

**ELEKTRO LİF ÇEKİM TEKNİĞİ İLE  
NANOLİFLERDEN İPLİK  
EĞİRME YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ  
Beyza BUZOL MÜLAYİM**

**Doktora Tezi  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE  
2019**

**T.C.**

**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**ELEKTRO LİF ÇEKİM TEKNİĞİ İLE NANOLİFLERDEN İPLİK  
EĞİRME YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Beyza BUZOL MÜLAYİM**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: PROF. DR. FATMA GÖKTEPE**

**TEKİRDAĞ-2019**

**Her hakkı saklıdır**

Bu tez NKÜBAP tarafından NKU.BAP.06.GA.17.109 numaralı ve TÜBİTAK tarafından 117M166 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE danışmanlığında, Beyza BUZOL MÜLAYİM tarafından hazırlanan “Elektro Lif Çekim Tekniğı ile Nanoliflerden İplik Eğirme Yönteminin Geliştirilmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Tekstil Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak oy birliğı ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Bülent ÖZİPEK

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Hafız ALİSOY

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Hale KARAKAŞ

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Rıza ATAV

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Doktora Tezi

# ELEKTRO LİF ÇEKİM TEKNİĞİ İLE NANOLİFLERDEN İPLİK EĞİRME YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

**Beyza BUZOL MÜLAYİM**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE

Elektro lif çekim yöntemi genel olarak nanolifli yüzey üretim için kullanılmakta olup, bu yöntemle ipliklerin eğrilmesi nanoliflerin iplik formunda kullanılabilmesine imkan sağlayacak yeni bir yaklaşımdır. Sunulan çalışmanın temel amacı elektro lif çekim yöntemi ile nanolif iplik eğirme sisteminin tasarımı, kurulumu ve geliştirilmesidir. Bu kapsamda kesintisiz eğirme sağlayabilen, iplik inceliğinin ve iplik bükümünün kontrol edilebildiği bir nanolif iplik eğirme sistemi başarı ile geliştirilmiştir. Çalışmada öncelikle iki adet enjektör, bir adet konik kollektör, DC güç kaynağı, iki adet dozajlama pompası ve iplik sarım sisteminden oluşan bir prototip sistem kurulmuştur. Sistemin çalışma prensibi analiz edilerek, PAN polimerinden nanolif iplik eğrilmesi sağlandıktan sonra, kollektör dönüş hızı, iplik sarım hızı, polimer besleme hızı gibi proses parametrelerinin lif ve iplik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca polimer çözeltisinin iletkenliği artırılarak lif ve iplik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmaları takiben PLC kontrollü elektro lif çekim sistemiyle nanolif iplik eğirme sistemi tasarlanarak kurulmuş, elde edilen iplikler analiz edilmiş ve sistem daha kolay ve stabil nanolif iplik eğirme yapabilecek şekilde iyileştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Elektro lif çekim yöntemi, nanolif, nanolif iplik, konik kollektör

**2019, 134 sayfa**

## **ABSTRACT**

Ph.D. Thesis

DEVELOPMENT OF YARN SPINNING METHOD BY ELECTROSPINNING TECHNIQUE

**Beyza BUZOL MÜLAYİM**

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE

Electrospinning has been generally used for production of nanofiber surfaces while nanofiber yarn spinning by this method is a new approach enabling use of nanofibers in yarn form. The main aim of this study is to design, install and develop the nanofiber yarn production system by electrospinning method. In this context, a nanofiber yarn spinning system that can control yarn fineness and twist to produce continuous yarn was successfully developed. Firstly, a prototype system consisting of two injectors, one conical collector, DC power supply, two dosing pumps and a yarn winding system was established. By producing PAN nanofiber yarn and analyzing the working principle of the system, the effect of collector rotation speed, yarn winding speed, polymer feeding speed on fiber and yarn properties were investigated. In addition, the conductivity of the polymer solution was increased and fiber and yarn properties were investigated. Following these studies, PLC controlled nanofiber yarn spinning system was designed and installed, the resulting yarns were analyzed and the system was further improved to make nanofiber yarn spinning easier and more stable.

**Keywords:** Electrospinning method, nanofiber, nanofiber yarn, conical collector

**2019, 134 pages**

## İÇİNDEKİLER

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÖZET</b> .....   | i         |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | ii        |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....  | iii       |
| <b>TABLolar DİZİNİ</b> .....  | vi        |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....  | vii       |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....   | x         |
| <b>ÖNSÖZ</b> .....  | xi        |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2. KAYNAK ÖZETİ</b> .....  | <b>6</b>  |
| 2.1. Nanoliflerden Bükümsüz Paralel Lif Demetleri Halinde İplik Üretim Yöntemleri .....           | 6         |
| 2.2. Nanoliflerden Kesintisiz Halde İplik Eğirme Yöntemleri.....                                  | 13        |
| 2.2.1. Öncü çalışmalar .....  | 14        |
| 2.2.2. Sarım sisteminin dönüşü ile ipliğe büküm verilen sistemler .....                           | 15        |
| 2.2.3. Kollektörün dönüşü ile ipliğe büküm verilen sistemler.....                                 | 18        |
| 2.2.4. Diğer sistemler.....   | 26        |
| <b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....  | <b>33</b> |
| 3.1. Polimer Çözeltisinin Hazırlanması ve Özelliklerinin Analizi .....                            | 33        |
| 3.2. Prototip Eğirme Sisteminin Kurulumu ve Nanolif İpliklerin Eğilmesi .....                     | 33        |
| 3.2.1. Prototip sistemin tasarımı ve kurulumu.....  | 33        |
| 3.2.2. Düzlemsel kollektör kullanarak temel çalışma parametrelerinin belirlenmesi .....           | 35        |
| 3.2.3. Prototip sistemde iplik eğirmeye başlama .....   | 38        |
| 3.3. Prototip Sistemde Çalışma Parametrelerinin Lif ve İplik Özelliklerine Etkisinin Analizi..... | 39        |
| 3.3.1. Kollektör dönüş hızının etkisinin analizi.....   | 39        |
| 3.3.2. Sarım hızının etkisinin analizi .....  | 40        |
| 3.3.3. Polimer besleme hızının etkisinin analizi.....   | 40        |
| 3.3.4. Çözelti iletkenliğinin etkisinin analizi .....   | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4. Prototip Sistemde Lif ve İplik Oluşumunun Analizi.....   | 42        |
| 3.4.1. Liflerin iplik içerisindeki konumlarının analizi.....  | 42        |
| 3.4.2. Yüksek hızlı kamera ile analizler .....  | 42        |
| 3.4.3. Sisteme ait elektrik alan simülasyonu .....  | 43        |
| 3.5. Lif ve İplik Özelliklerinin Karakterizasyon ve Analizinde Kullanılan Yöntem ve Cihazlar .                        | 43        |
| 3.5.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile lif ve iplik özelliklerinin analizi.....                                | 43        |
| 3.5.2. İpliklerin mukavemet ve % uzama özelliklerinin analizi .....   | 44        |
| 3.5.3. İpliklerin enine kesit analizi .....   | 44        |
| 3.5.4. İpliklerin doğrusal yoğunluklarının belirlenmesi .....   | 45        |
| 3.5.5. F-TIR ve dispersif raman spektroskopisi ile analizler.....   | 45        |
| 3.5.6. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile analizler .....  | 46        |
| 3.5.7. Sonuçların grafiksel gösterimi ve istatistiksel analizi .....  | 46        |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>  | <b>48</b> |
| 4.1. Prototip Sistemde Düzlemsel Kollektör Kullanarak Temel Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesine Ait Sonuçlar..... | 48        |
| 4.1.1. Sistemde tek enjektörden polimer beslenmesi durumunda kollektör-enjektör mesafesinin etkisi. ....              | 48        |
| 4.1.2. Sistemde tek enjektörden polimer beslenmesi durumunda voltajın etkisi .....                                    | 50        |
| 4.1.3. Çift enjektörle aynı anda çalışılması durumunda voltajın etkisi .....  | 51        |
| 4.2. Prototip Sistemde İplik Eğirmeye Başlama ve Eğirme İşleminin Stabil Hale Getirilmesi ....                        | 52        |
| 4.3. Prototip Sistemde Çalışma Parametrelerinin Lif ve İplik Özelliklerine Etkisinin Analizi.....                     | 53        |
| 4.3.1. Kollektör dönüş hızının etkisinin analizi.....   | 54        |
| 4.3.2. Sarım hızının etkisinin analizi .....  | 59        |
| 4.3.3. Polimer besleme hızının etkisinin analizi.....   | 63        |
| 4.3.4. Çözelti iletkenliğinin etkisinin analizi.....  | 68        |
| 4.4. Prototip Sistemde Lif ve İplik Oluşumunun Analizine ait Sonuçlar.....  | 71        |



|   |            |
|---|------------|
| 4.4.1. Liflerin iplik içerisindeki konumlarının analizi .....                                   | 71         |
| 4.4.2. Yüksek hızlı kamera ile analizler .....  | 73         |
| 4.4.3. Sisteme ait elektrik alan simülasyonu .....  | 75         |
| <b>5. PLC KONTROLLÜ EĞİRME SİSTEMİNİN TASARLANMASI, KURULUMU VE NANOLIF İPLİK ÜRETİMİ .....</b> | <b>77</b>  |
| 5.1. Sistemin Tasarımı .....  | 77         |
| 5.2. Sistemi Oluşturan Bileşenler .....   | 78         |
| 5.2.1. Konik kollektör.....   | 78         |
| 5.2.2. Polimer besleme sistemi ve pompalar .....  | 79         |
| 5.2.3. İplik sarım sistemi .....  | 80         |
| 5.2.4. Güç kaynağı.....   | 81         |
| 5.2.5. Kontrol paneli ve genel makine özellikleri.....  | 81         |
| 5.2.6. Polimer besleyen enjektörlerin hareket mekanizmaları.....                                | 82         |
| 5.3. Sistemde Nanolif İplik Eğirme .....  | 84         |
| 5.4. Eğirme İşleminin İyileştirilmesi .....   | 86         |
| <b>6. SONUÇ VE DAHA SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER.....</b>                                   | <b>90</b>  |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>   | <b>93</b>  |
| <b>EKLER .....</b>  | <b>96</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>   | <b>132</b> |

## TABLO DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Tablo 2.1. Nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemleri..... | 9  |
| Tablo 2.2. Öncü sistemler.....   | 15 |
| Tablo 2.3. Sarım sisteminin dönüşü ile ipliğe büküm verilen sistemler .....                  | 17 |
| Tablo 2.4. Disk kollektör kullanılan sistemler .....   | 20 |
| Tablo 2.5. Ring kollektör kullanılan sistemler .....   | 22 |
| Tablo 2.6. Huni vb. formda kollektör kullanılan yöntemler.....                               | 24 |
| Tablo 2.7. Diğer sistemler .....   | 28 |
| Tablo 3.1. Çalışma parametreleri .....   | 37 |
| Tablo 3.2. Çalışma parametreleri .....   | 38 |
| Tablo 3.3. Çalışma parametreleri .....   | 40 |
| Tablo 3.4. Çalışma parametreleri .....   | 40 |
| Tablo 3.5. Besleme hızı analizinde kullanılan çalışma parametreleri .....                    | 41 |
| Tablo 3.6. Çalışma parametreleri .....   | 42 |
| Tablo 4.1. Besleme hızının iplik eldesine etkisi.....  | 64 |
| Tablo 5.1. Çalışma parametreleri .....   | 84 |

## ŞEKİL DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1. Nanolif üretim yöntemleri .....  | 2  |
| Şekil 1.2. Taylor konisi ve elektrospinning jet .....   | 2  |
| Şekil 1.3. Elektro lif çekim yönteminin şematik gösterimi .....                                   | 2  |
| Şekil 1.4. Nanolif uygulama alanları .....  | 3  |
| Şekil 1.5. Nanometre ölçeğinde inceliğe sahip liflerden eğrilmiş ipliklere örnekler .....         | 4  |
| Şekil 2.1. Elektro lif çekimi nanoliflerden iplik üretim yöntemleri .....                         | 6  |
| Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan iletkenlik ve vizkozite ölçüm cihazları.....                      | 33 |
| Şekil 3.2. Prototip sisteme ait şematik gösterimler ve bileşenler .....                           | 34 |
| Şekil 3.3. Prototip eğirme sistemi ve temel bileşenleri .....                                     | 35 |
| Şekil 3.4. Prototip sisteme düzlemsel kollektör ilavesi ve lif toplanma alanının analizi .....    | 36 |
| Şekil 3.5. SEM analizleri için lif toplanma bölgesinden alınan numuneler .....                    | 37 |
| Şekil 3.6. Prototip sisteme kılavuz ilavesi.....  | 38 |
| Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan termohigrograf cihazı .....                                       | 39 |
| Şekil 3.8. High-speed kamera ile analizler .....  | 43 |
| Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan SEM cihazı .....  | 44 |
| Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan mukavemet test cihazı .....                                      | 44 |
| Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan mikrotom cihazı.....   | 45 |
| Şekil 3.12. Hassas terazi.....  | 45 |
| Şekil 3.13. FTIR test cihazı ve Dispersif Raman Spektroskopisi.....                               | 46 |
| Şekil 3.14. DSC test cihazı.....  | 46 |
| Şekil 4.1. Kollektör-enjektör arası mesafenin toplanma alanına etkisi .....                       | 48 |
| Şekil 4.2. Kollektör-enjektör arası mesafenin lif inceliğine etkisi .....                         | 49 |
| Şekil 4.3. Lif yüzeylerine ait SEM görüntülerine örnekler .....                                   | 50 |
| Şekil 4.4. Uygulanan voltajın lif inceliklerine etkisi .....                                      | 51 |
| Şekil 4.5. Enjektörlerin aynı anda kullanımı durumunda lif incelikleri .....                      | 52 |
| Şekil 4.6. Kılavuz ilave edilmiş prototip sistemde iplik eğirme.....                              | 53 |
| Şekil 4.7. Kılavuz ilavesi sonucu iplik ve lif incelikleri ile yüzey büküm açısında değişim ..... | 53 |
| Şekil 4.8. Üretilen nanolif iplikler .....  | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.9. Kollektör dönüş hızına bağlı olarak iplik oluşum bölgesinin konumu .....                                    | 55 |
| Şekil 4.10. İpliklere ait SEM görüntülerine örnekler .....   | 56 |
| Şekil 4.11. Kollektör dönüş hızının iplik inceliği ve lineer yoğunluğuna etkisi .....                                  | 57 |
| Şekil 4.12. Kollektör dönüş hızının lif inceliği ve yüzey büküm açısına etkisi .....                                   | 58 |
| Şekil 4.13. Kollektör dönüş hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzamasına etkisi .....                                 | 59 |
| Şekil 4.14. Sarım hızına bağlı olarak iplik oluşum bölgesinin konumu.....  | 60 |
| Şekil 4.15. Farklı sarım hızlarında elde edilen ipliklere ait SEM görüntülerine örnekler.....                          | 60 |
| Şekil 4.16. Sarım hızının iplik inceliğine ve iplik yüzey büküm açısına etkisi.....                                    | 61 |
| Şekil 4.17. Sarım hızının lif inceliğine etkisi .....  | 61 |
| Şekil 4.18. Sarım hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi .....                                      | 62 |
| Şekil 4.19. İpliklerin enine kesit görüntüleri .....   | 62 |
| Şekil 4.20. Farklı sarım hızlarında üretilen nanolif ipliklere ait DSC termogramı .....                                | 63 |
| Şekil 4.21. Polimer besleme hızının iplik inceliğine etkisi .....  | 65 |
| Şekil 4.22. Polimer besleme hızının lif inceliğine etkisi .....  | 66 |
| Şekil 4.23. Polimer besleme hızı iplik yüzey büküm açısına etkisi .....  | 66 |
| Şekil 4.24. Polimer besleme hızının iplik mukavemeti ve % k. uzama uzama değerine etkisi.....                          | 67 |
| Şekil 4.25. Polimer çözeltiye $ZnCl_2$ tuzu ilavesinin lif ve iplik özelliklerine etkileri .....                       | 69 |
| Şekil 4.26. Standart ve $ZnCl_2$ ilavesiyle elde edilen ipliklere ait SEM-EDX sonuçları.....                           | 69 |
| Şekil 4.27. Standart ve $ZnCl_2$ ilavesiyle elde edilen ipliklere ait FTIR ve Raman spektroskopisi<br>diagramları..... | 70 |
| Şekil 4.28. Standart ve $ZnCl_2$ ilavesiyle elde edilen ipliklere ait DSC termogramı.....                              | 70 |
| Şekil 4.29. $E_1(+)$ ve $E_2(-)$ enjektörlerden beslenen liflerin konumlarının analizi .....                           | 73 |
| Şekil 4.30. Pozitif ve negatif polariteye sahip enjektörlerde jet oluşumları.....                                      | 74 |
| Şekil 4.31. Sistemde kollektör üzerinde liflerin toplanmasına ait şematik gösterim .....                               | 75 |
| Şekil 4.32. Sisteme ait elektrik alan çizgileri .....  | 76 |
| Şekil 5.1. PLC kontrollü eğirme sisteminin şematik gösterimi.....  | 78 |
| Şekil 5.2. Kullanılan çelik kollektör .....  | 79 |
| Şekil 5.3. Kollektör motoru ve soğutucu fan.....   | 79 |
| Şekil 5.4. Enjektör yatakları ve pompalar .....  | 80 |
| Şekil 5.5. İplik sarım sistemi .....   | 81 |
| Şekil 5.6. Kullanılan güç kaynağı.....   | 81 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 5.7. Kontrol paneli.....   | 82 |
| Şekil 5.8. PLC kontrollü nanolif iplik eğirme makinesi.....                                    | 82 |
| Şekil 5.9. Enjektörlerin hareket kabiliyetleri.....  | 83 |
| Şekil 5.10. PLC kontrollü sistemde konik kollektörde ağ oluşumu ve eğrilen ipliğe örnek.....   | 84 |
| Şekil 5.11. Üretilen ipliklerin SEM görüntülerine örnekler .....                               | 85 |
| Şekil 5.12. Prototip ve PLC kontrollü sistemde üretilen iplik ve lif özellikleri .....         | 86 |
| Şekil 5.13. Eğrilen ipliğe ait SEM görüntüsüne örnek.....                                      | 87 |
| Şekil 5.14. $E_1(+)$ ; $E_2(+)$ olması durumunda elde edilen iplik ve lif incelikleri .....    | 87 |
| Şekil 5.15. $E_1(+)$ ; $E_2(+)$ olması durumunda iplik mukavemet ve % kopma uzama değeri ..... | 88 |
| Şekil 5.16. $E_1(+)$ ; $E_2(+)$ olması durumunda elektrik alan simülasyonu .....               | 89 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|            |  |
|------------|--|
| AC         | : Alternatif akım                                |
| BTEAC      | : Benziltriethylamonyumklorür                    |
| CA/PMMA    | : Selüloz asetat/polimetakrilat                  |
| DC         | : Doğru akım                                     |
| DIN        | : Alman Standardizasyon Enstitüsü                |
| DMF        | : Dimetilformamid                                |
| DSC        | : Diferansiyel taramalı kalorimetri              |
| FTIR       | : Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometre     |
| HFIP       | : Hekzafloroisopropanol                          |
| kV         | : Kilovolt                                       |
| LiCl       | : Lityum klorür                                  |
| $M_w$      | : Molekül ağırlığı                               |
| PA         | : Poliamid                                       |
| PAN        | : Poliakrilonitril                               |
| PAN/PMMA   | : Poliakrilonitril/polimetakrilat                |
| PCL        | : Polikaprolakton                                |
| PEO        | : Polietilenoksit                                |
| PHBV       | : Polihidroksibütirat                            |
| PLLA       | : Poli l-laktik asit                             |
| PLLA/n-TCP | : Poli l-laktikasit/n-trikalsiyum fosfat         |
| PSA        | : Polisülfonamid                                 |
| PVA        | : Polivinilalkol                                 |
| PVC        | : Polivinilklorür                                |
| PVDF       | : Poliviniliden florür                           |
| PVDF-HFP   | : Polivinilidenflorür-hekzafloropropilen         |
| PVDF-TrFe  | : Polivinilidenflorür- Trifloroetilen            |
| PVP        | : Polipirolidon                                  |
| PU         | : Poliüretan                                     |
| SEM        | : Taramalı elektron mikroskobu                   |
| SWNTs/PAN  | : Tek duvarlı karbon nanotüpler/Poliakrilonitril |
| SWNTs/PLA  | : Tek duvarlı karbon nanotüpler/Polilaktikasit   |
| $T_g$      | : Camsı geçiş sıcaklığı                          |
| $T_m$      | : Erime noktası                                  |
| TFE        | : Tetrafloroetilen                               |

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında benden desteğini ve yardımını esirgemeyen çok değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fatma Göktepe'ye teşekkürlerimi sunarım.

NKUBAP. 06.GA.17.109 No'lu proje ile desteklenen çalışmama değerli katkılarından dolayı Namık Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı'na, ayrıca TÜBİTAK 117M166 No'lu proje ile desteklenen çalışmama değerli katkılarından dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Prototip sistemin kurulumu aşamasında yardımcı olan Kırklareli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dr. Öğr. Üyesi eşim Ali Mülayim'e, ayrıca Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı Öğr. Gör. Volkan Erdemir'e, Mekatronik Programı Öğr. Gör. Eray Yılmazlar'a ve Öğr. Gör. Harun Gezici'ye, Elektronik Teknolojisi Programı Öğr. Gör. Dr. Yılmaz Güven'e, Öğr. Gör. Sıtkı Kocaoğlu'na, Bilgisayar Programı Öğr. Gör. Nadir Subaşı'na teşekkür ederim.

TÜBİTAK projesinde beraber çalıştığımız, laboratuvar çalışmalarım aşamasında her konuda desteğini esirgemeyen ve benim için bir kardeş kadar değerli olan Belin Sabit'e teşekkür ederim.

Her konuda destek olan Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Özgecan Erkan'a, Arş. Gör. Volkan Yalı'ya ve Sevgili Sibel Belendir'e teşekkür ederim.

Analizlerimin yapılması aşamasında yardımcı olan Yünsa Yünlü Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge Yönetimi ve Patent Mühendisi Duygu Ayakta'ya, Ar-Ge Uzmanı Neslihan Korkmaz'a, Ar-Ge Teknisyeni Havva Gökpınar'a; İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Fakültesi Prof. Dr. Nihal Sarier'e ve Dr. Refik Arat'a; ayrıca NKU-Merkez Laboratuvarı Öğr. Gör. Dr. Muhammet Aydın'a, Öğr. Gör. Ayşe Nur Özvardarlı'ya ve Erkan Erdem'e teşekkür ederim.

Bu süreçte daima yanımda olan ve çalışmamı tamamlayacağıma dair beni motive eden, destekleyen babam Hasan Buzol, annem Nurdan Buzol ve minik oğlum Egehan Mülayim'e teşekkür ederim.

## 1. GİRİŞ

Literatürde “nanolif” ifadesiyle çapı 1 µm’nin altında ve uzunluk/çap oranı 100:1 değerinin üzerinde olan birimler tarif edilse de son yıllarda daha spesifik olarak çapı 100 nm’nin altındaki lifler kastedilmektedir (Ali 2011, Hongu 2005). Nitekim nanolif malzemelerin üç temel özelliği, onları değişik uygulamalar için çekici kılmaktadır (Smit 2007);

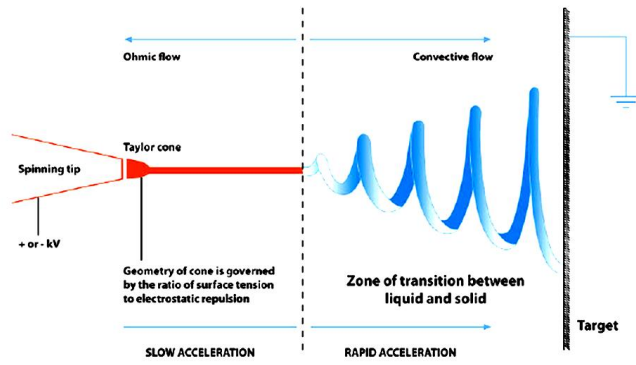
- Yüksek özgül yüzey alanı,
- Yüksek uzunluk/çap oranı,
- Doğayı taklit edebilme potansiyeli.

Söz konusu çok ince lifleri üretmek için farklı metotlar bulunmakla birlikte bunlar içerisinde elektro lif çekiminin daha yaygın kullanıldığı görülmektedir (Şekil 1.1). Özellikle çözelti ile çalışılan elektro lif çekim proseslerinde, iç kuvvetlerin etkisiyle stabil halde olan polimer, elektrik yüklendiğinde, polimer damlacığının stabilliği bozulur (Andrady 2008). Bu noktada iç kuvvetler (viskoelastik kuvvetleri, yüzey gerilimi) dış kuvvetlere (elektiriksel kuvvetler) eşit olurlar ve damlacık konik şeklini alır. Bu konik şekle Taylor konisi adı verilir (Şekil 1.2). Daha sonra elektrostatik kuvvetlerin artmasıyla, iç kuvvetler ve dış kuvvetler arasındaki denge bozulur, damlacıktan jet oluşumu gerçekleşir ve kollektöre doğru hareket başlar. Eğer iç ve dış kuvvetler arasındaki fark, jet kollektöre ulaşmaya kadar artarsa bu durum yüksek çekim hızlarında jetin incelmesini sağlar. Bu durumda jet heliks yörüngesi izleyerek hareket eder. Bu hareket yüksek çekim oranlarına çıkılmasını sağlarken aynı zamanda viskoz jetin katılması için gerekli zamanı sağlar. Bu hareket sonunda katılmış polimer jet, kollektör üzerinde bir mikrondan daha ince lifler halinde birikir (Şekil 1.3). Özet olarak, uygun özelliklere sahip polimer çözeltilisinin, elektrostatik kuvvetler altında eğrilip, katılaştırılması sonucu nano boyutta sürekli filament eldesini sağlayan elektrospreylemeye ve kuru eğirmeye dayanan hibrit prosese elektro lif çekim yöntemi adı verilir (Gümüş 2009).

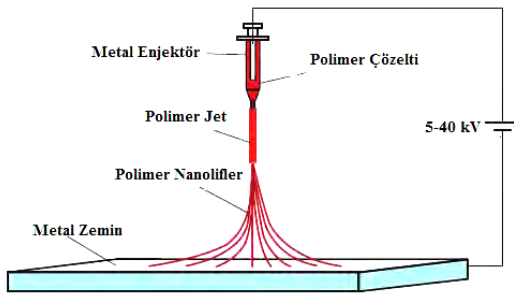




Şekil 1.1. Nanolif üretim yöntemleri (1992-2012 Yılları) (Xie 2013)



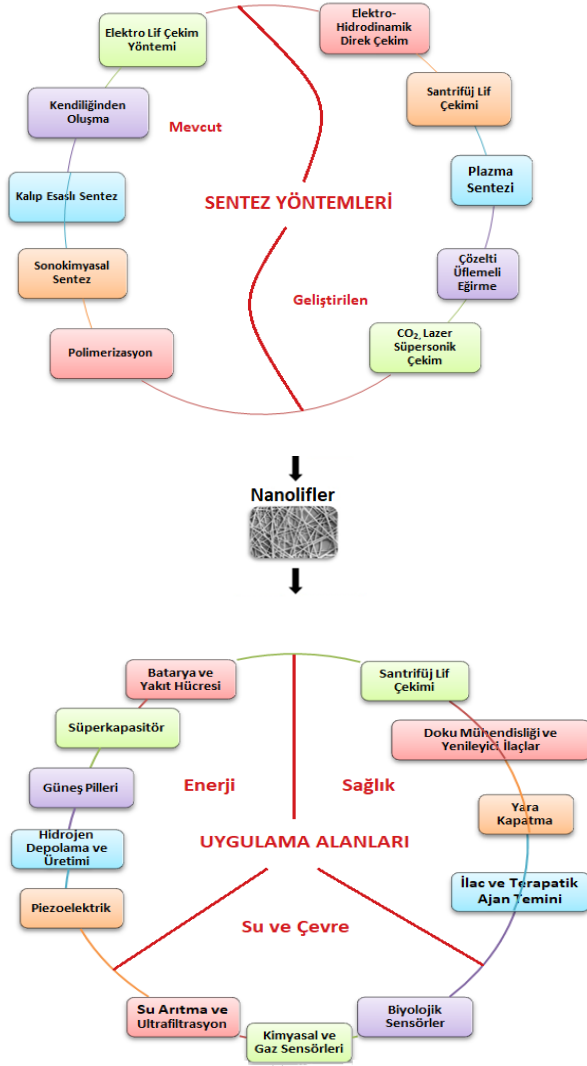
Şekil 1.2. Taylor konisi ve jet oluşumu (Gümüş 2009)



Şekil 1.3. Elektro lif çekim yönteminin şematik gösterimi (Frank 2013)

Elektro lif çekimi, yaygın olarak 50-500 nm aralığında inceliğe sahip lifler içeren bir yüzey üretim şekli olup, bu yöntemle elde edilen yüzeylerin, yüksek performanslı filtreler, hidrofik tekstiller, lif destekli kompozitler, yara sargıları için biyomedikal tekstiller, doku iskelesi, nano ve mikro elektrik gereçler, elektromanyetik koruma, fotovoltailer ve nanolif esaslı yüksek performanslı elektrotlar gibi çok farklı uygulama alanlarına sahip olduğu günümüzde artık yaygın

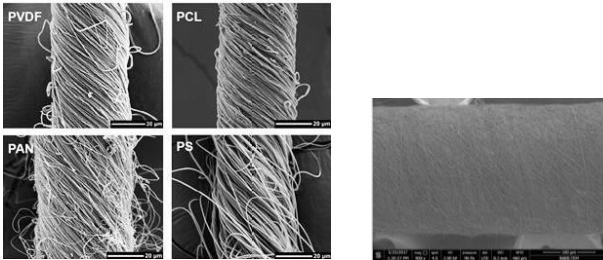
bilinen bir gerçektir (Haghi 2012, Smit 2007, Kenry 2017) (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Nanolif uygulama alanları (Kenry 2017)

Nitekim kullanılacak düzeneğin basit olması, proses parametrelerinde rahatlıkla değişiklik yapılabilmesi ve kullanılacak polimerlerde geniş seçenek imkanı gibi hususlar, bu yöntemin günümüzde yaygın bir uygulama haline gelmesini sağlamıştır. Ancak bu yöntemle liflerin genellikle ağ doku şeklinde bir yüzey halinde üretilebiliyor olması, kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Oysa elektro lif çekimiyle üretilen liflerin direkt iplik haline dönüştürülebilmesi ve kesintisiz uzunlukta iplik eğirilebilmesi durumunda, bu lifler iplik halinde kullanılabileceği gibi dokuma veya örme kumaş haline rahatlıkla dönüştürülebilecek, böylelikle çok daha geniş bir

kullanım alanı ve farklı fırsatlar sunacaktır. Söz konusu özel ipliklerin potansiyel avantajlarına örnekler şu şekilde sıralanabilir: Bünyesinde nanolifleri barındıran ipliklerin kesintisiz şekilde eğrilebilmesi başarıldığı takdirde, nanoliflerle geleneksel lifler bir arada iplik olarak kumaş içerisinde rahatlıkla kullanılabilir. Geleneksel kumaşta, ipliklerin küçük bir yüzdesi veya tamamı, binlerce nanoliften üretilmiş benzer incelikte ipliklerle yer değiştirilerek özgül yüzey alanının önemli derecede artırılmasıyla örneğin ekstrem sıcaklıklarda koruyucu nefes alabilen hafif kumaşlar, balistik ve kimyasal biyolojik koruyucu kumaşlar gibi fonksiyonel özellikler rahatlıkla elde edilebilecektir. Ayrıca nanoliflerden üretilmiş ipliklerin damar protezler için 3 boyutlu yapılar, yapay biyomimetik yara sargıları, doku iskelesi gibi uygulamalarda daha etkin hücre adhezyonu ve hücre çoğalmasına imkân sağlayacağı, mikro-aktüatör malzemeler ile birleştirilmiş nanoliflerden üretilmiş ipliklerin gelişmiş robotik uygulamalarda kullanılacağı bilinmektedir. Dahası, eğer söz konusu iplik eğirme sistemleri ticari hale getirilebilirse, nanoliflerden mamul ipliklerle oluşturulan kumaşlarla yapay deri veya yapay kaşmir efektleri elde edilebilecek, dolayısıyla süper yumuşak tutuma sahip kumaşların üretilmesi de mümkün olabilecektir (Smit 2007). Literatürde elektro lif çekimiyle nanolif içeren yüzeylerin üretimi üzerine çok yoğun miktarda araştırma bulunmakla birlikte, nanoliflerden iplik eğirmeye yönelik çalışmaların oldukça yeni ve henüz sınırlı sayıda olduğu göze çarpmaktadır. Bu doğrultuda, 2000'li yıllarla birlikte ilgi çekmeye başlamış olan elektro lif çekimiyle nanoliflerin doğrudan ipliğe dönüştürmesine ait bazı örnekler Şekil 1.5'te sunulmaktadır. Öte yandan ülkemizde elektro çekimiyle nanolif yüzeylerin üretilmesi konusunda yapılmış çok sayıda önemli çalışma bulunmakla beraber, elektro lif çekimi yöntemiyle nanoliflerin doğrudan iplik halinde eğrilebilmesi henüz çok yeni bir alandır.



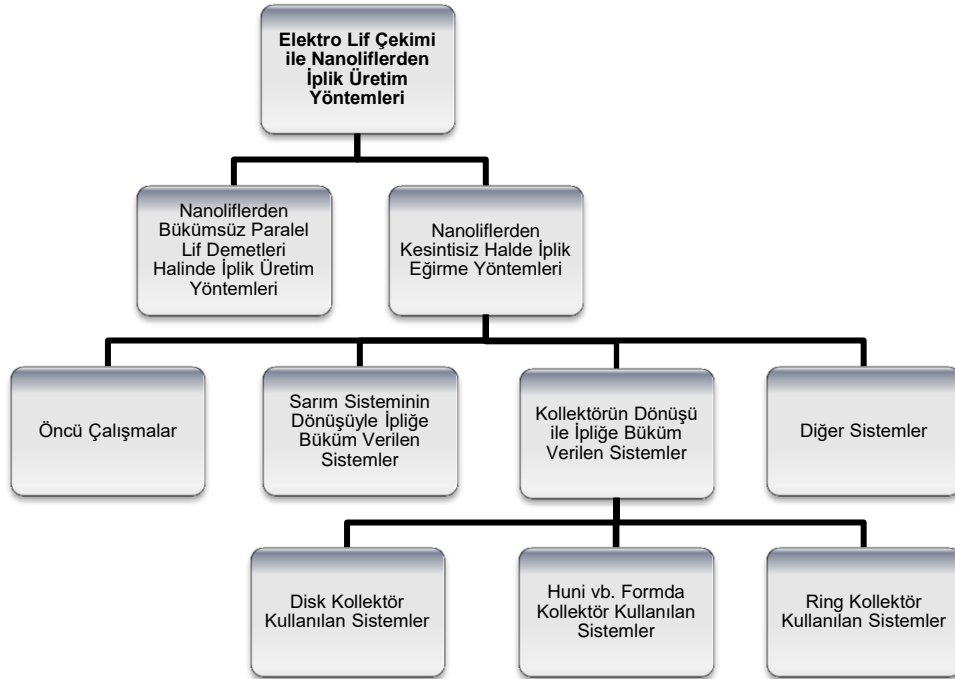
**Şekil 1.5.** Nanometre ölçeğinde inceliğe sahip liflerden eğrilmiş ipliklere örnekler (Ali 2011, Göktepe 2015a)

Bu konuya ilişkin ilk patentlerin 20. Yüzyıl başlarında dispers sıvılar kullanarak çok ince yapay liflerin elde edildiğinden bahseden Cooley (1900 ve 1902) ve Morton'a (1902) ait olduğunu görülmüştür (Cooley 1902, Morton 1902). Elektro lif çekim yöntemiyle iplik üretimine yönelik ilk özgün yaklaşım ise Formhals'a ait olup, araştırmacıya ait 1934-1944 yılları arasında alınmış 7 ayrı patentte farklı teknikler açıklanmıştır (Formhals 1934-1944). Ancak her ne kadar ilk çalışmalar 1930'lu yıllara dayansa da sunulan yöntemlerin pratikte uygulanmasının güç olduğu belirtilmiştir (Smit 2007, Lukas 2010). Öte yandan mevcut patentler yakından incelenip, son yıllara ait elektro lif çekim bilgileriyle desteklendiğinde, açıklanan tekniklerin günümüzde rahatlıkla uygulanabileceği söylenebilir. Tıpkı nanolif üretiminde olduğu gibi nanoliflerden iplik eğirmenin temelleri de Formhals'ın patentlerine dayanmaktadır. Nitekim Formhals'ın sunduğu tasarımların çoğunun, son yıllarda nanoliflerden iplik eğirmeye dönük çalışmalarda adapte edilerek yeniden hayata geçirilmeye başlandığı görülmektedir. Söz konusu 1934-1944 yıllarına ait ilk tasarımlarla son yıllarda sunulan yöntemler arasındaki benzerliklere örnek olarak; hizalanmış lif demetlerinin elde edilmesi, çoklu düze kullanılarak üretim hızının artırılması, kaynak ve toplayıcı arasında elektrik alanı regüle etmek amacıyla elektrostatik elemanların ilavesi, rotor şeklindeki bir toplayıcı ile liflerin toplanarak bükümlü ipliğe dönüştürülmesi gibi örnekler verilebilir (Smit 2007, Hongu 2005).

Sonuç olarak; elektro lif çekimiyle nanoliflerden iplik eğirilebilmesi, hayal edilebilenin ötesinde yeni uygulamalara kapı açabilecek bir potansiyele sahip olup, araştırmaya değer bir konudur. Bu doğrultuda, elektro lif çekimiyle nanoliflerden iplik üretimine yönelik mevcut patent ve araştırmaların gerek yöntem gerekse elde edilen iplik özellikleri bakımından incelenmesi, farklı yaklaşımların eleştirel bir gözle değerlendirilmesi ve uygulanması en makul tekniğin ortaya konarak; PAN polimeri kopuş olmaksızın sağlıklı bir nanolif iplik eğirme sisteminin geliştirilmesi sunulan çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır.

## 2. KAYNAK ÖZETİ

Literatürde elektro lif çekimiyle nanolif içeren yüzeylerin üretimi üzerine çok yoğun miktarda araştırma bulunmakla birlikte, nanoliflerden iplik eğirmeye yönelik çalışmaların oldukça yeni ve henüz sınırlı sayıda olduğu göze çarpmıştır. Bu konuya yönelik literatür incelendiğinde nanoliflerden kesintisiz şekilde iplik üretimine yönelik 25'in üzerinde farklı yaklaşım veya tasarımın mevcut olduğunu görülmüştür. Bunlardan 7'sini Formhals'a ait 1934-44 tarihli patentlerde yer alan yöntemler; geri kalanını ise 2001 yılı ve sonrasına ait yeni çalışmalar oluşturmaktadır. Söz konusu elektro lif çekimiyle nanoliflerden doğrudan iplik eğirme yöntemlerinin başlıca iki temel başlık altında sınıflandırılması mümkündür (Göktepe 2015b; Göktepe 2015c, Göktepe 2018) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Elektro lif çekimi nanoliflerden iplik üretim yöntemleri

### 2.1. Nanoliflerden Bükümsüz Paralel Lif Demetleri Halinde İplik Üretim Yöntemleri

Bu başlık altında gruplandırılan farklı tasarım ve yöntemler, temel çalışma prensiplerini içeren gösterimler ve elde edilen ipliklere ait özellikler Tablo 2.1'de özetlenmiştir. Paralel lif demetleri halinde iplik üretim yöntemlerine ilk örnek olarak Formhals'ın 1938 yılına ait 2. patenti

yer almaktadır (Formhals 1938a) (Tablo 2.1a). Aynı araştırmacıya ait bir başka patentte ise (Tablo 2.1b) elektrotların pozitif polaritede, düzelerin negatif polaritede yüklenmesi sağlanarak bir taşıyıcı bant üzerinde lif açı oluşturulmuştur. Yine aynı patentte bir başka sistemde (Tablo 2.1c) daha farklı olarak pozitif polariteye sahip tekerlekli bir kol mevcut olup, pozitif ve negatif yük miktarının değiştirildiği belirtilmiştir (Formhals 1938b). Tablo 2.1d ile gösterilen Formhals'a ait 4. patentte (1939) ise 2. patente ilave olarak toplayıcı ve besleme sistemi arasına hareket edebilen çatallı kalkan ya da bireysel ayarlanabilen destekler konulmuştur (Formhals 1939). Formhals'ın 1944 yılına ait ve Tablo 2.1e'de verilen son patentinde ise polimer, besleme sisteminden iki zıt yüklü iletken arasına çıktığı an hava üflemesi ile yönlendirilmiş ve sarım silindiri tarafından sarılmıştır. Tablo 2.1e'de sunulan ikinci yaklaşımda ise düzeler dairesel bir sistemin çevresinde sıralanmıştır. Üçüncü yaklaşımda ise düzelerden akan polimerin, bir hava-jeti ile toplayıcıya yönlendirildiği görülmüştür (Formhals 1944).

Yukarda bahsedilen 1940'lı yıllara ait patentlerin ardından paralel lif demetleri halinde iplik üretimine yönelik çok daha yeni sayılabilecek bir alışma Pan ve ark. (2006) tarafından sunulmuş olup, burada eşlenik lif çekim düzeneği ile paralel lif demetleri elde edilmiştir (Tablo 2.1f). Li ve ark. (2007) tarafından sunulan başka bir çalışmada ise, konjuge elektro lif çekim yöntemi ile kompozit PLLA/n-TCP iplikler üretilmiştir (Tablo 2.1g) (Li 2007).

Ayrıca yaş eğirme yöntemine göre lif çekimi esasına dayanan farklı bir yaklaşım da mevcut olup, bu yöntem Tablo 2.1h'de şematize edilmiştir (Smit 2007). Benzer bir alışma Teo ve ark. tarafından da sunulmakta olup, polimer konsantrasyonu ve polimer besleme hızının artması ile ortalama iplik çapının arttığı belirtilmiştir (Tablo 2.1j) (Teo 2007).

Öte yandan Maheshwari ve Chang (2009) tarafından alternatif akım güç kaynağı (AC) kullanılarak, nanolif iplik elde edilmiş olup, ipliğin 1m'den daha fazla uzunlukta olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada alternatif akım güç kaynağı ile gözlenen eğirme davranışının, doğru akım güç kaynağı ile elde edilenden oldukça farklı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada lif ve iplik özelliklerine dair incelik haricinde bilgi verilmemiştir (Maheshwari 2009) (Tablo 2.1k).

Mondal ve ark. (2008) tarafından sunulan yöntemde ise nanolifler elektro lif çekimi ile eğirme yönünde kendiliğinden toplanarak ve üst üste birikerek iplik yapısını meydana getirmiştir. Elde edilen ipliğin tüylü olduğu, bu sebeple sisteme enjektör ve elektrot arasına dairesel bir elektrot (bir ring) ilave edildiği belirtilmiştir. Bu şekilde elde edilen ipliklerin daha uniform ve kompakt olduğundan söz edilmiştir (Tablo 2.1m).

Lee ve ark. (2010) ise çoklu toplayıcı kullanarak, toplayıcıları farklı şekillerde konumlandırmış ya da farklı toplayıcı tipleri denemiştir (Tablo 2.1k, Tablo 2.1n, Tablo 2.1o). Bir başka çalışmada ise sonsuz bant şeklinde yivli bir kayış içeren toplayıcı ile iplik elde edilmiştir (Tablo 2.1p) (Kim 2010).

Wang ve ark. (2008), çalışmalarında Mondal ve ark. (2008) tarafından sunulan çalışmaya benzer bir sistem kullanarak nanoliflerden iplik elde etmiştir. Üretilen PAN nanolif ipliklerin tüylü olduğu belirtilmiştir. PHBV polimeri kullanılarak bu yöntemle iplik elde edilememekle beraber organik tuz eklenerek iplik üretimi başarılmıştır (Tablo 2.1r). Aynı araştırma grubu, kendiliğinden iplik eğirme yöntemi olarak adlandırılan eğirme sistemini germe-çekme işlemi gibi ard-işlemlerle kombinleyerek sunmuştur (Wang 2008b). Bu çalışmada ard işlemler ile başarılı lif hizalanması, yüksek kristalinite ve yüksek molekül oryantasyonu sağlanarak, liflerin mekanik özelliklerinde gelişme ve geleneksel liflere yakın mukavemet değerleri elde edilmiştir. Çalışmada farklı polimerler kullanılmış olup, PAN polimeri ile Xie'ye (Xie 2013) benzer şekilde tüylü iplik elde edildiği belirtilmiştir ( Tablo 2.1r).

Dabirian ve ark. (2011) tarafından elektro santrifüj lif çekim yöntemi ile elektro lif çekim yöntemi ile kıyaslanarak, özellikle düşük vizkoziteli polimer kullanımında santrifüj lif çekim yönteminin güçlü bir teknik olduğu belirtilmiştir (Tablo 2.1s).

Başka bir sistem de Barua (2015) tarafından sunulmuştur. Çalışmada dönen disk tipi kollektör kullanılmakta olup, kullanılan diskin kenarları bakırdan, iç yüzeyi ise o bölgede lif oluşumunu önlemek amacıyla plastikten üretilmiştir. Sistemde nanolifler saf suya daldırıldıktan sonra bakır kollektör üzerinden iplik formunda çekilmekte olup, 95° C'de 5 saat süre ile kurutulmuştur (Tablo 2.1t).

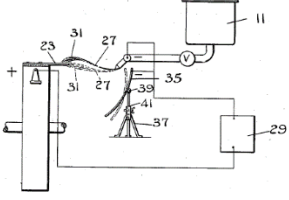
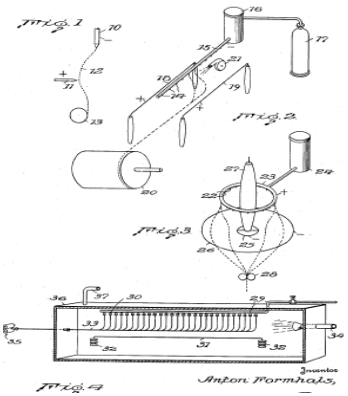
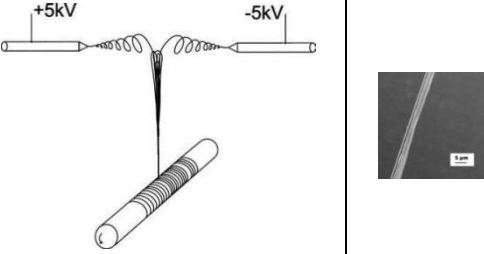
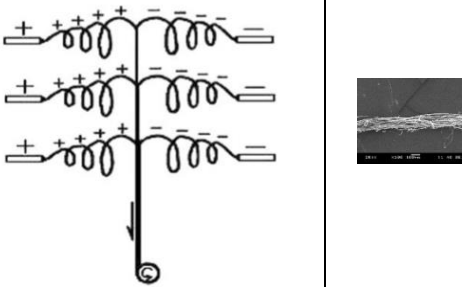
Sonuç olarak nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemlerinin tümünde lifler birbirlerine paralel olarak toplayıcı tarafından toplanmaktadır. Bu sistemlerde, gerçek bir iplik eğirmeden söz etmek güç olup, söz konusu sistemler nanoliflerden kesintisiz halde bükümlü iplik üretim yöntemlerinin öncüleri olarak kabul edilebilir.

**Tablo 2.1.** Nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemleri

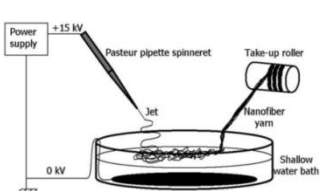

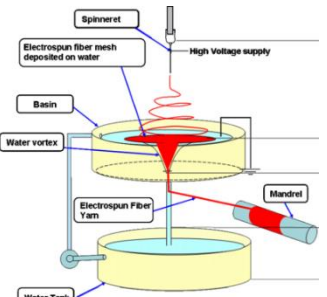
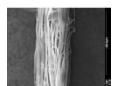
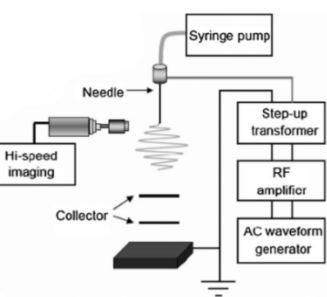

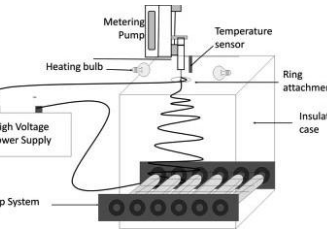
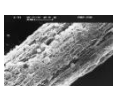
| Temel Prensiptir | İplik Görüntüleri | İpliklere Ait Mevcut Teknik Özellikler |              |             |       | Ref. |                   |
|------------------|-------------------|--|--------------|-------------|-------|------|-------------------|
|                  |                   | İplik İnceliği                         | Lif İnceliği | Üretim Hızı | Diğer |      |                   |
| a                |                   | Veri yoktur                            | -            | -           | -     | -    | Formhals<br>1938a |
| b                |                   | Veri yoktur                            | -            | -           | -     | -    | Formhals<br>1938b |
| c                |                   | Veri yoktur                            | -            | -           | -     | -    | Formhals<br>1938b |



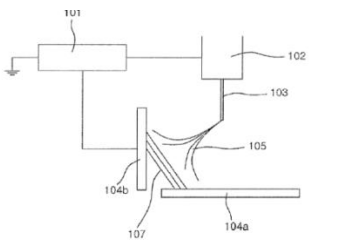

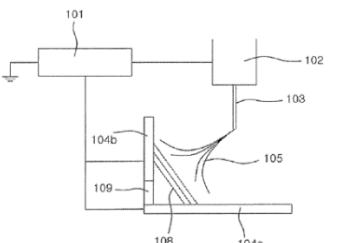

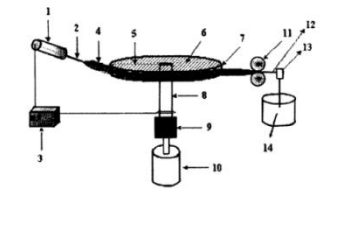

**Tablo 2.1.** Nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemleri (Devam)

|   |   |             |                      |                                   |  |   |          |
|---|---|-------------|----------------------|-----------------------------------|--|---|----------|
| d |    | Veri yoktur | -                    | -                                 | -  | Formhals<br>1939                            |          |
| e |   | Veri yoktur | -                    | -                                 | -  | Formhals<br>1944                            |          |
| f |  |             | -                    | 670 nm<br>(PVP)<br>346 nm<br>(PVA | 4,9<br>m/sn<br>(PVP)<br>3-4,2<br>m/sn<br>(PVA) | -   | Pan 2006 |
| g |  |             | 50-350 $\mu\text{m}$ | 1-3 $\mu\text{m}$                 | -  | İplik<br>mukave<br>meti:<br>0,31<br>cN/dtex | Li 2007  |

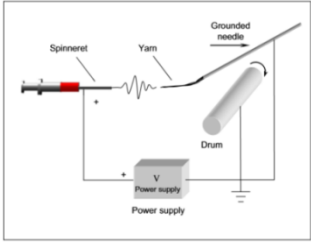
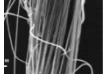
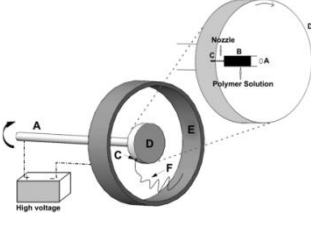
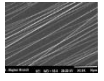
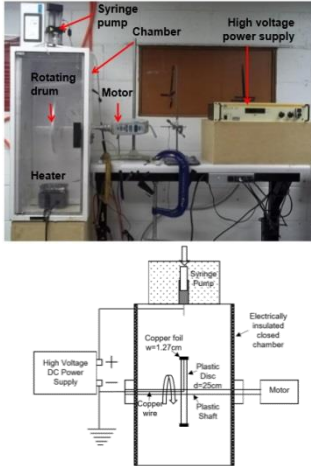
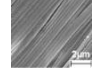
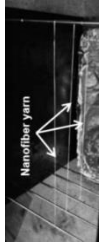
**Tablo 2.1.** Nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemleri (Devam)

|   |   |   |            |   |          |                                  |                 |
|---|---|---|------------|---|----------|----------------------------------|-----------------|
| h |    |    | 10,1 denye | 646 nm (PVA)<br>294 nm (PVDF)<br>285 nm (PAN) | 180 m/sa | Enine kesitteki lif sayısı: 3720 | Smit 2010       |
| j |   |    | -          | 740-1300 nm                                   | 63 m/dk  | -                                | Teo 2007        |
| k |  |  | 10 $\mu$ m | 100 nm  | -        | -                                | Maheshwari 2009 |
| m |  |  | -          | 105-561 nm (PAN)                              | -        | -                                | Mondal 2008     |

**Tablo 2.1.** Nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemleri (Devam)

|   |   |   |  |   |   |   |          |
|---|---|---|--|---|---|---|----------|
| n |    |    | -  | 1,4 $\mu\text{m}$<br>(PA ve polimid kopolimer)  | - | Polimer besleme hızı: 0,3 ml/dk   | Lee 2010 |
| o |    |    | -  | 2,5 $\mu\text{m}$<br>(PA ve polimid kopolimeri) | - | Polimer besleme hızı: 0,3 ml/dk   | Lee 2010 |
| p |  |  | 75 denye (Nylon)<br>75 denye (%70 PU; %30 PVC) | 186 nm (Nylon)<br>480 nm (%70 PU; %30 PVC)      | - | İplik mukavemeti: 4,5 g/denye (Nylon)<br>3,4 g/denye (%70 PU; %30 PVC)<br>% Kopma uzama: %42 (Nylon)<br>%45 (%70 PU; %30 PVC) | Kim 2010 |

**Tablo 2.1.** Nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemleri (Devam)

|   |   |  |   |                          |                    |  |                           |
|---|---|--|---|--------------------------|--------------------|--|---------------------------|
| r |    |   | - | 700 nm-1,5 $\mu$ m (PAN) | 0,2-0,9 m/sn (PAN) | İplik mukavemeti:<br>45 MPa<br>Ard işlem sonrası kopma mukavemeti:<br>146 MPa (DR: %100)<br>235 MPa (DR: %200)<br>372 MPa (DR: %300) | Wang 2008a-<br>Wang 2008b |
| s |   |    | - | 410-440 nm (PAN)         | -                  | İplik mukavemeti:<br>53-112,4 MPa<br>% Kopma uzama:<br>% 60-75,9   | Dabirian 2011             |
| t |  | <br> | - | 348-408 nm (PAN)         | -                  | İplik mukavemeti:<br>90-130 MPa  | Barua 2015                |

## 2.2. Nanoliflerden Kesintisiz Halde İplik Eğirme Yöntemleri

Elektro lif çekim yöntemi ile nanoliflerden iplik eğirme yöntemleri sınıflandırılırken iplik eğirme sistemlerinin ortak özelliklerine göre 4 farklı grupta sınıflandırılabilmiştir.

