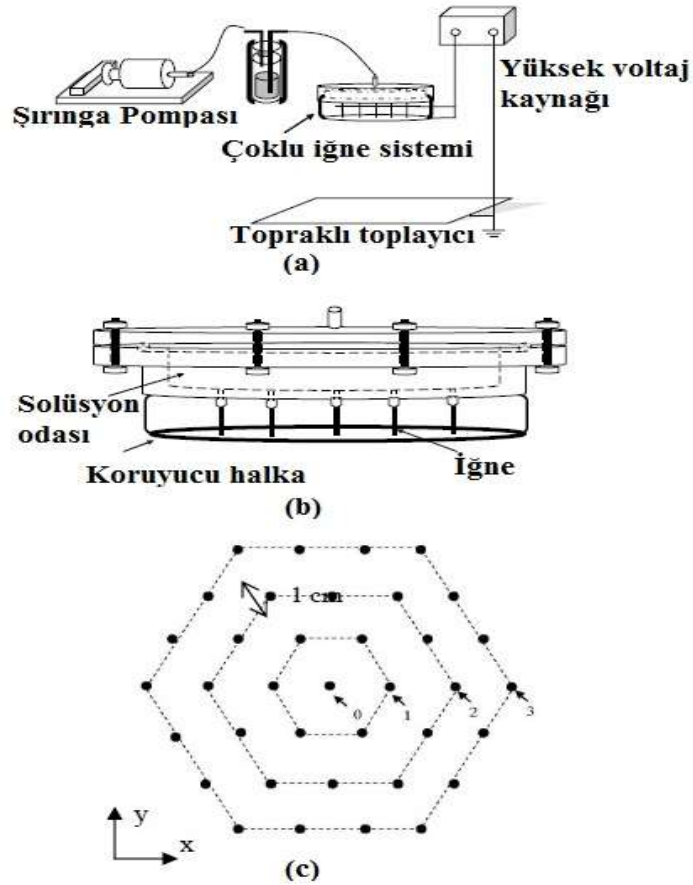
Şekil 1.7’de tek iğneli fakat farklı işleve sahip nano lif üretim sistemleri bulunmaktadır. konvansiyonel tek iğneli nano lif üretim sistemi (a), tek sprej ve az miktarda üretim sergilemektedir. Yamashita’nın geliştirdiği sistem ile tek iğneli olmasına rağmen çoklu sprej üretebilmektedir (b) (Yamashita et al., 2007).

1.4.1.2. Çok iğneli - çok jetli yapılar

Elektro lif çekim yönteminde çok iğneli sistemler, verimliliği artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Sistemlerin tasarımı esnasında yapılan düzenlemeler, iğne sayısı ve iğne çapı üzerine odaklanılmıştır (Regele et al., 2002; Kim et al., 2006; Lee et al.,

2006; Teo et al., 2007). İğneler doğrusal sıralanarak iki boyutlu yapılarda, oval, yuvarlak, üçgen ve kare şekilde olabilmektedir. Örneğin, 4 iğne doğrusal düzende sıralanarak nano ölçüde üretim yapılabilir (Bowman et al., 2003). Farklı iğnelerin ortaya çıkardığı dağınık elektriksel alan nedeniyle nano lifler dengesiz şekilde toplanmaktadır. Ding ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada hareket edebilen 4 iğneli polimer çözeltisi besleme sistemi kullanılmıştır. Liflerin toplanması için kendi eksenini etrafında dönen silindirik toplayıcı ile düzenli incelikte ve homojen dağılıma sahip nano lifler elde edilmiştir (Ding et al., 2004).

Bu konuda yapılan son çalışmalardan birinde Yang ve arkadaşları çoklu iğne sistemini geliştirmiştir. Altıgen şeklinde sıralanan iğnelerin etrafına elektrik alan düzenlemek ve lif elde etmek amacıyla koruyucu halka yerleştirilmiştir (Şekil 1.8.).

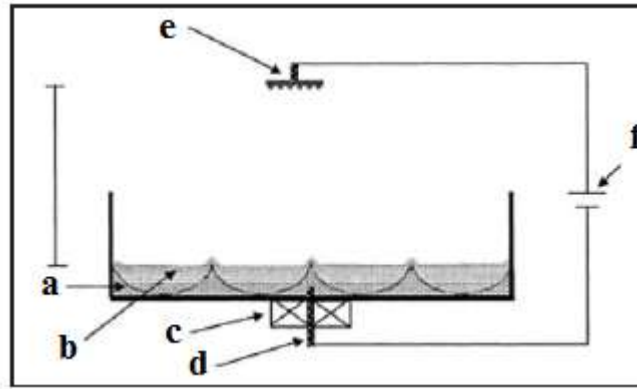


Şekil 1.8. Çok iğneli elektro lif üretim sistemi (a), düze başlığı ve koruyucu halka (b) ve İğneleri sıralanış biçimi (c)

Yapılan simülasyon sonuçlarına göre Yang ve arkadaşlarının geliştirdiği düzenekte dışta kalan iğnelerin, sabit elektrik alan sayesinde daha düzenli lifler üretilebildiği, içte kalan iğnelerde ise üretimin daha kısıtlı olduğu belirlenmiştir (Yang et al., 2010).

1.4.1.3. İğnesiz – çok jetli yapılar

İğnesiz elektro lif çekim sistemleri, yüksek miktarda seri üretime olanak sağladığı için günümüzde popüler olmaya başlamıştır. Bu sistemler, prensipte her hangi bir iğne ve şırınga düzeneği kurulmadan, polimer çözeltisi yüzeyinden çoklu sprej elde etme esasına dayanmaktadır. Öncü çalışmalardan olan Yarin ve Zussman'ın kurdukları düzenek, manyetik ve elektronik alanın iki tabaka halinde birbirlerine kombinasyonu şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 1.9).

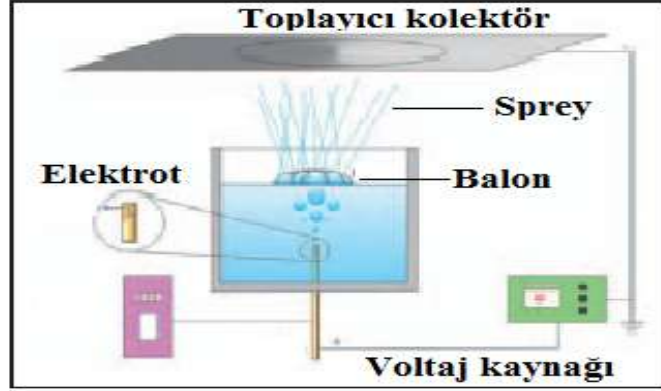


Şekil 1.9. Yarin ve Zussman'ın iğnesiz elektro lif düzeneği (Yarin and Zussman., 2004)

Şekilde a ile gösterilen alt tabaka ferromanyetik süspansiyon ve, b ile gösterilen üst tabaka ise polimer çözeltisidir. Düzeneğin c ile gösterilen kısmında güçlü mıknatıs bulunmaktadır. Çalışmalarında kullandıkları poli etilen oksit polimeriyle birçok denemelerde bulunan Yarin ve Zussman manyetik alanın etkisiyle damlacık oluşturan polimer çözeltisine yüksek voltaj uygulamış ve polimer çözelti üzerinde sprejler elde ederek nano lifler toplayıcı üzerine toplanmıştır.

Lui ve He tarafından geliştirilmiş olan ve yığın halinde nano lif üretimine olanak sağlayan bir diğer sistem balon elektro lif çekim yöntemidir. Cihaza yüksek voltaj

kaynağı, gaz pompası, üstü açık dikey çözelti rezervuarı, rezervuarın ortasında metal gaz borusu monte edilmiştir ve voltaj kaynağına bağlanmıştır (Şekil 1.10).

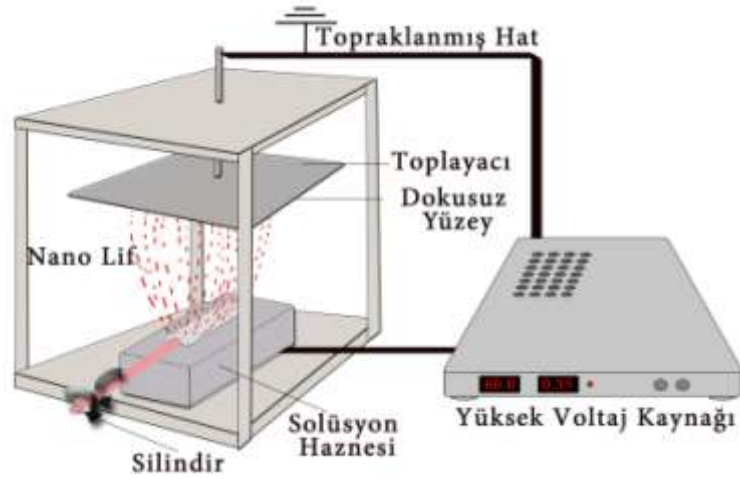


Şekil 1.10. Balon elektro lif çekim yöntemi

Gaz borusu ve elektrotu, haznenin içine yerleştirmiş ve voltaj kaynağını boruya bağlamışlardır. Gaz pompası açıldığında, çözelti yüzeyinde birçok baloncuk elde edilmiştir. Yüksek voltaj kaynağı açılarak voltaj uygulandığında baloncuklar üzerinde Taylor konisi meydana gelmiştir. Voltaj eşik değerini aştığında, spreylere balonlar üzerinden toplayıcıya doğru uzanarak lif halini almıştır (Liu and He, 2007).

İğnesiz seri üretimde bugüne kadar yapılmış en verimli sistem 2005 yılında Jirsak ve arkadaşları (Jirsak et al., 2005) tarafından geliştirilmiş silindirik elektro lif çekim sistemi olmuştur. Liberec Teknik Üniversitesinde geliştirilen silindirik elektro lif çekim sisteminin, lif çekimi esnasında oluşan silindir üzerindeki Taylor koni mekanizması ile ilgili teorik çalışmalar Lukas ve arkadaşları tarafından (Lukas et al., 2008) gerçekleştirilmiştir.

Silindirik elektro lif çekim sistemi direkt polimer çözeltisinden lif elde etmeyi sağlayan ve polimer çözeltisine batırılmış dönen bir alüminyum silindirden oluşmaktadır (Şekil 1.11.). Dönen silindir yüksek voltaj kaynağına bağlıdır ve toplayıcı topraklanmıştır. Voltaj kaynağından belirli bir gerilim uygulandığında, elektrik alan kuvveti dönen silindir üzerinde Taylor konileri oluşturmakta ve spreylere silindir yüzeyinden toplayıcı elektrotu uzanarak çözücü buharlaşmaktadır. Dolayısıyla, toplayıcı elektrot üzerinde katı nano lif esaslı yüzey oluşmaktadır.



Şekil 1.11. Silindirli elektro lif çekim yöntemi

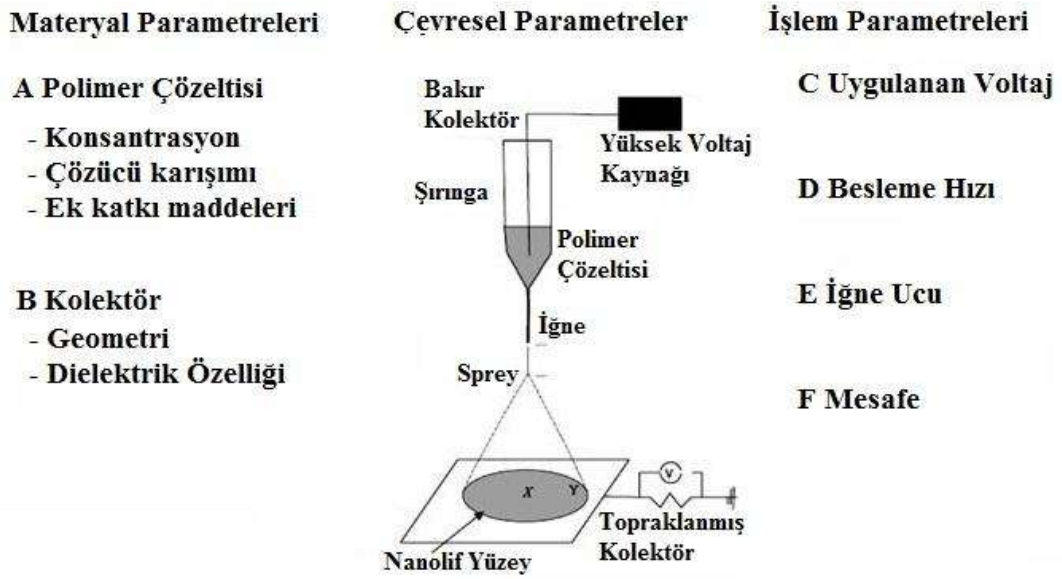
Cengiz ve Jirsak silindirli elektro lif çekim sistemi ile Poliüretan (PU) polimer çözeltisinde (TEAB) tuzunun lif çekilebilirliğine etkisini araştırmıştır. Tuz konsantrasyonunun çözelti iletkenliğine, çözelti viskozitesine, lif çapına ve morfolojisine büyük etkisi olduğu bildirilmiştir (Cengiz and Jirsak, 2009). Cengiz ve arkadaşlarının (Cengiz vd., 2010) sonraki çalışmasında ise yine silindirli elektro lif çekim sistemi kullanılarak, polivinil alkol (PVA) çözelti özelliklerinin lif çapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Polimer çözeltisi elektrik iletkenliğinin ve yüzey geriliminin lif çapına ve kumaş performansına önemli bir etkisinin olmadığı fakat farklı konsantrasyonda ve moleküler ağırlıktaki PVA polimerinin lif çekimi, kumaş performansı ve lif çapına olan etkisinin önemli olduğunu bildirmişlerdir.

1.4.2. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler

Elektro lif çekim sistemlerinde bulunan çok sayıda değişken göz önünde bulundurulduğunda, kapsamlı bir modelleme geliştirmek zor gözükmemektedir. Hatta lif çekim işleminin ana değişkenleri arasındaki karmaşık etkileşim nedeniyle basit ve pratik bir öngörü yapılabilmemiş değildir. Çoğu araştırmacı, literatürde başlıca tanınmış işlem parametreleri üzerine yoğunlaşmıştır. Sadece birkaç araştırmacı tarafından lif çekimi yapılan iğne ucunun yüklü olduğu kutup (Supaphol et al., 2005a, 2005b), lif çekimi yapılan ortamın gaz çeşidi (Casper et al., 2004), toplayıcı elektrotun

dielektrik özelliği (Mitchell and Sanders, 2006) yada hazırlanan çözeltinin pH değeri gibi konular daha az çalışılmıştır. Bu konular araştırmacılar tarafından geri planda kalsa da lif kalitesi ve veriminin belirlenmesinde çok önemli olabilmektedir.

Elektro lif çekim sistemlerinin üzerinde devam eden çalışmalar her ne kadar sistem geliştirme üzerine olsa da lif çapını, verimini ve morfolojisini etkileyen başlıca işlem parametrelerine de oldukça yer verilmiştir. Elektro lif çekim işlemini etkileyen başlıca üç farklı parametre vardır. Bu parametrelerden biri olan materyal parametreleri; polimer ve çözücü karakterleri ve toplayıcı biçimine bağlıdır. İşlem parametreleri ise lif çekimi esnasında uygulanan voltaj ya da elektrotlar arasındaki mesafe gibi isteğimiz çerçevesinde müdahalede bulunabildiğimiz parametrelerdir. Çevresel şartlar ise nem ve sıcaklık gibi parametrelerdir. Şekil 1.12’de üç farklı başlıkta elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler sınıflandırılmıştır.



Şekil 1.12. Elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler

Şekil 1.12’de görüldüğü gibi, iğneli elektro lif çekim yöntemine etki eden parametreler materyal, çevresel ve işlem parametreleridir. Herhangi parametrede olan küçük bir değişiklik elektro lif çekim işlemini ve bu da direkt olarak lif kalitesini etkilemektedir.

1.4.2.1. Materyal parametreleri

Polimer Çözeltisi

Elektro lif çekim yöntemlerinde; materyal parametrelerinden biri olan polimer çözeltisinin hazırlanışı ve kullanılan ek katkı maddeleri (tuz, yüzey aktif maddesi vb) elde edilen son ürüne etki eden en önemli faktörlerden biridir. Farklı polimer konsantrasyonları elverişli molekül zincir yapıları oluşturmakta ve bu yapılar yeterli elektriksel alan içinde elektro lif çekim işleminin devamlılığını sağlamaktadır (Deitzel et al., 2001; Tan et al., 2005). Polimer konsantrasyonu, hazırlanan polimer çözeltisinden elektro lif çekim yöntemi ile eğrilebilirliği etkilemektedir. Bu nedenle konsantrasyon lif çapına ve morfolojisine etki eden önemli parametrelerdendir (Demir vd., 2002). Genel olarak yüksek polimer konsantrasyonu değerlerinde elde edilen nano liflerin ortalama lif çapları da yüksek olmaktadır.

Farklı konsantrasyonlarda çözelti hazırlamak için seçilen çözücülerde önemlidir. Çözücü materyal, başta polimer çözeltisi içindeki zincir yapısını belirlemekte, lif çekimi esnasında elektriklenmeyi kolaylaştırmakta, yüzey gerilimini ve lifleri yığın halinde toplayıcı elektroda toplarken buharlaşma ve katılaşma oranını etkilemektedir.

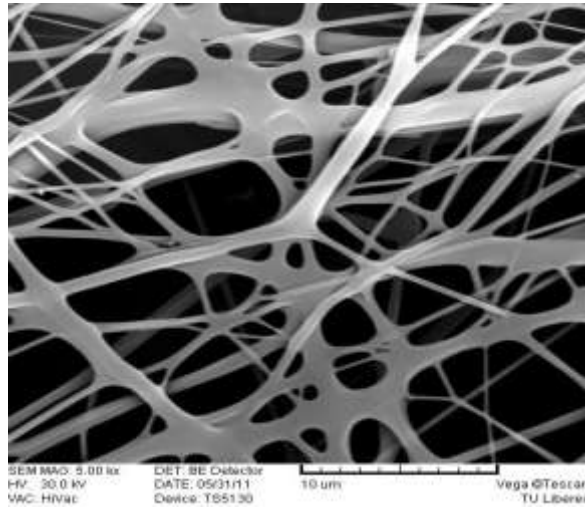
Çözücülerin farklı polimer materyallerine diğer bir katkısı da iletkenliktir. Elektro lif çekim işlemi esnasından uygulanan yüksek voltajın içinden polimer çözeltisine geçmesi beklenmektedir ve bilinmelidir ki sıfır iletkenlik özelliğine sahip bir polimer çözeltisinden kesinlikle elektro lif çekim işlemi uygulanarak lif elde edilemez. Bu nedenle çözücüler, polimerleri iyonlarına ayrıştırarak iletkenlik kazandırmak ya da polimerin iletkenliğini artırmak için uygulanmaktadır. Hatta sudan bile düşük iletkenlik özelliği olan çözücüler bulunmaktadır. Örneğin diklorometan 0.03 mS/m iletkenlik değerine sahiptir.

Hazırlanan polimer çözeltileri yapısında bulunan yüzey gerilimi lif çekimi esnasında elektriksel alana karşı koyan ilk kuvvettir. Fakat lif çekilebilirliğindeki rolü çok da fazla değildir. Elektriksel alan ve kendi iç kuvveti olan yüzey gerilimi tarafından ters yönde çekilen polimer çözeltisinin bu dengesi lif çekim esnasında uzama ve esneme oranını belirlemektedir. Ayrıca yüzey gerilimi değişiminin liflerin yapısındaki

boncuklanma miktarına da etkisi olduğu belirlenmiştir (Fong et al., 1999; Shawon and Sung, 2004).

Elektrik alanına maruz kalan polimer çözeltisinin yapısında bulunan diğer bir özelliği ise dielektrik katsayısıdır. Dielektrik pratik anlamda polimer çözücüsünün ne kadar elektrik yükü tutma yeteneğine sahip olduğunu gösteren değerdir. Yüksek dielektrik değerine sahip olan çözeltiler, iyi lif özelliği göstermiş ve üretim esnasında yüksek verim elde edilmiştir (Wannatong et al., 2004).

Elektro lif çekim işlemi esnasında toplayıcıya doğru uzanan spreyndeki çözücü toplayıcıya çarpmadan önce buharlaşmak zorundadır. Seçilen polimer çözücüsü lif çekimi esnasında tam buharlaşma gerçekleştirmezse, yapışık lif ya da dolaşık yüzey ortaya çıkmaktadır (Şekil 1.13.). Bu da istenmeyen bir durumdur.



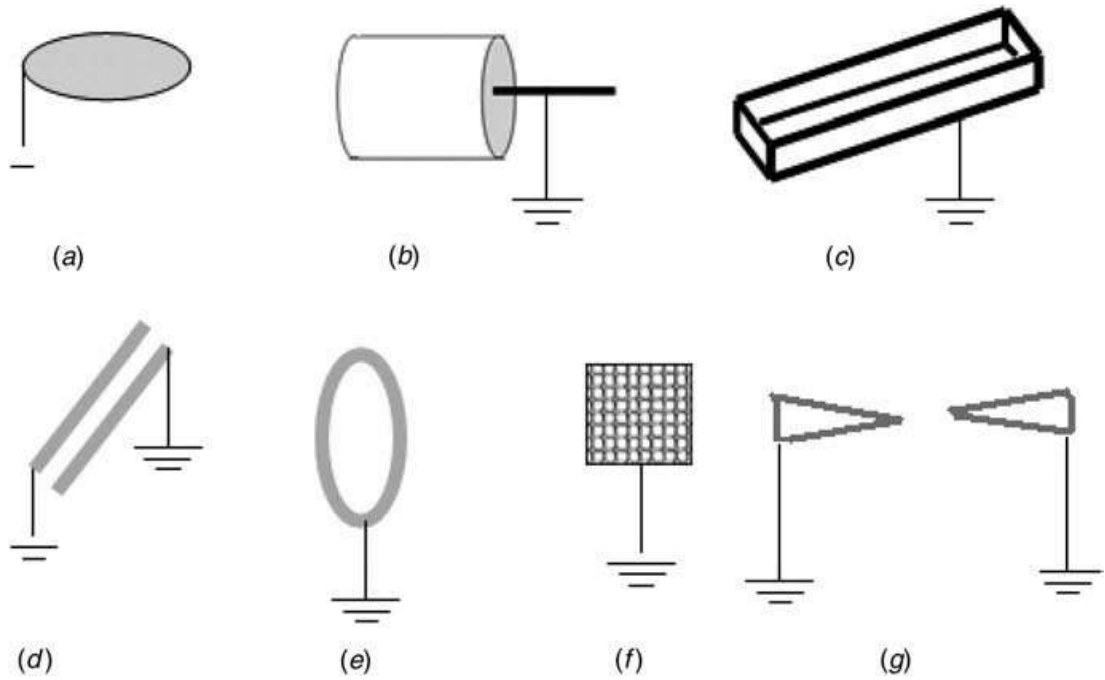
Şekil 1.13. Dağınık ve ıslak liflerin yüzeye toplanması (Yalçınkaya ve Cengiz-Çallıoğlu, 2011)

Diğer taraftan çok çabuk buharlaşabilen çözücülerin kullanılması da polimer çözeltisinin besleme sisteminde (iğne ucu ve ya polimer çözelti haznesi) kuruyarak akışı önleyebilmekte ve üretimi durdurabilmektedir.

Toplayıcı Tipi

Elektro lif çekim işlemi için laboratuvar ortamında basit ve en sık kullanılan toplayıcı tipi; üzerine alüminyum folyo konularak topraklanmış düz metaldir. Taylor koni ucundan oluşan spray, folyo üzerinde dairesel nano lif yüzeyini oluşturur. Düz metal

üzerine toplanan nano yüzeyler üst üste toplanması nedeniyle karmaşık ve yüksek yoğunlukta yüzey alanı oluşturmaktadır. Bu nedenle hareketli toplayıcılar kullanılmaya başlanarak, yüzey yoğunluğu kontrol edilmeye çalışılmıştır. Hareket eden metal yüzey yada dönebilen silindir toplayıcı fikri 1970’li yıllarda düşünülmüş bir teknolojidir (Owens et al., 1970). Ayrıca şu anda birçok araştırmacı tarafından da üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir. Elektro lif çekim literatüründe bildirilen farklı toplayıcı geometrileri Teo ve Ramakrishna tarafından yakın zamanda kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmiştir (Şekil 1.14) (Teo and Ramakrishna, 2006).



Şekil 1.14. Elektro lif çekim yönteminde kullanılan farklı toplayıcılar

Şekilde 1.14’de verildiği gibi elektro lif çekim işleminde farklı çeşitlerde toplayıcılar kullanılmaktadır. Bunlar metal düz yüzey şeklindeki toplayıcı (a) (Kidoaki et al., 2005); kendi çevresinde dönebilen toplayıcı daha düzenli lif elde etmeye ve lifler yığın halden kurtararak yön vermeye de elverişlidir (b) (Wannatong et al., 2004); dikdörtgen, üçgen veya tel silindir çerçeveler (c) (Katta et al., 2004); elektrik alan düzenleyici elektrot çifti toplayıcı (d) (Li et al., 2003); tekli yada çoklu çember toplayıcı (e) (Dalton et al., 2005); ızgara toplayıcı (f) (U.S. patent 6,110,590, Ağustos 2000); çift koni şeklinde toplayıcı (g) (Bunyan et al., 2006).

Toplayıcı elektrot geometrileri, kullanım yerlerine bağı olarak verimlilikleri değişmektedir. Şekli kadar önemli olan bir diğer faktör ise toplayıcının yapıldığı malzemedir. Nano lifler toplayıcı elektrota toplanırken üzerindeki elektriksel yükün üzerinden kaldırılması gerekmektedir ve bu nedenle toplayıcı elektrotlar iyi iletken materyalden yapılmalıdır. Diğer taraftan nano liflerin üzerine toplandığı karton kağıt, alüminyum folyo, dokusuz yüzey gibi destekleyici materyallerin lif çapına ve morfolojisine etkisi büyük olduğu anlaşılmıştır (Yalçınkaya ve Cengiz-Çallıoğlu, 2011).

1.4.2.2. İşlem parametreler

Uygulanan voltaj

Voltaj, elektro lif çekim yöntemlerine ismini veren birimdir. Yüksek voltaj kaynağından uygulanan yüksek gerilim, spreylere oluşturur ve polimer çözeltilerine yüzey yükü sağlar. Uygulanan voltaj değeri oluşan spreylere olan etkisini en fazla istikrarsız ve uzama alanında göstermektedir. Uygulanan voltaj değeri arttıkça oluşan ortalama lif çapında azalma meydana geldiği kabul edilmektedir (Buchko et al., 1999; Fridrikh et al., 2003). Bazı araştırmalarda farklı polimer ve çözücülerini kullanarak ortalama lif çapında beklenen azalış uygulanan voltaj değerinin artmasıyla gerçekleşmiştir. Örneğin Poliakrilonitril (PAN) / dimetilformamid (DMF) (Jalili et al., 2005), polivinil alkol / su (Lee et al., 2004), kitosan/saf asetik asit (Spasova et al., 2004) artan voltaj etkisiyle ortalama lif çapında azalmayla sonuçlanan çalışmalardan bir kağıdır.

Yapılan diğer çalışmalarda uygulanan voltaj değişiminin lif çapına herhangi bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Bunlardan polisulfon (PSU)/dimetilacetamid (Yuan et al., 2004), selüloz/etanol (Shukla et al., 2005), poli(laktik asit) (PLA)/kloroform ve asit (Gu and Ren, 2005) ile yapılan çalışmalarda değişen voltaj değerinin ortalama lif çapına herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda uygulanan voltaj değerinin artışıyla ortalama lif çapında artış meydana geldiğini belirten araştırmacılar da bulunmaktadır. (Demir et al., 2002; Kidoaki et al., 2006; Cengiz et al., 2009) Deneysel gözlemlerdeki bu tutarsızlığı anlamak için uygulanan voltaj değeri etkilerinin, başta polimer çözeltisi olmak üzere besleme

oranı ve elektrotlar arası mesafe olmak üzere diğer parametreler ile birlikte ele alınması gerekmektedir (Sukigara et al., 2003). Yüksek gerilimin etkisi arttıkça iğne ucundan toplayıcı elektroda taşınan polimer çözeltisinin kütlesinde de artış meydana gelmektedir ayrıca taşınan çözeltinin hızı da artmaktadır (Baumgarten, 1971; Dersch et al., 2003; Khil et al., 2003; Theron et al., 2004). Elektro lif çekim esnasında spreyn havada kalış süresi elektrotlar arası mesafeye bağlıdır. Sprey haline gelen çözeltinin buharlaşma ve katılaşma süresini elektrotlar arasındaki mesafe belirlemektedir ve bu durum doğrudan ortalama lif çapını etkilemektedir.

Polimer Çözeltisi Besleme Hızı

Pompa tarafından şırıngaya doldurulan polimer çözeltisi oranına besleme hızı denmektedir. İdeal olarak besleme hızı iğne ucundan çıkan çözelti oranına eşit olmalıdır ki devamlı lif oluşumu ve düzenli yüzey elde edilsin. Aksi takdirde düşük besleme hızı ile elektro lif çekimi aralıklı ve kesik kesik meydana gelir. Yüksek besleme hızında ise çözelti damlaması, büyük lif çapı ve lif üstünde boncuklu yapı meydana getirir. Besleme hızının, lif çapı ve lif oluşmayan alan üzerindeki etkileri araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Buttafoco et al., 2006; Jeun et al., 2005; Zhang et al., 2005b)

İğne Ucu

Metal iğneler kullanıldığı kadar iletken olmayan cam ve plastik iğneler de elektro lif çekim yöntemi ile nano lif eldesinde kullanılmaktadır. Yüksek iletkenliğe sahip olan elektrotların kullanılması her zaman üretimdeki verimliliği artırmıştır (Berkland et al., 2004). İğne içi genişliklerinin ise lif çapına olan etkisi büyüktür ve genelde küçük iç çapına sahip olan iğneler daha küçük lif çapına sahip nano yüzeyler oluşturmaktadır. Diğer yandan iğne ucu tıkanması iğneli sistemin en büyük sorunlarından biridir. Bu nedenle iğne seçimi lif çekim işleminin devamlılığı açısından önemlidir.

Elektrotlar Arası Mesafe

İğne ucu ya da beslenen polimer çözeltisi aparatından toplayıcı yüzeye kadar olan uzaklığa elektrotlar arası mesafe denmektedir ve nano liflerin elektrotlar arasındaki mesafeyi kat ederken geçen sürede toplayıcıya varmadan katılmış olması gerekmektedir. Genel olarak elektrotlar arasındaki mesafenin artışı, diğer parametrelerin sabit kaldığı durumda, lif çapını azaltmaktadır (Baker et al., 2006). Ancak diğer parametrelere bağlı olarak da lif çapını arttırabilmektedir (Kidoaki et al., 2006). Hatta tamamen elektro lif çekimini durdurabilmektedir. Diğer taraftan elektrotlar arası mesafenin çok yakın tutulması toplayıcı elektrot üzerinde ıslak liflerin oluşmasına neden olabilmektedir (Hsu and Shivkumar, 2004; Jalili et al., 2005; Andradı, 2008)

1.4.2.3. Çevresel parametreler

Elektro lif çekim işlemi için yapılan çalışmaların çoğu, hava ortamında gerçekleşmiştir. Ancak yapılan deney ortamlarını kontrol altında tutarak farklı gazlar uygulamak, nem ve sıcaklıklarını değiştirmek bazen avantaj sağlamaktadır. Elektro lif çekimi esnasında oluşan spreylere yapısındaki çözücünün buharlaşmasını ve liflerin katılmasını hızlandırmak için Larsen ve arkadaşları nitrojen gazı ile doyurulmuş bir ortamda lif çekimi gerçekleştirmiştir (Larsen et al., 2004).

Ortam rutubetinin elektro lif çekimine olan etkisini Cengiz ve arkadaşları poliüretan polimerini dimetilformamid ile çözerek tetra etilen amonyum bromid tuzu ile farklı konsantrasyonlarda çözelti hazırlamıştır ve 25 °C sabit sıcaklıkta % 19, 24, 27, 33 ortam rutubetinde lif çekimi gerçekleştirmiştir. Lif çapının artan nemle arttığı ve lif çekim performansının ise önemli şekilde etkilendiği belirtilmiştir. (Cengiz vd., 2009)

Çizelgelerde elektro lif çekim yöntemi ile ilgili çeşitli parametreler verilmiştir. Çizelge 1.1 ve 1.2’de bir makalede bulunması gereken temel ve yan parametrelerin neler olduğu liste halinde örneklendirilmiştir.

Çizelge 1.1. PVB polimeri, iğneli elektro lif çekimi parametreleri(Duyar vd., 2011)

Polimer	Polivinil bütiral (PVB)
Çözücü	Etanol
Konsantrasyon	% 7
Eklenti	Karbon Nano tüp (CNT)
Toplayıcı	Metal levha üzerinde dokusuz yüzey
Moleküler ağırlığı	75.000 g/mol
Uygulanan voltaj	9 kV
Elektrotlar arası mesafe	17.5 cm
Besleme hızı	0.3 ml/saat
İğne çapı	0.7 mm
Rutubet	% 40
Sıcaklık	17.7 C°

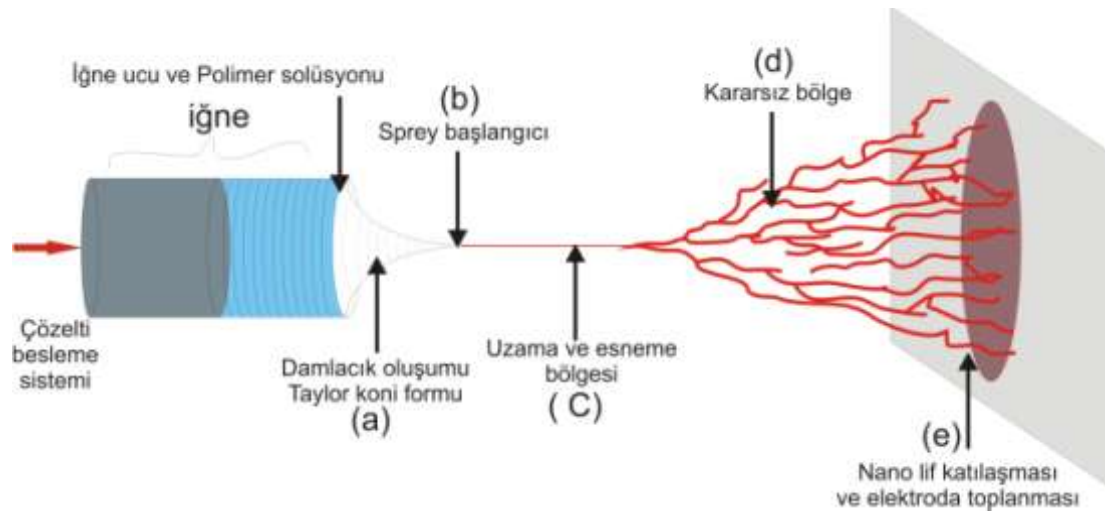
Çizelge 1.2. PVA polimeri silindirli elektro lif çekimi parametreleri (Yalçınkaya vd., 2011)

Polimer	Polivinil alkol (PVA)
Çözücü	Su
Konsantrasyon	% 12
Eklenti	NaCl
Toplayıcı	Metal levha üzerinde dokusuz yüzey
Dokusuz yüzey kumaş geçiş hızı	100 mm/dakika
Silindir uzunluğu	145mm
Silindir çapı	18 mm
Silindir hızı	2,5 rpm
Moleküler ağırlığı	130.000 g/mol
Uygulanan voltaj	55 kV
Elektrotlar arası mesafe	120 mm
Rutubet	% 30
Sıcaklık	26,4 C°

1.4.3. Elektro lif çekim yöntemi ile nano lif oluşum aşamaları

Elektro lif çekim sistemi elektro spreyle özdeşleşmiş durumdadır. Polimer çözeltisi damlasının elektriksel alanda indüklenmesiyle başlayan lif çekimi toplayıcı elektrotta nano lif oluşumu olarak bitmektedir. Lif oluşumu saniyeden daha az bir sürede gerçekleşmektedir.

Bu bölümde lif oluşumu esnasında iğneli elektro lif çekimi kısımlara ayrılarak açıklanmıştır. Reneker ve Fong elektro lif çekim yönteminde lif oluşumunu; spray başlaması, spray uzama ve sünme kısmı, kararsız bölge gelişimi, lifin katılaşması olarak dörde ayırmış ve açıklamıştır. Bu başlık altında damlacık oluşumu kısmı ve Taylor koni yapısı kısmı, ayrıca spray başlangıç, uzama ve esneme bölgesi, kararsız bölge ve nano liflerin toplayıcı elektrotta toplanma ve kuruma, katılaşma alanı anlatılmıştır (Şekil 1.15.) (Andrady, 2008).



Şekil 1.15. Elektro çekim işlemi lif oluşum aşamaları

1.4.3.1. Damla oluşumu

Her elektro lif çekim sisteminde iğne ucundan damlacık oluşumu bulunmamaktadır. Bazı üretim sistemlerinde polimer çözeltisi haznesinden farklı yöntemlerle lif çekimi gerçekleştirilmektedir. Tipik olarak çoğu laboratuvar ortamında düşük hızla iğne ucuna pompalanan polimer çözeltisinin (Şekil 1.15.a) indüklenmesi, elektro lif çekim yöntemlerinde ilk adım olarak adlandırılır. Uygulanan elektrik alanın etkisi

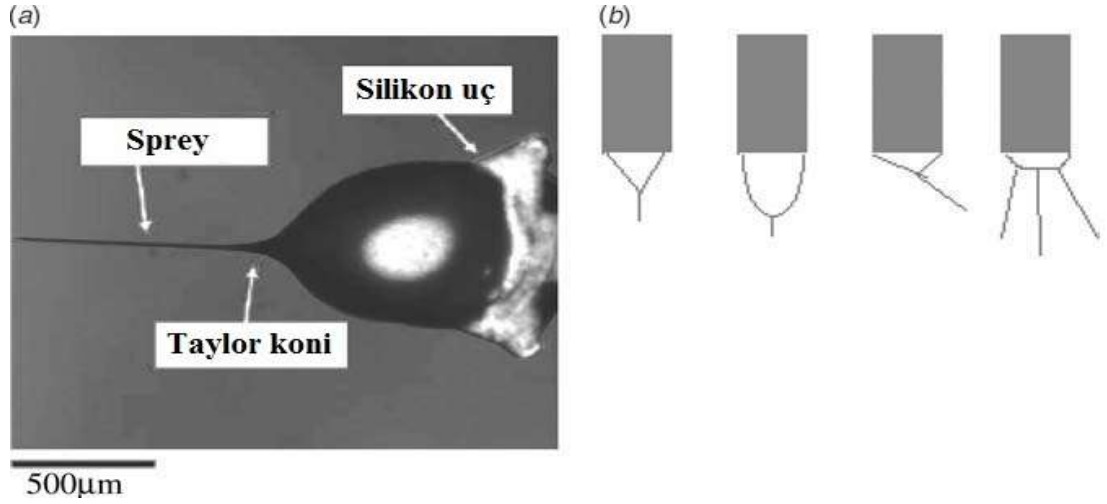
yokluğunda, iğne ucundaki polimer çözeltisi kendi ağırlığı ve yer çekiminin etkisi altında, damlacık şeklini alarak damlamaktadır. (Andrady, 2008)

1.4.3.2. Taylor koni yapısı

Elektriksel alanın etkisi altında indüklenmiş küçük damlacıkların küre halinden elips şeklini aldığı bilinmektedir (Macky, 1931). Elektriksel kuvvet arttıkça damlacık çapı azalmaya devam eder. Aynı deformasyonu gözlemek için su damlacığına 5000 V/cm’yi aşkın elektriksel kuvvet uygulanmıştır. Esneyen damlacıkların koni şeklini aldığı farz edilmektedir (Taylor, 1964;1969; Melcher 1972). Şekil 1.15’te (a) ile gösterilen iğne ucundaki damlacıkta oluşan bu şekil “Taylor koni” kritik voltaja ulaştığında, tepe noktasından sprej oluşturur. Larrondo ve Manley farklı sıvılar üzerinde yaptığı çalışmada, koni şekillerinin, sıvıların iç yüzey gerilimine ve uygulanan voltaj değerine bağlı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca farklı sıvıların, farklı voltaj değerlerinde oluşturdukları koni şeklinin yatayda farklı açılar oluşturduğunu da açıklanmıştır (Larrondo and Manley, 1981a, 1981b).

1.4.3.3. Sprej başlangıcı

Polimer çözeltisi içinde çok fazla dolaşık polimer zinciri bulunması nedeniyle, damlacık üstündeki Kolomb itme kuvveti bazen yetersiz olmaktadır. Bununla birlikte polimer çözeltisine uygulanan voltaj, lifleri oluşturacak tepe noktası yüzeyinde toplanır ve çözelti için limit voltaj değeri aşıldığında lifler oluşmaya başlamaktadır. Şekil 1.15. (b).



Şekil 1.16. Taylor konisi (Kameoka et al., 2003) (a), Farklı geometrilerde spreyl başlangıcı (b)

Taylor koni ucundan çıkan spreyl sabit polimer çözeltisi beslemeyle sonsuz devam etmektedir (Şekil 1.16.).

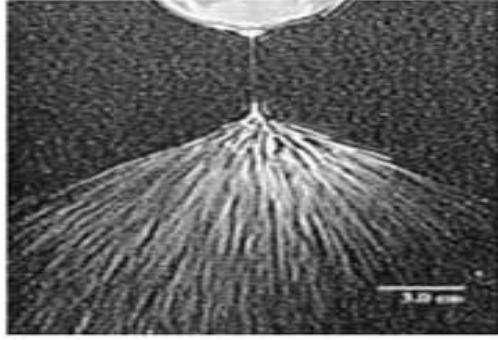
1.4.3.4. Uzama ve esneme bölgesi

Uygulanan yüksek voltaj limit değerini aşar aşmaz spreyl başlangıcı meydana gelmektedir. Spreyl yüzeyindeki elektriksel yük, eksenel yönde spreylin toplayıcıya doğru esnemesini sağlamaktadır. Şekil 1.15 (c). Taylor konisinden uzaklaşan polimer çözeltisinin hızlanması artmakta ve bunun sonucunda spreyl çapı düşmeye çözelti içindeki çözücüde buharlaşmaya başlamaktadır. İncelen spreylde birim yüzey alana düşen voltaj azaldıkça, birim alanda bulunan polimer materyali artmaktadır. Azalan voltajla birlikte buharlaşma ayrıca polimer yüzey alanı da artmaktadır (Andrady, 2008).

1.4.3.5. Kararsız bölge

Yatayda esneme gerçekleştiren spreyl düzensiz ve dalgalı hale geçerek toplayıcı elektroda ulaşır. Şekil 1.15 (d) ile gösterilen kısım, ilk aşamada genişlemekte ve kararsız bölgede lif dağılımı meydana gelmektedir. Toplayıcı elektroda yaklaşan liflerde yük yoğunluğu azalmakta ve lif dağılımı arttıkça yüzey alanı artmaktadır.

Dengesiz ve kararsız yapının oluşumu elektriksel alanın kuvvetine bağlıdır. Bu bölgede oluşan spre ve lifler eksensel değildir ve elektrostatik itici kuvvetin bileşenlerini sergilemektedir. Şekil 1.17’de kararsız bölgede spre ve liflerin aldığı biçimi göstermektedir.

