

NKUBAP.06.GA.17.109 No'lu Proje  
**Elektrik Alanda Lif Çekim Yöntemi**  
**(Electrospinning) ile**  
**Eğrilen Nanolif İpliklerin Yapısal ve**  
**Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**

Yürütücü: Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE

## Önsöz

Çalışmada elektro lif çekim yöntemi ile elde edilen ipliklerin yapısal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Elektro lif çekim yöntemi ile nanolifler genellikle dokusuz yüzey halinde ve küçük miktarlarda üretilebilmekte olup, bu durum üstün özelliğe sahip nanoliflerin kullanım alanını sınırlamaktadır. Proje kapsamında Çorlu Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde bulunan mevcut güç kaynağı ve enjeksiyon pompalarını kullanarak prototip bir nanolif iplik eğirme sisteminde farklı parametrelerde nanolif iplikler üretilerek, bu ipliklere ait lif inceliği, iplik inceliği, iplik yüzey büküm açısı ve iplik mukavemeti gibi temel özellikler incelenmiştir.

Çalışma NKU.BAP.06.GA.17.109 projesi tarafından desteklenmiştir.

## İçindekiler

1 GİRİŞ.....	1
1.1. Elektro Lif Çekimi ile Nanoliflerden İplik Üretim Yöntemleri.....	2
1.1.1. Nanoliflerden Paralel Lif Demetleri Halinde Bükümsüz İplik Üretim Yöntemleri.....	2
1.1.2. Nanoliflerden Kesintisiz Halde Bükümlü İplik Üretim Yöntemleri.....	4
2. GEREÇ ve YÖNTEMLER .....	7
2.1. Materyal.....	7
2.2. Çalışmada Kullanılan Cihazlar .....	7
2.2.1. Elektro Lif Çekim Yöntemi ile İplik Üretimi.....	7
2.2.2. Polimer Çözeltisi ve Ortam Şartlarının Kontrolü .....	8
2.2.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	9
2.2.4. Mukavemet Test Cihazı .....	10
2.2.5. Hassas Teraziler.....	10
2.3. Farklı Eğirme Parametrelerinde Nanolif İpliklerin Eğilmesi .....	11
2.3.1. Kollektör Dönüş Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi.....	11
2.3.2. Sarım Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi .....	12
2.3.3. Polimer Besleme Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi.....	12
3. Bulgular ve Tartışma/Sonuç.....	13
3.1. Kollektör Dönüş Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi.....	13
3.2. Sarım Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi .....	16
3.3. Polimer Besleme Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi.....	18
4. Sonuç.....	21
KAYNAKLAR.....	21
EKLER.....	28

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Elektro lif çekimi ile nanoliflerden iplik üretim yöntemleri.....	2
Şekil 2. Elektro lif çekim yöntemi ile iplik üretimi için kullanılan prototip sistem .....	8
Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan iletkenlik ve vizkozite ölçüm cihazları .....	9
Şekil 4. Çalışmada kullanılan SEM cihazı .....	9
Şekil 5. Çalışmada kullanılan mukavemet test cihazı.....	10
Şekil 6. Kullanılan hassas teraziler .....	11
Şekil 7. İpliklere ait SEM görüntülerine örnekler.....	14
Şekil 8. Kollektör dönüş hızının iplik inceliğine etkisi.....	15
Şekil 9. Kollektör dönüş hızının lif inceliği ve iplik yüzey büküm açısına etkisi.....	15
Şekil 10. Kollektör dönüş hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi	16
Şekil 11. Sarım hızının iplik inceliğine ve iplik yüzey büküm açısına etkisi .....	17
Şekil 12. Sarım hızının lif inceliğine etkisi.....	17
Şekil 13. Sarım hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi .....	18
Şekil 14. Polimer besleme hızının iplik inceliğine etkisi.....	19
Şekil 15. Polimer besleme hızının lif inceliğine etkisi .....	19
Şekil 16. Polimer besleme hızının iplik yüzey büküm açısına etkisi .....	20
Şekil 17. Polimer besleme hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi	20
.....	20



## **Tablolar**

Tablo 1. Kollektör dönüş hızının etkisinin analizine ait çalışma parametreleri.....	11
Tablo 2. Sarım hızının etkisinin analizine ait çalışma parametreleri.....	12
Tablo 3. Besleme hızı analizinde kullanılan çalışma parametreleri.....	12