### 2.2.1. Öncü çalışmalar

Elektro lif çekimiyle ilk bükümlü iplik üretim teknikleri Formhals'a aittir (Tablo 2.2). Burada ilk çalışma Formhals'ın 1934 yılına ait patentidir (Tablo 2.2a). Sunulan yöntemde, pozitif polariteye sahip dişli çark, polimer teknesinin içinde bulunmaktadır. Karşısında bulunan metal disk negatif polarite ile yüklenmiştir ve toplayıcı görevi görmektedir. Sistemde, iplik bükümünün şekilde gösterilmeyen bir "O" noktasından geçirilerek verildiği belirtilmiştir. Ancak iplik bükümüyle ilgili daha detaylı bilgi ya da açıklama yer almamaktadır.

Formhals tarafından sunulan 1940 tarihli bir diğer patent ise elektro lif çekimiyle özlü iplik (core-spun yarn) üretimini amaçlamıştır (Tablo 2.2b) (Formhals 1940). Patentte yer alan ilk yöntemde taşıyıcı bant kullanılmış olup, ikinci yöntemde ise (Tablo 2.2b) direk olarak öz ipliğin beslenmesi söz konusudur. Sistemde ayrıca nemlendirme mekanizması bulunmakta ya da iplikler farklı bir kimyasal ile kaplanarak iletken hale getirilebilmektedir. Öz iplik kaplandıktan sonra ring ile büküm verilerek sarım yapılmıştır.

Formhals'ın 1943 yılına ait 6. patentinde ise farklı bir sistem kullanılmış (Tablo 2.2c) olup, karşı elektrotta yüksek yoğunlukta elektrik alan meydana getirildiğinde, bu etkinin lif için püskürtme etkisine dönüşeceği belirtilmiştir. Çalışmada lifler karşı elektroda ulaşmadan, elektroda yakın bir yerde denge halinde nötr bölgeyi oluşturup, meydana gelen lif bandı elektrik alandan dışarı çekilmiştir. Sistemde rotora benzeyen bir kollektör yardımıyla lif bandına büküm verilmiştir. 1930-1940'lı yıllara ait yukarıda sıralanan patentler gibi, Formhals'ın 1943 tarihli bu patentinin de bu alandaki çalışmalara ilham kaynağı olduğu görülmektedir. Öte yandan, Formhals tarafından sunulan söz konusu patentlerde, üretim hızı, iplik inceliği, iplik bükümü gibi teknik verilere yer verilmediği görülmüştür.



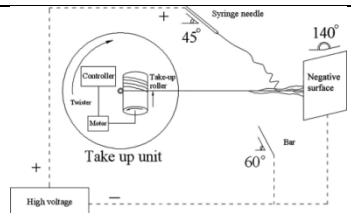

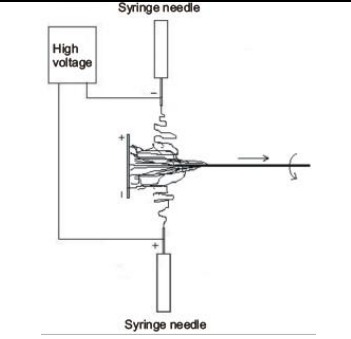

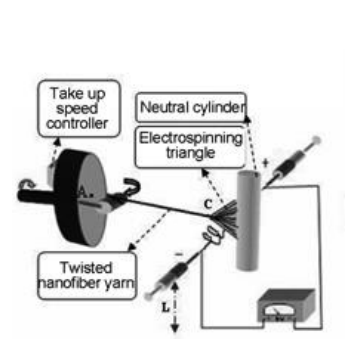

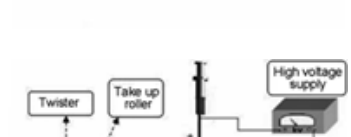

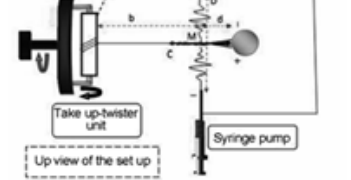
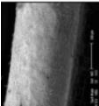


Benzer başka bir çalışmada hücre kültürlerinde kullanmaya uygun ve 300 t/m üzeri büküme sahip ipliklerin üretildiği belirtilmiştir (Tablo 2.3b) (Dabirian 2009).

Bu gruba ait başka bir çalışma Hajiani ve ark. (2012) tarafından sunulmuş olup, ipliklerde büküm hızının artmasıyla, ipliklerin yüzey büküm açılarının arttığı fakat ipliklerin incelendiği, ayrıca mukavemet ve kopma uzaması değerlerinin geliştirilebileceği belirtilmiştir. Aynı zamanda çalışmada büküm hızına bağlı olarak iplik oluşum bölgesinin yerinin ve geometrisinin değiştiği belirtilmiştir (Tablo 2.3c). Aynı sistemin kullanıldığı, Maleki ve ark. (2013) tarafından sunulan başka bir çalışmada çözücünün, PLLA ipliklerin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada düşük buharlaşma basıncı olan TFE kullanılarak en ince lif, iplik çapı ve en iyi mukavemet değerleri elde edilmiş olup, çözücünün bu özelliğinin lif oluşumuna yeterince zaman kazandırdığı ifade edilmiştir (Tablo 2.3c).

Aynı araştırma grubu tarafından sunulan farklı bir çalışma Memarian ve ark. (2014) tarafından sunulmuş olup, saf TiO<sub>2</sub> nanolif iplik elde edilmiştir. Çalışmada polimer ve çözücü tiplerinin lif özelliklerine etkisi araştırılarak, lif ve iplik inceliklerinin polimer konsantrasyonu ile orantılı olarak arttığı ifade edilmiştir. Çalışmada TiO<sub>2</sub> nanolif ipliğinin fotokatalistler, sensörler ve elektronikler gibi geniş bir uygulama alanı olduğu vurgulanmıştır (Tablo 2.3c).

Tian ve ark. (2015) tarafından geliştirilen sistemde lif şeritleri elde edilmiş ve şeritlerin katlanması ve büküm verilmesi ile iplik üretimi yapılmıştır (Tablo 2.3d). Son adımda elde edilen lif demetlerine vakumlu buharlama işlemi uygulanarak, verilen bükümün fikse olması sağlanmıştır. Gerçek bir iplik eğirme işlemi ve kesintisiz üretimden bahsetmek mümkün değildir.

**Tablo 2.3.** Sarım sisteminin dönüşü ile ipliğe büküm verilen sistemler

|   | Temel Prensiptir  | İplik Görüntül eri  | Ulaşılabilen İplik Teknik Özellikleri   |  |                |   | Ref.          |
|---|---|---|---|--|----------------|---|---------------|
|   |   |   | İplik İnceliği  | Lif İnceliği   | Üretim Hızı    | Diğer   |               |
| a |    |    | 160-170 $\mu\text{m}$ (PAN)   | -  | 14 m/sa        | -   | Dabirian 2007 |
| b |    |    | PAN   | -  | 5,76 m/sa      | İplik mukavemeti: 54,6 MPa<br>Büküm miktarı: 320 t/m<br>% Kopma uzama: %60,81 | Dabirian 2009 |
| c |   |  | 84,70-175,33 $\mu\text{m}$ (Naylon 66)  | 90-220 nm  | 1,92 m/sa      | İplik mukavemeti: 86,75-118,56 MPa<br>% Kopma uzama: %32,88-43,25             | Hajiani 2012  |
|   |  |  | PLLA 236 $\mu\text{m}$ (Diklorometan)<br>422 $\mu\text{m}$ (Kloroform)<br>152 $\mu\text{m}$ (TFE) | PLLA 2,95 $\mu\text{m}$ (Diklorometan)<br>5,51 $\mu\text{m}$ (Kloroform)<br>1,65 $\mu\text{m}$ (TFE) | -              | -   | Maleki 2013   |
|   |  |  | 300-510 $\mu\text{m}$ (PLLA)  | 0,4-1,11 $\mu\text{m}$   | 0,02-0,08 m/dk | -   | Maleki 2015   |
|   |  |  | 456-1869 $\mu\text{m}$ (TiO <sub>2</sub> )  | 220-280 nm   | 3 cm/dk        | İplik bükümü: 4700 t/m  | Memarian 2014 |



**Tablo 2.3.** Sarım sisteminin dönüşü ile ipliğe büküm verilen sistemler (Devam)

|   |   |   |   |   |   |              |
|---|---|---|---|---|---|--------------|
| d |  | - | - | - | Opt. Büküm<br>fiksesi 90°C ve<br>30 dk. | Tian<br>2015 |
|---|---|---|---|---|---|--------------|

### 2.2.3. Kollektörün dönüşü ile ipliğe büküm verilen sistemler

Bu bölümdeki çalışmalar kollektörün disk, halka (ring) veya huni vb. farklı formlarda olmasına bağlı olarak 3 ana başlık altında incelenmektedir.

#### I. Disk kollektör kullanılan sistemler

Bu gruba ait ilk çalışmada, büküm ve sarım amacına hizmet eden iki adet disk kullanılarak elektrik alanda iplik eğirme gerçekleştirilmiş, elde edilen ipliğin yaklaşık 5-10 µm inceliğinde olduğu belirtilmiştir (Tablo 2.4a) (Bazbouz ve Stylios 2008). Aynı araştırmacılar benzer sistemle nanoliflerden özlü iplikler de üretmiş olup, ipliklerin endüstriyel ve medikal alanda kullanılabileceği belirtilmiştir (Tablo 2.4b) (Bazbouz ve Stylios 2009). Döner disk sisteminin kullanıldığı farklı konstrüksiyondaki sistemler Lee ve ark. (2019) tarafından da sunulmuştur (Tablo 2.4c-2.4f). Sunulan patentte sadece lif görüntüleri mevcuttur.

Dabirian ve ark. (2011), döner disk ve eşlenik enjektörler kullanarak PAN iplikler üretmiş olup, sistemin diğer sistemlerden en belirgin farkı iplik sarılmadan önce ısıtma bölgesi olarak adlandırılan sıcaklığı 300°C'ye kadar çıkabilen bölgeden geçirilmesidir. Bu işlemin liflerin başlangıç modüllerini ve mukavemetlerini artırdığı belirtilmiştir (Tablo 2.4g).

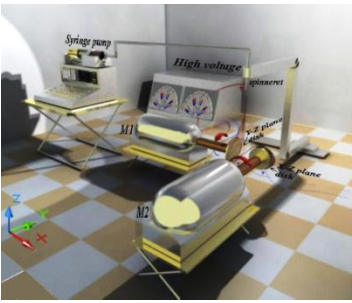

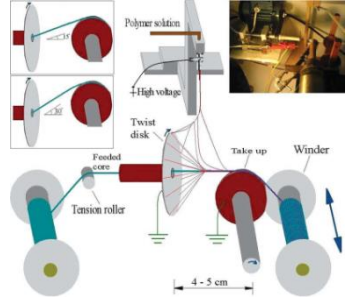

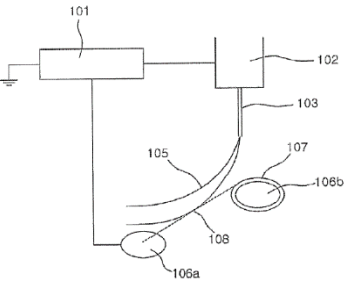

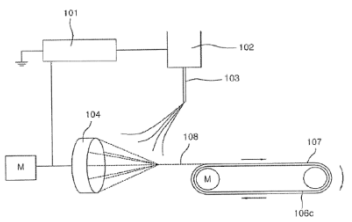

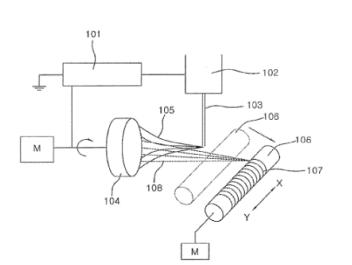

Tablo 2.4h ile sunulan sistemde sürekli bükümlü PAN esaslı nanolif iplik elde edilmiş ve çalışma parametrelerinin iplik özelliklerine etkisi araştırılmıştır (Wu 2013-2014). Sistem ile 6-13 kV voltajda çalışıldığı, daha yüksek gerilimlerde polimer jetlerinin havaya savrulduğu ve uygulanan voltaj arttıkça iplik kalınlığının arttığı belirtilmiş olup, bu durum ise konik yapıda daha fazla lif toplanması ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada polimer akış hızları 0,5-1,3 ml/sa olarak belirtilmiştir. Düşük polimer akış hızında yetersiz lif oluşumu gözlemlendiği, yüksek polimer akış hızlarında ise polimer damlacıklarının eğirme bölgesine ulaşarak konik formu bozduğu ifade

edilmiştir. Çalışmada iğneler arasındaki uzaklık değiştirilerek lif ve iplik incelikleri değerlendirilmiştir. Enjektör-kollektör uzaklığı arttıkça lif ve iplik kalınlığının arttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda NMD (nötr metal disk) dönme hızının da iplik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yüksek dönüş hızlarında lif oryantasyonunun düşük olduğu belirtilmiş olup, bu durum NMD'nin yüksek dönüş hızlarında liflerin hava akımı ile karışmasına bağlanmıştır. Dönüş hızının artmasıyla lif inceliklerinde fazla değişim olmadığı fakat ipliklerin incelendiği belirtilmiştir.

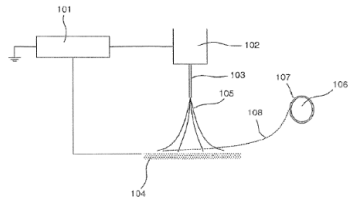

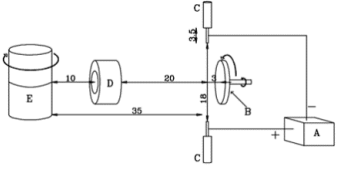

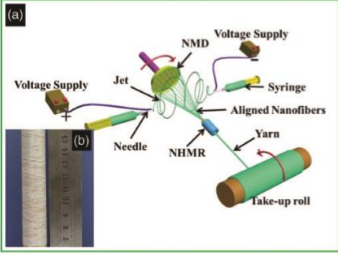
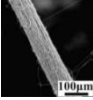
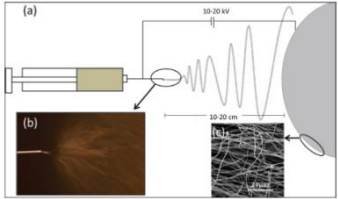

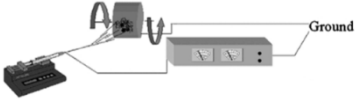
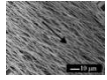
Farklı bir çalışma ise Chawla ve ark. (2013) tarafından sunulmuş olup, çalışmada 1300 t/m bükümlere kadar iplik elde edildiği belirtilmiştir. Öncelikle dönen disk şeklinde toplayıcılarla şerit formunda nanolifler yüzey halinde toplanmış olup, ardından bir motorlu mil vasıtasıyla büküm verilerek ipliğe dönüştürülmüştür. Çalışmada elde edilen PAN iplikler daha sonraki adımlarda karbonlaştırılmıştır. Sunulan sistem nanoliflerden sürekli şekilde bükümlü iplik üretimi olmayıp, önce şerit formunda lif yığınlarını elde etme ve ardından belli uzunluktaki şeritlerin bükülmesi esasına dayanmaktadır. Bu nedenle gerçek bir iplik eğirme işleminden söz etmek güçtür. Ayrıca çalışmada elde edilen lif ve iplik inceliğine dair bilgi bulunmamaktadır (Tablo 2.4j).

Fennessey ve ark. (2004) tarafından sunulan başka bir çalışmada nanoliflerin daha iyi oryante olması ve daha mukavemetli iplik eğrilebilmesi için topraklanmış dönen bir çark kullanılmıştır. Nanolifler demetler halinde elde edildikten sonra büküm verme makinesi ile bükülerek iplikler elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan sistem de gerçek bir iplik eğirme sistemi olmayıp, kesikli ve iki aşamalı bir sistemdir (Tablo 2.4k) (Fennessey 2004).

**Tablo 2.4.** Disk kollektör kullanılan sistemler

| Temel Prensi | İplik Görüntüleri   | Ulaşılabilen İplik Teknik Özellikleri   |   |                   |             | Ref.                                     |                |
|--------------|---|---|---|-------------------|-------------|--|----------------|
|              |   | İplik İnceliği  | Lif İnceliği                                    | Üretim Hızı       | Diğer       |  |                |
| a            |    |    | 5-10 $\mu\text{m}$<br>Naylon 6<br>(%20) çözelti | -                 | 8<br>m/dk   | -  | Bazboz<br>2008 |
| b            |   |    | -   | -                 | 1,5<br>m/sn | Optimum<br>disk hızı:<br>500-750<br>d/dk | Bazboz<br>2009 |
| c            |  |  | -   | 5,1 $\mu\text{m}$ | -           | Polimer<br>besleme<br>hızı:<br>0,3 ml/dk | Lee<br>2010    |
| d            |  |  | -   | 4,5 $\mu\text{m}$ | -           | Polimer<br>besleme<br>hızı:<br>0,3 ml/dk | Lee<br>2010    |
| e            |  |  | -   | 0,8 $\mu\text{m}$ | -           | Polimer<br>besleme<br>hızı:<br>0,3 ml/dk | Lee<br>2010    |

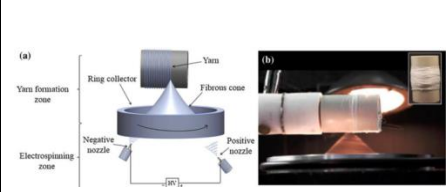
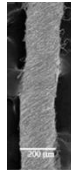
**Tablo 2.4.** Disk kollektör kullanılan sistemler (Devam)

|   |   |   |                    |                  |           |   |                      |
|---|---|---|--------------------|------------------|-----------|---|----------------------|
| f |    |    | -                  | 0,4 µm           | -         | Polimer besleme hızı:<br>0,3 ml/dk  | Lee<br>2010          |
| g |    |    | -                  | -                | 5,79 m/sa | Büküm:<br>207 t/m<br><br>İplik mukavemeti:<br>61,30-<br>116,56 MPa<br><br>% Kopma uzama:<br>% 22,53-<br>54,21 | Dabir<br>ian<br>2011 |
| h |   |  | 40-150 µm<br>(PAN) | 480-650 nm       | -         | İplik mukavemeti:<br>5,5-13,35<br>cN/tex  | Wu<br>2013-<br>2014  |
| j |  |  | (PAN)              | -                | -         | İplik bükümü:<br>0-1300 t/m   | Chaw<br>la<br>2014   |
| k |  |  | -                  | 0,38-<br>0,43 µm | -         | İplik mukavemeti:<br>90-165 MPa   | Fenne<br>sey<br>2004 |

## II. Ring kollektör kullanılan sistemler

Shaukat ve Lin (2015) ring kollektör kullanarak, nanoliflerden iplik üretmişlerdir (Tablo 2.5a). Sistemde çift enjektör ve ring formunda bir kollektör de kullanılmış olup, konvansiyonel ring iplik eğirme sisteminden de ilham alındığı düşünülmektedir. Çalışmada ayrıca ipliklere ait teorik büküm hesaplanmış olup, gerçek büküm ölçülmediği görülmektedir.

**Tablo 2.5.** Ring kollektör kullanılan sistemler

| Temel Prensiptir  | İplik Görüntüleri   | Ulaşılabilen İplik Teknik Özellikleri |              |             |       | Ref.                  |
|---|---|---------------------------------------|--------------|-------------|-------|-----------------------|
|   |   | İplik İnceliği                        | Lif İnceliği | Üretim Hızı | Diğer |                       |
|  |  | 30-150 $\mu\text{m}$<br>(PVDF-HFP)    | 592 nm       | -           | -     | Shaukat ve Lin (2015) |

## III. Huni vb. formda kollektör kullanılan sistemler

Bu grupta elektro lif çekimini esas alarak çift enjektör ve huni vb. formda kollektör kullanarak iplik eğirme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Bu tip kollektörün kullanıldığı çalışmalardan biri Lotus (2009) tarafından sunulmuş olup, metal içi boş yarım küre şeklindeki kollektörün 100-1000 d/dk hız aralığında dönmesiyle büküm verilerek iplikler elde edilmiştir (Tablo 2.6a). Başka bir çalışmada nanolif ve nanolif iplikten oluşan bir yapı iskelesi elde edilmekle beraber, bu yapının üretildiği sistem yukardaki çalışma ile benzerdir. Çalışmada iplikte kuvvetlendirilmiş nanolif iskelet yapısının biyoyumlu ve hücre morfolojisi ile hücre üremesinin uyumlu olduğu ifade edilmiştir (Yang 2014) (Tablo 2.6b). Benzer bir çalışma ise Afifi ve ark. (2010) tarafından da sunulmuştur (Tablo 2.6c).

Öte yandan başka bir çalışmada hem kollektör hem de iplik sarım sistemine dönüş verilerek, PAN esaslı nano iplikler elde edilmiş ve bu ipliklerden dokuma yapılarak kumaş yapısı elde edilmiştir (Tablo 2.6d) (Ravandi 2015).

Li ve ark. (2012), çalışmalarında kullandıkları kollektörün, huni ve vakum pompası olmak üzere 2 kısımdan oluştuğunu vurgulayarak, sistemin en belirgin farkının huni içinde bulunan hava emişi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada PAN polimerine LiCl katkısının iplik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sistemde iplik oluşumundan bahsedilmekle beraber, sarım sistemi hakkında bilgi verilmediği görülmüştür (Tablo 2.6e).

Ali ve ark. (2012) tarafından sunulan sistemde huni formunda kollektör kullanılmış, kollektör devrinin iplik özellikleri ortaya konmuştur. Ayrıca iplik bükümü konvansiyonel eğirme sistemine benzer şekilde aşağıdaki Eşitlik 2.1 ile hesaplanmıştır. Ancak ipliklerin gerçek bükümüne dair veri yer almamaktadır. Çalışmada kollektör hızı arttığında büküm açısının arttığı, lif ve iplik çaplarının ise azaldığı belirtilmiştir (Tablo 2.6f). Bu sistemde PAN polimeri ile iplik üretilmeye çalışılsa da başarılı olunamadığı daha sonra çalışmaya PVDF-HFP polimeri ile devam edildiği belirtilmiştir (Xie 2013).

$$\text{İplik bükümü (t/m)} = \frac{\text{İğ devri (d/dk)}}{\text{İplik üretim hızı (m/dk)}} \quad (2.1)$$

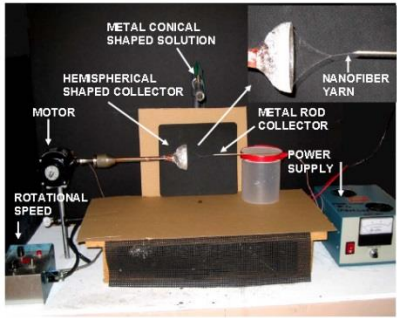
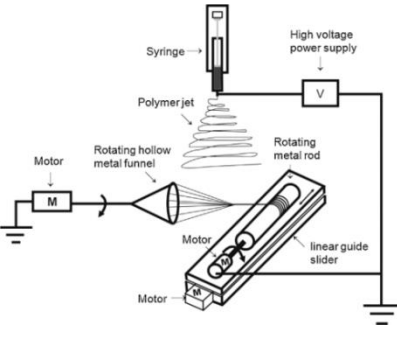
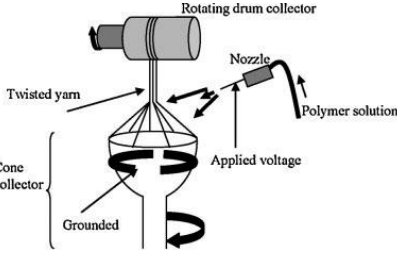
Öte yandan, Xie (2013) tarafından sunulan çalışmada Ali (2012)'nin çalışmasına ilave olarak lif toplanma alanını kontrol etmek amacıyla disk elektrotlu enjektörlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bu sistemde her iki enjektöre ait iğneler birer diskin ortasından geçirilerek sisteme yerleştirilmiştir. Kullanılan polimer PAN olup, PAN polimerinin ancak bu şekilde disk kullanılarak elde edildiği belirtilmektedir (Tablo 2.6g).

Benzer şekilde huni formunda kollektör, simetrik 4 enjektör kullanılarak geliştirilen bir sistem karşılıklı enjektörlerin zıt yüklü olduğu belirtilmiştir (He 2013-2014a-2014b). Çalışmada Ali (2012)'nin çalışmasına benzer şekilde, voltaj arttırıldıkça iplik çaplarının arttığı fakat lif çaplarının azaldığı belirtilmiştir. Aynı zamanda sarım hızı arttırıldığında iplik büküm miktarının arttığı fakat ipliklerin inceldiği ifade edilmiştir (Tablo 2.6h). Aynı araştırmacı tarafından sunulan sistemde, ipliklerin mukavemet ve kopma uzaması değerlerinin büküm açısının artmasıyla yükselme eğiliminde olduğu ifade edilmiştir (He 2014b) (Tablo 2.6j).

Levitt ve ark. (2016) tarafından, çift enjektör ve bakır huni formunda kollektör içeren bir sistem kullanılarak 3 farklı polimer (PVDF-TrFe (%65/35), PAN (%15) ve PCL (%10)) ile iplik üretilmiştir. Çalışmada kollektör dönüş hızı arttırıldığında PAN ve PCL ortalama lif çaplarında azalma gözlenmekte olup, PVDF- TrFe lif ise çaplarda artma görüldüğü belirtilmiştir. Her üç polimerde de kollektör dönüş hızına bağlı olarak iplik yüzey büküm açıları artmıştır (Tablo 2.6k).

Huni şeklinde kollektörün kullanıldığı başka bir sistem de Jin ve ark. (2017) tarafından sunulmuştur. PSA polimerinin kullanıldığı çalışmada kollektör dönüş hızı ve polimer konsantrasyonunun nanolif ve iplik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Konsantrasyon arttıkça iplik çapının arttığı fakat nanolif çaplarının düştüğü ifade edilmiştir. Sonuç olarak konsantrasyon arttıkça ipliği oluşturan nanolif sayısının arttığı belirtilmiştir. Ancak çalışmada kullanılan kollektör dönüş hızlarının çok düşük olması (20-60 d/dk) dikkat çekicidir (Tablo 2.6m).

**Tablo 2.6.** Huni vb. formda kollektör kullanılan yöntemler

| Temel Prensiptir | İplik Görüntüleri   | Ulaşılabilen İplik Özellikleri |  |             |   | Ref.       |
|------------------|---|--------------------------------|--|-------------|---|------------|
|                  |   | İplik İnceliği                 | Lif İnceliği   | Üretim Hızı | Diğer   |            |
| a                |   | 30-40 µm                       | 98,6 nm (NiO)<br>276±20,4 nm (CuO)<br>362±35 nm (SnO <sub>2</sub> )<br>63,2±6,6 nm (ZnO) | -           | Kollektör devri: 100-1000 d/dk                          | Lotus 2009 |
| b                |  | 30,56±6,3 µm                   | 749,67 ± 148,11 nm   | -           | -   | Yang 2014  |
| c                |  | 30-450 µm (polilaktik asit)    | 6,0-1,9 µm   | 63 mm/dk    | İplik mukavemeti: 0,017 g/denye<br>% Kopma uzama: % 110 | Afi 2010   |

**Tablo 2.6.** Huni vb. formda kollektör kullanılan yöntemler (Devam)

|   |  |  |                                    |                          |                  |  |                    |
|---|--|--|------------------------------------|--------------------------|------------------|--|--------------------|
| d |  |  | 19 tex (PAN)                       | -                        | -                | İplik bükümü: 2900 t/m                                   | Ravandi 2015       |
| e |  |  | -                                  | -                        | -                | İplik mukavemeti: 17 MPa<br>% Kopma uzama: % 104         | Li 2012            |
| f |  |  | 30-450 $\mu\text{m}$ (PVDF-HFP)    | 480 nm-1,5 $\mu\text{m}$ | 0,33 m/dk        | -  | Ali 2012           |
| g |  |  | 247,2 $\pm$ 55 $\mu\text{m}$ (PAN) | 562,5 $\pm$ 13 nm        | -                | -  | Xie 2013           |
| h |  |  | 70-216 $\mu\text{m}$ (PAN)         | 400-700 nm               | 2 m/dk           | İplik mukavemeti: 55,7 MPa<br>% Kopma uzama: % 41,3      | He 2014 a- He 2013 |
| j |  |  | 200-386 $\mu\text{m}$ (PAN)        | -                        | 2,189-3,227 g/sa | İplik mukavemeti: 0,592 cN/dtex<br>% Kopma uzama: % 65,7 | He 2014 b          |



**Tablo 2.6.** Huni vb. formda kollektör kullanılan yöntemler (Devam)

|   |   |   |  |               |   |                                       |               |
|---|---|---|--|---------------|---|---------------------------------------|---------------|
| k | A schematic diagram (A) shows two syringes connected to a high voltage power supply. The setup is used to produce nanofibers. SEM images (B, C, D) show the morphology of nanofibers produced from different materials: PVDF-TrFe (0,97 µm), PAN (1,20 µm), and PCL (0,81 µm).  | -   | 0,97 µm<br>(PVDF-<br>TrFe)<br>1,20 µm<br>(PAN)<br>0,81 µm<br>(PCL) | -             | İplik mukavemeti:<br>4,25 MPa<br>(PAN)<br>2,03 MPa<br>(PCL)<br>10,16 MPa<br>(PVDF-<br>TrFe) | Levitt<br>2017                        |               |
| m | A schematic diagram (m) shows a rotating device for electrospinning. It includes a voltage supply, a syringe, a needle, a jet, and a rotating device. The setup is used to produce nanofibers with a diameter of 90-23 µm and a length of 200-800 nm. The device is connected to a winding device and a voltage supply. | SEM image of a nanofiber with a diameter of 100 µm. | 90-23<br>µm  | 200-800<br>nm | 10 d/dk   | İplik mukavemeti:<br>10-30<br>cN/dtex | Jin<br>(2017) |

#### 2.2.4. Diğer sistemler

Bu grup altında yukarıda yer alan sistemlerden farklı yaklaşımlara yer verilmektedir. Ko ve ark. (2003) tarafından, tekstüre prosesine benzer yöntemle nanoliflerden iplik üretimi yapılmıştır (Tablo 2.7a). Bir başka ilginç çalışma ise hava jeti ile bükümlü iplik prosesi olarak adlandırılmış olup, bu yöntemde çoklu düze sistemiyle, bir bant veya büyük boyutlarda nanolif içeren dokusuz yüzeyler üretilerek, bu yüzey daha sonra küçük bantlar halinde kesilerek bir hava jeti yardımıyla bükümlü ipliğe dönüştürülmüştür (Tablo 2.7b) (Smit 2007).

Bir başka yöntemde ise elektro lif çekimi, sıvı bir banyo üzerinde yapılmış olup, üretilen lifler su yüzeyine sürekli olarak yerleşirken, oluşturulan vorteks sayesinde lifler su girdabına doğru çekilerek büküm almış ve bir sarım sistemiyle sarılmıştır (Smit 2007, Latifi 2011, Yousefzadeh 2011) (Tablo 2.7c; Tablo 2.7d). Tablo 7e’de sunulan bir başka çalışmada ise yine karşılıklı yerleştirilmiş fakat zıt yüklü iki adet enjektörden püskürtülen lifler, toplayıcı olarak statik su banyosunda toplanmakta, bu sistemle elde edilen ipliğe ise nano açık-uç (open-end) iplik adı verilmiştir (Aslı 2010). Çalışmada elde edilen ipliğin bükümlü olduğu belirtilse de, bükümün nasıl verildiğine dair veri bulunmamaktadır.

Yan ve ark. (2011), tarafından sunulan çalışmada motorlara bağlı olan, büküm tüpleri (TT1,TT2) olarak isimlendirilen, metalik tüpler ters yönlü olarak döndürülerek, sisteme sonradan

ilave edilen sarım silindiri üzerinde bükümlü iplik üretilmiştir. Çalışmada kısa uzunluklarda iplik üretilmiş olup, bu ipliklerin mekanik özelliklerinin iyi olduğu belirtilmiştir (Tablo 2.7f).

Öte yandan Bagherzadeh ve ark. (2010) tarafından sunulan başka bir çalışmada, bir iğne, iki adet topraklanmış bakır çubuk, bir adet topraklanmış kenar bıçağı kullanılarak kısa uzunluklarda nanolif iplik üretilmiştir (Tablo 2.7g). Bu çalışmada Formhals tarafından 1940 yılında temelleri atılan özlü iplik üretimi de yapılmış olup, ipliğe hibrit nanolifli iplik adı verilmiştir. Özlü iplik üretiminde, PVA çekirdek olarak kullanılıp üzeri PAN nanolifleri ile kaplanabildiği gibi, lif cinslerinin değişmesiyle de hibrit iplik yapılabildiği belirtilmiştir (Bagherzadeh 2010).

Farklı bir çalışma Nakashima ve ark. (2013) tarafından sunulmuş olup, sistemde dokusuz nanolif yüzey kesilerek ve büküm verilerek iplik haline getirilmiştir. Çalışmada kullanılan polimer konsantrasyonu arttıkça lif çapının arttığı, büküm miktarı arttıkça mukavemet ve kopma uzaması değerlerinin arttığı belirtilmiş olup, prosesin kesikli olduğu belirtilmiştir (Tablo 2.7h).

Benzer bir çalışma da Tsai ve ark. (2013) tarafından sunulmuş olup, ilk aşamada elektro lif çekim yöntemi ile elde edilen nanolifler dört alüminyum çubuktan oluşan dönen disk üzerine sarılmıştır. Çalışmada, elde edilen nanolif demetlerine büküm vermek amacıyla özel bir büküm verme cihazının kullanıldığı belirtilmiş olup, büküm verilen kısa uzunluklardaki nanolif ipliklerin makas yardımıyla cihazdan çıkarıldığı ifade edilmiştir (Tablo 2.7j).

Su ve ark. (2013) tarafından sunulan başka bir çalışma da ise kullanılan sistem üzerinde hem iplik hem de özlü iplik üretilmiştir. Sistemde kollektörde nanoağ olarak toplanan nanoliflere büküm verilerek iplik üretimi sağlanmıştır. İplik eldesinde polimer akış hızının lif inceliği açısından önemli olmadığı, iplik inceliğinin ise polimer akış hızının artmasıyla arttığı ifade edilmiştir (Tablo 2.7k).

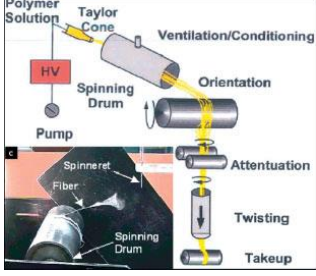
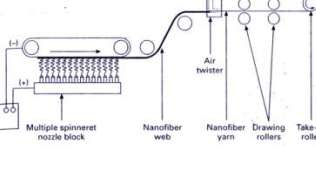
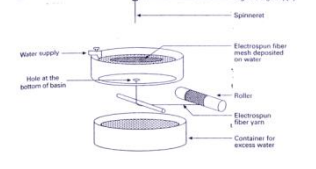
Öte yandan diğer elektro lif çekim yöntemlerinden daha farklı olarak, enjektör ve kollektör kullanımı olmaksızın, sistemde güç kaynağı olarak AC güç kaynağı kullanılarak bir elektrot üzerinde lif topluluğunun elde edilmesi, katlanması ve büküm verilmesi suretiyle iplik haline getirilmesine yönelik çalışma da mevcuttur (Tablo 2.7m) (Pokorny 2014).

Zhou ve ark. (2010) tarafından sunulan başka bir çalışma özlü iplik üretimine dayanmaktadır. Öz iplik olarak beslenen PA (50 $\mu$ m), PEO nanoliflerle kaplanmış ve sonrasında büküm (150 t/m, 250 t/m, 500 t/m) verilmiştir. Nanolifler ipliğin dış yüzeyinde bulunduğu gibi,

sonradan büküm verildiği için iç yapısına da dahil olmuşlardır. Çalışmada üretilen ipliklerin tendon/bağ dokularında kullanılabileceği ifade edilmiştir (Tablo 2.7n).

Bosworth ve ark. (2014) tarafından sunulan başka bir çalışmada, nanoliflerden oluşan şerit daha sonra 50 mm uzunluğunda kesilerek ve saf suya batırılarak nanolif ipliklerin elde edildiği belirtilmiştir. Şeritlere manuel olarak büküm verilerek yaklaşık 200 µm çapında ipliklerin elde edildiği ifade edilmiştir. Çalışmada elde edilen ipliğin kök hücre çoğalmasını sağladığı ifade edilmiştir (Tablo 2.7p) (Bosworth 2014).

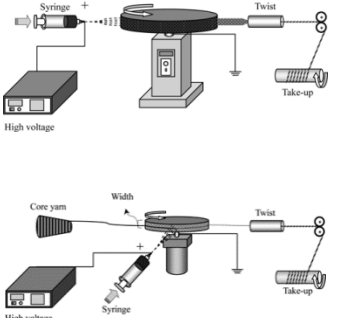

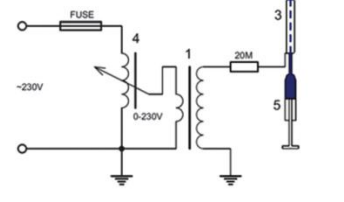

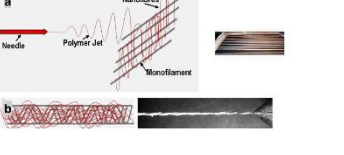

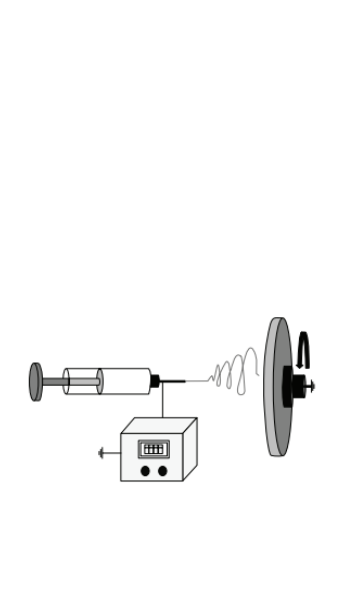




**Tablo 2.7.** Diğer sistemler

| Temel Prensiptir | İplik Görüntüleri   | Ulaşılabilen İplik Özellikleri |  |  |  | Ref.      |
|------------------|---|--------------------------------|--|--|--|-----------|
|                  |   | İplik İnceliği                 | Lif İnceliği   | Üretim Hızı  | Diğer  |           |
| a                |   | -                              | -  | 50-100 nm (SWNTs/P LA and SWNTs/P AN)                            | -  | Ko 2003   |
| b                |  | -                              | 75 denye (Poly e-kaprolaktam)<br>120 denye (PU)<br>75 denye (PA 6) | 64,2 m/dk (Poly e-kaprolaktam)<br>30 m/dk (PU)<br>50 m/dk (PA 6) | İplik mukevemeti:<br>1,3 g/denye (Poly e-kaprolaktam)<br>1,4 g/denye (PU)<br>3 g/denye (PA 6)<br>% Kopma uzama:<br>32 % (Poly e-kaprolaktam)<br>% 50 (PU)<br>% 36 (PA 6) | Smit 2007 |
| c                |  | -                              | -  | -  | 80 m/dk (PVDF)<br>İplik büküm açısı: 19,76°  | Smit 2007 |

**Tablo 2.7. Diğer sistemler (Devam)**

|   |  |  |   |  |            |  |                                   |
|---|--|--|---|--|------------|--|-----------------------------------|
| d |  |  | 12,39-91,11 $\mu\text{m}$   | -  | 1,4-7 m/dk | <p>İplik bükümü:<br/>627-1108 t/m<br/>Bükümlü iplik mukavemeti:<br/>13,90 MPa<br/>Bükümsüz iplik mukavemeti:<br/><math>\approx 3,06</math> MPa</p> | Latifi 2011-<br>Yousef zadeh 2011 |
| e |  |  | 32-56 $\mu\text{m}$<br>PAN<br>4,8 denye   | -  | 150 m/sa   | <p>Polimer besleme hızı:<br/>0,1 ml/sa</p>   | Aşlı 2010                         |
| f |  |  | 10-12 $\mu\text{m}$<br>(PAN)  | -  | -          | <p>Lif young modülü:<br/>9,18 GPa</p>  | Yan 2011                          |
| g |  |  | 22-32 $\mu\text{m}$<br>(PVA and hibrit iplikler )   | 250-350 nm   | -          | <p>İplik mukavemeti:<br/>2-10 gf<br/>% Kopma uzama:<br/>% 200-420</p>  | Bagher zadeh 2010                 |
| h |  |  | -   | 100-917 nm<br>(PVDF)   | -          | <p>İplik mukavemeti:<br/>22-55 MPa<br/>% Kopma uzama:<br/>% 109,8-125,7</p>  | Nakashima 2013                    |
| j |  |  | 260 $\mu\text{m}$ (CA/P MMA)<br>240 $\mu\text{m}$ (PAN/P MMA)<br>200 $\mu\text{m}$ (PVDF/PEO) | 800 nm (CA/P MMA)<br>1500 nm (PAN/P MMA)<br>2000 nm (PVDF/PEO) | -          | <p>İplik mukavemeti:<br/>27,4-59,4 MPa<br/>% Kopma uzama:<br/>% 49,1-458,1</p>   | Tsai 2013                         |

**Tablo 2.7. Diğer Sistemler (Devam)**

|   |  |   |  |  |          |  |                        |
|---|--|---|--|--|----------|--|------------------------|
| k |   |    | <p>39,9-70,5 tex<br/>(Nanolif iplik)<br/>39,6-71,3 tex (PAN kompozit iplik)<br/>Öz iplik: 20 tex</p> | <p>263-283 nm</p>  | <p>-</p> | <p>İplik mukavemeti:<br/>0,13-0,26 cN/dtex (Nanolifli iplik)<br/>3-3,2 cN/dtex (PAN kompozit iplik)<br/>% Kopma uzama:<br/>% 20 (PAN kompozit iplik)</p>               | <p>Su 2013</p>         |
| m |   |    | <p>-</p>   | <p>&lt;1µm</p>   | <p>-</p> | <p>-</p>   | <p>Pokorn y 2014</p>   |
| n |   |    | <p>50 µm (PA, öz iplikler)</p>   | <p>-</p>   | <p>-</p> | <p>-</p>   | <p>Zhou (2010)</p>     |
| p |  |     | <p>-</p>   | <p>0,33 ± 0,18 µm (PCL+aseton)<br/>0,44 ± 0,11 µm (PCL+HFIP)<br/>0,56 ± 0,13 µm (PCL/PLGA + HFIP)<br/>0,80 ± 0,30 µm (PLGA+HFIP)</p> | <p>-</p> | <p>İplik kopma mukavemeti:<br/>4,12 ± 2,00 MPa (PCL+aseton)<br/>41,54 ± 13,61 MPa (PCL+HFIP)<br/>5,40 ± 0,82 MPa (PCL/PLGA + HFIP)<br/>9.48 ± 0.82 MPa (PLGA+HFIP)</p> | <p>Bosworth (2014)</p> |

Sonuç olarak literatürde yer alan tasarımlar ve üretim metotları incelendiğinde özellikle nanoliflerden bükümlü iplik eğirme yöntemlerine ait yaklaşımlar dikkati çekmekte ve bu konuda sunulan ilk özgün çalışmanın esasında 1940'lı yıllara ait bir patent çalışması olduğu

görülmektedir. Bu kategoride yer alan sistemlerde ipliğe büküm kazandırma işlemi; iplik sarım sisteminin dönüş hareketiyle veya liflerin toplandığı disk şeklindeki toplayıcıların dönüş hareketiyle veya hava jeti ve su girdabı gibi farklı unsurlarla sağlanmaktadır. İlginç şekilde sunulan bu yöntemler arasında konvansiyonel iplik eğirme sistemlerine benzer şekilde; açık-uç iplik eğirme, özlü (core-spun) iplik eğirme, hava-jetli iplik eğirme olarak adlandırılan yöntemlerin de yer aldığı görülmektedir. Genel olarak incelenen sistemlerde kullanılan yöntemin özelliğine göre ipliği oluşturan elyaf incelikleri 50 ila 800 nm, iplik çapları ise 5 ila 450 µm arasında geniş bir dağılım sergilemektedir. Bununla birlikte bazı sistemlerin sadece kısa uzunluklarda iplik üretimine imkan verdiği (Yan 2011, Bagherzadeh 2010, Nakashima 2013, Tsai 2013, Zhou 2010); iplik üretildiği belirtilen bazı sistemler detaylı incelendiğinde ise iplik üretiminden ziyade sadece lif üretiminin yapıldığı (Lee 2010, Dabirian 2011) görülmektedir. Öte yandan bazı sistemlerde ise nanoliflerden doğrudan iplik eğirme yerine öncelikle nanolifli yüzeylerin önce şerit formunda üretilmesinin ve ardından söz konusunu şeritlere büküm verilmesinin esas alındığı görülmekte olup, bu sistemlerde gerçek bir eğirme işleminden söz etmek güçtür (Fennessey 2004, Smit 2007, Kim 2010, Su 2013, Nakashima 2013, Tian 2015). İncelenen sistemlerin bir kısmında (Aslı 2010, Levitt 2017, Jin 2017, Li 2017 vb.) ise bükümlü ve kesintisiz halde iplik eğirme yapıldığı belirtilmekle birlikte, eğirme işleminin stabilitesi ve kopuş olmaksızın eğrilebilen ipliklerin uzunlukları hakkında bilgi verilmemektedir. Çalışmada incelenen yöntemler arasında özellikle huni vb. forma sahip toplayıcılar kullanarak nanoliflerden bükümlü iplik üretim yöntemleri, gerek belli bir hızda kesintisiz iplik üretimini mümkün kılması, gerekse iplik parametrelerinin daha rahat kontrol edilebilmesi bakımlarından dikkati çekmektedir (Ali 2012, Xie 2013). Ancak Ali ve ark. (2012) çalışmalarında iki adet enjektörden sevk edilen PVDF-HFP içeren polimer çözeltisinin huni formunda belli dönüş hızında dönen bir kollektör tarafından toplanıp büküm verilmesiyle ile iplik üretimi gerçekleştirilmekle birlikte, bu sistemde PAN polimeri ile iplik eğrilemediği belirtilmektedir (Xie 2013). Söz konusu sistemde PAN polimeri ile başarılı bir şekilde iplik eğrilebilmesinin ise ancak enjektörlere metal disk ilavesi sonucu sağlanabildiği ifade edilmektedir (Xie 2013).