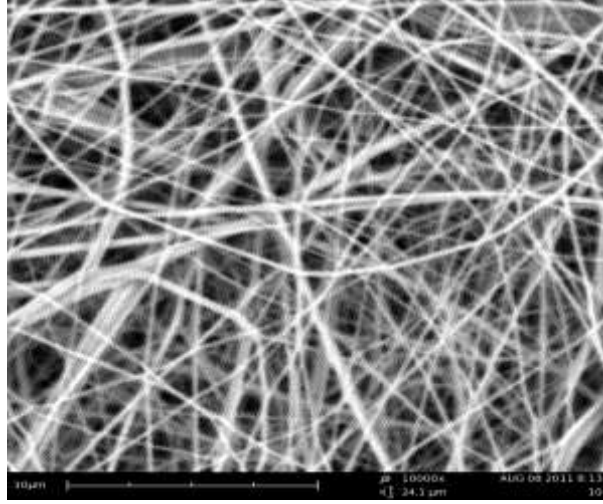


Şekil 1.17. Kararsız bölge ve spreinin aldığı biçim.

Görüldüğü gibi dengesiz bir yapı alan spre ve liflerin yüzey alanı hızla artmakta ve liflerin üzerinde bulunan yük yoğunluğu azalmaktadır (Andrady, 2008).

1.4.3.6. Nano liflerin katılaşması

Kararsız ve dengesiz bölge içinde polimer çözelti spreini toplayıcı elektroda yaklaşırken içindeki çözücü de buharlaşmaya devam etmektedir. Çabuk buharlaşan çözücüler ve zor buharlaşabilen çözücüler doğrudan toplanan nano yüzeydeki lif çapını etkilemektedir. Polimer çözücüsü ve işlem parametrelerinin uygun seçimi ile elektro lif çekimi yönteminde oldukça ince lifler elde etmek mümkündür.



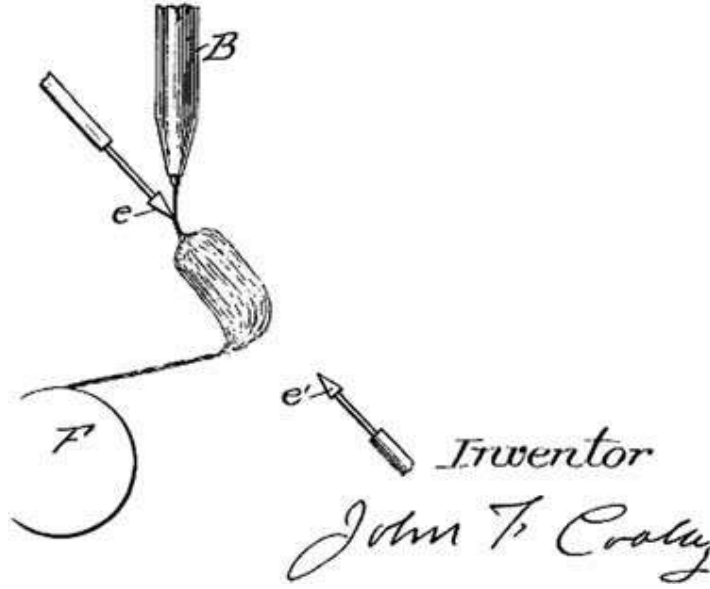
Şekil 1.18. % 12 PVA konsantrasyonda nano liflerin SEM görüntüsü (Yalçınkaya vd., 2011).

Elektro lif çekim ile üretilen ve uygun şartlarda elde edilmiş polivinil alkol nano liflerin SEM görüntüsü şekil 1.18’de verilmiştir. Lif çekimi esnasında polimer çözeltisi spreyleyin toplayıcıya esneyerek kararsız bölgede tamamen buharlaşmıştır (Yalçınkaya vd., 2011).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Elektro Lif Çekim Yönteminin Tarihsel Gelişimi

İlk olarak, sıvılardan elektrostatik sprey oluşumu 1750 yılında Jean-Antoine Nollet tarafından yapıldığı belirtilse de, polimer çözeltisinden elektrostatik çekim nanolif üretimi ile ilgili ilk dokümanlar J.F Cooley ve W.J. Morton tarafından 1902 yılında olduğu belirtilmektedir. 1902’de Cooley’in geliştirdiği patent bulunmaktadır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Cooley patentinde belirtilen elektro lif çekim sistemi

Bu patentte temel olarak zıt yüklenmiş iki elektrot arasındaki viskoz polimer birikimi gösterilmektedir. Çekilmiş lifler negatif elektrotun üzerine toplanmış ve yığın halini almıştır, Cooley bu işlemi sıvının elektriksel bozulması olarak adlandırmıştır.

Anton Formhals çeyrek yüzyıl sonra 1934’te geliştirdiği elektro çekim sistemi ve aparatla patent almıştır. Formhals elektro çekim yönteminde ilk patentinde; selüloz asetat ile aseton çözeltisinden hareketli toplayıcı yüzey üzerine lif toplamıştır. Bu yöntem ile belli dereceye kadar liflere yön vermeyi başarmıştır. Formhals öncelikli olarak topraklanmış toplayıcı üzerinde liflerin kuruması gerektiğinin önemini vurgulamıştır. 1944’te ise üretim geliştirme üzerine dört farklı patent daha almıştır.

1936'da C.L.Norton (Norton C.L. U.S Patent, 1936) lif kalitesini ve birikimini geliştirmek için kendi tasarımı olan statik elektrik jeneratörü ile birlikte plaka halinde toplayıcı elektrot kullanmıştır.

1960 yılında Sir Geoffrey Taylor bir elektrik alana yerleştirilen damlacıkların davranışlarının temellerini vermiştir. Sonraki yıllarda bu tekniği daha da geliştirmiştir (Taylor 1964, 1969). H.L Simons 1966 yılında termoplastik poliüretan ve polikarbonat kullanarak nano boyutta dokusuz yüzey elde etmiştir. Ayrıca farklı metal toplayıcı yüzeyleri ile dokusuz yüzeylere desen verebilmiştir. Patentinde ayrıca viskozite, dielektrik sabiti, iletkenlik ve çözücünün buharlaşma hızının ana işlem parametrelerinden olduğunu açıklamıştır. Diğer yandan çalışmasında açıkça polimer çözeltisi viskozitesin lif inceliği üzerine rolünü araştırmıştır.

Baumgarten akrilik kopolimer/dimetilformamid çözeltisi hazırlayarak voltaj değerinin ve çözelti viskozitesinin (ve dolayısıyla konsantrasyonun) lif yapısına olan etkilerini araştırmıştır (Baumgarten, 1971). alışmasında yüksek gerilim kaynağı kullanması yanı sıra Baumgarten, lif beslemesi için besleyici pompa kullanmıştır.

nceki yıllara dayanan elektrostatik çekim işlemi ile ilgili son 10-15 yıl içinde çalışmalar oğaltılmış ve elektro lif çekim yönteminin mekanizmasını daha derin anlamaya yönelik araştırmalara yer verilmiştir. Hayati ve arkadaşları (1987) zelti iletkenlik özelliğinin kararsız bölgeyle olan ilişkisinin önemini vurgulamıştır. Son yapılan katkılar elektro çekim yönteminin akışkanlar dinamiğini (Hohman et al., 2001a, 2001b) ve elektrostatikini (Spivak and Dzenis 1999; Shin et al. 2001a, 2001b) anlayamaya yönelik olmuştur.

Elektro ekim yöntemi çalışmalarının deneysel zorlukları arasında “boncuk oluşumu” en önemlilerinden olmuştur. Doshi ve Reneker (1995) yanı sıra Deitzel ve arkadaşlarının (2001) boncuk oluşumu sıklığının uygulanan voltaj değerine ve elektrik alan içindeki damlacık şeklinin etkisi üzerine çalışmışlardır.

Günümüz laboratuvar şartlarında elektro lif çekim yönteminde donanım ve aparatlar genellikle aynıdır. Fakat daha kararlı güç kaynağı üniteleri ve düzgün polimer besleme sistemleri nano lif kalitesini arttırmaktadır. Temel olarak deneysel kurulum üzerinde küçük değişiklikler tarif edilmiştir. Uygulanan elektriksel alanın

geometrisini değiştirerek kararsız bölge içinde lif çekimi daha düzgün hale getirilmiştir. Örneğin Warner ve arkadaşları (1999) ve diğer araştırmacılar (Shin et al. 2001a, 2001b) elektriksel alanı düzgünleştirmek için iki paralel elektrot levha arasında lif çekimini disk içinde gerçekleştirmişlerdir.

2.2. Elektro Lif ekim İşlemi ve Elektrik Akımı lm ile İlgili alışmalar

1984 yılında Campanella ve arkadaşları sıvı içerisine kısmen batırılmış ve farklı hızlarda dönebilen silindirin taşıyabileceği sıvı miktarını ve silindir üzerinde oluşturacağı film katmanının kalınlığını ölçmüştür. Sistem üzerinde değişken parametreler olarak sıvının viskozitesi ve silindir hızının etkili olduğu bulunmuştur. apı 8.47 cm ve uzunluğu 30 cm olan silindir sıvı içerisine batırılmış ve mikrometre ölçekli ölçüm cihazı ile silindir üzerinde oluşan film inceliği ölçülmeye çalışılmıştır.

1995'te Doshi ve Reneker, polietilen oksit polimerini farklı konsantrasyonlarda su ile çözerek farklı işlem parametrelerinde lif çekmişlerdir. %1 ile % 7 arası konsantrasyonlarda polimer çözeltisi hazırlamışlardır. Yüksek konsantrasyondaki çözeltinin yüksek viskozik yapısı ve düşük konsantrasyondaki çözeltinin ise düşük viskozik yapısı ile lif elde edilemediğini göstermişlerdir. Optimum konsantrasyonu % 4 olarak belirleyen araştırmacılar, farklı işlem parametrelerinde,(uygulanan voltaj miktarı, elektrotlar arası mesafe gibi) farklı değerlerde çalışmışlardır.

Deitzel ve arkadaşlarının 2000 yılında yaptığı çalışmada ise polietilen oksit polimerinden dikey iğneli elektro çekim sisteminde nano lif üretmişlerdir ve üretim parametrelerinin lif morfolojisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. % 4 - % 10 konsantrasyon aralığında hazırladıkları PEO ve su karışımı çözeltilerin farklı uygulanan voltaj değerlerinin etkilerini incelemişlerdir. Buna göre uygulanan voltaj etkisinin lif morfolojisinde boncuklu yapıya doğrudan etkisi olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca spre y üzerindeki akım miktarının etkisini de incelemişlerdir. Polimer zeltisi konsantrasyonunun lif çapına direkt etkide bulunduğunu, polimer çözeltisi konsantrasyonun artışı ile lif çapında artış meydana geldiğini açıklamışlardır. Ayrıca farklı konsantrasyon değerlerindeki polimer çözeltilerinin elektro statik alan içinde farklı davranışlar gösterebileceğini ve ek olarak iğneli çekim sisteminde 3 boyutlu yüzey oluşturulabileceğini vurgulamışlardır.

2001 yılında Shin ve arkadaşları elektro lif çekim karakterizasyonu üzerine yaptığı çalışmalarında elektrik alan kuvvetine maruz kalmış ve iğne ucunda spreylere oluşturan sıvıların davranışlarına açıklama getirmeye çalışmışlardır. Çalışmaları esnasında işlem parametrelerini gruplandırılmıştır. Ek olarak spreylere yapısının, akımın şarj yoğunluğuna ve akışkan özelliğine, uygulanan elektrik alan ve ekipmanların özelliğine bağlı olduğunu açıklanmıştır. Yapılan çalışmada nano ölçekli liflerin üretimi esnasında yaşanan kararsızlığın yüksek voltajda hızla çekilen spreylere meydana getirdiği ortaya koyulmuştur.

Hohman ve arkadaşları 2001 yılında elektro çekim sistemi ile meydana gelen spreylere elektrik kuvvetlerine maruz kaldığı andaki kararsız hallerini açıklamaya çalışmışlardır. Üç farklı kararsızlık tanımlanmıştır; klasik eksensel, Rayleigh kararsızlığı ve son olarak da sıvıların çekim anındaki deformasyon kararsızlığı. Giderek artan elektrik alanda düzensizliğin de arttığı belirtilmiştir. Sıvılarda hangi kararsızlığın baskın olduğunu ise yüzey gerilimine, yoğunluğa ve spreylere yarıçapa bağlamışlardır.

Hohman ve arkadaşları yaptıkları çalışmalar ardından aynı yıl içinde elektro çekim konusunda elektrik alan içinde spreylere uygulamaları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında ise bir önceki makalelerinde ortaya koydukları istikrar teoremi tanımını kullanmışlardır. İlk olarak, spreylere şekli ve voltaj yoğunluğu açıklanmış ve iğne ucundaki sıvıda meydana gelen deformasyon özellikleri hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen veriler kararlılık analizi ile karşılaştırılmıştır. Elektro lif çekim esnasında spreylere durumları sıvının iletkenlik ve viskozite değerleri ile fonksiyonel olarak ortaya koyulmuştur.

Fridrikh ve arkadaşlarının 2003 yılında elektro lif çekimi esnasında akım testi kullanarak yaptığı çalışmada yüzey gerilimi, pompadan polimer besleme değerlerini ve lif çekim esnasında oluşan akımı göz önünde bulundurarak lif çapı tahminini formüle etmişlerdir. Sistem, iğneli elektro lif çekim yöntemiyle akımölçer rezistans kullanılarak kurulmuştur. Polikaprolaktan polimerini % 8 ve %12 konsantrasyonlar arasında hazırlamışlardır. Lif çekimi sonunda modellenen lif çapı ile elde edilen lif çapı karşılaştırılmıştır.

Kim ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptığı çalışmada ise dikey elektro lif çekim sisteminde Polidiakrilamiddimetilenpropan (PAMPS) polimerini farklı mol (0.0001, 0.001, 0.01, 0.1 mol %) ve tuz (NaCl ve CaCl_2) değerlerinde su ile çözerek hazırlamışlardır. Çalışmada polimer çözeltilerine viskozite ve iletkenlik testleri yapılmıştır. İki farklı tuzla hazırlanan farklı mol değerlerindeki PAMPS çözeltileri elektro lif çekim işlemi sırasında alınan spray akım değerlerinin artan voltaj değeriyle akımın da arttığı gözlenmiştir. Ayrıca artan tuz mol değeriyle lif oluşumunda artış gözlenmiştir. Diğer yandan artan tuz oranıyla lif çapında azalma ve lif üzerindeki boncuk sayısında azalma meydana gelmiştir.

Theron ve arkadaşları elektro çekim yöntemi kullanarak, farklı polimer çözeltileri üzerine çalışmışlardır. 2004 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada geniş yelpazede çalışarak polietilen oksit (PEO), polivinil alkol (PVA), poliüretan (PU), polikaprolaktan (PCL) polimerlerini farklı çözücülerde çözmüş, iğneli elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarına ek olarak elektro çekim sisteminin ana üretim parametreleri olan voltaj miktarı (v), pompadan iğneye uygulanan besleme hızı (Q), farklı moleküler ağırlıklarında polimer (M), iğne ile toplayıcı elektrot arasındaki mesafe (H) ile de farklı ölçümler yaparak kıyaslamışlardır. Elde edilen çözeltilerin viskozite ve iletkenlik değerlerini de belirlemişlerdir. Çalışmalarında son olarak ise elektro lif çekim esnasında spray akımını ölçmüşler ve farklı polimerler ve çözelti konsantrasyon değerlerinde kıyaslamışlardır. Sonuç olarak lif çekiminde meydana gelen akımın uygulanan voltaj değeri, besleme miktarı, çözeltilerde bulunan etanol değeri ve elektrotlar arası mesafeye bağlı olduğunu vurgulamışlardır.

He ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada elektro lif çekimi esnasında iğne ucundan beslenen polimer çözeltisi hızının oluşan spray akımı ile ilişkisi incelenmiştir. 2005 yılında tekrar düzenledikleri yük korunumu denklemi ile elektro lif çekim esnasında spray akımı ile besleme hızı arasında doğrusal olmayan bir ilişki elde etmişlerdir.

Kim ve arkadaşlarının 2005 yılında yaptıkları ilk çalışmalarının tekrarı niteliğini taşıyan ikinci çalışmalarında, PAMPS polimerini % 6 konsantrasyonda, 0.01 mol NaCl tuzunu su ile çözmüşlerdir. Farklı uygulanan voltaj değerlerinde (10-25 kV) ve

15 cm elektrotlar arası mesafede, tuzlu ve tuzsuz olarak iki farklı polimer çözeltisini iğneli elektro lif çekim sisteminde lif haline getirmişlerdir. Tuz oranının, üretim sonucunda lif morfolojisine büyük etkisinin bulunduğunu ayrıca elektrik akımının sprej üzerindeki miktarının optimum değerde olması lif morfolojisine yüksek oranda düzgün nano lif olarak yansıdığını açıklamışlardır.

Tez çalışmasında da kullanılan seri nano lif üretim yöntemi olan silindirli elektro lif çekim yöntemi Jirsak vd. (2005) tarafından geliştirilmiştir. İğne kullanmadan nano lif üretiminin gerçekleştirilebildiği bu yöntem, Elmarco firması tarafından Nanospider ismi altında ticarileştirilerek seri üretim sağlanmıştır. Temel olarak iki elektrottan oluşan bu yöntemde, alttaki elektrot belirli bir hızda dönen silindir şeklinde olup, silindirin bir kısmı polimer çözelti içerisine daldırılmış bir konumdadır. Bu silindirin yüzeyini ince bir tabaka halinde polimer çözelti kaplamaktadır. Silindir döndükçe elektriksel alanın etkisiyle, aşağıdan yukarıya doğru nano lif üretimi gerçekleştirilir ve üretilen lifler üst elektrotta toplanmaktadır. Bu yöntemle dakikada yaklaşık 1,8 g nano lif üretimi gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla tek iğneli konvansiyonel elektro lif çekim yöntemine göre çok daha yüksek üretim hızı söz konusudur.

2006 da Samatham ve Kim tarafından yapılan bir başka çalışmada ise elektro lif çekim esnasında akım ölçülmeye çalışılmıştır. Poli (akrilonitril) (PAN) / dimetilform amid (DMF) çözeltisini dikey iğneli elektro lif çekim sisteminde kullanarak lif elde edilmiştir. Farklı polimer konsantrasyonlarında hazırladıkları polimer çözeltilerini farklı voltaj değerlerinde ve farklı polimer çözeltisi besleme hızlarında lif elde etmişlerdir. Toplayıcıyla topraklama arasına bağladıkları 20M ohm direnç ile akım ölçmüşlerdir sonra elde edilen nano yüzeylerin mukavemet değerleri belirlenmiştir.

Rutledge ve Fridrikh 2007 yılında yaptıkları çalışmada, elektro lif çekim esnasında polimer çözeltisinin elektrik alan içinde aldığı yapıya farklı basamaklarda açıklık getirmiş ve formüleştirmiştir. İlk olarak çözeltiye uygulanan akımla çözeltinin aldığı koni ve sprej şeklinin üstünde çalışılmış, ardından sprej halinde incelenen çözeltinin aldığı şekil açıklanmıştır. Açıklamalarında Hohman'ın kanunlarından yararlanmışlardır. Son olarak sprejin aldığı düzensizlik formülize edilmiş ve açıklama getirilmiştir.

Fallahi ve arkadaşlarının 2008 yılında elektro çekim sistemi ile sürekli polimer çözeltisi beslenen iğne ucuna uygulanan elektrik alanla oluşturulan spreyin meydana getirdiği akımı ölçmek için çalışmalar yapılmıştır. İlk çalışmada poli (akrilonitril) polimerinin DMF ile çözülüp elektro çekim sistemi ile lif haline getirmişlerdir. % 10 PAN konsantrasyonunda hazırlanan çözeltiye yüksek voltaj uygulanarak elektro lif çekimi gerçekleştirilmiştir. Farklı voltaj değerlerinde ve polimer çözeltisi besleme hızlarında akım ölçümü yapılmış ve ayrıca lif çapı araştırılmıştır. Sonuç olarak düşük voltaj değerlerinde sabit sprey davranışı, yüksek voltaj değerlerinde ise dalgalı sprey davranışı gözlenmiştir.

Tripatanasuwan ve arkadaşları 2009 yılında, elektro çekim esnasında meydana gelen Taylor konisi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Kolay lif çekilebilirliği nedeniyle çalışmaları esnasında polietilen oksit kullanan Tripatanasuwan, iğne ucu ve toplayıcı arasında oluşturduğu yüksek gerilimle lif çekimini sağlamış ve Taylor konisi elde etmişlerdir. Tripatanasuwan'a göre belli eşik değeri aşıldığında Taylor koni ucunda korona etkisi meydana gelmektedir. Gözle görülmeyen bu durumu saniyede 50 fotoğraf alabilen yüksek hızlı kamerada ışık parıldaması olarak gözlemlenmiş ve farklı voltaj değerlerinde lif çapını hesaplanmıştır.

İranlı araştırmacı Fallahi ve arkadaşları, 2009 yılında, elektro lif çekim sisteminde akım ölçümü ile ilgili çalışmasında poli (akrilonitril) polimerini DMF ile çözerek iğneli yatay elektro lif çekim sistemi kullanarak lif çekimi gerçekleştirmiştir. Çekim esnasında toplayıcı ile akımölçer arasında direnç kullanmıştır ve farklı polimer çözeltisi, besleme değerleri ve farklı uygulanan voltaj değerlerinde lif oluşumu esnasında oluşan akımı ölçmüş ve lif çapı ile kıyaslanmıştır.

Lee ve arkadaşlarının 2009 yılında elektro lif çekim yöntemi ile lif üretimi esnasında yığın olarak elde edilen nano liflere yön vermek amacıyla yaptıkları çalışmada Polikaprolaktan (PCL) polimerini %20 Dimetilformamid (DMF) ve %80 MetilKlorid (MC) içinde % 8 konsantrasyonda çözerek silindir şeklindeki ve dönebilen bir toplayıcı elektrot üzerine lifleri biriktirerek liflere yön vermeyi hedeflemişlerdir.

Munir ve arkadaşlarının 2009 yılınca yaptığı çalışmada ise Polivinilpirolidon (PVP) polimeri su ve etanol içinde çözülerek iğneli elektro lif çekim sisteminde nano lif

çekimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada PVP polimerinin farklı moleküler ağırlıkta ve farklı konsantrasyonlarda su ve etanol içinde çözerek uygulanan farklı üretim parametreleri ile elde edilen liflerin morfolojisine etkisi araştırılmıştır. Farklı uygulanan voltaj değerleri, besleme hızı ve sprej akım değerleri yanı sıra polimer viskozitesi ve iletkenlik miktarının lif morfolojisindeki, lif yapısına veya boncuklu yapı oluşturmada büyük rol oynadığını gözlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında besleme hızı ve sprej üzerinde oluşan akım miktarını kıyaslayarak lif üretimi sonunda oluşabilecek lif çapını da tahmin etmeye ve modelleştirmeye çalışmışlardır.

Pokorny ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2010) polimer çözeltisinden oluşan sprejlerin akım ölçümü için iğnesiz çubuklu lif çekim sistemini kullanmışlardır. Toplayıcı ile topraklama arasına kurdukları 100k Ω direnç ile Ohm kanunu kullanarak lif çekimi esnasında elde edilen akımı ölçmüşlerdir. Lif çekimini yüksek hızlı kamera ile kayıt etmiş diğer taraftan akımı ölçen oskiloskop cihazı ile lif oluşum esnasındaki değişimleri gözlemlemişlerdir.

Fallahi ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptığı çalışmada ise uygulanan voltaj ve yük yoğunluğunun sprej akımına olan etkileri araştırılmıştır. Önceki çalışmalarında olduğu gibi poli (akrilonitril) polimerini dimetilformamid (DMF) ile çözerek elektro çekim yöntemi kullanılarak lif çekimi gerçekleştirmişlerdir. Polimer besleme hızını sabit tutarak uygulanan voltaj değeri arttırılmış ve akım testi gerçekleştirilirken eş zamanlı akım değerleri kaydedilmiştir. 17 kV voltaj değerinden 22 kV voltaj değerine kadar arttırılmış ve akım değerleri kaydedilerek oluşan farklı sprej davranışlarında grafikleri çizilmiştir. Yük yoğunluğunun artan voltaj değeri ile azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca lif çapına bakılmıştır.

Cengiz-Çallıoğlu (2011) tarafından yapılan çalışmada; poliüretan (PU) polimeri dimetilformamid (DMF) çözeltisi ile çözmüş, tetra etilen amonyum bromid tuzu ekleyerek farklı konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmıştır. poliüretan polimerinin DMF içindeki çözünürlüğünü azaltan 1,1,2,2, tetrakloriten (TKE) ilave edilerek yeni çözeltiler hazırlamıştır. İki farklı grupta hazırladığı polimer çözeltilerini silindirik ve çubuklu elektro lif çekim sistemlerinde çekerek birim alandaki Taylor koni sayısı ve bir Taylor koniye ait lif çekim performansı hesaplanmıştır. Nano lif üretiminden elde edilen yüzeylerin lif çekim performansları hesaplamıştır.

Bhattacharjee ve arkadaşları, elektro lif çekim esnasında akım ölçümü konusunda literatüre farklı bir çalışma ile katkıda bulunmuştur. Önceden belirledikleri voltaj değeri, polimer çözeltisi besleme hızı ve çözelti iletkenliğini toplam akım denkleminde bir araya getirerek $I_{total} = EQ^{0.5}K^{0.4}$ ifadesini kullanmışlardır. Çalışmalarında polimetil metakrilat (PMMA) polimerini dimetil formamid (DMF) içinde çözmüşlerdir. Lif çekimi esnasında akımı oluşturan bileşenlerin ikiye ayrıldığını öne sürmüşlerdir. İlk olarak ana spreyn oluşturduğu akım değeri ikincisi ise ana spreyn etrafında oluşan sızıntı olarak adlandırılan uçuntu nano liflerdir. Etrafta oluşan kaçak liflerin lif çapına olan etkisini de araştırmışlardır. Sonuç olarak Toplam akım değerinin, $EQ^{0.5}K^{0.4}$ değerine karşılık gelen grafiğinin doğrusal artan grafik oluşturduğunu açıklamışlardır.

Angammana ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptığı çalışmada, çözelti iletkenliğinin elektro çekim üretimine ve ayrıca lif morfolojisine olan etkileri araştırılmıştır. Araştırma esnasında işlem parametreleri de göz önünde bulundurularak çözelti özelliği, üretim şartları ve ortam koşulları olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Polietilen oksit polimerini su ile çözerek farklı miktarlarda tuz (NaCl) eklenmiştir. Elektro lif çekim esnasında polimer çözeltisinde farklı oranlarda bulunan tuz miktarının spreyn akımının üzerindeki etkilerini de incelemiştir. Ek olarak çalışmalarında üretilen liflerin ortalama lif çapları ve lif düzgünlüğü incelenmiştir. Sonuç olarak tuz ilavesi ile polimer çözeltisinin iletkenliği artmış ve dolayısıyla spreyn taşıdığı akım değeri de artmıştır. Aynı zamanda artan çözelti iletkenliği ile lif çapında da azalma meydana gelmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

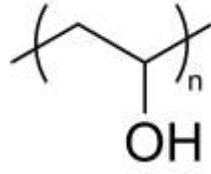
Tez kapsamında Taylor koni yapısı ve fiskiye (sprey) ömrünü hesaplamak için çalışmalar iki ana bölüme ayrılmıştır. İlk bölümde polimer olarak polivinil alkol, çözücü olarak saf su ve tuz olarak soydum klorür kullanılmıştır. Polivinil alkol polimerini saf su ile çözerek farklı konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltilerden, optimum bir konsantrasyon değeri seçilerek farklı konsantrasyonlarda sodyum klorür (NaCl) tuzu eklenerek yeni çözeltiler elde edilmiştir.

Lif çekimi esnasında kameralı kayıtlar alınmış ve Taylor koni yapısı incelenmiştir. İkinci bölümde polimer olarak poliüretan, çözücü olarak dimetilformamid ve tuz olarak TEAB kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlar da poliüretan polimerine farklı konsantrasyonlarında tetra etil amonyum bromid (TEAB) tuzu eklenerek dimetilformamid (DMF) içinde çözülmüş ve ayrı çözeltiler oluşturmuştur. PVA ve PU polimer çözeltilerinin elektrik iletkenliği, yüzey gerilimi ve reolojik özelliklerini belirlenmiştir. Hazırlanan PVA ve PU polimer çözeltilerinden iğneli ve silindirik elektro lif çekim yöntemleri ile nano lif esaslı yüzey üretimi gerçekleştirilmiştir. Taylor koni yapısı ve sprej ömrü incelenmiştir. Üretim esnasında eş zamanlı alınan kamera kayıtları ile Taylor koni yapısı ve sprej ömrü incelenmiştir. Son olarak da taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak farklı büyütme oranlarında çalışma kapsamında elde edilen nano liflerin görüntüleri alınmış ve analiz edilmiştir.

İğneli ve silindirik elektro lif çekim yöntemlerinde elde edilen veriler grafiksel ve istatistiksel olarak analiz edilerek iki sistem birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

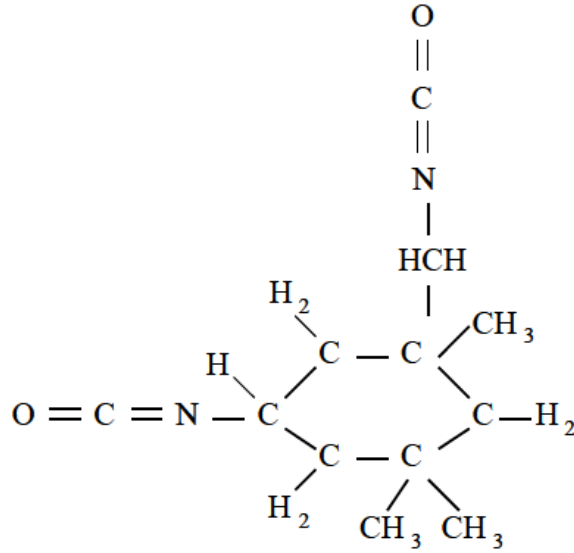
3.1. Materyal

Bu çalışmada, elektro lif çekim işlemini gerçekleştirmek için polivinil alkol ve poliüretan olmak üzere iki farklı polimer kullanılmıştır. Moleküler ağırlığı 130.000 g/mol olan polivinil alkol polimeri (Slovionlr, Chemicke Zavody Novaky, Slovakia) çözücü olarak saf su ve tuz olarak NaCl kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan PVA polimerinin kimyasal yapısı

Moleküler ağırlığı 2000 g/mol olan poliüretan polimerini (PUR, Larithane LS 1086, alifatik elastomer esaslı polikarbonize diol, isophorone diizosiyanat ve extended isophorone daimin) çözücü olarak dimetilformamid (DMF) ve tuz olarak da Fluka firmasından temin edilmiş tetra etil amonyum bromid (TEAB) kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan PU polimerinin kimyasal yapısı

3.2.Yöntem

Çalışmanın birinci bölümünde PVA polimeri saf suda çözülerek farklı konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmıştır. Optimum PVA konsantrasyonu belirlenerek lif çekim performansını artırmak amacı ile yine çeşitli konsantrasyonlarda NaCl tuzu eklenerek toplamda 10 adet PVA çözeltisi hazırlanmıştır. PVA polimerinin lif çekim performansını azaltmak amacı ile seçilen optimum PVA çözeltisine farklı oranlarda sodyum klorür tuzu (NaCl) eklenmiştir (Tuan., 2010).

Hazırlanan tüm PVA çözeltilerinin yüzey gerilimi, viskozite ve iletkenlik özellikleri belirlenmiştir. Çözelti özellikleri belirlendikten sonra işlem esnasındaki silindir üzerindeki polimer çözeltisi film katmanı kalınlığını ölçmek üzere kalınlık ölçüm testi yapılmıştır. Silindirli (Nanospider) elektro lif çekim sisteminde lif çekim işlemi gerçekleştirilerek işlem esnasında oluşan Taylor konilerin yapısı ve spreyleerin ömrü incelenmiş her bir Taylor konisi için lif performansı ve kumaş performansı hesaplanarak aralarındaki ilişki belirtilmiştir.

Üretilen PVA nano lif esaslı yüzeylerin taramalı elektron mikroskobu kullanılarak (SEM) görüntüleri alınmıştır. Daha sonra Nikon görüntü analiz programı kullanılarak SEM görüntüleri analiz edilmiş, ortalama lif çapı ve lif olmayan alan hesaplamaları yapılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümü tamamlanarak kamera kayıtları analizleri ile silindirli elektro lif çekim işleminde Taylor koni ve spreyle analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde lif çekilebilirliği PVA polimerine nazaran daha zor olan poliüretan (PU) polimeri, dimetilforamid (DMF) çözücüsü içinde farklı konsantrasyonlarda çözülmüştür. Lif çekim performansını artırmak için farklı konsantrasyonlarda tuz olarak tetra etil amonyum bromid (TEAB) ve sabit oranda saf su eklenmiştir (Cengiz-Çallıoğlu, 2011).

PU polimer çözeltileri hazırlandıktan sonra birinci bölümde olduğu gibi iletkenlik, yüzey ölçüm ve viskozite özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra silindir üzerindeki polimer çözeltisi film katmanı kalınlığını ölçmek üzere kalınlık ölçüm testi yapılmıştır. Bu bölümde silindirli elektro lif çekim sistemi yanı sıra iğneli elektro lif çekim sistemi de kullanılarak spreyle yapısı incelenmiştir. PU çözeltilerinden her iki sistemde de lif çekim işlemi gerçekleştirilirken eş zamanlı kamera ve akım ölçüm kayıtları alınmıştır. Taylor koni ve spreyle yapısı ile spreyle ömrünü açıklarken kameralı görüntülere ek olarak spreyle içinden geçen elektrik akım değerleri hesaplanmış ve analiz edilmiştir.

Elde edilen PU nano lif esaslı yüzeyler SEM görüntüleri alınarak, nano lif yapısı ve özellikleri (çap, lif oluşmayan alan) belirlenmiştir.

3.2.1. Polimer çözeltilerinin hazırlanması

Tez kapsamında kullanılan polimerlerin konsantrasyon, tuz konsantrasyonu gibi özellikleri belirlenirken daha önceki çalışmalardan faydalanılmıştır (Tuan, 2010; Cengiz-Çallıoğlu, 2011). Bu çalışmalarda tespit edilen konsantrasyon değerlerine göre polimer çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çalışmada, % 8-10-12-14 olmak üzere dört farklı PVA konsantrasyonuna sahip çözelti hazırlanmıştır (Çizelge 3.1). Daha sonra % 12'lik PVA çözeltisine % 0-0,1-0,2-0,3-0,5-0,7-1 konsantrasyonda NaCl tuzu eklenerek yeni çözeltiler hazırlanmıştır (Çizelge 3.1). Diğer taraftan Cengiz-Çallıoğlu poliüretan polimerini % 10-12,5-15-17,5-20 olmak üzere beş farklı konsantrasyonda hazırlamış ve sadece % 15-17,5-20 ve bunların (% 0-0,4-0,8-1,27) dört ayrı TEAB tuzlu konsantrasyonlarına sahip çözeltilerin lif çekilebilir olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 3.1. Birinci bölümde kullanılan PVA çözelti değerleri

Polimer (PVA) Konsantrasyonu (%)	Su Konsantrasyonu (%)	Tuz (NaCl) Konsantrasyonu(%)
8	92	0
10	90	0
12	88	0
	87,9	0,1
	87,8	0,2
	87,7	0,3
	87,5	0,5
	87,3	0,7
	87	1
14	86	0

Çalışmanın ilk aşamasını oluşturan 10 farklı PVA polimer çözeltileri, silindirli elektro lif çekim yönteminde kullanmak üzere hazırlanmıştır. Sonraki aşama olan ikinci bölümde ise lif çekilebilirliği daha zor olan PU polimeri ile önceden belirlenmiş çözeltiler hazırlanmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. İkinci bölüm için çalışmada kullanılan PU çözelti değerleri

Polimer (PU) Konsantrasyonu (%)	Dimetilformamid (DMF) Konsantrasyonu (%)	Tuz (TEAB) Konsantrasyonu (%)	Su Konsantrasyonu (%)
15	82,8	0	2,2
	82,4	0,4	
	82	0,8	
	81,53	1,27	
17,5	80,3	0	2,2
	79,9	0,4	
	79,5	0,8	
	79,03	1,27	
20	77,8	0	2,2
	77,4	0,4	
	77	0,8	
	76,53	1,27	

3.2.2. Çözelti özelliklerinin belirlenmesi

Bu bölümde hazırlanan PVA ve PU çözeltilerinin yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite özelliklerini belirlemek için yapılan ölçümler ve bu özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cihaz ve yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.2.1. Yüzey gerilim ölçümleri

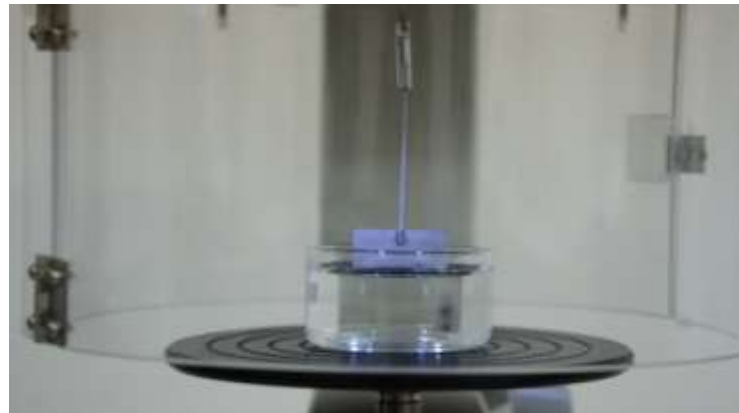
Sıvı yüzeyinde birim uzunluğu gergin tutan kuvvete yüzey gerilimi olarak adlandırılmaktadır. Elektro lif çekim yönteminde ise polimer çözeltisine uygulanan elektrik alan kuvvetine karşı mukavemet gösteren ilk kuvvet olarak da bilinmektedir. Lif çekim işlemini başlatabilmek için polimer çözeltisine yüklenen voltajın, çözeltinin yüzey gerilimini aşması beklenmektedir. Ayrıca lif oluşumu esnasındaki boncuklu yapının çözeltilerin yüzey gerilimi özelliklerine dayandırıldığı bilinmektedir (Ramakrishna et al., 2005).

Bu çalışmada yüzey gerilimi ölçümleri için KRÜSS Tensiometer K9 marka yüzey gerilim ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yüzey gerilim ölçüm cihazı

Yüzey gerilim ölçümlerini gerçekleştirmek için cihazın içine koyulan çözeltiler, 20 ml'lik cam kaplara doldurularak hazırlanmıştır. Ölçüm cihazında bulunan alüminyum plaka, çözeltilerin içine tamamen batacak şekilde alçaltılır ve levha yüzeyi tamamen sıvı kaplandıktan sonra çözelti yüzeyiyle levha ucu temas halinde bırakılır (Şekil 3.4.). “Daha sonra levha ile sıvı arasında oluşan menisküsün ağırlığı ölçülür ve bu değer kullanılarak yüzey gerilimi değeri hesaplanır”(Cengiz-Çallıoğlu, 2011). Ölçüm işlemi cihazın üzerindeki değer sabit kalana kadar beklenerek son değer (mN/m) cinsinden yazılır.



Şekil 3.4. Yüzey gerilimi ölçümünde sıvı ile levhanın teması

3.2.2.2. İletkenlik ölçümü

Polimer çözeltilerinin elektro lif çekim yönteminde çekilebilir olması için gerekli olan önemli parametrelerden biri de hazırlanan çözeltinin iletken olmasıdır. Unutulmamalıdır ki iletkenliği sıfır olan bir çözeltinin lif çekilebilirliği olanaksızdır. Bu nedenle seçilen çözücü maddenin elektro lif çekim işleminde rolü büyüktür. Bu çalışmada ise hazırlanan çözeltilerin iletkenlikleri Radelkis OK-102/1 marka iletkenlik ölçüm cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. İletkenlik ölçüm cihazı

Ölçüm için hazırlanan polimer çözeltileri 20 ml'lik cam kaplara boşaltılmaktadır. Aralarındaki uzaklık 10 mm olan ve 10x10 mm uzunluklarına sahip iki levha elektrot, kaptaki çözeltiliye sadece levhalar girecek şekilde daldırılarak iletkenlik ölçülmektedir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. İletkenlik ölçümünde levhaların sıvı içinde konumu

Çözelti iletkenliği mikroSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) veya miliSiemens (mS/cm) birimiyle gösterilmektedir.

3.2.2.3. Viskozite ölçümü

Çözelti viskozitesi, kıvamlılık ya da akmazlık, bir akışkanın yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir (Anonim, 2012). Çözelti viskozitesinin elektro lif çekimine ve lif morfolojisine büyük etkisi bulunmaktadır. Genel olarak, çözelti viskozitesinin polimer molekül zincirlerinin yapısında bulundurduğu dolaşıklıkla ilgili olduğu bilinmektedir. Çözelti viskozitesi çok düşük olduğunda lif oluşumu yerine elektro spreya veya çözelti tanecikleri atlaması meydana gelebilir. Viskozite düşük olduğunda genelde polimer çözeltisi içindeki molekül zincirleri dolaşıklıkları da düşük olmaktadır. Bu da düzgün lif yüzeyi oluşturmak yerine boncuklu lif yapısına neden olmaktadır (Ramakrishna et al., 2005).

Bu çalışmada ise çözeltilerin viskozite özelliklerini belirlemede Şekil 3.7’de görülen Haake RotoVisco 1 marka cihaz ile 23 °C sıcaklıkta ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Viskozite ölçüm cihazı

Cihaz ile yapılan çözeltilerin kayma hızına bağlı olarak viskozite ölçümleri yapılmıştır. Kullanılan sensör cinsi “koneØ35mm,1°C35/1”.

3.2.3. Elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi

Hazırlanan çözeltilerin özellikleri belirlendikten sonra iğneli ve silindirli elektro lif çekim yöntemleri kullanılarak polivinil alkol ve poliüretan nano lif esaslı yüzey üretimleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.1. İğneli elektro lif çekim yöntemi

Nano lif esaslı yüzey elde etmede temel yöntemlerden olan iğneli elektro lif çekim yöntemi poliüretan ile hazırlanmış çözeltilerden lif çekimi gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Yatay iğneli elektro lif çekim yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan iğneli elektro lif çekim sistemi

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi bir pompa desteğiyle polimer çözelti beslemesi sağlanan iğne ucu ile topraklanmış düz metal levhadan oluşan sistem iki elektrotla sahiptir. İğnenin ucuna bağlanan yüksek voltaj kaynağı açıldığında, topraklanmış düz metal levha ile iğne ucu arasında elektrik alan meydana gelmektedir. Elektrik alan kuvveti polimer çözeltisinin iç gerilim kuvvetlerini aştığı anda elektro lif çekim işlemi iğne ucundan topraklanmış levhaya doğru gerçekleşmektedir.

İğneli elektro lif çekim yönteminde poliüretan polimer çözeltisinin lif çekimini gerçekleştirmek üzere optimum işlem parametreleri (besleme hızı, elektrotlar arası mesafe, voltaj) belirlenmiştir. Çizelge 3.3’te poliüretan polimer çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yönteminde lif çekimi gerçekleştirilirken kullanılan işlem ve çevresel parametreler verilmiştir.