## ÖZET

Elektrik alanda lif çekim (electrospinning) yöntemi ile elde edilen lifler, genellikle dokusuz yüzey halinde ve küçük miktarlarda üretilmekte, bu durum ise üstün özellikli liflerin kullanım alanını sınırlamaktadır. Bu nedenle, elektro lif çekimiyle nanoliflerden doğrudan iplik eğirme tekniklerinin geliştirilmesi, dünyada henüz sınırlı sayıda araştırma grubu tarafından çalışılan ve ilgi çeken bir alan haline gelmektedir. Proje kapsamında Namık Kemal Üniversitesi bünyesinde prototip bir nanolif iplik eğirme sisteminde sürekli ve bükümlü nanolif iplik eğirme gerçekleştirilerek, elde edilen PAN esaslı ipliklerin incelikleri, iplikleri oluşturan liflerin incelik dağılımları, iplik yüzey büküm açıları, kopma dayanımı ve % kopma uzama özellikleri gibi yapı ve özellikleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca eğirme parametrelerinin (kollektör devri, iplik sarım hızı, polimer besleme hızı) lif ve iplik özelliklerine etkisi ortaya konmuş olup, aralarındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektro lif çekim yöntemi, nanolif, nanolif iplik

## ABSTRACT

Fibers are produced directly as non-woven surface of fiber-web by electrospinning method and this limits potential end-uses of these high performance fibers. Therefore, the development of spinning techniques directly from nanofibers with electrospinning is an area of interest and studied by a limited number of research groups in the world. Within the scope of the project, the continuous and twisted nanofiber spinning process has been carried out in the nanofiber spinning system of Namık Kemal University successfully and PAN-based fiber and yarn fineness, fiber fineness distributions in yarn, yarn surface twist angles, tensile strength, elongation at break, tensile stress has been examined. The structure and properties of nanofiber yarns spun in different production parameters were also studied by analysing the effect of spinning parameters (collector speed, yarn winding speed, polymer feed rate) on fiber and yarn properties and relations between them were statistically analyzed.

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

## 1. GİRİŞ

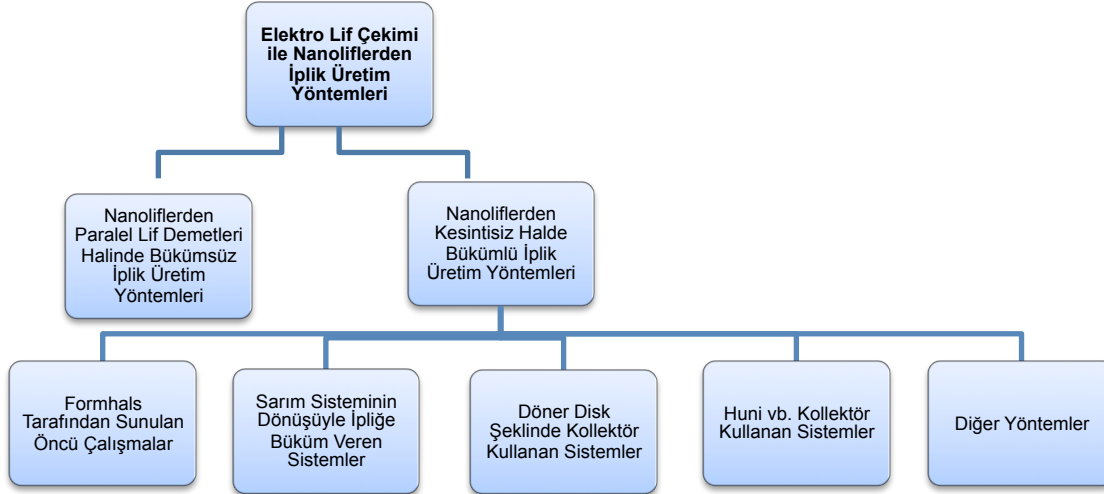
Elektro lif çekimi, yaygın olarak 50-500 nm aralığında inceliğe sahip lifler içeren bir yüzey üretim şekli olup, bu yöntemle elde edilen yüzeylerin, yüksek performanslı filtreler, hidrofil tekstiller, lif destekli kompozitler, yara sargıları için biyomedikal tekstiller, doku iskelesi, nano ve mikro elektrik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

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 ağdoku 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 eğirilebilmesi başarılı olduğu takdirde, nanoliflerle geleneksel lifler bir arada iplik olarak kumaş içerisinde rahatlıkla kullanılabilecektir. Geleneksel kumaşta, ipliklerin küçük bir yüzdesi veya tamamı, binlerce nanoliften üretilmiş benzer incelikte ipliklerle yer değiştirerek 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 biyonik yara sargıları, doku iskeleti gibi uygulamalarda daha etkin hücre adhezyonu ve hücre çoğalmasına imkan sağlayacağı, mikro-aktüatör malzemeler ile birleştirilmiş nanoliflerden üretilmiş ipliklerin gelişmiş robotik uygulamalarda kullanılabileceği 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. Öte yandan ülkemizde elektro çekimiyle nanolif yüzeylerin üretilmesi konusunda çok sayıda yapılmış önemli çalışma bulunmakla beraber, elektro lif çekimi yöntemiyle nanoliflerin doğrudan iplik halinde eğirilebilmesi henüz çok yeni bir alandır.