Sonuç olarak incelenen yaklaşım ve teknikler, uygun yöntem, polimer ve üretim parametreleri seçilerek, arzu edilen incelik, büküm veya fonksiyonel özellikte nanolif içeren ipliklerin üretilebileceğini ortaya koymaktadır. Böylelikle elektro lif çekimiyle elde edilen nanometre ölçeğinde inceliğe sahip liflerin sadece ağ-doku şeklinde yüzey halinde üretimiyle

sınırlı kalınmayarak, burada özetlenen yöntemlerle nanolif iplik halinde eğilmesi ve dokuma veya örme kumaşa dönüştürülmesi ve böylelikle çok daha geniş kullanım alanlarına kavuşması mümkün olacaktır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Polimer Çözeltisinin Hazırlanması ve Özelliklerinin Analizi

Çalışmada tüm deneylerde polimer olarak poliakrilonitril (Mw 150.000- Sigma-Aldrich Chemistry), çözücü olarak ise N,N-Dimetilformamid (Emparta) kullanılmıştır. Ağırlıkça %10'luk PAN/DMF çözeltisi manyetik karıştırıcı yardımıyla, 70 °C'de 2,5 saat süresince çözülerek hazırlanmıştır. Polimer çözeltilerin hazırlanmasında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan 0,0001 g hassasiyete sahip Precisa marka hassas terazi kullanılmıştır. Tüm deneysel çalışmalarda hazırlanan polimerin vizkozite ve iletkenliği yine Tekstil Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Brookfield Viscometer markalı vizkozimetre ve WTW markalı Cond 330i/SET model iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Viskozite ölçümü sırasında sıcaklık 25°C, ölçüm hızı 30 d/dk, tork değeri %17,8 ve spindle numarası S63'tür (Şekil 3.1). Elektro lif çekiminde kullanılan çözeltilerin vizkozitesi 750 cP ve iletkenliği 115 µS/cm'dir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan iletkenlik ve vizkozite ölçüm cihazları

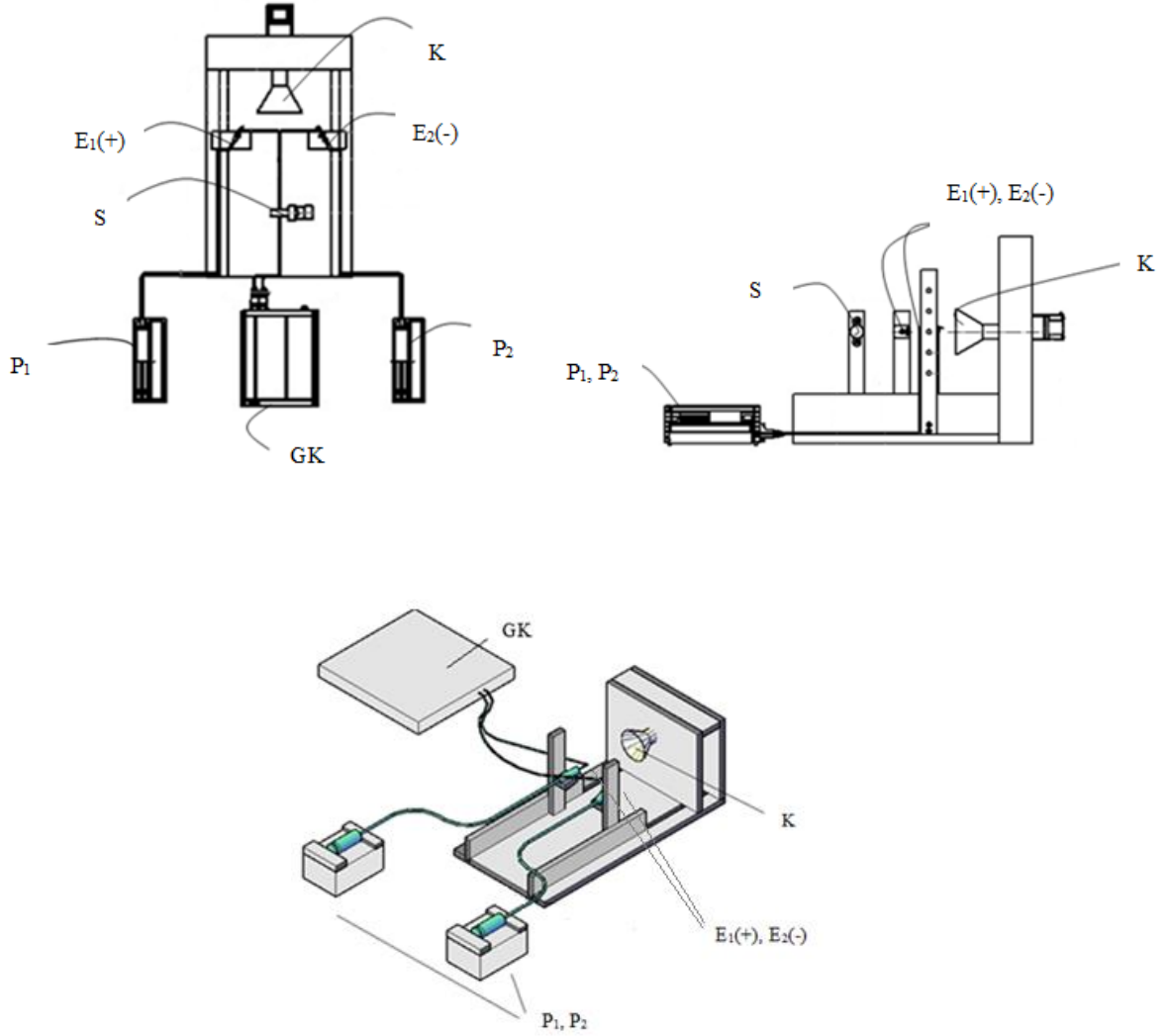
#### 3.2. Prototip Eğirme Sisteminin Kurulumu ve Nanolif İpliklerin Eğrilmesi

##### 3.2.1. Prototip sistemin tasarımı ve kurulumu

Elektro lif çekim yöntemi ile nanoliflerden iplik eğirme konusuna yönelik literatürde mevcut çalışmalar ve kullanılan eğirme yöntemlerinin kapsamlı şekilde incelenmesinin ardından,



tez kapsamında kurulacak eğirme sisteminde metot olarak, Bölüm 2.2.3'te yer alan huni vb. formundaki kollektörlerle ipliğe büküm verilmesi esasına dayalı yöntemlerin esas alınmasına karar verilmiştir. Tasarlanan sistemin teknik çizimi ve şematik görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Prototip sisteme ait şematik gösterimler ve bileşenler

Şekil 3.2'de verilen sisteme ait bileşenlere dair açıklamalar aşağıda özetlenmektedir;

E<sub>1</sub>(+) ve E<sub>2</sub>(-): Pozitif ve negatif polariteye sahip enjektörler

K: Konik forma sahip kollektör (DIN EN E335 Çelik)

P<sub>1</sub>: E<sub>1</sub>(+) enjektörü besleyen birinci polimer besleme ünitesi (New Era Pump Systems NE-300)

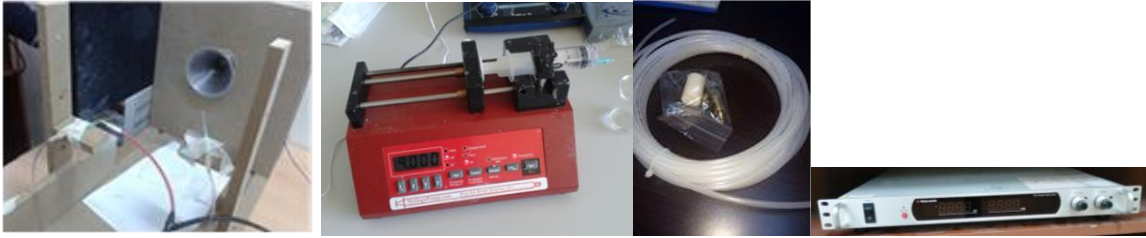
P<sub>2</sub>: E<sub>2</sub>(-) enjektörü besleyen ikinci polimer besleme ünitesi (New Era Pump Systems NE-300)

GK: Yüksek gerilim güç kaynağı (Matsusada AU Series (30 kV))

S: Sarım silindiri ve motoru

PE boru ve iğne sistemi (21Gauge)

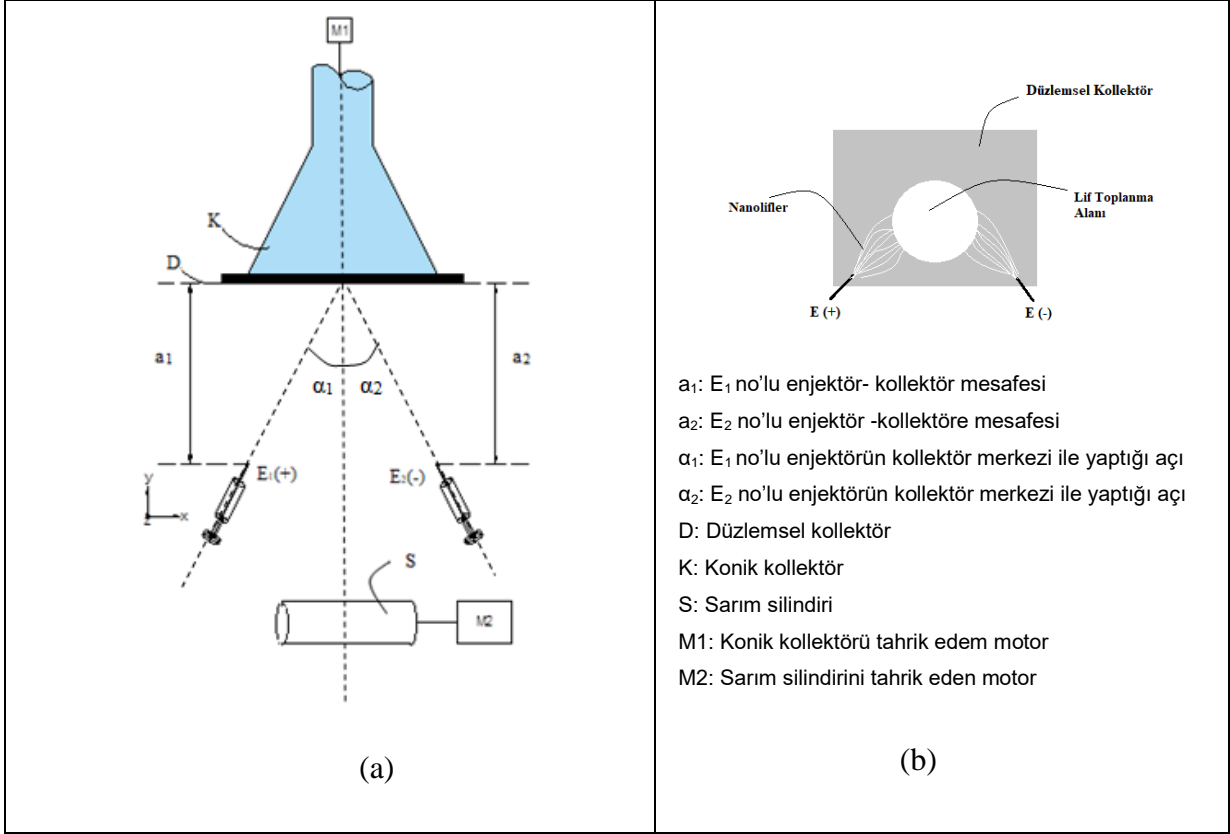
Bu doğrultuda kurulumu gerçekleştirilen sistem Şekil 3.3'te görülmektedir. Sistemde kullanılan güç kaynağı, doğru akım prensibiyle çalışmakta olup, maksimum 30 kV kapasiteye sahiptir. Konik formda tasarlanan çelik kollektör ise 11 cm dış çapa sahip olacak şekilde imal ettirilmiş olup, prototip sistemde kollektör dönüş hızı maksimum 1300 d/dk'dır. Konik kollektör, karşısında konumlandırılan pompalar yardımıyla iki enjektörden püskürtülen lifleri üzerinde toplamakta ve dönüş hareketi ile büküm verilmektedir. Elde edilen ipliğin sarımı ise bir DC motor yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.3. Prototip eğirme sistemi ve temel bileşenleri

### 3.2.2. Düzlemsel kollektör kullanarak temel çalışma parametrelerinin belirlenmesi

Bu bölümde temel hedef konik kollektörün dış çapına en yakın lif toplanma alanını sağlayan enjektörler-kollektör mesafesinin tespit edilmesidir. Enjektörlerden çıkan liflerin hepsinin kollektör tarafından toplanabilmesi ve iplik yapısına katılmalarını etkileyen temel parametreler; enjektörler ile kollektör arasındaki uzaklık ve söz konusu uzaklıklarda uygulanan voltaj değeridir. Kullanılan düzlemsel kollektör ve enjektörlerin konumu ile lif toplanma alanlarının analizine dair gösterimler Şekil 3.4'te yer almaktadır. Bu bölümde yürütülen çalışmalar 3 ayrı bölümden oluşmakta olup, Tablo 3.1 ile özetlenmektedir.

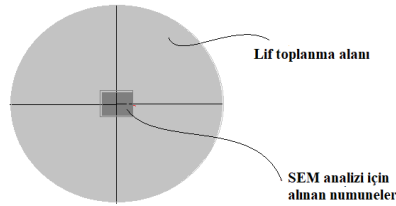


**Şekil 3.4.** Prototip sisteme düzlemsel kollektör ilavesi (a) ve lif toplanma alanının analizi (b)

Bu bölümde elde edilen nanolif inceliklerinin analizinde numuneler alınırken, farklı bölgelerde elyaf incelik varyasyonu olabileceği ihtimali göz önünde bulundurularak, tüm numuneler, elde edilen yüzeylerin merkez noktası belirlenerek alınmıştır (Şekil 3.5).

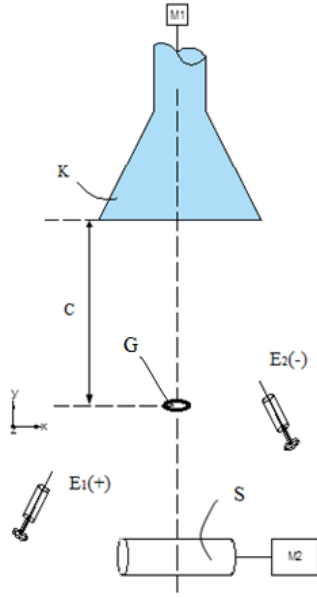
**Tablo 3.1.** Çalışma parametreleri

| I   | Tek Enjektörle Çalışılması Durumunda Kollektör-Enjektör Mesafesinin Etkisi | Kod  | Kollektör-Enjektör Arası Mesafe (cm) |                       | Yapılan Gözlem ve Analizler |   |
|-----|--|--|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---|
|     |  |  | a <sub>1</sub>                       | a <sub>2</sub>        |                             |   |
| I   | Tek Enjektörle Çalışılması Durumunda Kollektör-Enjektör Mesafesinin Etkisi | E <sub>1</sub> (+)                             | P10                                  | 10                    | -                           | -Jet oluşumunun gözlenmesi<br>- Düzlemsel kollektör üzerinde elyaf toplanma alanının belirlenmesi   |
|     |  |  | P15                                  | 15                    | -                           |   |
|     |  |  | P20                                  | 20                    | -                           |   |
|     |  |  | P25                                  | 25                    | -                           |   |
|     |  | E <sub>2</sub> (-)                             | N10                                  | -                     | 10                          | - Toplanan elyaf inceliklerinin analiz edilmesi   |
|     |  |  | N15                                  | -                     | 15                          |   |
|     |  |  | N20                                  | -                     | 20                          |   |
|     |  |  | N25                                  | -                     | 25                          |   |
| II  | Tek Enjektörle Çalışılması Durumunda Voltajın Etkisi                       | E <sub>1</sub> (+)                             | Deney No                             | Uygulanan Voltaj (kV) |                             | -Jet oluşumunun gözlenmesi<br>- Düzlemsel kollektör üzerinde elyaf toplanma alanının belirlenmesi<br>-Toplanan elyaf inceliklerinin analiz edilmesi |
|     |  |  | PV12                                 | 12                    |                             |   |
|     |  |  | PV13,5                               | 13,5                  |                             |   |
|     |  |  | PV15                                 | 15                    |                             |   |
|     |  | E <sub>2</sub> (-)                             | NV125                                | 12                    |                             |   |
|     |  |  | NV13,5                               | 13,5                  |                             |   |
|     |  |  | NV15                                 | 15                    |                             |   |
| III | Çift Enjektörle Aynı Anda Çalışılması Durumunda Voltajın Etkisi            | E <sub>1</sub> (+)<br>ve<br>E <sub>2</sub> (-) | Deney No                             | Uygulanan Voltaj (kV) |                             | -Jet oluşumunun gözlenmesi<br>- Düzlemsel kollektör üzerinde elyaf toplanma alanının belirlenmesi<br>-Toplanan elyaf inceliklerinin analiz edilmesi |
|     |  |  | PNV12                                | 12                    |                             |   |
|     |  |  | PNV13,5                              | 13,5                  |                             |   |
|     |  |  | PNV15                                | 15                    |                             |   |

**Şekil 3.5.** SEM analizleri için lif toplanma bölgesinden alınan numuneler

### 3.2.3. Prototip sistemde iplik eğirmeye başlama

Bölüm 3.2.1’de detayları verilen prototip sistemin kurulumunu takiben iplik eğirme işlemine başlanmıştır. Ancak eğirme esnasında savrulma ve kopuşlar (maksimum çalışma süresi 10 dk) gözlenmiştir. Bu doğrultuda daha stabil bir eğirme ve sürekli iplik eldesi amacıyla kollektör ve sarım sistemi arasına, bir iplik kılavuzu (G) ilave edilmiş ve daha sağlıklı iplik eğirme işlemleri bu şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Bu bölüme ait çalışma parametreleri ise Tablo 3.2’de özetlenmiştir.



Şekil 3.6. Prototip sisteme kılavuz ilavesi

Tablo 3.2. Çalışma parametreleri

| Polimer Çözeltisi                   | PAN-DMF (%10) |
|-------------------------------------|---------------|
| Kollektör Dönüş Hızı (d/dk)         | 400           |
| Toplam Polimer Besleme Hızı (ml/sa) | 2             |
| Uygulanan Voltaj (kV)               | 13,5          |
| Sarım Hızı (m/sa)                   | 4,5           |
| Kılavuz Uzaklığı (c)(cm)            | 12            |

Öte yandan elektro lif çekim ile iplik eğirmede ortam koşullarının belli değerler arasında olması gerektiği bilinmektedir (Ramakrishna 2005, Levitt 2017). Bu doğrultuda çalışmalara başlamadan önce ortamın bağıl nemi ve sıcaklığı laboratuvarında bulunan Lutron marka, YK-80HT model termohigrograf cihazı ile kontrol edilmiştir (Şekil 3.7). Çalışma süresince üretimler %40-50 bağıl nem ve 20-25 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.7.** Çalışmada kullanılan termohigrograf cihazı

### **3.3. Prototip Sistemde Çalışma Parametrelerinin Lif ve İplik Özelliklerine Etkisinin Analizi**

Bu bölümde kurulan sistemin teknik çalışma sınırlarını belirlemem amacıyla kollektör dönüş hızının, iplik sarım hızının ve polimer besleme hızının lif ve iplik özelliklerine etkisi incelenmiştir. İzlenen yöntem aşağıda sırasıyla verilmiştir.

#### **3.3.1. Kollektör dönüş hızının etkisinin analizi**

Kurulan sistemde ipliğe büküm, konik formlu kollektörün dönüşü ile verilmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın bu bölümünde kollektör dönüş hızının değiştirilmesi ile lif, iplik inceliklerinin ve iplik yüzey büküm açısının değişimi incelenmiştir. Ayrıca elde edilen ipliklerin mukavemet değerleri ve iplik üretimi esnasında iplik oluşum bölgesinin konumu araştırılmıştır. Bu bölüme ait çalışma parametreleri Tablo 3.3'te verilmektedir.

**Tablo 3.3.** Çalışma parametreleri

|                             |               |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Kollektör Dönüş Hızı (d/dk) | 200           | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
| Polimer Çözelti             | PAN-DMF (%10) |     |     |     |     |     |     |     |
| Sarım Hızı (m/sa)           | 7,5           |     |     |     |     |     |     |     |
| Toplam Besleme Hızı (ml/sa) | 2             |     |     |     |     |     |     |     |
| Uygulanan Voltaj (kV)       | 13,5          |     |     |     |     |     |     |     |

### 3.3.2. Sarım hızının etkisinin analizi

Bu bölümde farklı sarım hızlarında lif ve iplik özellikleri incelenmiş olup, çalışma parametreleri Tablo 3.4'te verilmektedir.

**Tablo 3.4.** Çalışma parametreleri

|                             |               |     |      |
|-----------------------------|---------------|-----|------|
| Sarım Hızı (m/sa)           | 4,5           | 7,5 | 10,5 |
| Polimer Çözelti             | PAN-DMF (%10) |     |      |
| Toplam Besleme Hızı (ml/sa) | 2             |     |      |
| Uygulanan Voltaj (kV)       | 13,5          |     |      |
| Kollektör Dönüş Hızı (d/dk) | 450           |     |      |

### 3.3.3. Polimer besleme hızının etkisinin analizi

Elektro lif çekim yönteminde polimer besleme hızı, stabil Taylor konisini elde etmek amacıyla sisteme beslenecek çözelti miktarıdır (Ramakrishna 2005). Bu sistemin polimer besleme hızı açısından alt ve üst limitleri incelenmiştir. Bu bölümde pozitif polariteli enjektörün polimer besleme hızı  $B_{E1(+)}$ , negatif polariteli enjektörün polimer besleme hızı ise  $B_{E2(-)}$  ile ifade edilmektedir. Bu amaçla belirlenen çalışma parametreleri Tablo 3.5'te görülmektedir.

**Tablo 3.5.** Besleme hızı analizinde kullanılan çalışma parametreleri

| Polimer Çözelti             | PAN-DMF (% 10)      |      |
|-----------------------------|---------------------|------|
| Uygulanan Voltaj (kV)       | 13,5                |      |
| Kollektör Dönüş Hızı (d/dk) | 450                 |      |
| Sarım Hızı (m/sa)           | 4,5                 |      |
| $B_{E1(+)}$ (ml/sa)         | $B_{E2(-)}$ (ml/sa) | Kodu |
| 0,5                         | 0,5                 | A    |
| 0,75                        | 0,5                 | B    |
|                             | 0,75                | C    |
|                             | 1,0                 | D    |
|                             | 1,25                | E    |
| 1                           | 0,5                 | F    |
|                             | 0,75                | G    |
|                             | 1                   | H    |
|                             | 1,25                | K    |
| 1,25                        | 0,5                 | L    |
|                             | 0,75                | M    |
|                             | 1                   | N    |
|                             | 1,25                | O    |

### 3.3.4. Çözelti iletkenliğinin etkisinin analizi

Bu bölümde ayrıca polimer çözeltisine  $ZnCl_2$  tuzu ilave edilerek iletkenliğinin etkisi incelenmiştir. Nanoliflerden yüzey eldesinde polimere tuzu ilavesinin avantajları Ji (2009) tarafından belirtilmiştir. Öte yandan Wang ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada iyi lif hizalanması açısından PAN-DMF çözeltisine, BTEAC tuzu için optimum miktarın % 0,5 olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Li ve ark. (2012) tarafından PAN-DMF çözeltisinde % 0,6 oranında LiCl tuzu kullanılmıştır. Bu doğrultuda çalışmada  $ZnCl_2$  tuzu miktarı % 0,5 olarak belirlenmiştir. Bölümde uygulanan çalışma parametreleri Tablo 3.6’da verilmiştir.



**Tablo 3.6.** Çalışma parametreleri

|                                     | S: Standart iplik | T: ZnCl <sub>2</sub> tuzu ilaveli iplik |
|-------------------------------------|-------------------|---|
| Polimer Çözelti                     | PAN (%10)         | PAN (%10)- %0,5 ZnCl <sub>2</sub>       |
| İletkenlik (μS/cm)                  | 115               | 250                                     |
| Toplam Polimer Besleme Hızı (ml/sa) | 2                 |   |
| Kollektör Dönüş Hızı (d/dk)         | 450               |   |
| Sarım Hızı (m/sa)                   | 4,5               |   |
| Uygulanan Voltaj (kV)               | 13,5              |   |
| Vizkozite (cP)                      | 750               |   |

### 3.4. Prototip Sistemde Lif ve İplik Oluşumunun Analizi

#### 3.4.1. Liflerin iplik içerisindeki konumlarının analizi

Bu bölümde sistemde liflerin kollektördeki ve iplik içerisindeki yerleşim pozisyonları incelenmiştir. İki ayrı enjektörden beslenen polimer jetlerin kollektöre doğru yönlendirmeleri farklılık göstermektedir. Bu durumu ayrıntılı olarak incelemek amacıyla sırasıyla pozitif ve negatif polariteye sahip enjektöre kırmızı bazik boyarmadde (Astrazon Red A-GTL-Dystar, % 1,5) ilave edilen polimer beslenmiştir. Bu bölümde çalışma parametreleri Tablo 3.6’da S-standart iplik koşulları ile aynı şekildedir.

#### 3.4.2. Yüksek hızlı kamera ile analizler

Çalışmada her iki enjektördeki jet oluşumları ve oluşan liflerin enjektör ve kollektör arasındaki yönlendirmeleri Olympus i-speed kamera ile incelenmiştir (Şekil 3.8) (Econ Mod Square 1, 200 fps ). Bu bölümde de çalışma parametreleri Tablo 3.6’da S-standart iplik koşulları ile aynı şekildedir.



Şekil 3.8. High-speed kamera ile analizler

### 3.4.3. Sisteme ait elektrik alan simülasyonu

Ayrıca çalışma kapsamında sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan etkileşimli bir analiz programı olan QuickField programında elektrostatik halde sistemin elektrik alan şiddetinin ve yüklerinin dağılımı analiz edilmiştir. Programda model olarak  $E_1(+)$ ,  $E_2(-)$  (faz uç) ve kollektör, Solidworks programında çalışma mesafelerinde çizilerek tanımlanmıştır. Ayrıca Quickfield programına havanın, çelik kollektörün ve iğnelerin elektriksel geçirgenlik değerlerinin girişi yapılarak sisteme ait elektrik alan çizgileri elde edilmiştir.

## 3.5. Lif ve İplik Özelliklerinin Karakterizasyon ve Analizinde Kullanılan Yöntem ve Cihazlar

### 3.5.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile lif ve iplik özelliklerinin analizi

Çalışma sonucunda elde edilen lif ve iplik incelikleri ile yüzey büküm açıları Namık Kemal Üniversitesi Merkez Laboratuvarında FEI marka Quanta FEG 250 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Alınan görüntüler Photoshop PC6 programında analiz edilerek lif ve iplik incelikleri ile yüzey büküm açıları belirlenmiştir. Çalışmada üretilen ipliklerin her biri için 10 farklı bölgeden görüntü alınmış olup, her bir görüntü üzerinde rastgele 5'er adet ölçüm yapılmış, sonuç olarak her bir numune için toplam 50 adet ölçüm elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada bölüm 3.3.4 'te eğrilen iplikler için, SEM-EDX modülü kullanılarak elementer analizi yapılmıştır (Şekil 3.9).



**Şekil 3.9.** Çalışmada kullanılan SEM cihazı

### **3.5.2. İpliklerin mukavemet ve % uzama özelliklerinin analizi**

Sistemde eğrilen ipliklerin mukavemet ve % kopma uzama değerleri Namık Kemal Üniversitesi Merkez Laboratuvar 'da bulunan Tinius Olsen H10KS cihazı kullanılarak ASTM D 3822-07 test standardına göre belirlenmiş olup, çene aralığı 25 mm ve test hızı 20 mm/dk'dır (Şekil 3.10). Her iplik numunesinden 5'er adet ölçüm yapılmıştır. Mukavemet testleri öncesinde numuneler 24 saat süreyle standart atmosfer koşullarında kondisyonlanmıştır. Öte yandan literatürde nanolif ipliklerin mukavemet testlerinde 10 mm çene aralığı ve 10 mm/dk test hızı (Wu 2013); 20 mm çene aralığı ve 2 mm/dk test hızı (Fennessey 2004) gibi farklı çalışma parametrelerinin kullanıldığı görülmektedir.



**Şekil 3.10.** Çalışmada kullanılan mukavemet test cihazı

### **3.5.3. İpliklerin enine kesit analizi**

Çalışmada Bölüm 3.3.2'de elde edilen ipliklerin enine kesitlerinin analizi için Yünsa Yünlü Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde bulunan Leica RM2245 marka mikrotom

kullanılmıştır (Şekil 3.11). Cihazda reçine içerisinde dondurulan ipliklerden 20 µm kalınlığında enine kesitler alınarak, bu kesitler 3.5.1. No'lu başlıkta yer alan taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiştir.



**Şekil 3.11.** Çalışmada kullanılan mikrotom cihazı

#### **3.5.4. İpliklerin doğrusal yoğunluklarının belirlenmesi**

Bu amaçla Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde bulunan 0,00001 g ölçüm hassasiyetine sahip SHIMADZU marka hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3.12). İpliklerin doğrusal yoğunlukları, her iplik türünden 5'er adet, her biri 10'ar cm numuneler olarak belirlenmiştir. Ölçümler öncesi numuneler 24 saat süreyle standart atmosfer koşullarında kondisyonlanmıştır.

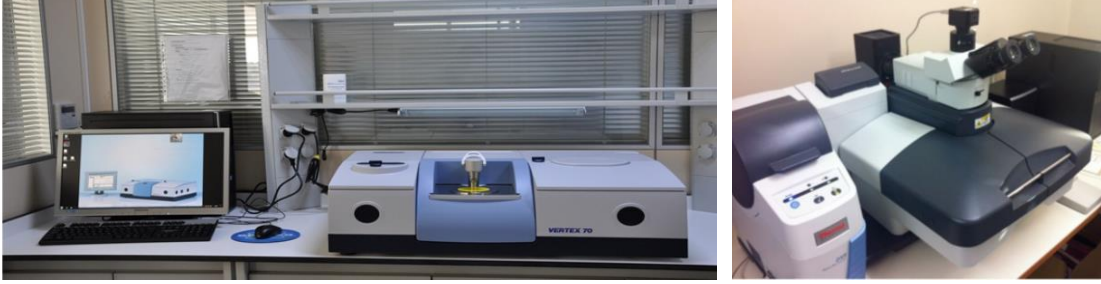


**Şekil 3.12.** Hassas terazi

#### **3.5.5. FTIR ve dispersif raman spektroskopisi ile analizler**

Çalışmada Bölüm 3.3.4'te elde edilen ipliklerde polimer zincir bağ yapılarını incelemek amacıyla Namık Kemal Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan BRUKER marka VERTEX

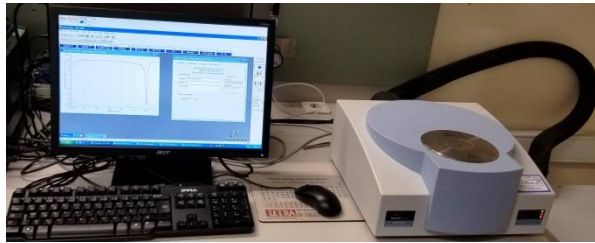
70 ATR modeli Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometre (FTIR cihazı) ve DXR Raman marka-Thermo modeli Dispersif Raman Spektroskopisi kullanılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. FTIR test cihazı ve Dispersif Raman Spektroskopisi

### 3.5.6. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile analizler

Bölüm 3.3.2 ve 3.3.4 kapsamında elde edilen ipliklere ait faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri İstanbul Kültür Üniversitesi Kimya Laboratuvarı'nda bulunan Perkin-Elmer marka DSC-4000 model diferansiyel tarama kalorimetresi ile ölçülerek DSC termogramları elde edilmiştir (Şekil 3.14). DSC analizleri 30-400 °C sıcaklıkları arasında 10 °C/dk ısıtma ve soğutma hızında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm esnasında iplik numunesi küçük parçalar halinde (0,06 mg) numune yerleştirme kabına yerleştirilirken referans kap ise boş olarak kullanılmıştır. İplik örnekleri DSC cihazında 20 ml /dk nitrojen gazı akışında 400 °C ye kadar çıkartılarak ve bu sıcaklıkta 1 dk bekletildikten sonra aynı hızda 30 °C'ye düşürülerek yapılmıştır.



Şekil 3.14. DSC test cihazı

### 3.5.7. Sonuçların grafiksel gösterimi ve istatistiksel analizi

Çalışma kapsamında Bölüm 3.5.1'de elde edilen verilerin grafiksel gösterimleri OriginPro8 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca iplik inceliği, lif inceliği, yüzey büküm açılarına ait verilerin normal dağılımları analiz edilerek, histogramları ile beraber Ek'lerde

verilmiştir. Çalışma parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlılığını ortaya koymak amacıyla t-testi veya One Way Anova (tek faktörlü varyans analizi) testi kullanılmış ve gruplar arasındaki farkı belirleyebilmek için Tukey testi kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir ( $p < 0,05$ ).

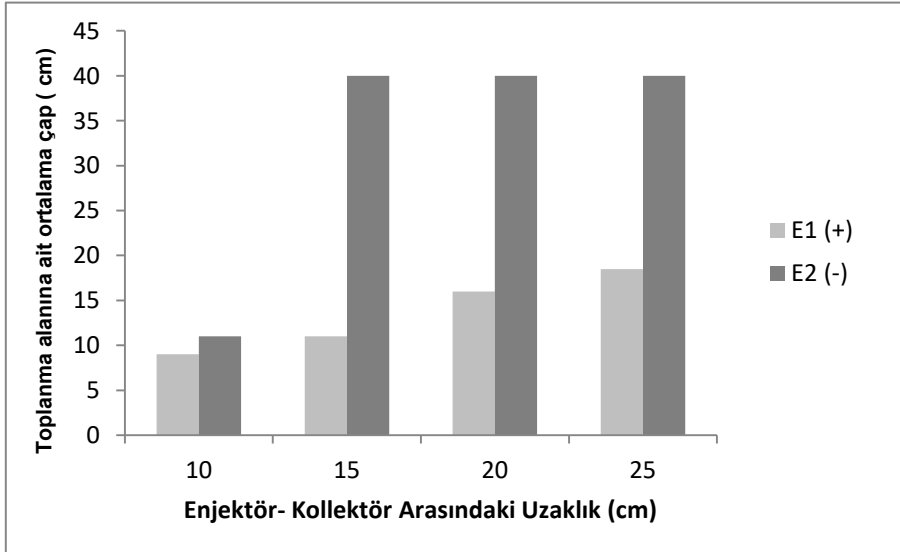
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. Prototip Sistemde Düzlemsel Kollektör Kullanarak Temel Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesine Ait Sonuçlar

Bu bölümde temel amaç, prototip sistemde konik kollektör kullanarak eğirme işlemine başlamadan önce konik kollektörde 11 cm çapa sahip lif toplanma alanını sağlayabilen enjektörler-kollektör arasındaki mesafeleri ve uygulanması gereken voltaj miktarını belirlemektir. Ayrıca eğirme işlemine başlamadan önce düzlemsel bir kollektör kullanarak enjektörler-kollektör arası mesafelerin ve voltajın toplanan liflerin inceliğine etkisi de analiz edilmiştir. Bu doğrultuda yürütülen çalışmalar 3 başlık altında aşağıda özetlenmektedir.

#### 4.1.1. Sistemde tek enjektörden polimer beslenmesi durumunda kollektör-enjektör mesafesinin etkisi

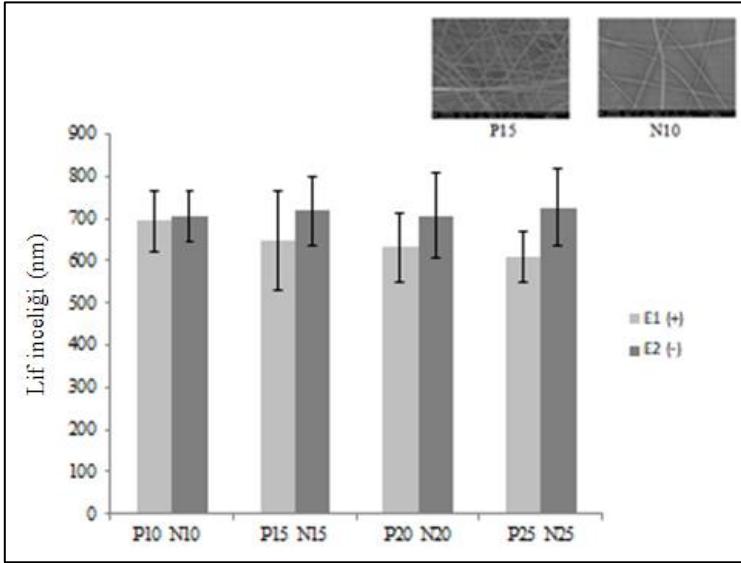
Bu bölümde pozitif ve negatif polariteye sahip enjektörlere sırayla polimer beslenerek düzlemsel kollektör üzerinde lifler bir yüzey halinde toplanarak, lif toplanma alanları ve elyaf incelikleri incelenmiştir. Lif toplanma alanlarına ait sonuçlar Şekil 4.1’de, lif inceliklerine ait sonuçlar ise Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kollektör-enjektör arası mesafenin toplanma alanına etkisi

Şekil 4.1 incelendiğinde  $E_1(+)$  - düzlemsel kollektör mesafesinin 15 cm,  $E_2(-)$  - düzlemsel kollektör mesafesinin 10 cm olması durumunda, lif toplanma alanının konik kollektör dış çapına uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca enjektörler-kollektör arasındaki mesafe arttıkça hem pozitif hem de negatif polaritedeki enjektörlerden sevk edilen lif toplanma alanlarının genişlediği gözlenmiştir.

Şekil 4.2'deki veriler incelendiğinde genel olarak pozitif polariteden elde edilen lifler negatif olarak elde edilen liflere göre daha ince olduğu görülmektedir. Öte yandan yapılan varyans analizinde (ANOVA) ve Tukey analizlerinde pozitif polariteye sahip enjektörle nanolifli yüzey üretiminde kollektör-enjektör arasındaki mesafe ( $a_1$ ) arttıkça liflerin incelendiği göze çarpmakla beraber P10 haricinde istatistiksel olarak önemli fark elde edilmemiştir (Ek 1). Negatif polariteye sahip enjektörde ise kollektör-enjektör arasındaki mesafe ( $a_2$ ) arttıkça ortalama lif çaplarının bir miktar arttığı görülmekle beraber, istatistiksel analiz sonuçları sadece N10 ve N25 arasında önemli fark olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.2. Kollektör-enjektör arası mesafenin lif inceliğine etkisi

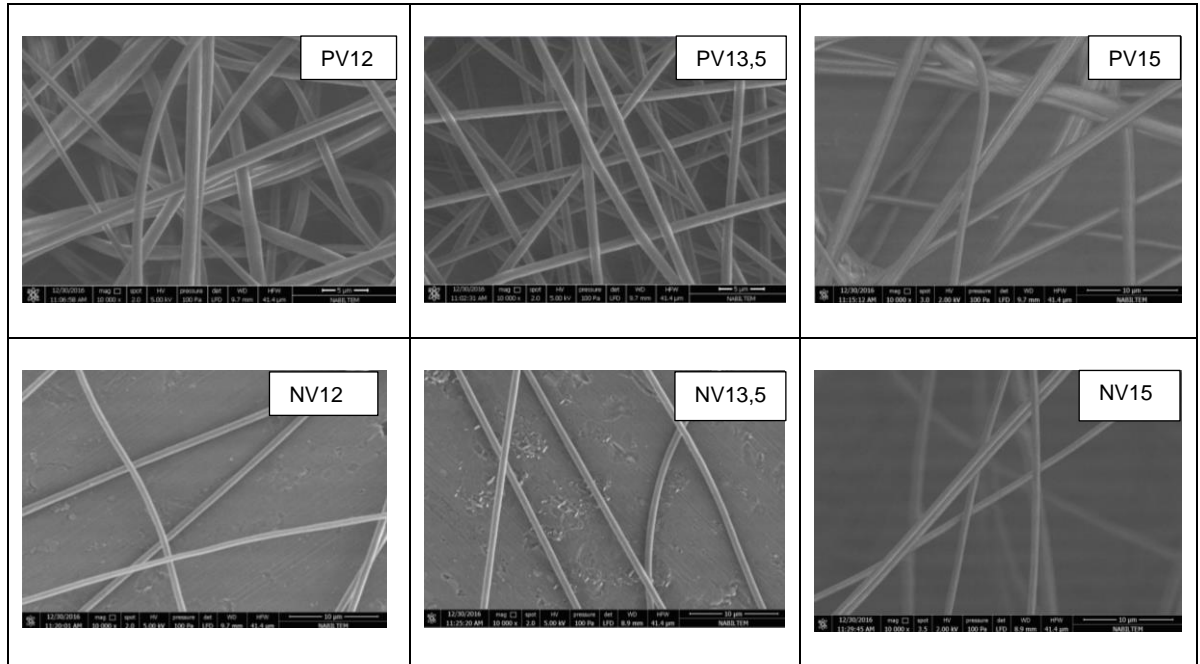
Sonuç olarak, pozitif polariteli enjektörden daha ince lifler edildiği görülmüştür. Pozitif polariteye sahip enjektör için enjektör-kollektör mesafesinin ( $a_1$ ) 15 cm, negatif polariteye sahip enjektör için ( $a_2$ ) 10 cm olması durumunda, lif toplanma alanının, iplik eğirme esnasında



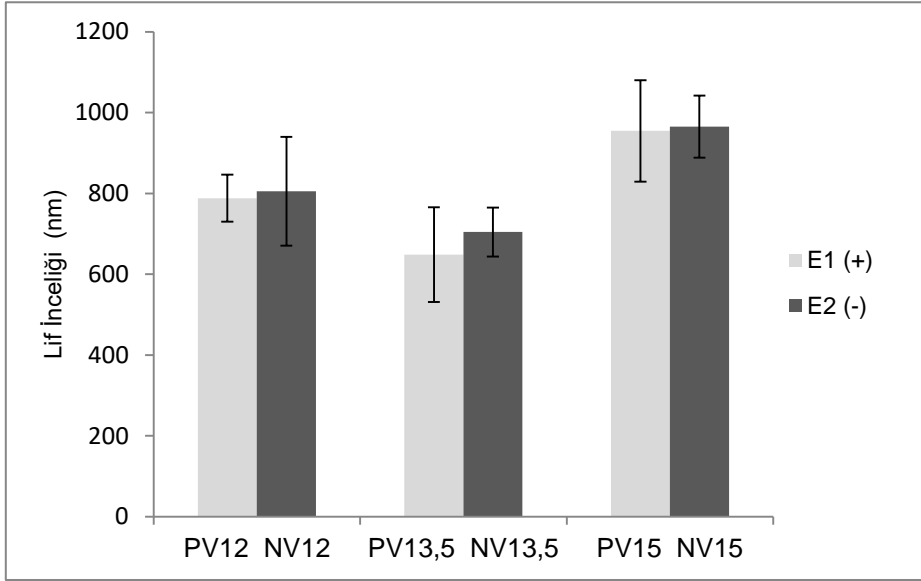
kullanılacak konik kollektör dış çapına yaklaştığı, bu nedenle eğirme esnasında liflerin kollektör üzerinde toplanabilmesi için uygun pozisyonlar olduğunu ortaya koymaktadır. Belirlenen bu pozisyonların, arzu edilen lif toplanma alanını sağlaması yanında en ince liflerin elde edilmesine yol açtığı da görülmektedir.

#### 4.1.2. Sistemde tek enjektörden polimer beslenmesi durumunda voltajın etkisi

Uygun kollektör-enjektör uzaklıklarının belirlenmesini takiben, bu bölümde  $E_1(+)$  ve  $E_2(-)$  sırasıyla polimer beslenerek voltajın etkisi incelenmiştir. Bu bölümde de benzer şekilde düzlemsel kollektör üzerinde elde edilen lif toplanma alanları analiz edilmiş, ancak voltajın önemli etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Bu bölümde elde edilen yüzeylere ait örnek birer SEM görüntüsü Şekil 4.3'te; lif inceliklerinin analizi sonucu elde edilen değerler ise Şekil 4.4'te görülmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde pozitif polariteli enjektörle çalışılması durumunda 13,5 kV değerinde elde edilen liflerin, 12 kV değerinde elde edilene göre lif çekiminin artması sebebiyle bekleneceği üzere daha ince olduğu görülmektedir. Ancak 15 kV seviyesine çıktığında lif çapının arttığı görülmektedir. Nitekim benzer durum Zhang ve ark. (2005) tarafından yüksek voltaj değerinde polimerin tam kurumaması ile açıklanmaktadır. Ayrıca 15 kV voltajda ara ara boncuklu lif oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.3. Lif yüzeylerine ait SEM görüntülerine örnekler

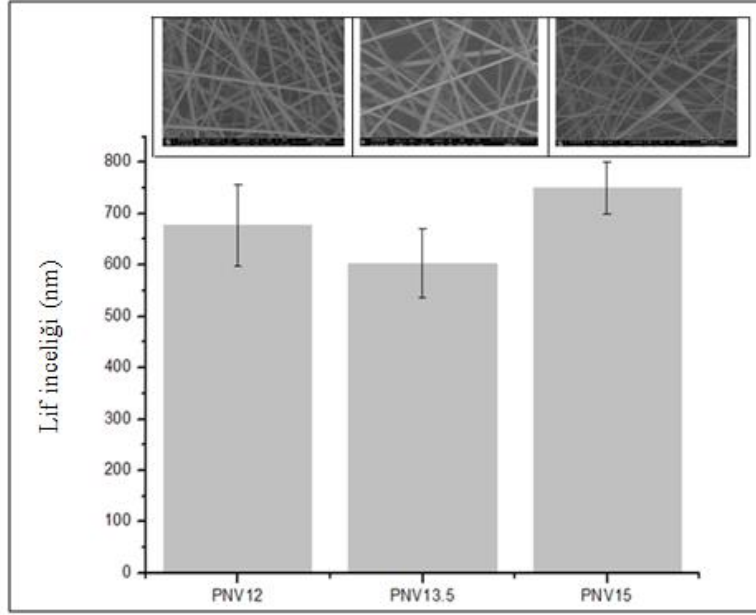


**Şekil 4.4.** Uygulanan voltajın lif inceliklerine etkisi

Öte yandan uygulanan voltajın liflerin toplanma alanı üzerinde, enjektör-kollektör arası mesafeler kadar etkili olmadığı gözlenmiştir. Bu şartlarda 13,5 kV voltajın değerinin söz konusu sistemde iplik eğirme için en uygun değer olduğu ortaya koymaktadır.

#### **4.1.3. Çift enjektörle aynı anda çalışılması durumunda voltajın etkisi**

Bu bölümde ideal enjektör-kollektör mesafelerinin belirlenmesini takiben enjektörlerin her ikisinden de aynı anda polimer sevk edilerek farklı voltaj değerlerinin düzlemsel kollektörde lif toplanma alanı ve lif inceliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca farklı voltaj değerlerinde elde edilen lif incelikleri dair sonuçlar ve SEM görüntülerine ait birer örnek Şekil 4.5'te yer almaktadır. Bu sonuçlar en ince liflerin yine 13,5 kV voltaj değerinde elde edildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca varyans analizinde (ANOVA) ve Tukey analizlerinde, ortalama lif incelikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Ek 1). Öte yandan voltajın lif toplanma alanına etkisi gözlenmemiştir.



**Şekil 4.5.** Enjektörlerin aynı anda kullanımı durumunda lif incelikleri

Sonuç olarak bu bölümde elde edilen sonuçlar genel olarak özetlenecek olursa, prototip sistemde iplik eğirme için en uygun enjektör pozisyonları ve voltajın  $a_1$ :15 cm,  $a_2$ :10 cm ve 13,5 kV şeklinde olduğu görülmektedir.

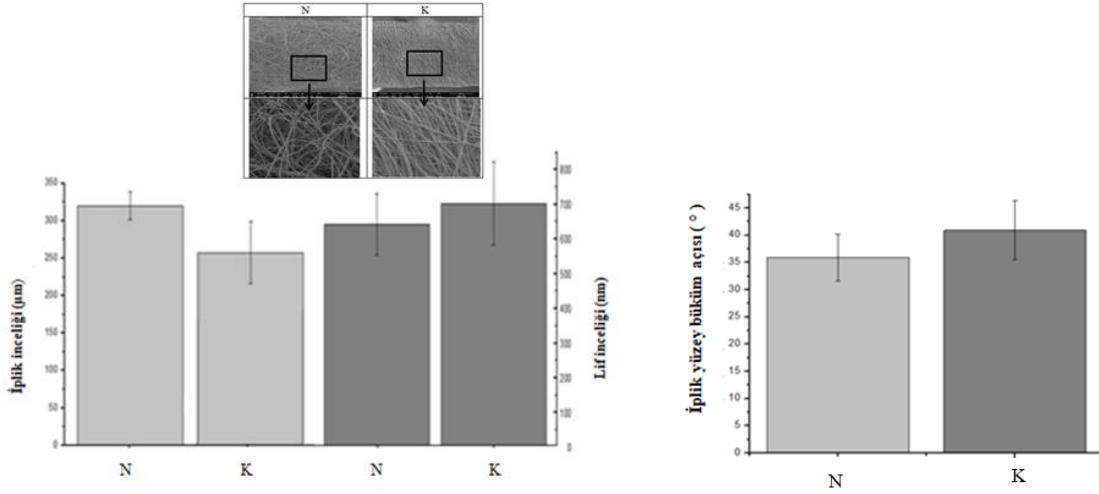
#### **4.2. Prototip Sistemde İplik Eğirmeye Başlama ve Eğirme İşleminin Stabil Hale Getirilmesi**

Bölüm 3.2.3'te belirtildiği üzere daha stabil bir eğirme işlemi için prototip sisteme kılavuz ilave edilerek nanolif iplikler eğrilmiştir (Şekil 4.6). Bu bölümde eğirme işlemine sağladığı katkıların yanında iplik özellikleri üzerinde etkisini incelemek amacıyla kılavuzsuz halde (N) ve sisteme kılavuz ilavesi ile (K) iplikler üretilmiş, lif ve iplik özellikleri incelenmiştir. Söz konusu ipliklere ait SEM görüntülerine ait örnekler yanında, iplik ve lif inceliklerine dair sonuçlar Şekil 4.7'de verilmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde K ipliğinin, N ipliğine göre daha düzgün ve ince olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.6.** Kılavuz ilave edilmiş prototip sistemde iplik eğirme

Öte yandan çalışmada kılavuz kullanılması durumunda iplik çapının azalmasına rağmen lif çapının bir miktar arttığı da gözlenmiştir. Bu sonuç kılavuz olmadan çalışma durumunda, iplikler merkezlenemediği için savrulan iplik içindeki liflerin ilave çekime uğraması ile açıklanabilir. Aynı zamanda iplik yüzey büküm açısının da kılavuz ile üretilen iplikte daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan t-testlerinde, iplik, lif incelikleri ve iplik yüzey büküm açıları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu görülmüştür (Ek 2). Bu bilgiler ışığında prototip sistemde iplik eğirmenin kılavuz kullanılarak yapılmasına karar verilmiştir.



**Şekil 4.7.** Kılavuz ilavesi sonucu iplik ve lif incelikleri ile yüzey büküm açısında değişim

### 4.3. Prototip Sistemde Çalışma Parametrelerinin Lif ve İplik Özelliklerine Etkisinin Analizi

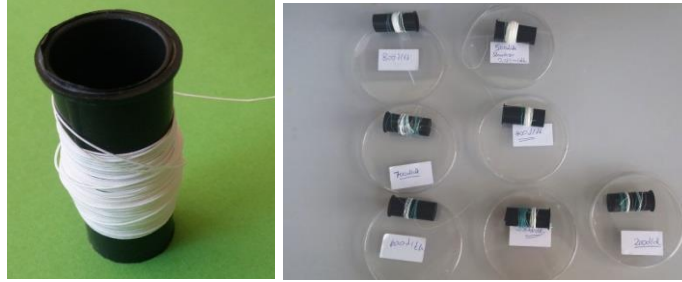
Bu bölümünde, kurulan prototip sistem üzerinde kollektör dönüş hızı, iplik sarım hızı, polimer besleme hızı ve çözelti iletkenliğinin elde edilen iplik ve lif incelikleri, iplik yüzey

büküm açıları ve iplik mukavemetine etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca Bölüm 3.3.2’de elde edilen iplikler için enine kesit görüntüleri yanında, Bölüm 3.3.4’de elde edilen iplikler için DSC, FTIR analizleri de gerçekleştirilmiştir.

#### 4.3.1. Kollektör dönüş hızının etkisinin analizi

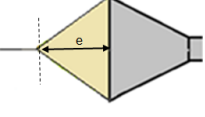
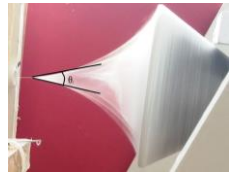

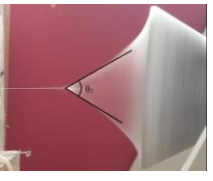

Sistemde büküm, kollektörün dönüşü ile verilmekte ve elde edilen bükümlü iplik, sarım sistemi tarafından bobin halinde sarılmaktadır. Bölüm 3.3.1’de detayları verilen 8 farklı iplik türü elde edilmiştir (Şekil 4.8).

İplik eğirmeye öncelikle 100 d/dk kollektör dönüş hızı ile başlanmış ancak, liflerin kollektör tarafından toplanamadığı gözlenmiştir. Kollektör dönüş hızı 200 d/dk’ya çıkarıldığında kollektör üzerinde konik formda lif ağ yapısı elde edilerek ve iplik eğirme gerçekleşmekle beraber, sevk edilen liflerin tam anlamıyla iplik yapısına dahil edilemediği gözlenmiştir. 300 d/dk ve sonrasında sağlıklı iplik eğirme gerçekleşmiştir. Ancak belirli bir noktadan sonra kollektör dönüş hız artışının ipliklerde bir miktar incelmeye sebep olduğu görülmüştür. Kollektör dönüş hızı 900 d/dk’ ya ulaştığında ise yüksek hızın etkisiyle liflerde saçılma ve buna bağlı olarak da iplik inceliğinde önemli azalma gözlenmiş, dolayısıyla sistemde 200 d/dk ve altında, 900 d/dk ve üzerinde iplik eğrilmesinin sağlıklı olmadığı sonucuna varılmıştır.



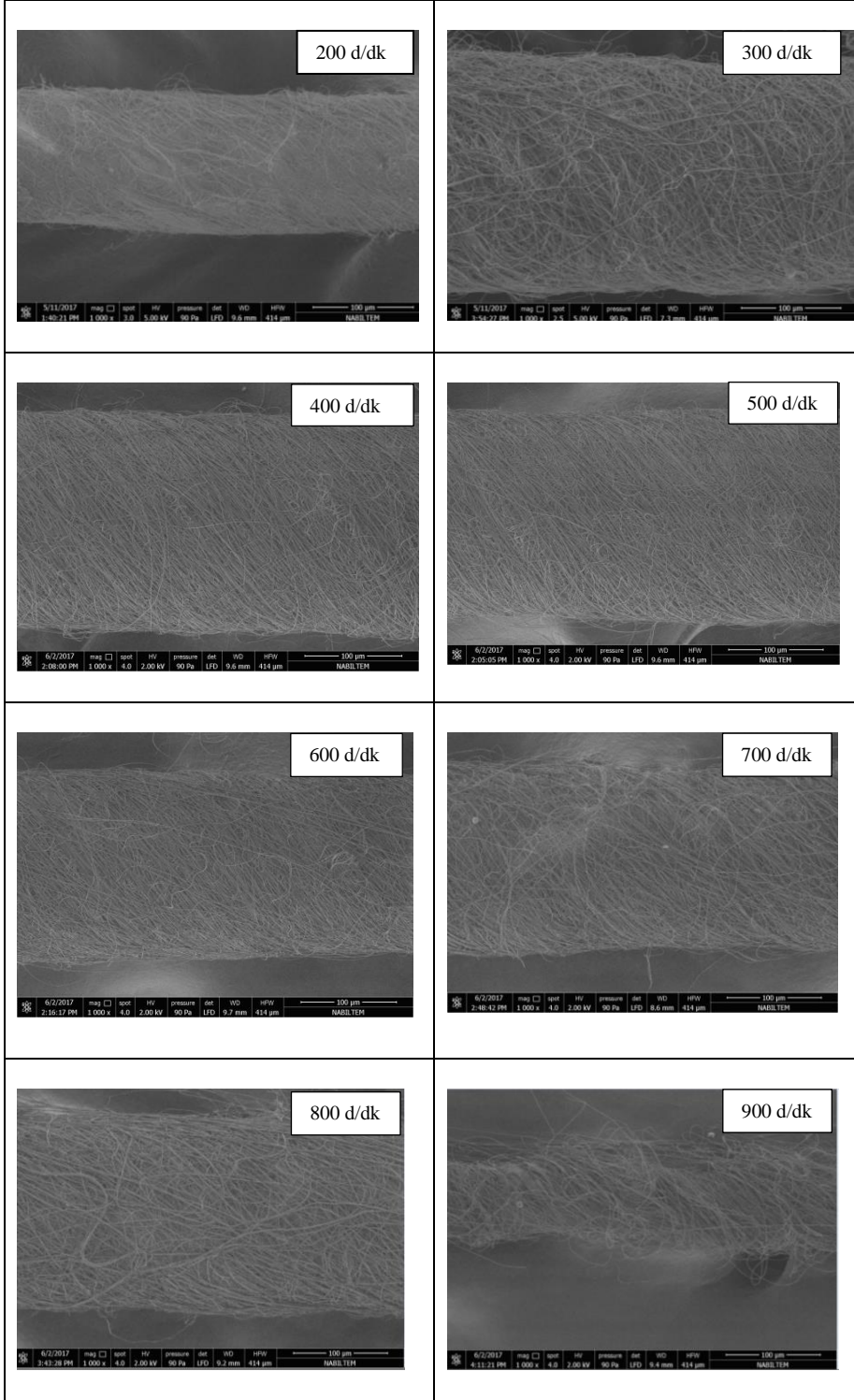
Şekil 4.8. Üretilen nanolif iplikler

Bu üretimlerde öncelikle iplik oluşumları incelenmiş ve kollektör dönüş hızı arttıkça iplik oluşum bölgesinin Şekil 4.9’da görüldüğü gibi kollektöre doğru kaydığı gözlenmiştir. Daha farklı bir eğirme sisteminde Hajjani ve ark. (2012) tarafından da iplik oluşum bölgesi gözlenmiş, konik nanoağ e-üçgen olarak adlandırılarak bu bölgenin sarım hızının artmasıyla küçülerek kollektöre doğru kayma gösterdiği, iplik oluşum bölgesinin de kollektöre yaklaştığı belirtilmiştir.