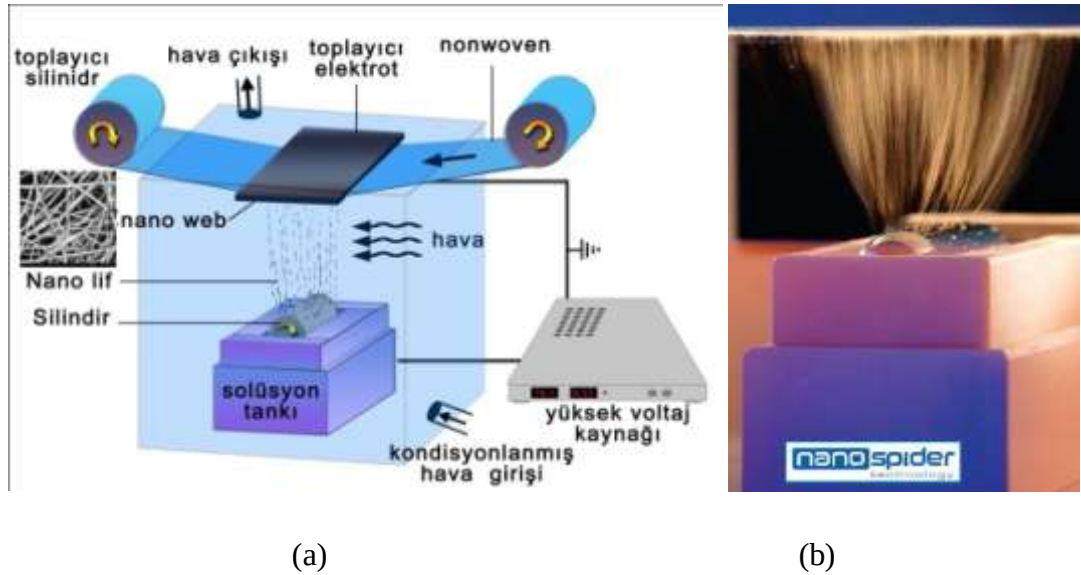
Çizelge 3.3. İğneli elektro lif çekim yönteminde kullanılan parametreler

Çevresel Parametreler		İşlem Parametreleri			
Ortam Sıcaklığı (°C)	Ortam Rutubeti (%)	Elektrotlar Arası Mesafe (mm)	Çözelti Besleme Hızı (ml/saat)	Voltaj (kV)	İğne Dış Çapı (mm)
23	25	150	0,5	15-20-25	0,6

3.2.3.2. Silindirli elektro lif çekim yöntemi

Çalışma kapsamında hazırlanan polivinil alkol ve poliüretan polimer çözeltilerinden seri üretime olanak sağlayan silindirli elektro lif çekim sistemi kullanılarak lif çekimi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak PVA polimer çözeltisi ile silindirli elektro lif çekim sisteminde nano esaslı yüzey üretimi gerçekleştirilmiş olup ikinci bölümde poliüretan polimer çözeltisi ile lif çekimi gerçekleştirilmiştir.

Silindirli elektro lif çekim sisteminin patenti Liberec Teknik Üniversitesinde Jirsak vd. tarafından alınmıştır ve Nanospider ismi altında Elmarco firması tarafından ticarileştirilmiştir (Şekil 3.9).



(a) (b)
Şekil 3.9. Silindirli elektro lif çekim yöntemi (a) ve döner silindir (b)

Silindirli elektro lif çekim yöntemi iki elektrottan oluşmaktadır. İlk elektrot olan dönen bir silindir, içinde polimer çözeltisi bulunan bir hazne içine silindirin alt kısmı çözeltiye batırılmış şekilde yerleştirilmiştir. Silindir haznesinin hemen üstünde düz metal ya da telden oluşabilen toplayıcı elektrot bulunmaktadır. Silindir, haznenin içinde döndükçe silindirin çevresini polimer çözeltisinin viskozite değerine göre ince ya da kalın tabaka halinde çözelti kaplamaktadır. Yüksek voltaj kaynağı dönen silindire bağlanmaktadır ve toplayıcı elektrot topraklanmaktadır. Voltaj kaynağı açıldıktan sonra iki elektrot arasında elektriksel alan kuvveti oluşmaktadır. Elektriksel alan kuvveti silindir yüzeyinde film halinde bulunan polimer çözeltisinin

yüzey gerilimi değerini aştığında silindir yüzeyinde Taylor koniler oluşmaktadır. İşlem esnasında Taylor konilerin ucundan oluşan spreyley toplayıcıya doğru uzanmaktadır ve çözücü buharlaşmaya başlamaktadır. Nano lifler toplayıcı elektrot önünden belirli hızda geçen polipropilen dokusuz yüzey üzerine katı halde toplanmaktadır.

Silindirli elektro lif çekim yönteminde iki farklı polimer kullanılması nedeniyle optimum işlem ve çevresel parametreler her iki polimer için ayrı ayrı belirlenmiştir. Çizelge 3.4'te PVA polimer çözeltilerinin silindirli elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretiminin gerçekleştirilebilmesi için uygulanan parametreler verilmiştir.

Çizelge 3.4. Silindirli elektro lif çekim yönteminde PVA polimer çözeltisi için uygulanan parametreler

Mekanik Parametreler				İşlem Parametreleri		Çevresel Parametreler	
Silindir Uzunluğu (cm)	Silindir Çapı (cm)	Silindir Dönüş Hızı (rpm)	Toplayıcı Kumaş Hızı (cm/dk)	Elektrotlar Arası Mesafe (cm)	Voltaj (kV)	Ortam Rutubeti (%)	Ortam Sıcaklığı (°C)
14,5	2	2,5	10	12	55	30	26,4

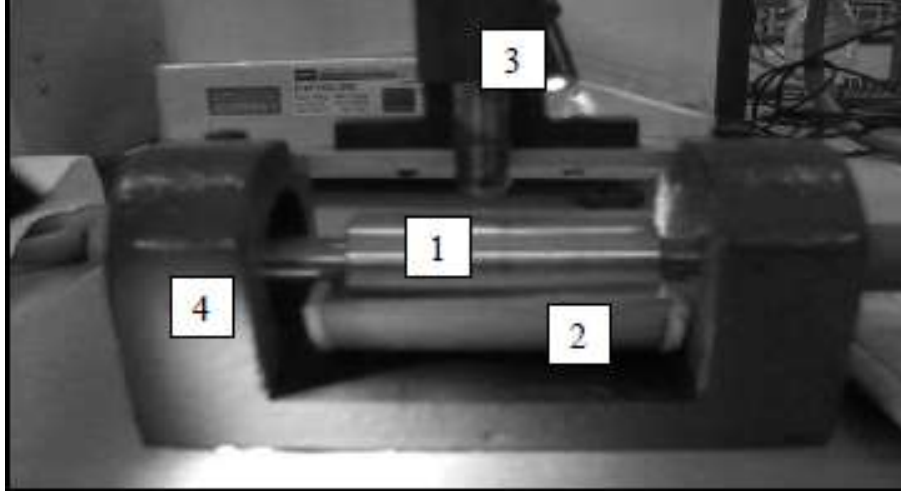
Polimer çözeltileri birbirlerinden tamamen farklı yapılara sahip olması nedeniyle silindirli elektro lif çekim yönteminde de farklı optimum parametreler gerektirmiştir. Çizelge 3.5'te ise poliüretan polimer çözeltilerinin silindirli elektro lif çekim yönteminde nano lif çekilebilmesi için uygulanan parametreler verilmiştir.

Çizelge 3.5. Silindirli elektro lif çekim yönteminde PU polimer çözeltisi için uygulanan parametreler

Mekanik Parametreler				İşlem Parametreleri		Çevresel Parametreler	
Silindir Uzunluğu (cm)	Silindir Çapı (cm)	Silindir Dönüş Hızı (rpm)	Toplayıcı Kumaş Hızı (cm/dk)	Elektrotlar Arası Mesafe (cm)	Voltaj (kV)	Ortam Rutubeti (%)	Ortam Sıcaklığı (°C)
14,5	2	2	10	11	57	24	17

3.2.4. Silindir üzerindeki polimer film katmanı belirlenmesi

Silindirli elektro lif çekim yöntemine ismini veren silindirin üzerinden geçen polimer çözeltisi film katmanını ölçmek için sadece çözelti haznesi ve dönen silindirden oluşan minyatür cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Polimer çözeltisi film katmanını kalınlığı ölçmede kullanılan cihaz

Şekilde 3.10’da görülen 1 numaralı kısımda, elektronik motor yardımıyla hızı ayarlanabilen demir bir silindir bulunmaktadır. 2 numaralı kısım polimer çözelti haznesi ve 4 numaralı kısım ise cihazın iskeletini oluşturmaktadır. Şekilde görülen 3 numaralı kısım, aşağı yukarı hareketiyle ayarlanabilen iğne uçlu ölçüm koludur. Silindir ayarlanabilen bir hızda polimer çözelti haznesi içinde dönerken silindir üzerinde çözelti viskozitesine ve konsantrasyonuna bağlı olarak çözelti film katmanı oluşturmaktadır. Ölçüm kolunu yavaşça aşağıya indirerek çözelti ile temas anında kol üzerinde görülen değer okunur ve kalınlık değeri ölçülür.

Tez kapsamında analiz edilen Taylor koni yapısı ve sprej ömrünün silindir üzerindeki polimer çözeltisi film katmanının kalınlığıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, silindirli elektro lif çekim yönteminde nano esaslı yüzeylerin üretiminde kullanılacak olan PVA ve PU polimer çözeltilerinin belirtilen silindir dönüş hızlarında oluşturduğu film katmanın kalınlığı ölçülmüştür.

3.2.5. Taylor koni yapısının analizi

Çalışmanın amaçlarından ilki olan bu bölümde; iğneli ve silindirik elektro lif çekim yöntemlerinde nano lif çekimi gerçekleştirilen polimer çözeltilerinde Taylor koni yapısı ve sayısı, sprej ömrü ve yapısını belirlemek amacıyla lif çekimleri esnasında eş zamanlı kameralı kayıtlar alınmıştır. Alınan video kayıtlar, videodan fotoğrafa çeviri programı ile saniyede 10 fotoğraf haline getirilmiştir. Görüntülerin elde edilmesinde Şekil 3.11’de gösterilen, yüksek çözünürlükte (1080p) kayıt yapabilen, E18-200mm lense sahip Sony Full HD NEX-VG10E Handycam (14.2mp) marka video kamera kullanılmıştır.



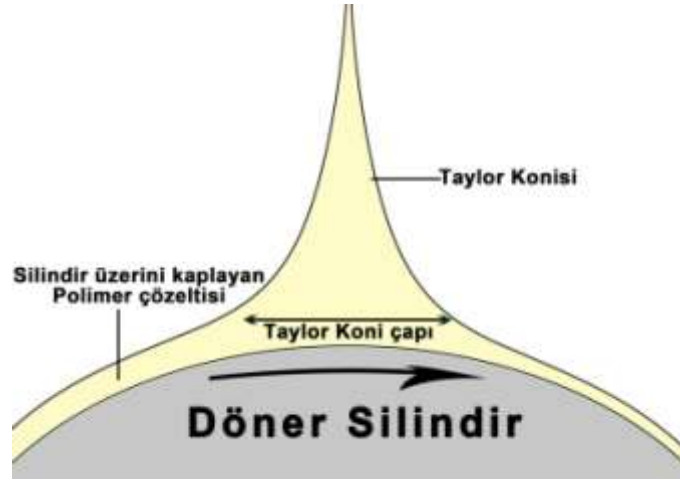
Şekil 3.11. Sony Full HD NEX-VG10E Handycam kamera

Poliüretan çözeltileri ile gerçekleştirilmiş iğneli elektro lif çekimi esnasında eş zamanlı alınan kayıtlar sprej yapısını ve ömrünü analiz etmede kullanılmıştır (Şekil 3.12.).



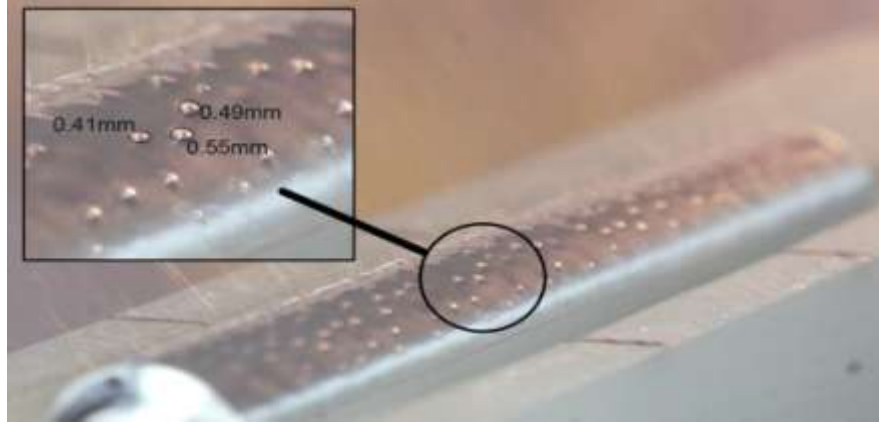
Şekil 3.12. İğneli elektro lif çekim yönteminde PU polimer çözeltisinden lif çekimi

İğneli elektro lif çekimi gerçekleştirildikten sonra silindir üzerindeki Taylor koni yapısını, Taylor koni çapını (Şekil 3.13) ve sprej ömrünü incelemek için ilk olarak PVA polimer çözeltileri kullanılarak silindirli elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi yapılmıştır



Şekil 3.13. Silindir üzerinde Taylor koni yapısı ve genişliği

Üretim esnasında video kamera ile eş zamanlı kayıtlar alınarak Taylor koni analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Silindirli elektro lif çekim yöntemi PVA polimer çözeltisinin Taylor koni yapısı

Taylor koni sayısını belirlemede silindir üzerine odaklanılmış ve kamera kayıtları alınmıştır. Kamera kayıtları tekrar resim formatına çevrilerek silindir üzerindeki toplam Taylor koni sayıları hesaplanmıştır. Şekil 3.15'te silindirli elektro lif çekimi esnasında dönen silindir üzerinde oluşan Taylor koniler verilmiştir. Silindir üzerindeki her parlak nokta bir Taylor konisidir. Silindir üzerindeki Taylor koni sayısı lif çekimi esnasında sürekli değişim gösterdiği için, belli aralıklarla Taylor koni sayımı yapılarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.15. Silindir üzerinde oluşan Taylor koni görüntüleri

3.2.6. Elektrik akımı ölçümü

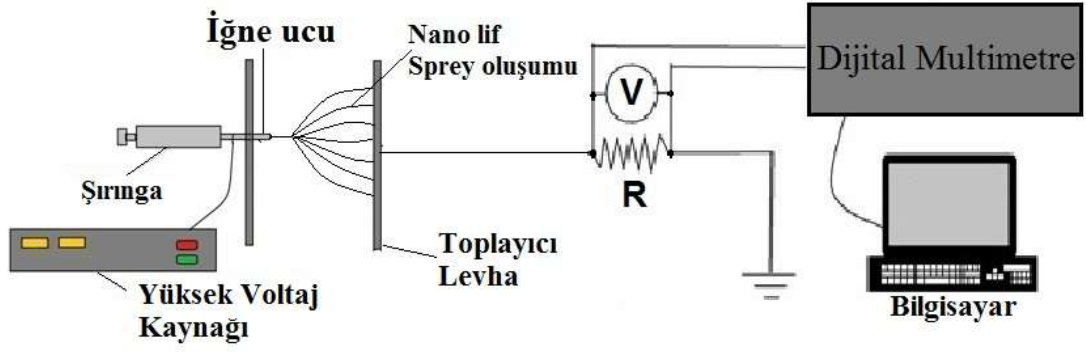
Çalışmanın amaçlarından ikincisi; iğneli ve silindirli elektro lif çekim yöntemlerinde nano lif çekimi gerçekleştirilen polimer çözeltilerinin sprej ömrü ve sprej yapısının belirlenmesidir. Eş zamanlı olarak alınan kamera kayıtlarının yanı sıra voltaj ölçüm cihazı da kullanılarak, polimer çözeltisi ve sprej üzerinden geçen elektrik akım değeri ölçülmüştür.

Bu yöntem, elektro lif çekim esnasında oluşan sprej üzerinden geçen akım yoğunluğunu ölçüm esasına dayanmaktadır. İğneli ve silindirli elektro lif çekim yöntemlerinde toplayıcı ile topraklama kablosu arasına konulan direnç ve bu dirence bağlanan Agilent 34401A 6^{1/2} dijital multimetre aracılığıyla sprej üzerinden geçen voltaj ölçülmüştür (Şekil 3.16.).



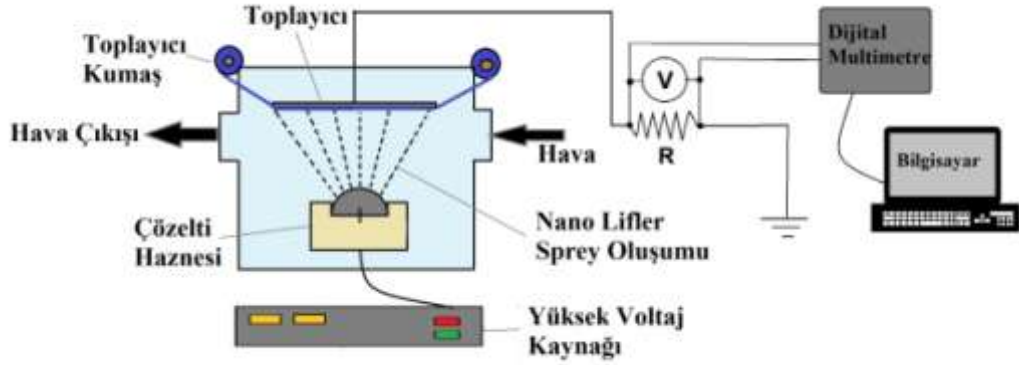
Şekil 3.16. Sprej üzerinden geçen elektrik akımının ölçülmesinde kullanılan multimetre

Toplayıcı elektrottan gelen kabloya bağlı olan direncin iki ucunda ayrı çıkışlar bulunmaktadır. Bir ucu topraklı hatta bağlı olan direncin diğer ucu ise voltaj ölçen dijital multimetreye gitmektedir. Multimetreden çıkan başka bir kabloyla da veriler bilgisayara aktarılmaktadır (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. İğneli elektro lif çekim yönteminde akım ölçüm sistemi

Silindirli elektro lif çekim yönteminde de akım ölçümü, aynı sisteme dayanmaktadır. Toplayıcı elektrot ile topraklama sistemi arasına konulan direnç ile bu direnç üzerinden geçen voltajın ölçülmesiyle akım değeri elde edilmektedir (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Silindirli elektro lif çekim yönteminde akım ölçüm sistemi

İki yöntemde de spray üzerinden geçen elektrik akım değerleri hesaplanırken Ohm kanunu esas alınmaktadır. Ohm kanununa göre 1 ohm, 1 volt uygulanmış devreden 1 amperlik akım geçmesine izin veren direnç miktarıdır (Gussow, 2007). Akım değerlerini hesaplamada Ohm kanuna göre kullanılmış olan formül (3.1) eşitliğinde verilmektedir.

$$I = V/R \quad (3.1)$$

V = Voltaj (V)

$I = \text{Akım (A)}$

$R = \text{Direnç } (\Omega)$

Sprey üzerinden geçen akım değeri; dijital multimetrenin gösterdiği voltaj değerleri sisteme monte edilen direnç değerine bölünerek elde edilmiştir. Bu çalışmada, 9811 Ω değerinde direnç kullanılmıştır.

İğneli elektro lif çekim yönteminde kullanılan kamera kayıtları ve eş zamanlı akım ölçüm yöntemi spre yapısını tayin etmede, silindirli elektro lif çekim yönteminde ise Taylor koni yapısı ve spre ömrünü belirlemede kullanılmıştır. Sprey üzerinden geçen ortalama elektrik akım değerleri hesaplanmıştır.

3.2.7. Üretim analizi

Bu bölümde silindirli elektro lif çekimi yöntemi ile üretilen PVA ve PU nano lif esaslı yüzeylerin lif çekim performansı analizleri yapılmıştır. Hesaplanan lif çekim performansları ve Taylor koni sayıları ile sadece bir Taylor konisinin performansı ayrıca PU polimer çözeltilerinden bir Taylor koni ve spreyn üzerinden geçen elektrik akım değerleri hesaplanmıştır.

Lif çekim performansı, iğnesiz elektro lif çekim işlemi için en önemli karakteristik özelliklerden biridir. Bu özellik bir metre uzunluğundaki silindirden bir dakikada üretilen nano esaslı yüzeyin gram cinsinden değeri olarak tanımlanmaktadır (Tuan, 2010; Cengiz-Çallıoğlu, 2011.)

Elektro lif çekimi esnasında şekil 3.19'da görülen polipropilen dokusuz yüzey üzerine toplanan nano yüzeyler 10x10 cm² ölçülerinde kesilerek çekim esnasında elde edilen nano yüzeyler, dokusuz yüzeylerden ayrılmıştır.



Şekil 3.19. Lif çekim performansı hesaplamada kullanılan nano esaslı yüzey

Üretilen nano esaslı yüzeylerin 3 farklı bölgesinden alınan numuneler hassas terazide tartılmış ve ağırlıklarının ortalaması alınmıştır. Ortalaması alınan numune ağırlıkları aşağıda belirtilen eşitlik (3.2) kullanılarak lif çekim performansları hesaplanmıştır.

$$LÇP = \frac{G * v * lk}{ls} \quad [g/dk/m] \quad (3.2)$$

$LÇP$ = lif çekim performansı (g/dk/m)

G = Ortalama ağırlık (g/m^2)

v = polipropilen dokusuz yüzey geçiş hızı (m/dk)

lk = polipropilen kumaş üzerine üretilen nano kumaşın eni (m)

ls = döner silindirin uzunluğu (m)

Lif çekim performansı hesaplandıktan sonra tek bir Taylor koninin sahip olduğu lif çekim performansı hesaplanmıştır. Bu parametrede bir Taylor koninin saatteki üretim performansı olarak da tanımlanabilir.

$$TKlçp = \frac{LÇP * ls * 60}{TKs} \quad [g/saat] \quad (3.3)$$

$TKlçp$ = Bir Taylor konisinin lif çekim performansı (g/saat)

$LÇP$ = Lif çekim performansı (g/dk/m)

ls = döner silindirin uzunluğu (m)

TK_s = Lif çekim esnasında silindir üzerinde sayılan Taylor koni sayısı

3.2.8. Nano liflerin karakterizasyonu

Nano liflerin yapısı normal mikroskoplar altında belirlenemeyecek kadar küçük olduğu için lif çapı ve morfolojilerini gözlemlemek için FEI PHENOM marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

İğneli ve silindirli elektro lif çekim yöntemi ile üretilen nano liflerden elektron mikroskopunda bakılmak üzere numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 0.3 nm inceliğinde altınla kaplanarak, mikroskop altında görüntü netliği sağlanmıştır. Lif çapı ve lif olmayan alan analizleri için 1.000, 5.000 ve 10.000 kat büyütme lif görüntüleri alınmıştır.

Numunelerin lif görüntüleri, lif çapı ve lif oluşmayan alan değerlerini belirlemek için NIS Element AR (Nikon) görüntü analiz programı kullanılmıştır. Liflerin çapları hesaplanırken, her bir SEM görüntüsünden 100 farklı ölçüm alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerden elde edilen bulgular iki farklı ana başlık içinde incelenmiştir. Daha önceden de belirtildiği gibi polivinil alkol polimer çözeltileri ile yapılan tüm deneysel çalışmalar (çözelti özellikleri, silindirli elektro lif üretimi için polimer çözeltisi film katman kalınlığı, Taylor koni yapıları, fıskiye (sprey) ömürleri, üretim analizleri, SEM analizleri ve nano lif karakterizasyonları) ait sonuçlar birinci bölümde değerlendirilmiştir.

İkinci bölümde, iğneli ve silindirli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak poliüretan polimer çözeltileri ile yapılan deneysel çalışmalar (çözelti özellikleri, silindirli lif üretimi için polimer çözeltisi film katman kalınlığı Taylor koni ve sprej yapıları, sprej ömürleri, sprej içindeki elektrik akım yoğunluğu, üretim analizleri, sem analizleri ve nano lif karakterizasyonları) değerlendirilmiştir.

4.1. Polivinil Alkol ile Yapılan Deneysel Çalışmalar

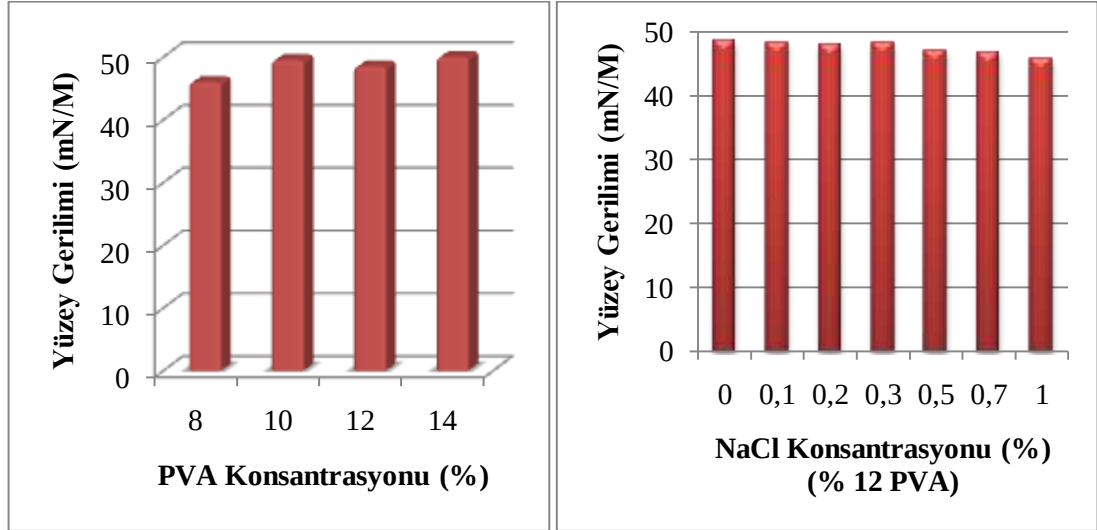
Çalışmanın bu bölümünde polivinil alkol polimeri ile yapılan deneysel çalışmalar verilmiştir. İlk olarak çözelti özelliklerini belirlemek için yapılan ölçümler üzerinde durulmuştur. Silindirli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak lif üretim esnasında silindir üzerinde meydana gelen Taylor koni yapısı ve sprej ömrü belirlenmiştir. Elde edilen nano yüzeylerin SEM görüntü analizlerinden lif özellikleri karakterizasyonu yapılmıştır.

4.1.1. Polivinil alkol polimerinin çözelti özelliklerinin belirlenmesi

Bu bölümde hazırlanmış olan çözeltiler, % 8-10-12-14 PVA polimer konsantrasyonu ve optimum konsantrasyon olarak seçilen % 12 PVA çözeltisi ise % 0-0,1-0,2-0,3-0,5-0,7-1 oranında NaCl tuzu içermektedir. 10 ayrı çözeltinin yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite özelliklerinin belirlenmesinde yapılan ölçümlerden elde edilen bulgular verilmiştir.

4.1.1.1. Polivinil alkol polimer çözeltisi yüzey gerilimi ölçüm testi

Farklı konsantrasyonlardaki polivinil alkol ve tuzlu çözeltilerinin yüzey gerilimi analiz sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir.

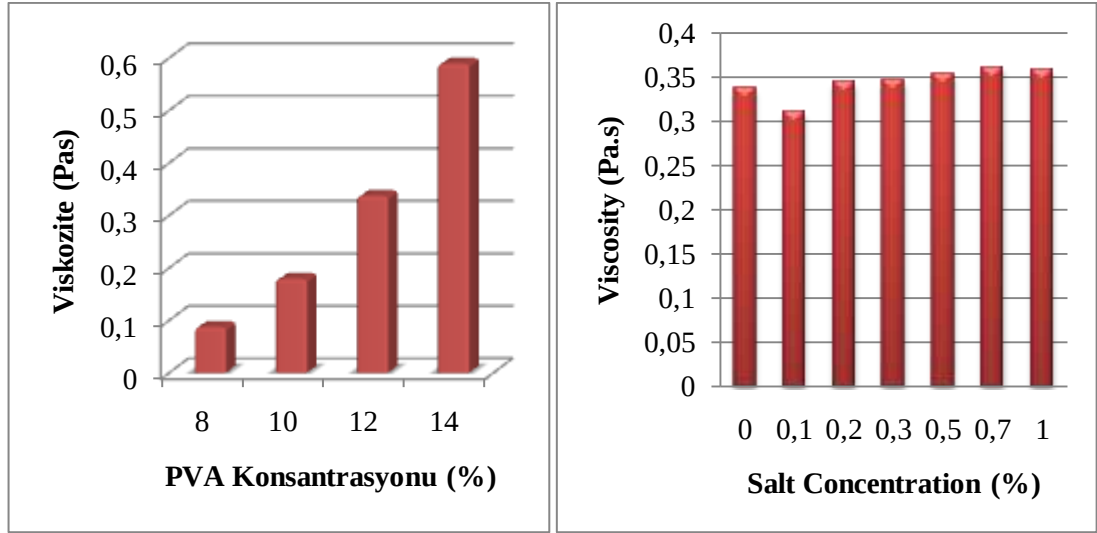


Şekil 4.1. PVA polimer çözeltilerine ait yüzey gerilimi ölçüm sonuçları

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi PVA konsantrasyonu arttıkça yüzey geriliminde bir miktar artış meydana gelmektedir. PVA konsantrasyonu arttıkça makro moleküller arasındaki etkileşim arttığı için moleküller arası çekim kuvvetleri de artmaktadır. Bu durum sıvı yüzeyinde bulunan moleküllerin çekim kuvvetlerinin de artmasına sebep olur ve yüzey gerilimide artmaktadır. Literatürde konsantrasyon değişimi ile yüzey geriliminin arttığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Tuan, 2010; Deitzel et al., 2001). % 12 PVA çözeltisine eklenen NaCl tuz oranının artışı çözeltilerin yüzey gerilimi özelliklerine büyük bir etkisi bulunmamakla birlikte bir miktar azalmıştır.

4.1.1.2. Polivinil alkol polimer çözeltisi viskozite ölçüm testi

Polivinil alkol ve tuzlu çözeltileri için viskozite ölçüm bulguları Şekil 4.2.’de verilmiştir.

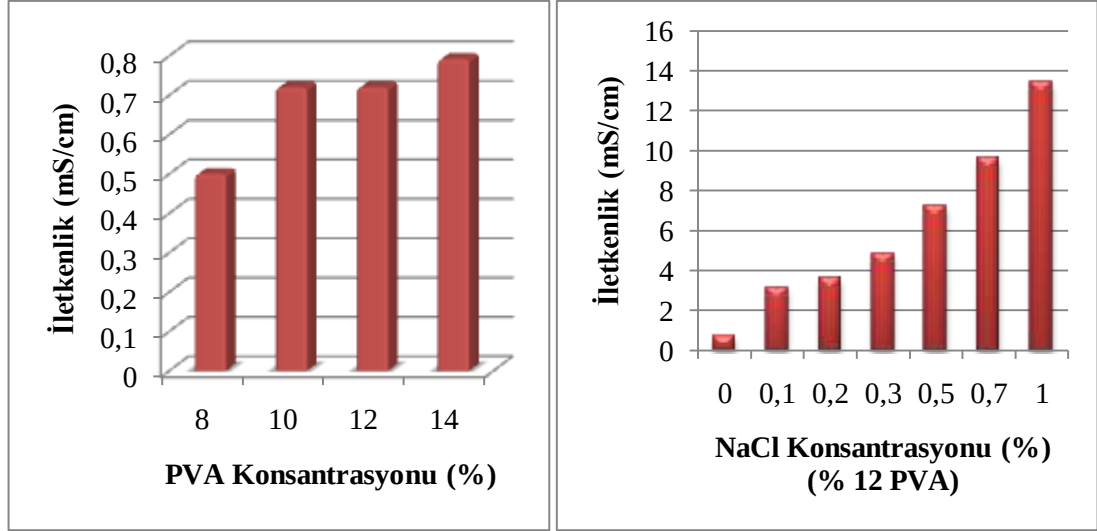


Şekil 4.2. PVA polimer çözeltilerine ait viskozite ölçüm sonuçları

Şekil 4.2.'de verilen sonuçların göre PVA çözelti konsantrasyonu arttıkça viskozite değeri de artmaktadır. Artan konsantrasyon değeri ile moleküller arası etkileşim artar. Bu sebeple çözelti akışkanlığı azalır ve sıvı viskozitesi artar. % 12 PVA çözeltisinde ise NaCl tuzu ilavesiyle çözelti viskozitesine bir etkisi bulunmadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla NaCl tuzunun PVA çözelti yapısına bir etkisinin bulunmadığı düşünülmektedir.

4.1.1.3. Polivinil alkol polimer çözeltisi iletkenlik ölçüm testi

PVA ve tuzlu çözeltilerine ait iletkenlik ölçüm sonuçları Şekil 4.3.'te verilmiştir.



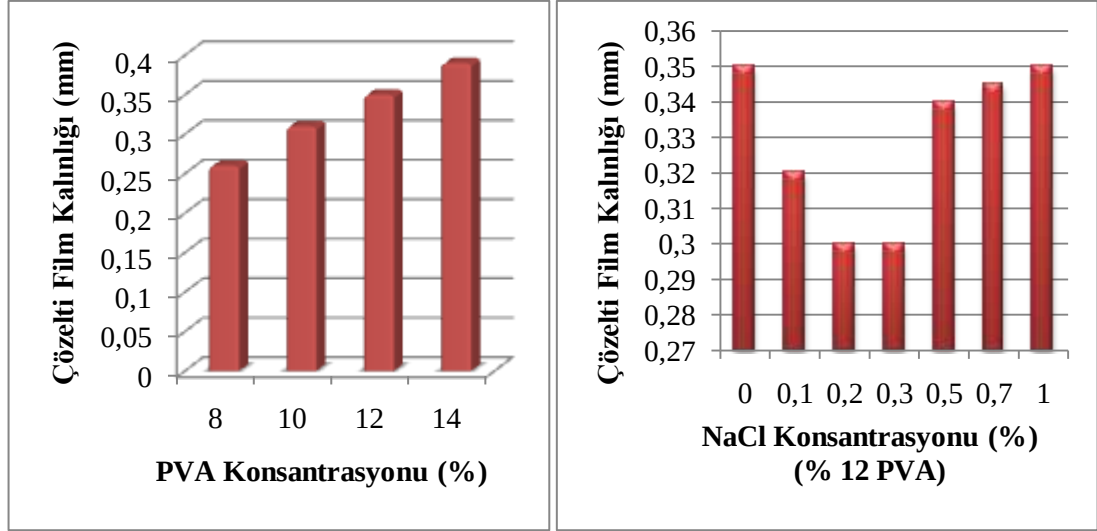
Şekil 4.3. PVA çözeltilerine ait iletkenlik ölçüm sonuçları

Daha önceki bölümlerde % 12 PVA çözeltisine farklı konsantrasyonlarda eklenen sodyum klorür (NaCl) tuzunun çözeltinin yüzey gerilimi ve viskozitesi özelliklerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (bkz: Şekil 4.1;4.2). Fakat tuz konsantrasyonunun artmasıyla çözelti iletkenliğinde önemli bir artış meydana gelmiştir. PVA çözeltisine eklenen NaCl tuzu çözündüğünde açığa çıkan çok miktarda iyon sayesinde çözelti iletkenliği artmıştır.

4.1.2. Polivinil alkol çözeltilerinin silindir yüzeyindeki film katmanı kalınlığı analiz bulguları

Farklı konsantrasyonlardaki polivinil alkol çözeltilerinin ve silindir üzerindeki film katmanı kalınlığı, çözelti film kalınlıkları ölçer cihaz ile ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 4.4'te verilmiştir.

Silindir üzerindeki polimer çözelti katmanının gözlemlenmek istenen Taylor koni sayısı ve sprej ömrüne etkisi olduğu düşünülmektedir.



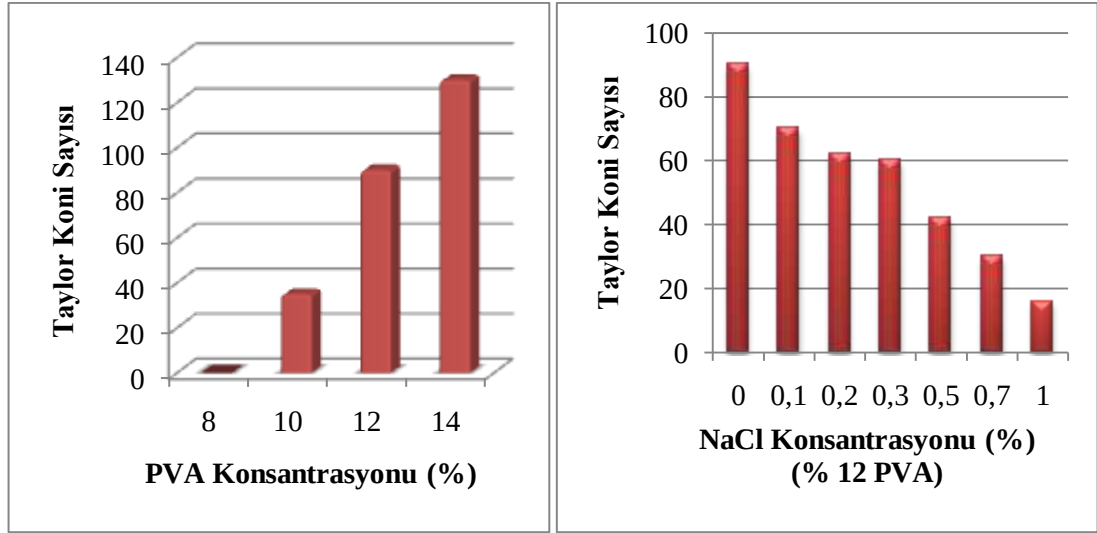
Şekil 4.4. PVA çözeltilerine ait silindir üzerindeki film katmanı kalınlıkları

Artan polimer çözelti konsantrasyonu ile çözelti viskozitesinde de önemli derecede artış meydana gelmiştir (bkz Şekil 4.2.). Artan çözelti viskozitesine bağlı olarak da çözelti akışkanlığı azalmış ve dönen silindir üzerindeki polimer çözeltilerinin oluşturduğu film katmanının kalınlığı da artmıştır. % 12 PVA çözeltisine eklenen tuz oranlarındaki artış, silindir üzerindeki film katman kalınlığını önce azaltırken devam eden tuz konsantrasyonu artışıyla tekrar artışa neden olmuştur.

4.1.3. Polivinil alkol çözeltilerinin Taylor koni analiz bulguları

Bu bölümde, silindirli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak üretilen polivinil alkol polimer çözeltilerinin üretim esnasında kameralı kayıtları alınan Taylor koni analiz bulguları verilmiştir. Üretim esnasında çekilen kameralı görüntüler analiz edilmiş, lif çekim esnasında silindir üzerinde oluşan Taylor koni sayıları hesaplanmıştır. Aynı görüntülerden Taylor koni çapları ve sprej ömrü değerleride belirlenmiştir. Ayrıca değerlerin istatistiksel açıdan önemi ANOVA testi ile vurgulanmıştır.

Şekil 4.5'te PVA çözeltilerinden silindirli lif çekim işlemi esnasında silindir üzerinde sayılan Taylor koni sayıları verilmiştir.

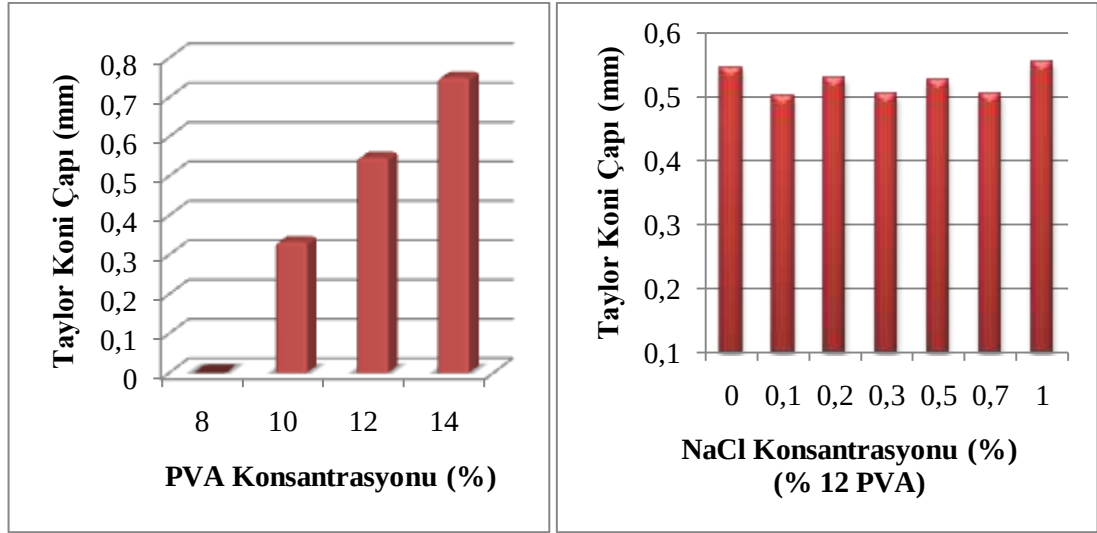


Şekil 4.5. PVA çözeltilerine ait Taylor koni sayıları

Düşük konsantrasyon ve verim değeri nedeni ile % 8 PVA çözeltisinin Taylor koni bulgularına ait veriler hesaplanamamıştır. Artan polivinil alkol çözelti konsantrasyon değeri ile Taylor koni sayısında artış meydana gelmiştir. Su içerisinde çözülen PVA polimer miktarı arttıkça çözelti içindeki makro moleküllerin birbirine olan yakınlığı da artmaktadır. Makro molekül yapıları dağınık halde iç içe geçmekte ve bu durum elektro lif çekim esnasında Taylor konilerinin birbirlerini etkilemesini sağlayarak Taylor koni sayısını arttırmaktadır. Önceki yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Tuan, 2010).

% 12 PVA çözeltisine farklı oranlarda ilave edilen NaCl tuzunun konsantrasyonu arttıkça Taylor koni sayısında azalma meydana gelmiştir. NaCl tuzu çözelti içinde çözünerek iyonlarına ayrılmaktadır ve PVA çözeltisinin kimyasal yapısını değiştirmedeği düşünülmektedir. PVA çözeltisinde artan tuz oranının nano esaslı yüzey üretimine olumsuz yönde etki yaptığı bilinmektedir fakat şu an ki bu olumsuz değişimin sebepleri henüz net bir şekilde açıklanamamıştır.

Şekil 4.6’da elektro lif çekim esnasında silindir üzerindeki polivinil alkol polimer çözeltilerinden elde edilmiş Taylor koni çapları bulunmaktadır.