Bu konuya yönelik literatür incelendiğinde nanoliflerden kesintisiz şekilde iplik üretimine yönelik 25'in üzerinde farklı yaklaşım veya tasarımın mevcut olduğunu görmekteyiz. Bunlardan 7'sini Formhals'a ait 1934-44 tarihli patentlerde yer alan yöntemler; geri kalanını ise 2001 yılı ve sonrasına ait yeni çalışmalar oluşturmaktadır.

## 1.1. Elektro Lif Çekimi ile Nanoliflerden İplik Üretim Yöntemleri

Elektro lif çekimiyle nanoliflerden doğrudan iplik eğirme yöntemlerini başlıca iki temel başlık altında sınıflandırmamız mümkündür (Göktepe 2015a; Göktepe 2015b) (Şekil 1).



Şekil 1. Elektro lif çekimi ile nanoliflerden iplik üretim yöntemleri

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

Bu başlık altında verilen çalışmalar elektro lif çekim yöntemi ile liflerin elde edildiği ve bu liflerin demet halinde sarılmasına dayanan yöntemleri kapsamaktadır. Bu sınıfa ait ilk çalışmalar Formhals'ın 1938-1944 yılları arasında aldığı patentlerdir. Ancak söz konusu patentlerde sistemler hakkında bilgi verilmiş olup, elde edilen iplik ve iplik özelliklerine ait bilgi verilmemiştir (Formhals 1938a, Formhals 1938b, Formhals 1939, Formhals 1944).

Paralel lif demetleri halinde iplik üretimine yönelik çok daha yeni sayılabilecek bir çalışma Pan ve ark. (2006) tarafından sunulmuş olup, burada eşlenik lif çekim düzeneği ile paralel lif demetleri elde edilmiş olup, 346-670 nm inceliğinde liflerden iplik elde edildiği belirtilmiştir. Li ve ark. (2007) tarafından sunulan başka bir çalışmada, eşlenik elektro lif çekim yöntemi ile elde edilen nanoliflerin 1-3 µm aralığında, nanolif ipliklerin 150-350 µm aralığında ve iplik mukavemetinin ise 0,31 cN/dtex olduğu belirtilmiştir.

Paralel lif demetleri halinde iplik üretimini mümkün kılan yaş eğirme yöntemine göre lif çekimi esasına dayanan farklı bir yaklaşım da mevcut olup, bu yöntemde ortalama 10,1 denye inceliğinde nanolif iplik, 646 nm (PVA), 1000 nm (PVD), 294 nm (PVDF), 285 nm (PAN) inceliklerinde nanolifler edilmiştir. Benzer bir çalışmada Teo ve ark. (2007) tarafından sunulmuş olup, 740-1300 nm inceliğinde nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretimi sağlanmıştır. Öte yandan Maheshmari ve Chang (2009) çalışmalarında alternatif akım güç kaynağı (AC) kullanarak 10 µm inceliğinde nanolif iplik elde etmiş olup, ipliğin 1m'den daha fazla uzunlukta olduğu vurgulanmıştır.

Başka bir yaklaşım Mondal ve ark. (2008) tarafından sunulmuş olup, elektro lif çekim yöntemi kullanılarak elde edilen 105-561 nm (PAN) aralığındaki nanoliflerin üst üste birikerek iplik yapısını meydana getirdikleri ifade edilmiştir. Lee ve ark. (2010) ise çoklu toplayıcı kullanarak, toplayıcıları farklı şekillerde konumlandırmakta ya da farklı toplayıcı tipleri deneyerek 1,4-2,5 µm inceliğinde lifler elde etmişlerdir. Burada elde edilen bir başka çalışma ise Kim (2010) tarafından sunulmuş olup, sistemde sonsuz bant şeklinde yivli bir kayış içeren toplayıcı kullanılarak ortalama 186 nm çapında nanolifler, 75 denye inceliğinde naylon iplik elde edilmiştir. Wang ve ark. (2008a), çalışmalarında 700 nm-1.5 µm (PAN), 500 nm (PMIA/IL) nanolif iplik elde etmiştir. Aynı araştırma grubu, kendiliğinden iplik eğirme yöntemi olarak adlandırılan aynı eğirme sistemini konvansiyonel sisteme benzer germe-çekme işlemi gibi ard-işlemlerle kombinleyip 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 edilmektedir. Dabirian ve ark. (2011) tarafından sunulan elektro santrifüj lif çekim yöntemi ile 410-440 nm nanoliflerden iplik üretimi yapıldığı belirtilmiştir. Paralel lif demetlerinin kopma mukavemetinin 53-112 MPa arasında değiştiği belirtilmiş, % kopma uzama ise %60-75 olarak verilmiştir.