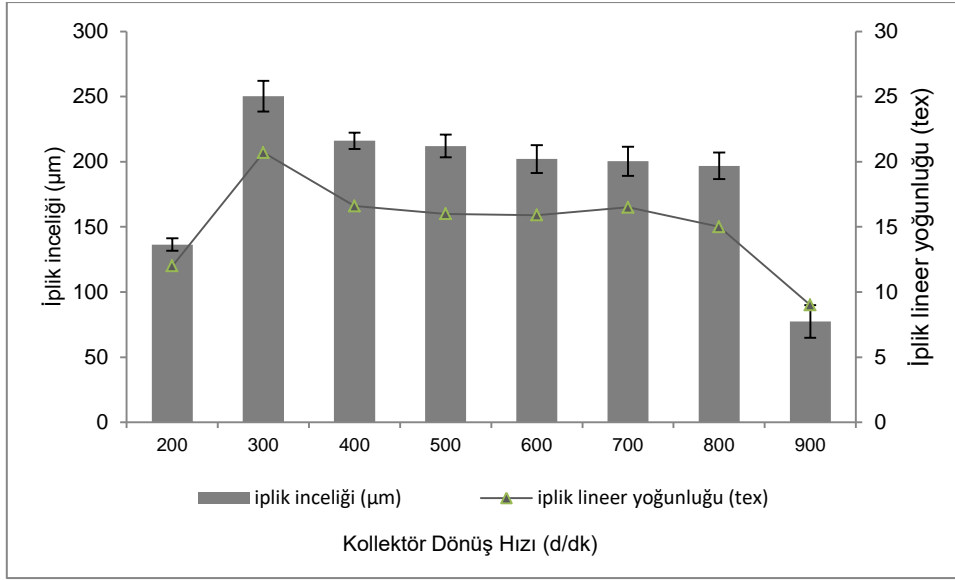
| Kollektör Hızı (d/dk)   | 200   | 400   | 500  | 900   |
|---|---|---|--|---|
|  <p>İplik Oluşum Bölgesinin Konumu</p> |  |  |  |  |
| e (cm)  | 11  | 5,5   | 4,5  | 2   |

**Şekil 4.9.** Kollektör dönüş hızına bağlı olarak iplik oluşum bölgesinin konumu

Bu bölümde elde edilen ipliklere ait örnek SEM görüntüleri Şekil 4.10'da, ortalama iplik inceliği ve iplik lineer yoğunluğuna ait sonuçlar ise Şekil 4.11'de verilmektedir. İplik inceliğine ait sonuçlar incelendiğinde, sağlıklı eğirmenin gerçekleştiği 300-800 d/dk aralığında elde edilen en düşük ortalama iplik inceliği 196  $\mu\text{m}$  iken, en yüksek değer 250  $\mu\text{m}$  olduğu görülmektedir.



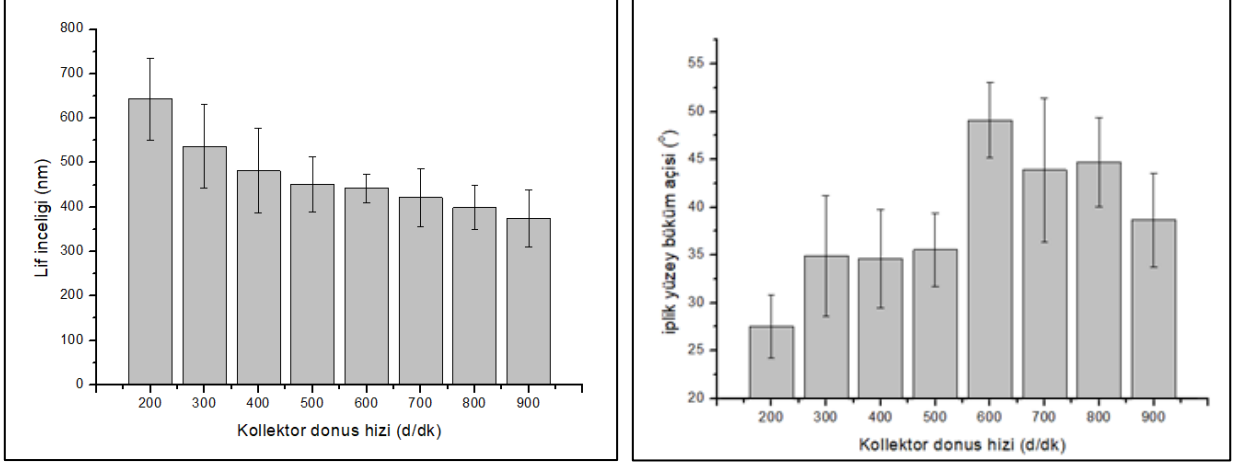
Şekil 4.10. İpliklere ait SEM görüntülerine örnekler



**Şekil 4.11.** Kollektör dönüş hızının lif inceliği ve lineer yoğunluğuna etkisi

Lif inceliklerindeki ve iplik yüzey büküm açısındaki değişim ise Şekil 4.12’de verilmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde kollektör dönüş hızının artmasıyla birlikte ipliklerin daha ince liflerden oluştuğu, örneğin 300 d/dk’da, iplikler ortalama 536 nm inceliğinde liflere sahipken, 800 d/dk’da ortalama lif inceliğinin 399 nm olduğu görülmektedir. Bu durum kollektör dönüş hızının artışıyla polimer jetin hızında ve dolayısıyla çekim miktarında artış ile açıklanmaktadır. Bu sonuçların literatürde benzer sistemle üretilmiş PAN esaslı iplikler ve liflerle uyumlu olduğu görülmektedir (Dabirian 2007, He 2013-2014, Xie 2013, Ravandi 2015). Ayrıca kollektör dönüş hızının artmasıyla iplik yüzey büküm açısının arttığı görülmektedir. Ancak iplik üretimi esnasında kollektörün dönüş hızı arttıkça daha sık iplik kopuşları gözlenmiştir.

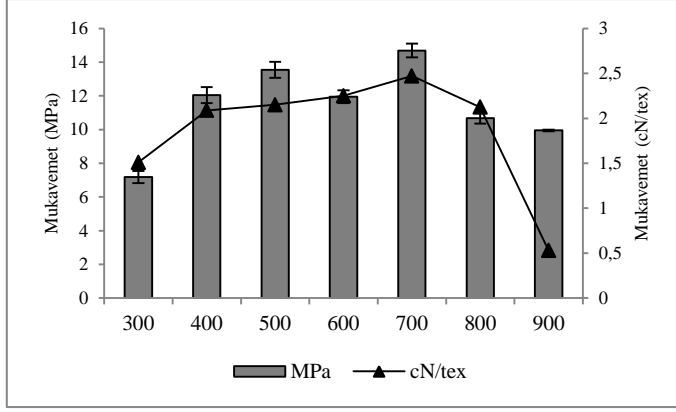




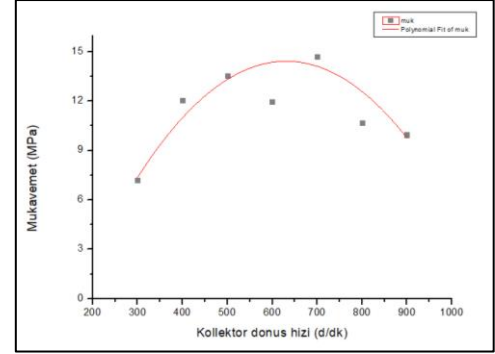
**Şekil 4.12.** Kollektör dönüş hızının lif inceliği ve yüzey büküm açısına etkisi

Kollektör dönüş hızının iplik ve lif inceliği ile iplik yüzey büküm açlarına etkisi ayrıca istatistiksel olarak da analiz edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Ek 3’de verilmiştir. Yapılan varyans analizinde (ANOVA) ve Tukey analizlerinde 400-500, 600-700, 700-800 d/dk kollektör dönüş hızlarına ait ortalama iplik inceliği değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı görülmüştür.

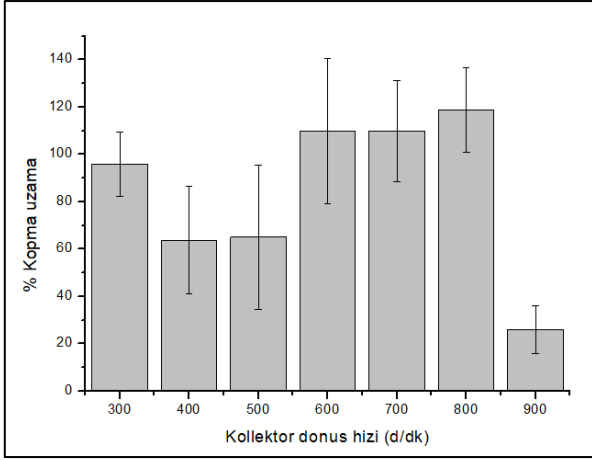
Şekil 4.13’te görüldüğü üzere bu bölümde ayrıca iplik mukavemeti ve % kopma uzama özellikleri de analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kollektör dönüş hızına bağlı olarak mukavemetteki değişimin konvansiyonel ipliklere benzer bir eğilim sergilediği görülmektedir. Öte yandan elektro lif çekim yöntemi ile elde edilen PAN esaslı nanolif ipliklere ait literatürde yer alan mukavemet değerlerinin geniş bir aralığa sahip olduğu göze çarpmaktadır. Örneğin He ve ark. (2013) tarafından sunulan huni kollektör ve çift eşlenik sistemin kullanıldığı çalışmada ortalama iplik mukavemeti olarak 55,7 MPa belirtilirken, Levitt ve ark. (2017) tarafından çift enjektör ve huni formuna sahip bakır malzemeden yapılmış bir kollektör kullanarak elde edilen ipliklerin ortalama mukavemeti 4,25 MPa olarak verilmektedir. Ayrıca elektro lif çekim yöntemi ile elde edilen PAN esaslı nano ipliklerin mukavemetlerinin genel olarak düşük olduğu göze çarpmakta olup, iyileştirmeye yönelik çalışmalar mevcuttur (Wang 2008, Barua 2017).



(a)



(b)

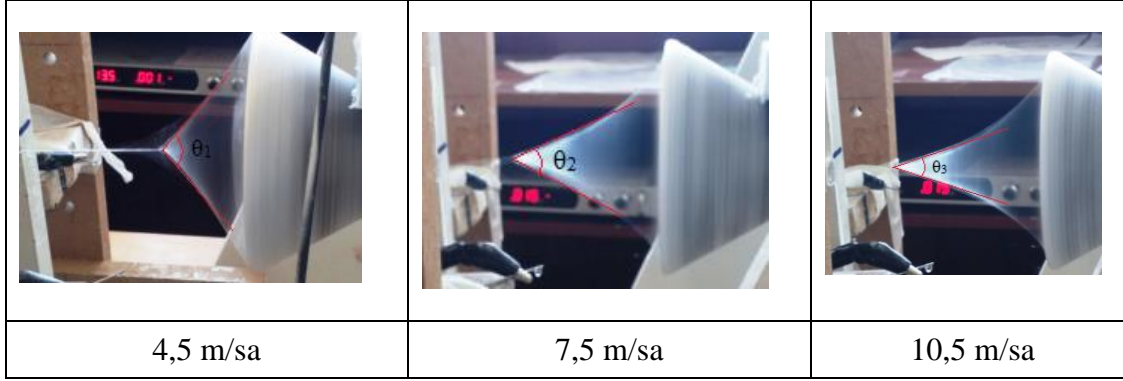


(c)

**Şekil 4.13.** Kollektör dönüş hızının iplik mukavemeti (a-b) ve % kopma uzamasına etkisi (c)

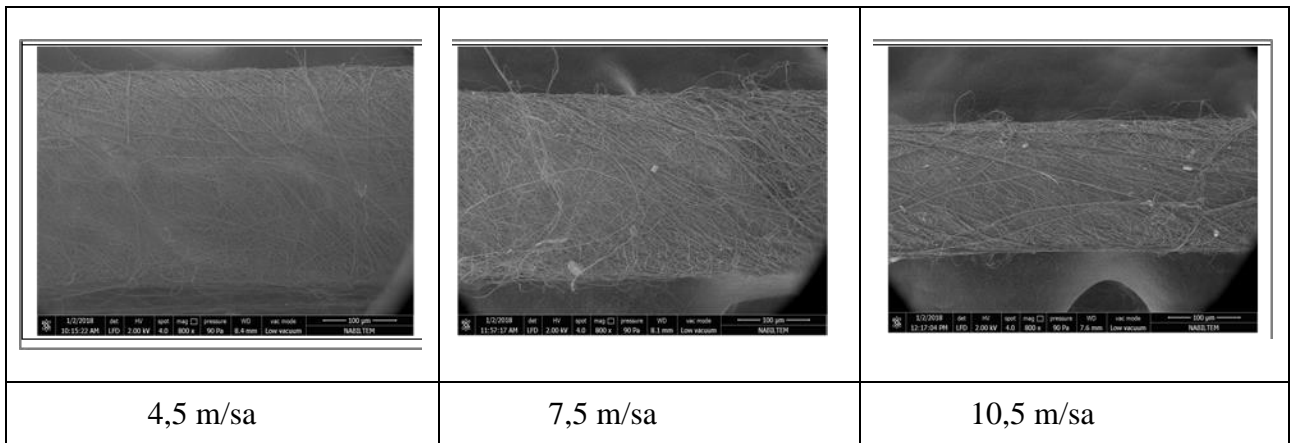
#### 4.3.2. Sarım hızının etkisinin analizi

Bu bölümde farklı sarım hızlarında nanolif iplikler eğrilmiş olup, öncelikle eğirme esnasında iplik sarım hızının iplik oluşum bölgesine etkisi gözlenmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde bekleneceği üzere sarım hızı arttıkça iplik oluşum bölgesinin iplik kılavuzuna doğru ilerlediği gözlenmiştir.

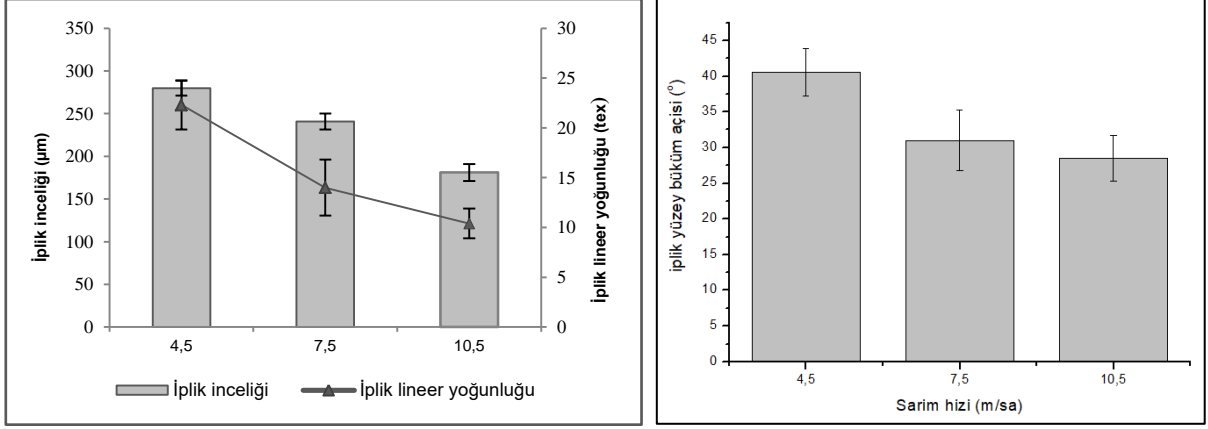


**Şekil 4.14.** Sarım hızına bağlı olarak iplik oluşum bölgesinin konumu

Farklı sarım hızlarında elde edilen ipliklerin SEM görüntülerine örnekler Şekil 4.15'te, söz konusu ipliklere ait ortalama iplik inceliği, ipliklerin lineer yoğunlukları ve lif inceliği sonuçları Şekil 4.16 ve 4.17'de verilmektedir. Bu sonuçlar bekleneceği üzere sarım hızının artmasıyla daha ince ve daha düşük doğrusal yoğunluğa sahip ipliklerin eğrilebileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Benzer şekilde yüzey büküm açıları da azalmaktadır. Bu durum konvansiyonel eğirme sistemi ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca sarım hızının iplik inceliği ve iplik yüzey büküm açılarına etkisi istatistiksel olarak analiz edilmiş olup, yapılan varyans analizinden (ANOVA) ve Tukey analizlerinden elde edilen sonuçlar, iplik incelikleri ve iplik yüzey büküm açıları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur (Ek 4).

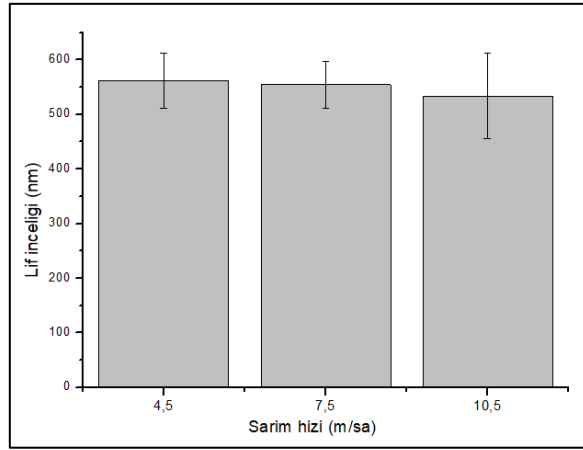


**Şekil 4.15.** Farklı sarım hızlarında elde edilen ipliklere ait SEM görüntülerine örnekler



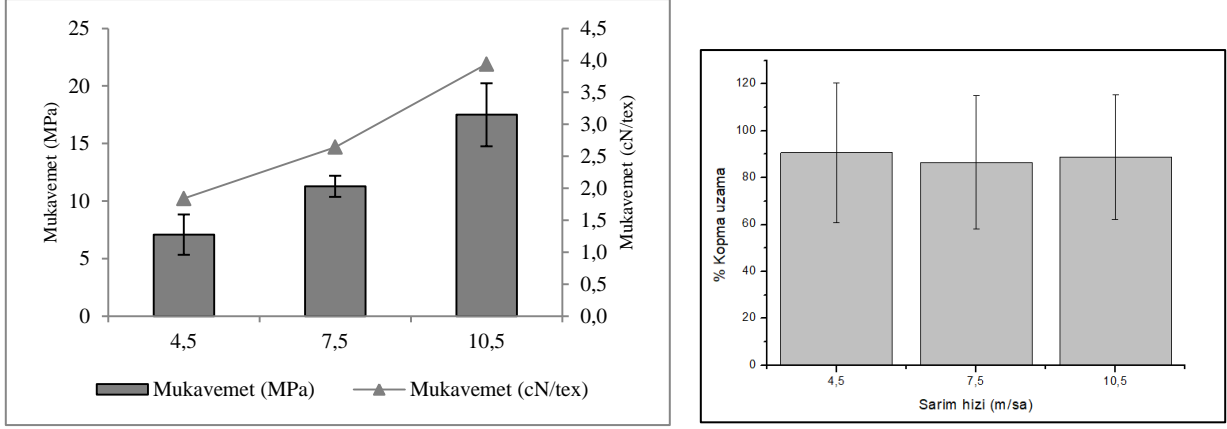
**Şekil 4.16.** Sarım hızının iplik inceliğine ve iplik yüzey büküm açısına etkisi

Sarım hızının lif inceliğine etkisi ise Şekil 4.17 ile verilmekte olup, sarım hızının artışıyla lif inceliğinde belirgin bir değişim gözlenmemiş aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir (Ek 4).



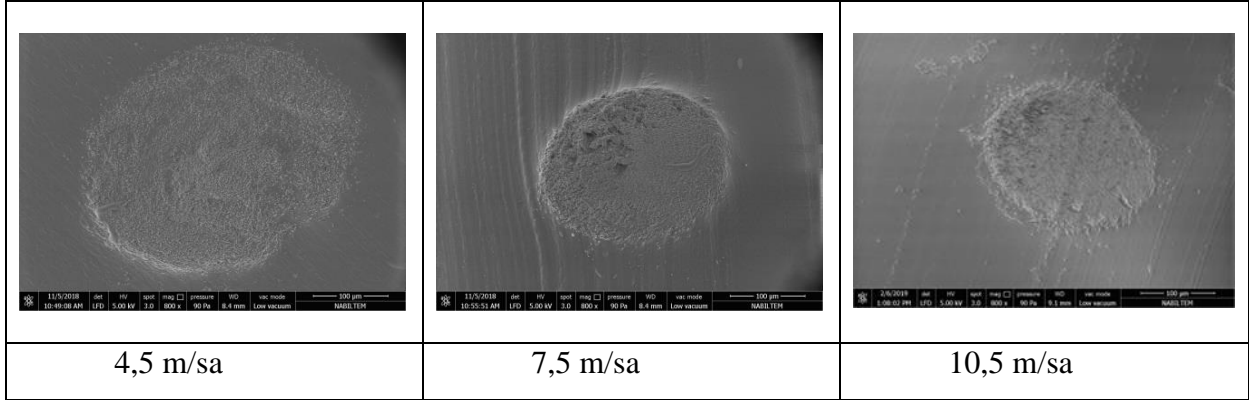
**Şekil 4.17.** Sarım hızının lif inceliğine etkisi

Aynı zamanda sarım hızının artmasıyla iplik mukavemetleri artmakta, % kopma uzama değerlerinin ise belirgin olarak değişmediği görülmektedir (Şekil 4.18). Benzer sonuçlar sarım sisteminin dönüşüyle ipliğe büküm verilen sistem ile çalışan Maleki ve ark. (2013) tarafından da ortaya konulmuştur.



**Şekil 4.18.** Sarım hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi

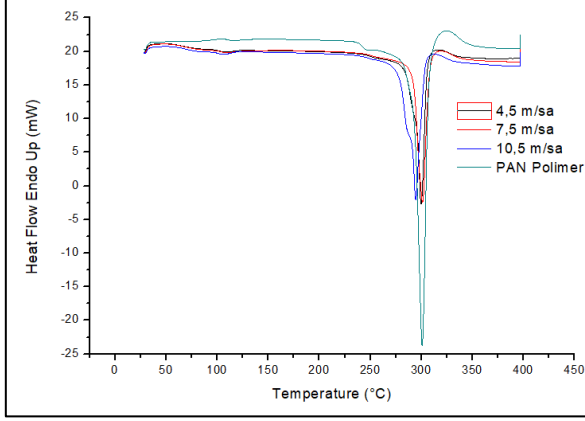
Bu bölümde ayrıca üretilen nanolif ipliklerin enine kesitleri de incelenmiş olup, elde edilen görüntüler Şekil 4.19’da verilmektedir. Düşük sarım hızı ile üretilen ipliklerde, lifler arasında boşluklar yer almakta, sarım hızının artmasına bağlı olarak boşluk miktarı azalmakta, ipliklerin daha kompakt hale geldiği görülmektedir.



**Şekil 4.19.** İpliklerin enine kesit görüntüleri

Söz konusu ipliklerin ayrıca termal özellikleri DSC ile analiz edilmiş olup, elde edilen termogramlar Şekil 4.20’de yer almaktadır. Farklı sarım hızında üretilen ipliklerin  $T_g$  değerleri ( $115^\circ\text{C}$ ) arasında fark bulunmamasıyla beraber, saf PAN polimerinin  $T_g$  değeri  $97^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Bu durumun polar çözücü olan DMF’nin boşluklarda ve gözeneklerde sıkışarak PAN polimeri yapısındaki nitril grupları ile dipol-dipol etkileşime girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim benzer sonuçlar Khan ve ark. (2017) tarafından da gözlenmiştir. Öte yandan elektro lif çekimi ile üretilen nanolifli yüzeylerde yer alan PAN nanoliflerin  $T_g$  değerleri

104° C olarak belirtilmiştir (Alarifi 2015, Khan 2017). Bu durumda saf PAN polimeri, PAN nanolifli yüzey ve nanolifli ipliğe doğru  $T_g$  değerinin giderek yükseldiği söylenebilir. Dolayısıyla lif oryantasyonu arttıkça molekül zincirlerin düzenlendiği ve termal dayanıklılığın arttığı düşünülmektedir.



Şekil 4.20. Farklı sarım hızlarında üretilen nanolif ipliklere ait DSC termogramı

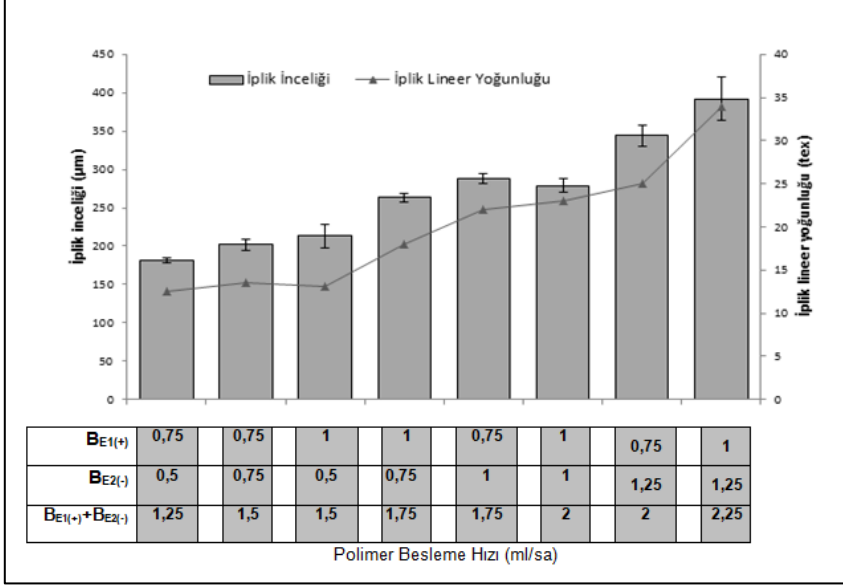
#### 4.3.3. Polimer besleme hızının etkisinin analizi

Bu bölümde polimer besleme hızının lif ve iplik özelliklere etkisini incelemek amacıyla 13 farklı besleme hızı ile çalışılmış, optimum polimer besleme hızının belirlenmesi hem sürekli ve sorunsuz iplik üretimi, hem de lif ve iplik özellikleri açısından değerlendirme yapılmıştır. Tablo 4.1’de verilen sonuçlar  $B_{E1(+)}$  için 0,5; 0,75 ve 1,25 ml/sa besleme hızlarında sağlıklı eğirmenin gerçekleşmediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca polimer besleme hızının yüksek olduğu şartlarda fazla miktarda boncuk oluşumu gözlenmiştir. Bu durum polimer besleme hızının artmasına bağlı olarak liflerin tam olarak kurumaması ile açıklanmaktadır (Ramakrishna 2005). Benzer şekilde Wu ve ark. (2013, 2014) tarafından sunulan çalışmada düşük polimer akış hızında yetersiz lif oluşumu gözlemlendiği, yüksek polimer akış hızlarında ise polimer damlacıklarının eğirme bölgesine ulaşarak konik formu bozduğu ifade edilmiştir. Ancak  $B_{E1(+)}$  için 1 ml/sa değerlerinde önemli sorun olmadan çalışılabildiği; sonuç olarak sürekli, kesintisiz ve stabil iplik eğirme için,  $B_{E1(+)}$ : 1 ml/sa,  $B_{E2(-)}$ : 0,75-1 ml/sa aralığının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 4.1.** Besleme hızının iplik eldesine etkisi

| Kodu | $B_{E1(+)}$<br>(ml/sa) | $B_{E2(-)}$<br>(ml/sa) | Gözlem ve Açıklamalar   |
|------|------------------------|------------------------|---|
| A    | 0,5                    | 0,5                    | Pozitif polariteye sahip enjektörde polimer besleme miktarı yetersiz kalmıştır. Çok ince iplik eğrilmiş olup, eğirme stabilitesi kötüdür. Ayrıca sık sık kopuş meydana gelmiştir. |
| B    | 0,75                   | 0,5                    | İplik eldesi sağlanmıştır. Ancak kopuş olmadan üretilen maksimum iplik uzunluğu 30 cm civarındadır.   |
| C    |                        | 0,75                   | Kopuşsuz iplik üretimi gerçekleşmiştir. Ancak kopuş olmadan üretilen maksimum iplik uzunluğu 30 cm civarındadır.  |
| D    |                        | 1,0                    | İplik eldesi sağlanmıştır. Ancak kopuş olmadan üretilen maksimum iplik uzunluğu 30 cm civarındadır.   |
| E    |                        | 1,25                   | İplik eldesi sağlanmıştır. Ancak kopuş olmadan üretilen maksimum iplik uzunluğu 30 cm civarındadır.   |
| F    | 1                      | 0,5                    | Bu şartlarda iplik üretimi gerçekleşmiş olup, negatif polariteye sahip enjektörden yetersiz besleme sebebiyle kopuşlar oluşur.  |
| G    |                        | 0,75                   | Sürekli, kopuşsuz iplik üretimi gerçekleşmiştir. Metrelerce iplik üretiminin (3 saat) yapılabildiği görülmüştür.  |
| H    |                        | 1                      | Sürekli, kopuşsuz iplik üretimi gerçekleşmiştir. Metrelerce iplik üretiminin (3 saat) yapılabildiği görülmüştür.  |
| K    |                        | 1,25                   | Sürekli iplik üretimi gerçekleşmiştir. Ancak negatif polariteye sahip enjektörde damlama nedeniyle iplikte çap varyasyonu fazladır.   |
| L    | 1,25                   | 0,5                    | Düzensüz iplik eldesi sağlanmıştır. Kopuş olmamıştır, ancak iplik yapısı çok tüylü ve yer yer kalındır. Besleme hızına bağlı olarak boncuklar gözlenmiştir.                       |
| M    |                        | 0,75                   |   |
| N    |                        | 1                      |   |
| O    |                        | 1,25                   |   |

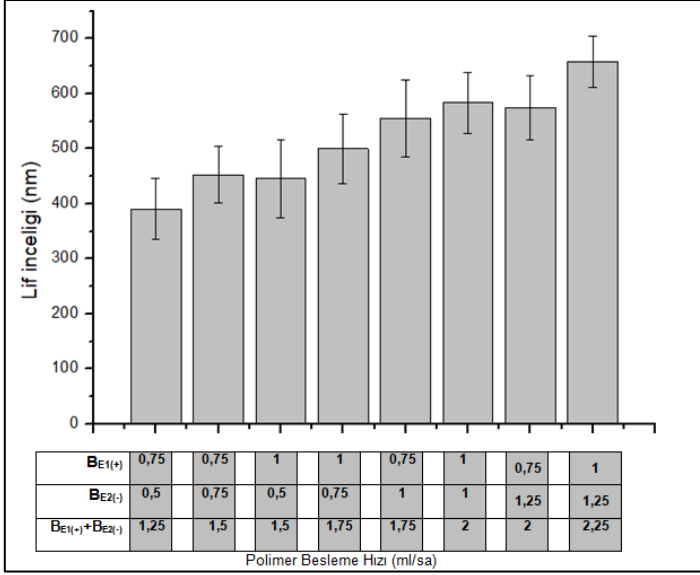
Ayrıca elde edilen iplik ve liflerin inceliği, iplik yüzey büküm açıları ve iplik mukavemetleri incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.21-4.24 ile verilmektedir. Şekil 4.21 incelendiğinde polimer besleme hızının bekleneceği üzere iplik inceliğini doğrudan etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.21. Polimer besleme hızının iplik inceliğine etkisi

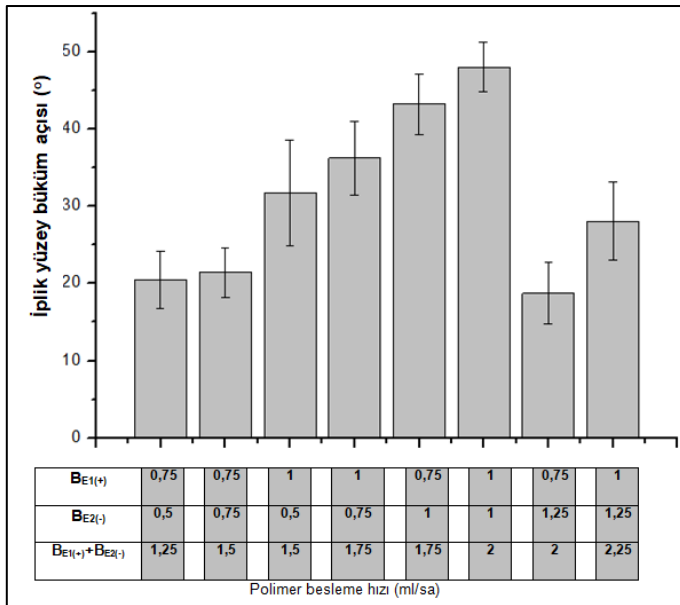
Şekil 4.22’den görüldüğü gibi polimer besleme hızının artması lif çaplarının da artmasına sebep olmaktadır. Öte yandan  $B_{E1(+)}$  değerinin  $B_{E2(-)}$  değerine göre daha yüksek olması durumunda ipliklerin daha ince liflere sahip olduğu görülmektedir. Benzer durum Ali ve ark. (2012) tarafından da gözlenmiştir. Ayrıca Bölüm 4.1.1’de düzlemsel kollektörle elde edilen veriler bu sonucu desteklemektedir.





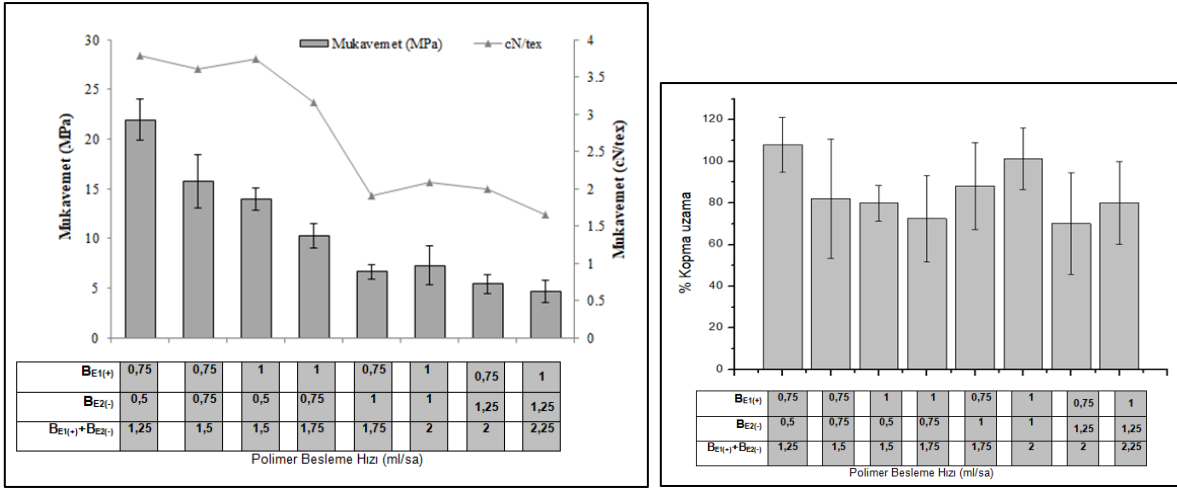
Şekil 4.22. Polimer besleme hızının lif inceliğine etkisi

Şekil 4.23 incelendiğinde ise polimer besleme hızının artmasına bağlı olarak yüzey büküm açısının arttığı görülmektedir. Belli bir besleme hızından sonra ( $B_{E1(+)}$ : 0,75-1;  $B_{E2(-)}$ : 1,25 ml/sa) liflerin iplik gövdesine bağlanamadığı görülmüştür. Nitekim SEM analizi görüntüleri incelendiğinde, toplam polimer besleme hızı maksimum olduğunda (2,25 ml/sa), iplik yapısının oldukça karmaşık olduğu görülmüş olup, yüzey büküm açısı net olarak ölçülememiştir.



Şekil 4.23. Polimer besleme hızı iplik yüzey büküm açısına etkisi

Öte yandan Şekil 4.24 incelendiğinde polimer besleme hızının artmasına bağlı olarak iplik mukavemetinin azaldığı görülmüş olup, iplik kesitine eklenen liflerin iplik mukavemetine katkı sağlamadığı düşünülmektedir (Ek 5).



Şekil 4.24. Polimer besleme hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi

Sonuç olarak düşük polimer besleme hızlarında yetersiz lif oluşumu nedeniyle ipliklerde kopma görülmüştür. Polimer besleme hızı yüksek olduğunda ise liflerin tam kurumayarak boncuklu lif yapısı oluşturduğu gözlenmiş olup, iplik çaplarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca iplik oluşumu esnasında kurumayan liflerin konik ağ yapıyı bozduğu görülmüştür. Sistem için uygun çalışma aralıkları  $B_{E1(+)}$ : 1 ml/sa,  $B_{E2(-)}$ : 0,75 ve 1 ml/sa olarak ayarlandığı şartlarda elde edilmiştir. Her iki enjektörde 1 ml/sa polimer besleme hızı ile çalışıldığında, elde edilen iplik inceliğinin 279  $\mu$ m, lif inceliğinin 600 nm olduğu görülmüştür. Ortalama iplik yüzey büküm açısı 47° ve iplik mukavemeti 7 MPa'dır. Öte yandan kullanılan sistem farklı olmakla beraber benzer şekilde Su ve ark. (2013) tarafından sunulan çalışmada iplik çaplarının polimer akış hızına bağlı olarak arttığı, uygun polimer akış hızının 0,5-1,3 ml/sa olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Levitt ve ark. (2017) tarafından yapılan başka bir araştırmada, 1 ml/sa polimer besleme hızında çalışıldığı görülmektedir.

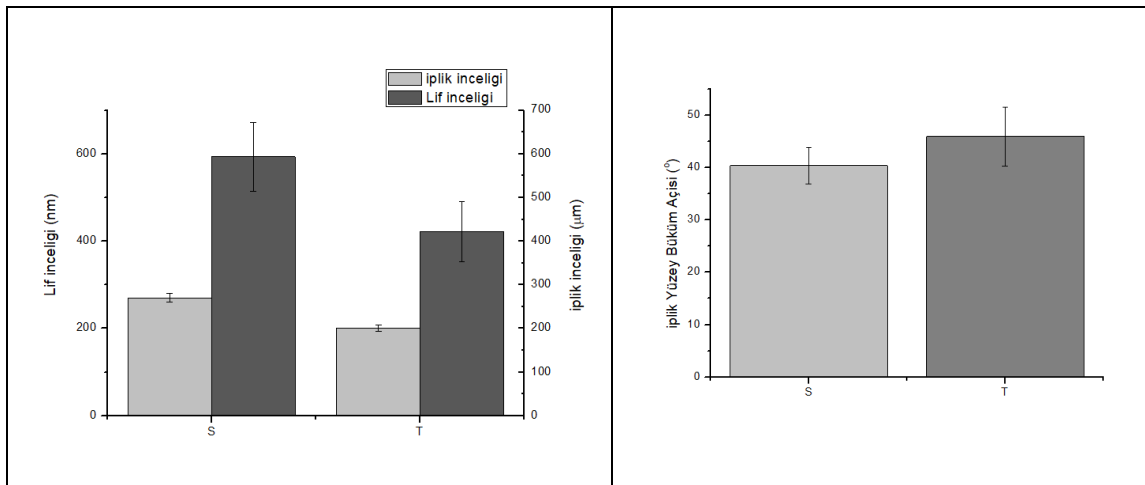
Ayrıca polimer besleme hızının lif ve iplik özelliklerine etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir (Ek 5). Polimer besleme hızının lif ve iplik özelliklerine etkisi incelenirken, yapılan

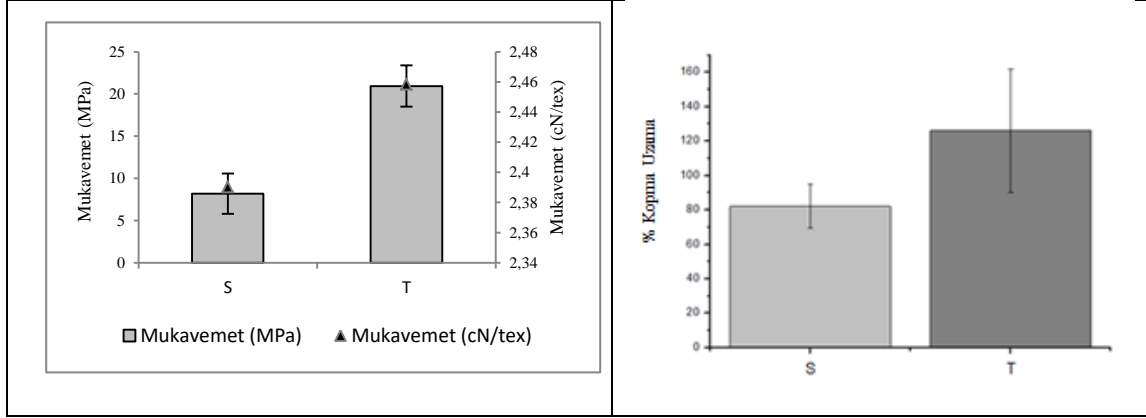
varyans analizi (ANOVA) ve Tukey analizleri sonuçları polimer besleme hızının iplik incelikleri, lif incelikleri ve iplik yüzey büküm açlarına etkisi olduğunu ve sonuçlar arasındaki farkların anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır.

#### 4.3.4. Çözelti iletkenliğinin etkisinin analizi

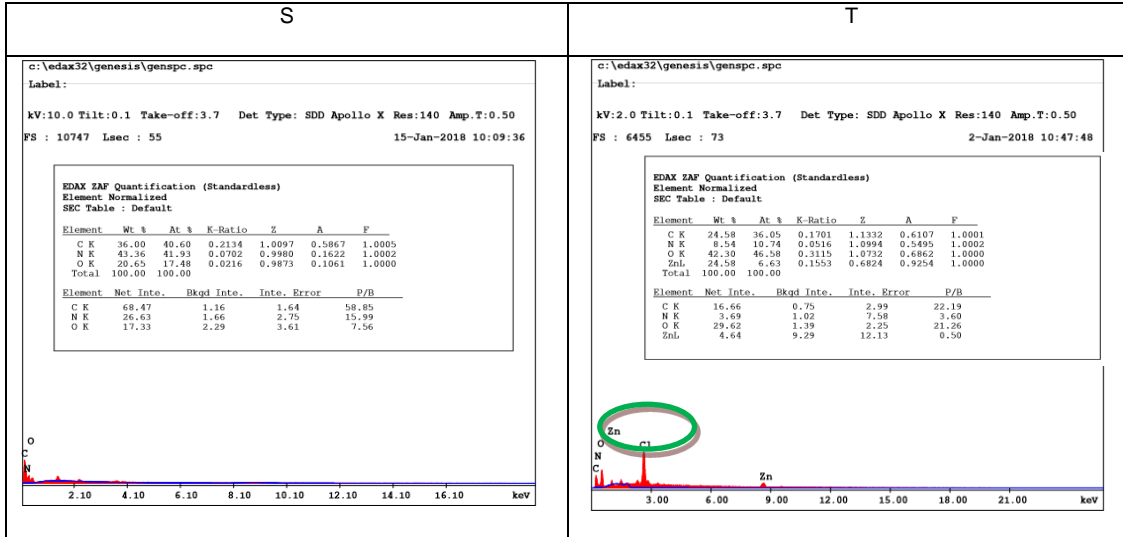
Bu bölümde standart iplik ile  $ZnCl_2$  ilave edilmiş iplik özellikleri karşılaştırılmaktadır. Elde edilen ipliklerin incelikleri karşılaştırıldığında polimer çözeltide  $ZnCl_2$  tuzu içeren ipliğin, standart ipliğe göre daha ince olduğu görülmüştür (Şekil 4.25). Bu durum tuz ilavesi ile polimer jetinin daha fazla yüklendiği ve daha fazla çekime maruz kaldığı ile açıklanmaktadır.  $ZnCl_2$  tuzu ilavesiyle ortalama lif çaplarının da azaldığı görülmektedir. Benzer sonuçlar Wang ve ark. (2008) ile Li ve ark. (2012) tarafından sunulan çalışmalarda da belirtilmiş olup, elektro lif çekim yöntemi ile kendiliğinden oluşan (self-assembly) iplik üretim yönteminde polimer çözeltisine tuz ilavesinin üretim stabilitesini ve lif hizalanmasını arttırdığı, iplik içerisindeki liflerin incelendiği ifade edilmiştir. Polimer çözeltiye  $ZnCl_2$  tuzu ilavesinin lif ve iplik çaplarını azaltması yanında iplik mukavemetine de olumlu etkisi söz konusudur (Şekil 4.25).

Elde edilen ipliklerin SEM-EDX analiz sonuçları, normal (S) iplikte C, O, N elementlerinin,  $ZnCl_2$  ilave edilerek elde edilen (T) ipliğinde ise bu elementlere ilave olarak Zn ve Cl elementlerinin yer aldığını göstermektedir (Şekil 4.26).



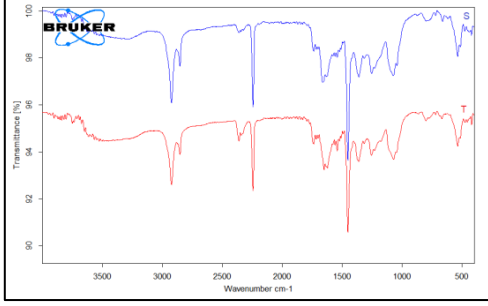


Şekil 4.25. Polimer çözeltiye  $ZnCl_2$  tuzu ilavesinin lif ve iplik özelliklerine etkileri

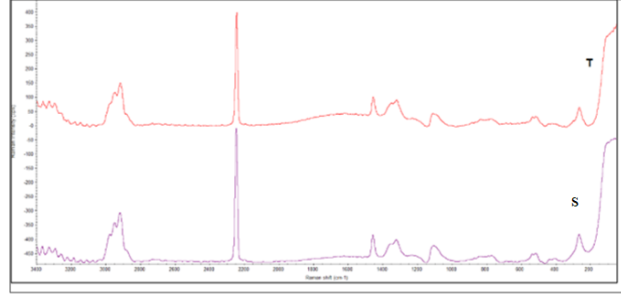


Şekil 4.26. Standart ve  $ZnCl_2$  ilavesiyle elde edilen ipliklere ait SEM-EDX sonuçları

Polimer çözeltisine  $ZnCl_2$  tuzu ilavesinin bağ yapısında değişikliğe sebep olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan FTIR ve raman analizlerinde benzer bölgelerde benzer pikler gözlemlenmiştir. Bu durumda standart ve  $ZnCl_2$  tuzu ilave edilen ipliğin bağ yapılarının aynı olduğu ifade edilebilir (Şekil 4.27).



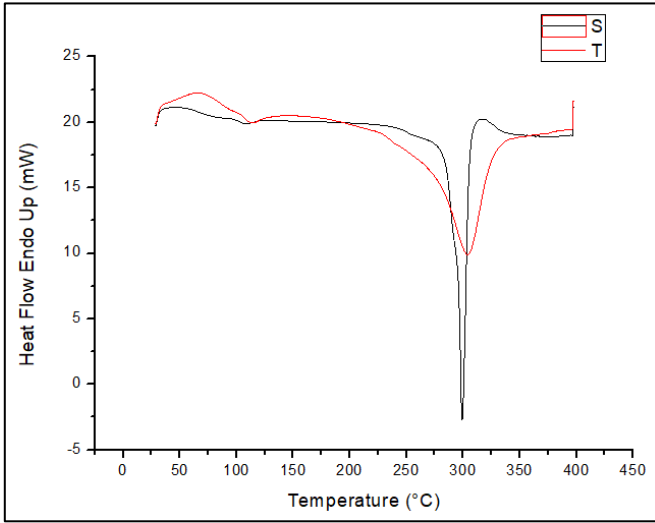
(a)



(b)

**Şekil 4.27.** Standart ve  $ZnCl_2$  ilavesiyle elde edilen ipliklere ait (a) FTIR ve (b) Raman spektroskopisi diyagramları

Ayrıca ipliklerin faz geçiş sıcaklıkları ve entalpileri Şekil 4.28’de verilmiştir. Analiz sonuçları T ipliği için  $T_g$  ve  $T_m$  değerlerinin yükseldiğini göstermekte olup,  $ZnCl_2$  moleküllerinin, molekül zincir hareketini engellediği ve polimerin termal dayanıklılığını arttırdığı düşünülmektedir (Şekil 4.28).



**Şekil 4.28.** Standart (S) ve  $ZnCl_2$  ilavesiyle (T) elde edilen ipliklere ait DSC termogramı

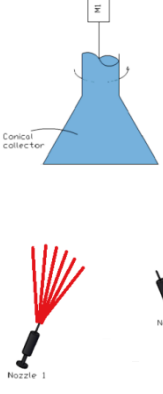
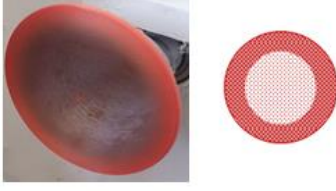
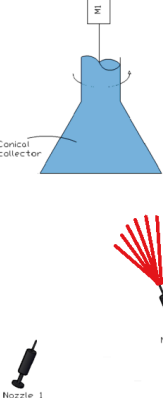

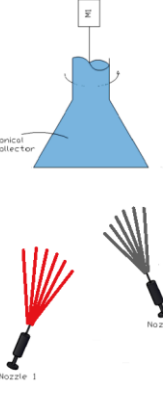

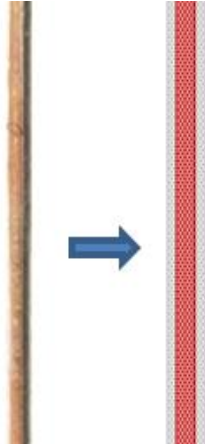
Öte yandan polimer çözeltiliye  $ZnCl_2$  tuzu eklenmesi ile elde edilen lif ve iplik özellikleri istatistiksel olarak da analiz edilmiş olup, yapılan t-testi analizi sonuçları standart ve  $ZnCl_2$  tuzu

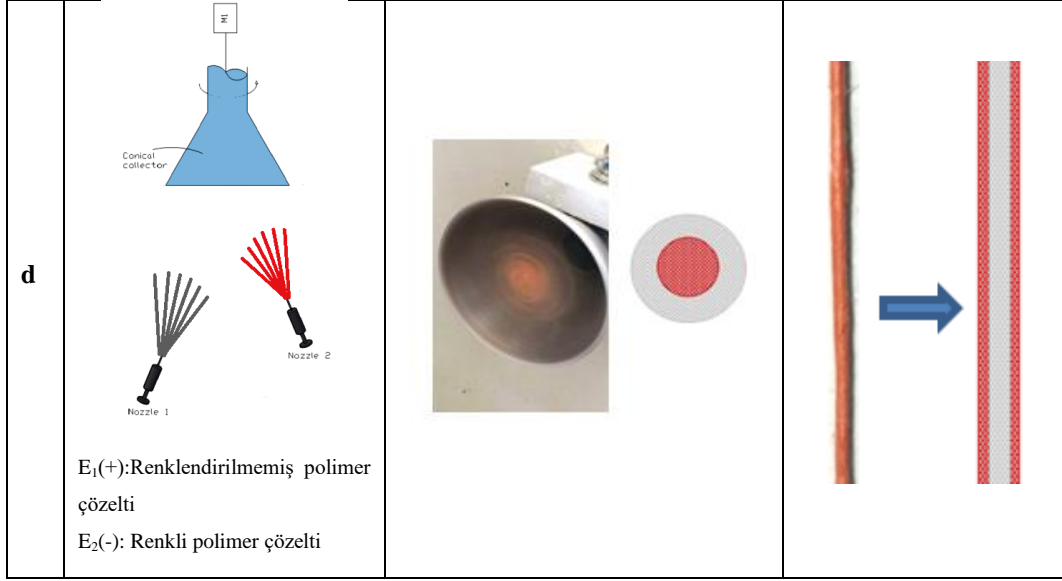
ilave edilmiş lif ve iplik özellikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermiştir (Ek 6).