Şekil 4.6. PVA çözeltilerine ait Taylor koni çapları

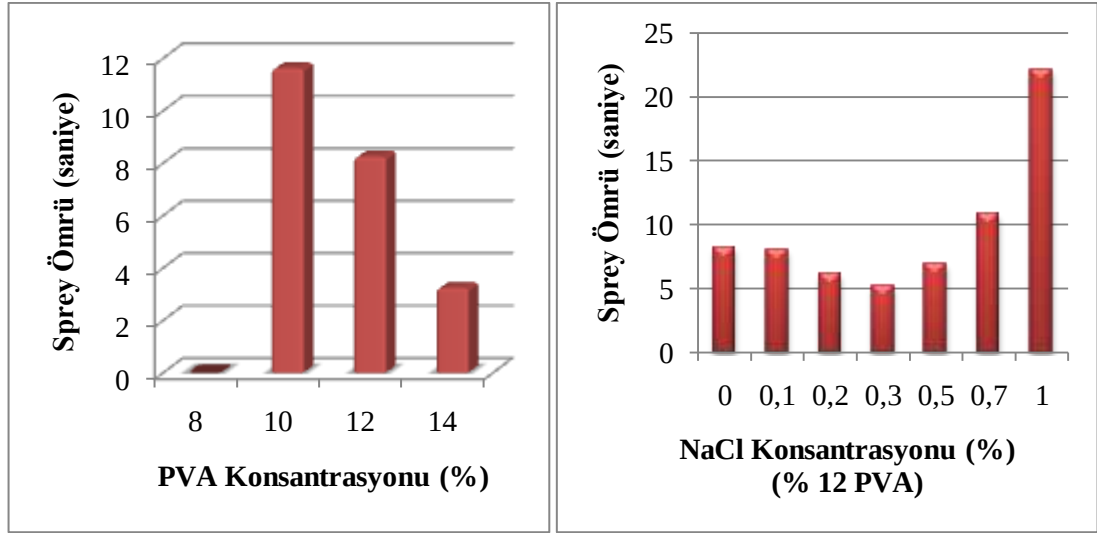
Polivinil alkol çözelti konsantrasyonu arttıkça viskozite değerleri de artmaktadır. Artan viskozite değerlerinin elektro lif çekim işlemi sırasında oluşan Taylor koni çaplarını da arttırdığı Şekil 4.6.'da görülmektedir. Polivinil alkol çözeltisinde ise NaCl tuzu konsantrasyonunun elektro lif çekim işlemi esnasında Taylor koni yapısına net bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 4.7'de verilen ANOVA test sonuçlarına göre PVA (tuzlu-tuzsuz) çözelti konsantrasyonlarının, Taylor koni çapı ölçüm sonuçları üzerinde istatistiksel açıdan önemli seviyede bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. PVA çözeltilerinin Taylor konisi çaplarına ait ANOVA test sonuçları

Parametre	%95 güven aralığında $\alpha = 0,05$ için
	P Değeri
PVA Çözeltisi Taylor Koni Çapları	0,003

PVA çözeltilerinin Taylor koni analizleri yapıldıktan sonra Taylor konilerin uçlarında oluşan spreylere devamlılığı araştırılmıştır. Her çözelti için alınan kamera kayıtlarından 50 farklı Taylor koni izlenmiş ve ortalama spreylere ömürleri hesaplanmıştır. Şekil 4.7'de PVA çözeltilerinden silindirik elektro lif çekim işlemi esnasında silindir üzerinde oluşturdukları spreylere ömürleri verilmiştir.



Şekil 4.7. PVA çözeltilerine ait sprej ömürleri

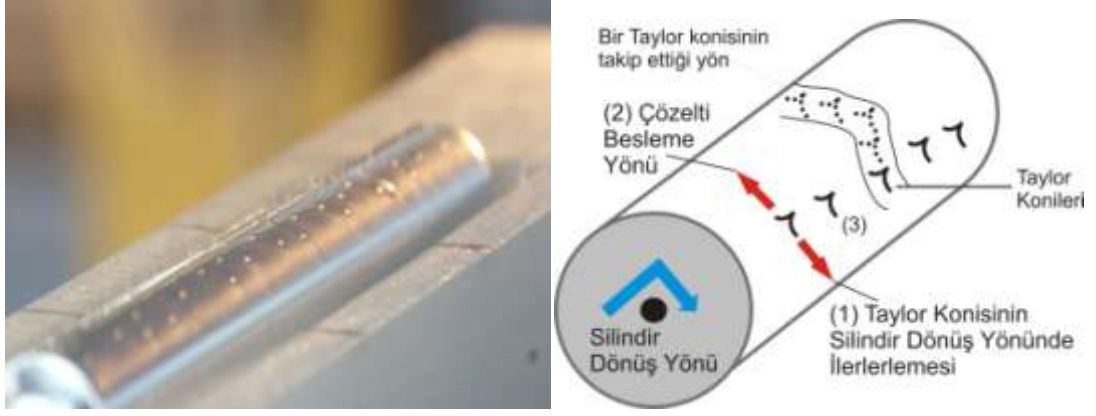
Şekil 4.7 inceliginde PVA çözeltili konsantrasyonu artisiyla sprej ömürlerinin kısıldigi ortaya çıkmaktadır. Silindirli lif çekim esnasında kayıt edilen görüntülerin analizlerinde sprej ömründe etkili parametrenin Taylor koni sayısı olduğu düşünölmektedir.

Çizelge 4.2’de verilen ANOVA test sonuçlarına göre PVA çözeltilerinin Taylor koni sayılarının, sprej ömrü ölçüm sonuçları üzerinde istatistiksel açıdan önemli seviyede bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. PVA çözeltilerinin sprej ömrüne ait ANOVA test sonuçları

Parametre	%95 güven aralığında $\alpha = 0,05$ için
	P Değeri
PVA Çözeltilisi Sprej Ömürleri	0,001

Taylor koni sayılarının, sprej ömrüne olan etkilerinin daha iyi anlaşılması için Şekil 4.8a ve 4.8b’den yararlanılmıştır.



(a) (b)
Şekil 4.8. Silindir üzerindeki Taylor koni durumu (a,b)

Elektro lif çekimi esnasında silindir soldan sağa doğru dönmektedir. Polimer çözeltisi içine batırılmış olan silindir, çözeltiyi silindir üzerinde sol tarafından sağ tarafına doğru aktarmaktadır. Lif çekim işlemi esnasında Taylor konilerin ise silindir üzerinde rastgele oluştukları düşünülmektedir. Fakat kayıtlar incelendiğinde Taylor konilerinin genellikle silindirin sol yanında veya tam üstünde oluştukları gözlenmiştir. Her iki durumda da Taylor konileri silindir üzerinde belirerek Şekil 4.8b’de belirtilen yönü takip ettikleri ve kayboldukları gözlenmiştir. Bu izlenen yol esnasındaki devamlılıklarına ve etki eden yan etmenlere göre spray ömrü belirlenmiştir.

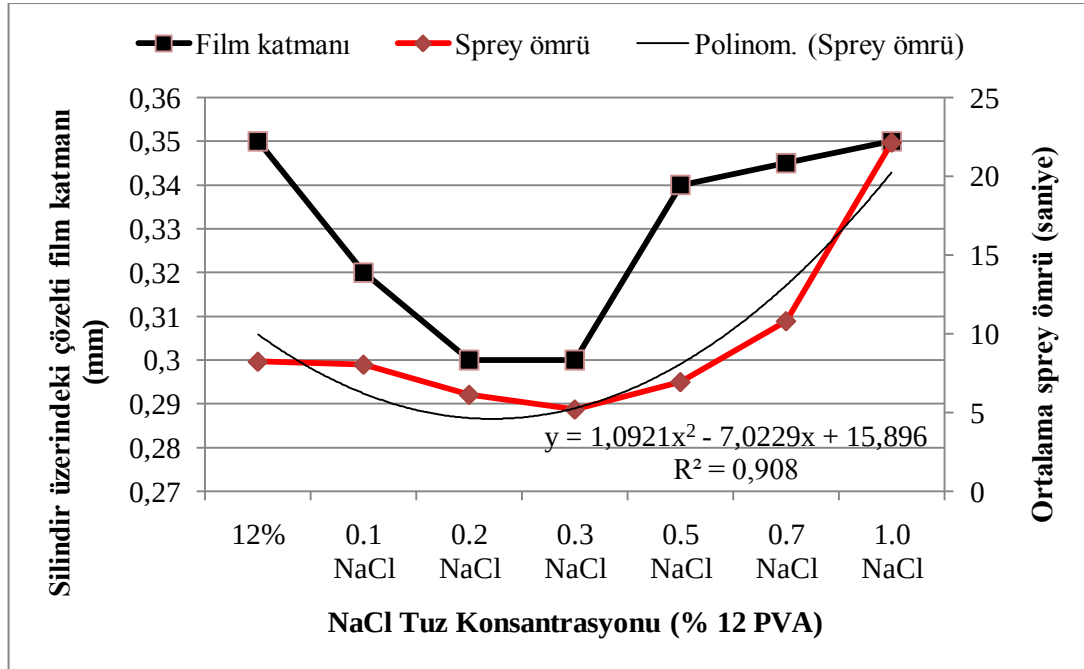
Taylor konilerin lif çekimi esnasında aldıkları yola etki eden 3 farklı yan etmen olduğu düşünülmektedir. İlk olarak Şekil 4.8b’de (1) ile gösterilen silindir dönüş yönünde çözelti akışı meydana gelmektedir. Silindir hızına bağlı olarak Taylor konileri de akıntı yönünde ilerlemek zorunda kalmaktadır. İkinci olarak Taylor konilerinin silindirin dönüş yönünün tersinde ilerleme istekleri bulunmaktadır. Çünkü yeni çözelti beslemesi sürekli silindir dönüş yönün tersinde olacağı için Taylor konileri (2) ile gösterilen çözelti beslemesinin olduğu yöne yönelmek istemektedir. Son olarak ise Taylor konileri kendi aralarında da etkileşimde bulunmaktadırlar. Devam eden çalışmalar göstermektedir ki silindir üzerinde bulunan Taylor konileri aralarında bulunan mesafeler aşağı yukarı eşit çıkmaktadır. Bu da Taylor konilerinin de kendi aralarında birbirlerine itme kuvveti uyguladığı ve spray ömürlerine büyük miktarda etki ettiği düşünülmektedir.

Üç etmen göz önünde bulundurulduğunda sprej ömrünün fazla ya da az olmasına etki eden en büyük faktörün, silindir üzerindeki Taylor koni sayıları olduğu anlaşılmıştır. Konsantrasyon artışıyla, artan Taylor koni sayıları (bkz. Şekil 4.5.) silindir üzerindeki Taylor konilerine besleme sağlayan çözelti miktarını hızlıca bitirerek sprej ömrünün kısa olmasına sebep olmuştur.

% 12 PVA tuzlu çözeltilerinin sprej ömrüne bakılacak olursa farklı bir durum söz konusudur. Biliyoruz ki çözelti içindeki artan tuz oranıyla silindir üzerinde oluşan Taylor koni sayıları azalmaktadır (bkz. Şekil 4.5.). Azalan Taylor koni sayısıyla sprej ömrünün uzaması gerekirken, sprej ömürleri 0,3 NaCl tuz konsantrasyonuna kadar azalış göstermiş, bu noktadan sonra aşırı bir artış sergilemiştir.

% 12 PVA tuzlu çözeltilerinin yüzey gerilimi, viskozite değerlerini sabit varsaydığımızı göre elektro lif çekim esnasında silindir üzerinde sprej ömrünü etkileyen başka bir etmen söz konusudur. Bu durumda ise ikinci dereceden etkisi olduğu düşünülen silindir üzerindeki film katmanı kalınlığı değerlerine bakılmıştır.

Silindir üzerindeki çözelti film katmanı kalınlığının sprej ömürleriyle olan ilişkisi Şekil 4.9’da verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.9. NaCl tuzunun silindir üzerindeki çözelti film katmanı ve sprej ömrü üzerindeki etkisi

Tuz konsantrasyonunun artışıyla azalan silindir üzerindeki film katmanı kalınlığı Taylor konileri için çözelti beslemesinde yetersiz kalmış ve direkt olarak sprej ömürlerinin kısalmasına neden olmaktadır. Grafik incelendiğinde çözelti film katmanı kalınlığı % 0,2 ve 0,3 NaCl tuzu konsantrasyonlarında düşmüş ve devam eden tuz oranındaki artışla film katmanı kalınlığı da artmıştır. Bu duruma paralel olarak da sprej ömürlerindeki azalış % 0,2 ve 0,3 NaCl tuz konsantrasyonlarına kadar devam etmiş, artan tuz konsantrasyonu ile sprej ömrü uzamaya başlamıştır.

Çizelge 4.3’de verilen ANOVA test sonuçlarına göre PVA çözelti film katmanlarının, sprej ömrü ölçüm sonuçları üzerinde istatistiksel açıdan önemli seviyede bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3. PVA çözeltilerinin sprej ömrüne ait ANOVA test sonuçları

Parametre	%95 güven aralığında $\alpha = 0,05$ için
	P Değeri
PVA Çözeltileri Sprej Ömürleri	0,000

4.1.4. Polivinil alkol çözeltilerinin üretim analiz bulguları

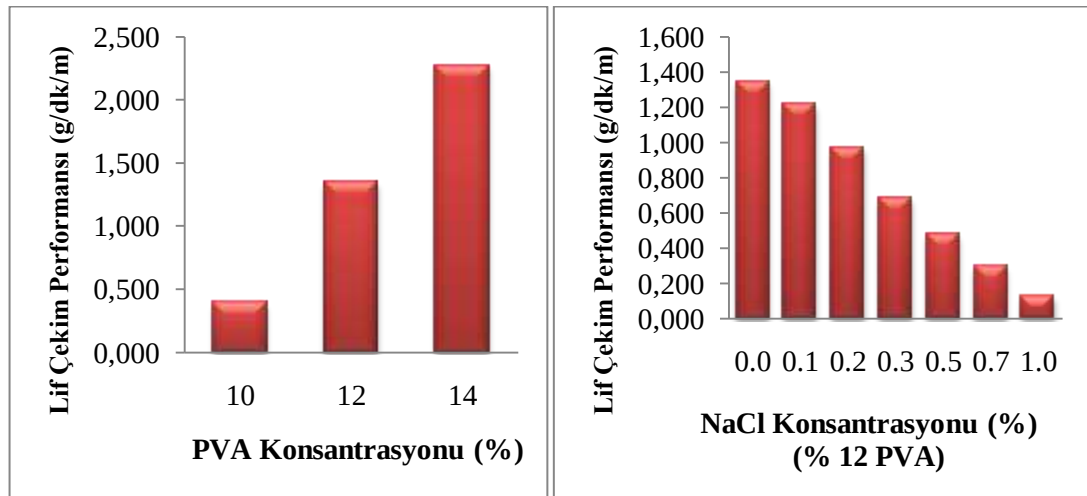
Çalışmanın bu bölümünde, polivinil alkol polimer çözeltileri ile gerçekleştirilmiş olan silindirik elektro lif çekim işlemi ve bu işlemde elde edilen nano yüzeyler analiz edilmiştir. Üretilen nano lif esaslı yüzeylerin lif çekim performansı değerleri hesaplanmıştır. Bir önceki bölümde kameralı kayıt analizlerinde belirtilen Taylor koni sayıları kullanılmış ve her bir Taylor koni için lif çekim performansı belirlenmiştir.

Çizelge 4.4’te PVA çözeltileri için her bir Taylor koni için ve toplam lif çekim performansları verilmiştir.

Çizelge 4.4. PVA çözeltilerine ait üretim analizleri

Polimer (PVA) Konsantrasyonu (%)	Tuz (NaCl) Konsantrasyonu (%)	Bir Taylor Koni için Lif Çekim Performansı (g/saat)	Lif Çekim Performansı (g/dk/m)
8	-	-	-
10	-	0,095	0,385
12	0	0,129	1,344
	0,1	0,150	1,210
	0,2	0,136	0,967
	0,3	0,099	0,681
	0,5	0,098	0,473
	0,7	0,085	0,293
	1	0,069	0,127
14	-	0,151	2,268

Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi, düşük polimer konsantrasyonundan dolayı %8 PVA çözeltisinden üretim gerçekleşmemiştir. Artan PVA konsantrasyonu ile polimer çözeltisi içindeki makro moleküler yapıların etkileşimi artarak daha sık ve karmaşık yapı almaktadır. Bu nedenle polimer çözeltisindeki artan konsantrasyon, toplam lif çekim performansı ve her bir Taylor konisinin lif çekim performansını arttırmıştır (Şekil 4.10).

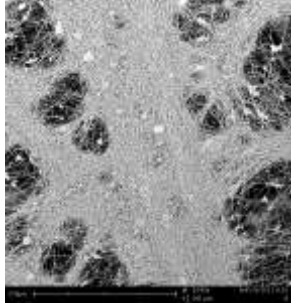
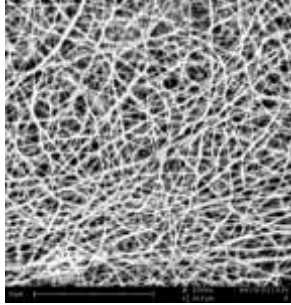
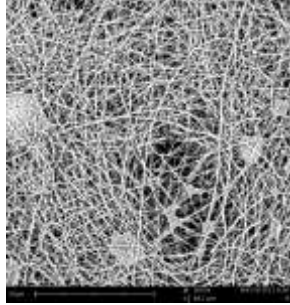
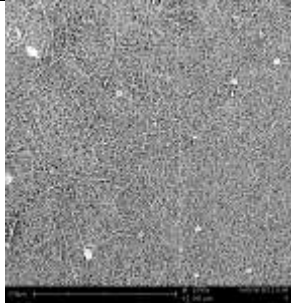
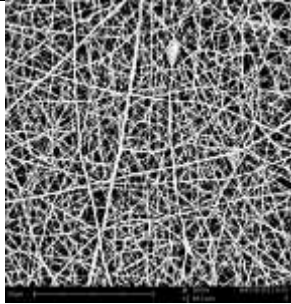
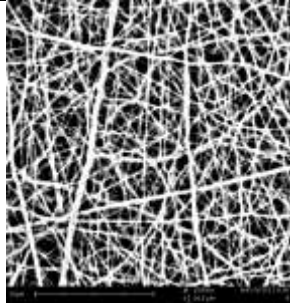


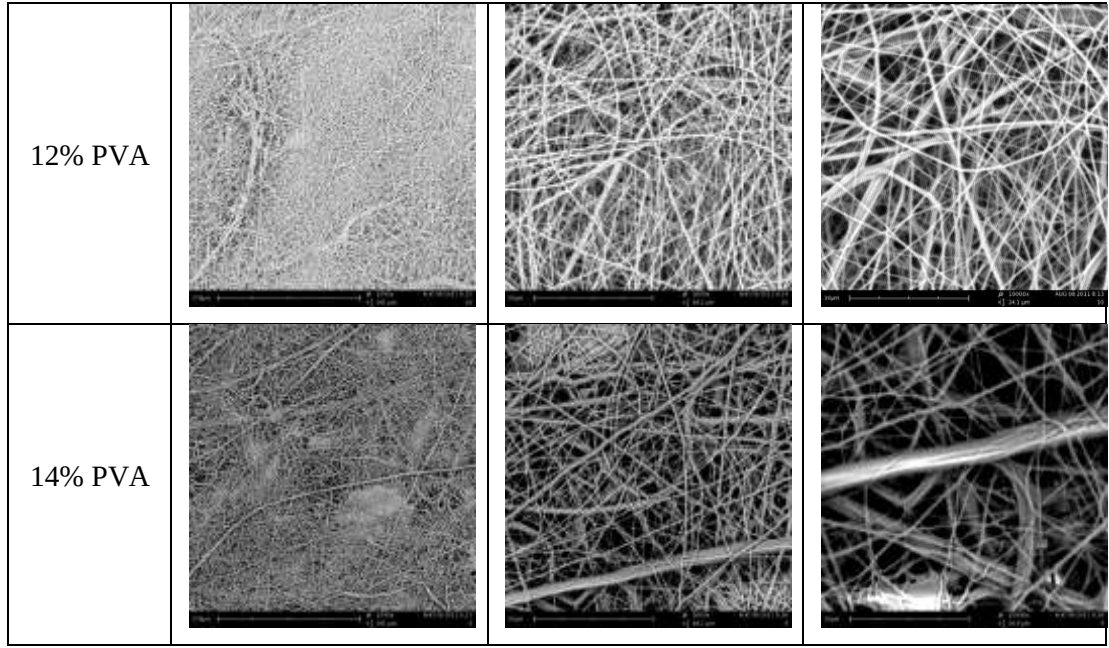
Şekil 4.10. PVA tuzsuz (a) ve tuzlu(b) çözeltileri için lif çekim performansları

Artan PVA konsantrasyonu ile artan lif çekim performansının aksine sabit PVA konsantrasyonunda NaCl tuz konsantrasyonu arttıkça lif çekim performansında azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.10). Önceki çalışmalardan benzer bulgular elde edilmiştir (Tuan, 2010). Daha önceki bölümlerde de NaCl tuz ilavesinin iletkenlik özelliği dışında diğer çözelti özellikleri üzerinde önemli bir derecede etkisinin olmadığı belirtilmiştir (bkz Şekil 4.1, 4.2). NaCl tuz konsantrasyonu artışı ile iletkenlik değerinin artması, lif çekim performansında da artışa sebep olması beklenmiştir. Fakat yapılan çalışmalarda beklentinin tam tersi gerçekleşmiştir (Tuan, 2010). Şu anki çalışmalar ise bu duruma net bir açıklama getirememektedir.

4.1.5. Polivinil alkol çözeltilerinin nano lif esaslı yüzey karakterizasyonu

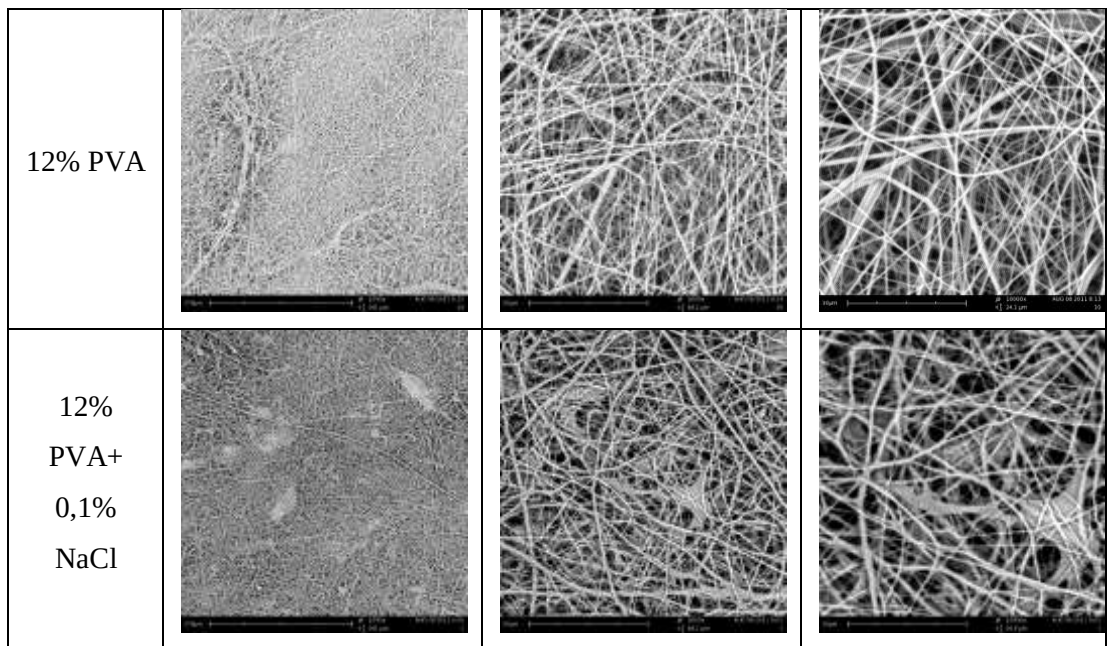
Çalışmanın bu bölümünde polivinil alkol polimer çözeltileri ile silindirik elektro lif çekim yöntemi kullanılarak üretilen nano liflerin taramalı elektron mikroskobu kullanılarak görüntüleri alınmış, elde edilen görüntülerin lif çapı (nm) ve lif oluşmayan alan analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde kullanılan 10 farklı PVA çözeltisinden elde edilen nano lif esaslı yüzeylerin SEM görüntüleri Şekil 4.11. ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

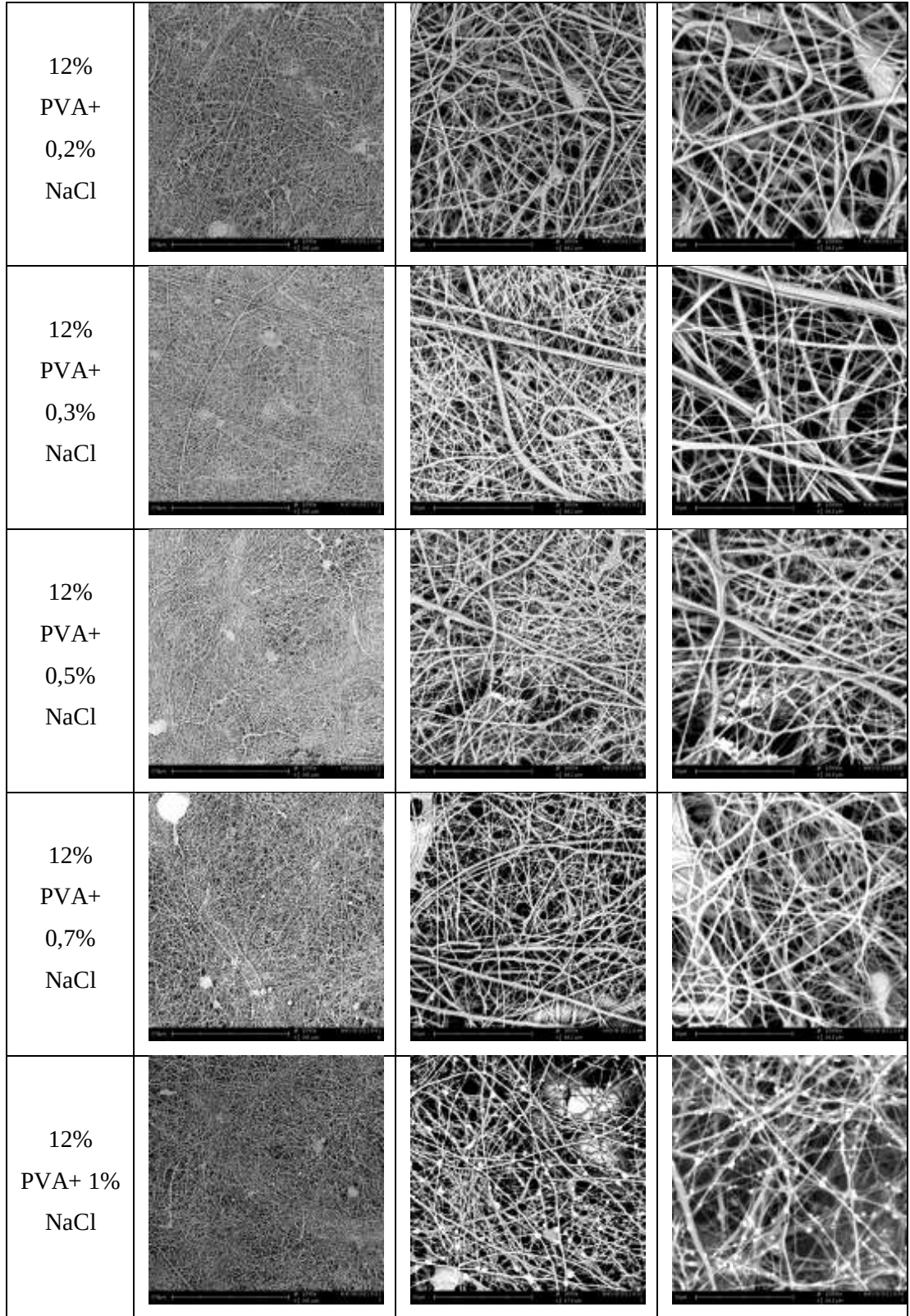
Çözeltiler	X 1000	X 5.000	X 10.000
8% PVA			
10% PVA			



Şekil 4.11. PVA tuzsuz çözeltilerine ait SEM görüntüleri

Nano esaslı yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde % 8 PVA çözeltisinin lif üretim veriminin düşük olduğunu ve lif oluşmayan alanlarının fazlalığı göze çarpmaktadır. Düşük konsantrasyon değeri nedeni ile % 8 PVA çözeltisinden elde edilen nano liflerin kuru yüzey oluşturmada toplayıcı yüzey üzerinde yarı ıslak nano lifler meydana getirmiştir. % 14 PVA çözeltisi SEM görüntülerinde ise lifler arasında yapışkanlık olduğu ve lif çapının arttığı gözlemlenmiştir.





Şekil 4.12 %12 PVA ve tuzlu çözeltilerine ait SEM görüntüleri

% 12 PVA çözeltisine eklenen NaCl tuz konsantrasyonu artışıyla lif morfolojisinde büyük bir değişiklik meydana gelmemiştir. Fakat % 1,0 NaCl konsantrasyonu ile hazırlanan nano yüzeylerde tuz taneleri göze çarpmıştır. Çizelge 4.5'te elde edilen nano yüzeylerin ortalama lif çapları ve lif oluşmayan (%) alan değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. PVA çözeltilerine ait lif çapları ve lif oluşmayan alan değerleri

Polimer (PVA) Konsantrasyonu (%)	Tuz (NaCl) Konsantrasyonu (%)	Lif Çapı (nm)	Lif Oluşmayan Alan (%)
8	-	145±26,4	1,74
10	-	187±22,9	0,09
12	0	293±21,3	0
	0,1	314±32,7	0,32
	0,2	324±28,5	0,29
	0,3	303±24,3	0,22
	0,5	249±27,5	0,2
	0,7	274±31,4	0,19
	1	279±43,8	0,19
14	-	332±45,5	0,6

Çizelge 4.5'e göre, PVA çözelti konsantrasyonu artışıyla lif çapında da artış meydana gelmiştir. Tuz konsantrasyonunun lif çapına etkisi belirgin olmamakla birlikte en ince lif yapısı % 0,5 tuz konsantrasyonunda elde edilmiştir. En düzenli ve ince lif yapısı ise 293 nm lif çapı ve % 0 oranında lif oluşmayan alan ile % 12 PVA çözeltisi olmuştur.

4.2. Poliüretan ile Yapılan Deneysel Çalışmalar

Çalışmanın ikinci kısmı olan bu bölümde, poliüretan (PU) polimeri ile yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular verilmiştir. İlk olarak PU polimer çözeltilerinin yüzey gerilim, iletkenlik, viskozite özellikleri analiz edilmiştir. Bu bölümde, iki farklı elektro lif çekim yöntemi kullanıldığı için bulgular ayrı başlıklar altında verilmiştir.

İğneli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak PU nano lif üretimi esnasında alınan kamera kayıtları ve akım ölçümlerinden fiskiye (sprey) yapıları analiz edilmiştir. Farklı spreyci yapıları adlandırılmış ve lif çekim esnasında aldıkları spreyci yapıları ile oluşturdıkları nano lif morfoloji arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir.

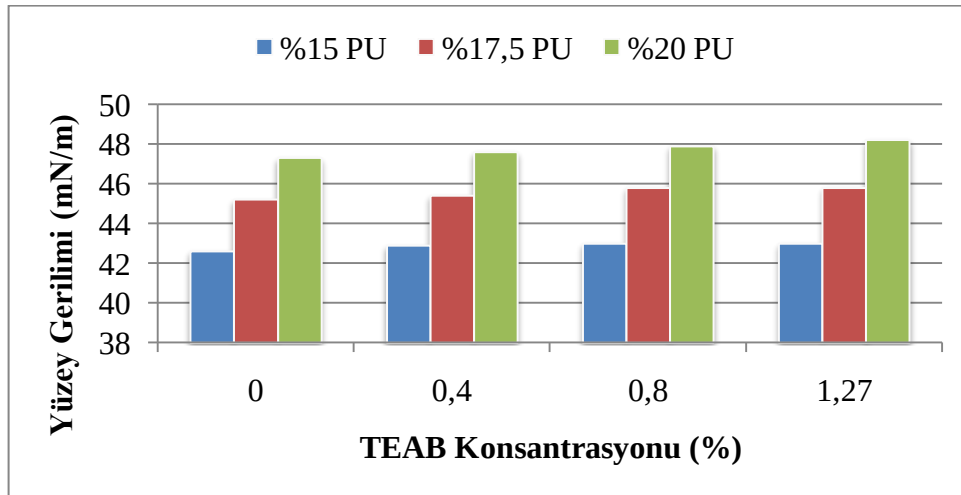
Silindirik elektro lif çekim yöntemi kullanılarak PU nano lif üretiminde ise PVA çözeltilerinde yapılan çalışmalara ek olarak kamera kayıtlarının yanında lif üretimi esnasında eş zamanlı akım ölçümü yapılmıştır. Lif üretimi ardından üretilen nano yüzeyler analiz edilmiş ve lif karakterizasyonu yapılmıştır.

4.2.1. Poliüretan polimerinin çözelti özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, poliüretan ile hazırlanmış olan çözeltilerin yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite özellikleri ölçümünden elde edilen bulgular verilmiştir. İkinci bölüm çözeltileri % 15-17,5-20 PU konsantrasyonlarına sahip olup bunların tuzlu çözeltileri % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB konsantrasyonunda hazırlanmıştır.

4.2.1.1. Poliüretan polimer çözeltisi yüzey gerilimi ölçüm testi

PU çözeltilerine ait yüzey gerilim test sonuçları Şekil 4.13'te verilmiştir.

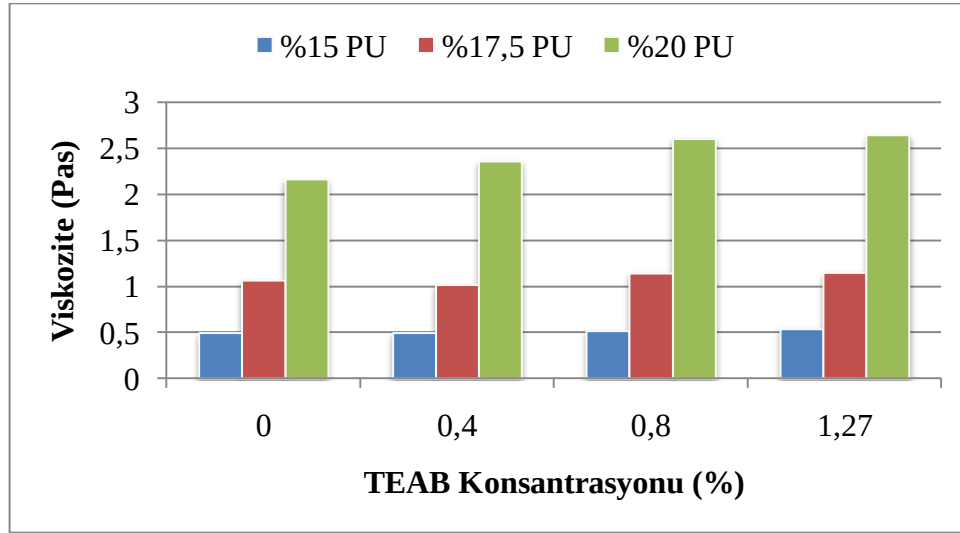


Şekil 4.13. PU çözeltilerine ait yüzey gerilimi ölçüm sonuçları.

PU konsantrasyonundaki artış, çözeltilerin yüzey geriliminde bir miktar artışa neden olmuştur. “PU konsantrasyonu arttıkça makro moleküller arasındaki etkileşimde arttığı için moleküller arası çekim kuvvetleri artmakta ve bu durum yüzey geriliminin artmasına sebep olmaktadır” (Cengiz-Çallıoğlu, 2011). Tuzlu çözeltilerde ise yüzey gerilimi değerlerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir.

4.2.1.2. Poliüretan polimer çözeltisi viskozite ölçüm testi

PU çözeltilerine ait viskozite ölçüm test sonuçları ve analizleri verilmiştir (Şekil 4.14).

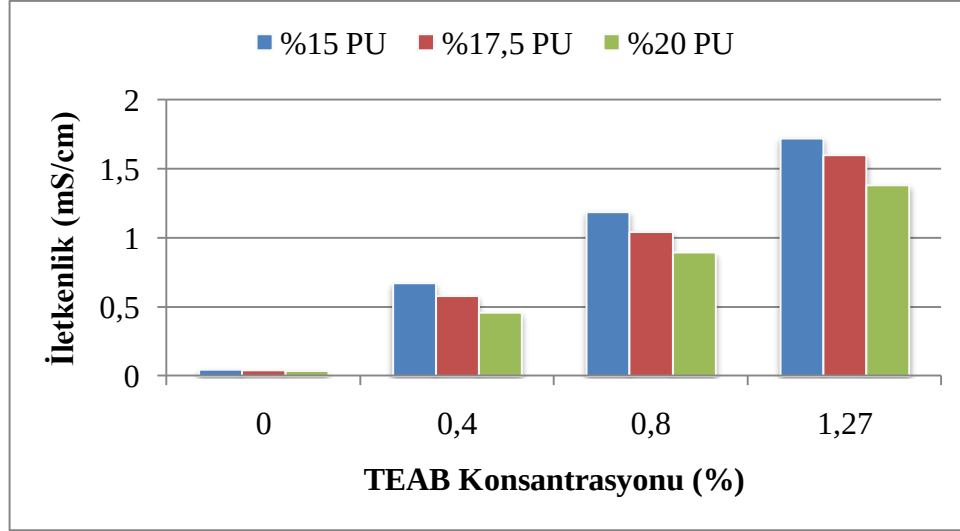


Şekil 4.14. PU çözeltilerine ait viskozite ölçüm sonuçları

Şekil 4.14’e göre PU konsantrasyonu arttıkça viskozite değerinin de arttığı belirlenmiştir. PVA çözeltilerinin aksine PU çözeltilerinde artan tuz konsantrasyonu ile viskozitede de artış meydana geldiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise eklenen TEAB konsantrasyonu artışı çözelti polaritesinde artış meydana getirmesinden dolayıdır. Polar grupların artışıyla da çözelti viskozitesi olumlu etkilendiği düşünülmektedir (Cengiz-Çallıoğlu, 2011).

4.2.1.3. Poliüretan polimer çözeltisi iletkenlik ölçüm testi

PU çözeltilerine ait iletkenlik ölçüm test sonuçları verilmiştir. (Şekil 4.15.)



Şekil 4.15. PU çözeltilerine ait iletkenlik ölçüm sonuçları

Şekil 4.15. incelendiğinde, tuz konsantrasyonu arttıkça iletkenlik değerlerinde artış olduğu görülmektedir. TEAB tuzu, çözelti içinde DMF tarafından çok iyi çözülmemektedir. Çözünme esnasında iyonlarına ayrılan tuz ortamdaki yüklü iyon sayısını arttırmaktadır. Böylece, çözelti iletkenliği de artmaktadır. Diğer taraftan çözeltilerin konsantrasyon değerleri arttıkça, PU tuzlu çözeltilerinin iletkenlik değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Artan PU konsantrasyonu çözücü miktarının azalması anlamına gelmektedir. Çözelti içinde azalan çözücü miktarı ile iletkenlik değeri de azalmaktadır. Ayrıca artan PU konsantrasyonu ile çözelti viskozitesinin arttığı Şekil 4.14'te verilmişti. Artan viskozite değeri ile çözelti içindeki çözünen iyonların hareketliliği de azaldığı için çözeltilerin iletkenlik değerlerinin de azalmasına sebep olmuştur (Cengiz-Çallıoğlu, 2011).

4.2.2. Poliüretan çözeltileri ile iğneli elektro lif çekim işlemi

Hazırlanmış olan 12 farklı PU polimer çözeltileri ile iğneli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak, lif çekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Lif çekimi esnasında farklı voltaj değerleri uygulanarak fiskiye (sprey) yapısı incelenmiştir. Sprey yapılarını belirlemede kameralı kayıtlardan ve elektrik akım ölçüm testlerinden elde edilen akım grafiklerden faydalanılmıştır. Her bir lif çekim işlemi için ortalama akım değerleri hesaplanmıştır. Spreyin iğne ucunda aldığı şekle ve akım ölçüm

analizlerine göre yorumlar yapılmış ve (A-B-C-D-E-F) harf isimleri verilmiştir. Elde edilen farklı sprej yapıları ile üretilen nano lif esaslı yüzeylerin morfolojik yapılar ile ilişkilendirilmiştir.

4.2.2.1. Poliüretan çözeltilerine ait sprej yapısı analiz bulguları

İğneli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak üretilmiş olan nano liflerin üretim esnasında oluşan Taylor koni davranışlarının ve sprej yapılarının kameralı kayıtları alınmış ve elektrik akım ölçümü yapılmıştır. Kullanılmış olan 12 farklı çözelti ve 3 farklı uygulanan voltaj değerinde 6 farklı Taylor koni davranışı ve sprej yapısı elde edilmiştir. Her bir davranış karakterizasyonu kameralı kayıtlar alınarak ve akım ölçüm grafikleri elde edilerek adlandırılmıştır. Her bir lif çekimi için ortalama elektrik akım değerleri mikro amper (μA) cinsinden belirtilmiştir.

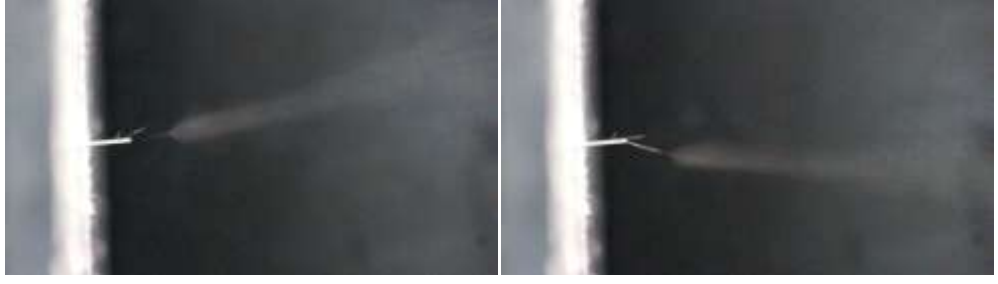
Sprej karakterizasyonu yapılırken kullanılan sprej yapılarının, açıklamaları ve görüntüleri verilmiştir.

(A) *Sabit sprej*: İğne ucunda çözelti birikimi ve damlaması oluşmadan lif çekiminin düzgün sabit devam etmesi durumudur. Bu durumda çözelti beslemesi ve uygulanan voltaj birbirini karşılamaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Sabit sprej yapısı

(B) *Düğüün sabit olmayan sprej*: İğne ucunda çözelti birikimi ve damlaması oluşmadan lif çekimi düğüün gerçekleşmektedir. Yüksek uygulan voltajlarda açığa çıkan bu durumda, sprej sabit değildir ve sürekli yön değıştirmektedir (Şekil 4.17.)



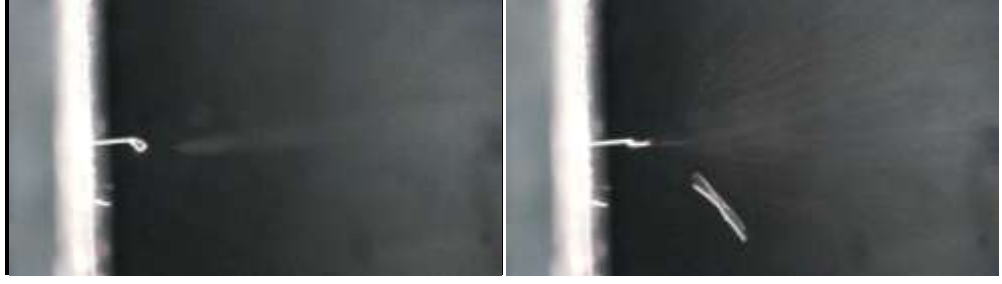
Şekil 4.17. Düzgün sabit olmayan sprej yapısı

(C) *Dalgali sprej*: Uygulanan voltaj değeri ve besleme hızının eşit olduğu bu durumda ise sprej hemen iğne ucunda oluşmaktadır. Yüksek konsantrasyon ve voltaj değerlerinde gözlenen bu sprej çeşidi, sürekli dalgali bir şekil hali almaktadır. Sprej yapısı, iğne ucunda ve kararsız bölgede düzensiz bir şekilde genişleyip daralmaktadır (Şekil 4.18.).