#### **4.4. Prototip Sistemde Lif ve İplik Oluşumunun Analizine ait Sonuçlar**

##### **4.4.1. Liflerin iplik içerisindeki konumlarının analizi**

Bu bölümde prototip sistemde lif oluşumu ve liflerin kollektör ve iplik üzerindeki yerleşim pozisyonları incelemek amacıyla  $E_1(+)$  ve  $E_2(-)$  enjektörlere renkli polimerler beslenerek konik kollektör üzerindeki yerleşimleri ve iplik içerisindeki yerleşimleri analiz edilmiştir. Şekil 4.29a'da görüldüğü gibi  $E_1(+)$ 'ya renkli polimer beslendiğinde, konik kollektörün sivri kenarında ağ yapı oluşmuştur. Renkli polimer  $E_2(-)$ 'ye beslendiğinde ise renkli liflerin konik kollektörün merkezinde toplandığı görülmektedir (Şekil 4.29b). Bu durum iplik oluşumunda renkli liflerin ipliğin farklı bölgelerinde yerleşimine de sebep olmuştur.  $E_1(+)$  enjektör renkli olduğunda ipliğin yüzeyinde renksiz liflerin toplandığı, tersi durumda ise yüzeyde renkli liflerin toplandığı gözlenmiştir.  $E_1(+)$  enjektörden sevk edilen lifler ipliğin merkezine yerleşirken,  $E_2(-)$  enjektörden sevk edilen liflerin ise ipliğin dış yüzeyinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.29c- 4.29d). Bu sonuç hem farklı polariteye sahip enjektörlerden beslenen liflerin kollektör ve iplik içerisinde farklı konumlarda yer aldığını ortaya koymakta, hem de yöntemin öz ve kabuk kısmı nanoliflerden oluşan farklı bikomponent iplik tasarımlarında kullanılabileceğini göstermektedir.

| Renkli Polimer Beslenmesine Dair Şematik Gösterim   | İplik Oluşumundan Önce Kollektör Üzerinde Liflerin Yerleşimleri                      | İplikteki Yerleşimleri  |
|---|--|---|
| <p><b>a</b></p>  <p>E<sub>1</sub>(+): Renkli polimer çözelti<br/>E<sub>2</sub>(-): Boş enjektör</p>                        |    | -   |
| <p><b>b</b></p>  <p>E<sub>1</sub>(+): Boş enjektör<br/>E<sub>2</sub>(-): Renkli polimer çözelti</p>                       |   | -   |
| <p><b>c</b></p>  <p>E<sub>1</sub>(+): Renkli polimer çözelti<br/>E<sub>2</sub>(-): Renklendirilmemiş polimer çözelti</p> |  |  |

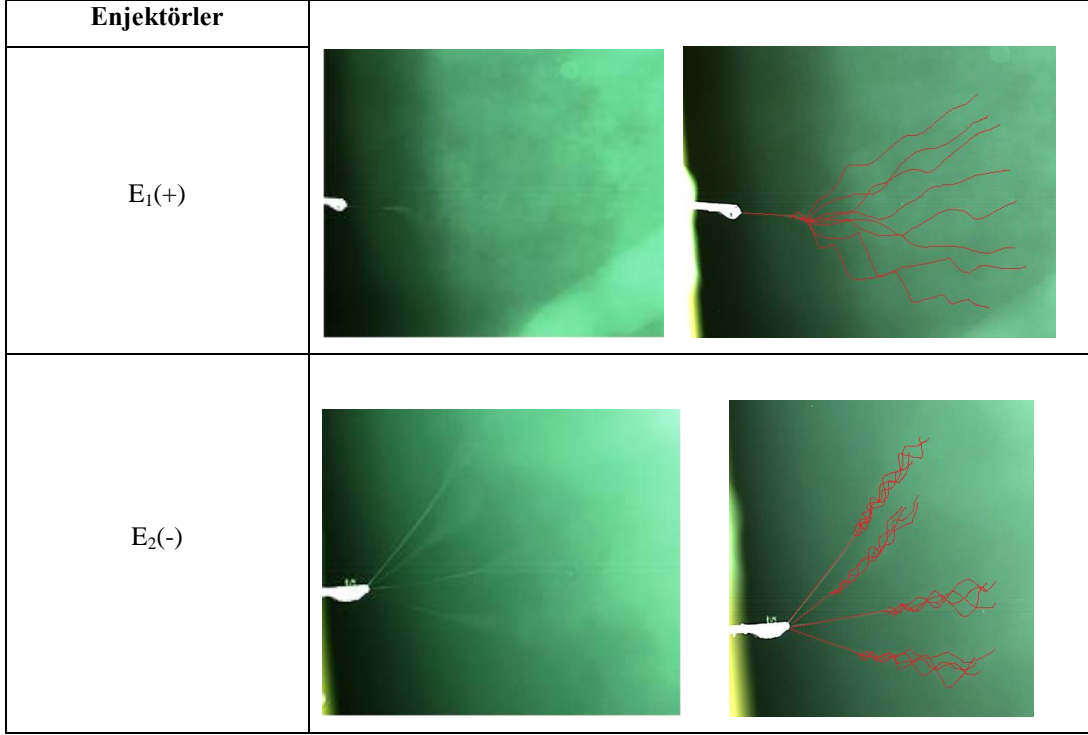


**Şekil 4.29.** E<sub>1</sub>(+) ve E<sub>2</sub>(-) enjektörlerden beslenen liflerin konumlarının analizi

#### 4.4.2. Yüksek hızlı kamera ile analizler

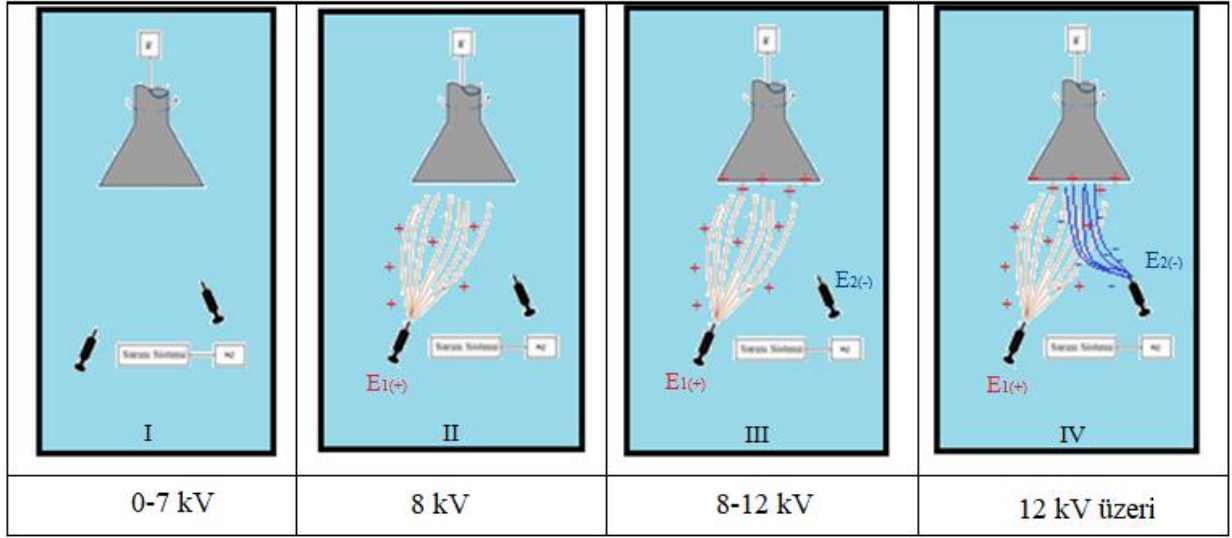
İki enjektördeki jet oluşumları ve oluşan liflerin enjektör ve kollektör arasındaki yönelmeleri ve jet oluşumuna ait görüntüler Şekil 4.30’da verilmektedir. Sonuç olarak, E<sub>1</sub>(+) enjektörde tek jet gözlemlenirken, oluşan lifler de konik kollektörün sivri kenarlarında yoğunlaşarak ağ yapısı oluşturmaktadırlar. E<sub>2</sub>(-) enjektörde ise 3-4 adet jet gözlenmekte olup, buradan sevk edilen liflerin daha çok konik kollektörün merkezinde yoğunlaştığı gözlenmiştir.





**Şekil 4.30.** Pozitif ve negatif polariteye sahip enjektörlerde jet oluşumları

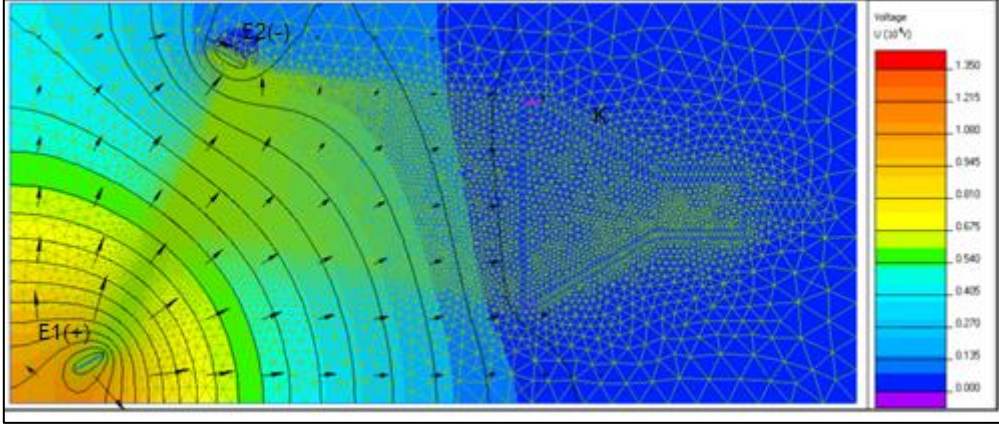
Yüksek hızlı kamera ile yapılan analizler sonucunda, sistemde lif ve iplik oluşumunun Şekil 4.31'deki aşamalarda gerçekleştiği görülmüştür. DC güç kaynağından çıkan iki ucun biri pozitif polariteye sahip olup, bağlı bulunduğu enjektörün pozitif yüklenmesine sebep olur. Güç kaynağından çıkan ikinci uç ise nötr olup, bağlı bulunduğu enjektörün topraklanmasını sağlar (I). Sistemde uygun voltaj değerine çıkılırken pozitif polariteye sahip enjektörde lif oluşumunun negatif polariteye sahip enjektöre göre daha önce başladığı görülmektedir. Bu durumda pozitif polariteli enjektörde jetlerin oluşumu sistemin çalışmasının ilk adımını oluşturmaktadır (II). İkinci enjektörün çalışması, kollektörün pozitif polaritedeki liflerden etkilenecek pozitif yüklenmesinden (III) ve kollektörle arasında oluşan potansiyel farktan kaynaklanmaktadır. Oluşan nanoliflerin izledikleri yörünge de farklı olduğu görülmüş olup, pozitif enjektörden gelen nanolifler kollektörün sivri uçlarında birikirken, negatif (topraklı) enjektörden gelen nanolifler pozitif enjektörden gelen liflerin yönlendirmesiyle, bir önceki bölümde gözlendiği üzere kollektörün merkezinde toplanmaktadır (IV). Sonuç olarak, her iki enjektörde oluşan lif demetleri, kollektör tarafından toplanmakta; bir kılavuz ipliğin kollektör merkezine sarkıtılmasıyla konik ağ oluşturularak iplik eğirmeye başlanmaktadır.



**Şekil 4.31.** Sistemde kollektör üzerinde liflerin toplanmasına ait şematik gösterim

#### 4.4.3. Sisteme ait elektrik alan simülasyonu

Kurulan prototip eğirme sistemi esas alınarak sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan etkileşimli bir analiz programı olan QuickField programında çizilen elektrik alan dağılımı ve elektrik alan çizgileri Şekil 4.32’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde pozitif polariteye sahip enjektöre 13,5 kV gerilim uygulandığında elektrik alan çizgilerinin pozitif polariteye sahip enjektörden kollektöre doğru ve negatif polariteye sahip enjektör olarak kabul edilen faz enjektör ucuna doğru olduğu görülmektedir. Sonuç olarak sistemin çalışması pozitif polaritedeki enjektöre beslenecek voltaja bağlıdır. Bu enjektöre beslenen voltaj etkisiyle negatif polaritedeki enjektörde lif oluşumu gerçekleşmektedir. Elde edilen simülasyon sonuçları, Bölüm 4.1.1.’de pozitif polariteli enjektörden ince liflerin elde edilmesini ve Bölüm 4.4.2’de eğirme esnasındaki gözlemleri doğrular nitelikte olup, sistemde pozitif polariteli enjektöre gerilim uygulanmadığında sistem çalışmamaktadır.



Şekil 4.32. Sisteme ait elektrik alan çizgileri

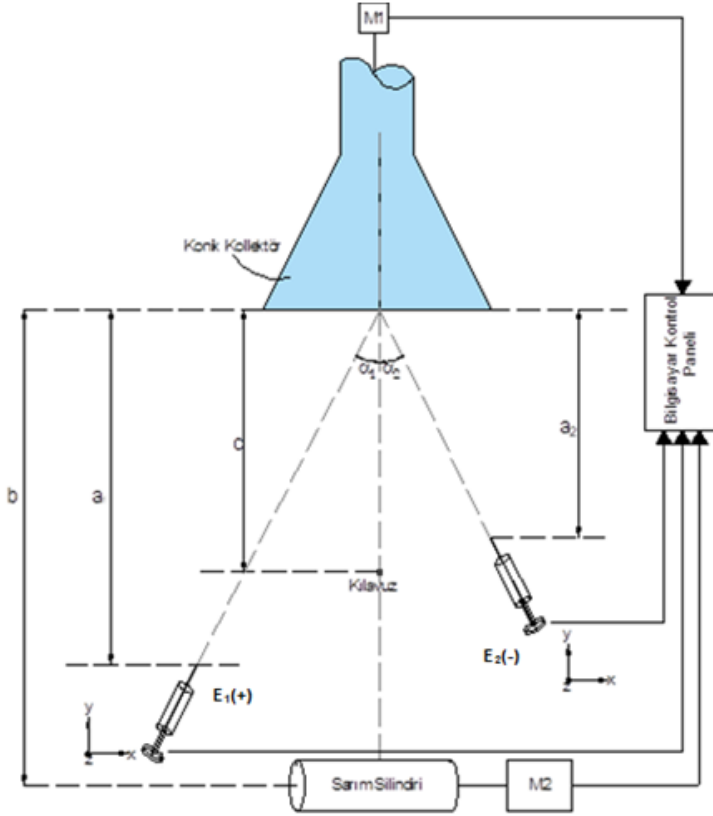
## 5. PLC KONTROLLÜ EĞİRME SİSTEMİNİN TASARLANMASI, KURULUMU VE NANOLİF İPLİK ÜRETİMİ

### 5.1. Sistemin Tasarımı

Bölüm 3'te sunulan prototip sistemde eğirme işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve detaylı analizleri takiben bu bölümde daha sağlıklı bir nanolif iplik eğirme sağlayacak şekilde tasarlanan PLC kontrollü bir nanolif iplik eğirme sistemine yer verilmektedir.

PLC kontrollü sistemin tasarımı aşamasında, prototip nanolif iplik eğirme sisteminin eksik yönleri değerlendirilerek, geliştirilmesi yönünde planlama yapılmıştır. Tasarlanan sistemin şematik görünüşü Şekil 5.1 ile verilmiştir:

- Tüm parametrelerinin (kollektör dönüş hızı, sarım hızı, enjektör mesafeleri gibi) kontrol panelinden ayarlanabilmesi
- Kapalı bir sistem olması
- Enjektör pozisyonlarının 3 eksen yönünde kontrol panelinden ayarlanabilir olması,
- Pompaların kapalı sistem içinde yer alması ve polimer besleme hızının kontrol panelinden ayarlanabilmesi
- Farklı büyüklükte ve farklı malzemelerden üretilmiş kollektörlerle çalışmaya olanak sağlaması,
- Prototip sisteme kıyasla daha yüksek kollektör dönüş hızlarına (15.000d/dk) çıkabilmesi,
- Prototip sisteme kıyasla daha yüksek sarım hızları (5 m/dk) sunması,
- DC güç kaynağının 3 pozitif polarite ve 1 nötr olmak üzere 4 farklı çıkışa sahip olması.



**Şekil 5.1.** PLC kontrollü eğirme sisteminin şematik gösterimi

Şekil 5.1’de yer alan sisteme ait kontrol edilen mesafe ve açılar ise şu şekildedir:

$a_1$ :  $E_1$  no’lu enjektör ile kollektör arasındaki uzaklık

$a_2$ :  $E_2$  no’lu enjektör ile kollektör arasındaki uzaklık

$\alpha_1$ :  $E_1$  no’lu enjektörün kollektör merkezi ile yaptığı açı

$\alpha_2$ :  $E_2$  no’lu enjektörün kollektör merkezi ile yaptığı açı

$b$ : Sarım silindri merkezi ile kollektör arasındaki uzaklık

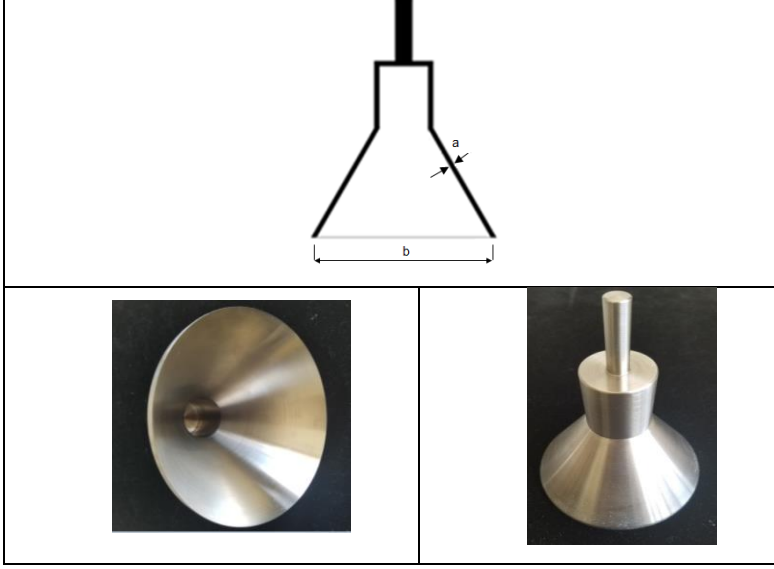
$c$ : Kılavuz merkezi ile kollektör arasındaki uzaklık

## 5.2. Sistemi Oluşturan Bileşenler

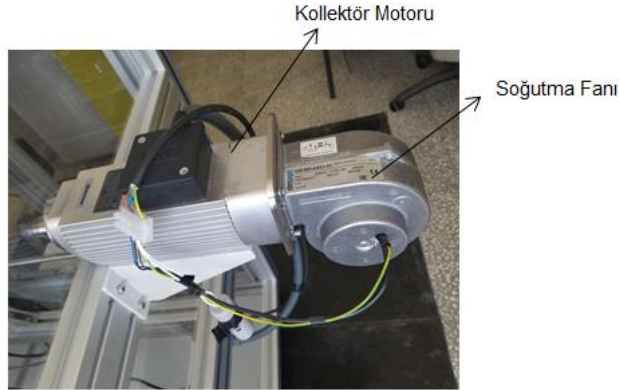
### 5.2.1. Konik kollektör

Sistem esnek çalışma şartları sağlaması açısından kolaylıkla değişimi yapılabilen farklı kollektörler ile üretim yapılabilecek şekilde tasarlanmış olup, PLC kontrollü sistem için üretilen

kollektör Şekil 5.2’de görülmektedir. Sistemde kollektör 15.000 d/dk’ya kadar dönme hız kabiliyetine sahip olup, kollektör dönüşü spindle motor (AREL marka) ile sağlanmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.2. Kullanılan çelik kollektör (DIN EN E335 a: 3 mm b: 110 mm)

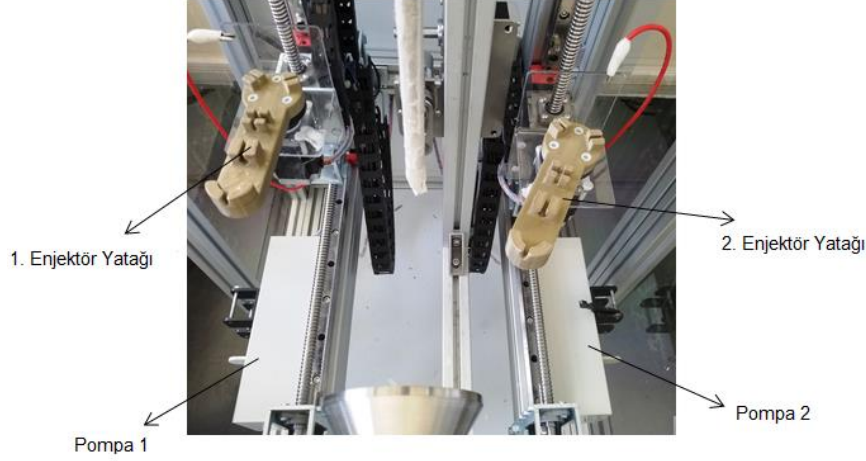


Şekil 5.3. Kollektör motoru ve soğutucu fan

### 5.2.2. Polimer besleme sistemi ve pompalar

Cihazın çalışması için ilk adım enjektörlere polimer çözeltinin beslenmesidir. Bu amaçla kullanılan makine parçalarını pompalar, enjektör yatakları, polimer taşıyıcı hortumlar ve iğneler

oluşturmakta olup, pompalar (0,01 ml/sa hassaslığa sahip) enjektörlere yakın olacak şekilde makine şasisine sabitlenmiştir (Şekil 5.4).

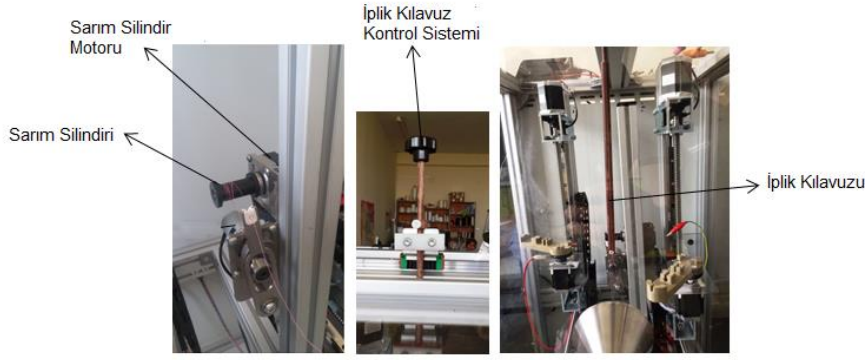


**Şekil 5.4.** Enjektör yatakları ve pompalar

Daha önce de bahsedildiği gibi enjektörler x, y, z düzlemlerinde hareket kabiliyetine sahip olup, hareketleri step motorlarla (Chang Zhou Chuangwei marka) kontrol edilmekte ve kollektöre olan mesafeleri kontrol paneli üzerinden ayarlanabilmektedir (Enjektör hareketleri, “5.2.6. Polimer Besleyen Enjektör Hareket Mekanizmaları” başlığında açıklanmaktadır).

### 5.2.3. İplik sarım sistemi

Kollektör üzerinde toplanan lifler kollektörün dönüşüyle büküm almakta ve iplik kılavuzundan geçerek sarım silindirine travers hareket yaparak sarılmaktadır. İplik kılavuzu sarım silindiri ve kollektör arasında sistem dışından kontrol mekanizmasına sahip olup, yatay olarak hareket ettirilebilecek şekilde dizayn edilmiştir. İplik kılavuzu kollektör merkeziyle eş eksenli olup 2 mm çapında bir açıklığa (deliğe) sahiptir. Kılavuzun yatay ekseninde hareket ettirilebilmesi ile makine kapaklarını açmadan kollektördeki liflerle kılavuz ipliğin bağlanması sağlanmaktadır. Sarım sisteminde sarım silindiri hareketi için Chang Zhou Chuangwei marka step motor kullanılmıştır (Şekil 5.5).



**Şekil 5.5.** İplik sarım sistemi

#### 5.2.4. Güç kaynağı

Sistemde lif ve iplik eldesi için elektro lif çekim yönteminin ana bileşeni olarak yüksek voltaj güç kaynağı olarak Fraser marka doğru akım güç kaynağı (DC) yer almakta olup, 4 çıkışa ve 30 kV kapasiteye sahiptir (Şekil 5.6).



**Şekil 5.6.** Kullanılan güç kaynağı

#### 5.2.5. Kontrol paneli ve genel makine özellikleri

Söz konusu nanolif iplik eğirme sistemi polikarbon dış yüzeyle kapatılmış olup, her iki yanından tamamen açılabilir kapaklara sahiptir. Cihaz üzerinde çift ekranlı kontrol paneli, acil stop düğmesi, yüksek gerilim güç kaynağı aktif durumdayken çalışan alarm sistemi, hava emiş ünitesi bulunmaktadır. Kontrol paneli ekranında kollektöre dönüş hızı, enjektörlerin kollektörden yatay ve düşey uzaklıkları ve kollektör merkeziyle yaptıkları açı, polimer besleme hızları ve sarım iplik sarım hızları dijital olarak ayarlanabilmektedir. Ortamın bağıl nem ve sıcaklığı da kontrol paneli ekranında okunabilmektedir (Şekil 5.7). Genel makine görüntüsü Şekil 5.8’de yer almaktadır. Ayrıca cihazın altına güvenlik açısından anti-statik örtü yerleştirilmiştir.





Şekil 5.7. Kontrol paneli

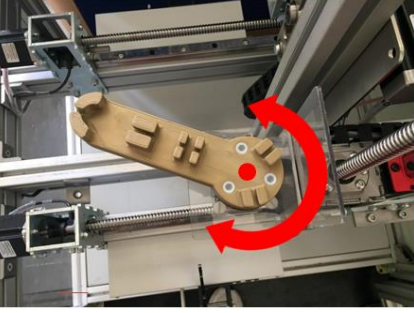
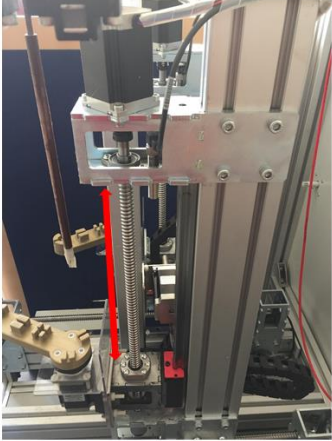
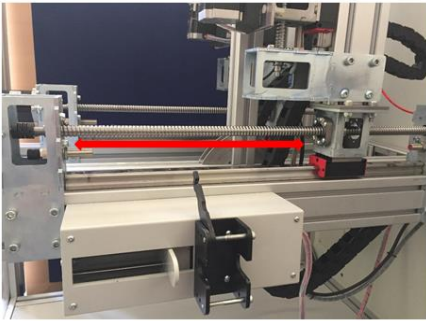


Şekil 5.8. PLC kontrollü nanolif iplik eğirme makinesi

### 5.2.6. Polimer besleyen enjektörlerin hareket mekanizmaları

Nanoliflerden iplik üretimi için gerekli polimer çözeltisinin sisteme yeterli uzaklık ve yükseklikte yerleştirilmesi ve çalışma şartlarına göre hareketli olması gerekmektedir. Polimer beslemek için kullanılan enjektörlerin yerleştirildiği yataklar, dönen kollektöre olan uzaklık ve yükseklik yanında açılabilir olarak da hareketli olmalıdır. Makinede, çalışma şartlarında istenen bu hareketliliği sağlamak amacıyla her bir eksen hareketi için toplamda 3 adet Chang Zhou Chuangwei marka step motor kullanılmıştır. Böylelikle enjektör yatakları dönen kollektörü sıfır

noktası kabul edecek şekilde; yatay yönde (x eksenı boyunca) 210 cm ve düşey yönde (y eksenı boyunca) 135 cm uzaklıkta hareket kabiliyetine sahiptir. Bunun yanında dönen kollektöre paralel durum sıfır açısı kabul edilerek makina ayarları yapılmış enjektör yatakları 90° açısal hareket kabiliyeti kazanmışlardır. Enjektörlerin yatay, dikey ve açısal hareket kabiliyetleri Şekil 5.9’da gösterilmektedir.

|   |   |
|---|---|
|    | Enjektörlerin açısal hareket kabiliyeti |
|   | Enjektörlerin dikey yönde hareketi      |
|  | Enjektörlerin yatay yönde hareketleri   |

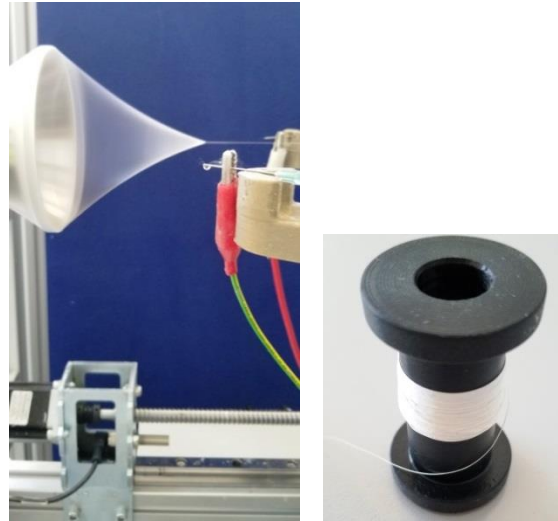
**Şekil 5.9.** Enjektörlerin hareket kabiliyetleri

### 5.3. Sistemde Nanolif İplik Eğirme

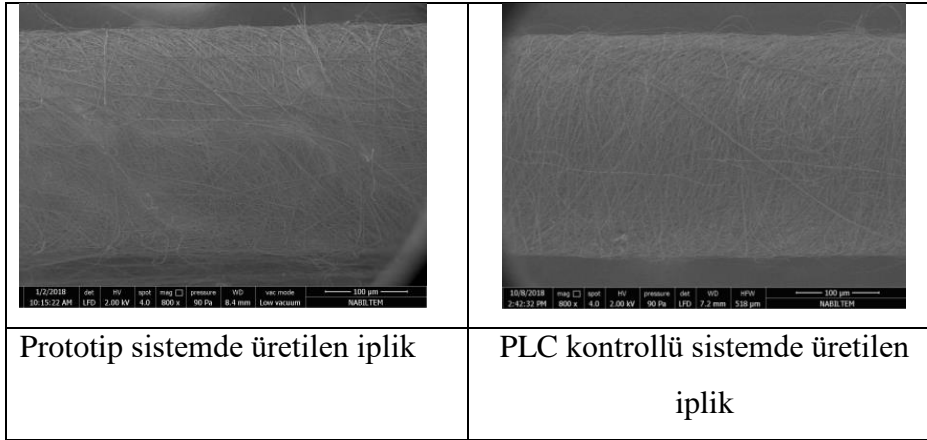
Bu bölümde PLC kontrollü sistemde prototip sistemle aynı çalışma parametrelerinde iplik eğirme işlemi gerçekleştirilmiş ve ardından elde edilen lif ve iplik özellikleri analiz edilmiştir. Her iki sistemde kullanılan çalışma parametreleri Tablo 5.1’de özetlenmektedir. PLC kontrollü sistemde iplik üretimi ve üretilen iplik bobini Şekil 5.10’da, üretilen ipliklerin SEM görüntüleri ise Şekil 5.11’de verilmektedir. İplik görüntüleri yakından incelendiğinde PLC kontrollü sistemde daha kompakt ve sıkı iplik yapısı elde edildiği görülmektedir (Şekil 5.11).

**Tablo 5.1.** Çalışma parametreleri

| Polimer Çözelti                     | % 10 PAN-DMF |
|-------------------------------------|--------------|
| Toplam Polimer Besleme Hızı (ml/sa) | 2            |
| Kollektör Dönüş Hızı (d/dk)         | 450          |
| Sarım Hızı (m/sa)                   | 4,5          |
| Uygulanan Voltaj (kV)               | 13,5         |
| $a_1$ (cm)                          | 15           |
| $a_2$ (cm)                          | 10           |

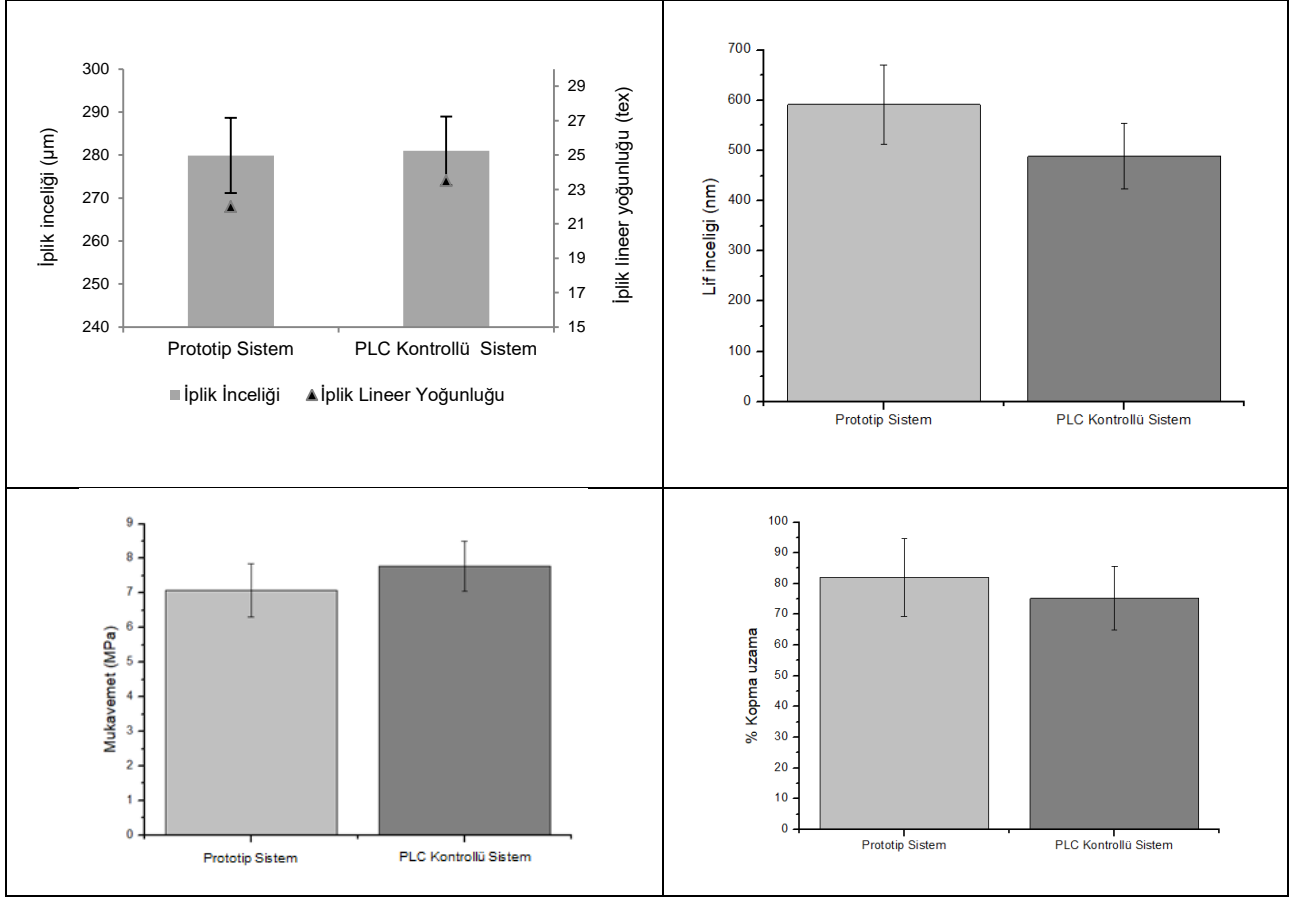


**Şekil 5.10.** PLC kontrollü sistemde konik kollektörde ağ oluşumu ve eğrilen ipliğe örnek



**Şekil 5.11.** Üretilen ipliklerin SEM görüntülerine örnekler

Üretilen iplikler incelik ve doğrusal yoğunluk, mukavemet ve % kopma uzama bakımından da analiz edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 5.12’de verilmektedir. Her iki sistemde aynı çalışma parametrelerinde üretilen iplik incelikleri kıyaslandığında iplik çaplarının çok benzer olduğu, fakat iplik linear yoğunluğunun bir miktar arttığı görülmektedir. Bu durumda PLC kontrollü sistemde üretilen ipliklerde kesitteki lif sayısının arttığı düşünülmektedir. Lif çapları incelendiğinde ise PLC kontrollü sistemde liflerin daha ince olduğu görülmektedir. Bu durumun PLC kontrollü sistemde çalışma şartlarının daha stabil olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Öte yandan PLC kontrollü sistemde iplik yüzey büküm açısının ve iplik mukavemetinin arttığı görülmektedir. Söz konusu sistemde lifler daha az saçılma ile iplik bünyesine dahil olmakta ve kesitteki lif sayısının artmasına bağlı olarak mukavemetin arttığı düşünülmektedir.



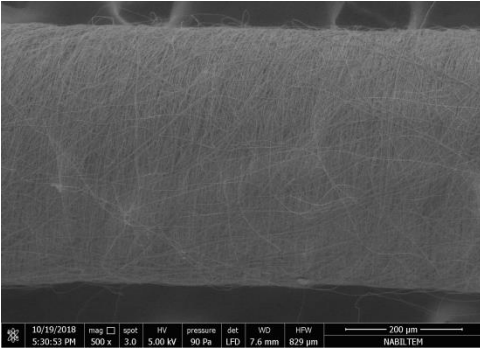
**Şekil 5.12.** Prototip ve PLC kontrollü sistemde üretilen iplik ve lif özellikleri

Prototip sistem ile PLC kontrollü sistemde üretilen lif ve iplik özellikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde yapılan t-testi her iki sistemde üretilen ipliklerin incelikleri arasında istatistiksel olarak önemli fark görülmezken, lif incelikleri ve iplik yüzey büküm açıları arasında fark olduğunu ortaya koymaktadır (Ek 7).

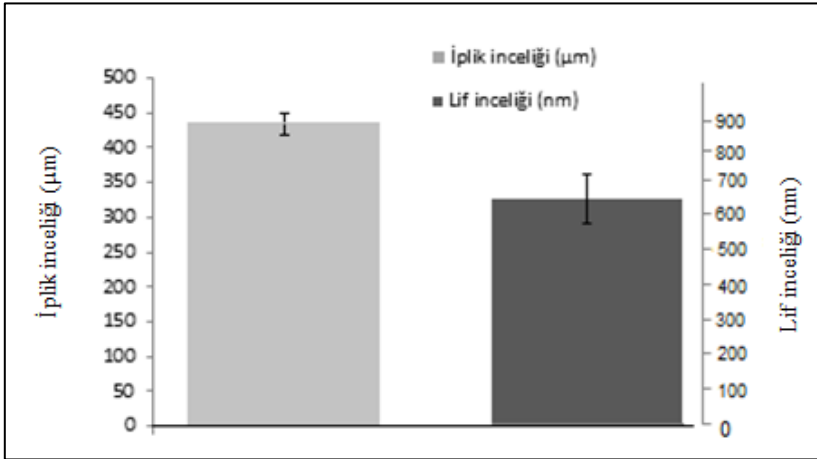
#### 5.4. Eğirme İşleminin İyileştirilmesi

Bu bölümde PLC kontrollü sistemde bulunan güç kaynağının imkan vermesi sonucu her iki enjektör de pozitif polariteye sahip olacak şekilde ( $E_1(+)$ ;  $E_2(+)$ ) sistemde eğirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde Tablo 5.1 ile verilen çalışma parametreleri uygulanmış olup,  $a_1$  ve  $a_2$  uzaklıkları birbirine eşit ve 14 cm olarak çalışılmıştır.

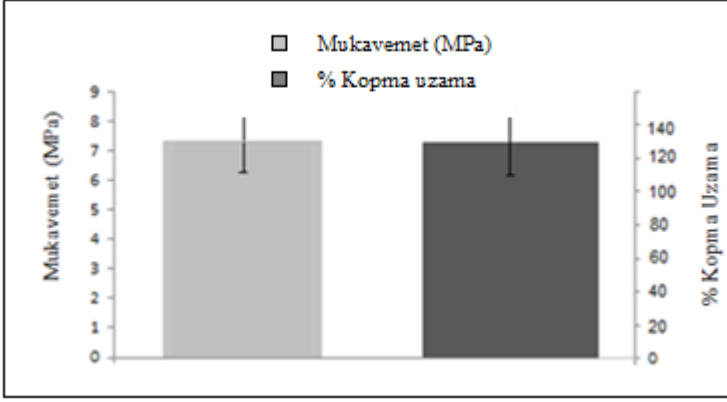
Bu şekilde elde edilen ipliğe ait SEM görüntüsüne örnek Şekil 5.13'te, iplik ve lif özellikleri ise Şekil 5.14 ve 5.15'te verilmektedir. Her iki enjektörün de pozitif polariteye sahip olması durumunda iplik ve liflerin Tablo 5.1'de verilen çalışma parametreleri ile elde edilen ipliklere göre kabalaştığı görülmüştür. Bu durumda enjektörlerden püskürtülen polimer çözeltinin konik kollektör tarafından daha iyi toplandığı düşünülmektedir. Ancak burada enjektör-kollektör arası mesafelerin farklı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 5.13. Eğrilen ipliğe ait SEM görüntüsüne örnek

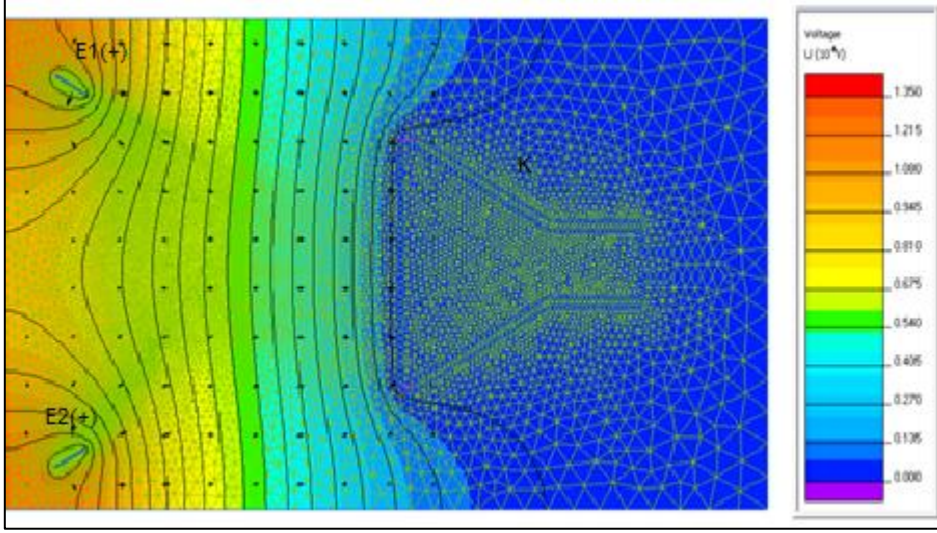


Şekil 5.14.  $E_1(+)$ ;  $E_2(+)$  olması durumunda elde edilen iplik ve lif incelikleri



**Şekil 5.15.**  $E_1(+)$ ;  $E_2(+)$  olması durumunda elde edilen iplik mukavemet ve % kopma uzama değeri

Ayrıca, söz konusu çalışma şekli de Quickfield programında modellenmiş olup, elektrik alan simülasyonu Şekil 5.16'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi pozitif polariteye sahip iki enjektör de 13,5 kV ile yüklendiğinde elektrik alan çizgilerinin tümü kollektöre yönelmektedir. Bu şekilde enjektörlerden sevk edilen polimer jetlerin kollektör tarafından daha iyi toplanabildiği düşünülmektedir. Nitekim sistemde her iki enjektörün de pozitif polariteye sahip olması durumunda yapılan eğirme işlemlerinin; iplik eğirmeye başlama süreci, çalışma stabilitesi, kopuşsuz iplik üretimi bakımından oldukça avantajlı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, elektro lif çekim yöntemi kullanılarak, konvansiyonel sistemlere benzer şekilde kesintisiz (3 saate kadar) iplik eğirme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle elektro lif çekimi ile kesintisiz nanolif iplik eğirme cihazının geliştirilmesine yönelik çalışmalar tamamlanmış olup, çalışmanın hedeflerine ulaşılmıştır.



Şekil 5.16.  $E_1(+)$ ;  $E_2(+)$  olması durumunda elde edilen elektrik alan simülasyonu



## 6. SONUÇ VE DAHA SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Elektro lif çekimiyle nanolif üretimi, liflerin sağladığı üstün performans yanında kullanılan yöntemin basit olması ve esnek üretim şekli nedeniyle nanolif üretiminde yaygın kullanılmasına rağmen, bu yöntemle nanolifler yüzey halinde elde edilebilmekte, dolayısıyla kullanımları sınırlı olmaktadır. Sunulan tez çalışması ise nanoliflerin iplik formunda kullanılmasına imkân sağlamak üzere elektro lif çekim yöntemi ile nanoliflerden kesintisiz halde iplik eğrilmesini sağlayan bir eğirme sisteminin geliştirilmesini amaçlamıştır.

Çalışma iki ana bölümden oluşmakta olup, birinci bölümde prototip bir nanolif iplik eğirme sistemi kurularak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise prototip sistemde elde edilen deneyim ve bilgiler ışığında PLC kontrollü nanolif iplik eğirme sistemi tasarlanarak kurulmuştur. Tüm iplik eğirme çalışmaları PAN polimeri ( $M_w$ : 150.000) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın prototip eğirme sistemi ile ilgili bölümünde öncelikle, dönen konik bir kollektör, çift enjektör (biri pozitif diğeri negatif polaritede olmak üzere), DC güç kaynağı, iplik sarım sistemi ve iplik kılavuzundan oluşan bir sisteme yer verilmiştir. Bu sistemde iplik eğirme işlemine geçmeden önce enjektör-kollektör arası uzaklıklar ve uygulanacak voltaj miktarı ile ilgili uygun çalışma parametreleri, kurulan sistemde konik kollektör yerine düzlemsel bir kollektör kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca bu bölümde yürütülen çalışmalarla, pozitif ve negatif polaritedeki enjektörlerden sevk edilen liflerin incelikleri arasındaki farklar ortaya konmuş, negatif polariteli enjektörden sevk edilen liflerin daha kaba olduğu görülmüştür.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde prototip sistemde konik kollektör kullanarak iplik eğirme aşamasına geçilmiş olup, sistemin kurulmasını takiben temel amaç kesintisiz ve kontrollü iplik eğirme işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu bölümde sistemin temel parametreleri olan kollektör dönüş hızı, sarım hızı ve polimer besleme hızının lif ve iplik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Kollektör dönüş hızının etkisini incelemek amacıyla 200-900 d/dk arasında değişen hızlarda nanolif iplikler eğrilmiştir. Kollektör dönüş hızı arttıkça, lif ve ipliklerin incelendiği, iplik mukavemetinin ise konvansiyonel şapel ipliklere benzer şekilde belli bir seviyeye kadar arttığı ve sonrasında düşüş eğilimi sergilediği görülmüştür. Örneğin kollektör dönüş hızı 300 d/dk'da elde edilen ortalama iplik çapı 250  $\mu\text{m}$ , lif çapı 536 nm iken 800 d/dk'ya çıkıldığında ortalama iplik çapının 196  $\mu\text{m}$ , lif çapının 399 nm olduğu görülmüştür. Bu bölümde elde edilen ipliklere

ait en yüksek ortalama mukavemet değeri ise 14,7 MPa olup, mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Sarım hızının lif ve iplik özelliklerine etkisi incelendiğinde ise, beklenildiği gibi sarım hızı arttıkça ipliklerin incelendiği, yüzey büküm açısının azaldığı, lif inceliklerinin değişmediği, iplik mukavemetinin ise arttığı görülmüştür. Bu bölümde ipliklerin enine kesit görüntüleri de incelenmiş olup, sarım hızının artmasıyla daha kompakt nanolif iplik yapısının elde edildiği görülmüştür.

Polimer besleme hızının lif ve iplik özelliklerine etkisi incelendiğinde, polimer besleme hızı arttıkça lif ve ipliklerin kabalaştığı, iplik yüzey büküm açısının arttığı, iplik mukavemetinin ise düştüğü görülmüştür.

Prototip iplik eğirme sisteminde son olarak çözelti iletkenliğinin iplik ve lif özelliklerine etkisi incelenmiştir.  $ZnCl_2$  tuzu ilave edilerek çözelti iletkenliğinin artırılması sonucunda lif ve ipliklerin incelendiği, mukavemetin ise ortalama 22 MPa seviyesine artış sergilediği tespit edilmiştir.

Proses parametrelerinin etkileri yanında prototip sistemde iplik eğirme esnasında lif oluşumu, liflerin kollektör üzerindeki ve iplik içerisindeki yerleşim pozisyonları da incelenmiştir. Pozitif polariteye sahip enjektörden sevk edilen liflerin kollektör üzerinde yoğunlukla keskin kenarlarda toplanırken, iplik içerisinde iplik merkezinde yer aldığı gözlenmiştir. Negatif polariteye sahip enjektörden sevk edilen liflerin ise yoğunlukla kollektör merkezinde toplanırken, iplik yapısında ise daha çok dış katmanlarda yer aldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar sunulan eğirme sisteminin aynı zamanda farklı bikomponent iplik tasarımları için de kullanılabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda yüksek hızlı kamera kullanılarak pozitif ve negatif polariteye sahip enjektörden sevk edilen liflerin izlediği yol ve lif oluşumu gözlenerek farklılıklar ortaya konmuştur. Ayrıca prototip sisteme ait elektrik alan dağılımı simüle edilerek, elektrik alan çizgilerinin yönü ve şiddeti gösterilmiştir. Sonuçlar prototip sistemde çalışma esnasında belirleyici unsurun pozitif polariteye sahip enjektör olduğunu ortaya koymakta olup, bu durum iplik eğirme esnasında yapılan gözlemlerle de uyumludur.

Çalışmanın ikinci ana bölümünde tasarımı ve kurulumu yapılan prototip sistem geliştirilerek PLC kontrollü iplik eğirme sistemi kurulmuş ve nanolif iplik eğirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin en önemli avantajları, kontrol panelinden tüm çalışma parametrelerinin kontrol edilebildiği kapalı bir cihaz olmasıdır. Sistemin kurulumunu takiben

iplik üretimi yapılmış ve elde edilen sonuçlar prototip sistemle karşılaştırılmıştır. PLC kontrollü sistemde daha kontrollü ve stabil iplik eğirme işlemi gerçekleştirilmiştir. İplik özellikleri incelendiğinde ise iplik incelikleri değişmemekle beraber, liflerin incelendiği ve iplik mukavemetinin arttığı görülmüştür. Ancak pozitif/negatif polariteye sahip enjektörlerin kullanıldığı bu sistemde pozitif polariteye sahip enjektörden lif oluşumu daha önce başlamakta, negatif polariteye sahip enjektörün ise çalışması daha uzun süre almaktadır. Bu nedenle her iki enjektörden sağlıklı bir şekilde polimer çözelti sevk ederek iplik eğirmeye başlama süreci zorlaşmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırmak ve daha sağlıklı bir eğirme işlemi gerçekleştirmek amacıyla sistemde yer alan her iki enjektörün aynı polaritede (pozitif) yüklenmesine karar verilmiştir. PLC kontrollü sistemde her iki enjektör de pozitif polaritede çalıştırılarak, iplikler sorunsuz bir şekilde kopuş olmaksızın eğrilmiş ve ardından iplik özellikleri incelenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada elektro lif çekim yöntemi kullanılarak, konvansiyonel sistemlere benzer şekilde kesintisiz (3 saate kadar) üretimin gerçekleştirildiği, iplik inceliğinin (iplik numarasının ve iplik bükümünün) kontrol edilebildiği bir nanolif iplik eğirme sistemi başarı ile geliştirilmiştir.

#### Daha Sonraki Çalışmalar için Öneriler

- Çalışmada elde edilen iplik mukavemetlerinin konvansiyonel sistemden elde edilen ipliklere göre düşük olduğu görülmektedir. Bu sebeple iplik mukavemetinin artırılması amacıyla germe-çekme ya da ısıl işlem gibi mukavemeti arttırıcı ard işlemlerle ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.

- Çalışmada PAN polimeri kullanılmasının sebeplerinden birisi bu ipliklerin karbonlaştırılabilme potansiyelidir. Sonraki çalışmalarda bu sistemle elde edilen ipliklere karbonlaştırma işlemi uygulanarak karbon nanolif iplikler elde edilebilir ve özellikleri irdelenebilir.

- Kurulan sistemde farklı malzeme ve geometride kollektörler, farklı polimerler kullanılarak, iplik ve lif özellikleri incelenebilir.

- Elde edilen nanolif ipliklerden kumaş eldesi; kumaş özelliklerinin ve potansiyel kullanım alanlarının incelenmesi de bir diğer ilginç çalışma konusu olabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Afifi A M, Nakano S, Yamane H, Kimura Y (2010). Electrospinning of Continuous Aligning Yarns with a Funnel Target. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2957: 660–665.
- Alarifi I M, Alharbi A, Khan W S, Swindle A, Asmatulu R (2015). Thermal, Electrical and Surface Hydrophobic Properties of Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers for structural Health Monitoring. *Materials*, 8: 7017–7031.
- Ali U, Yaqiong Z, Xungai W, Tong L (2011). Electrospinning of Continuous Nanofiber Bundles and Twisted Nanofiber Yarns. *Nanofibers - Production, Properties and Functional Applications*, Lin T. In Tech:153-174.
- Ali U, Zhou Y, Wang X, Lin T (2012). Direct Electrospinning of Highly Twisted, Continuous Nanofiber Yarns. *The Journal of the Textile Institute*, Vol.103-1: 80–88.
- Andrady A (2008). *Science and Technology of Polymer Nanofibers*. A John Wiley & Sons. Inc. Publication, *Electrospinning Basics*: 55-76.
- Aslı M M, Gharehaghaji A, Johari M S (2010). Study on the Effects of Application of Surface Tension on the Structure of Electrospun Nanofiber Yarn. 7th International Conference TEXSCI, Liberec.
- Bagherzadeh A S (2010). *Electrospinning Yarn Formation and Coating*. Ph.D. Thesis, Graduate of Faculty of North Carolina State University, North Carolina.
- Barua B (2015). *Investigation of Electrospinning Process Parameters and Studies of Stabilization Kinetics of Polyacrylonitrile-Based Electrospun Carbon Nanofibers*. Ph.D. Thesis, University of Oklahoma, Graduate College, Oklahoma, USA.
- Bazbouz M B, Stylios G (2008). Novel Mechanism for Spinning Continuous Twisted Composite Nanofiber Yarns. *European Polymer Journal*, 44: 1–12.
- Bazbouz M B, Stylios G (2009). A New Mechanism for the Electrospinning of Nano Yarns. *Journal of Applied Polymer Science*, 124: 195–201.
- Bosworth L A, Rathbone S R, Bradley R S, Cartmell S H (2014a). Dynamic Loading of Electrospun Yarns Guides Mesenchymal Stem Cells Towards a Tendon Lineage. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 39: 175-183.
- Bosworth L A (2014b). Travelling along the Clinical Roadmap: Developing Electrospun Scaffolds for Tendon Repair. *Hindawi Publishing Corporation Conference Papers in Science*, Volume 2014, Article ID 304974, 6 pages
- Chawla S, Naraghi M, Davoudi A (2013). Effect of Twist and Porosity on the Electrical Conductivity of Carbon Nanofiber Yarns. *Nanotechnology*, 24: 255708- 255717.
- Cooley J F (1902). *Apparatus for Electrically Dispersing Fluids*, US Patent 692 631.
- Dabirian F, Hosseini Y, Hosseini Ravandi S A (2007). Manipulation of the Electric Field of Electrospinning System to Produce Polyacrylonitrile Nanofiber Yarn. *The Journal of the Textile Institute*, 98 (3): 237–241.

- Dabirian F, Ravandi H S A (2009). Novel Method for Nanofibre Yarn Production Using Two Differently Charged Nozzles. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 17-3 (74): 45-47.
- Dabirian F, Ravandi H S A, Hashemi S R, Hinestroza J P (2011). Manufacturing of Twisted Continuous PAN Nanofiber Yarn by Electrospinning Process. *Fibers and Polymers*, Vol.12(5): 610-615.
- Fennessey S F, Farris R J (2004). Fabrication of Aligned and Molecularly Oriented Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers and the Mechanical Behavior of their Twisted Yarns. *Polymer*, 45: 4217–4225.
- Formhals A (1934). Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads. United States Patent Application 1 975 504.
- Formhals A (1938a). Artificial Fiber Construction. United States Patent Application 2 109 333.
- Formhals A (1938b). Method and Apparatus for the Production of Fibers. United States Patent Application 2 123 992.
- Formhals A (1939). Method and Apparatus for Spinning. United States Patent Application 2 160 962.
- Formhals A (1940). Artificial Thread and Method for Producing Same. United States Patent Application 2 187 306.
- Formhals A (1943). Production of Artificial Fibers from Fiber Forming Liquids. United States Patent Office Application 2 323 025.
- Formhals A (1944). Method and Apparatus for Spinning. United States Patent Application 2 349 950.
- Frank K K, Yingjie L, Liting L, Heejae Y (2013). Multifunctional Composite Nanofibers. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, Vol. 6-2: 129-138.
- Göktepe F, Buzol Mülayim B (2015a). Electrospun Yarn Production by Use of Funnel Collector. 15<sup>th</sup> Autex World Textile Conference, June 10.12.15, Bucharest, Romania.
- Göktepe F, Buzol Mülayim B (2015b). Novel Approaches for Yarn Spinning by Electrospinning System. ITTC 6th International Technical Textiles Congress: 341-345.
- Göktepe F, Buzol Mülayim B (2015c). Elektrik Alan Lif Çekimi(Elektrospinning) ile Nano Liflerden İplik Üretim Yöntemleri. *Tekstil ve Mühendis*, 22-99: 51-67.
- Göktepe F, Buzol Mülayim B (2018). Long Path towards to success in Electrospun Nanofiber Yarn Production since 1930's: A Critical Review. *Autex Research Journal*, Vol.18, 2.
- Gümüş T (2009). Design and Manufacture of Polimeric Nanofiber Membranes via Electrospinning Method. M.sc. Thesis, İstanbul Technical University Institute Of Science and Technology, Polymer Science and Technology, İstanbul.
- Haghi A (2012). Instabilities in the Production of Electrospun Nanofibers. *Advances in Nanofiber Research*, Vol.2: 83-92.
- Hongu T, Phillips G O, Takigami M (2005). *New Millennium Fibers*. Woodhead Publishing Limited, 312s, Cambridge.

- Hajiani F, Jeddi A A A, Gharehaghaji A A (2012). An Investigation on the Effects of Twist on Geometry of the Electrospinning Triangle and Polyamide 66 Nanofiber Yarn Strength. *Fibers and Polymers*, Vol.13 (2): 244-252.
- He J, Zhou Y, Qi K, Wang L, Li P, Cui S (2013). Continuous Twisted Nanofiber Yarns Fabricated by Double Conjugate Electrospinning. *Fibers and Polymers*, Vol.14-11: 1857-1863.
- He J, Qi K, Zhou Y, Cu S (2014a). Multiple Conjugate Electrospinning Method for the Preparation of Continuous Polyacrylonitrile Nanofiber Yarn. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 8: 40137-40143.
- He J, Qi K, Zhou Y, Cui S (2014b). Fabrication of Continuous Nanofiber Yarn Using Novel Multi-Nozzle Bubble Electrospinning. *Polymer Int* 63: 1288–1294.
- Ji L, Medford AJ, Zhang X (2009). Electrospun polyacrylonitrile/zinc chloride composite nanofibers and their response to hydrogen sulfide. *Polymer*, 50: 605-612.
- Jin S, Xin B, Zheng Y (2017). Preparation and Characterization of Polysulfone Amide Nanoyarns by the Dynamic Rotating Electrospinning Method. *Textile Research Journal*, 0(00): 1-11.
- Kenry, Lim T C (2017). Nanofiber technology: Current Status and Emerging Developments. *Progress in Polymer Science*, 70: 1-17.
- Khan W S, Ceylan M, Jabarrania A, Saeednia L, Asmatulu R (2017). Chemical And Thermal Investigations of electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers Incorporated with Various Nanoscale Inclusions. *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 3, No. 4, Special Issue 5, pp. 1375-1390.
- Kim H Y (2010). Method of Manufacturing a Continuous Filament by Electrospinning. United States Patent Application 7 799 262 B1.
- Ko F, Gogotsi Y, Ali A, Naquib N, Ye H, Yang G L, Li C, Willis P (2003). Electrospinning of Continuous Carbon Nanotube Filled Nanofiber Yarns. *Adv. Materials*, 15 (14): 1161-1165.
- Latifi M, Yousefzadeh M, Amani-Tehran M, Ramakshina S (2011). Continuous Twisted Yarn from Well Aligned Nanofibers by a Water Vortex. *Society of Plastics Engineers*, Retrieved May 15, 2016. Web Site: [https://www.academia.edu/1456177/Continuous\\_twisted\\_yarn\\_from\\_wellaligned\\_nanofibers\\_by\\_a\\_water\\_vortex](https://www.academia.edu/1456177/Continuous_twisted_yarn_from_wellaligned_nanofibers_by_a_water_vortex).
- Lee J R, Jee S Y, Kim H J, Hong Y T, Kim S, Park S J (2010). Filament Bundle Type Nanofiber and Manufacturing Method. US Patent Application 7 803 460 B2.
- Levitt A S, Knittel C E, Vallett R, Koerner M, Dion G, Schauer C L (2017). Investigation of Nanoyarn Preparation by Modified Electrospinning Set up. *Journal of Applied Polymer Science*, 134: 44813.
- Li N, Hui Q, Xue H, Xiong J (2012). Electrospun Polyacrylonitrile Nanofiber Yarn Prepared by Funnel-Shape Collector. *Materials Letters*, Vol 79: 245-247.
- Li X, Yao C, Sun F, Song T, Li Y, Pu Y (2007). Conjugate Electrospinning of Continuous Nanofiber Yarn of Poly(L-lactide)/Nanocalcium Phosphate Nanocomposite. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 107: 3756–3764.

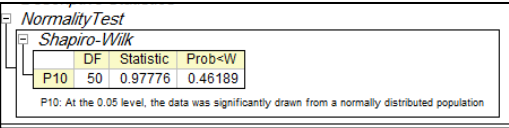
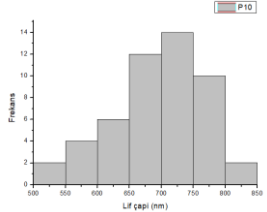
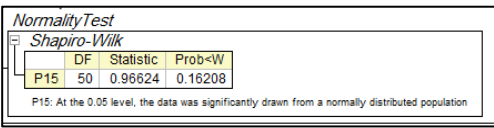
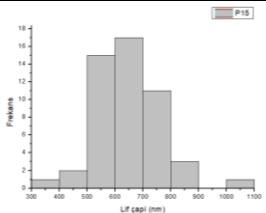
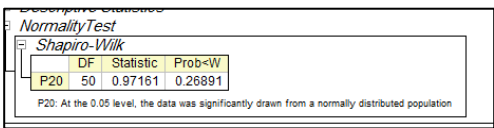
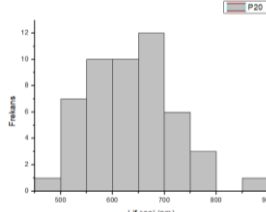
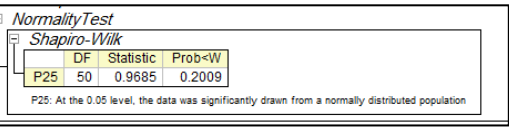
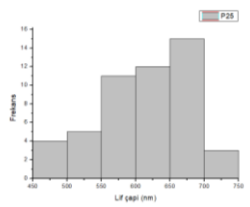
- Lotus A F (2009). Synthesis of Semiconducting Ceramic Nanofibers, Development of P-N Junctions and Bandgap Engineering by Electrospinning. Ph.D. Thesis, The University of Akron, Graduate Faculty, Ohio, USA.
- Lukas, (2010), Erişim tarihi:10.02.2015  
[https://www.google.com.tr/search?q=LUKAS+2010&rlz=1C1CHVZ\\_trTR571TR571&oq=LUKAS+2010&aqs=chrome..69i57j0l3.8520j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8#q=+Physical+principles+of+nanofiber+production+LUKAS+2010](https://www.google.com.tr/search?q=LUKAS+2010&rlz=1C1CHVZ_trTR571TR571&oq=LUKAS+2010&aqs=chrome..69i57j0l3.8520j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8#q=+Physical+principles+of+nanofiber+production+LUKAS+2010)
- Maheshwari S, Chang H (2009). Assembly of Multi-Stranded Nanofiber Threads through AC Electrospinning. *Advanced Material*, Vol. 21: 349–354.
- Maleki H, Gharehaghaji A A, Moroni L, Dijkstra P J (2013). Influence of the Solvent Type on the Morphology and Mechanical Properties of Electrospun PLLA Yarns. *Biofabrication*, 5: 035014- 035021.
- Maleki H, Gharehaghaji A A, Criscenti G, Criscenti G, Moroni L, Dijkstra P J J (2015). The Influence of Process Parameters on the Properties of Electrospun PLLA Yarns Studied by the Response Surface Methodology. *Applied Polymer Science*, 132: 41388.
- Memarian F, Latifi M, Armani-Tehran M (2014). Innovative Method for Electrospinning of Continuous TiO<sub>2</sub> Nanofiber Yarns: Importance of Auxiliary Polymer and Solvent Selection. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 20: 1886-1891.
- Mondal A, Borah R, Mukherjee A, Basu S, Jassal M, Agraw A K (2008). Electrospun Self-Assembled Nanofiber Yarns. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 110: 603–607.
- Morton W J (1902). Method of Dispersing Fluids, US Patent 705 691.
- Nakashima R, Watanabe K, Lee Y, Kim B S, Kim I (2013). Mechanical Properties of Poly(vinylidene fluoride) Nanofiber Filaments Prepared by Electrospinning and Twisting. *Advances in Polymer Technology*, Vol. 32: E44–E52.
- Pan H, Li L, Hu L, Cui X (2006). Continuous Aligned Polymer Fibers Produced by a Modified Electrospinning Method. *Polymer*, 47: 4901–4904.
- Pokorny P, Kostakova E, Sanetnik F, Mikes P, Chvojka J, Kalou T, Bilek M, Pejchar K, Valtera J, Lukas D (2014). Effective AC Needleless And Collectorless Electrospinning For Yarn Production. *Physical Chemistry Chemical Physics*, Vol. 16-48: 26816-26822.
- Ramakrishna S, Fujihara K, Teo W E, Yong T, Ma Z (2005). An Introduction to Electrospinning and Nanofibers, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapur, 382 s.
- Ravandi S A H, Bayat T R, Dabrian F, Gharehaghaji A A, Sajjadi A (2015). Characteristics of Yarn and Fabric Made out of Nanofibers. *Materials Sciences and Application*, 6: 103-110.
- Shukat M N, Lin T (2015). Direct Electrospinning of Nanofiber Yarns Using a Rotating Ring Collector. *The Journal of Textile Institute*, 107-6: 791-799.
- Smit E, Buttner U, Sanderson R D (2007). Continuous Yarns from Electrospun Nanofibers. *Nanofibers and Nanotechnology in Textiles*, Brown P J, Stevens K. Woodhead Publishing Ltd, , 45-71.

- Su C, Lai T, Lu C, Liu Y, Wu S (2013). Yarn Formation of Nanofibers Prepared Using Electrospinning. *Fibers and Polymers*, Vol.14-4: 542-549.
- 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.
- Tian L, Yan T, Pan Z (2015). Fabrication of Continuous Electrospun Nanofiber Yarns with Direct 3D Processability by Plying and Twisting. *Journal of Mater Science*, 50: 7137–7148.
- Tsai C C (2013). Electrospun Nanofiber Yarns for Nanofluidic Applications. Ph.D. Thesis, Graduate School of Clemson University, South Carolina.
- Wang X, Zhang K, Zhu M, Yu H, Zhou Z, Chen Y, Hsiao B S (2008a). Continuous Polymer Nanofiber Yarns Prepared by Self-bundling Electrospinning Method. *Polymer*, 49: 2755-2761.
- Wang X, Zhang K, Zhu M, Hsiao B, Chu B (2008b). Enhanced Mechanical Performance of Self-Bundled Electrospun Fiber Yarns via Post-Treatments. *Macromol Rapid Commun*, 29: 826–831.
- Wu S, Qin X (2013). Uniaxially Aligned Polyacrylonitrile Nanofiber Yarns Prepared by a Novel Modified Electrospinning Method. *Materials Letters*, 106: 204-207.
- Wu S, Zhang Y, Liu P, Qin X (2014). Polyacrylonitrile Nanofiber Yarns And Fabrics Produced Using A Novel Electrospinning Method Combined With Traditional Textile Techniques. *Textile Research Journal*, 86(16): 1716–1727.
- Xie Z (2013). Polyacrylonitrile Nanofibre Yarn; Electrospinning and Their Post-Drawing Behavior. Ph.D. Thesis, Deakin University, Australia.
- Yan H, Liu L, Zhang Z (2011). Continually Fabricating Staple Yarns with Aligned Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers. *Materials Letters*, 65: 2419-2421.
- Yang C, Deng G, Chen W, Ye X, Mo X (2014). A Novel Electrospun-Aligned Nanoyarn-Reinforced Nanofibrous scaffold for Tendon Tissue Engineering. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 122: 270–276.
- Yousefzadeh M, Latifi M, Teo W E, Armani Tehran M, Ramakrishna S (2011). Producing Continuous Twisted Yarn From Well-Aligned Nanofibers by Water Vortex. *Polymer Eng. Science*, 51: 323–329.
- Zhang C, Yuan X, Wu L, Han Y, Sheng J (2005). Study on morphology of electrospun poly(vinyl alcohol) mats. *European Polymer Journal*, 41: 423–432.
- Zhou F L, Gong R H, Porat I (2010). Nano-coated hybrid yarns using electrospinning. *Surface & Coatings Technology*, 204: 3459–3463.

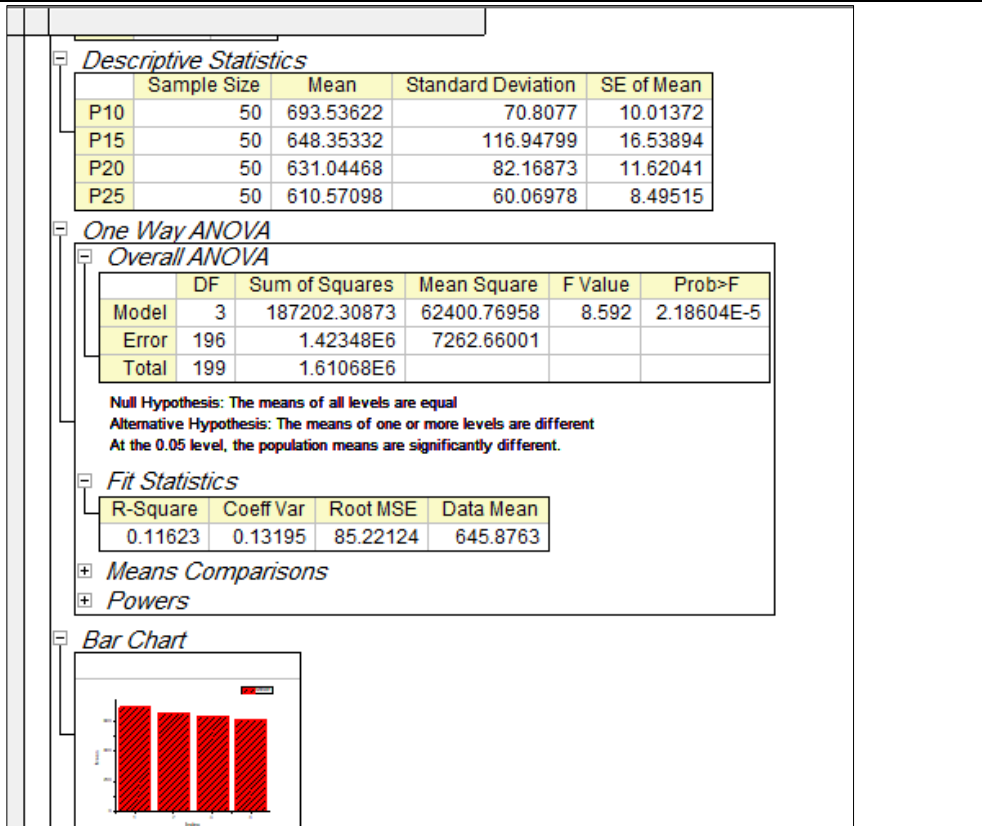


# EKLER

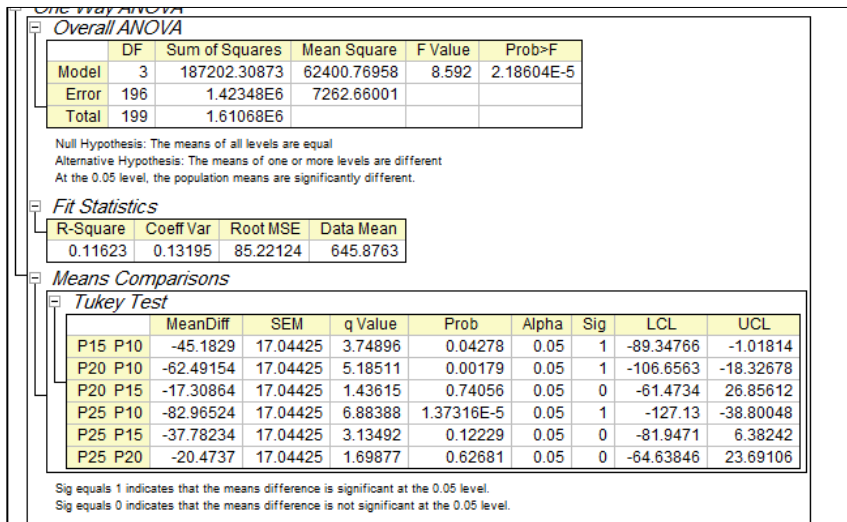
## Ek 1. Düzlemsel kolektörde temel parametrelerin belirlenmesi

| <p><b>P10</b></p> |  <p>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P10</td> <td>50</td> <td>0.97776</td> <td>0.46189</td> </tr> </tbody> </table> <p>P10: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>  |           | DF      | Statistic | Prob<W | P10 | 50 | 0.97776 | 0.46189 |  <p>Frequency</p> <p>LF (µm)</p>   |
|-------------------|---|-----------|---------|-----------|--------|-----|----|---------|---------|---|
|                   | DF  | Statistic | Prob<W  |           |        |     |    |         |         |   |
| P10               | 50  | 0.97776   | 0.46189 |           |        |     |    |         |         |   |
| <p><b>P15</b></p> |  <p>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P15</td> <td>50</td> <td>0.96624</td> <td>0.16208</td> </tr> </tbody> </table> <p>P15: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>  |           | DF      | Statistic | Prob<W | P15 | 50 | 0.96624 | 0.16208 |  <p>Frequency</p> <p>LF (µm)</p>    |
|                   | DF  | Statistic | Prob<W  |           |        |     |    |         |         |   |
| P15               | 50  | 0.96624   | 0.16208 |           |        |     |    |         |         |   |
| <p><b>P20</b></p> |  <p>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P20</td> <td>50</td> <td>0.97161</td> <td>0.26891</td> </tr> </tbody> </table> <p>P20: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p> |           | DF      | Statistic | Prob<W | P20 | 50 | 0.97161 | 0.26891 |  <p>Frequency</p> <p>LF (µm)</p>   |
|                   | DF  | Statistic | Prob<W  |           |        |     |    |         |         |   |
| P20               | 50  | 0.97161   | 0.26891 |           |        |     |    |         |         |   |
| <p><b>P25</b></p> |  <p>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P25</td> <td>50</td> <td>0.9685</td> <td>0.2009</td> </tr> </tbody> </table> <p>P25: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>  |           | DF      | Statistic | Prob<W | P25 | 50 | 0.9685  | 0.2009  |  <p>Frequency</p> <p>LF (µm)</p> |
|                   | DF  | Statistic | Prob<W  |           |        |     |    |         |         |   |
| P25               | 50  | 0.9685    | 0.2009  |           |        |     |    |         |         |   |

## Ek 1 (Devam). Düzlemsel kollektörde temel parametrelerin belirlenmesi



Tukey test sonuçları

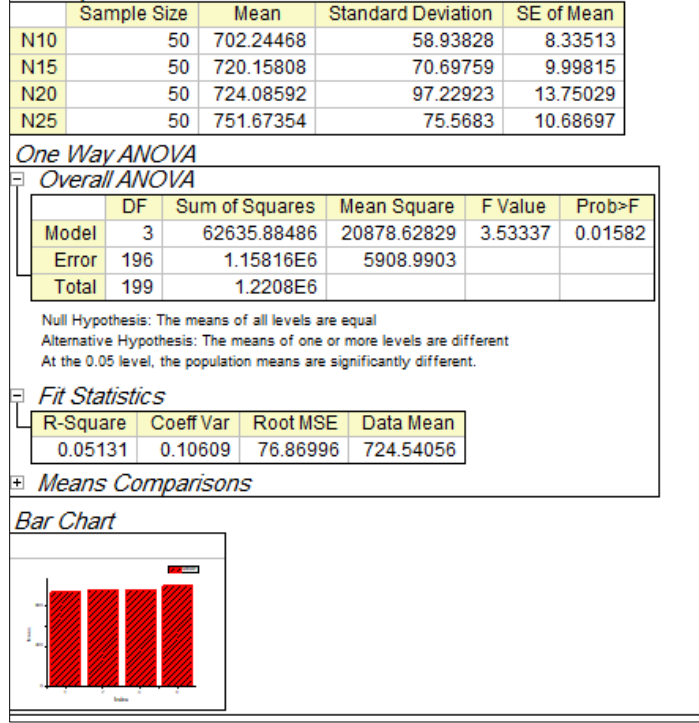


## Ek 1 (Devam). Düzlemsel kollektörde temel parametrelerin belirlenmesi

| <p><b>N10</b></p> | <p>Descriptive Statistics<br/>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&gt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N10</td> <td>50</td> <td>0.96266</td> <td>0.11496</td> </tr> </tbody> </table> <p>N10: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p> |           | DF      | Statistic | Prob>W | N10 | 50 | 0.96266 | 0.11496 |  |
|-------------------|---|-----------|---------|-----------|--------|-----|----|---------|---------|--|
|                   | DF  | Statistic | Prob>W  |           |        |     |    |         |         |  |
| N10               | 50  | 0.96266   | 0.11496 |           |        |     |    |         |         |  |
| <p><b>N15</b></p> | <p>Descriptive Statistics<br/>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&gt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N15</td> <td>50</td> <td>0.96774</td> <td>0.18693</td> </tr> </tbody> </table> <p>N15: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p> |           | DF      | Statistic | Prob>W | N15 | 50 | 0.96774 | 0.18693 |  |
|                   | DF  | Statistic | Prob>W  |           |        |     |    |         |         |  |
| N15               | 50  | 0.96774   | 0.18693 |           |        |     |    |         |         |  |
| <p><b>N20</b></p> | <p>Descriptive Statistics<br/>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&gt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N20</td> <td>50</td> <td>0.97988</td> <td>0.54681</td> </tr> </tbody> </table> <p>N20: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p> |           | DF      | Statistic | Prob>W | N20 | 50 | 0.97988 | 0.54681 |  |
|                   | DF  | Statistic | Prob>W  |           |        |     |    |         |         |  |
| N20               | 50  | 0.97988   | 0.54681 |           |        |     |    |         |         |  |
| <p><b>N25</b></p> | <p>Normality Test<br/>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&gt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N25</td> <td>50</td> <td>0.97603</td> <td>0.39905</td> </tr> </tbody> </table> <p>N25: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>                            |           | DF      | Statistic | Prob>W | N25 | 50 | 0.97603 | 0.39905 |  |
|                   | DF  | Statistic | Prob>W  |           |        |     |    |         |         |  |
| N25               | 50  | 0.97603   | 0.39905 |           |        |     |    |         |         |  |

## Ek 1 (Devam). Düzlemsel kollektörde temel parametrelerin belirlenmesi

### Negatif enjektörden elde edilen lif inceliklerine ait ANOVA test sonuçları



### Tukey Test sonuçları

**Means Comparisons**

**Tukey Test**

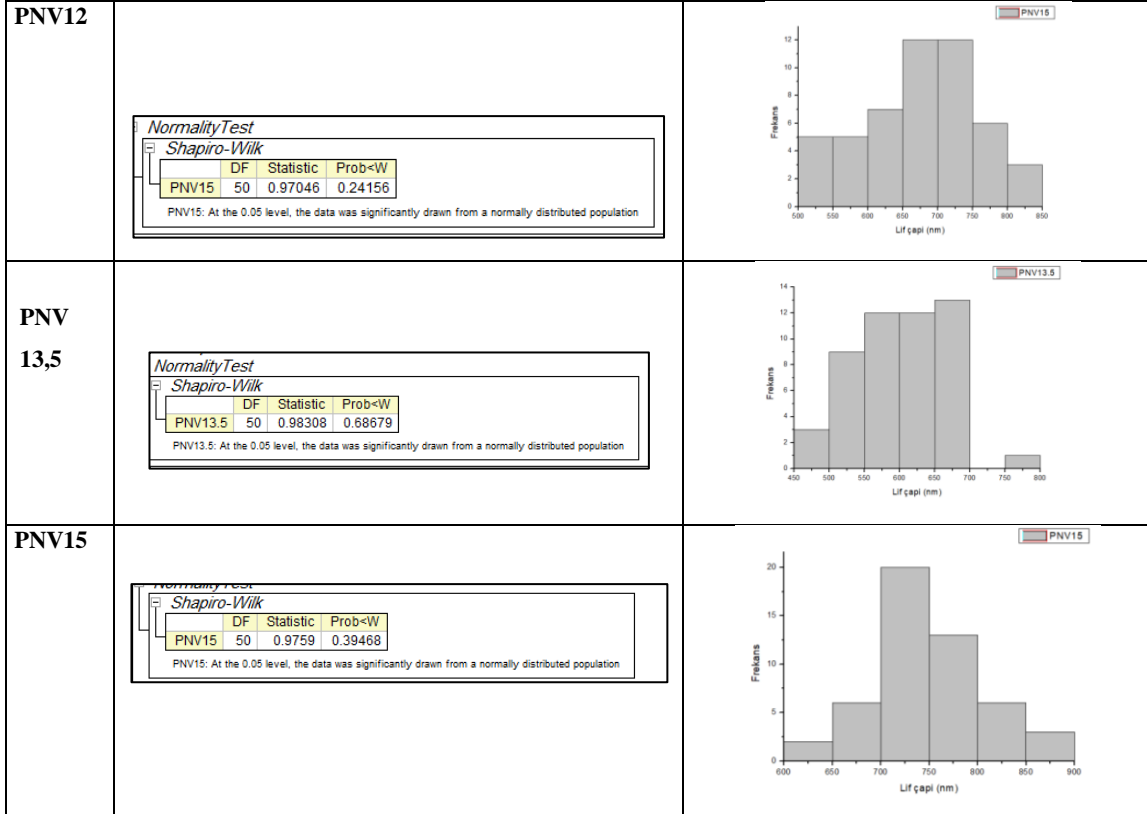
|         | MeanDiff | SEM      | q Value | Prob    | Alpha | Sig | LCL       | UCL      |
|---------|----------|----------|---------|---------|-------|-----|-----------|----------|
| N15 N10 | 17.9134  | 15.37399 | 1.64781 | 0.64951 | 0.05  | 0   | -21.92342 | 57.75022 |
| N20 N10 | 21.84124 | 15.37399 | 2.00912 | 0.48798 | 0.05  | 0   | -17.99558 | 61.67806 |
| N20 N15 | 3.92784  | 15.37399 | 0.36131 | 0.99413 | 0.05  | 0   | -35.90898 | 43.76466 |
| N25 N10 | 49.42886 | 15.37399 | 4.54683 | 0.00824 | 0.05  | 1   | 9.59204   | 89.26568 |
| N25 N15 | 31.51546 | 15.37399 | 2.89903 | 0.17351 | 0.05  | 0   | -8.32136  | 71.35228 |
| N25 N20 | 27.58762 | 15.37399 | 2.53771 | 0.2791  | 0.05  | 0   | -12.2492  | 67.42444 |

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.  
 Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

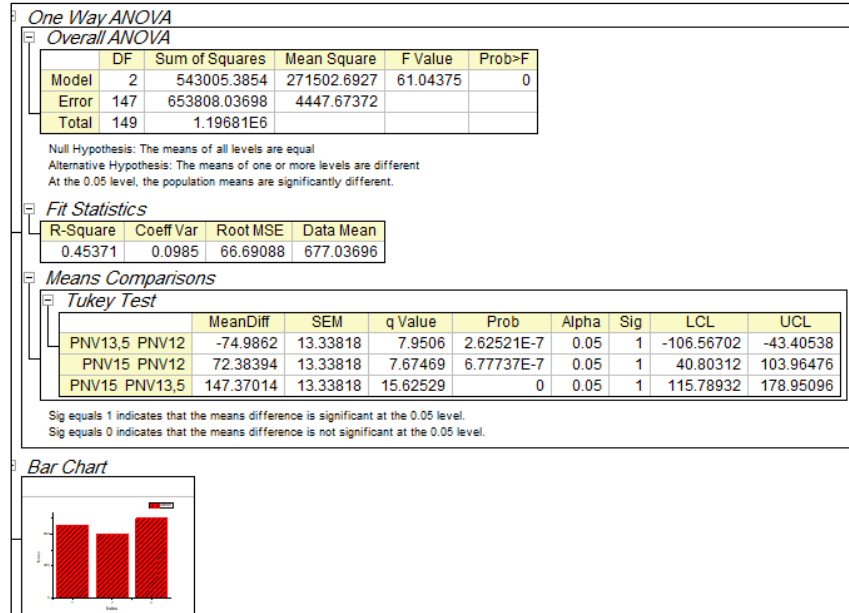
## Ek 1 (Devam). Düzlemsel kollektörde temel parametrelerin belirlenmesi

| PV12   | <p>NormalityTest</p> <p>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PV12</td> <td>50</td> <td>0.97425</td> <td>0.34162</td> </tr> </tbody> </table> <p>PV12: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>                                   |           | DF      | Statistic | Prob<W | PV12   | 50 | 0.97425 | 0.34162 |  |
|--------|--|-----------|---------|-----------|--------|--------|----|---------|---------|--|
|        | DF   | Statistic | Prob<W  |           |        |        |    |         |         |  |
| PV12   | 50   | 0.97425   | 0.34162 |           |        |        |    |         |         |  |
| PV13,5 | <p>Descriptive Statistics</p> <p>NormalityTest</p> <p>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PV13,5</td> <td>50</td> <td>0.96624</td> <td>0.16208</td> </tr> </tbody> </table> <p>PV13,5: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p> |           | DF      | Statistic | Prob<W | PV13,5 | 50 | 0.96624 | 0.16208 |  |
|        | DF   | Statistic | Prob<W  |           |        |        |    |         |         |  |
| PV13,5 | 50   | 0.96624   | 0.16208 |           |        |        |    |         |         |  |
| PV15   | <p>NormalityTest</p> <p>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PV15</td> <td>50</td> <td>0.97971</td> <td>0.53991</td> </tr> </tbody> </table> <p>PV15: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>                                   |           | DF      | Statistic | Prob<W | PV15   | 50 | 0.97971 | 0.53991 |  |
|        | DF   | Statistic | Prob<W  |           |        |        |    |         |         |  |
| PV15   | 50   | 0.97971   | 0.53991 |           |        |        |    |         |         |  |
| NV12   | <p>NormalityTest</p> <p>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NV12</td> <td>50</td> <td>0.96858</td> <td>0.20259</td> </tr> </tbody> </table> <p>NV12: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>                                   |           | DF      | Statistic | Prob<W | NV12   | 50 | 0.96858 | 0.20259 |  |
|        | DF   | Statistic | Prob<W  |           |        |        |    |         |         |  |
| NV12   | 50   | 0.96858   | 0.20259 |           |        |        |    |         |         |  |
| NV13,5 | <p>NormalityTest</p> <p>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NV13,5</td> <td>50</td> <td>0.96266</td> <td>0.11496</td> </tr> </tbody> </table> <p>NV13,5: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>                               |           | DF      | Statistic | Prob<W | NV13,5 | 50 | 0.96266 | 0.11496 |  |
|        | DF   | Statistic | Prob<W  |           |        |        |    |         |         |  |
| NV13,5 | 50   | 0.96266   | 0.11496 |           |        |        |    |         |         |  |
| NV15   | <p>NormalityTest</p> <p>Shapiro-Wilk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DF</th> <th>Statistic</th> <th>Prob&lt;W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NV15</td> <td>50</td> <td>0.97392</td> <td>0.33159</td> </tr> </tbody> </table> <p>NV15: At the 0.05 level, the data was significantly drawn from a normally distributed population</p>                                   |           | DF      | Statistic | Prob<W | NV15   | 50 | 0.97392 | 0.33159 |  |
|        | DF   | Statistic | Prob<W  |           |        |        |    |         |         |  |
| NV15   | 50   | 0.97392   | 0.33159 |           |        |        |    |         |         |  |

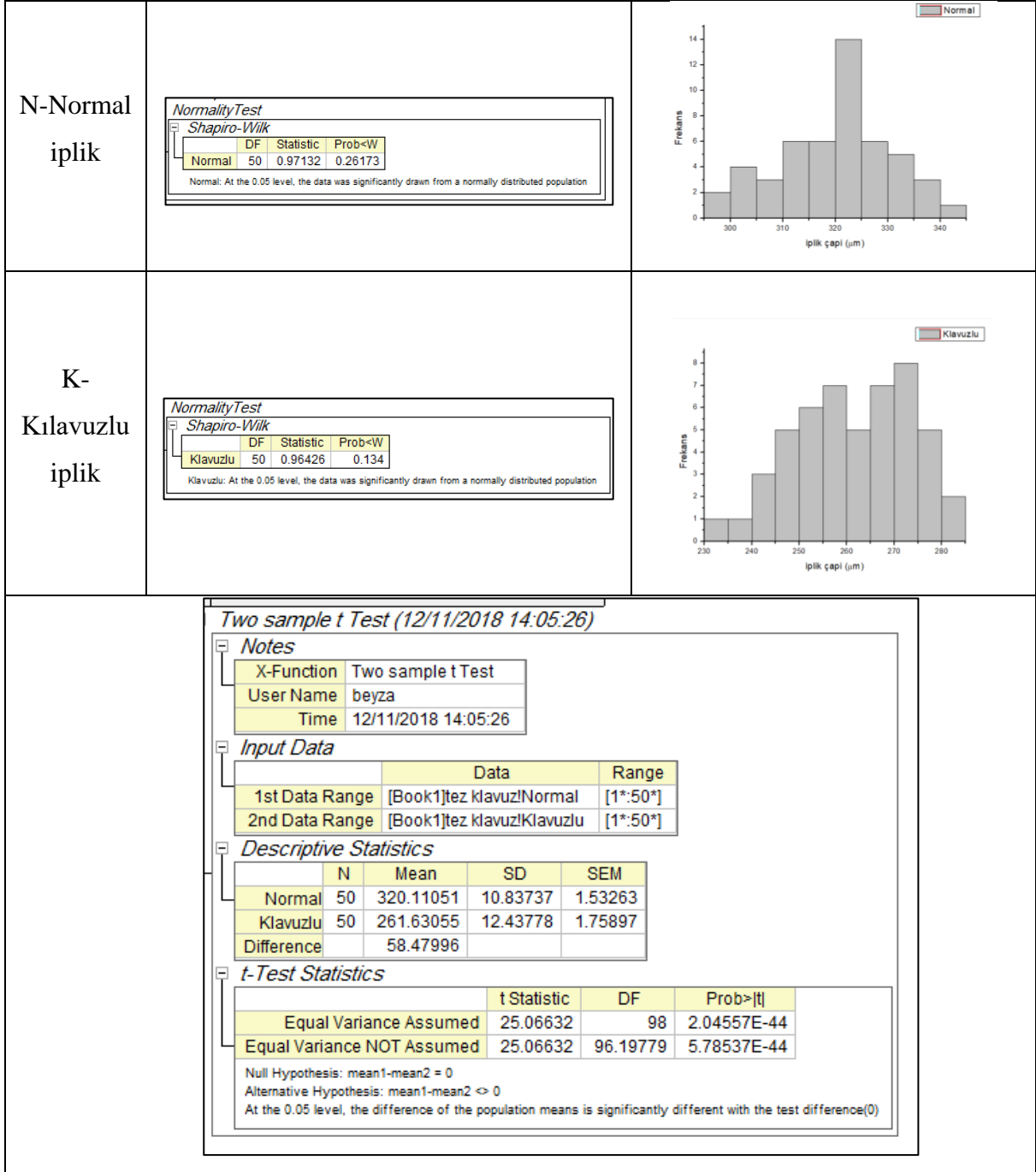
## Ek 1 (Devam). Düzlemsel kollektörde temel parametrelerin belirlenmesi



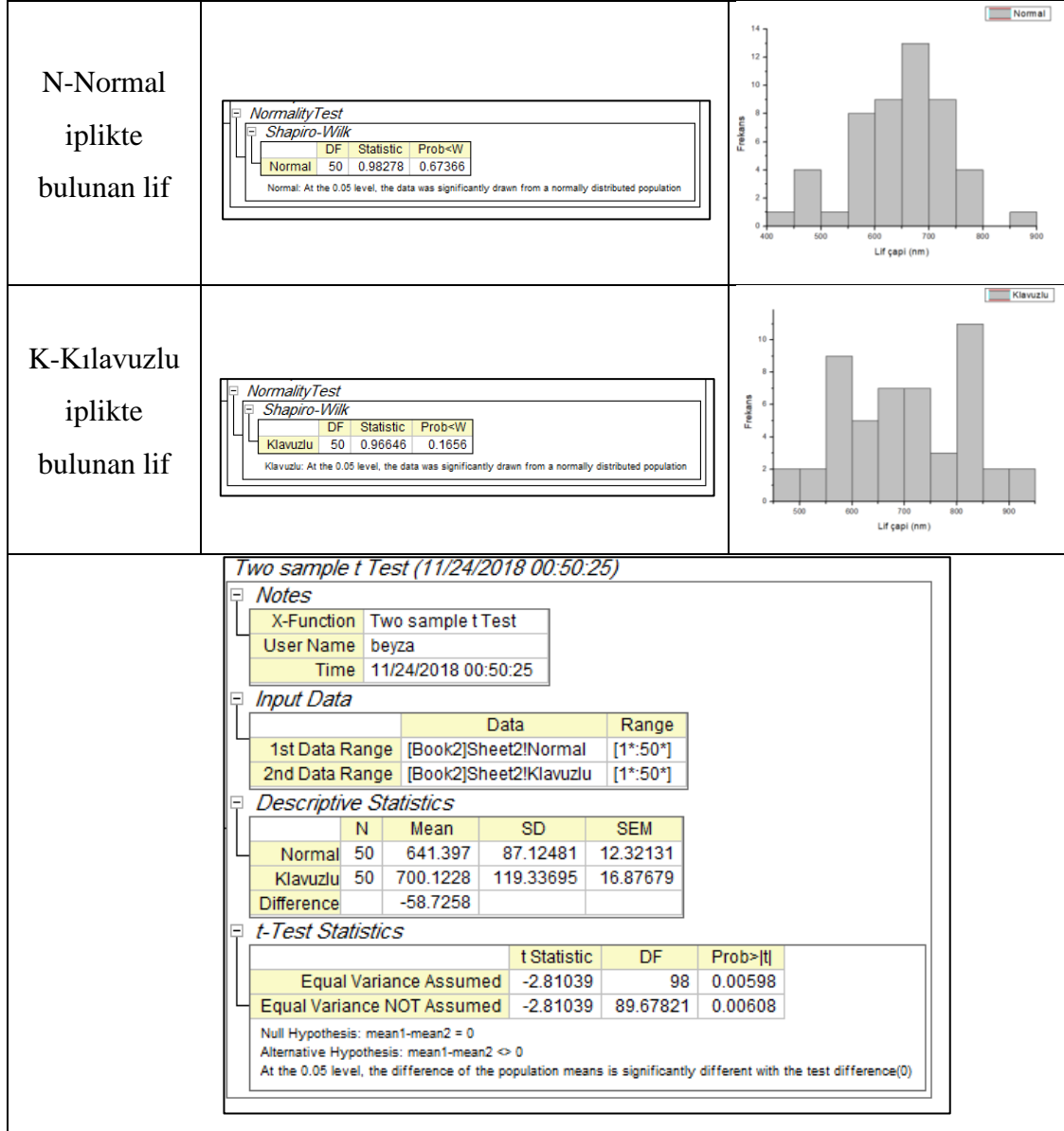
## Uygulanan voltajın lif inceliklerine etkisine ait ANOVA test sonuçları



## Ek 2. Kılavuzun lif ve iplik inceliklerine etkisi

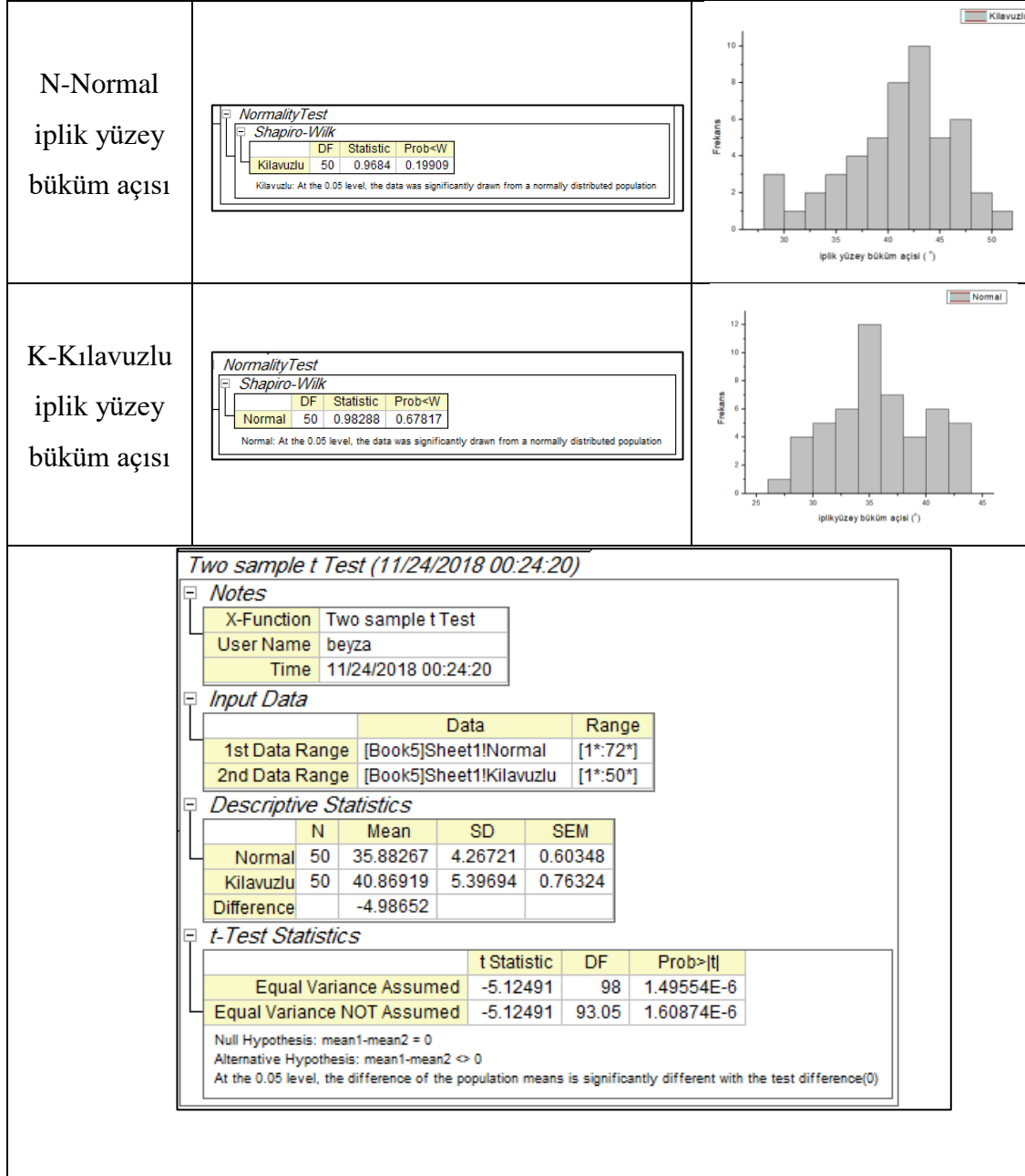


## Ek 2 (Devam). Kılavuzun lif ve iplik inceliklerine etkisi

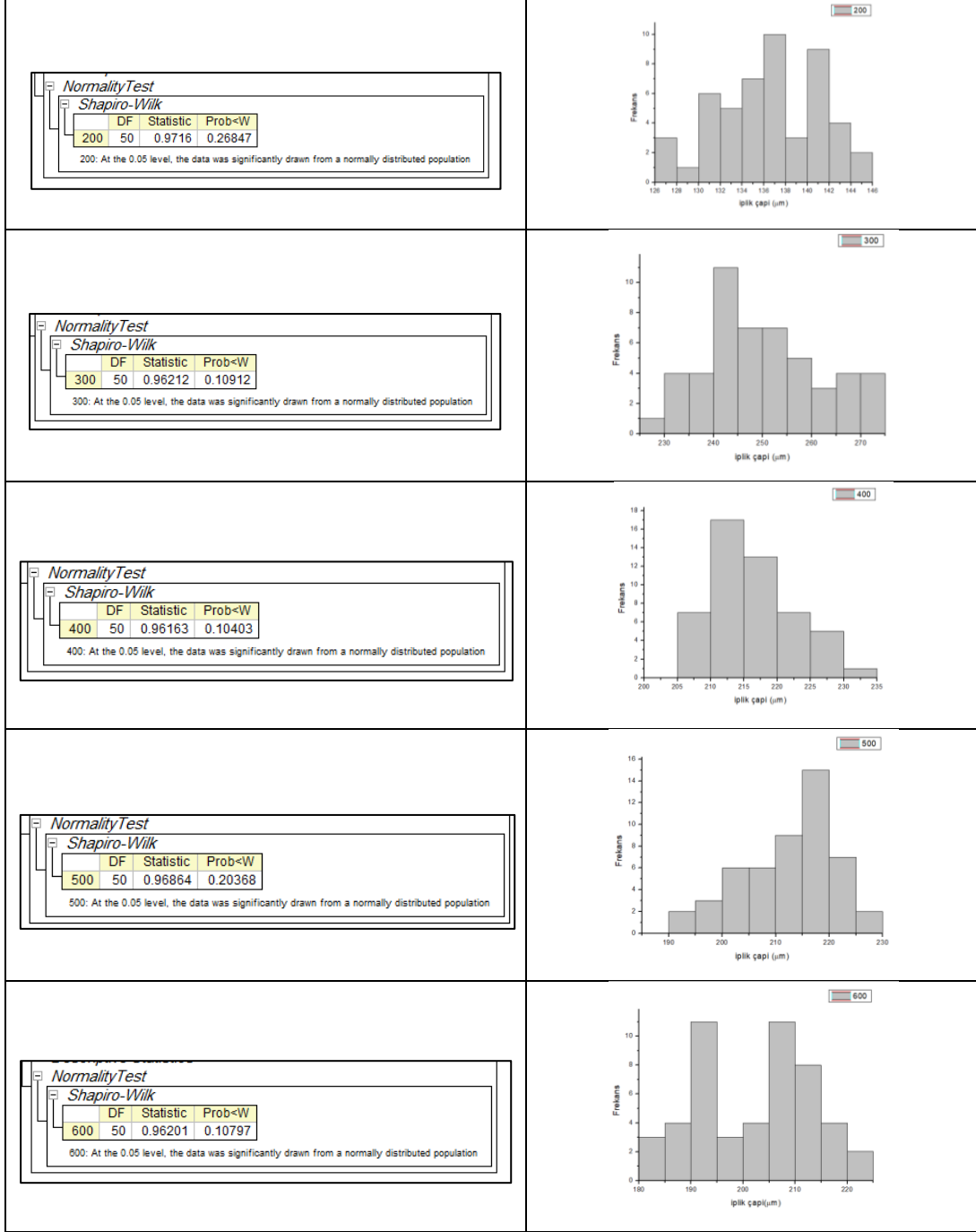




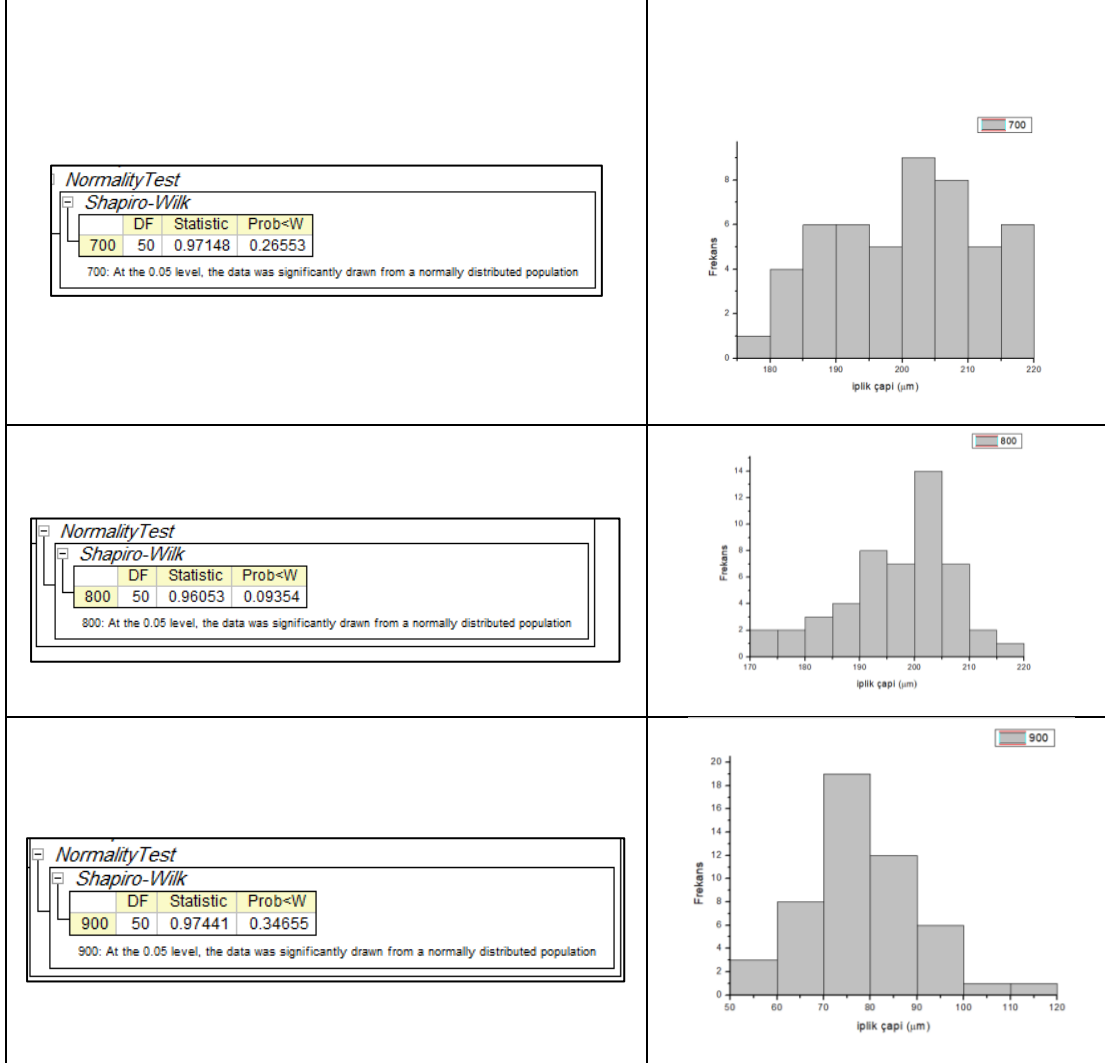
## Ek 2 (Devam). Kılavuzun lif ve iplik inceliklerine etkisi



### Ek 3. Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

Kollektör dönüş hızının iplik inceliğine etkisine ait ANOVA test sonuçları

ANOVAOneWay (12/1/2018 15:14:23)

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

|     | Sample Size | Mean      | Standard Deviation | SE of Mean |
|-----|-------------|-----------|--------------------|------------|
| 200 | 50          | 136.4761  | 4.7538             | 0.67229    |
| 300 | 50          | 250.32961 | 11.96042           | 1.69146    |
| 400 | 50          | 216.05639 | 6.32817            | 0.89494    |
| 500 | 50          | 212.08945 | 8.73875            | 1.23585    |
| 600 | 50          | 202.09355 | 10.83494           | 1.53229    |
| 700 | 50          | 200.36342 | 11.24651           | 1.5905     |
| 800 | 50          | 196.85406 | 10.23002           | 1.44674    |
| 900 | 50          | 77.39456  | 12.66212           | 1.79069    |

One Way ANOVA

Overall ANOVA

|       | DF  | Sum of Squares | Mean Square  | F Value    | Prob>F |
|-------|-----|----------------|--------------|------------|--------|
| Model | 7   | 1.02758E6      | 146796.80346 | 1484.81235 | 0      |
| Error | 392 | 38755.2992     | 98.86556     |            |        |
| Total | 399 | 1.06633E6      |              |            |        |

Null Hypothesis: The means of all levels are equal  
 Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different  
 At the 0.05 level, the population means are significantly different.