Şekil 4.18. Dalgali sprej yapısı

(D) *Çözeltili damlamalı sprej*: Lif çekimi esnasında uygulanan voltaj değerinin çözelti besleme hızına yeterli olamaması ile iğne ucunda çözelti damlası birikmeye başlamaktadır. Damla büyümeye devam ederken damla ucundan oluşan Taylor konisi sabit sprej oluşturmaktadır. Üretim yavaş olmasından dolayı çözeltisi damlası büyümeye devam etmektedir. Yeteri kadar büyüyen çözelti damlası elektrik alanı ve yer çekimi kuvvetine yenilerek damlama meydana getirmektedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Çözelti damlamalı sabit jet yapısı

(E) *Çözelti damlaması ile başlayan spray*: Düşük voltaj değerlerinde görülen bu spray davranışı, elektrik alan kuvveti çözeltinin yüzey gerilimini aşamamaktadır. Çözelti beslemesi iğne ucunda devam ederken damla oluşturan çözelti yeterli büyüklüğe ulaştığında elektik alan ve yer çekimi kuvvetleri tarafından çekilmektedir. Lif çekimi ilk çözelti damlamasından sonra olmaktadır. Lif çekim işlemi devam ederken spray yapısı çözelti damlamalı sabit spray haline dönmektedir. Üretim yavaş ve düşük verimde gerçekleşmektedir (Şekil 4.20.).



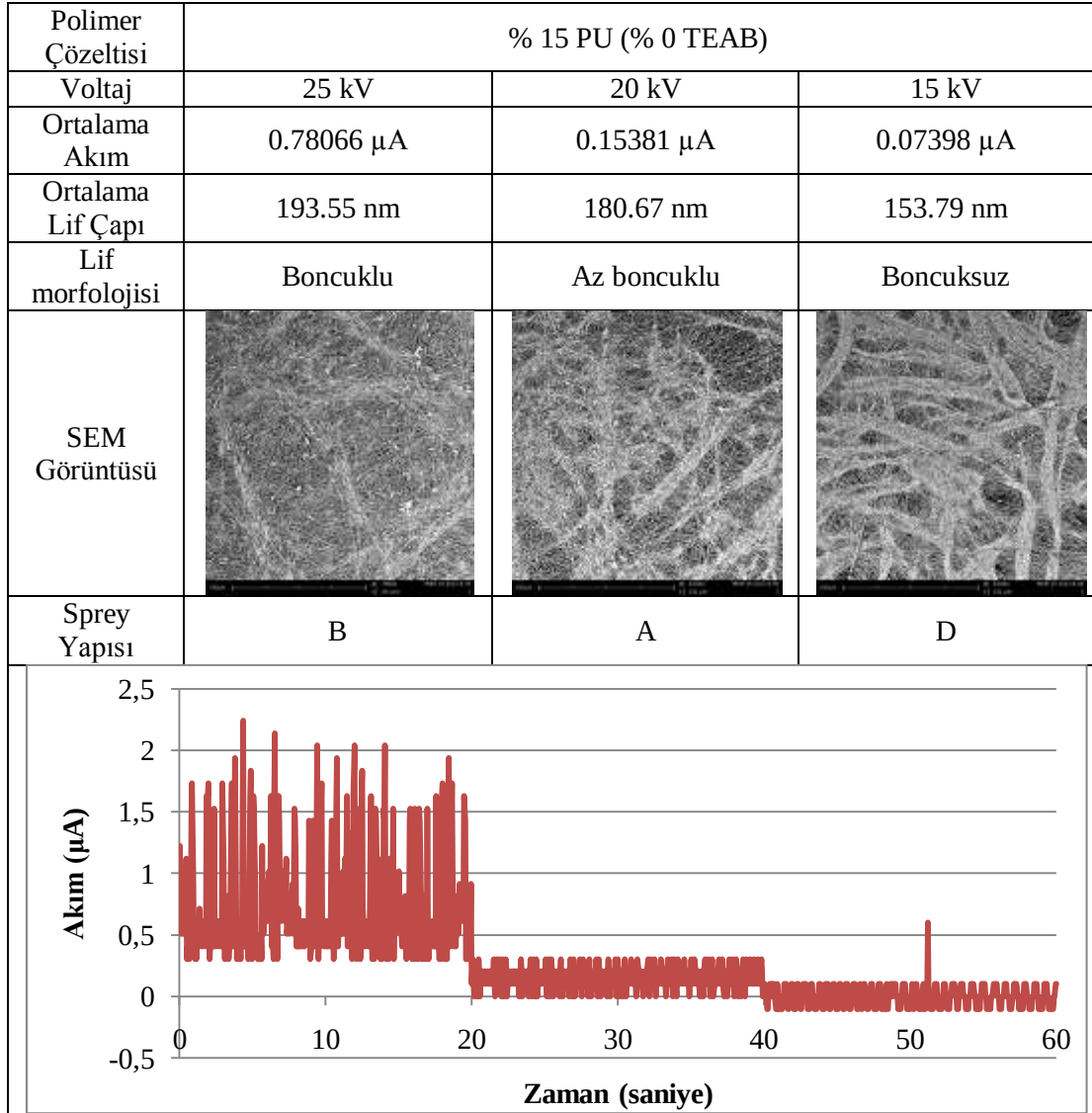
Şekil 4.20. Çözelti damlaması ile başlayan spray yapısı

(F) *Çözelti damlaması ile başlayan sonra biten spray*: Yüksek çözelti konsantrasyonlarında uygulanan düşük voltaj değerinin besleme hızını karşılayamaması ile meydana gelmiştir. Lif çekimi yine çözelti damlaması ile başlamakta fakat lif çekimi yüksek konsantrasyon ve yüzey gerilimi değerinin yanı sıra düşük voltaj nedeni ile devamlılığını sağlayamayarak kısa bir süre içinde sona ermektedir (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. Çözelti damlaması ile başlayan sonra biten sprej yapısı

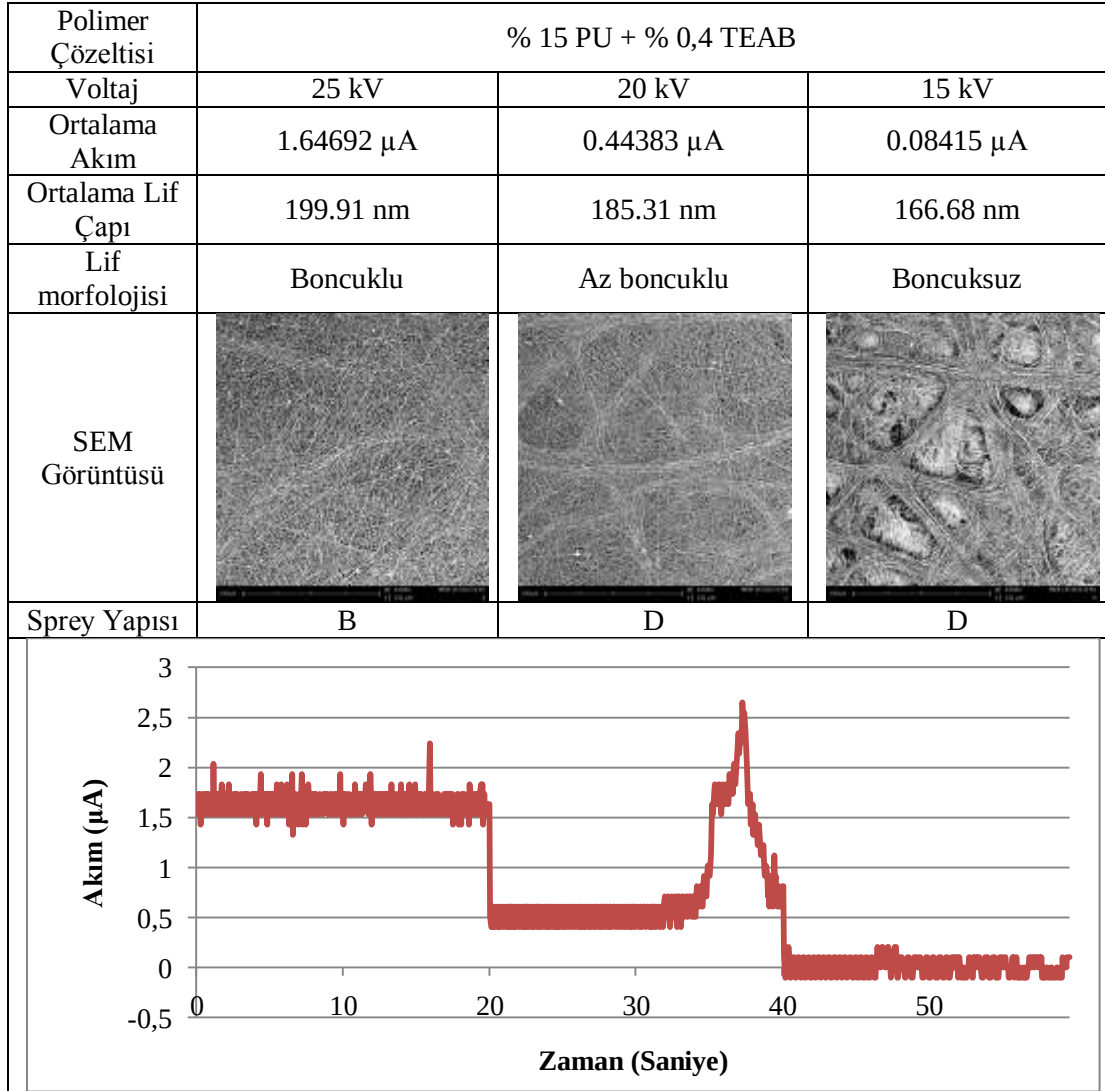
Şekil 4.22’de % 15 PU konsantrasyonunda iğneli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak farklı voltajlarda elde edilmiş ortalama akım değeri, ortalama lif çapları, lif morfolojisi, SEM görüntüleri ve sprej yapıları verilmiştir.



Şekil 4.22. %15 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.22'deki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde, voltajın spre yayıları ve lif morfolojileri üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. 25 kV voltaj altında düzgün sabit olmayan spre yayısı (B) gözlenmiştir. Bu durum akım ölçüm değerlerine yansımıştır. Şekil 4.22'deki grafikte 25 kV'luk voltaj değerinde beliren 0 ile 20 saniye arasındaki dalgalanmalar spre yayının yönünün sürekli değiştiğini belirtmektedir. 25 kV voltajda üretilen nano liflerin SEM görüntüsü incelendiğinde fazla miktarda boncuklu bir yapı görülmektedir. 20 kV üretimde sabit spre yayı (A) elde edilmiştir. 20 kV'luk voltajda elde edilen sabit spre yayı üretimi, akım grafiğın de 20 ile 40 saniyelik süreçte düzgün bir şekilde yansımıştır. 15 kV'luk voltajda çözelti

damlaması (D) meydana geldiği gözlenmiştir. SEM görüntüsünden üretimin düşük olduğu anlaşılmaktadır. 15 kV’luk voltaja ait akım grafiğinde 40 ile 60 saniye arası süreç incelendiğinde çözelti damlaması grafikte pik şeklinde gözlemlenmektedir. Şekil 4.23’de %15 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.

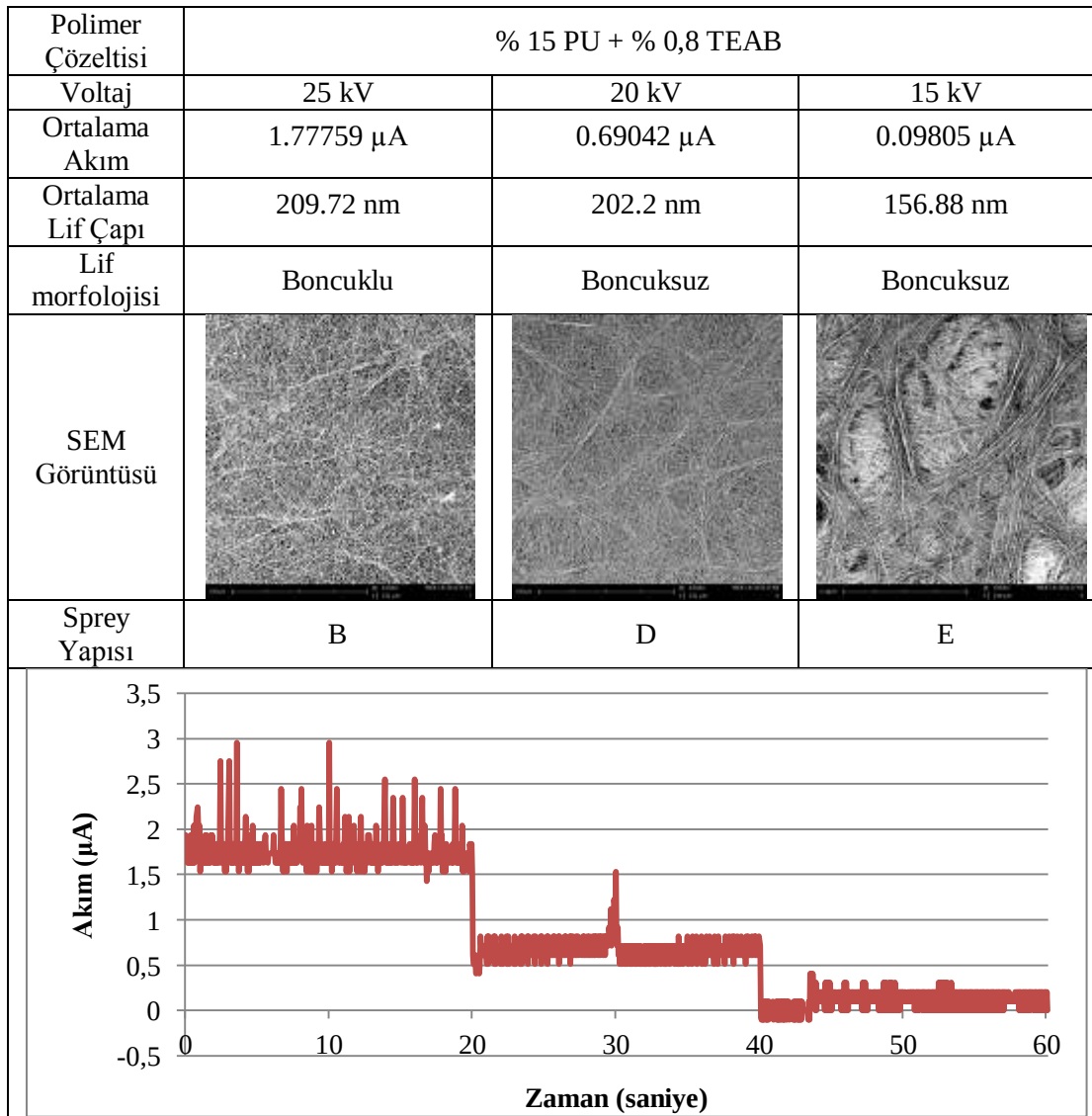


Şekil 4.23. % 15 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.23’deki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde, 25 kV’luk voltajda spreyn düzgün sabit olmayan sprej (B) olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.11’deki 0 ile 20 saniye arası akım ölçüm grafiği de bu sonucu doğrulamaktadır. SEM görüntüsünden elde edilen nano lif yapıları ise 25 kV voltajda liflerin boncuklu

olduğunu göstermektedir. 20 kV’luk voltajda çözelti damlamalı sprej (D) olduğu kameralı kayıtlardan ve akım grafiğinden görülmektedir. Grafikteki 20 ile 40 saniye arası meydana gelen sıçrama (pik) ise çözelti damlasını göstermektedir. 15 kV’luk voltajavait SEM görüntüsünün düzgün ama verimin düşük olduğu görülmektedir. Düşük voltajda düşük akım oluşturduğu ve çözelti damlamalı (D) sprej yapısı, grafikte meydana gelen küçük pik ile anlaşılmaktadır.

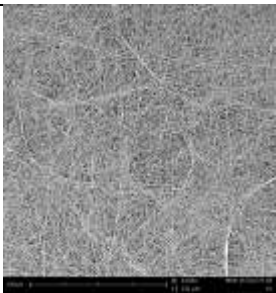
Şekil 4.24’te %15 PU + % 0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.



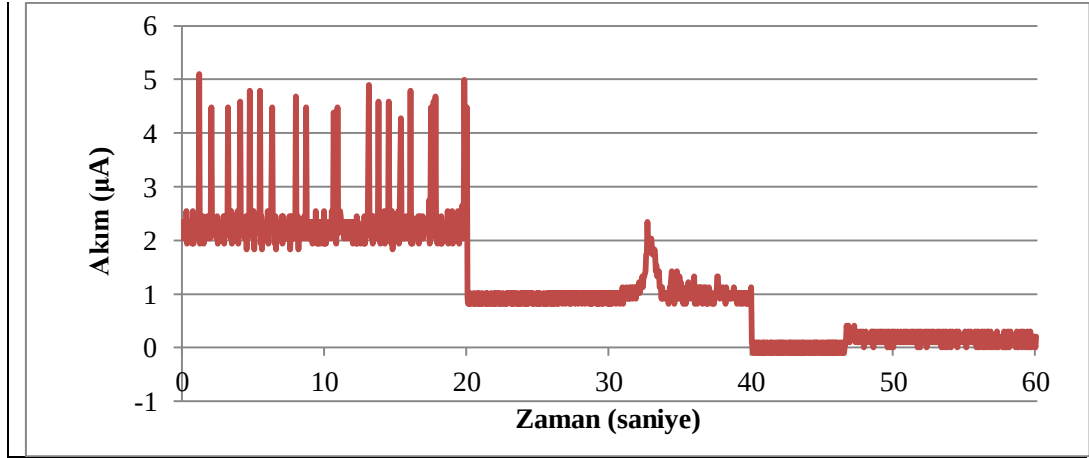
Şekil 4.24. % 15 PU + % 0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.24'teki bulgular ve kameralı kayıtlar ve grafik analiz edildiğinde 25 kV'luk voltajda spreyn düzgün sabit olmayan spre (B) yapısında olduğu anlaşılmaktadır. Şekil'de 0 ile 20 saniye arası akım ölçüm grafiği de bu sonucu doğrulamaktadır. SEM görüntüsünden elde edilen nano lif yapıları ise 25 kV'luk voltajda liflerin boncuklu olduğunu göstermektedir. 20 kV'luk voltajda ise çözelti damlamalı spre (D) yapısı olduğu belirlenmiştir. Grafikteki 20 ile 40 saniye arası meydana gelen pik çözelti damlamasını göstermektedir. 15 kV'luk voltajda çözelti damlamasıyla başlayan lif çekimi ve spre oluşumu (E) göze çarpmaktadır. SEM görüntüsünden üretimin düşük olduğu görülmektedir. Grafikteki 40 ile 60 saniye arasında değerler analiz edildiğinde, voltaj uygulandığı anda iğne ucunda lif oluşmaması grafiğe sıfır akım değeri olarak yansımıştır. Çekim işlemi esnasında büyüyen çözelti damlasının voltaj ve yer çekimi kuvvetinin etkisiyle toplayıcıya doğru püskürmesi grafikte ilk pik olarak görülmektedir. Damla püskürmesi ardından başlayan elektro lif çekimi grafikte ilk pik sonrası sabit devam eden akım değeri olarak yansımıştır.

Şekil 4.25'te %15 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.

Polimer Çözeltisi	% 15 PU + % 1,27 TEAB		
Voltaj	25 kV	20 kV	15 kV
Ortalama Akım	2.29402 μ A	0.82652 μ A	0.14683 μ A
Ortalama Lif Çapı	211.76 nm	208.3 nm	185.21 nm
Lif morfolojisi	Az Boncuklu	Boncuksuz	Boncuksuz
SEM Görüntüsü			
Sprey Yapısı	B	D	E

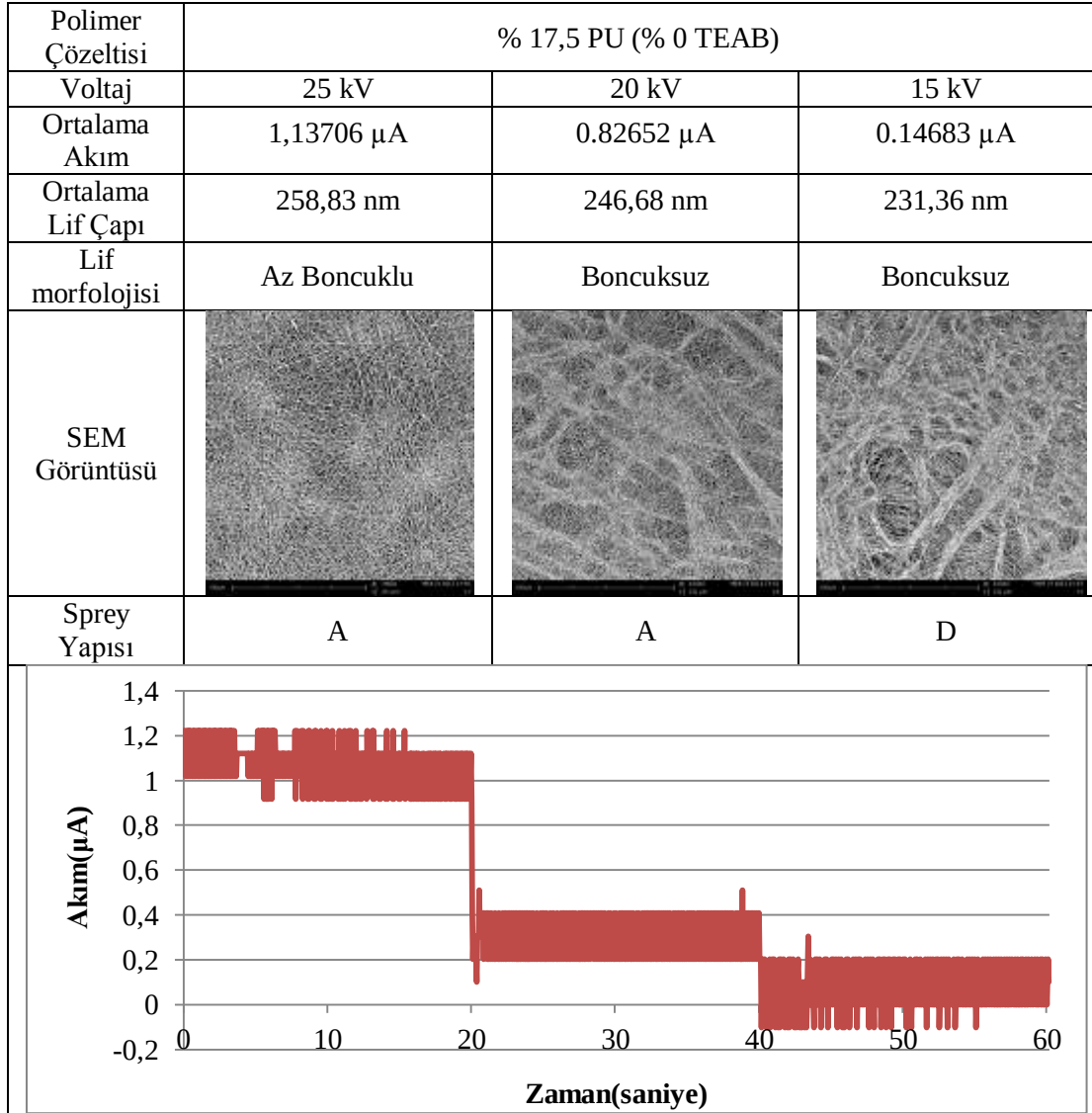
Şekil 4.25. %15 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri



Şekil 4.25. (devam)

Şekil 4.25'teki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde, % 15 PU çözeltilerinin en yüksek tuz konsantrasyonuna sahip bu çözeltide elektrik akım değerinin artan tuz oranıyla arttığı belirlenmiştir. Çözelti içindeki tuz oranıyla artan çözelti iletkenliği, lif çekimi esnasında sprej üzerinde geçen elektrik akım yoğunluğunu da arttırmıştır. 25 kV'luk voltajda sprejin düzgün sabit olmayan sprej (B) yapısında olduğu anlaşılmaktadır. 25 kV'luk voltajda elde edilen nano liflerin görüntüsüne bakıldığında, artan TEAB tuz konsantrasyonu lif morfolojisine olumlu etki yaparak az boncuklu yapı oluşturmuştur. 20 kV'luk voltajda çözelti damlamalı sprej (D) yapısı olduğu kameralı kayıtlardan ve akım grafiğinden anlaşılmaktadır. 15 kV'luk voltajda çözelti damlamasıyla başlayan lif çekimi ve sprej oluşumu (E) göze çarpmaktadır.

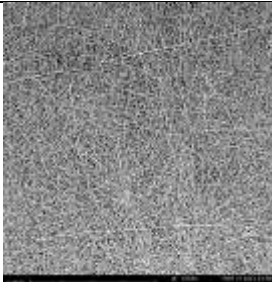
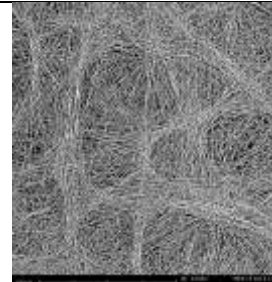
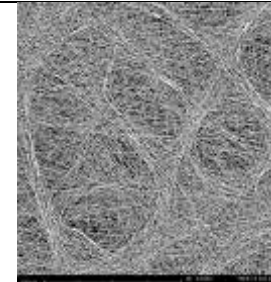
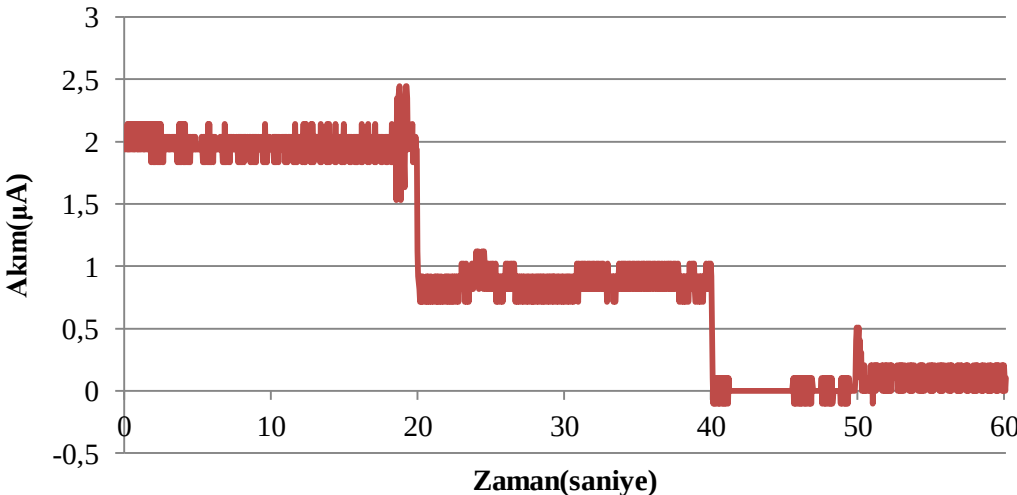
Şekil 4.26'da %17,5 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.



Şekil 4.26. %17,5 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.26'daki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde, 25 kV ve 20 kV'luk voltajlarda sabit sprej (A) yapısı gözlenmiştir. Şekil 4.26'da 0 ile 40 saniye arasında uygulanan 2 farklı voltajda da sabit sprej yapısı olduğu görülmektedir. İki farklı voltajda elde edilen nano liflerin SEM görüntüleri incelendiğinde nano liflerin yapıları düzgün çıkmıştır. 15 kV'luk voltajda ise lif çekim işleminde çözelti damlamalı sprej (D) yapısı meydana gelmiştir. Şekil 4.26'daki grafikte 40 ile 60 saniye arasında akım ölçüm değerleri analiz edildiğinde, çözelti damlamasının meydana getirdiği pik görülmektedir.

Şekil 4.27’de, %17,5 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.

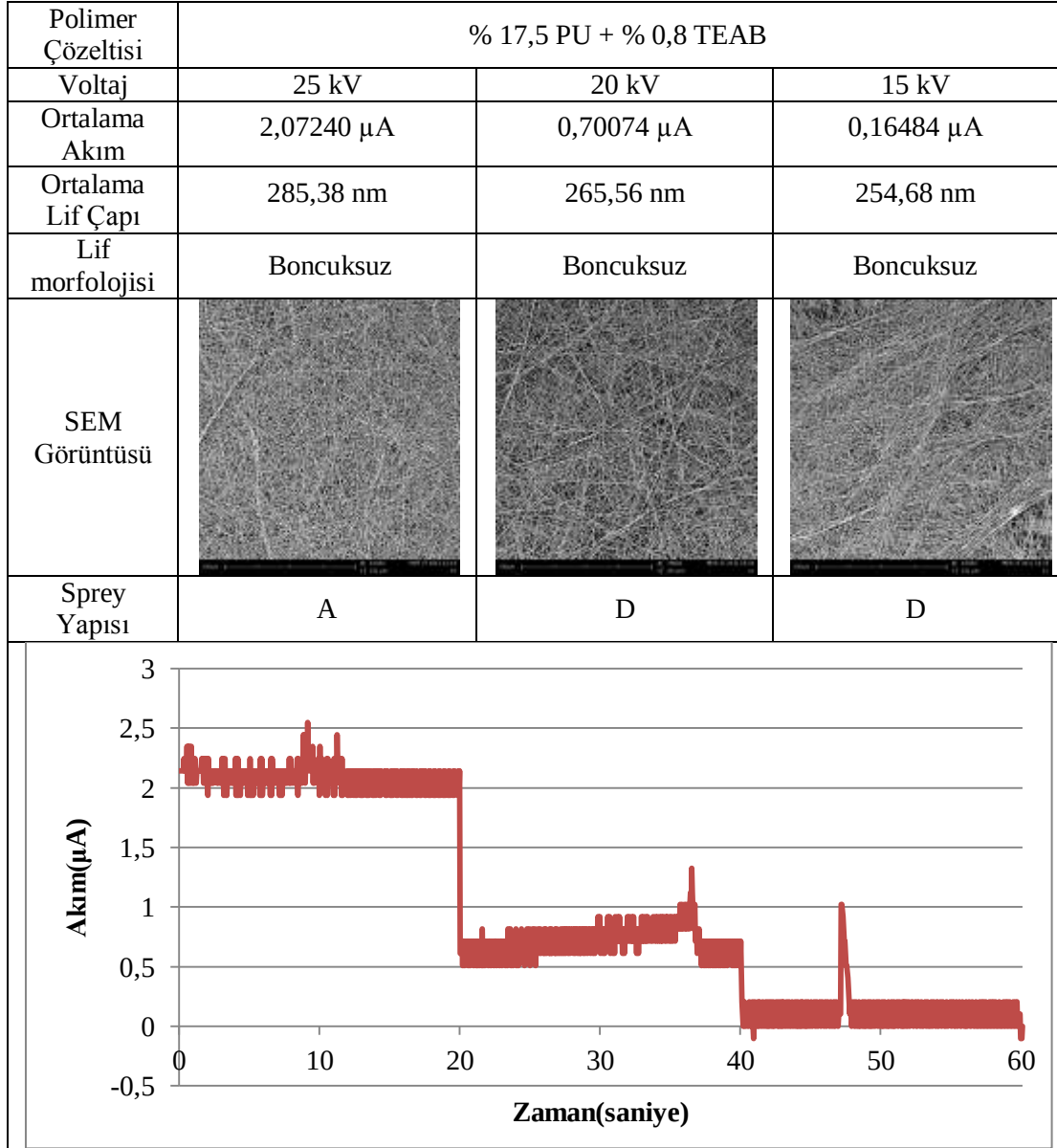
Polimer Çözeltisi	% 17,5 PU + % 0,4 TEAB		
Voltaj	25 kV	20 kV	15 kV
Ortalama Akım	2,00290 μ A	0,52695 μ A	0,11031 μ A
Ortalama Lif Çapı	273,64 nm	252,67 nm	245,2 nm
Lif morfolojisi	Boncuksuz	Boncuksuz	Boncuksuz
SEM Görüntüsü			
Sprey Yapısı	A	A	E
			

Şekil 4.27. % 17,5 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.27’deki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde 25 kV ve 20 kV’luk voltajlarda sabit sprej (A) yapısı görülmektedir. %17,5 PU (% 0 TEAB) konsantrasyonunun 25 ve 20 kV’luk voltajlarında da sabit sprej meydana gelmiş ve sprejlerin etkileri nano liflerin morfolojisine ve akım grafiğine aynı olduğu

gözlenmiştir. Şekil 4.27’de ki akım grafiği incelendiğinde 40 ile 60 saniyelik süreçte çözelti damlamasıyla başlayan spre y yapısı (E) meydana gelmiştir.

Şekil 4.28’de, %17,5 PU + % 0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.

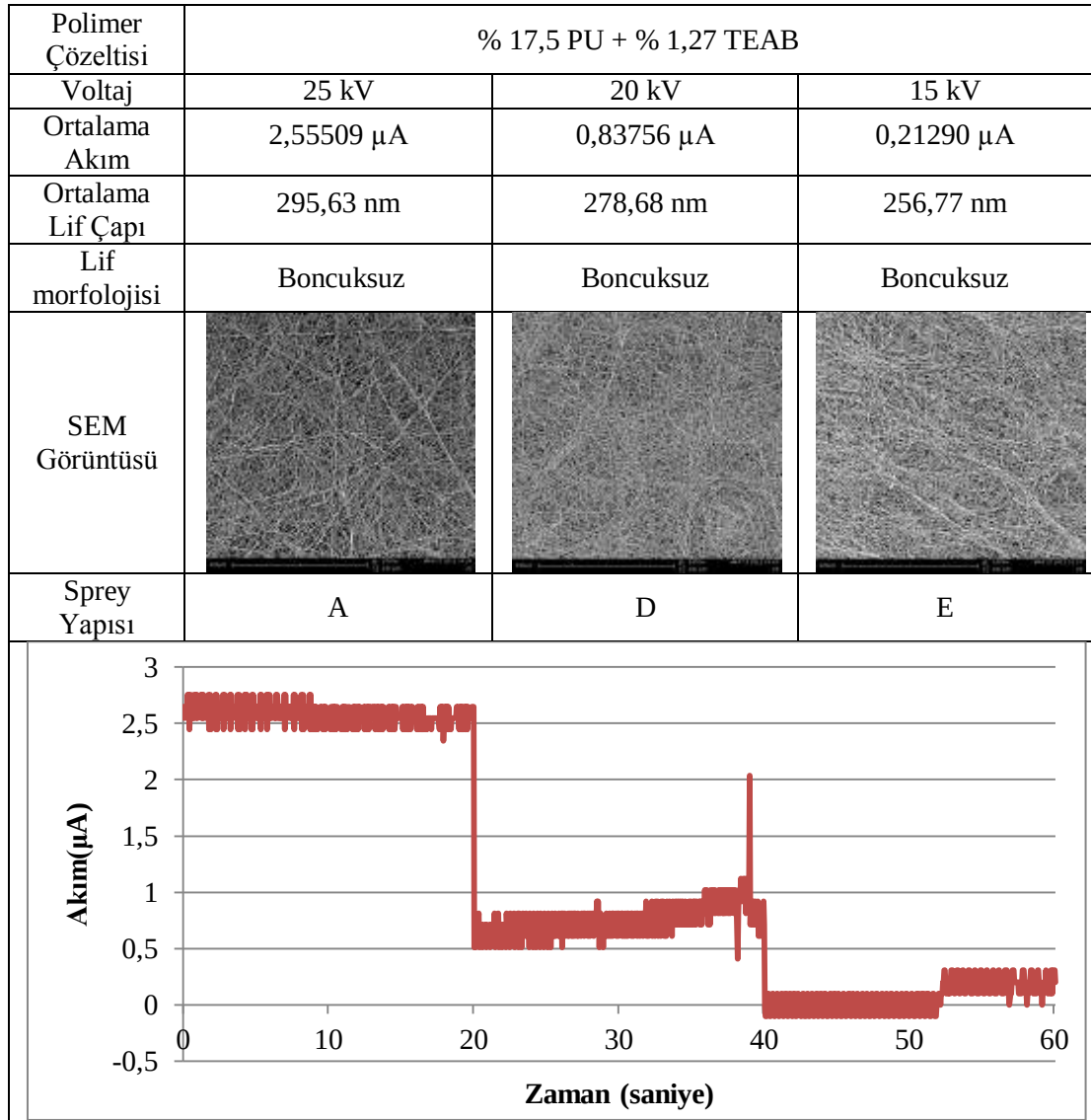


Şekil 4.28. %17,5 PU+%0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.28’deki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde 25 kV’luk voltajda sabit spre y (A) yapısı gözlenmiştir. 25 kV’luk voltajda SEM görüntüleri ve akım

ölçüm sonuçları analiz edildiğinde aynı grafik değerleri ve lif morfolojisi elde edilmiştir. 20 kV'luk ve 15 kV'luk lif çekim işleminde çözelti damlamalı spre y yapısı (D) meydana gelmiştir. Lif morfolojisi ve akım ölçüm grafikleri bulguları doğrulamaktadır.

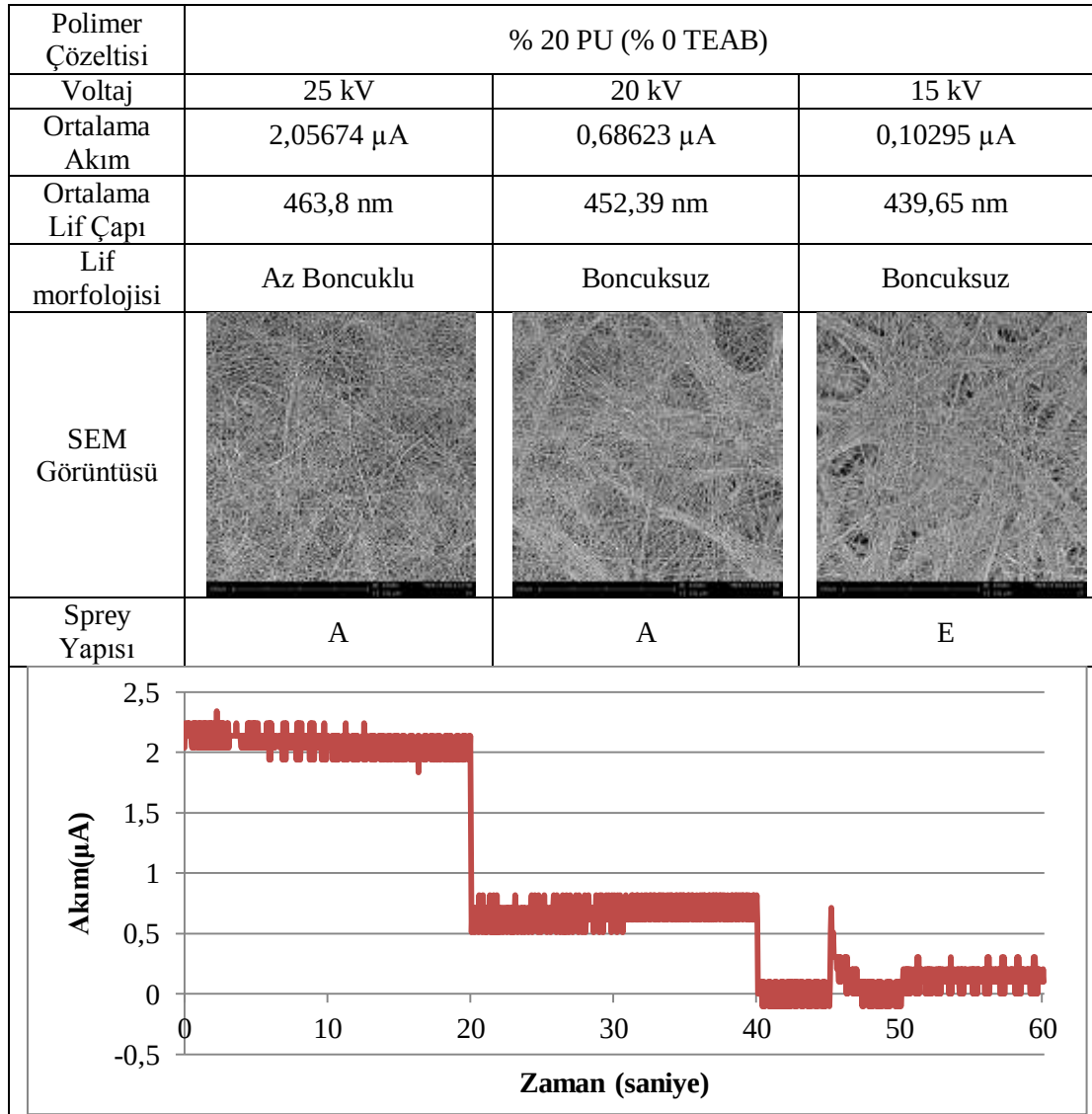
Şekil 4.29'da %17,5 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.



Şekil 4.29. % 17,5 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.29'daki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde, 25 kV'luk voltajda sabit sprej (A) yapısı elde edilmiştir. 20 kV'luk voltajda çözelti damlamalı sprej (D) oluşumu 15 kV'luk voltajda ise çözelti damlaması püskürmesi sonrası başlayan sprej yapısı (E) ile lif oluşumu gerçekleşmiştir.