Fit Statistics

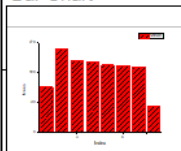
| R-Square | Coeff Var | Root MSE | Data Mean |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 0.96366  | 0.05333   | 9.94312  | 186.45714 |

|         | MeanDiff   | SEM     | q Value   | Prob       | Alpha | Sig | LCL        | UCL        |
|---------|------------|---------|-----------|------------|-------|-----|------------|------------|
| 300 200 | 113.85351  | 1.98862 | 80.96716  | 0          | 0.05  | 1   | 107.79341  | 119.9136   |
| 400 200 | 79.58029   | 1.98862 | 56.59369  | 0          | 0.05  | 1   | 73.5202    | 85.64038   |
| 400 300 | -34.27322  | 1.98862 | 24.37347  | 0          | 0.05  | 1   | -40.33331  | -28.21313  |
| 500 200 | 75.61335   | 1.98862 | 53.77259  | 0          | 0.05  | 1   | 69.55326   | 81.67344   |
| 500 300 | -38.24016  | 1.98862 | 27.19457  | 0          | 0.05  | 1   | -44.30025  | -32.18007  |
| 500 400 | -3.96694   | 1.98862 | 2.8211    | 0.48669    | 0.05  | 0   | -10.02703  | 2.09315    |
| 600 200 | 65.61745   | 1.98862 | 46.66398  | 0          | 0.05  | 1   | 59.55735   | 71.67754   |
| 600 300 | -48.23606  | 1.98862 | 34.30318  | 5.46615E-8 | 0.05  | 1   | -54.29615  | -42.17597  |
| 600 400 | -13.96284  | 1.98862 | 9.9297    | 2.39227E-8 | 0.05  | 1   | -20.02294  | -7.90275   |
| 600 500 | -9.9959    | 1.98862 | 7.10861   | 2.08792E-5 | 0.05  | 1   | -16.056    | -3.93581   |
| 700 200 | 63.88731   | 1.98862 | 45.4336   | 0          | 0.05  | 1   | 57.82722   | 69.9474    |
| 700 300 | -49.96619  | 1.98862 | 35.53356  | 2.71603E-7 | 0.05  | 1   | -56.02629  | -43.9061   |
| 700 400 | -15.69298  | 1.98862 | 11.16009  | 2.01505E-8 | 0.05  | 1   | -21.75307  | -9.63288   |
| 700 500 | -11.72604  | 1.98862 | 8.339     | 2.51863E-7 | 0.05  | 1   | -17.78613  | -5.66594   |
| 700 600 | -1.73013   | 1.98862 | 1.23039   | 0.98851    | 0.05  | 0   | -7.79023   | 4.32996    |
| 800 200 | 60.37796   | 1.98862 | 42.93791  | 0          | 0.05  | 1   | 54.31786   | 66.43805   |
| 800 300 | -53.47555  | 1.98862 | 38.02925  | 0          | 0.05  | 1   | -59.53564  | -47.41546  |
| 800 400 | -19.20233  | 1.98862 | 13.65578  | 1.37455E-8 | 0.05  | 1   | -25.26242  | -13.14224  |
| 800 500 | -15.23539  | 1.98862 | 10.83468  | 2.1056E-8  | 0.05  | 1   | -21.29548  | -9.1753    |
| 800 600 | -5.23949   | 1.98862 | 3.72607   | 0.14673    | 0.05  | 0   | -11.29958  | 0.8206     |
| 800 700 | -3.50936   | 1.98862 | 2.49569   | 0.64438    | 0.05  | 0   | -9.56945   | 2.55074    |
| 900 200 | -59.08155  | 1.98862 | 42.01597  | 0          | 0.05  | 1   | -65.14164  | -53.02145  |
| 900 300 | -172.93505 | 1.98862 | 122.98312 | 0          | 0.05  | 1   | -178.99515 | -166.87496 |
| 900 400 | -138.66184 | 1.98862 | 98.60965  | 0          | 0.05  | 1   | -144.72193 | -132.60174 |
| 900 500 | -134.6949  | 1.98862 | 95.78856  | 0          | 0.05  | 1   | -140.75499 | -128.6348  |
| 900 600 | -124.69899 | 1.98862 | 88.67995  | 0          | 0.05  | 1   | -130.75909 | -118.6389  |
| 900 700 | -122.96886 | 1.98862 | 87.44956  | 0          | 0.05  | 1   | -129.02895 | -116.90877 |
| 900 800 | -119.4595  | 1.98862 | 84.95388  | 0          | 0.05  | 1   | -125.5196  | -113.39941 |

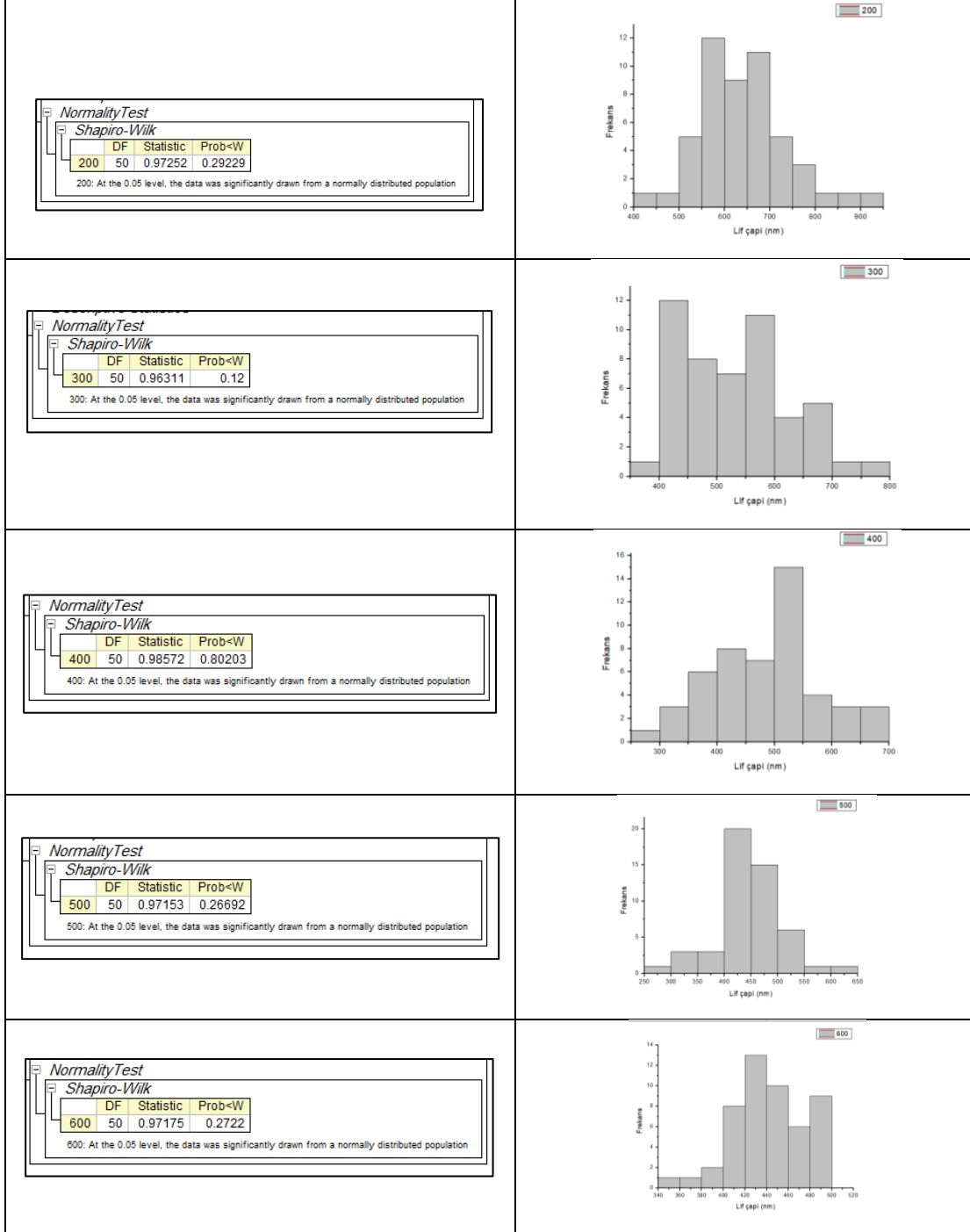
Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.  
 Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

#### Powers

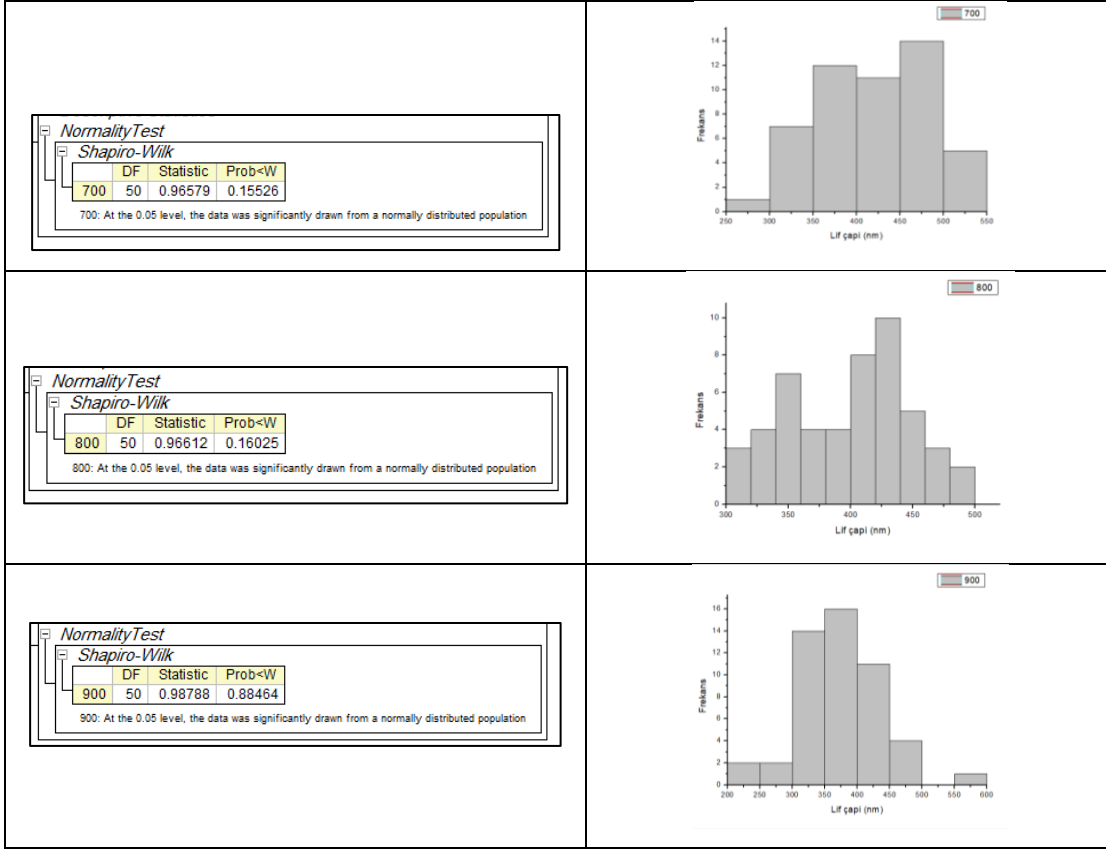
#### Bar Chart



### Ek 3 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



**Ek 3 (Devam).** Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

Kollektör dönüş hızının lif inceliğine etkisine ait ANOVA test sonuçları

**ANOVA OneWay (11/24/2018 23:58:37)**

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

|     | Sample Size | Mean     | Standard Deviation | SE of Mean |
|-----|-------------|----------|--------------------|------------|
| 200 | 50          | 642.818  | 92.65346           | 13.10318   |
| 300 | 50          | 536.769  | 93.72294           | 13.25443   |
| 400 | 50          | 481.9294 | 95.02162           | 13.43809   |
| 500 | 50          | 450.9324 | 61.27801           | 8.66602    |
| 600 | 50          | 441.8888 | 32.82513           | 4.64217    |
| 700 | 50          | 421.302  | 65.77641           | 9.30219    |
| 800 | 50          | 399.2502 | 48.77077           | 6.89723    |
| 900 | 50          | 374.0356 | 64.77609           | 9.16072    |

One Way ANOVA

Overall ANOVA

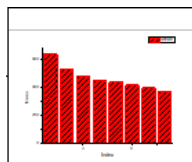
|       | DF  | Sum of Squares | Mean Square  | F Value  | Prob>F |
|-------|-----|----------------|--------------|----------|--------|
| Model | 7   | 2.60956E6      | 372793.91879 | 70.78705 | 0      |
| Error | 392 | 2.06443E6      | 5266.41374   |          |        |
| Total | 399 | 4.67399E6      |              |          |        |

Null Hypothesis: The means of all levels are equal  
 Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different  
 At the 0.05 level, the population means are significantly different.

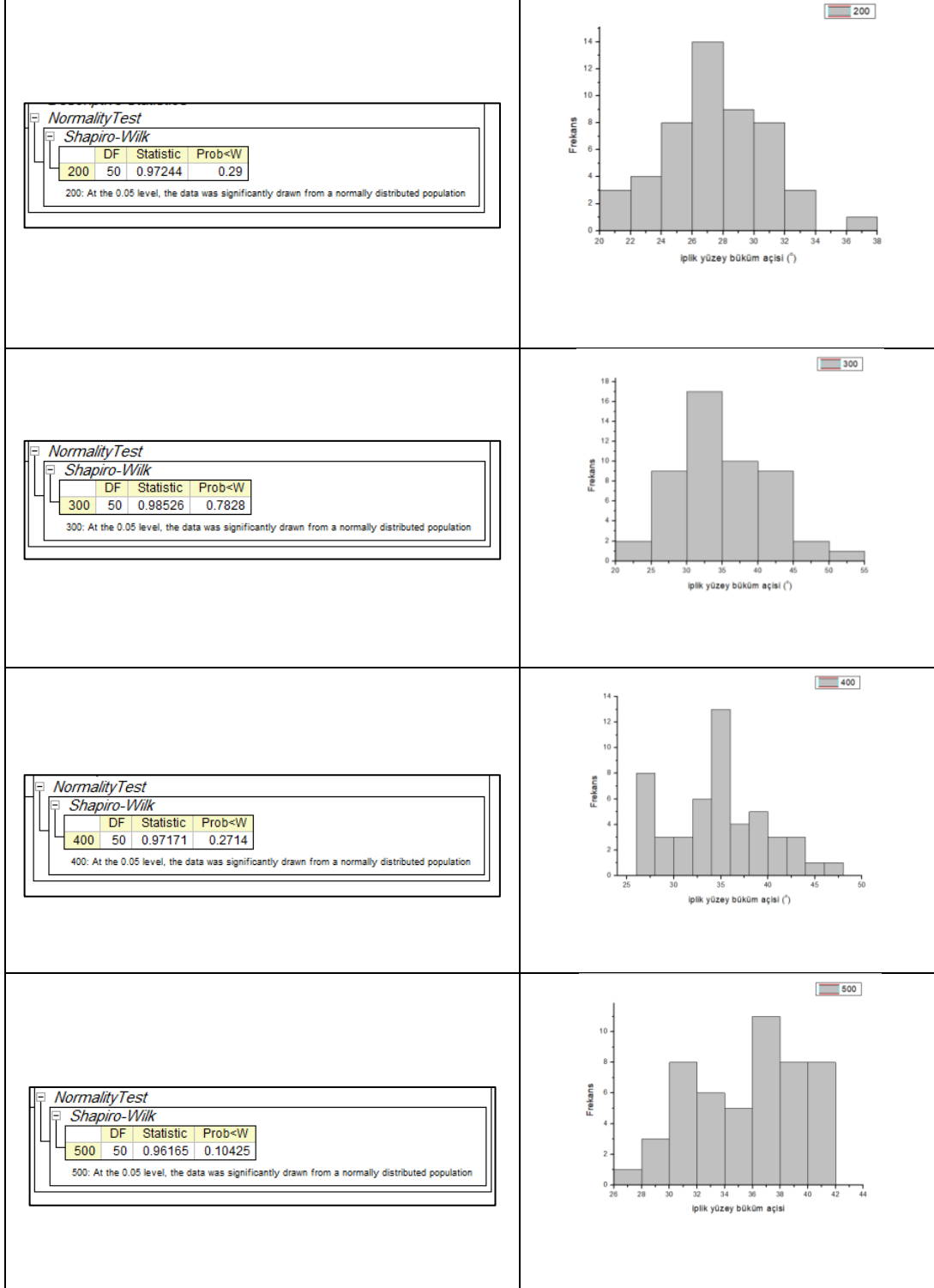
Fit Statistics

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | Data Mean |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 0.55831  | 0.15486   | 72.57006 | 468.61568 |

|         | MeanDiff  | SEM      | q Value  | Prob       | Alpha | Sig | LCL        | UCL        |
|---------|-----------|----------|----------|------------|-------|-----|------------|------------|
| 300 200 | -106.049  | 14.51401 | 10.33318 | 2.25185E-8 | 0.05  | 1   | -150.27873 | -61.81927  |
| 400 200 | -160.8886 | 14.51401 | 15.67663 | 9.14291E-9 | 0.05  | 1   | -205.11833 | -116.65887 |
| 400 300 | -54.8396  | 14.51401 | 5.34345  | 0.00448    | 0.05  | 1   | -99.06933  | -10.60987  |
| 500 200 | -191.8856 | 14.51401 | 18.69691 | 0          | 0.05  | 1   | -236.11533 | -147.65587 |
| 500 300 | -85.8366  | 14.51401 | 8.36373  | 2.31086E-7 | 0.05  | 1   | -130.06633 | -41.60687  |
| 500 400 | -30.997   | 14.51401 | 3.02028  | 0.39384    | 0.05  | 0   | -75.22673  | 13.23273   |
| 600 200 | -200.9292 | 14.51401 | 19.5781  | 0          | 0.05  | 1   | -245.15893 | -156.69947 |
| 600 300 | -94.8802  | 14.51401 | 9.24492  | 3.11719E-8 | 0.05  | 1   | -139.10993 | -50.65047  |
| 600 400 | -40.0406  | 14.51401 | 3.90147  | 0.10869    | 0.05  | 0   | -84.27033  | 4.18913    |
| 600 500 | -9.0436   | 14.51401 | 0.88119  | 0.99856    | 0.05  | 0   | -53.27333  | 35.18613   |
| 700 200 | -221.516  | 14.51401 | 21.58403 | 0          | 0.05  | 1   | -265.74573 | -177.28627 |
| 700 300 | -115.467  | 14.51401 | 11.25085 | 1.99015E-8 | 0.05  | 1   | -159.69673 | -71.23727  |
| 700 400 | -60.6274  | 14.51401 | 5.9074   | 9.44606E-4 | 0.05  | 1   | -104.85713 | -16.39767  |
| 700 500 | -29.6304  | 14.51401 | 2.88712  | 0.45523    | 0.05  | 0   | -73.86013  | 14.59933   |
| 700 600 | -20.5868  | 14.51401 | 2.00593  | 0.84846    | 0.05  | 0   | -64.81653  | 23.64293   |
| 800 200 | -243.5678 | 14.51401 | 23.73271 | 0          | 0.05  | 1   | -287.79753 | -199.33807 |
| 800 300 | -137.5188 | 14.51401 | 13.39953 | 1.43638E-8 | 0.05  | 1   | -181.74853 | -93.28907  |
| 800 400 | -82.6792  | 14.51401 | 8.05608  | 6.97609E-7 | 0.05  | 1   | -126.90893 | -38.44947  |
| 800 500 | -51.6822  | 14.51401 | 5.0358   | 0.00978    | 0.05  | 1   | -95.91193  | -7.45247   |
| 800 600 | -42.6386  | 14.51401 | 4.15461  | 0.068      | 0.05  | 0   | -86.86833  | 1.59113    |
| 800 700 | -22.0518  | 14.51401 | 2.14868  | 0.79675    | 0.05  | 0   | -66.28153  | 22.17793   |
| 900 200 | -268.7824 | 14.51401 | 26.18957 | 0          | 0.05  | 1   | -313.01213 | -224.55267 |
| 900 300 | -162.7334 | 14.51401 | 15.85639 | 8.74368E-9 | 0.05  | 1   | -206.96313 | -118.50367 |
| 900 400 | -107.8938 | 14.51401 | 10.51294 | 2.19792E-8 | 0.05  | 1   | -152.12353 | -63.66407  |
| 900 500 | -76.8968  | 14.51401 | 7.49266  | 5.43081E-6 | 0.05  | 1   | -121.12653 | -32.66707  |
| 900 600 | -67.8532  | 14.51401 | 6.61147  | 1.09269E-4 | 0.05  | 1   | -112.08293 | -23.62347  |
| 900 700 | -47.2664  | 14.51401 | 4.60553  | 0.02669    | 0.05  | 1   | -91.49613  | -3.03667   |
| 900 800 | -25.2146  | 14.51401 | 2.45686  | 0.66277    | 0.05  | 0   | -69.44433  | 19.01513   |

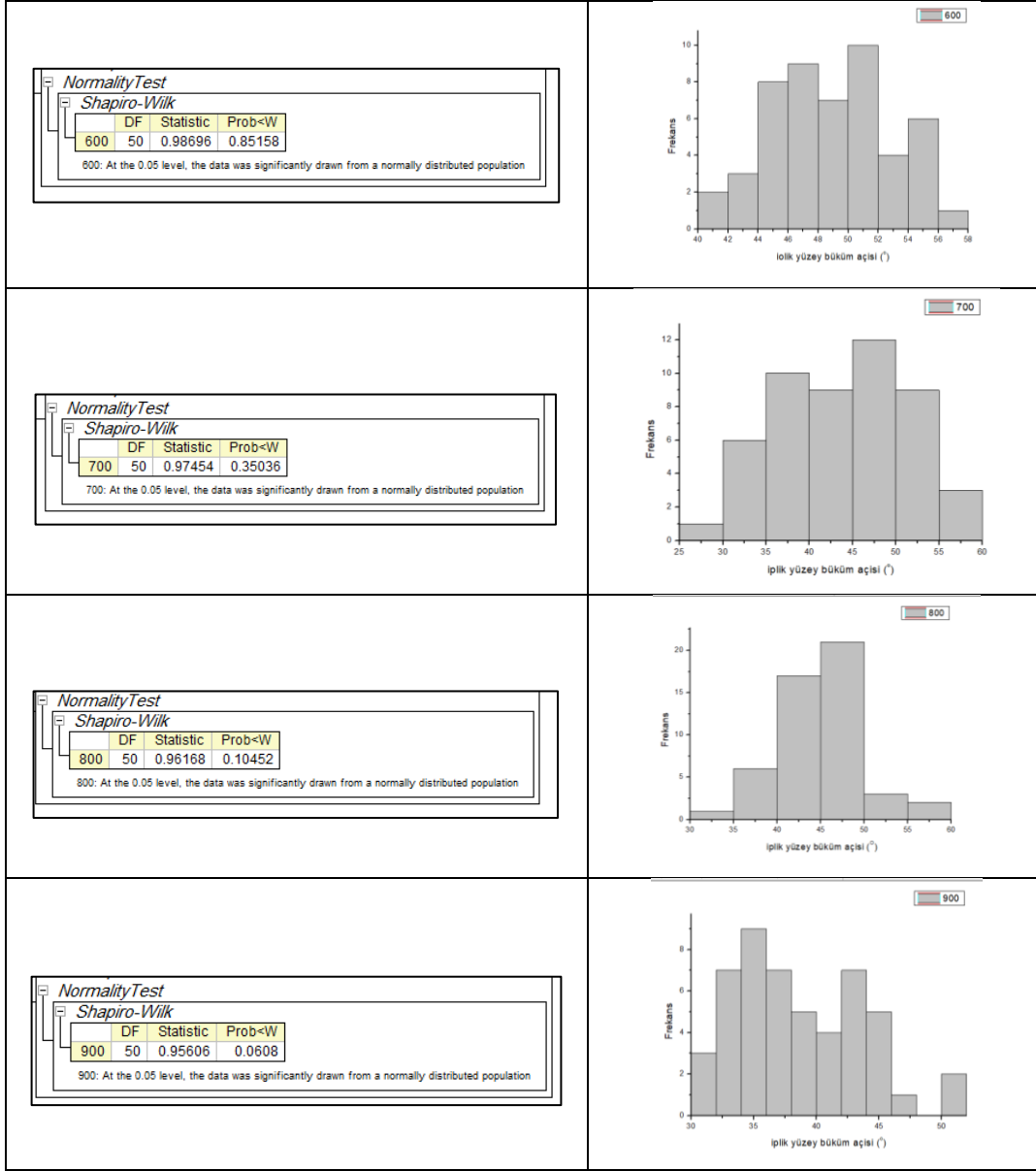


### Ek 3 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi





### Ek 3 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



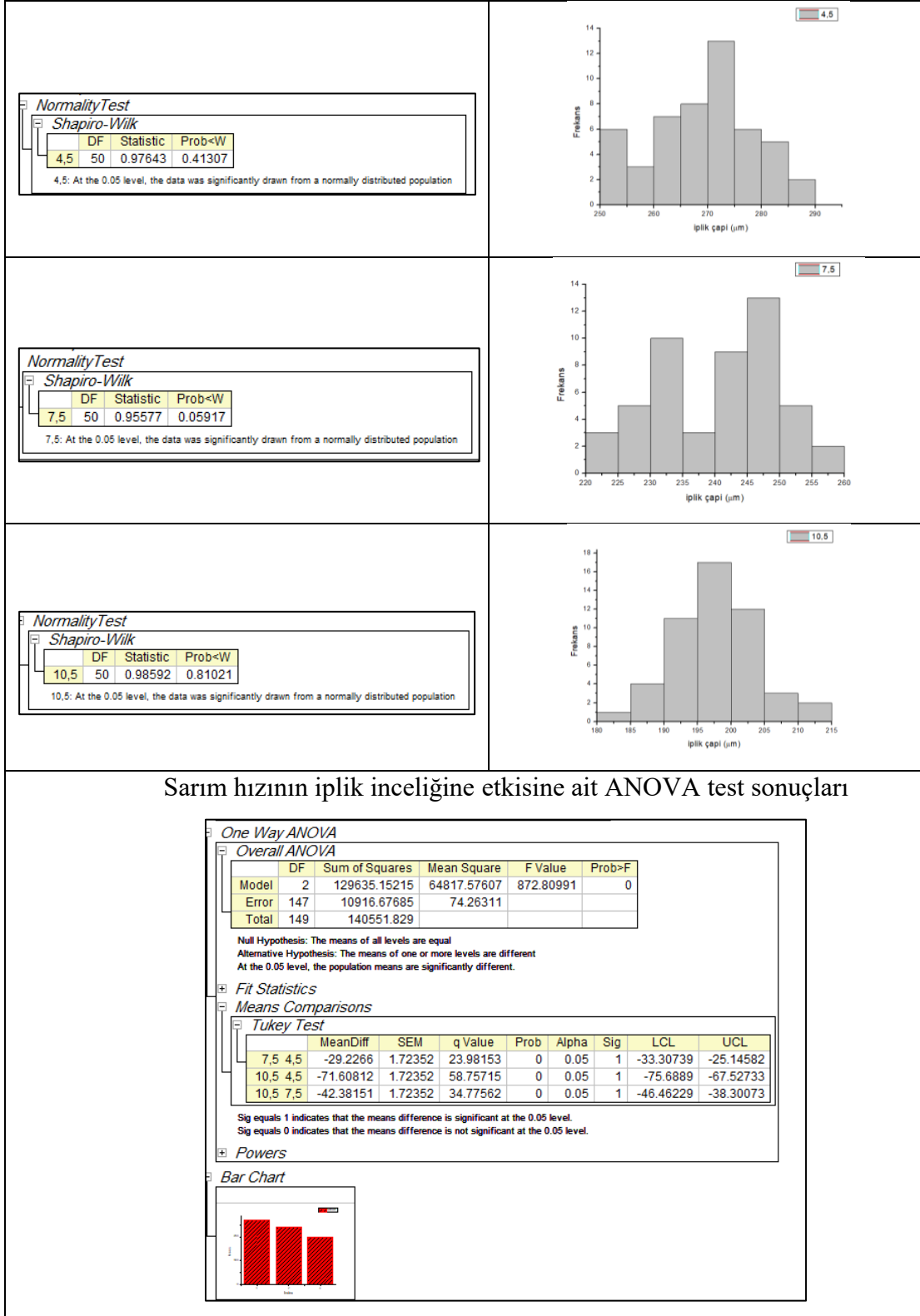
### Ek 3 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

Kollektör dönüş hızının iplik yüzey büküm açısına etkisine ait ANOVA test sonuçları

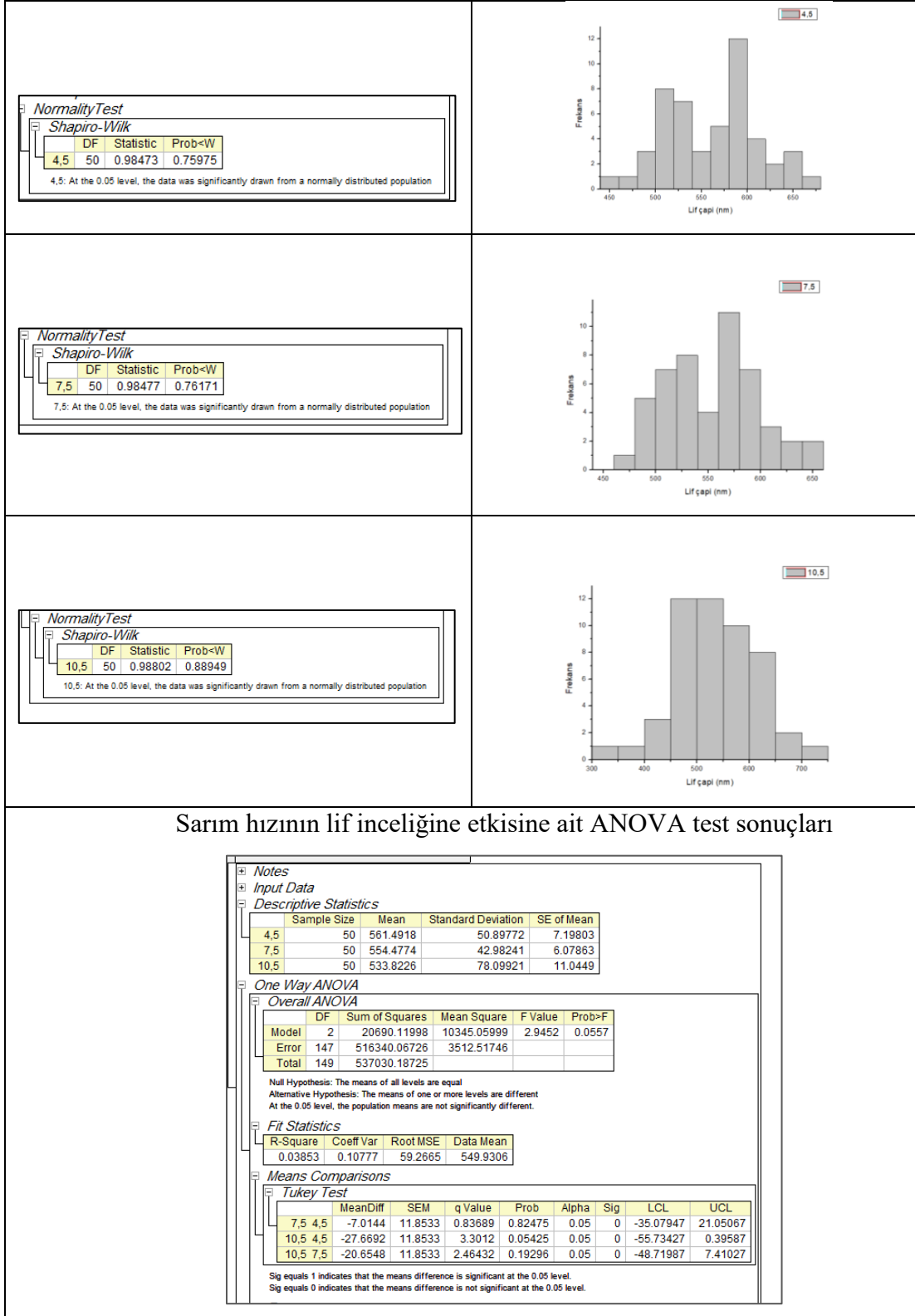
| ANOVAOneWay (11/25/2018 21:49:22)                                     |                       |                |                    |            |        |
|---|-----------------------|----------------|--------------------|------------|--------|
| <b>Notes</b>  |                       |                |                    |            |        |
| Description   | Perform One-Way ANOVA |                |                    |            |        |
| User Name   | beyza                 |                |                    |            |        |
| Operation Time  | 11/25/2018 21:49:22   |                |                    |            |        |
| Report Status   | New Analysis Report   |                |                    |            |        |
| <b>Input Data</b>   |                       |                |                    |            |        |
| <b>Descriptive Statistics</b>   |                       |                |                    |            |        |
|   | Sample Size           | Mean           | Standard Deviation | SE of Mean |        |
| 200   | 50                    | 27.52211       | 3.30479            | 0.46737    |        |
| 300   | 50                    | 34.93674       | 6.30616            | 0.89183    |        |
| 400   | 50                    | 34.6343        | 5.14793            | 0.72803    |        |
| 500   | 50                    | 35.55053       | 3.87585            | 0.54813    |        |
| 600   | 50                    | 49.11688       | 3.90389            | 0.55209    |        |
| 700   | 50                    | 43.91077       | 7.5063             | 1.06155    |        |
| 800   | 50                    | 44.71962       | 4.61867            | 0.65318    |        |
| 900   | 50                    | 38.67127       | 4.912              | 0.69466    |        |
| <b>One Way ANOVA</b>  |                       |                |                    |            |        |
| <b>Overall ANOVA</b>  |                       |                |                    |            |        |
|   | DF                    | Sum of Squares | Mean Square        | F Value    | Prob>F |
| Model   | 7                     | 16871.02786    | 2410.14684         | 92.14094   | 0      |
| Error   | 392                   | 10253.61312    | 26.15718           |            |        |
| Total   | 399                   | 27124.64098    |                    |            |        |
| Null Hypothesis: The means of all levels are equal                    |                       |                |                    |            |        |
| Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different |                       |                |                    |            |        |
| At the 0.05 level, the population means are significantly different.  |                       |                |                    |            |        |

| <b>Tukey Test</b> |           |         |          |            |       |     |           |          |
|-------------------|-----------|---------|----------|------------|-------|-----|-----------|----------|
|                   | MeanDiff  | SEM     | q Value  | Prob       | Alpha | Sig | LCL       | UCL      |
| 300 200           | 7.41463   | 1.02288 | 10.2513  | 2.27747E-8 | 0.05  | 1   | 4.29752   | 10.53174 |
| 400 200           | 7.11219   | 1.02288 | 9.83315  | 2.43553E-8 | 0.05  | 1   | 3.99508   | 10.2293  |
| 400 300           | -0.30244  | 1.02288 | 0.41815  | 0.99999    | 0.05  | 0   | -3.41955  | 2.81467  |
| 500 200           | 8.02842   | 1.02288 | 11.09991 | 2.03164E-8 | 0.05  | 1   | 4.91131   | 11.14553 |
| 500 300           | 0.61379   | 1.02288 | 0.84861  | 0.99887    | 0.05  | 0   | -2.50332  | 3.7309   |
| 500 400           | 0.91623   | 1.02288 | 1.26676  | 0.98635    | 0.05  | 0   | -2.20088  | 4.03334  |
| 600 200           | 21.59478  | 1.02288 | 29.85646 | 0          | 0.05  | 1   | 18.47766  | 24.71189 |
| 600 300           | 14.18015  | 1.02288 | 19.60515 | 0          | 0.05  | 1   | 11.06304  | 17.29726 |
| 600 400           | 14.48259  | 1.02288 | 20.02331 | 0          | 0.05  | 1   | 11.36548  | 17.5997  |
| 600 500           | 13.56636  | 1.02288 | 18.75655 | 0          | 0.05  | 1   | 10.44925  | 16.68347 |
| 700 200           | 16.38866  | 1.02288 | 22.6586  | 0          | 0.05  | 1   | 13.27155  | 19.50577 |
| 700 300           | 8.97403   | 1.02288 | 12.40729 | 1.68399E-8 | 0.05  | 1   | 5.85692   | 12.09114 |
| 700 400           | 9.27647   | 1.02288 | 12.82545 | 1.57802E-8 | 0.05  | 1   | 6.15936   | 12.39358 |
| 700 500           | 8.36024   | 1.02288 | 11.55869 | 1.90669E-8 | 0.05  | 1   | 5.24313   | 11.47735 |
| 700 600           | -5.20612  | 1.02288 | 7.19786  | 1.5345E-5  | 0.05  | 1   | -8.32323  | -2.08901 |
| 800 200           | 17.19751  | 1.02288 | 23.77689 | 0          | 0.05  | 1   | 14.0804   | 20.31462 |
| 800 300           | 9.78288   | 1.02288 | 13.52559 | 1.40586E-8 | 0.05  | 1   | 6.66577   | 12.89999 |
| 800 400           | 10.08532  | 1.02288 | 13.94374 | 1.30605E-8 | 0.05  | 1   | 6.96821   | 13.20243 |
| 800 500           | 9.16909   | 1.02288 | 12.67698 | 1.61537E-8 | 0.05  | 1   | 6.05198   | 12.2862  |
| 800 600           | -4.39727  | 1.02288 | 6.07957  | 5.69356E-4 | 0.05  | 1   | -7.51438  | -1.28016 |
| 800 700           | 0.80885   | 1.02288 | 1.11829  | 0.99354    | 0.05  | 0   | -2.30826  | 3.92596  |
| 900 200           | 11.14916  | 1.02288 | 15.41458 | 9.71337E-9 | 0.05  | 1   | 8.03205   | 14.26627 |
| 900 300           | 3.73453   | 1.02288 | 5.16327  | 0.00712    | 0.05  | 1   | 0.61742   | 6.85164  |
| 900 400           | 4.03697   | 1.02288 | 5.58143  | 0.00237    | 0.05  | 1   | 0.91986   | 7.15408  |
| 900 500           | 3.12074   | 1.02288 | 4.31467  | 0.04949    | 0.05  | 1   | 0.00363   | 6.23785  |
| 900 600           | -10.44562 | 1.02288 | 14.44188 | 1.18996E-8 | 0.05  | 1   | -13.56273 | -7.32851 |
| 900 700           | -5.2395   | 1.02288 | 7.24402  | 1.30698E-5 | 0.05  | 1   | -8.35661  | -2.12239 |
| 900 800           | -6.04835  | 1.02288 | 8.36231  | 2.32223E-7 | 0.05  | 1   | -9.16546  | -2.93124 |

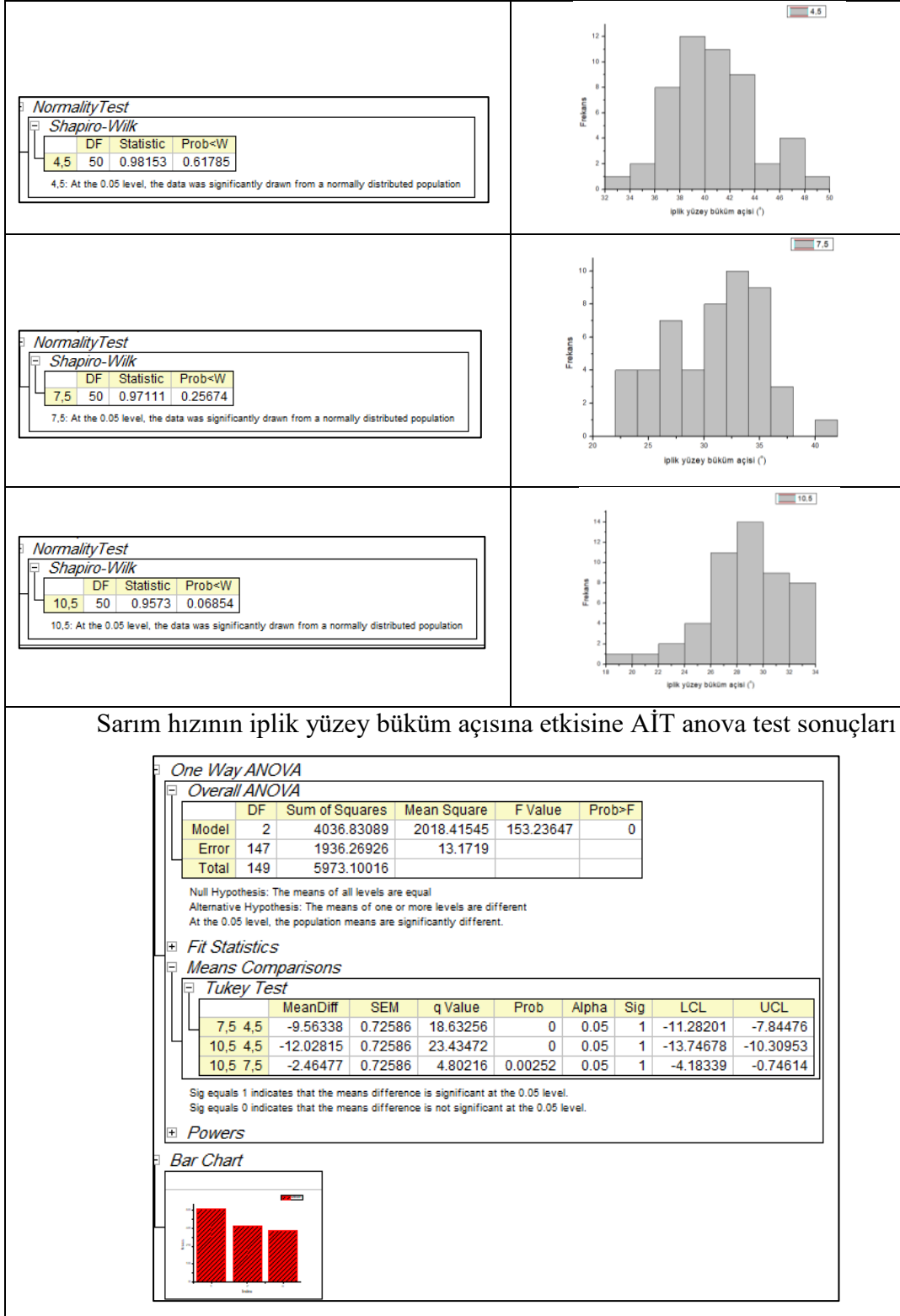
#### Ek 4. Sarım hızının iplik özelliklerine etkisi



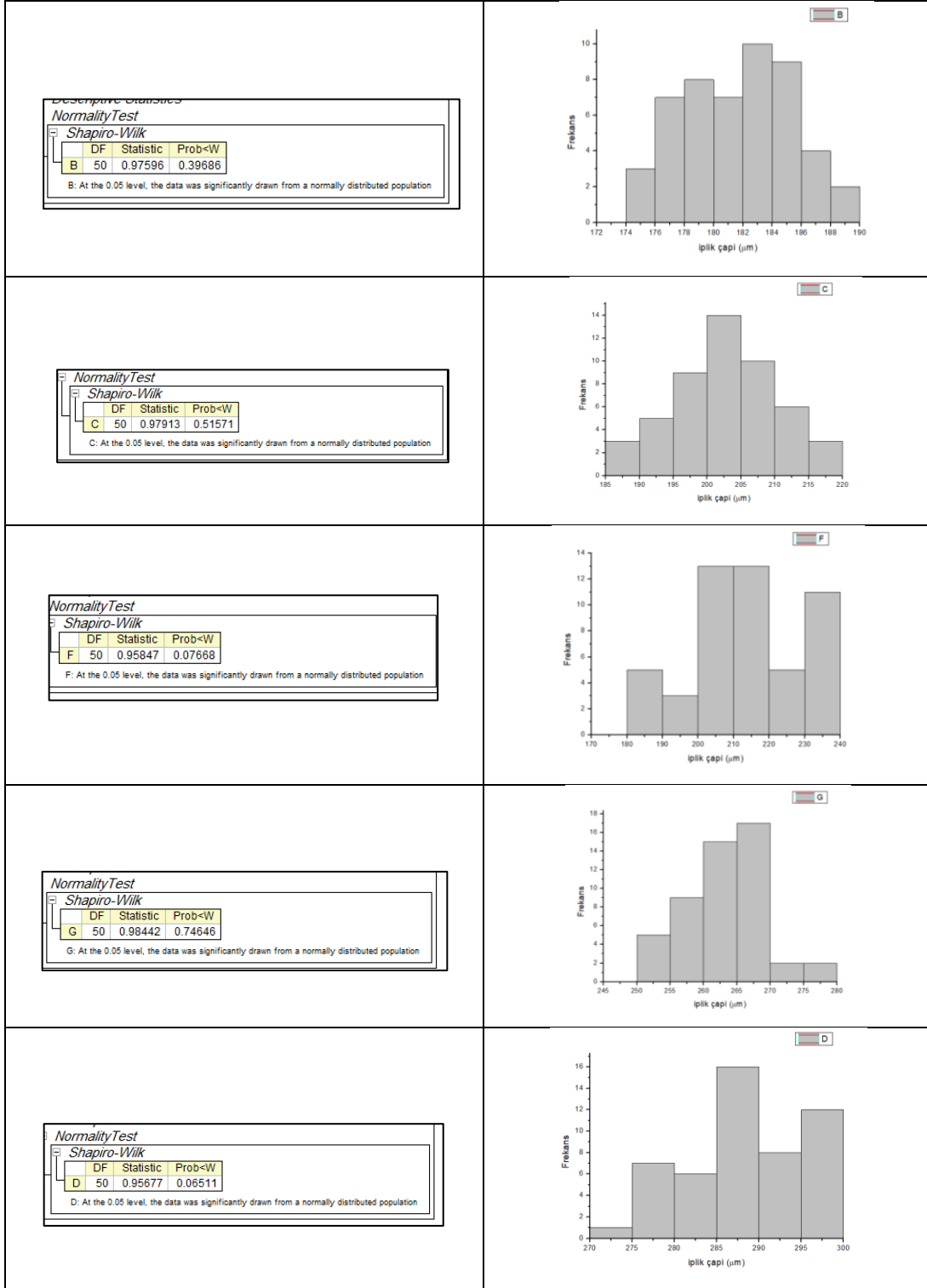
## Ek 4 (Devam). Sarım hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



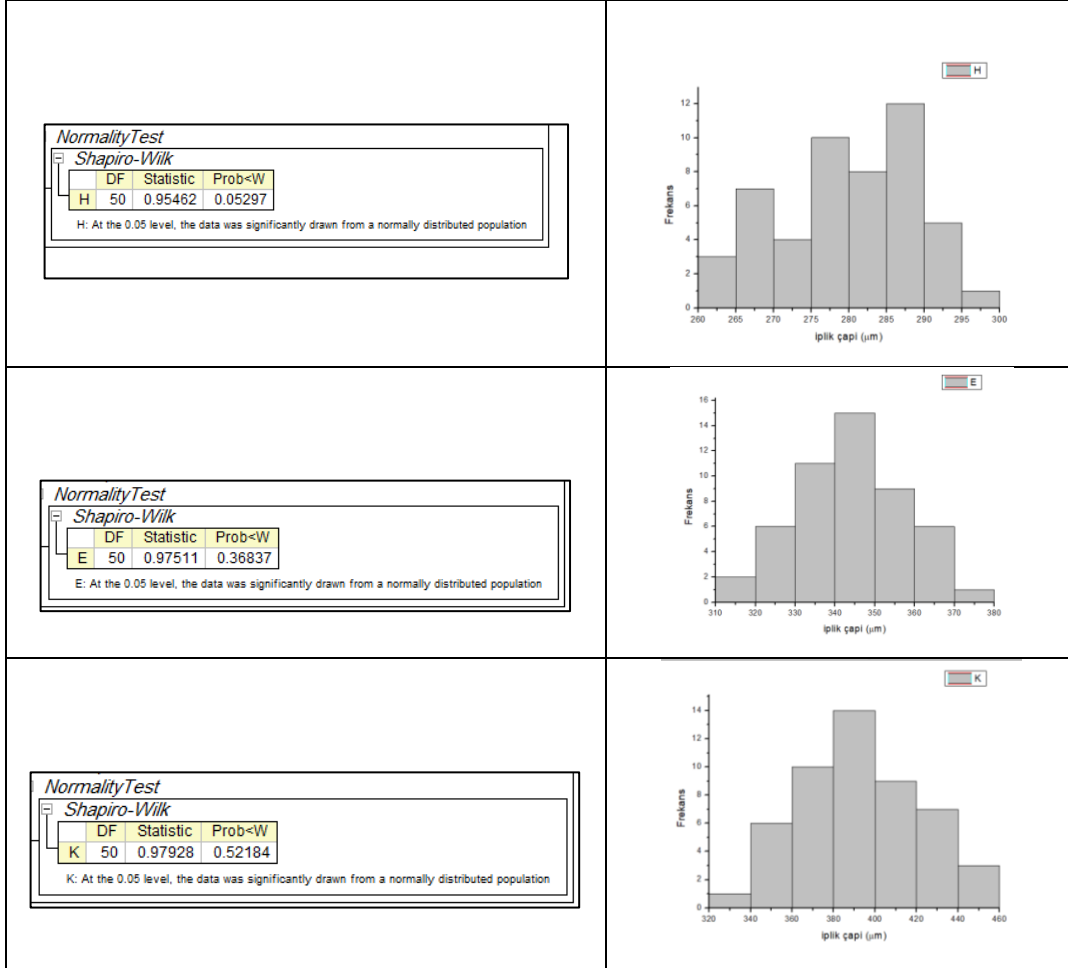
## Ek 4 (Devam). Sarım hızının iplik yüzey büküm açısına etkisi



## Ek 5. Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 5 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 5 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

### Polimer besleme hızının iplik inceliğine etkisine ait ANOVA VE Tukey test sonuçları

ANOVAOneWay (2/2/2019 16:10:47)

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

|   | Sample Size | Mean      | Standard Deviation | SE of Mean |
|---|-------------|-----------|--------------------|------------|
| B | 50          | 181.49516 | 3.57688            | 0.50585    |
| C | 50          | 202.9339  | 7.38312            | 1.04413    |
| F | 50          | 213.57446 | 15.92637           | 2.25233    |
| G | 50          | 263.16088 | 5.60975            | 0.79334    |
| D | 50          | 288.91748 | 6.8895             | 0.97432    |
| H | 50          | 279.90082 | 8.77458            | 1.24091    |
| E | 50          | 344.27568 | 14.03163           | 1.98437    |
| K | 50          | 392.84117 | 28.96174           | 4.09581    |

One Way ANOVA

Overall ANOVA

|       | DF  | Sum of Squares | Mean Square  | F Value    | Prob>F |
|-------|-----|----------------|--------------|------------|--------|
| Model | 7   | 1.8309E6       | 261557.21305 | 1383.39676 | 0      |
| Error | 392 | 74114.98298    | 189.06883    |            |        |
| Total | 399 | 1.90502E6      |              |            |        |

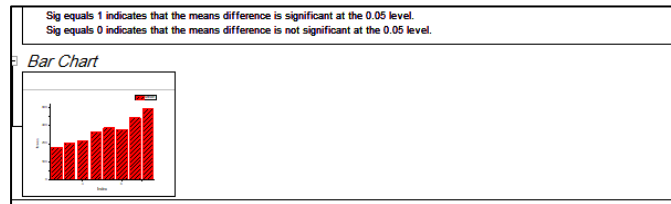
Null Hypothesis: The means of all levels are equal  
 Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different  
 At the 0.05 level, the population means are significantly different.