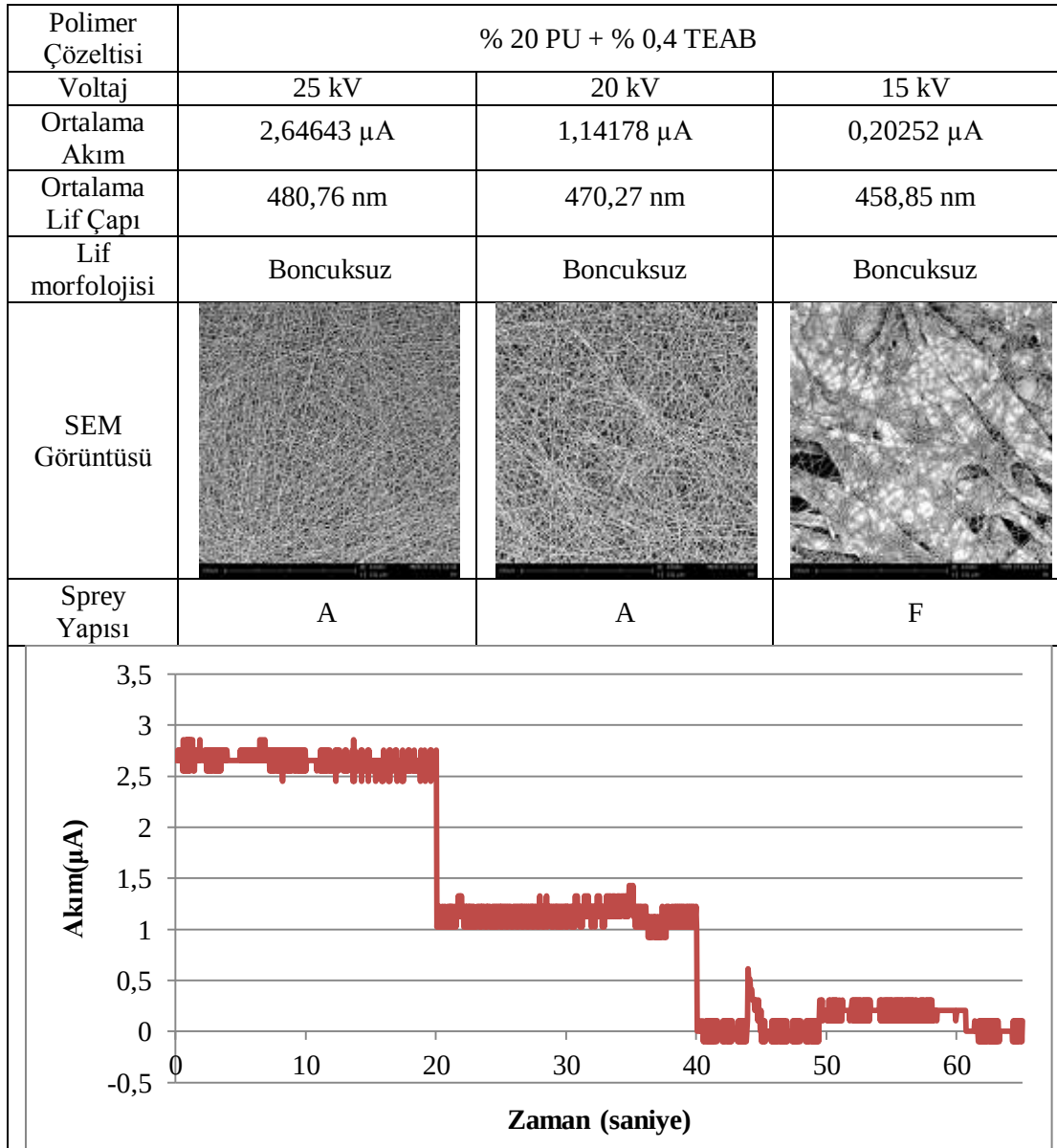
Şekil 4.30'da, %20 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.



Şekil 4.30. %20 PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.30'daki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde 25 kV ve 20 kV'luk voltajlarda sabit sprej (A) yapısı elde edilmiştir. 15 kV'luk voltajda lif çekimine bakıldığında çözelti damlası püskürmesi ile başlayan lif oluşumu (E) gözlemlenmiştir.

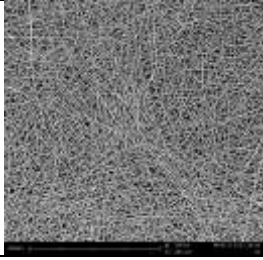
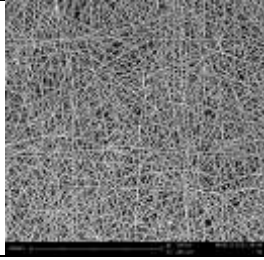
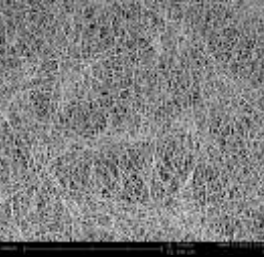
Şekil 4.31'de % 20 PU + % 0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.



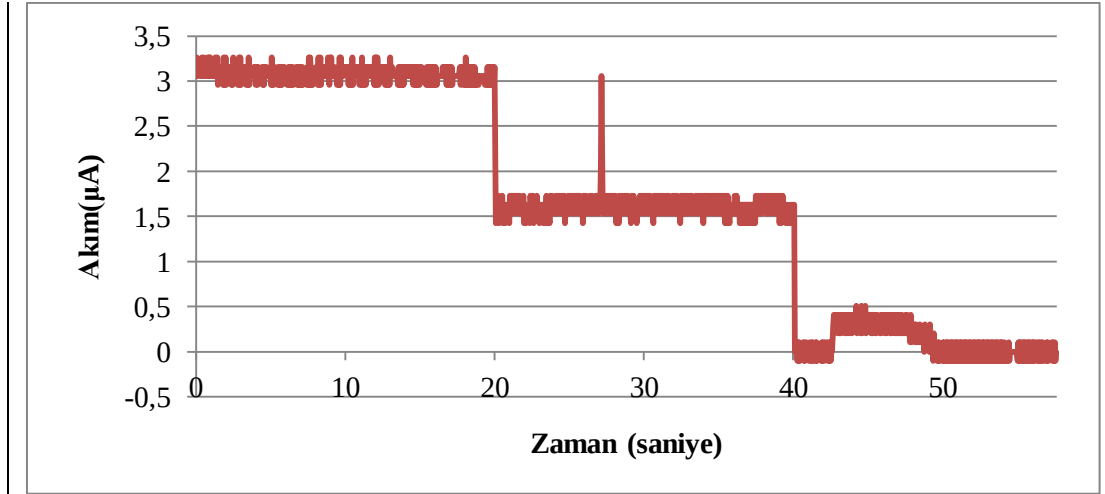
Şekil 4.31. %20 PU+%0,4 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

Şekil 4.31’deki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde, 25 kV ve 20 kV’luk voltajlarda sabit sprej (A) yapısı görülmüştür. 15 kV’luk voltaj değerinde ise düşük voltaj değeri ve yüksek konsantrasyondan dolayı elektrik alan kuvveti uygulandığı anda lif çekimi başlamamıştır. İğne ucunda damla büyümesi sonrası yer çekimi ve elektrik alan kuvvetine yenilen çözelti damlası atlama meydana getirmiş ve sprej oluşumu meydana gelmiştir. Fakat yüksek konsantrasyonun neden olduğu yüksek viskozite değerine yenilen elektrik alan kuvveti lif oluşumu devamlılığını sağlamaya yetmemiş ve lif üretimi ve sprej oluşumu durmuştur. Şekil 4.31’de 40 ile 60 saniyelik süreçte gerçekleşen akım grafiğinde sıfır akım değeri ile lif oluşumu gerçekleşmemiştir. İlk pik ile damla püskürmesi meydana gelmiş sprej oluşumu başlamıştır. Fakat grafikten de anlaşıldığı gibi belli bir süre sonra lif üretimi ve sprej oluşumu durmuş çözelti damlaması ile başlayan sonra biten sprej yapısı (F) meydana gelmiştir.

Şekil 4.32’de, %20 PU + % 0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim işlemi ile elde edilen bulgular verilmiştir.

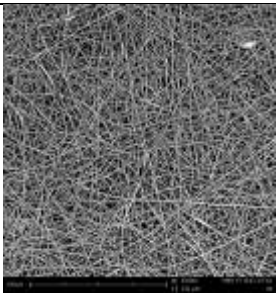
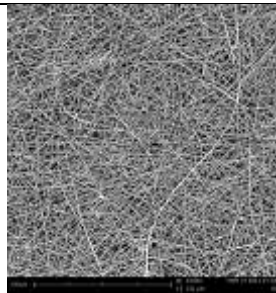
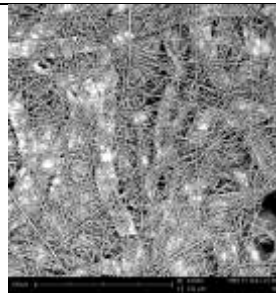
Polimer Çözeltisi	% 20 PU + % 0,8 TEAB		
Voltaj	25 kV	20 kV	15 kV
Ortalama Akım	3,07223 μ A	1,42696 μ A	0,31148 μ A
Ortalama Lif Çapı	506,79 nm	496,57 nm	475,13 nm
Lif morfolojisi	Boncuksuz	Boncuksuz	Boncuksuz
SEM Görüntüsü			
Sprej Yapısı	A	D	F

Şekil 4.32. % 20 PU + % 0,8 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri

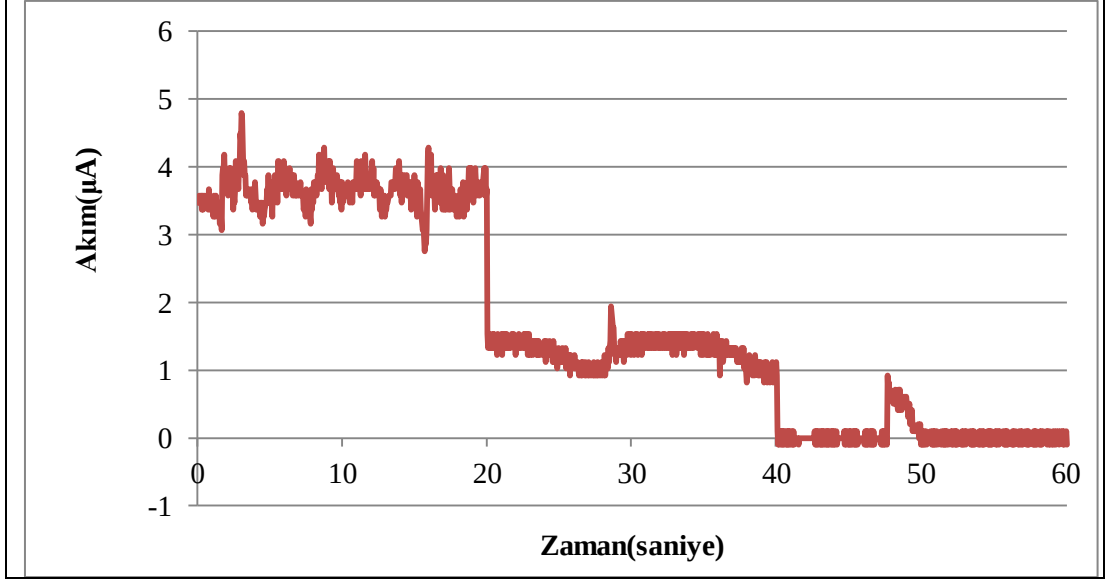


Şekil 4.32. (devam)

Şekil 4.32'deki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde 25 kV'luk voltajda sabit sprej (A) yapısı elde edilmiştir. 20 kV'luk voltajda çözelti damlamalı sprej oluşumu (D) ve 15 kV'luk da çözelti damlaması ile başlayan sonra biten sprej yapısı (F) meydana gelmiştir. Son olarak Şekil 4.33'te, %20 PU + % 1,27 TEAB tuzlu çözeltisi bulguları verilmiştir.

Polimer Çözeltisi	% 20 PU + % 1,27 TEAB		
Voltaj	25 kV	20 kV	15 kV
Ortalama Akım	3,61883 μ A	1,48185 μ A	0,42434 μ A
Ortalama Lif Çapı	561,88 nm	522,58 nm	506,98 nm
Lif morfolojisi	Az boncuklu	Az boncuklu	Boncuksuz
SEM Görüntüsü			
Sprej Yapısı	C	C	F

Şekil 4.33. % 20 PU + % 1,27 TEAB çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen lif morfolojisi ve elektrik akım değerleri



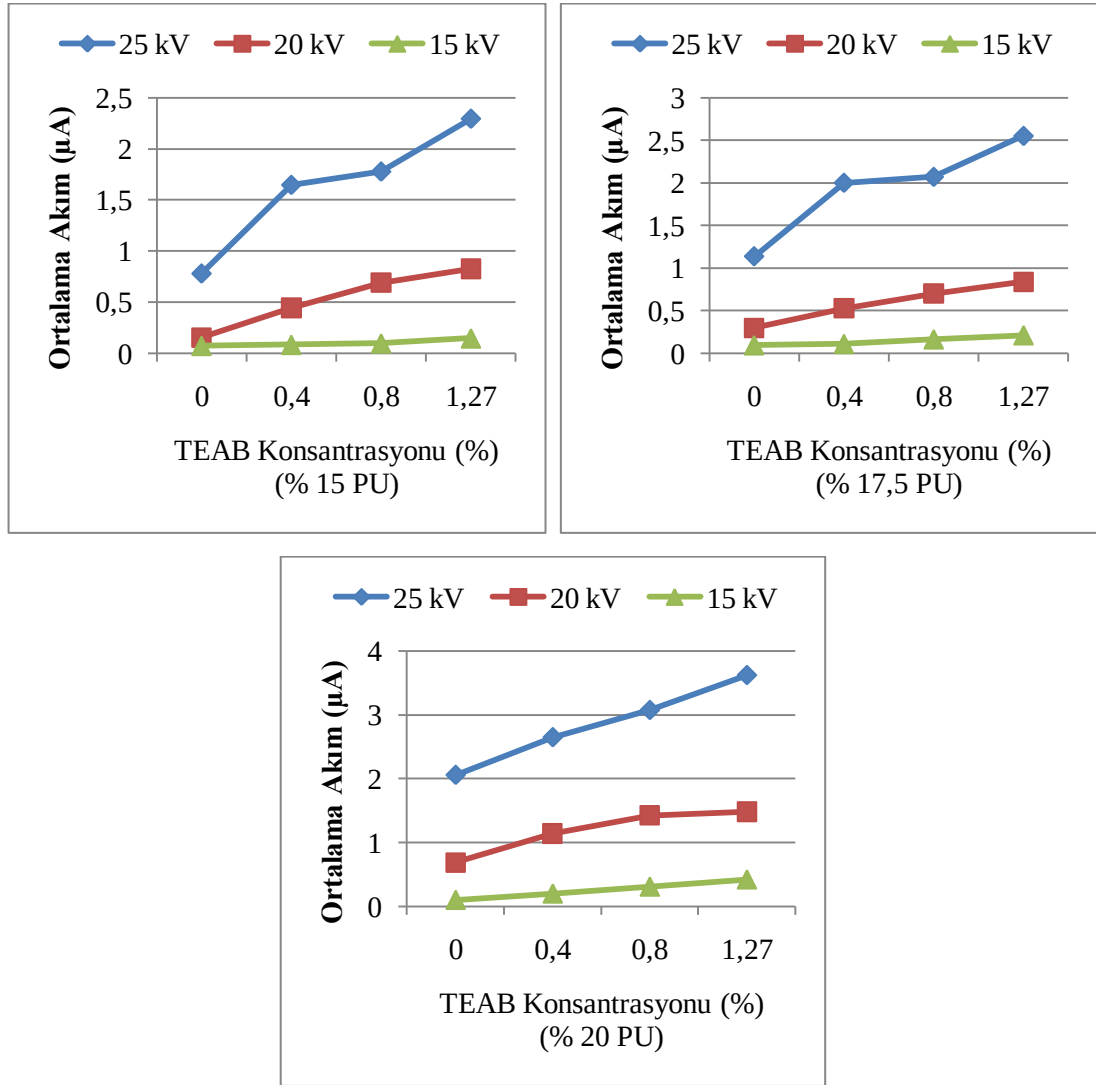
Şekil 4.33. (devam)

Şekil 4.33'teki bulgular ve kameralı kayıtlar analiz edildiğinde 25 kV ve 20 kV'luk voltajda dalgalı sprej yapısı (C) gözlemlenmiştir. Yüksek PU konsantrasyon değerinde ve tuz oranında gözlemlenmiş olan sprej yapısı sabit sprej yapısına benzeyen fakat lif çekimi anında dalgalanıp genişleyen sprej yapısı meydana getirmektedir. Bu dalgalanmalar akım ölçüm değerinde de Şekil 4.21'de 0 ile 40 saniye arasına yansımıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde, ilk olarak kalın lif çapı göze çarpmaktadır. 15 kV'luk voltajda çözelti damlaması ile başlayan ve sonra biten sprej yapısı (F) elde edilmiştir.

PU çözeltileri ile iğneli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak çeşitli voltaj değerlerinde lif çekimi esnasında sprej yapılarının karakterizasyonu yapılmıştır. Her bir sprej yapısının kendisine özgü şekil ve akım ölçüm grafiğinin sahip olduğu belirlenmiştir. Sprej yapılarının lif çekimi sonrası oluşturdukları nano yüzeylerden elde edilen SEM görüntüleri analizinde sprej yapılarının da lif morfolojilerine etkisinin önemli olduğu gözlemlenmiştir. Sabit ve sabit olmayan düzgün sprejlerde boncuklu yapılar oluşturduğu, çözelti damlamalı sprej yapılarında üretimin yavaş fakat lif morfolojisinin düzgün olduğu, dalgalı sprej yapısının yüksek PU ve tuz konsantrasyonlarında gözlemlendiğini ve ortalama lif çaplarının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, SEM görüntülerine gerek kalmadan sprey yapıları ile elektrik akım ölçüm grafiklerinden üretim esnasındaki lif yapıları hakkında tahmin yürütülebileceği anlaşılmaktadır (Lee et al., 2005; Munir et al., 2009).

Şekil 4.34'te PU çözeltisinden iğneli elektro lif çekim yöntemi ile üretim esnasında farklı voltaj değerlerinde sprey üzerinden geçen akım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.34 PU çözeltilerinin iğneli elektro lif çekim yöntemindeki akım değerleri

Şekil 4.34'te görüldüğü gibi uygulanan voltaj değerinin artmasıyla, sprey üzerinden geçen elektrik akım miktarı da artmaktadır. Artan PU ve TEAB tuz

konsantrasyonları ile her voltaj değerinde olmak üzere sprej üzerinden geçen elektrik akım değerleri de artmaktadır.

Artan tuz oranıyla çözelti iletkenliği artmaktadır ve elektrik yüklü taşıyıcıların (iyon) miktarı da artmaktadır. Bu nedenle aynı çözelti konsantrasyonlarındaki elektrik akım artışının kendi içlerinde tuz oranının artışına yani iyonların artışıyla açıklana bilmektedir (Cengiz-Çallıoğlu, 2011).

Diğer taraftan aynı tuz konsantrasyonuna sahip olan fakat farklı PU konsantrasyonlarındaki çözeltilerin ise iletkenliği PU konsantrasyonu artışıyla azalmaktadır. Bir önceki paragrafta yapılan yoruma göre eğer artan çözelti iletkenliği ile sprej üzerinden geçen elektrik akım değeri artıyorsa, aynı tuz oranına sahip çözeltilerde de çözelti iletkenlik değeri azalması ile sprej üzerinden geçen elektrik akım değeri azalması beklenebilirdi.

Bu durumda ise çözeltilerden elde edilen nano lif çaplarının önemli rol oynadığı düşünülmektedir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. PU çözeltilerinin iğneli elektro lif çekim yöntemi ortalama lif çapları

PU Çözeltileri	Ortalama Lif çapı(nm) (25kV voltajda)	Ortalama Lif çapı(nm) (20kV voltajda)	Ortalama Lif çapı(nm) (15kV voltajda)
%15PU	193 ±27,0	180 ±27,4	153 ±27,2
%15PU+0,4 TEAB	199 ±33,2	185 ±28,5	166 ±29,7
%15PU+0,8 TEAB	209 ±28,4	202 ±32,5	156 ±24,8
%15PU+1,27 TEAB	211 ±22,8	208 ±20,3	185 ±26,4
%17,5PU	258 ±47,1	246 ±47,1	231 ±38,0
%17,5PU+0,4 TEAB	273 ±42,6	252 ±27,5	245 ±30,9
%17,5PU+0,8 TEAB	285 ±32,7	265 ±33,3	254 ±34,8
%17,5PU+1,27 TEAB	295 ±38,1	278 ±37,1	256 ±35,7
%20PU	463 ±90,1	452 ±53,5	439 ±99,4
%20PU+0,4 TEAB	480 ±56,3	470 ±52,6	458 ±62,5
%20PU+0,8 TEAB	506 ±71,8	496 ±90,4	475 ±61,8
%20PU+1,27 TEAB	561 ±95,2	522 ±131,4	506 ±72,7

Çizelge 4.6. analiz edildiğinde azalan voltaj değeriyle lif çaplarında azalma meydana gelmiştir. Artan PU ve TEAB tuz konsantrasyonu ile lif çaplarında önemli derecede artış meydana gelmiştir. Artan PU konsantrasyonu ile sabit tuz oranlarında sprej üzerinden geçen elektrik akım değerlerinin artışı, taşınan PU miktarının artışıyla yani akım iletimi liflerin içindeki sahip olduğu molekül çokluğuna bağlı olduğu bunun sonucunda 2. dereceden lif çaplarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir

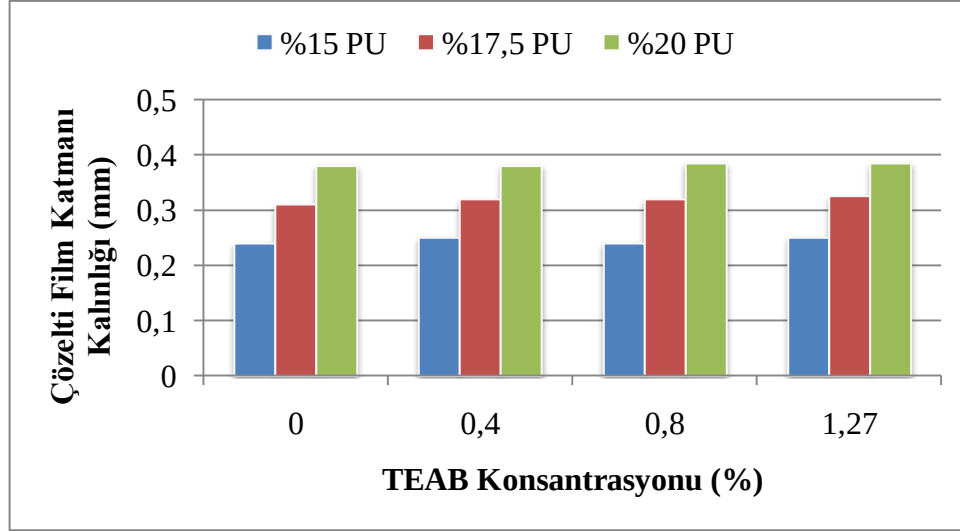
4.2.3. Poliüretan çözeltileri ile silindirli elektro lif çekim işlemi

Çalışmanın ikinci bölümünde PU çözeltilerinden silindirli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar beş farklı başlık altında verilmiştir.

Bu bölümde ilk olarak PU çözeltisinin silindir üzerinde oluşturdukları polimer çözeltisi film katmanı kalınlığı ile ilgili bulgular verilmiştir. Silindirli elektro lif çekim esnasında kameralı görüntüler kullanılarak analiz edilen Taylor koni sayısı, Taylor koni çapı ve sprej ömrü Taylor koni analizi başlığı altında verilmiştir. Elde edilen bulgular ANOVA istatistiksel analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Lif çekimi esnasında alınan sprej üzerinden geçen elektrik akım kayıtları eş zamanlı alınmıştır ve bu kayıtlar her bir çözelti için ortalama elektrik akımını, her bir sprejin sahip olduğu ortalama elektrik akımını ve sprej ömrünü belirlemede kullanılmıştır. Elde edilen nano esaslı yüzeylerin üretim analizleri yapılarak bir Taylor konisinin lif çekim performansı ve toplam lif çekim performansları verilmiştir. Son olarak da elde edilen nano yüzeylerin lif karakterizasyonu yapılmıştır.

4.2.3.1. Poliüretan çözeltilerinin film katmanı kalınlığı analiz bulguları

PU çözeltileri ve farklı oranlardaki TEAB tuz konsantrasyonlarının silindir üzerindeki film katmanı kalınlığı bulguları Şekil 4.35’te verilmiştir.



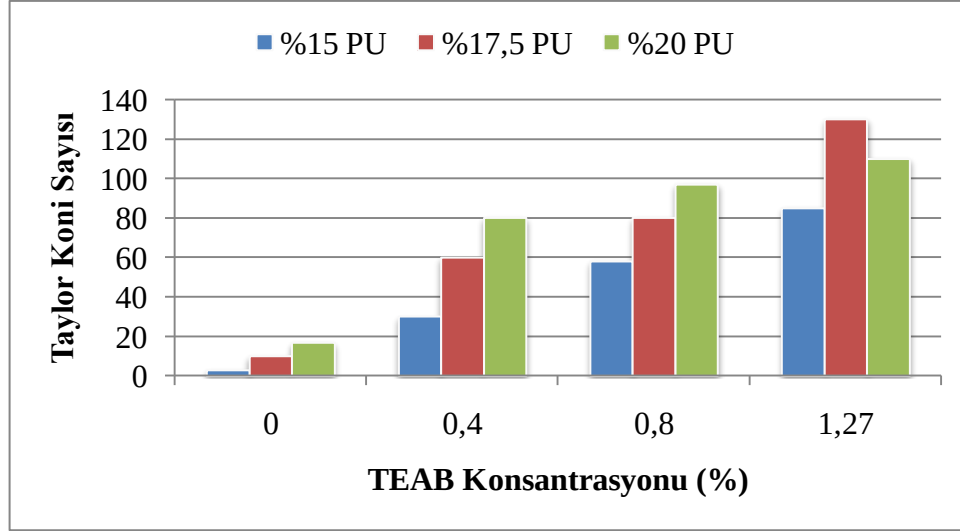
Şekil 4.35. PU çözeltilerine ait film katmanı kalınlığı analiz bulguları

Şekil 4.35'te verilen silindir üzerindeki PU çözeltisi film katmanı kalınlığı değerleri analiz edildiğinde, PU konsantrasyonu artışıyla silindir üzerindeki çözelti film katmanının kalınlığı da artmıştır. Tuz oranındaki artış viskozite değerlerinde az bir artışa neden olsa da bu artışın çözelti film kalınlığına gözle görülür bir etkisi bulunmamıştır.

4.2.3.2. Poliüretan çözeltilerinin Taylor koni analiz bulguları

Bu bölümde silindirli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak PU çözeltilerinden lif çekimi esnasında silindir üzerinde meydana gelen Taylor konilerin analizi yapılmış ve elde edilen bulgular verilmiştir. Lif çekimi esnasında kameralı kayıtlar alınarak, her bir PU çözeltisi için Taylor koni sayısı belirlenmiştir. Aynı görüntülerden Taylor koni çapları ve spray ömrü değerleri hesaplanmıştır.

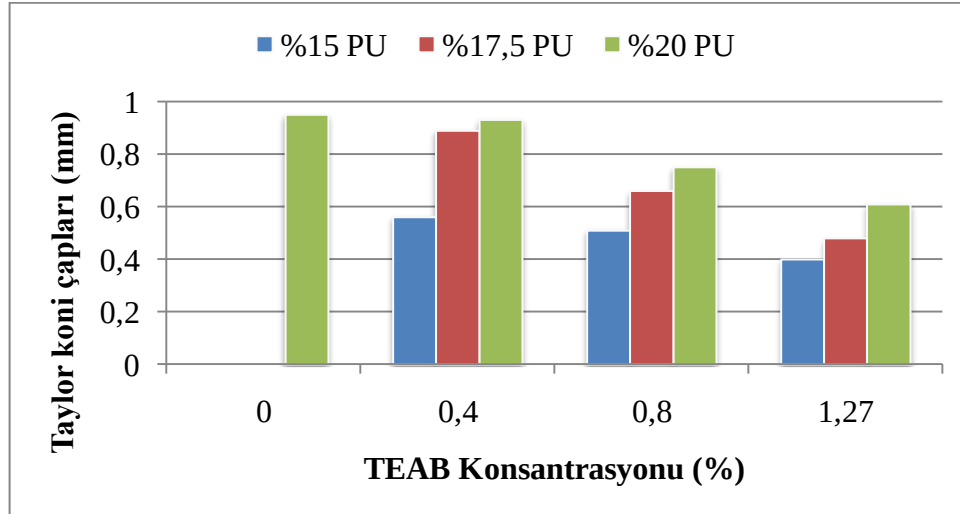
Şekil 4.36'da, PU çözeltileri kullanılarak silindirli elektro lif çekimi esnasında alınan kameralı kayıtlarla belirlenen Taylor koni sayıları verilmiştir.



Şekil 4.36. PU çözeltilerine ait Taylor koni sayıları

Şekil 4.36. analiz edildiğinde, hem PU hem de TEAB tuz konsantrasyon artışıyla Taylor koni sayısının arttığı belirlenmiştir. PU çözeltilerinde artan tuz konsantrasyonu ile polar grupların fonksiyonelliği artmaktadır. Bu durum elektrik alan içinde lif çekimi esnasında Taylor koni sayısını arttırdığı düşünülmektedir (Cengiz-Çallıoğlu, 2011).

Şekil 4.37’de PU çözeltilerinden silindirik elektro lif çekimi esnasında alınan kameralı kayıtlarla belirlenen Taylor koni çapları verilmiştir.



Şekil 4.37. PU çözeltilerine ait Taylor koni çapları

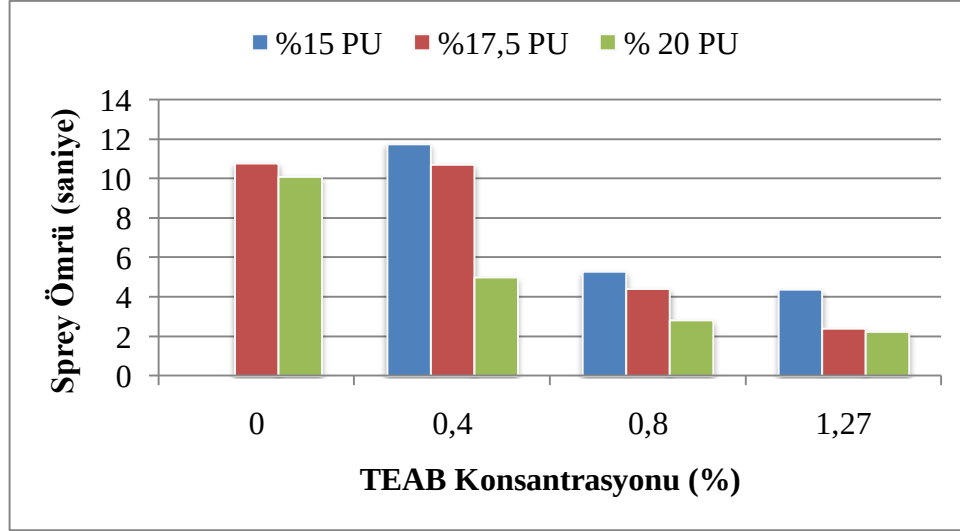
PU çözeltilerinden silindirli elektro lif çekim işlemi sırasında elde edilen Taylor koni çapları analiz edildiğinde, PU konsantrasyonu artışıyla Taylor koni çapında da artış olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.37.). Artan PU konsantrasyon değeri ile çözelti viskozitesinin arttığı bilinmektedir. Bu nedenle, lif çekimi esnasında elektrik alan kuvveti içinde toplayıcı elektroda doğru çekilen polimer miktarı ve oluşan Taylor koni çapı da büyük olmaktadır. Öte yandan aynı PU konsantrasyonu içinde artan tuz oranıyla, Taylor koni sayısı artmaktadır. Ancak Taylor koni çap değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Artan Taylor koni sayısı ile silindir üzerinde Taylor konisini beslemesi için gereken polimer çözelti miktarı da azalmaktadır. Bu nedenle silindir üzerinden toplayıcı elektroda çekilen Taylor konilerin çapları artan tuz oranı ve Taylor koni sayısı ile azalmaktadır.

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi verilen ANOVA test sonuçlarına göre PU çözelti viskozitelerinin, Taylor koni çapı değerleri üzerinde istatistiksel açıdan önemli seviyede bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. PU çözeltilerinin Taylor konisi çaplarına ait ANOVA test sonuçları

Parametre	%95 güven aralığının da $\alpha = 0,05$ için
	P Değeri
PU Çözeltisi Taylor Koni Çapları	0,006

Şekil 4.38’de PU çözeltilerinden silindirli elektro lif çekimi esnasında alınan kameralı kayıtlarla belirlenen sprej ömürleri verilmiştir.



Şekil 4.38. PU çözeltilerine ait sprej ömürleri

%15 konsantrasyonuna sahip PU çözeltileriyle (% 0 TEAB) lif çekimi verimli bir şekilde elde edilemediği için Taylor koni ve sprej ömürleri ile ilgili bilgi verilmemiştir. Şekil 4,38’de anlaşıldığı gibi PU ve TEAB konsantrasyonu arttıkça silindirli elektro lif çekimi esnasında silindir üzerindeki sprej ömrü azalmaktadır. PU ve TEAB konsantrasyonu artan çözeltilerde Taylor koni sayısı da artmaktadır (bkz, Şekil 4.36.). Taylor koni sayısındaki artış, lif çekimi esnasındaki sprej ömürlerini kısaltmaktadır. Benzer sonuç, PVA polimer için de elde edilmiştir.

Çizelge 4.8’te verilen ANOVA test sonuçlarına göre PU çözeltilisine ait Taylor koni sayılarının, sprej ömrüne olan ölçüm sonuçları üzerinde istatistiksel açıdan önemli seviyede bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

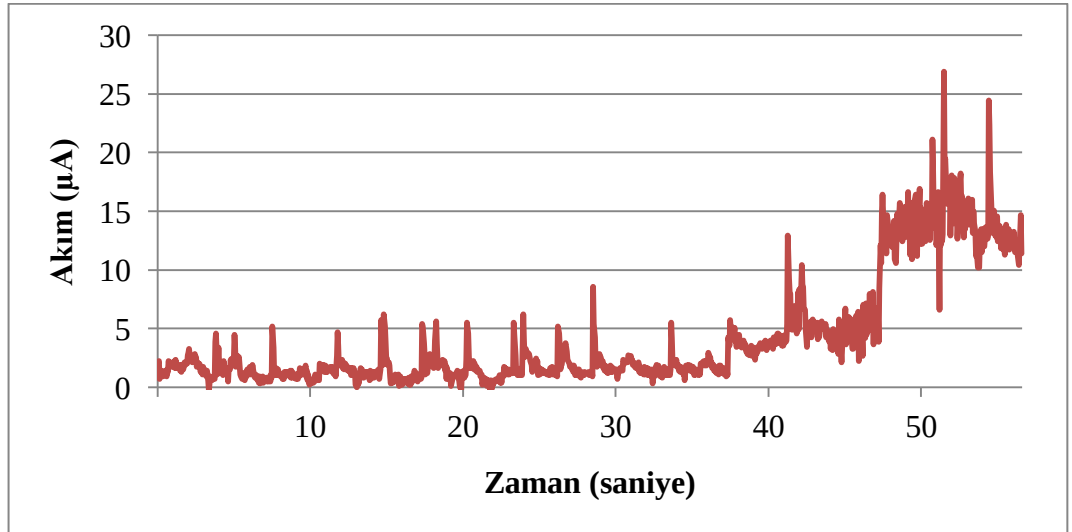
Çizelge 4.8. PU çözeltilerinin sprej ömrüne ait ANOVA test sonuçları

Parametre	%95 güven aralığın da $\alpha = 0,05$ için
	P Değeri
PU Çözeltilisi sprej ömrü	0,000

4.2.3.3. Poliüretan çözeltilerinin elektrik akım analizi

Bu bölümde PU çözeltileri ile silindirli elektro lif çekim işlemi esnasında kameralı kayıtlarla eş zamanlı alınan akım ölçüm değerleri ve grafikleri verilmiştir. Lif çekimleri esnasında 12 farklı PU çözeltisi için elektrik akım değerleri alınarak silindir üzerinde Taylor koni sayı artış ve azalışına diğer değişle spray ömürlerine etkisi yorumlanmıştır. Ortalama akım değerleri verilerek bir Taylor konisinin taşıdığı elektrik akım yoğunluğu hesaplanmıştır.

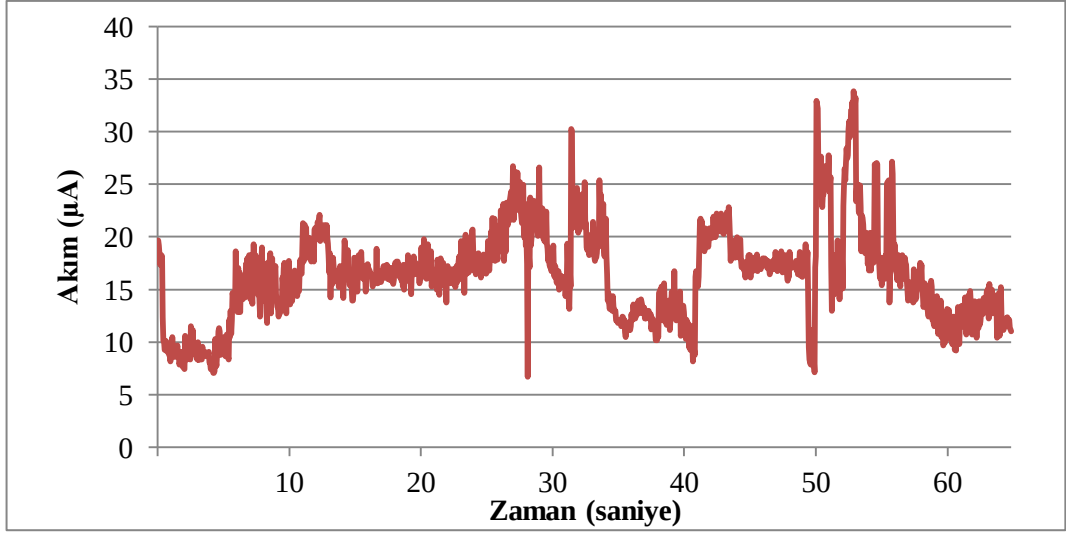
Şekil 4.39'da %15 PU (% 0 TEAB) çözeltisine ait silindirli elektro lif çekimi esnasında eş zamanlı alınan spray üzerindeki elektrik akımını gösteren elektrik akım grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.39. % 15 PU çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.39'da 0 ile 40 saniye aralığı incelendiğinde, 0 µA civarındaki akım değeri ile Taylor koni ve spray oluşumunun geç başladığı görülmektedir. Üretimin düşük olmasıyla oluşan akım grafiğinin de akım değerleri düşük ve istikrarsızdır.

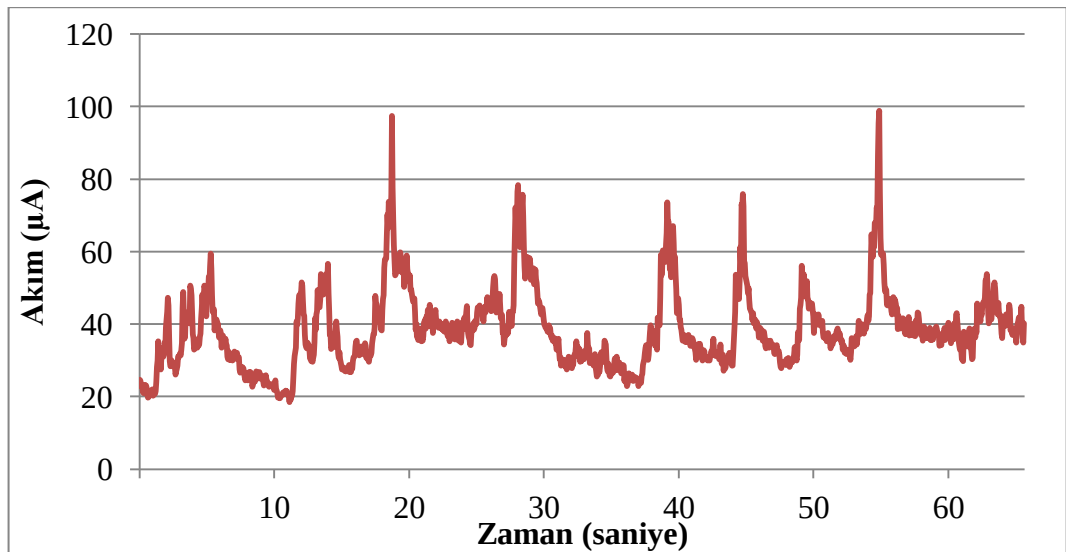
Şekil 4.40'da % 15 PU + % 0,4 TEAB çözeltisine ait akım grafiği görülmektedir.



Şekil 4.40. % 15 PU + % 0,4 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.40’da verilen akım grafiğine göre düşük akım değerlerinde az sayıda Taylor koni oluşturmaktadır (bkz Şekil 4.36). Diğer taraftan akım değerlerinin 10 ile 30, 30 ile 40, 40 ile 50 saniyeler arasında sabit devam ettiği ve dolayısıyla sprey ömrünün uzun ve Taylor konilerin kalıcı devamlılığını göstermektedir (bkz Şekil 4.38.). Akım değerleri 10 - 30 μA arasında değişmektedir ve bu durum Taylor koni sayısında aşırı değişkenlik olmadığını göstermektedir.

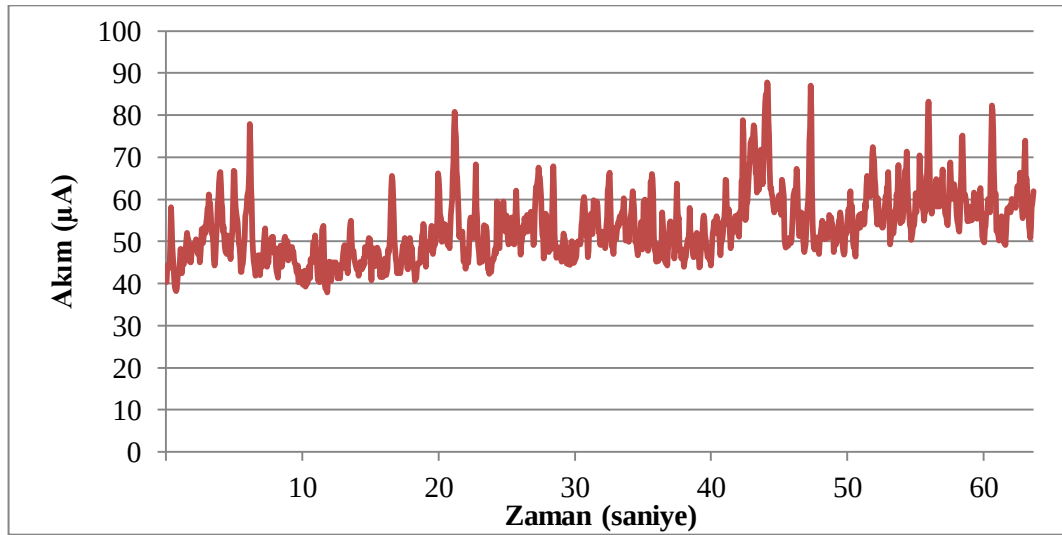
Şekil 4.41’de %15 PU + % 0,8 TEAB çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.41. % 15 PU + % 0,8 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.41’de verilen akım grafiği incelendiğinde, elektrik akım değerinin Şekil 4.40’a kıyasla arttığı görülmektedir. Bu durum TEAB tuz artışıyla Taylor koni sayısının arttığını göstermektedir. Grafikteki ani artış değerleri ise Taylor koni sayısında ani değişikliklerin meydana geldiğini ve Taylor koni sayısının artan tuz oranıyla arttığını göstermektedir. 20 ile 80 μA arasında değişen elektrik akım değerleri Taylor koni sayılarının lif çekim esnasında ani artış ve azalışa sebep olduğunu göstermektedir. Elektrik akım grafiğinde değişen piklerden spray ömrünün kısaldığı anlaşılmaktadır.