Fit Statistics

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | Data Mean |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 0.96109  | 0.05076   | 13.75023 | 270.88744 |

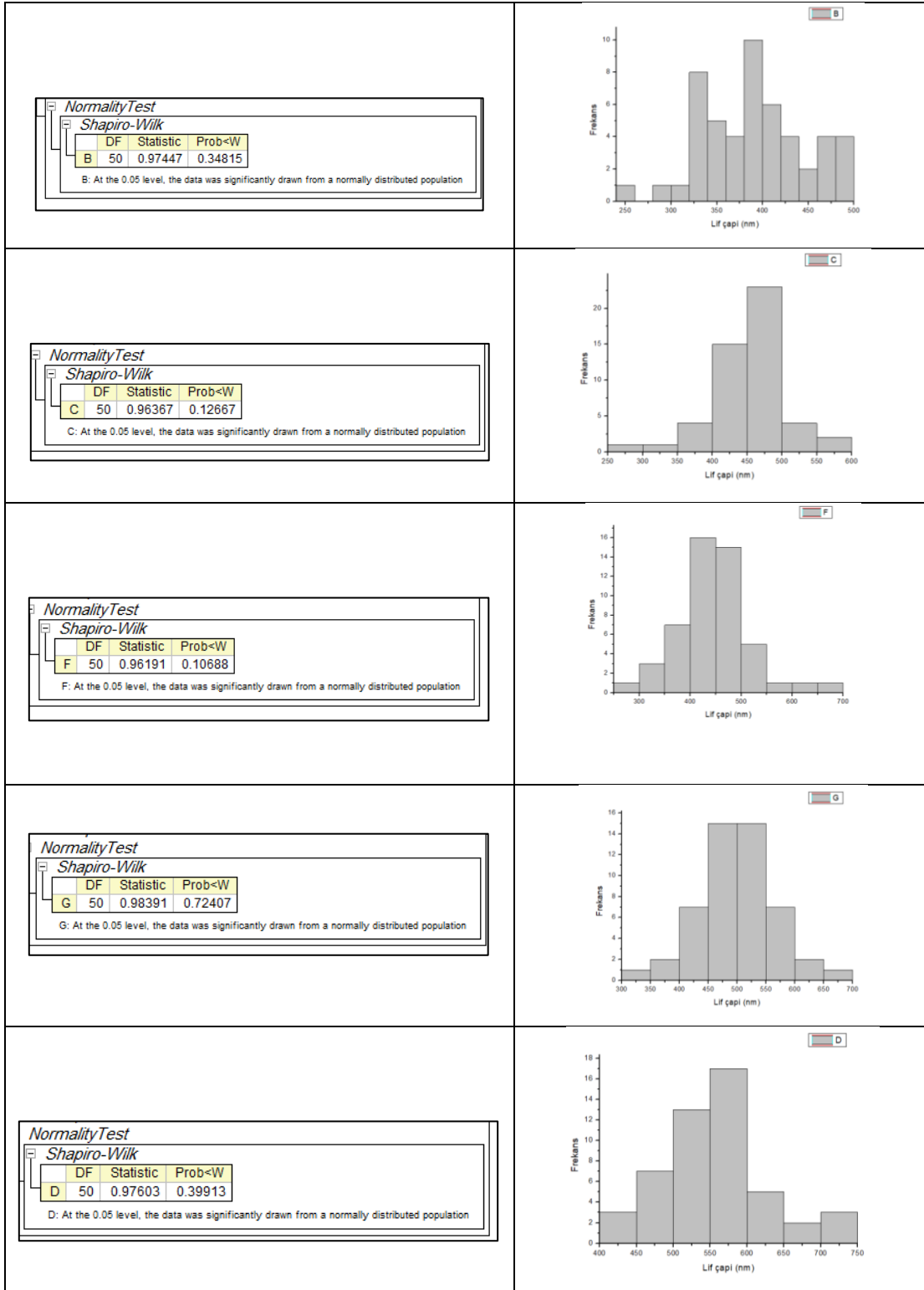
### Tukey test sonuçları

|     | MeanDiff  | SEM     | q Value   | Prob       | Alpha | Sig | LCL       | UCL       |
|-----|-----------|---------|-----------|------------|-------|-----|-----------|-----------|
| C B | 21.43874  | 2.75005 | 11.02489  | 2.05242E-8 | 0.05  | 1   | 13.05831  | 29.81918  |
| F B | 32.0793   | 2.75005 | 16.49681  | 7.39153E-9 | 0.05  | 1   | 23.69887  | 40.45974  |
| G C | 10.64056  | 2.75005 | 5.47192   | 0.00319    | 0.05  | 1   | 2.26012   | 19.021    |
| F C | 81.66572  | 2.75005 | 41.99667  | 0          | 0.05  | 1   | 73.28528  | 90.04616  |
| G C | 60.22697  | 2.75005 | 30.97177  | 0          | 0.05  | 1   | 51.84654  | 68.60741  |
| G F | 49.58642  | 2.75005 | 25.49986  | 0          | 0.05  | 1   | 41.20598  | 57.96685  |
| D B | 107.42232 | 2.75005 | 55.24202  | 0          | 0.05  | 1   | 99.04188  | 115.80276 |
| D C | 85.98357  | 2.75005 | 44.21713  | 0          | 0.05  | 1   | 77.60313  | 94.36401  |
| D F | 75.34301  | 2.75005 | 38.74521  | 0          | 0.05  | 1   | 66.96258  | 83.72345  |
| D G | 25.7566   | 2.75005 | 13.24535  | 1.47399E-8 | 0.05  | 1   | 17.37616  | 34.13704  |
| H B | 98.40566  | 2.75005 | 50.6052   | 0          | 0.05  | 1   | 90.02522  | 106.7861  |
| H C | 76.96692  | 2.75005 | 39.5803   | 0          | 0.05  | 1   | 68.58648  | 85.34736  |
| H F | 66.32636  | 2.75005 | 34.10839  | 5.40096E-8 | 0.05  | 1   | 57.94592  | 74.7068   |
| H G | 16.73994  | 2.75005 | 8.60853   | 1.04112E-7 | 0.05  | 1   | 8.3595    | 25.12038  |
| H D | -9.01665  | 2.75005 | 4.63682   | 0.0249     | 0.05  | 1   | -17.39709 | -0.63622  |
| E B | 162.78052 | 2.75005 | 83.71002  | 0          | 0.05  | 1   | 154.40008 | 171.16096 |
| E C | 141.34178 | 2.75005 | 72.68513  | 0          | 0.05  | 1   | 132.96134 | 149.72221 |
| E F | 130.70122 | 2.75005 | 67.21321  | 0          | 0.05  | 1   | 122.32078 | 139.08166 |
| E G | 81.1148   | 2.75005 | 41.71336  | 0          | 0.05  | 1   | 72.73436  | 89.49524  |
| E D | 55.3582   | 2.75005 | 28.468    | 0          | 0.05  | 1   | 46.97777  | 63.73864  |
| E H | 64.37486  | 2.75005 | 33.10483  | 0          | 0.05  | 1   | 55.99442  | 72.7553   |
| K B | 211.34601 | 2.75005 | 108.68487 | 0          | 0.05  | 1   | 202.96557 | 219.72645 |
| K C | 189.90727 | 2.75005 | 97.65998  | 0          | 0.05  | 1   | 181.52683 | 198.28771 |
| K F | 179.26671 | 2.75005 | 92.18806  | 0          | 0.05  | 1   | 170.88627 | 187.64715 |
| K G | 129.68029 | 2.75005 | 66.6882   | 0          | 0.05  | 1   | 121.29985 | 138.06073 |
| K D | 103.9237  | 2.75005 | 53.44285  | 0          | 0.05  | 1   | 95.54326  | 112.30413 |
| K H | 112.94035 | 2.75005 | 58.07967  | 0          | 0.05  | 1   | 104.55991 | 121.32079 |
| K E | 48.56549  | 2.75005 | 24.97485  | 0          | 0.05  | 1   | 40.18505  | 56.94593  |

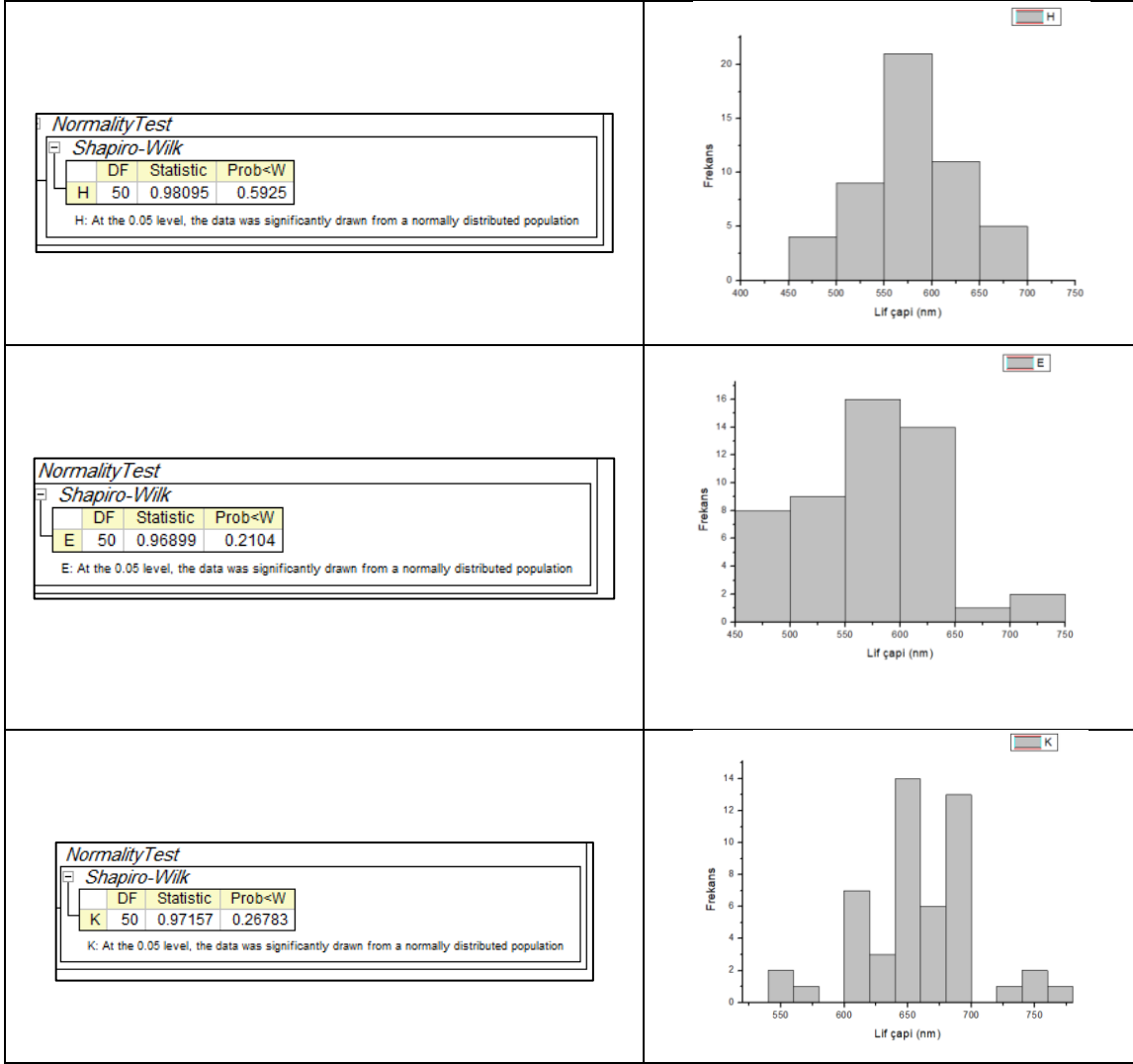




## Ek 5 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 5 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



**Ek 5 (Devam).** Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

**Polimer besleme hızının lif inceliğine etkisine ait ANOVA ve Turkey test sonuçları**

ANOVAOneWay (2/2/2019 19:57:02)

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

|   | Sample Size | Mean     | Standard Deviation | SE of Mean |
|---|-------------|----------|--------------------|------------|
| B | 50          | 390.3834 | 55.74816           | 7.88398    |
| C | 50          | 452.9714 | 51.78377           | 7.32333    |
| F | 50          | 445.922  | 71.0054            | 10.04168   |
| G | 50          | 499.8954 | 63.44992           | 8.97317    |
| D | 50          | 555.0408 | 69.44494           | 9.821      |
| H | 50          | 583.2918 | 55.16658           | 7.80173    |
| E | 50          | 574.3126 | 58.01912           | 8.20514    |
| K | 50          | 657.6572 | 46.16551           | 6.52879    |

One Way ANOVA

Overall ANOVA

|       | DF  | Sum of Squares | Mean Square  | F Value   | Prob>F |
|-------|-----|----------------|--------------|-----------|--------|
| Model | 7   | 2.7159E6       | 387986.28268 | 109.98708 | 0      |
| Error | 392 | 1.3828E6       | 3527.56231   |           |        |
| Total | 399 | 4.09871E6      |              |           |        |

Null Hypothesis: The means of all levels are equal  
Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different  
At the 0.05 level, the population means are significantly different.

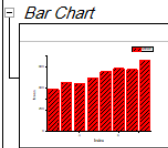
Fit Statistics

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | Data Mean |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 0.66262  | 0.11423   | 59.39329 | 519.93433 |

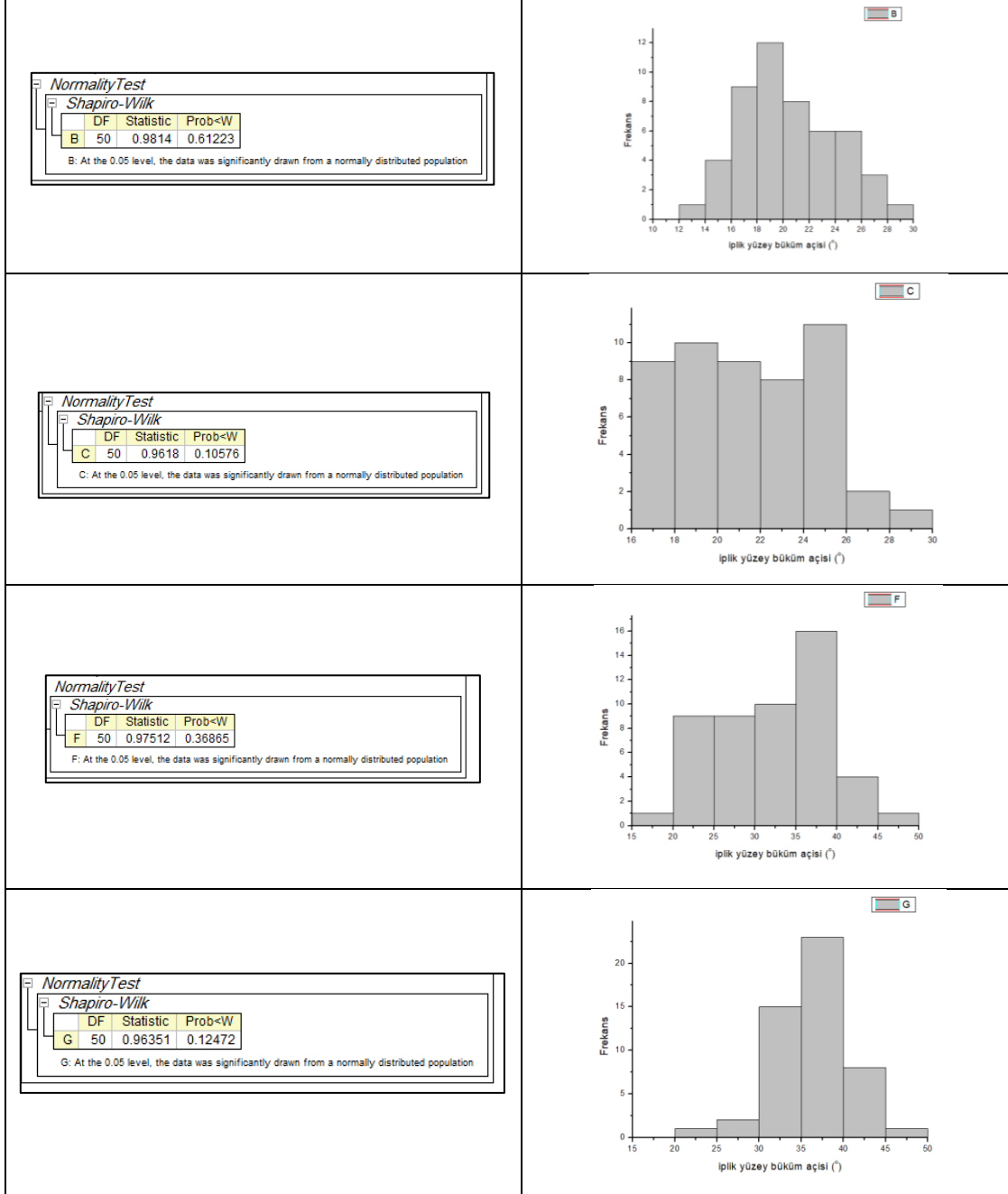
**Tukey Test Sonuçları**

|     | MeanDiff | SEM      | q Value  | Prob       | Alpha | Sig | LCL       | UCL       |
|-----|----------|----------|----------|------------|-------|-----|-----------|-----------|
| C B | 62.588   | 11.87866 | 7.45141  | 6.29204E-6 | 0.05  | 1   | 26.38921  | 98.78679  |
| F B | 55.5386  | 11.87866 | 6.61215  | 1.09029E-4 | 0.05  | 1   | 19.33981  | 91.73739  |
| F C | -7.0494  | 11.87866 | 0.83927  | 0.99895    | 0.05  | 0   | -43.24819 | 29.14939  |
| G B | 109.512  | 11.87866 | 13.03795 | 1.52508E-8 | 0.05  | 1   | 73.31321  | 145.71079 |
| G C | 46.924   | 11.87866 | 5.58654  | 0.00234    | 0.05  | 1   | 10.72521  | 83.12279  |
| G F | 53.9734  | 11.87866 | 6.4258   | 1.97264E-4 | 0.05  | 1   | 17.77461  | 90.17219  |
| D B | 164.6574 | 11.87866 | 19.60329 | 0          | 0.05  | 1   | 128.45861 | 200.85619 |
| D C | 102.0694 | 11.87866 | 12.15187 | 1.74992E-8 | 0.05  | 1   | 65.87061  | 138.26819 |
| D F | 109.1188 | 11.87866 | 12.99114 | 1.53669E-8 | 0.05  | 1   | 72.92001  | 145.31759 |
| D G | 55.1454  | 11.87866 | 6.56534  | 1.26725E-4 | 0.05  | 1   | 18.94661  | 91.34419  |
| H B | 192.9084 | 11.87866 | 22.96671 | 0          | 0.05  | 1   | 156.70961 | 229.10719 |
| H C | 130.3204 | 11.87866 | 15.5153  | 9.49324E-9 | 0.05  | 1   | 94.12161  | 166.51919 |
| H F | 137.3698 | 11.87866 | 16.35456 | 7.68827E-9 | 0.05  | 1   | 101.17101 | 173.56859 |
| H G | 83.3964  | 11.87866 | 9.92876  | 2.39266E-8 | 0.05  | 1   | 47.19761  | 119.59519 |
| H D | 28.251   | 11.87866 | 3.36342  | 0.25497    | 0.05  | 0   | -7.94779  | 64.44979  |
| E B | 183.9292 | 11.87866 | 21.89769 | 0          | 0.05  | 1   | 147.73041 | 220.12799 |
| E C | 121.3412 | 11.87866 | 14.44628 | 1.18895E-8 | 0.05  | 1   | 85.14241  | 157.53999 |
| E F | 128.3906 | 11.87866 | 15.28554 | 9.99698E-9 | 0.05  | 1   | 92.19181  | 164.58939 |
| E G | 74.4172  | 11.87866 | 8.85974  | 5.43544E-8 | 0.05  | 1   | 38.21841  | 110.61599 |
| E D | 19.2718  | 11.87866 | 2.2944   | 0.73657    | 0.05  | 0   | -16.92699 | 55.47059  |
| E H | -8.9792  | 11.87866 | 1.06902  | 0.9951     | 0.05  | 0   | -45.17799 | 27.21959  |
| K B | 267.2738 | 11.87866 | 31.82028 | 0          | 0.05  | 1   | 231.07501 | 303.47259 |
| K C | 204.6858 | 11.87866 | 24.36887 | 0          | 0.05  | 1   | 168.48701 | 240.88459 |
| K F | 211.7352 | 11.87866 | 25.20814 | 0          | 0.05  | 1   | 175.53641 | 247.93399 |
| K G | 157.7618 | 11.87866 | 18.78233 | 0          | 0.05  | 1   | 121.56301 | 193.96059 |
| K D | 102.6164 | 11.87866 | 12.217   | 1.73302E-8 | 0.05  | 1   | 66.41761  | 138.81519 |
| K H | 74.3654  | 11.87866 | 8.85357  | 5.50802E-8 | 0.05  | 1   | 38.16661  | 110.56419 |
| K E | 83.3446  | 11.87866 | 9.92259  | 2.39525E-8 | 0.05  | 1   | 47.14581  | 119.54339 |

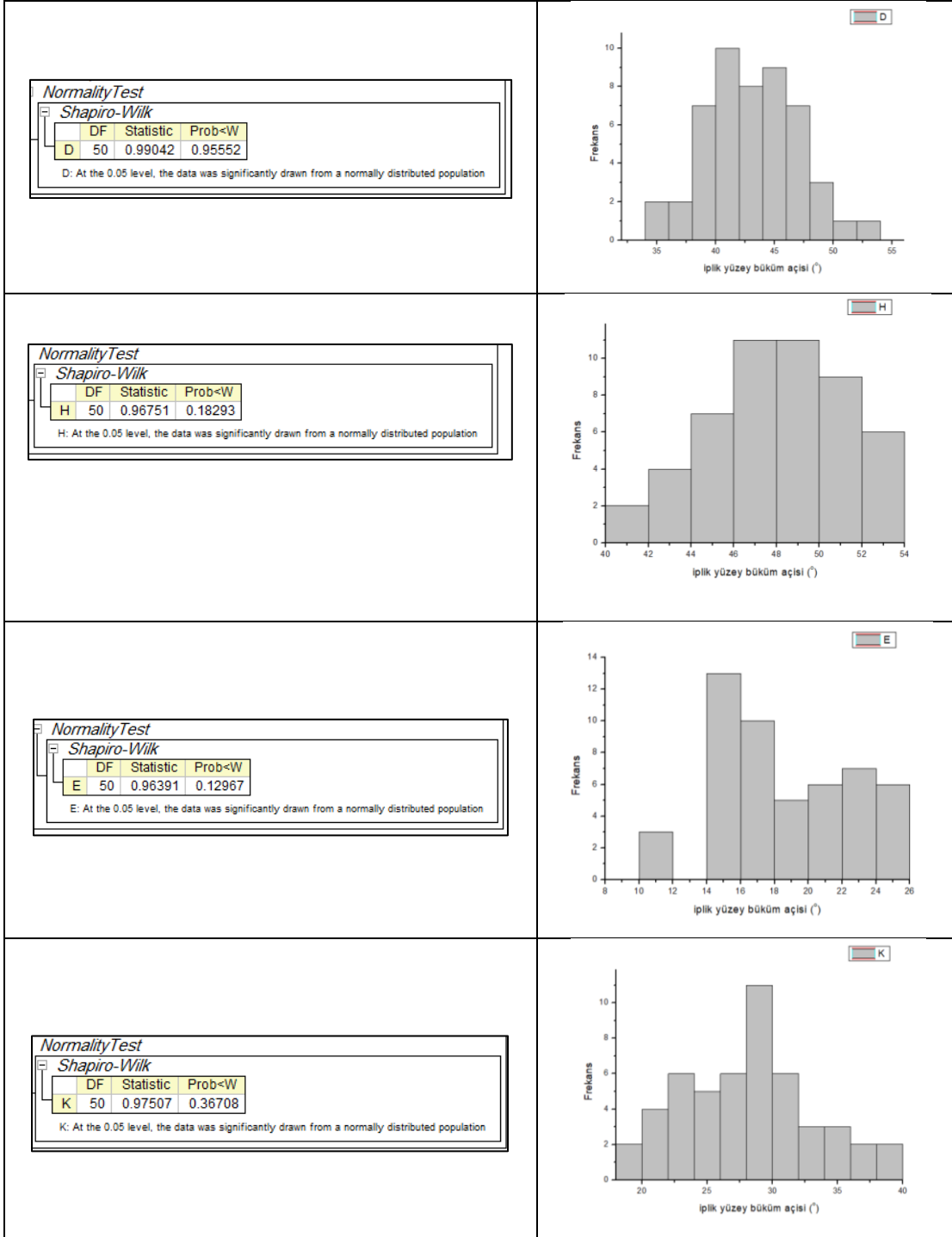
Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.  
Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.



## Ek 5 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 5 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



**Ek 5 (Devam).** Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

**Polimer besleme hızının iplik yüzey büküm açısına etkisine ait ANOVA sonuçları**

ANOVAOneWay (2/2/2019 20:44:14)

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

|   | Sample Size | Mean     | Standard Deviation | SE of Mean |
|---|-------------|----------|--------------------|------------|
| B | 50          | 20.46618 | 3.69833            | 0.52302    |
| C | 50          | 21.44999 | 3.19156            | 0.45135    |
| F | 50          | 31.74856 | 6.80166            | 0.9619     |
| G | 50          | 36.20217 | 4.71952            | 0.66744    |
| D | 50          | 43.20921 | 3.91379            | 0.55349    |
| H | 50          | 48.01636 | 3.20234            | 0.45288    |
| E | 50          | 18.72163 | 3.97301            | 0.56187    |
| K | 50          | 28.04275 | 5.0631             | 0.71603    |

One Way ANOVA

Overall ANOVA

|       | DF  | Sum of Squares | Mean Square | F Value  | Prob>F |
|-------|-----|----------------|-------------|----------|--------|
| Model | 7   | 41395.46707    | 5913.63815  | 296.8086 | 0      |
| Error | 392 | 7810.23911     | 19.92408    |          |        |
| Total | 399 | 49205.70618    |             |          |        |

Null Hypothesis: The means of all levels are equal  
Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different  
At the 0.05 level, the population means are significantly different.

Fit Statistics

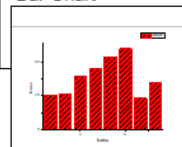
| R-Square | Coeff Var | Root MSE | Data Mean |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 0.84127  | 0.14407   | 4.46364  | 30.98211  |

**Tukey test sonuçları**

|     | MeanDiff  | SEM     | q Value  | Prob       | Alpha | Sig | LCL       | UCL       |
|-----|-----------|---------|----------|------------|-------|-----|-----------|-----------|
| C B | 0.98381   | 0.89273 | 1.55849  | 0.95618    | 0.05  | 0   | -1.73668  | 3.70429   |
| F B | 11.28238  | 0.89273 | 17.87296 | 0          | 0.05  | 1   | 8.5619    | 14.00286  |
| F C | 10.29857  | 0.89273 | 16.31447 | 7.77227E-9 | 0.05  | 1   | 7.57809   | 13.01906  |
| G B | 15.73598  | 0.89273 | 24.92813 | 0          | 0.05  | 1   | 13.0155   | 18.45647  |
| G C | 14.75218  | 0.89273 | 23.36964 | 0          | 0.05  | 1   | 12.0317   | 17.47266  |
| G F | 4.45361   | 0.89273 | 7.05517  | 2.50682E-5 | 0.05  | 1   | 1.73312   | 7.17409   |
| D B | 22.74303  | 0.89273 | 36.02833 | 6.02303E-8 | 0.05  | 1   | 20.02254  | 25.46351  |
| D C | 21.75922  | 0.89273 | 34.46983 | 5.52154E-8 | 0.05  | 1   | 19.03874  | 24.4797   |
| D F | 11.46065  | 0.89273 | 18.15537 | 0          | 0.05  | 1   | 8.74016   | 14.18113  |
| D G | 7.00704   | 0.89273 | 11.10019 | 2.03157E-8 | 0.05  | 1   | 4.28656   | 9.72752   |
| H B | 27.55018  | 0.89273 | 43.64357 | 0          | 0.05  | 1   | 24.82969  | 30.27066  |
| H C | 26.56637  | 0.89273 | 42.08508 | 0          | 0.05  | 1   | 23.84589  | 29.28685  |
| H F | 16.2678   | 0.89273 | 25.77061 | 0          | 0.05  | 1   | 13.54732  | 18.98828  |
| H G | 11.81419  | 0.89273 | 18.71544 | 0          | 0.05  | 1   | 9.09371   | 14.53468  |
| H D | 4.80715   | 0.89273 | 7.61524  | 3.4949E-6  | 0.05  | 1   | 2.08667   | 7.52763   |
| E B | -1.74455  | 0.89273 | 2.76363  | 0.51443    | 0.05  | 0   | -4.46504  | 0.97593   |
| E C | -2.72836  | 0.89273 | 4.32213  | 0.04875    | 0.05  | 1   | -5.44884  | -0.00788  |
| E F | -13.02693 | 0.89273 | 20.6366  | 0          | 0.05  | 1   | -15.74742 | -10.30645 |
| E G | -17.48054 | 0.89273 | 27.69177 | 0          | 0.05  | 1   | -20.20102 | -14.76006 |
| E D | -24.48758 | 0.89273 | 38.79196 | 0          | 0.05  | 1   | -27.20806 | -21.7671  |
| E H | -29.29473 | 0.89273 | 46.4072  | 0          | 0.05  | 1   | -32.01521 | -26.57425 |
| K B | 7.57657   | 0.89273 | 12.00241 | 1.78893E-8 | 0.05  | 1   | 4.85609   | 10.29705  |
| K C | 6.59276   | 0.89273 | 10.44392 | 2.21834E-8 | 0.05  | 1   | 3.87228   | 9.31325   |
| K F | -3.70581  | 0.89273 | 5.87055  | 0.00105    | 0.05  | 1   | -6.42629  | -0.98533  |
| K G | -8.15941  | 0.89273 | 12.92572 | 1.55296E-8 | 0.05  | 1   | -10.8799  | -5.43893  |
| K D | -15.16646 | 0.89273 | 24.02592 | 0          | 0.05  | 1   | -17.88694 | -12.44597 |
| K H | -19.97361 | 0.89273 | 31.64116 | 0          | 0.05  | 1   | -22.69409 | -17.25312 |
| K E | 9.32112   | 0.89273 | 14.76604 | 1.11575E-8 | 0.05  | 1   | 6.60064   | 12.04161  |

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.  
Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

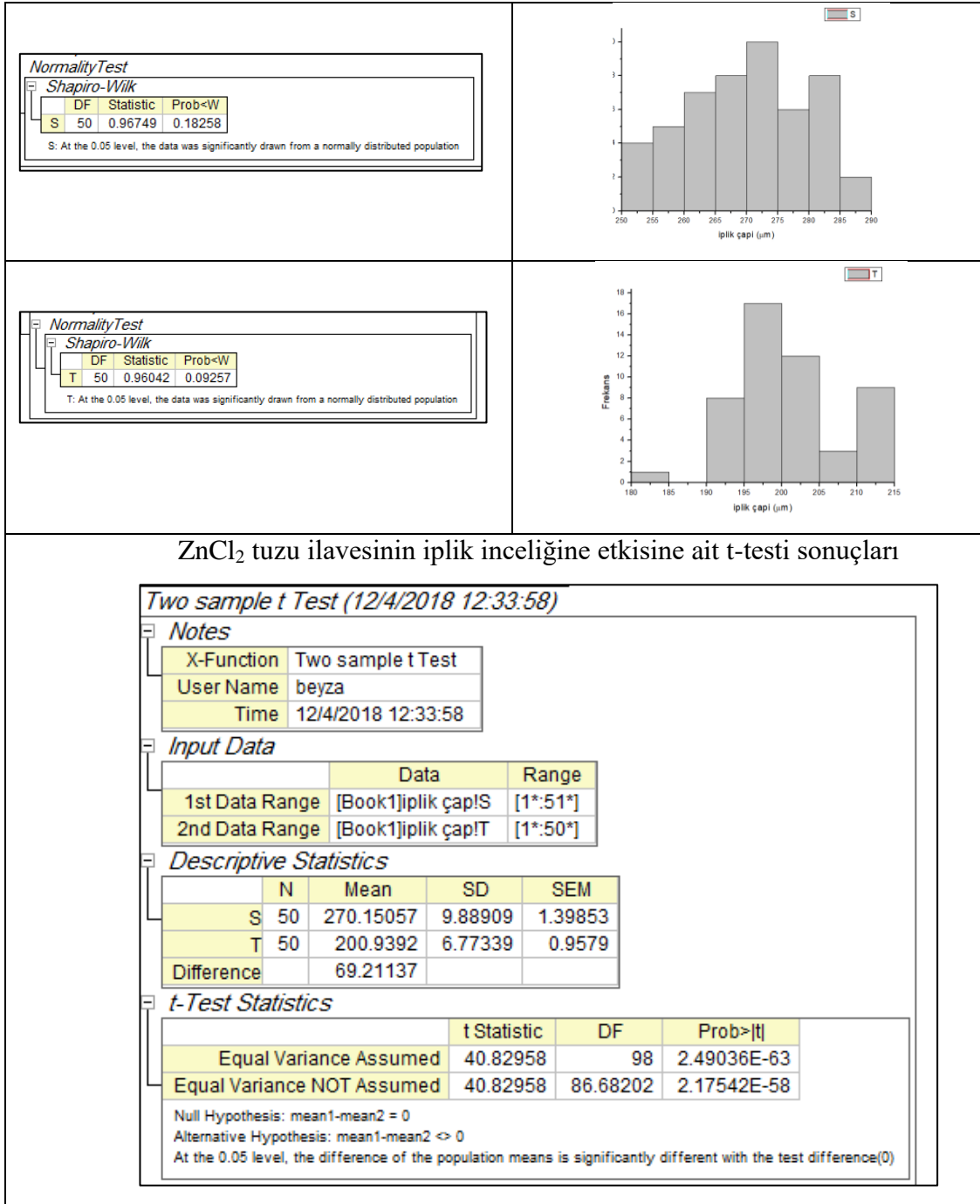
**Bar Chart**



**Ek 5 (Devam).** Polimer besleme hızının değişmesiyle eğrilen ipliklere ait kopma kuvvetleri (N)

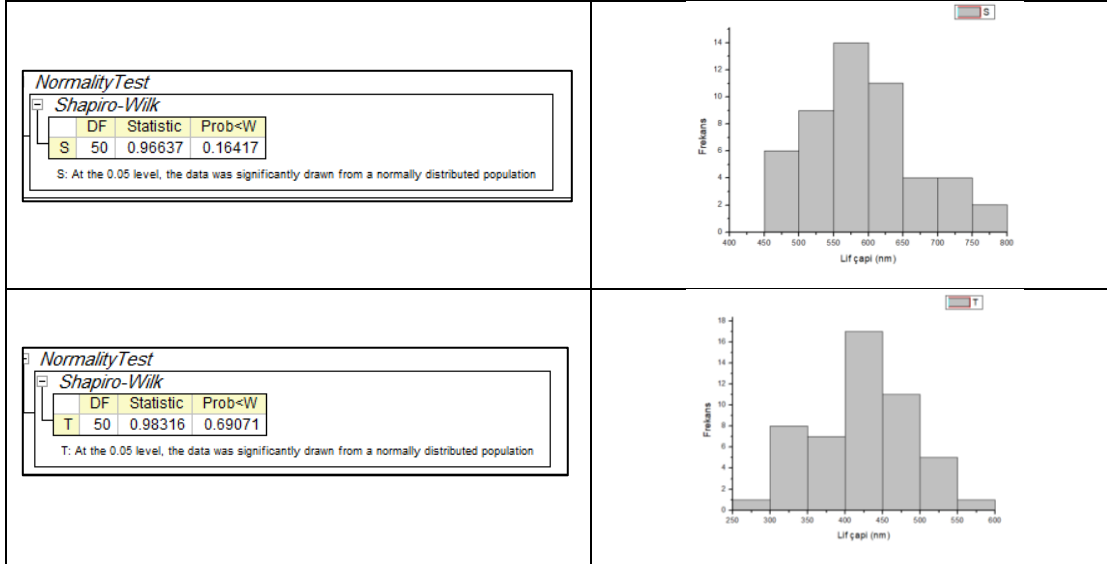
| B     | C     | F     | G     | D     | H     | E     | K     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,141 | 0,63  | 0,534 | 0,519 | 0,392 | 0,512 | 0,499 | 0,709 |
| 0,551 | 0,454 | 0,518 | 0,685 | 0,314 | 0,606 | 0,369 | 0,732 |
| 0,64  | 0,449 | 0,52  | 0,584 | 0,512 | 0,633 | 0,464 | 0,495 |
| 0,493 | 0,401 | 0,5   | 0,58  | 0,35  | 0,316 | 0,58  | 0,512 |
| 0,549 | 0,564 | 0,42  | 0,482 | 0,538 | 0,345 | 0,627 | 0,371 |

## Ek 6. ZnCl<sub>2</sub> tuzu ilavesinin iplik ve lif özelliklerine etkisi





## Ek 6 (Devam). ZnCl<sub>2</sub> tuzu ilavesinin iplik ve lif özelliklerine etkisi



## ZnCl<sub>2</sub> tuzu ilavesinin lif inceliğine etkisine ait t-testi sonuçları

**Two sample t Test (2/2/2019 21:02:13)**

**Notes**

|            |                   |
|------------|-------------------|
| X-Function | Two sample t Test |
| User Name  | beyza             |
| Time       | 2/2/2019 21:02:13 |

**Input Data**

|                | Data               | Range    |
|----------------|--------------------|----------|
| 1st Data Range | [Book1]iplik çap!S | [1*:51*] |
| 2nd Data Range | [Book1]iplik çap!T | [1*:50*] |

**Descriptive Statistics**

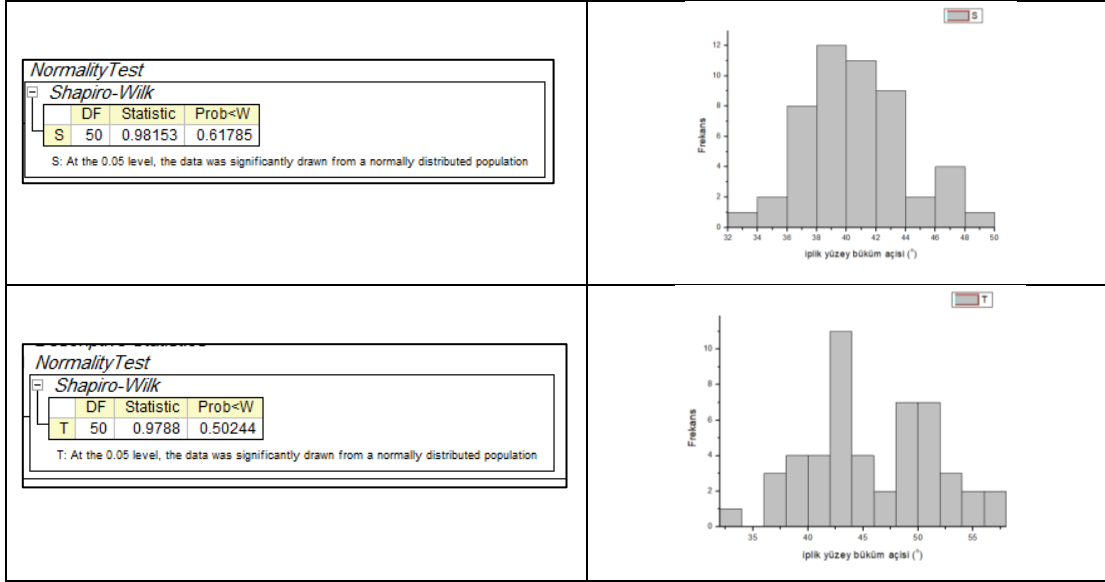
|            | N  | Mean      | SD      | SEM     |
|------------|----|-----------|---------|---------|
| S          | 50 | 270.15057 | 9.88909 | 1.39853 |
| T          | 50 | 200.9392  | 6.77339 | 0.9579  |
| Difference |    | 69.21137  |         |         |

**t-Test Statistics**

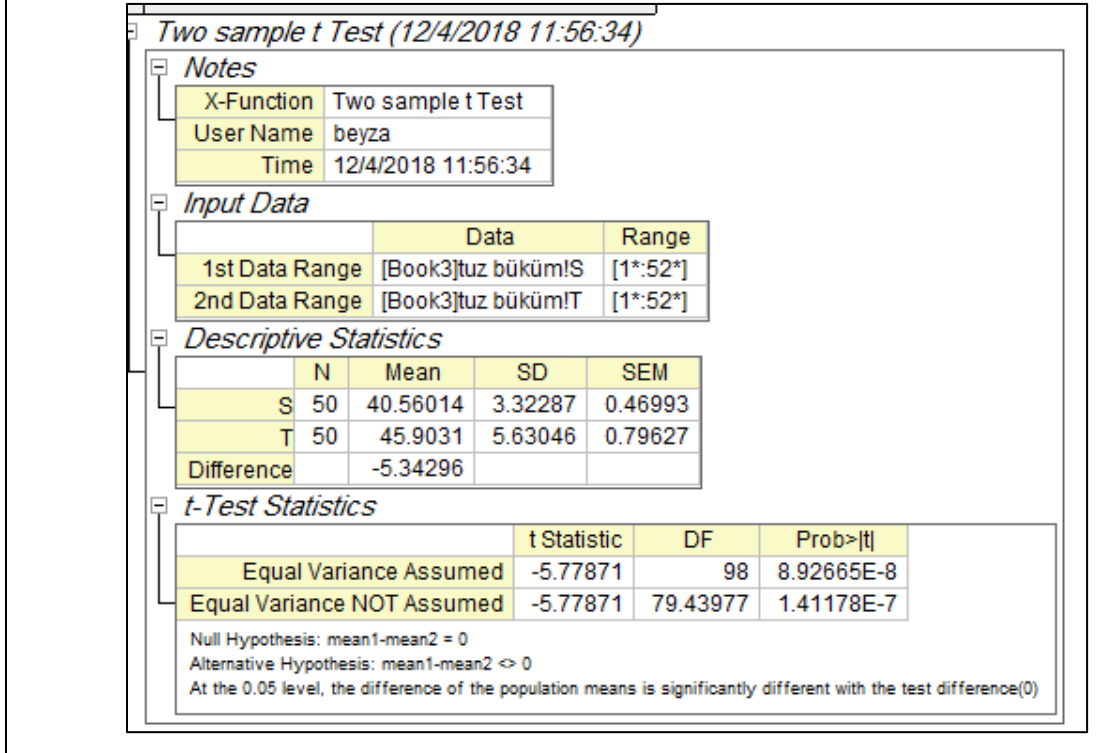
|                            | t Statistic | DF       | Prob> t     |
|----------------------------|-------------|----------|-------------|
| Equal Variance Assumed     | 40.82958    | 98       | 2.49036E-63 |
| Equal Variance NOT Assumed | 40.82958    | 86.68202 | 2.17542E-58 |

Null Hypothesis: mean1-mean2 = 0  
 Alternative Hypothesis: mean1-mean2 <> 0  
 At the 0.05 level, the difference of the population means is significantly different with the test difference(0)

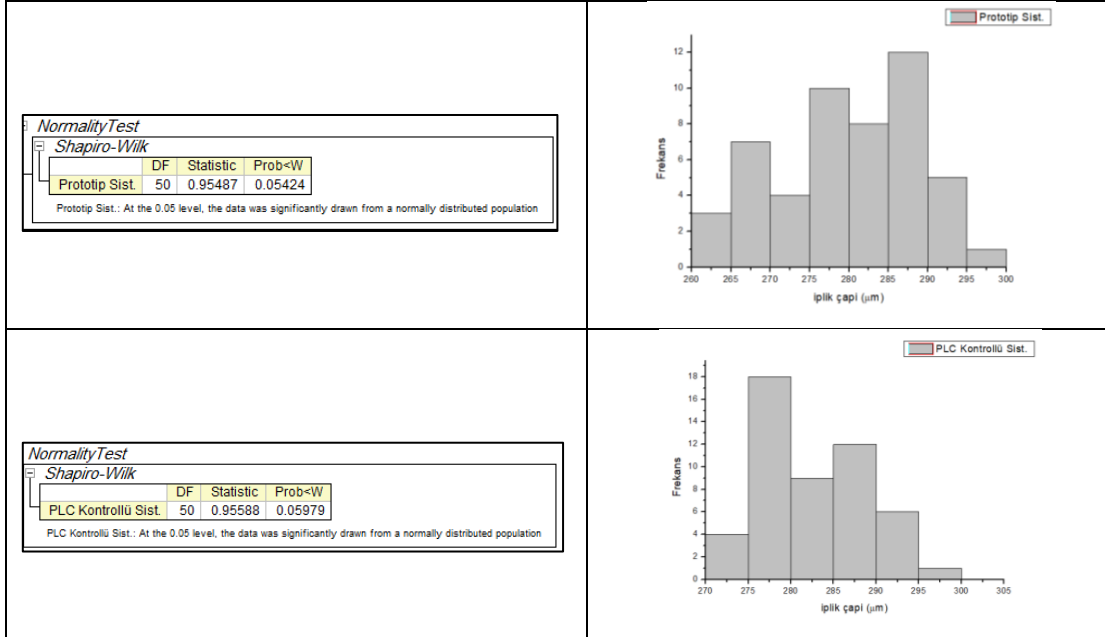
## Ek 6 (Devam). ZnCl<sub>2</sub> tuzu ilavesinin iplik ve lif özelliklerine etkisi



ZnCl<sub>2</sub> tuzu ilavesinin iplik yüzey büküm açısına etkisine ait t testi sonuçları



## Ek 7. Prototip sistem ve PLC kontrollü sistem arasındaki istatistiksel analiz



### Prototip ve PLC Kontrollü sistemle üretilen iplik inceliklerine ait t-testi sonuçları

**Two sample t Test (1/14/2019 23:45:55)**

**Notes**

|            |                    |
|------------|--------------------|
| X-Function | Two sample t Test  |
| User Name  | beyza              |
| Time       | 1/14/2019 23:45:55 |

**Input Data**

|                | Data                             | Range    |
|----------------|----------------------------------|----------|
| 1st Data Range | [Book1]iplik!Prototip Sist.      | [1*:60*] |
| 2nd Data Range | [Book1]iplik!PLC Kontrollü Sist. | [1*:61*] |

**Descriptive Statistics**

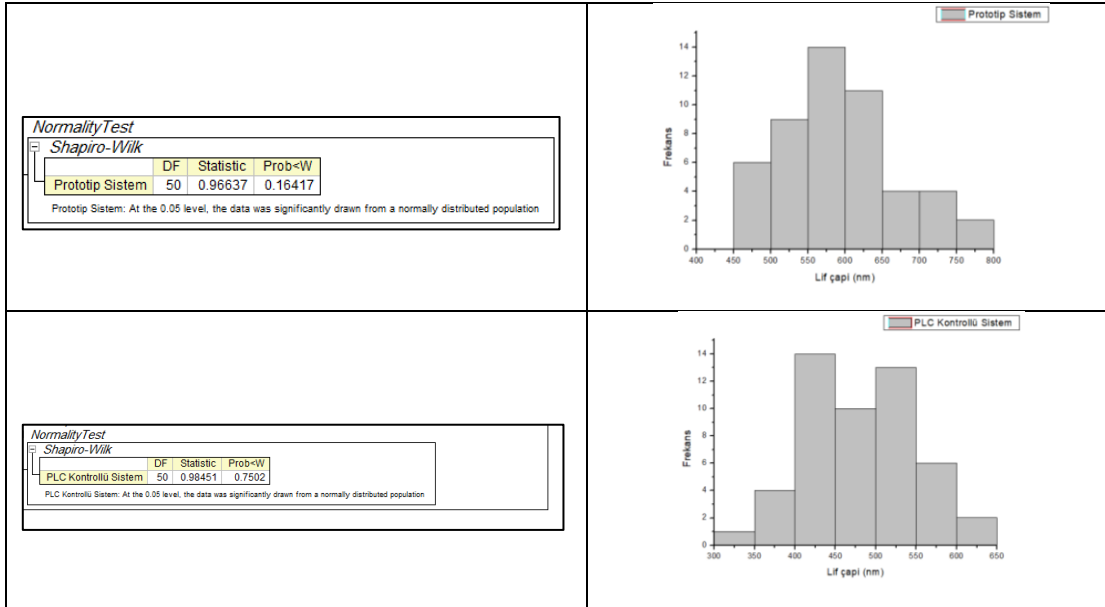
|                     | N  | Mean      | SD      | SEM     |
|---------------------|----|-----------|---------|---------|
| Prototip Sist.      | 50 | 279.88291 | 8.78674 | 1.24263 |
| PLC Kontrollü Sist. | 50 | 282.71001 | 6.00999 | 0.84994 |
| Difference          |    | -2.82709  |         |         |

**t-Test Statistics**

|                            | t Statistic | DF     | Prob> t |
|----------------------------|-------------|--------|---------|
| Equal Variance Assumed     | -1.87784    | 98     | 0.06338 |
| Equal Variance NOT Assumed | -1.87784    | 86.615 | 0.06377 |

Null Hypothesis: mean1-mean2 = 0  
 Alternative Hypothesis: mean1-mean2 <> 0  
 At the 0.05 level, the difference of the population means is NOT significantly different with the test difference(0)

## Ek 7 (Devam). Prototip sistem ve PLC kontrollü sistem arasındaki istatistiksel analiz



### Prototip ve PLC Kontrollü sistemle üretilen lif inceliklerine ait t-testi sonuçları

**Two sample t Test (1/14/2019 23:52:17)**

**Notes**

|            |                    |
|------------|--------------------|
| X-Function | Two sample t Test  |
| User Name  | beyza              |
| Time       | 1/14/2019 23:52:17 |

**Input Data**

|                | Data                           | Range    |
|----------------|--------------------------------|----------|
| 1st Data Range | [Book1]lifPrototip Sistem      | [1*:52*] |
| 2nd Data Range | [Book1]lifPLC Kontrollü Sistem | [1*:54*] |

**Descriptive Statistics**

|                      | N  | Mean      | SD       | SEM      |
|----------------------|----|-----------|----------|----------|
| Prototip Sistem      | 50 | 593.6706  | 78.80663 | 11.14494 |
| PLC Kontrollü Sistem | 50 | 487.33228 | 67.34818 | 9.52447  |
| Difference           |    | 106.33832 |          |          |

**t-Test Statistics**

|                            | t Statistic | DF       | Prob> t     |
|----------------------------|-------------|----------|-------------|
| Equal Variance Assumed     | 7.25347     | 98       | 9.56503E-11 |
| Equal Variance NOT Assumed | 7.25347     | 95.67637 | 1.05638E-10 |

Null Hypothesis: mean1-mean2 = 0  
 Alternative Hypothesis: mean1-mean2 <> 0  
 At the 0.05 level, the difference of the population means is significantly different with the test difference(0)

## **ÖZGEÇMİŞ**

06.12.1979 yılında Kırklareli'nde doğdu. 1998 yılında başlamış olduğu Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl Zorluteks Tekstil Ticaret ve Sanayi A.Ş.'de Tekstil Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2007 yılında Zorluteks'ten ayrılarak 2008 yılında Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Tekstil Teknolojisi Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Aynı yıl Namık Kemal Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde başlamış olduğu Yüksek Lisans eğitimini 2012 yılında tamamladı. Halen Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Moda Tasarımı Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.