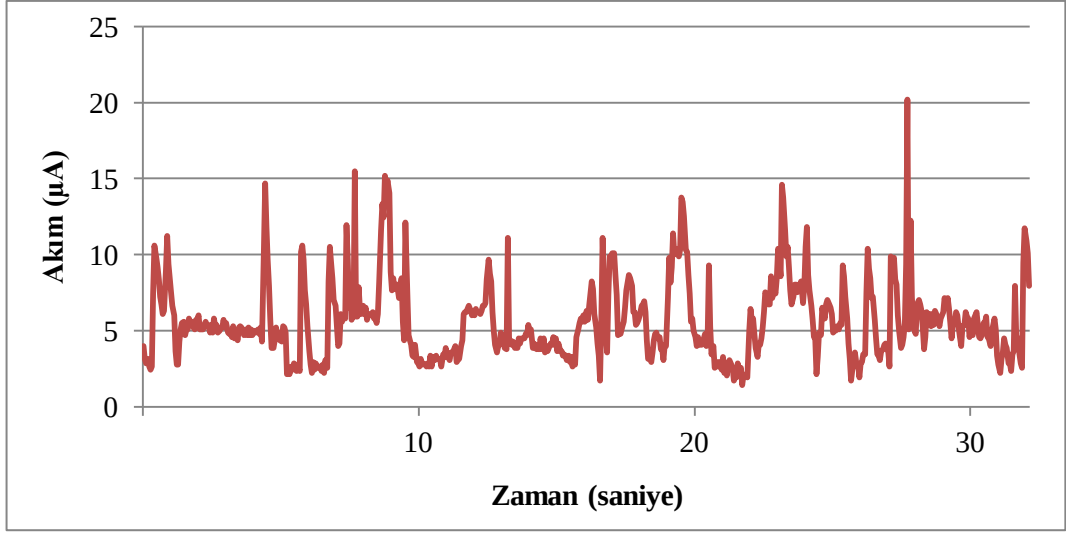
Şekil 4.42’de %15 PU + % 1,27 TEAB çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır



Şekil 4.42. % 15 PU + % 1,27 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.42’de görülen akım grafiği incelendiğinde, yükselmeye devam eden elektrik akım değerleri tuz oranının artışıyla artmaya devam ettiği görülmektedir. Grafikteki kısa ve uzun aralıklı artışlar Taylor koni sayısının bazı zamanlarda az bazı zamanlarda çok değiştiğini göstermektedir. Grafikteki aralıkların sürekli değişimi spray ömrünün daha da kısaldığı anlamına gelmektedir.

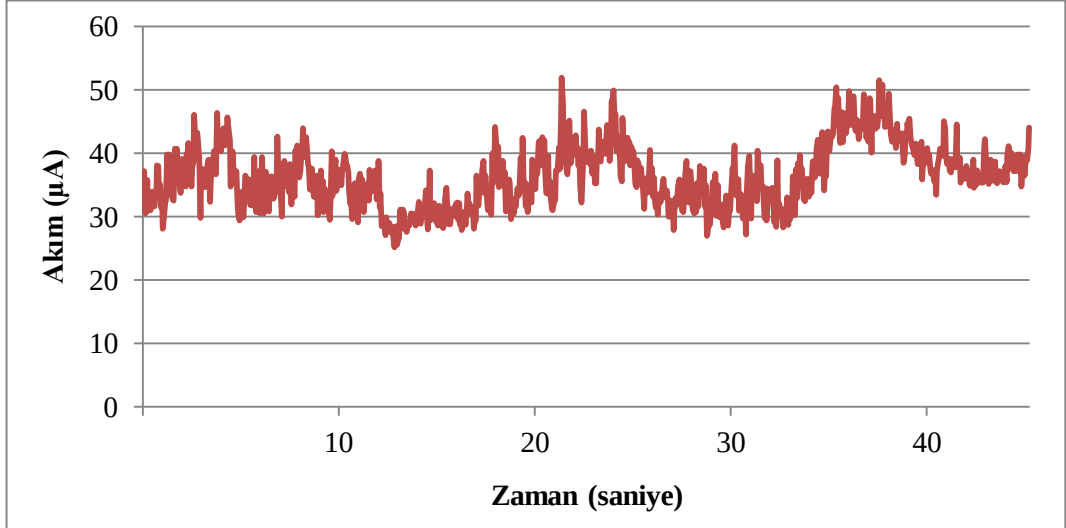
Şekil 4.43’te %17,5 PU (% 0 TEAB) çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.43. % 17,5 PU çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.43’de verilen akım grafiği analiz edildiğinde, düşük elektrik akım değeri az sayıda Taylor koni oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca 5 ile 10 μA arasında değişen elektrik akım yoğunluğu az sayıda Taylor konisinin devamlı olduğunu ve az sayıda koni sayısı değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Şekil 4.44’te % 17,5 PU + % 0,4 TEAB çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.

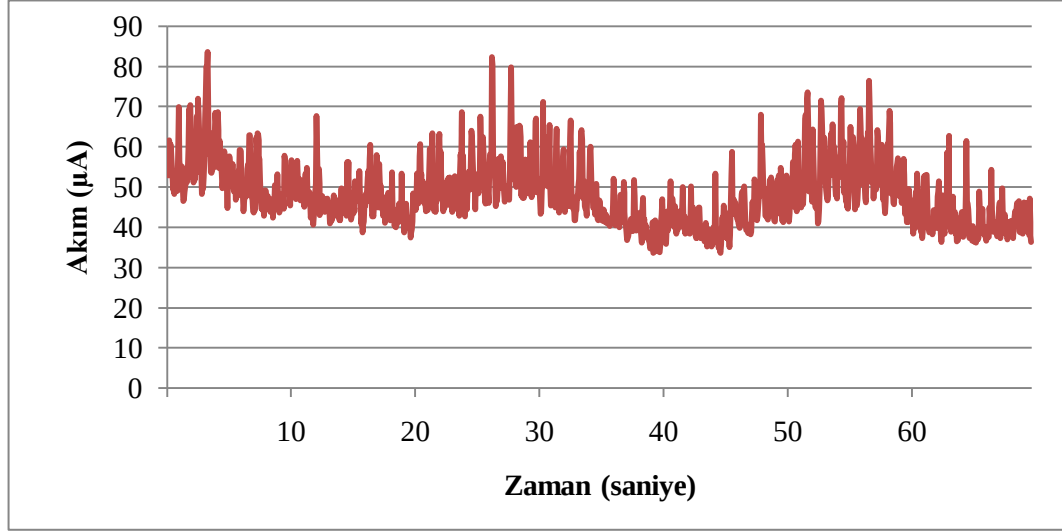


Şekil 4.44. % 17,5 PU + % 0,4 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.44’te görülen akım grafiği analiz edildiğinde artan elektrik akım değerinden lif çekim esnasında Taylor koni sayısının da arttığı anlaşılmaktadır. Grafikte 0 ile 20

saniye arasına bakıldığında 30 ile 40 μA arasında oluşan elektrik akım değişimi Taylor koni ve sprej yapılarının devamlılığını göstermektedir. Akım grafiğinde büyük piklerin oluşmaması Taylor koni sayısında ani değişmelerin meydana gelmediği dolayısıyla sprej ömrünün uzun olduğunu göstermektedir.

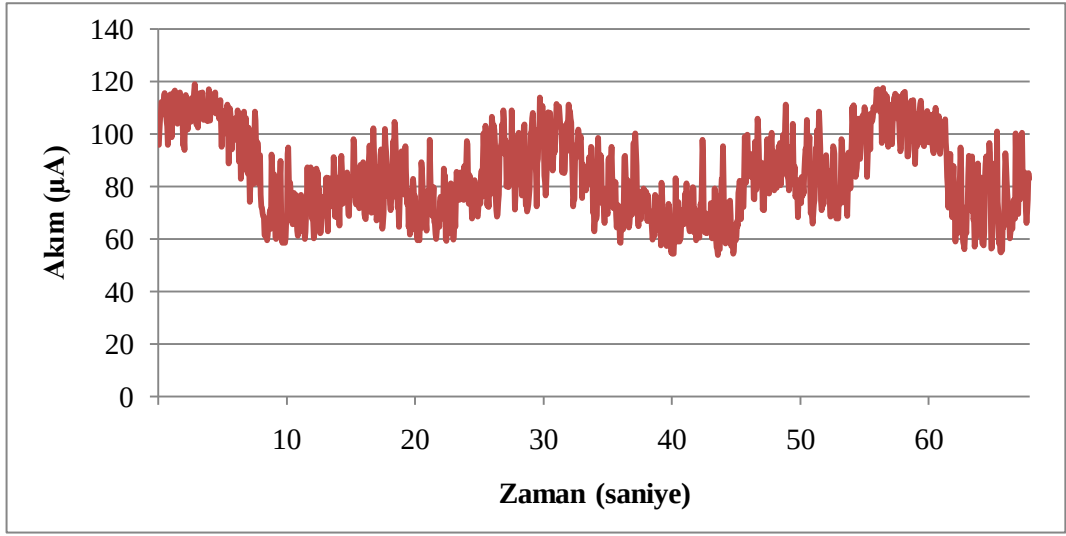
Şekil 4.45'te %17,5 PU + % 0,8 TEAB çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.45. % 17,5 PU + % 0,8 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.45'te akım değerlerinin bir önceki grafiğe göre yüksek çıkması, Taylor koni sayısının artan tuz konsantrasyonu ile arttığını göstermektedir. Kısa aralıklarla piklerin meydana gelmesi fazla olan Taylor koni sayısının sürekli değişmekte olduğunu ve oluşan Taylor konilerin ömürlerinin kısaldığını göstermektedir.

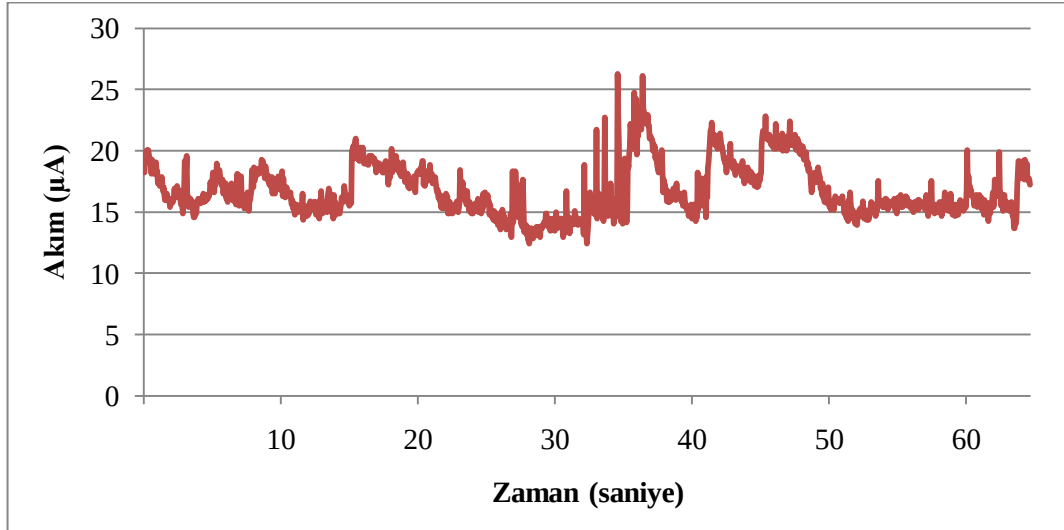
Şekil 4.46'da %17,5 PU + % 1,27 TEAB çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.46. % 17,5 PU + % 1,27 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.46'da akım değerlerinin %17,5 PU % 0,8 TEAB tuz konsantrasyonuna göre yüksek çıkması Taylor koni sayısının artan tuz konsantrasyonu ile arttığını göstermektedir. 60 ile 120 μA arası değişen elektrik akım değerinin Taylor koni sayılarının çok değişken ve ömrünün kısa olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.47'de % 20 PU (% 0 TEAB) çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.

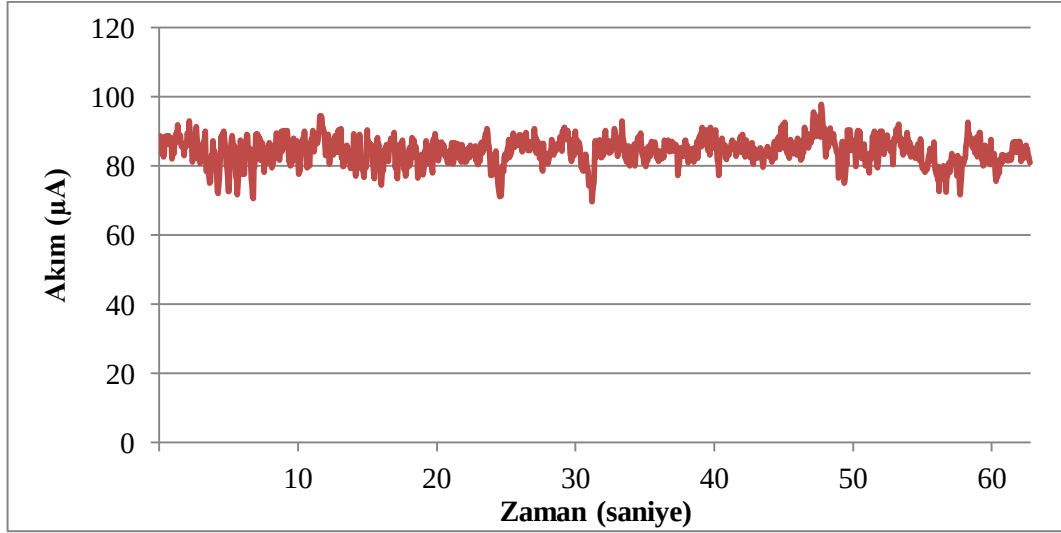


Şekil 4.47. % 20 PU çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.47'de akım grafiğine bakıldığında elektrik akım değerinin düşük olması Taylor koni sayısının fazla olmadığını göstermektedir. Ayrıca 0 ile 30 saniye

arasında yakın değerinde ilerleyen elektrik akımı aynı konilerin uzun süre devam ettiğini göstermektedir.

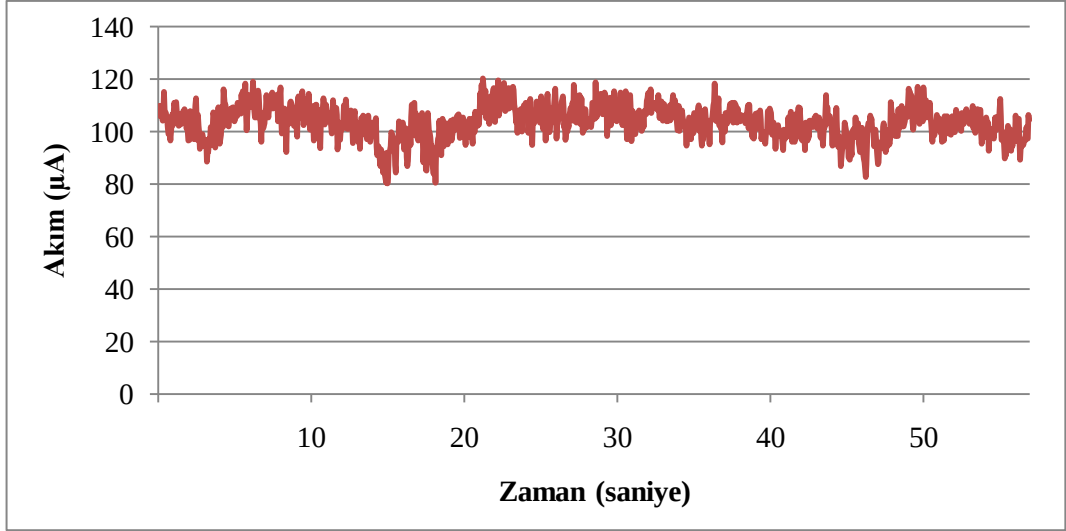
Şekil 4.48’de %20 PU + % 0,4 TEAB çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.48. % 20 PU + 0,4 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.48’de görülen akım grafiği incelendiğinde elektrik akım değerinde artış Taylor koni sayısının arttığını göstermektedir. Elektrik akım grafiği incelendiğinde çok fazla değişkenlik olmadığı, akım değerlerinin sabit şekilde değiştiği gözlenmiştir. Taylor koni sayısı çok fazla değişmediği fakat küçük pikler nedeniyle de ömrünün çok fazla olmadığı ortaya çıkmaktadır.

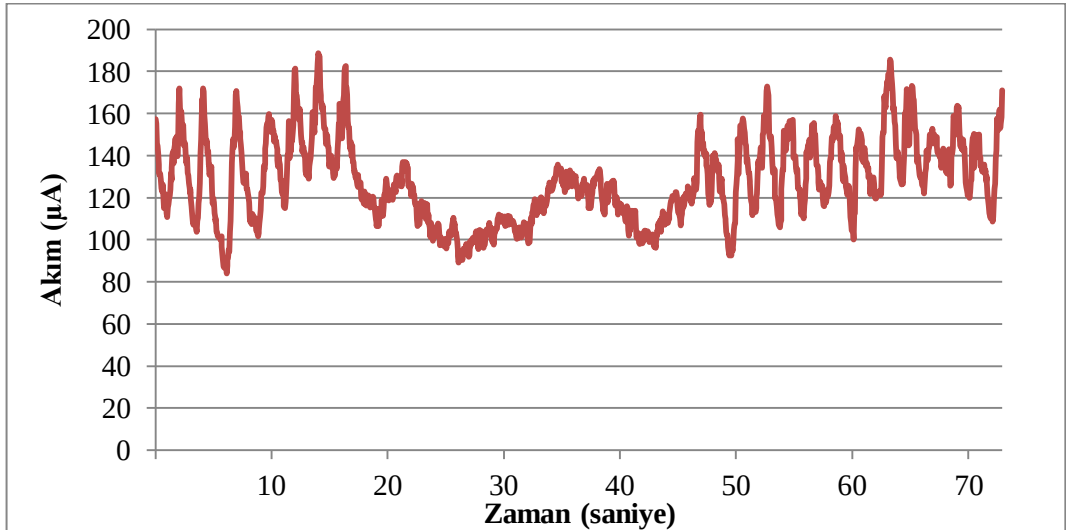
Şekil 4.49’da %20 PU + % 0,8 TEAB çözeltisine ait akım grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.49. % 20 PU + 0,8 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.49 incelendiğinde % 20 PU + % 0,4 TEAB konsantrasyonuna kıyasla akım değerlerinin yüksek çıkması Taylor koni sayısının artan tuz konsantrasyonu ile arttığını göstermektedir. Elektrik akım grafiğindeki ani bozulmalar ise artan Taylor koni sayısı, spray ömrünün azaldığını göstermektedir.

Şekil 4.50’de %20 PU + % 1,27 TEAB konsantrasyonuna ait akım grafiği bulunmaktadır.

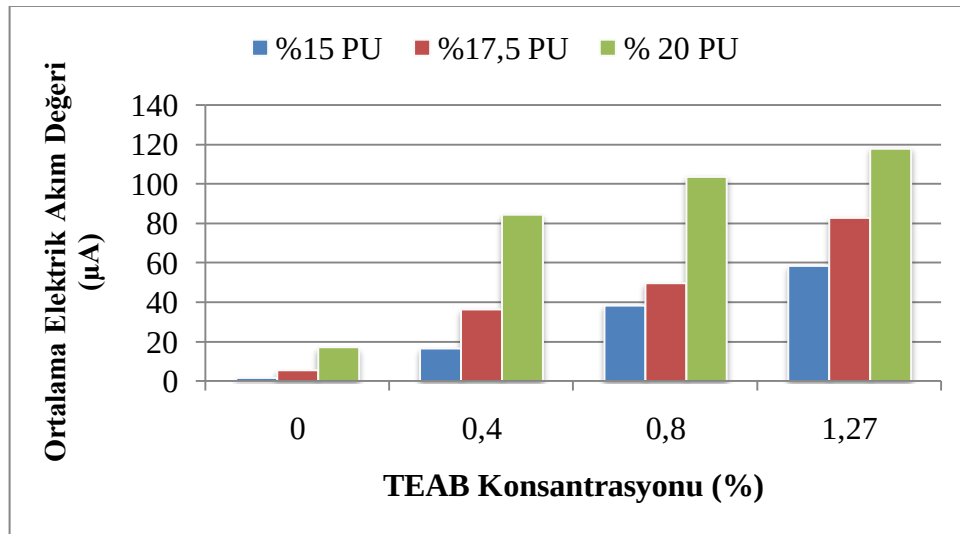


Şekil 4.50. % 20 PU + 1,27 TEAB çözeltisine ait elektrik akım grafiği

Şekil 4.50’de verilen akım grafiği analiz edildiğinde artan PU ve tuz konsantrasyonları ile elektrik akım değerinin arttığı, dolayısıyla lif çekimi esnasında Taylor koni sayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Grafikten de anlaşılabacağı gibi sabit olmayan akım değerleri sprej ömürlerinin iyice azaldığı ve devamlılığını sağlayamadığı anlamına gelmektedir.

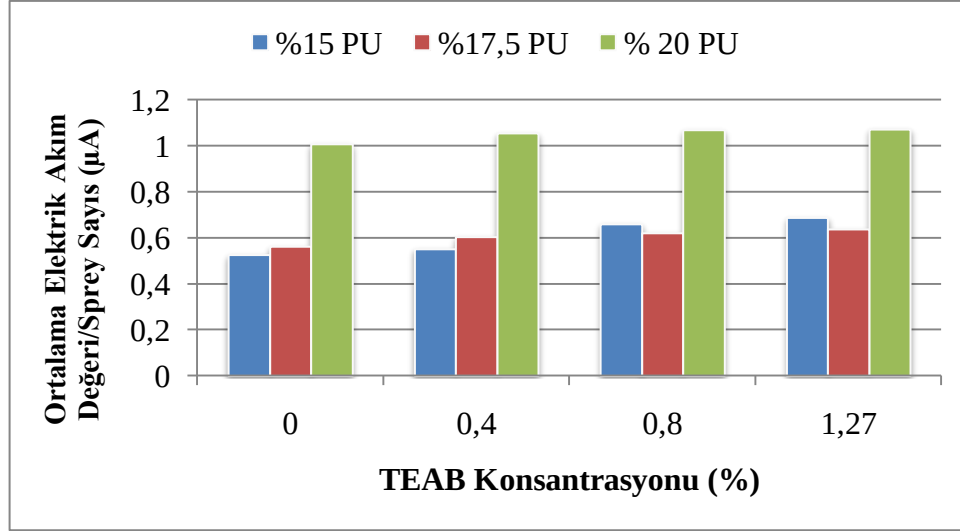
Elektrik akım grafiklerinden de anlaşılmaktadır ki artan PU ve TEAB tuz konsantrasyonlarıyla Taylor koni sayısı artmaktadır (Cengiz-Çalhoğlu, 2011). Elektrik akımındaki artış ise artan Taylor koni sayısı ile ilişkilidir. Elektrik akım grafiklerindeki ani değişiklikler çözeltilerin sahip olduğu Taylor koni sayısının ani azalış ve artışlara sebep olduğu ve artan koni sayısı ile sprej ömrünün de kısaldığını göstermektedir.

Şekil 4.51 ve 4.52’de 12 farklı PU çözeltisinin sprej üzerinden geçen ortalama elektrik akım değerleri ve her bir Taylor konisine veya spreje düşen elektrik akım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.51. PU çözeltilerinin silindirli elektro lif çekim yöntemindeki ortalama akım değerleri

Şekil 4.52’den anlaşıldığı gibi artan PU konsantrasyon değerleri genelde çözelti sprejlerinin üzerinde geçen ortalama elektrik akım yoğunluğunu arttırmıştır.



Şekil 4.52. PU çözeltilerinin silindirli elektro lif çekim yönteminde her bir sprej üzerinden geçen elektrik akım değeri

PU çözeltilerinin farklı konsantrasyonlardaki silindirli lif çekimi işleminden elde edilen her bir sprejlerin taşıdıkları elektrik akım yoğunlukları Şekil 4.52’de verilmiştir. Elektrik akım değeri analiz edildiğinde, artan tuz konsantrasyonu ile her bir sprejin taşıdığı elektrik akımında çok az artış meydana gelmiştir. Artan PU konsantrasyonu ile de her bir sprejin taşıdığı elektrik akım miktarı da artmıştır.

4.2.3.4. Poliüretan çözeltilerinin üretim analiz bulguları

Çalışmanın bu bölümünde PU polimer çözeltileri ile gerçekleştirilmiş olan silindirli elektro lif çekim işlemi ve bu işlemde elde edilen nano yüzeyler analiz edilmiştir. Üretilen nano lif esaslı yüzeylerin lif çekim performans değeri hesaplanmıştır. PU çözeltilerinden silindirli lif çekimi esnasında kameralı kayıtları alınan görüntülerin analizlerinde belirtilen Taylor koni sayıları kullanılarak her bir Taylor koni için lif çekim performansı hesaplanmıştır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. PU çözeltilerine ait üretim analizleri

	PU Konsantrasyonu (%)	TEAB Konsantrasyonu (%)			
		0	0,4	0,8	1,27
Lif Çekim Performansı (g/dk/m)	15	0	0,3125	0,468	0,68036
	17,5	0	0,9563	0,98	1,1253
	20	0	1,189	1,2235	1,3394

Düşük Taylor koni sayısına sahip olan PU polimerinin tuzsuz hazırlanan çözeltilerinde çok düşük oranda üretim gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle üretilen nano lif esaslı yüzeylerde lif çekim performansı hesaplanabilmesi için gerekli yüzey elde edilememiştir. Diğer taraftan çözelti içindeki tuz oranı ve PU konsantrasyonu arttıkça çözelti polaritesi ve makro moleküller arası bağlar güçlenmekte ve böylece artan PU ve tuz konsantrasyonu ile Taylor koni sayısı artmış ve nano yüzey üretim verimi yükselmiştir (Cengiz-Çallıoğlu, 2011). Silindirli elektro lif çekim yönteminde üretimde en önemli parametrelerden birinin Taylor koni sayısı olduğu anlaşılmıştır. Sprey ömrü kısılmasının üretim verimi üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.10.'da PU çözeltileri için her bir Taylor koniye ait lif çekim performansı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. PU çözeltilerine ait her bir Taylor koni için üretim analizi

	PU Konsantrasyonu (%)	TEAB Konsantrasyonu (%)			
		0	0,4	0,8	1,27
Bir Taylor Koni için Lif Çekim Performansı (g/saat)	15	0	0,01041	0,00806	0,00800
	17,5	0	0,01593	0,01225	0,00865
	20	0	0,01486	0,01261	0,01217

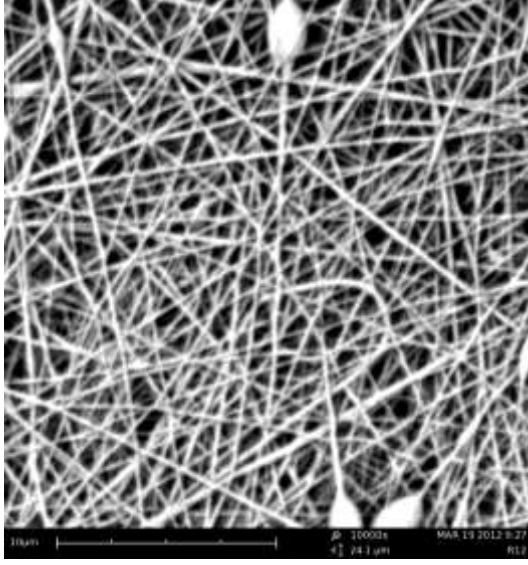
Tuz içermeyen %15-17,5 ve 20 PU çözeltilerinde nano esaslı yüzey üretimi verimsiz şekilde elde edildiği için bir Taylor koniye ait lif çekim performansı değeri hesaplanamamıştır. Artan PU konsantrasyonu ile her bir Taylor koniye ait lif çekim performansında artış meydana gelmiştir. TEAB tuz oranı artışıyla da bir Taylor koniye ait lif çekim performansı azalmıştır. PU çözeltilerinin silindirik lif çekimi esnasında artan PU konsantrasyonu ile silindir üzerindeki polimer çözeltisi film katmanının kalınlığının arttığını (bkz, Şekil 4.35), bu nedenle de oluşan Taylor koni çaplarının arttığı bilinmektedir (bkz, Şekil 4.37). Artan Taylor koni çapı lif çekimi esnasında bir Taylor konisinin sahip olduğu verim oranını da arttırmıştır.

TEAB tuzu konsantrasyon artışıyla her bir Taylor koninin verimi düşmüştür. Artan tuz oranıyla silindir üzerindeki polimer çözeltisi film katmanının kalınlığında değişiklik meydana gelmemiştir. Ayrıca artan tuz konsantrasyonu ile Taylor koni sayısında da artış yaşanmıştır. Böylece sayısı fazla olan Taylor koninin silindir üzerinde daha çok polimer çözeltisi beslemesine ihtiyaç duymaktadır. Sınırlı polimer çözelti film kalınlığı nedeniyle Taylor koni çaplarında düşüş meydana gelmiştir ve bir Taylor konisinin sahip olduğu verim de düşmektedir.

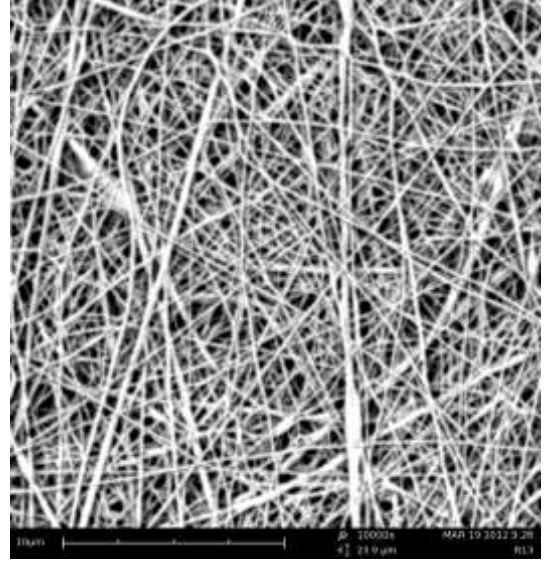
4.2.3.5. Poliüretan çözeltilerinin nano lif esaslı yüzey karakterizasyonu

Bu bölümde PU çözeltileri ile silindirik elektro lif çekim yöntemi kullanılarak elde edilen nano lif esaslı yüzeylerin taramalı elektro mikroskobu ile alınan SEM görüntüleri ve SEM görüntülerinden analiz edilmiş nano liflerin ortalama lif çapları ve lif oluşmayan alan bulguları verilmiştir.

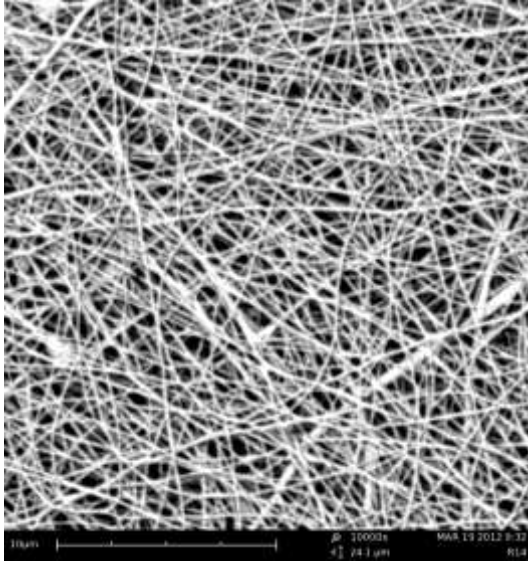
Şekil 4.53'te % 15 PU ve % 0,4-0,8-1,27 çözeltisine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



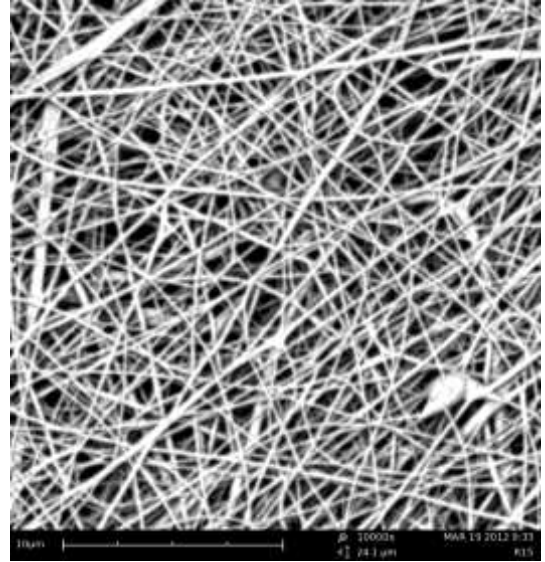
a



b



c

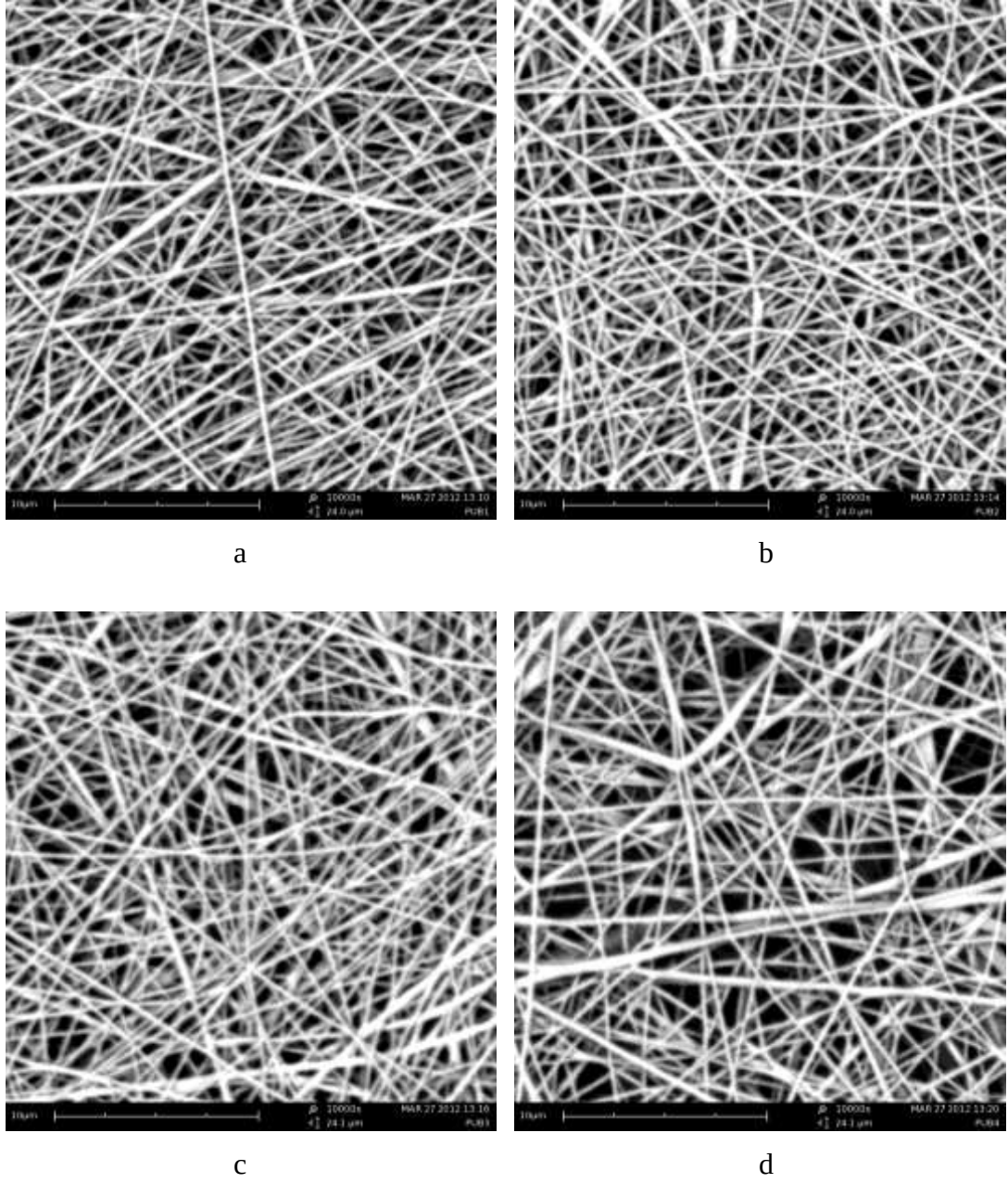


d

Şekil 4.53. % 15 PU çözeltisinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (a: % 0 TEAB, b: % 0,4 TEAB, c: % 0,8 TEAB, d: % 1,27 TEAB) (x10.000)

% 15 PU çözeltilerinin sahip olduğu nano lif yapıları düzgün, diğer yandan lif oluşmayan alan miktarı fazladır.

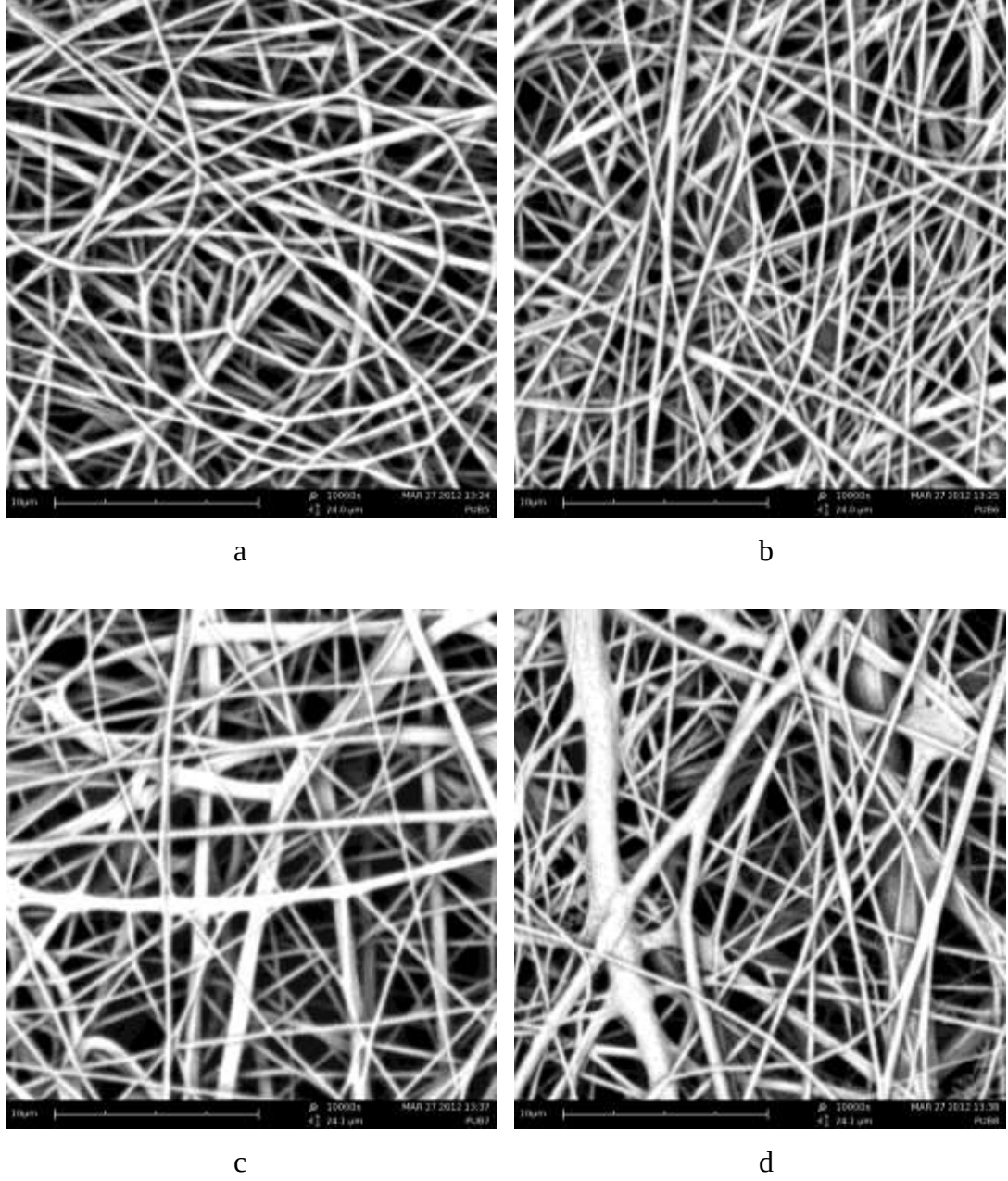
Şekil 4.54'te % 17,5 PU ve % 0,4-0,8-1,27 TEAB içeren çözeltilerine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.54. % 17,5 PU çözeltisinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (a: % 0 TEAB, b: % 0,4 TEAB, c: % 0,8 TEAB, d: % 1,27 TEAB) (x10.000)

% 17,5 PU çözeltilerinden elde edilen oldukça nano liflerin yapısı düzgün olduğu görülmektedir.

Şekil 4.55'te % 20 PU ve % 0,4-0,8-1,27 çözeltisine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.55. % 20 PU çözeltisinden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (a: % 0 TEAB, b: % 0,4 TEAB, c: % 0,8 TEAB, d: % 1,27 TEAB) (x10.000)

% 20 PU çözeltilerinden elde edilen nano liflerde ilk göze çarpan liflerin yapışkan yapılarından dolayı kalın ve lif oluşmayan alan miktarının fazla oluşudur.

PU polimerinden 12 farklı çözelti hazırlanarak silindirik elektro lif çekim yöntemiyle elde edilen nano esaslı yüzeylerin SEM görüntüleri verilmiştir. Bu SEM görüntüleri Nikon NIS Element programı kullanılarak ortalama lif çapı ve lif oluşmayan alan değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. PU çözeltilerine ait ortalama lif çapları

	PU Konsantrasyonu (%)	TEAB Konsantrasyonu (%)			
		0	0,4	0,8	1,27
Ortalama Lif Çapı (nm)	15	139,87 ±24,2	144,34 ±24,9	158,88 ±27,9	172,27 ±26,4
	17,5	165,48 ±27,2	168,1 ±25,4	194,37 ±23,2	205,51 ±33,6
	20	269,72 ±47,2	275,29 ±38,3	447,1 ±291,8	527,49 ±273,6

PU çözeltileri ile silindirli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak elde edilen nano liflerin ortalama çapları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Tuz ve PU konsantrasyon artışıyla ortalama lif çapında artış meydana gelmiştir. Önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Cengiz-Çallıoğlu, 2011; Demir et al., 2002)

Çizelge 4.12’de PU çözeltilerinden silindirli elektro lif çekim yöntemi ile üretilen nano lif esaslı yüzeylerin lif oluşmayan alan yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4.12. PU çözeltilerine ait lif oluşmayan alan bulguları

	PU Konsantrasyonu (%)	TEAB Konsantrasyonu (%)			
		0	0,4	0,8	1,27
Lif Oluşmayan Alan (%)	15	0,012	0,026	0,010	0,032
	17,5	0,0002	0,0010	0,0028	0,0008
	20	0,0013	0,0085	0,0009	0,0041

% 15 PU çözeltilerinden elde edilmiş nano lif esaslı yüzeyler incelendiğinde lif oluşmayan alan miktarının fazla olduğu belirlenmiştir. % 17,5 PU çözeltilerinden elde edilen lifler düzgün olduğu görülmüştür. % 20 PU çözeltilerinin SEM

görüntüleri incelendiğinde liflerin kalın olduğu ortaya çıkmıştır. En ince lif yapısı ise 139 nm ile tuzsuz % 15 PU çözeltisiyle gerçekleştirilen silindirli elektro lif çekim işleminde elde edilmiştir.

5. SONUÇ

İğneli ve iğnesiz elektro lif çekim yöntemleri ile nano lif üretiminde Taylor koni yapısı ve fıskiye (sprey) ömrünün analizi konulu tez çalışmasında iki farklı polimer kullanılarak nano lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde polivinil alkol polimeri kullanılarak 10 ayrı PVA ve farklı NaCl konsantrasyonlarında olmak üzere çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilerin yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite özellikleri incelenmiştir. PVA tuzlu ve tuzsuz çözeltilerinden elde edilen sonuçlara doğrultusunda PVA ve NaCl tuz konsantrasyonunun çözelti yüzey gerilimi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. PVA konsantrasyonu arttıkça iletkenlik üzerinde herhangi bir değişim gözlenmez iken, NaCl tuz konsantrasyonu arttıkça çözelti iletkenliğinde önemli bir artış meydana gelmiştir. PVA konsantrasyonu arttıkça viskozite değerleri artarken, NaCl tuz konsantrasyonunun çözelti viskozitesini önemli seviyede değiştirmedeği belirlenmiştir.

PVA çözeltileri ile silindirik elektro lif çekim yöntemi kullanılarak lif çekim işlemi gerçekleştirmeden önce PVA çözeltilerinin silindir üzerinde oluşturdıkları çözelti film katmanı kalınlıkları ölçülmüştür. PVA konsantrasyonu artışıyla silindir üzerindeki PVA çözelti film katmanı kalınlığı artmış, NaCl tuz konsantrasyonu artışı ise film katmanı kalınlığı az da olsa azalsada ve daha sonra artış göstermiştir.

Lif çekim işlemi gerçekleştirilirken silindir üzerindeki PVA polimer çözeltisinin kameralı kayıtları alınmış ve Taylor koni ve sprej ömrü analizleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuçta, Taylor koni sayısı ve Taylor koni çapının PVA konsantrasyonu ile arttığı belirlenmiştir. Artan tuz oranıyla da Taylor koni sayısında azalma meydana gelmiş, Taylor koni çapında her hangi bir değişim belirlenmemiştir.. PVA çözelti viskozitelerinin Taylor koni çaplarına olan etkilerinin istatistiksel açıdan önemli seviyede olduğu belirlenmiştir. PVA çözeltisinin sprej ömrü incelendiğinde artan PVA konsantrasyonu ile Taylor konilerin ucunda oluşan sprej ömürlerinin azaldığı tespit edilmiştir. %12 PVA çözeltisi içinde farklı konsantrasyonlarda çözülen NaCl tuzu konsantrasyon artışı ile sprej ömrü ilk önce kısalmış devam eden tuz konsantrasyonu artışıyla sprej ömründe önemli bir artış gözlenmiştir. Değişken

sprey ömrünü ikinci dereceden etkilediği varsayılan silindir üzerindeki PVA çözeltisi film katmanı etkili olduğu düşünülmektedir.

PVA nano lif esaslı yüzeyler analiz edildiğinde % 8 PVA çözeltisinden elde edilmeye çalışılan nano esaslı yüzeyler düşük PVA konsantrasyonu ve viskozite değeri nedeni ile düşük üretim elde edilmiştir. PVA konsantrasyonu arttıkça nano lif üretimi yani lif çekim performansı artmıştır. % 12 PVA çözeltisi içindeki NaCl tuz konsantrasyonu arttıkça lif çekim performansında azalma meydana gelmiştir ve NaCl tuzu PVA çözeltisinden elde edilen nano lif çekim verimini düşürdüğü belirlenmiştir. PVA konsantrasyonu arttıkça her bir Taylor koniye ait lif çekim performansı artarken, NaCl tuz konsantrasyonu arttıkça azalmıştır.

Elde edilen nano lif esaslı yüzeylerin SEM analizleri (lif çapı, lif oluşmayan alan) yapılmıştır. % 8 PVA konsantrasyonunda lifler yapışık ve az miktarda oluşmuştur, En düzgün lifler % 12 PVA konsantrasyonunda üretilmiştir. % 12 PVA çözeltisine farklı oranlarda eklenen NaCl tuzu ile lif çaplarında azalma belirlenmiştir. % 1,0 oranında ki NaCl tuzlu çözeltide oluşan nano liflerde tuz partikülleri görüldüğü gibi en düzgün ve ince lifler (293 nm) % 0,3 NaCl tuzlu % 12 PVA çözeltisinde elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan bir diğer polimerlerden olan PU polimeri için farklı PU ve farklı TEAB konsantrasyonlarında olmak üzere 12 farklı çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltiler için de yine yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite özellikleri belirlenmiştir. PU ve TEAB tuzlu çözeltilerinden elde edilen sonuçlara göre PU ve TEAB tuz konsantrasyonu arttıkça çözeltilerin yüzey geriliminde az bir artış meydana gelmiştir. Bu artışın silindirli elektro lif çekimi işlemi açısından önemli olmadığı düşünülse de iğneli elektro lif çekim işleminde spre y yapısında etkili olduğu belirlenmiştir. Artan TEAB tuz konsantrasyonu ile çözelti iletkenliği belirgin bir artış göstermiştir. Tuzsuz PU çözeltilerinde ki PU konsantrasyonundaki artış çözelti iletkenliğini çok etkilememiş olsa da artan PU konsantrasyonu tuzlu çözeltilerin iletkenliğini düşürmüştür. TEAB konsantrasyonu artışı ile PU polimerinin fonksiyonel grupları daha polar hale gelmiştir. PU çözeltileri yapısına katılan TEAB tuzu ile bu etkileşimden olumlu yönde etkilenmiş hem TEAB hem de PU konsantrasyonunun artışıyla çözelti viskozite değerleri yükselmiştir

Tezin ikinci bölümünde ise PU polimerinden hazırlanan çözeltilere ait bulgular verilmiştir. Öncelikle iğneli elektro lif çekimi esnasında PU çözeltilerinin spreynin analizinin yapılabilmesi için kameralı kayıtların yanı sıra spreynin üzerinden geçen akım ölçüm yapılmıştır. Artan PU ve TEAB tuz konsantrasyonu ile iğneli elektro lif çekimi esnasında elde edilen spreynin üzerinden geçen ortalama elektrik akım değerinde sürekli artış meydana gelmiştir. Voltaj arttıkça spreynin üzerinden geçen elektrik akım değeri de artmıştır. Farklı spreynin yapılarının lif çekim sonrası elde edilen SEM görüntüleri ile farklı lif morfolojisine sahip oldukları ortaya çıkmıştır. Düzgün ve sabit olmayan spreynin yapısında nano liflerin yapısında boncuk sayısının çok olduğu, sabit spreynin yapısında ise boncuk sayısının azaldığı görülmüştür. Çözelti damlaması meydana getiren spreynin yapısında düşük üretimin gerçekleştirdiğini lif yapılarının boncuksuz olduğu, dalgalı spreynin yapısında ise nano liflerin kalın olduğu belirlenmiştir. Elektrik akım grafikleri ve kamera görüntülerinden, üretilen lif morfolojilerinin SEM görüntüleri olmadan da tahmin edilebildiği sonucuna varılmıştır.

PU çözeltileri kullanılarak iğneli elektro lif çekim yönteminde üretilen nano liflerin lif çapları incelendiğinde, PU konsantrasyonu arttıkça lif çaplarında da artış meydana geldiği belirlenmiştir. Artan voltaj değeri, lif çaplarının daha kalın olmasına sebep olmuştur. Ayrıca PU çözeltileri ile iğneli lif çekim yönteminde PU konsantrasyonu arttıkça azalan çözelti iletkenliği ile spreynin üzerinden geçen elektrik akım miktarının artması, elektrik akım değerinin ikinci dereceden elde edilen liflerin miktarına ve kalınlığına bağlı olduğu düşünülmektedir.

İğneli elektro lif çekim işleminden sonra aynı PU çözeltilerinden silindirik elektro lif çekim yöntemi ile silindir üzerindeki Taylor koni yapılarını ve spreynin ömrü analizi için kamera kayıtları yanı sıra elektrik akım ölçüm deneyleri yapılmıştır. Silindirik elektro lif çekim yönteminde spreylere üzerinden geçen akım ölçümü ile ilgili çalışmalar literatürde bulunmamakla birlikte ilk kez bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir.

PU çözeltilerinin silindir üzerinde oluşturdukları çözelti film katmanının kalınlıkları belirlenmiştir. PU konsantrasyonu arttıkça silindir üzerindeki çözelti kalınlığı da artış

göstermiştir. TEAB tuz konsantrasyonu ise silindir üzerindeki çözelti kalınlığında her hangi bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

PU çözeltileri ile silindirli lif çekim işlemi sırasında alınan kameralı kayıtlarla elde edilen görüntülerin sonuçlarına göre PU ve TEAB tuz konsantrasyonu arttıkça Taylor koni sayıları da artmıştır. PU konsantrasyonu arttıkça Taylor koni çaplarında da artış olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan artan TEAB tuz konsantrasyonu ile silindir üzerindeki Taylor koni çaplarında azalma olmuştur. PU çözelti viskozitesinin Taylor koni çapı ile ilişkisinin istatistiksel olarak önemli seviyede olduğu belirlenmiştir. PU çözeltileri ile lif çekimi esnasında PU konsantrasyonu ile artan Taylor koni sayısı silindir üzerinde bulunan sprej ömrünü kısalttığı ortaya çıkmıştır. Bu sebeple artan PU ve TEAB tuz konsantrasyonu ile sprej ömrünün kısaldığı belirlenmiştir. Gerek PU gerekse PVA çözeltilerinden nano lif üretimi esnasında silindir üzerinde oluşan Taylor konilerin sayıları arttıkça sprej ömrünün azaldığı tespit edilmiştir. Taylor koni sayısı ile sprej ömrü arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak önemli seviyede olduğu belirlenmiştir. Elektrik akım grafiklerinde ise düşük PU ve TEAB tuz konsantrasyonuna sahip olan çözeltilerin akım grafiklerinin daha düzgün ve ani Taylor koni sayısı değişimi olmaksızın piksiz yapılar oluşturduğu fakat az Taylor koni sayısı ve düşük iletkenlik özelliği nedeniyle düşük akım (μA) değerlerinde olduğu gözlenmiştir. PU ve TEAB tuz konsantrasyonu arttıkça akımın arttığı ve elektrik akım grafiklerindeki ani Taylor koni sayısı değişiminin grafiklerde yüksek dalgalanmalara sebep olduğu düşünülmektedir. Ortalama elektrik akım değerinin PU ve TEAB tuz konsantrasyonu ile arttığı ve her bir sprejin taşıdığı elektrik akım değerinin de arttığı bulunmuştur.

PU çözeltilerinden elde edilen üretim parametreleri analiz edildiğinde PU ve TEAB konsantrasyonu arttıkça lif çekim performansının arttığı tespit edilmiştir. PU ve TEAB konsantrasyonu arttıkça, her bir Taylor koniye ait lif çekim performansının da arttığı gözlenmiştir.

PU çözeltilerinden silindirli elektro lif çekim yöntemi kullanılarak üretilen nano lif esaslı yüzeylerin SEM'den elde edilen görüntüleri analiz edildiğinde, % 15 PU çözeltilerinden daha ince lifler elde edilirken, %17,5 PU çözeltilerinde lif oluşmayan alan yüzdesi daha düşük çıkmıştır. Genel olarak PU ve TEAB konsantrasyonu

arttıkça lif çaplarının da arttığı görülmüştür. % 20 PU çözeltilerinden elde edilen nano yüzeylerin özellikle % 0,8 ve % 1,27 TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen lif çaplarının mikronmetre seviyesi üstüne çıktığı gözlenmiştir.

Silindirli elektro lif çekim yönteminde kullanılan PU ve PVA polimer çözeltilerinden birbirine paralel ve destekler nitelikte bulgular elde edilmiştir.

Sprey ömrü ile doğru orantılı olarak azalıp artan silindir üzerindeki çözelti kalınlığı birçok cevapla birlikte soruyu da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle ileriki çalışmalarda silindir üzerindeki çözelti film katmanı kalınlığının sprej ömrüne etkisi üzerinde çalışılması hedeflenmiştir. Ayrıca yapılan istatistiksel testler silindir üzerindeki çözelti kalınlığının sprej ömrüne etkisinin önemli seviyede olduğunu göstermiştir.

Ayrıca bu çalışmanın iğneli ve iğnesiz elektro lif çekim yöntemleriyle üretilen nano liflerin analizinde ve özellikle silindirli elektro lif çekim yönteminin mekanizmasını anlamada ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Andrady, A. L., 2008. Science and technology of polymer nanofibers. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, ISBN 978-0-471-79059-4, 401, Canada.
- Angammana, J. C., Jayaram, S. H., 2011. Analysis of the effects of solution conductivity on electrospinning process and fiber morphology. IEEE Transactions on Industry Applications, 47, 3, 1109-1118.
- Anonim.2012. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Akmazl%C4%B1k>. Erişim Tarihi: 05.04.2012.
- Anonymous. 2012. <http://www.hitachi.ae/products/consumer/featureshighlight/washingmachines.html>. Erişim Tarihi: 22.01.2012.
- Aussawasathien, D., Dong, J. H., Dai, L., 2005. Electrospun polymer nanofiber sensors. Synthetic Metals, 154, (1-3), 37-40.
- Baker, S. C., Atkin, N., Gunning, P. A., Granville, N., Wilson, K., Wilson, D., Southgate, J., 2006. Characterisation of electrospun polystyrene scaffolds for three-dimensional in vitro biological studies. Biomaterials, 27(16), 3136-3146.
- Baumgarten, P. K., 1971. Electrostatic spinning of acrylic microfibers. Journal of Colloid and Interface Science, 36(1), 71-79.
- Berkland, C., Pack, D. W., Kim, K. K., 2004. Controlling surface nano-structure using flow-limited field-injection electrostatic spraying (FFESS) of poly(D,Llactide- co-glycolide). Biomaterials, 25(25), 5649-5658.
- Bhat, G., Uppal, R., Eash, C., 2009. Structure and properties of meltblown nanofiber webs. The Fiber Society, Fall meeting, Gergia USA, 69-70.
- Bhattacharjee, P. K., Schneider, T. M., Brenner, M. P., McKinley, G. H., Rutledge, G. C., 2010. On the measured current in electrospinning. Journal of Applied Physics, 107, 044306, 1-5.
- Bocanegra, R., Gala'n, D., Ma'rquez, M., Loscertales, I., Barrero, A., 2005. Multiple electrosprays emitted from an array of holes. Journal of Aerosol Science, 36, 1387-1399.
- Bognitzki, M., Czado, W., Frese, T., 2001. Nanostructured fibers via electrospinning. Advanced Materials, 13, 70-72.
- Bowman, J., Taylor, M., Sharma, V., Lynch, A., Chadha, S., 2003. Multispinneret methodologies for high throughput electrospun nanofiber. Warrendale, PA, Materials Research Society, 15-20.

- Buchko, C. J., Chen, L. C., Shen, Y. Martin, D. C., 1999. Processing and microstructural characterization of porous biocompatible protein polymer thin films. *Polymer*, 40(26), 7397–7407.
- Bunyan, N. N., Chen, J., Chen, I., Farboodmanesh, S., 2006. Electrostatic effects of electrospun fiber deposition and alignment. In: *Polymeric Nanofibers*, ACS Symposium Series 918. Edited by Reneker, D. H., and Fong, H., Oxford University Press (USA), 106.
- Buttafoco, L., Kolkman, N. G., Engbers-Buijtenhuijs, P., Poot, A. A., Dijkstra, P. J., Vermes, I., Feijen, J., 2006. Electrospinning of collagen and elastin for tissue engineering applications. *Biomaterials*, 27(5), 724–734.
- Campanella, O. H., Cerro, R. L., 1984. Viscous flow on the outside of a horizontal rotating cylinder: the roll coating regime with a single fluid. *Chemical Engineering Science*, 39, 10 1443-1449.
- Casper, C. L., Stephens, J. S., Tassi, N. G., Chase, D. B., Rabolt, J. F., 2004. Controlling surface morphology of electrospun polystyrene fibers: effect of humidity and molecular weight in the electrospinning process. *Macromolecules*, 37(2), 573–578.
- Cengiz, F., Jirsak, O., 2009. The effect of salt on the roller electrospinning of polyurethane nanofibers. *Fibers and Polymers*; 10, 177–184.
- Cengiz, F., Tuan, D. A, Jirsak, O., 2010. Influence of solution properties on the roller electrospinning of poly (vinyl alcohol). *Polymer Engineering & Science*, 50, 936–943.
- Cengiz-Çallıoğlu, F., 2011. Silindirli elektro lif çekim yöntemi ile poliüretan nanolif üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, 203s, Isparta.
- Chronakis, I. S., 2005. Novel nanocomposites and nanoceramics based on polymer nanofibers using electrospinning process—a review. *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2–3), 283–293.
- Chua, K. N., Lim, W. S., Zhang, P. C., Lu, H. F., Wen, J., Ramakrishna, S., Leong, K. W., Mao, H. Q., 2005. Stable immobilization of rat hepatocyte spheroids on galactosylated nanofiber scaffold. *Biomaterials*, 26(15), 2537–2547.
- Dalton, P. D., Klee, D., Moller, M., 2005. Electrospinning with dual collection rings. *Polymer*, 46(3), 611–614.
- Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J., Harris, D., Tan, N. C. B., 2001. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer* 42(1), 261–272.

- Demir, M. M., Yilgor, I., Yilgor, E., Erman, B., 2002. Electrospinning of polyurethane fibers. *Polymer*, 43(11), 3303–3309.
- Demir, A., Oruç, F., 2004. Polimer esaslı nano liflerin üretimi. *Tekstil Araştırma Dergisi*, 2, 28-30.
- Dersch, R., Liu, T. Q., Schaper, A. K., Greiner, A., Wendorff, J. H., 2003. Electrospun nanofibers: internal structure and intrinsic orientation. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 41(4), 545–553.
- Dersch, R., Steinhart, M., Boudriot, U., Greiner, A., Wendorff, J. H., 2005. Nanoprocessing of polymers: applications in medicine, sensors, catalysis, photonics. *Polymers for Advanced Technologies*, 16(2–3), 276–282.
- Ding, B., Kimura, E., Sato, T., Fujita, S., Shiratori, S., 2004. Fabrication of blend biodegradable nanofibrous nonwoven mats via multi-jet electrospinning. *Polymer*, 45, 1895–1902.
- Ding, B., Yamazaki, M., Shiratori, S., 2005. Electrospun fibrous polyacrylic acid membrane-based gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(1), 477–483.
- Doshi, J., Reneker, D. H., 1995. Electrospinning process and applications of electrospun fibers, *Journal of Electrostatics*, 35, 151-160.
- Duan, B., Dong, C., Yuan, X., Yao, K., 2004. Electrospinning of chitosan solutions in acetic acid with poly (ethylene oxide). *Journal of Biomaterial and Science*, 15i, 797–811.
- Dutton, K., 2008. Overview and analysis of the meltblown process and parameters. *Journal of Textile & Apparel, Technology Manage*, 6, 87-95.
- Duyar, N., Yalçinkaya, B., Yener, F., 2011. Preperation of electrospun PVB/CNT composite fibers, *Strutex Conference*, Technical University of Liberec, 265-269.
- Fallahi, D., Rafizadeh, M., Mohammadi, N., Vahidi, B., 2008 Effect of applied voltage on jet electric current and flow rate in electrospinning of polyacrylonitrile solutions, *Society of Chemical Industry*, 57, 1363-1368.
- Fallahi, D., Rafizadeh, M., Mohammadi, N., Vahidi, B., 2009. Effects of feed rate and solution conductivity on jet current and fiber diameter in electrospinning of polyacrylonitrile solutions. *E-Polymers*, 104, 1618-7229.
- Fallahi, D., Rafizadeh, M., Mohammadi, N., Vahidi, B., 2010. Effect of applied voltage on surface and volume charge density of the jet in electrospinning of polyacrylonitrile solutions, *Society of Plastics Engineers*, 10, 1002, 21677.

- Fedorova, N., Pourdeyhimi, B., 2007. High strength nylon micro and nanofiber based nonwovens via spunbonding. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 3434–3442.
- Fong, H., Chun, I., Reneker, D. H., 1999. Beaded nanofibers formed during electrospinning. *Polymer*, 40(16), 4585–4592.
- Formalas A. US Patent 1975504, 1934.
- Fridrikh, S. V., Yu, J. H., Brenner, M. P., Rutledge, G. C., 2003. Controlling the fiber diameter during electrospinning. *Physical Review Letters*, 90(14), 144502, 1-4.
- Fujihara, K., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2005. Guided bone regeneration membrane made of polycaprolactone/calcium carbonate composite nanofibers. *Biomaterials*, 26, 4139–4147.
- Gahan, R., Zguris, G., 2002. A review of the melt blown process. *IEEE*, 145–149.
- Gibson, P., Gibson, H. S., Rivin, D., 2001. Transport Properties of Porous Membranes Based on Electrospun Nanofibers Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspect, 187-188, 469-481.
- Gu, S. Y., Ren, J., 2005. Process optimization and empirical modeling for electrospun poly(D,L-lactide) fibers using response surface methodology. *Macromolecular Materials and Engineering*, 290(11), 1097–1105.
- Gussow, M., 2007. Basic Electricity. Schaum's Outline Series, ISBN 978-0-07-163528-8, 561. U.S.A.
- Hayati, I., Bailey, A. I., Tadros, T. F., 1987. Investigations into the mechanisms of electrohydrodynamic spraying of liquids: I. Effect of electric field and the environment on pendant drops and factors affecting the formation of stable jets and atomization. *Journal of Colloid Interface Science*, 117(1), 205–221.
- He, J. H., Wan, Y. Q., Yu, J. Y., 2005. Scaling law in electrospinning: relationship between electric current and solution flow rate, *Polymer*, 46, 2799.
- Hills, 2010. <http://www.hillsinc.net/brochures/Nanofibers.pdf>. Erişim Tarihi: 04.01.2012.
- Hohman, M. M., Shin, M., Rutledge, G., Brenner, P. M., 2001a. Electrospinning and electrically forced jets. I. Stability theory. *Physics of fluids*, 13, 8, 2201-2220.
- Hohman, M. M., Shin, M., Rutledge, G., Brenner, P.M., 2001b. Electrospinning and electrically forced jets. II. Stability theory. *Physics of fluids*, 13, 8, 2221-2236.

- Hongu, T., Phillips, G. O., Takigami, M., 2000. *New Millennium Fibers*. Woodhead Publishing Limited, Chapter 9, ISBN 0-8493-2598-6, 289s, England.
- Hsu, C. M., Shivkumar, S., 2004. Nano-sized beads and porous fiber constructs of poly(1-caprolactone) produced by electrospinning. *Journal of Materials Science*, 39(9), 3003–3013.
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2003. A Review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63, 2223-2253.
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Ramakrishna, S., Lim, C. T., 2004. Electrospinning and mechanical characterization of gelatin nanofibers, *Polymer*, 45, 6361-5368.
- ISI Web of Knowledge., SCI., 2010. <http://www.en.nano.ir/index.php/main/page/17>. Erişim Tarihi: 20.01.2012.
- Jalili, R., Hosseini, S. A., Morshed, M., 2005. The effects of operating parameters on the morphology of electrospun polyacrylonitrile nanofibres. *Iranian Polymer Journal*, 14(12), 1074–1081.
- Jeffries, R., 1971. *Bicomponent fibres*. Merrow, Watford, UK, Merrow Monographs.
- Jeun, J. P., Lim, Y. M., Nho, Y. C., 2005. Study on morphology of electrospun poly(caprolactone) nanofiber. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 11(4), 573–578.
- Jirsak, O., Sanetnik, F., Lukas, D., Kotek, V., Martinova, L., Chaloupek, J., 2005. WO2005-024101, Patent (Czech Republic).
- Kameoka, J., Orth, R., Yang, Y., Czaplewski, D., Mathers, R., Coates, G. W., Craighead, H. G., 2003. A scanning tip electrospinning source for deposition of oriented nanofibres. *Nanotechnology*, 14(10), 1124–1129.
- Katta, P., Alessandro, M., Ramsier, R. D., Chase, G. G., 2004. Continuous electrospinning of aligned polymer nanofibers onto a wire drum collector. *Nano Letters*, 4(11), 2215–2218.
- Khil, M. S., Cha, D. I., Kim, H. Y., Kim, I. S., Bhattarai, N., 2003. Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 67B(2), 675–679.
- Kidoaki, S., Kwon, I. K., Matsuda, T., 2005. Mesoscopic spatial designs of nano- and microfiber meshes for tissue-engineering matrix and scaffold based on newly devised multilayering and mixing electrospinning techniques. *Biomaterials*, 26(1), 37–46.

- Kidoaki, S., Kwon, K., Matsuda, T., 2006. Structural features and mechanical properties of in situ-bonded meshes of segmented polyurethane electrospun from mixed solvents. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 76B(1), 219–229.
- Kim, S. J., Lee, C. K., Kim, S. I., 2004. Effect of ionic salts on the processing of poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid) nanofibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 96, 1388–1393
- Kim, G. H., Cho, Y. S., Kim, W. D., 2006. Stability analysis for multi-jets electrospinning process modified with a cylindrical electrode. *European Polymer Journal*, 42, 2031–2038.
- Koski, A., Yim, K., Shivkumar, S., 2004. Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning. *Material Letters*, 58, 493–497.
- Larrondo, L., St. John, M. R., 1981a. Electrostatic fiber spinning from polymer melts. I. Experimental observations of fiber formation and properties. *Journal of Polymer Science: Polymer Physics*, 19(6), 909–920.
- Larrondo, L., St. John, M. R., 1981b. Electrostatic fiber spinning from polymer melts. II. Examination of the flow field in an electrically driven jet. *Journal of Polymer Science, Polymer Physics*, 19(6), 921–932.
- Larsen, G., Spretz, R., Ortiz, R. V., 2004. Use of coaxial gas jackets to stabilize Taylor cones of volatile solutions and to induce particle-to-fiber transitions. *Advanced Materials* 16(2), 166–169.
- Lee, J. S., Choi, K. H., Ghim, H. D., Kim, S. S., Chun, D. H., Kim, H. Y., Lyoo, W. S., 2004. Role of molecular weight of atactic poly(vinyl alcohol) (PVA) in the structure and properties of PVA nanofabric prepared by electrospinning, *Journal of Applied Polymer Science*, 93, 1638–1646.
- Lee, C. K., Kim, S. J., Kim, S. I., 2005. The influence of added ionic salt on nanofiber uniformity for electrospinning of electrolyte polymer, *Synthetic Metals*, 154, 209.
- Lee, J. R., Jee, S. Y., Kim, H. J., Hong, Y. T., 2006. KR Patent WO2006123879.
- Lee, H., Yoon, H., Kim, G., 2009. Highly oriented electrospun polycaprolactone micro/nanofibers prepared by a field-controllable electrode and rotating collector, *Applied Physics A*, 97, 559.
- Li, W.-J., K. G. Danielson, P. G. Alexander, and R. S. Tuan (2003). Biological response of chondrocytes cultured in three-dimensional nanofibrous poly(1-caprolactone) scaffolds. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* 67A(4), 1105–1114.

- Li, Y., Yu, T., Pui, T., Chen, P., Zheng, L., Liao, K., 2011. Fabrication and characterization of recyclable carbon nanotube/polyvinyl butyral composite fiber, *Composite Science and Technology*, 71, 1665-1670.
- Lin, T., Wang, H., Wang, X., 2004. The charge effect of cationic surfactants on the elimination of fibre beads in the electrospinning of polystyrene. *Nanotechnology*, 15, 1375.
- Liu, B. Y. H., Rubow, K. L., 1986. Air filtration by fibrous media. In: *Fluid Filtration: Gas, Volume I*. Edited by R. R. Raber. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Liu, H. Q., Kameoka, J., Czaplewski, D. A., Craighead, H. G., 2004. Polymeric nanowire chemical sensor. *Nano Letters*, 4(4), 671-675.
- Liu, Y., He, J., 2007. Bubble electrospinning for mass production of nanofibers. *Int J Nonlinear Sci Numerical Simulation*, 8, 393-396.
- Lukas. D., Sarkar, A., Pokorny, P., 2008. Self organisation of jets in electrospinning from free liquid surface a generalized approach. *Journal of Applied Physics*, 103, 309-316.
- Macky, W. A., 1931. Some investigations on the deformation and breaking of water drops in strong electric fields. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, (1905-1934) 133(822), 565-587.
- McCulloch, J. G., 1999. The history of the development of meltblowing technology. *International Nonwoven Journal*, 8, 139-149.
- McKee, M., Wilkes, G., Colby, R., Long, T., 2004. Correlations of solution rheology with electrospun fiber formation of linear and branched polyesters. *Macromolecules*, 37, 1760-1767.
- Melcher, J. R., 1972. Electrohydrodynamics. In: *proceedings of the 13th international congress of theoretical and applied mechanics, Moscow, USSR, August 21-26, 1972*. Edited by E. Becker and G. K. Mikhailov. Springer, 1973, 240-263.
- Mitchell, S. B., Sanders, J. E., 2006. A unique device for controlled electrospinning. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 78, 110-120.
- Munir, M. M., Suryamas, A. B., Iskandar, F., Okuyama, K., 2009. Scaling law on particle-to-fiber formation during electrospinning, *Polymer*, 50, 4935-4943.
- Murugan, R., Ramakrishna, S., 2006. Nano-featured scaffolds for tissue engineering: a review of spinning methodologies. *Tissue Engineering*, 12(3), 435-447.

- NanoStatics, 2009. Providing high throughput electrohydrodynamic spinning (EHS) systems and implementing them in the commercial production of nanomaterials.
- Norton C.L. U.S Patent, 1936
- Owens et al. (January 1970) U.S. Patent 3, 490, 115.
- Park, H. S., Park, Y. O., 2005. Filtration properties of electrospun ultrafine fiber webs. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 22(1), 165–172.
- Paruchuri, S., Brenner, M., 2007. Splitting of a liquid jet. *Physical Review Letters*, 98, 134502, 47-55.
- Pokorny, P., Mikes, P., Lukas, David., 2010. Measurement of Electric in Liquid Jet. 2nd Nanocon International Conference, Proceeding Book, 282-286.
- Qin, X. H., Wang, S.Y., 2006. Filtration properties of electrospinning nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(2), 1285–1290.
- Rao, C. N. R., Cheetham, A. K., 2001. Science and technology of nanomaterials: current status and future prospects. *Journal of Materials Chemistry*, 11, 2887-2894.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W., Lim, T., Ma, Z., 2005. *An Introduction to Electrospinning and Nanofibres*. World Scientific Publishing Co., 382s. Singapore.
- Ramaseshan, R., Sundarrajan, S., Liu, Y. J., Barhate, R. S., Lala, N. L., Ramakrishna S., 2006. Functionalized polymer nanofiber membranes for protection from chemical warfare stimulants. *Nanotechnology*, 17(2), 2947–2953.
- Regele, J., Papac, M., Rickard, M., Dunn, R. D., 2002. Effects of capillary spacing on EHD spraying from an array of cone jets. *Journal of Aerosol Science*, 33, 1471–1479.
- Rutledge, G. C., Fridrikh, S. V., 2007. Formation of Fibers by electrospinning. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59, 1384-1391.
- Salem, D. R., 2001. *Structure Formation in Polymeric Fibres*. Chapter, 6, 225, ISBN, 1-56990-306-9.
- Samatham, R., Kim, K.J., 2006. Electric Current as a Control Variable in the Electrospinning Process. *Polymer Engineering and Science*, 10, 1002, 954-959.
- Shambaugh R., 1988. A macroscopic view of the melt-blowing process for producing microfibers. *Ind Eng Chem Res*, 27, 2363–2372.

- Shawon, J., Sung, C. M., 2004. Electrospinning of polycarbonate nanofibers with solvent mixtures THF and DMF. *Journal of Materials Science*, 39(14), 4605–4613.
- Shin, Y. M., Hohman, M. M., Brenner, M. P., Rutledge, G. C., 2001a. Electrospinning: a whipping fluid jet generates submicron polymer fibers. *Applied Physics Letters* 78(8), 1149–1151.
- Shin, Y. M., Hohman, M. M., Brenner, M. P., Rutledge, G. C., 2001b. Experimental characterization of electrospinning: the electrically forced jet and instabilities. *Polymer* 42(25), 9955–9967.
- Shin, C., Chase, G. G., Reneker, D. H., 2005. Recycled expanded polystyrene nanofibers applied in filter media. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 262(1–3), 211–215.
- Shukla, S., Brinley, E., Cho, H. J., Seal, S., 2005. Electrospinning of hydroxypropyl cellulose fibers and their application in synthesis of nano and submicron tin oxide fibers. *Polymer*, 46(26), 12130–12145.
- Spasova, M., Manolova, N., Paneva, D., Rashkov, I., 2004. Preparation of chitosan-containing nanofibres by electrospinning of chitosan/poly(ethylene oxide) blend solutions. *e-polymers*, 056, 1-12.
- Spivak, A. F., Dzenis, Y. A., 1999. A condition of the existence of a conductive liquid meniscus in an external electric field. *Journal of Applied Mechanics*, 66(4), 1026–1028.
- Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S., Ramkumar, S. S., 2005. Electrospinning of nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(2), 557–569.
- Sukigara, S., Gandhi, M., Ayutsede, J., Micklus, M., Ko, F., 2003. Regeneration of *Bombyx mori* silk by electrospinning. Part 1. Processing parameters and geometric properties. *Polymer*, 44(19), 5721–5727.
- Supaphol, P., Mit-uppatham C., Nithitanakul, M., 2005a. Ultrafine electrospun polyamide-6 fibers: effect of emitting electrode polarity on morphology and average fiber diameter. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 43(24), 3699–3712.
- Supaphol, P., Mit-uppatham C., Nithitanakul, M., 2005b. Ultrafine electrospun polyamide-6 fibers: effects of solvent system and emitting electrode polarity on morphology and average fiber diameter. *Macromolecular Materials and Engineering*, 290(9), 933–942.

- Tan, S. H., Inai, R., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2005. Systematic parameter study for ultra-fine fiber fabrication via electrospinning process. *Polymer*, 46(16), 6128–6134.
- Taylor G. I., 1964. Disintegration of water drops in an electric field. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 280, 383-397.
- Taylor, G. I., 1969. Electrically driven jets.” *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 313(1515), 453–475.
- Teo, W. E., Ramakrishna, S., 2006. A review on electrospinning design and nanofibre assemblies. *Nanotechnology*, 17(14), 89–104.
- Teo, W. E., Gopal, R., Ramaseshan, R., Fujihara, K., Ramakrishna, S., 2007. A dynamic liquid support system for continuous electrospun yarn fabrication. *Polymer*, 48, 3400–3405.
- Theron, A. S., Zussman, E., Yarin, A. L., 2004. Experimental investigation of the governing parameters in the electrospinning of polymer solutions, *Polymer*, 45, 2017-2030.
- Tomaszewski, W., Szadkowski, M., 2005. Investigation of electrospinning with the use of a multi jet electrospinning head. *Fibres Textiles Eastern Europe*, 13, 22-26.
- Tripatanasuwan, S., Reneker, D. H., 2009. Corona Discharge from Electrospinning jet of Poly(ethylene oxide) Solution. *Polymer*, 50, 1835-1837.
- Tuan, D. A., 2010. The role of rheological properties of polymer solutions in needleless electrostatic spinning. *Liberec Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi*, 114s, Liberec/Çek cumhuriyeti.
- U.S. patent 6,110,590, Ağustos 2000
- Vaseashta, A., 2009. Controlled formation of multiple Taylor cones in electrospinning process. *Applied Physic Letter*, 90, 093115-093115-3.
- Venugopal, J., Ramakrishna, S., 2005. Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 125(3), 147–157.
- Wang, X. F., Chen, X. M., Yoon, K. H., Fang, D. F., Hsiao, B. S., Chu, B., 2005. High flux filtration medium based on nanofibrous substrate with hydrophilic nanocomposite coating. *Environmental Science & Technology*, 39(19), 7684–7691.

- Wannatong, L., Sirivat, A., Supaphol, P., 2004. Effects of solvents on electrospun polymeric fibers: preliminary study on polystyrene. *Polymer International*, 53(11), 1851–1859.
- Warner, S. B., Buer, A., Grimler, M., Ugbolue, S. C., Rutledge, G. C., Shin, M. Y., 1998. A fundamental investigation of the formation and properties of electrospun fibers. Annual Report, M98-D01, National Textile Center.
- Yalçinkaya, B., Çallıoğlu, C. F., 2011. The effect of supporting material type on the nano fiber morphology Nanocon 3rd International Conference, Proceedings Book, Brno Czech Republic, 29-35.
- Yalçinkaya, B., Çallıoğlu, C. F., 2011. The roller electrospinning of poly(vinil alcohol) nanofibers, 3rd Edition of the International Conference on Intellegent Textiles and Mass Customisation, Esith Casablanca and Ensait, Book of Abstract, 109-114.
- Yamashita, Y., Ko, F., Tanaka, A., Miyake, H., 2007. Characteristics of elastomeric nanofiber membranes produced by electrospinning. *Journal of Textile Engineering*, 53, 137–142.
- Yang, Y., Jia, Z., Li, Q., 2010. A shield ring enhanced equilateral hexagon distributed multi-needle electrospinning spinneret. *IEEE Trans Dielectrics Electrical Insulation*, 17, 1592–1601.
- Yarin, A., Zussman, E., 2004. Upward needleless electrospinning of multiple nanofibers. *Polymer*, 45, 2977–2980.
- Yener, F., 2010. Klasik ve İğnesiz Elektrosinning Yöntemleriyle Elde Edilen Nano Liflerin Kıyaslanması ve Bu Yöntemlerdeki Sistem Parametrelerin Lif Üzerindeki Etkileri. Sütçü İmam Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 120s, Kahramanmaraş.
- Yoon, K. H., Kim, K. S., Wang, X. F., Fang, D. F., Hsiao, B. S., Chu, B., 2006. High flux ultrafiltration membranes based on electrospun nanofibrous PAN scaffolds and chitosan coating. *Polymer*, 47(7), 2434–2441.
- Yuan, X. Y., Zhang, Y. Y., Dong, C. H., Sheng, J., 2004. Morphology of ultrafine polysulfone fibers prepared by electrospinning. *Polymer International*, 53(11), 1704–1710.
- Zhang, Y. Z., Lim, C. T., Ramakrishna, S., Huang, Z.M., 2005a. Recent development of polymer nanofibers for biomedical and biotechnological applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16(10), 933–946.
- Zhang, Y. Z., Ouyang, H. W., Lim, C. T., Ramakrishna, S., Huang, Z.M., 2005b. Electrospinning of gelatine fibers and gelatin/PCL composite fibrous scaffolds. *Journal of Biomedical Materials Research*, 72B(1), 156–165.

Zong, X. H., Bien, H., Chung, C.Y., Yin, L. H., Fang, D. F., Hsiao, B. S., Chu, B., Entcheva, E., 2005. Electrospun fine-textured scaffolds for heart tissue constructs. *Biomaterials*, 26(26), 5330–5338.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Baturalp YALÇINKAYA

Doğum Yeri ve Yılı : Osmaniye 11.01.1988

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ayşe Melahat Erkin Anadolu Lisesi 2002-2006

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi 2006-2010

Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Tekstil Mühendisliği Bölümü

Yayınları (SCI ve diğer makaleleri)

- SCI, SSCI ve AHCI Tarafından Taranan Dergilerde Yayımlanan Teknik Not, Editöre Mektup, Tartışma, Vaka Takdimi ve Özet Türünden Yayınlar Dışındaki Makale

1. Yener, F., **Yalçinkaya, B.**, Jirsak, O., 2012. “On the Measured Current in the Needle- and Needleless Electrospinning”, Journal Nanoscience&Technology (Kabul edildi)

- Hakemli Dergilerde Yayımlanan Teknik Not, Editöre Mektup, Tartışma, Vaka Takdimi ve Özet Türünden Yayınlar Dışındaki Makale

1. Yener, F., Jirsak, O., **Yalçinkaya, B.**, 2011. “Materyal Parametrelerinin Elektro Lif Çekim Yöntemiyle Oluşturulan Polivinil Butiral Nano Lifleri Üzerindeki Etkisi”, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, , Cilt:5 Sayı: 2 Sayfa: 26-34.

- Uluslararası Toplantıda Sunularak Tam Metin Olarak Yayımlanan Bildiri

1. **Yalçınkaya, B.**, Cengiz CALLIOGLU, F., “The Effect of Supporting Material Type on the Nano Fiber Morphology”, NanoCon, Czech Republic, 2011.
2. **Yalçınkaya, B.**, Cengiz CALLIOGLU, F, “The Roller Electrospinning of Poly(vinyl alcohol) Nanofibers”, ITMC-3rd Edition of the International Conference on Intelligent Textiles&Mass Customisation, Casablanca-Morocco, 2011.
3. **Yalçınkaya, B.**, Yener, F., Jirsak, O., Cengiz Çallıoğlu, F., 'Influence of NaCl Concentration on the Taylor Cone Number and Spinning Performance', Strutex Liberec-Czech Republic, 2011.
4. **Yalçınkaya, B.**, Jirsak, O., Cengiz Çallıoğlu, F., Yener, F., “The Effect Of Concentration On Spinning Performance Using Roller Electrospinning”, Strutex, Liberec-Czech Republic, 2011.
5. Duyar, N., **Yalçınkaya, B.**, Yener, F., “Preparation of Electrospunfibers PVB/CNT Composite Fibers”, Strutex, Liberec-Czech Republic, 2011.
6. Yener, F., Jirsak, O., **Yalçınkaya, B.**, “The Determination Of Anionic And Non-Ionic Surfactant Effect On Electrospun Nanofibers”, Strutex, Liberec-Czech Republic, 2011.
7. Sevgisunar, H, G., Yener, F., Jirsak, O., **Yalçınkaya, B.**, “Comparision Of Needle And Rod Electrospinning System”, Strutex, Liberec-Czech Republic, 2011.

- Uluslararası Toplantıda Sunularak Özet Metin Olarak Yayımlanan Bildiri

1. **Yalçınkaya, B.**, Cengiz CALLIOGLU, F., “Fabrication of Electrospun PVB/Epoxy/MWCNT Composite Nanofibers”, Fiber Society 2012, Empa/Switzerland.
2. Yener, F., Jirsak, O., **Yalçınkaya, B.**, “Effect of Jet Electric Current on Jet Regimes in Electrospinning of Polyvinyl Butyral Solutions”, Fiber Society 2012, Empa/Switzerland.

- Ulusal Toplantıda Sunularak Özet Metin Olarak Yayımlanan Bildiri

1. **Yalçınkaya, B.**, Cengiz CALLIOGLU, F., Yener, F., Jirsak, O., “Effect of Concentration and Additive on Jet Electric Current in Electrospinnig”, 8. Nano Science and Nanotechnology Conference 2012, Ankara, Turkey.
2. Yener, F., **Yalçınkaya, B.**, Jirsak, O., Kmalı, M., “Increasing Fabric Performance of Electrospun Nano Mat”, 8. Nano Science and Nanotechnology Conference 2012, Ankara, Turkey.

- Uluslararası Sempozyum, Kongre, Kurs (Workshop) Düzenlenmesi Gibi Etkinliklerde Görev Almak

1. International Days, Mayıs 08-12, 2011, Suleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

- Ulusal Sempozyum, Kongre, Kurs (Workshop) Düzenlenmesi Gibi Etkinliklerde Görev Almak

1. UTMOK 6, Mayıs 01-03, 2009, Suleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

- Alanında bilimsel araştırma ve çalışmalar için uluslararası burs almak

1. Erasmus Öğrenci Değişimi Programı, Obuda University of Budapest, Textile Engineering Faculty, 2009-2010, Hungary.
2. Erasmus Staj Hareketliliği Projesi, Technical University of Liberec, Textile Engineering Faculty, Nonwoven Department, 2011-2012, Czech Republic.