Barua (2015) tarafından sunulan çalışmada dönen disk tipi kollektör kullanılmış olup, 348-408 nm nanoliflerden 90-130 MPa kopma mukavemetine sahip lif demetleri elde etmiştir. Sistemde nanolifler saf suya daldırıldıktan sonra bakır kollektör üzerinden iplik formunda çekilmekte olup, 95°C'ta 5 saat kurutulmuştur.

Sonuç olarak nanoliflerden paralel lif demetleri halinde bükümsüz iplik üretim yöntemlerinin tümünde lifler birbirlerine paralel olarak toplayıcı tarafından toplanmaktadır. Bu durumda bu sistemler, nanoliflerden kesintisiz halde bükümlü iplik üretim yöntemlerinin öncüleri olarak kabul edilebilir.

## **1.1.2. Nanoliflerden Kesintisiz Halde Bükümlü İplik Üretim Yöntemleri**

### **1.1.2.1. Formhals Tarafından Geliştirilen Öncü Sistemler**

Elektro lif çekimiyle ilk bükümlü iplik üretim yöntemleri Formhals'a aittir. Burada ilk çalışma Formhals'ın 1934 yılına ait patenti olup, 1940 tarihli bir diğer patent ise elektrik alan ile lif çekimiyle özlü iplik (core-spun yarn) üretimini amaçlamıştır (Formhals 1940). Formhals'ın bir başka patentinde ise sistemde rotora benzeyen bir toplayıcı yardımıyla lif bandına büküm verilmiştir (Formhals 1943). Öte yandan, Formhals tarafından sunulan söz konusu patentlerde, üretim hızı, iplik inceliği, iplik bükümü gibi teknik verilere yer verilmemiştir.

### **1.1.2.2. Sarım Sisteminin Dönüşüyle İpliğe Büküm Veren Sistemler**

Bu başlık altındaki çalışmaların tümünde elektro lif çekim sistemi kullanılarak elde edilen liflere, sarım sisteminin dönüşüyle büküm verilmiştir. Bu sistemlerde birbirine karşılıklı pozisyonda yerleştirilmiş ve zıt yüklü enjektörlerden püskürtülen filament jetlerinin bir araya gelmesiyle oluşan ipliklere, sarım sisteminin dönüş hareketiyle büküm kazandırılmıştır.

Dabirian ve ark. (2007) tarafından geliştirilen sistemde enjektör ve düz yüzey halindeki kollektörden oluşan sisteme bir çubuk ilave edilerek, elektrik alan çok kutuplu hale getirilmiş ve iplik oluşumu sağlanmıştır. Eğrilen ipliklerin 160-170 µm (PAN) inceliğinde olduğu belirtilmektedir. Aynı araştırmacının aynı yöntemi kullandığı bir başka çalışmada ise, hücre kültürlerinde kullanmaya uygun ve 300 t/m üzeri büküme sahip, 54,6 MPa mukavemetinde ipliklerin üretildiği belirtilmiştir (Dabirian ve Hosseini 2009).

Sarım sisteminin dönüşü ile ipliğe büküm verilen sistemlere ait başka bir çalışma Hajiani ve ark. (2012) tarafından sunulmuş olup, 90-220 nm nanoliflerden 84,70-175,33 µm (Naylon 66) nanolif ipliklerin eğrildiği belirtilmiştir. Aynı sistemin kullanıldığı Maleki ve ark. (2013) tarafından sunulan başka bir çalışmada ise PLLA nanolif iplikler üretilmiştir. Aynı araştırma grubu tarafından sunulan farklı bir çalışma Memarian ve ark. (2014) tarafından sunulmuş olup, çalışmada 220-280 nm nanoliflerden, 456-1869 µm TiO<sub>2</sub> nanolif iplikler elde edilmiştir. Tian ve ark. tarafından (2015) geliştirilen sistemde ise lif şeritleri elde edilmiş ve şeritlerin katlanması ve büküm verilmesi ile nanolifli iplik üretimi yapılmıştır. Ancak nanolif ve nanolif ipliklerin inceliklerine ait bilgi yer almamaktadır.

### 1.1.2.3. Döner Disk Şeklinde Kollektör Kullanan Sistemler

Bu gruba ait ilk çalışmada, büküm ve sarım amacına hizmet eden iki adet disk kullanılarak elektrik alanda iplik eğirme gerçekleştirilmiş olup, elde edilen ipliğin yaklaşık 5-10 µm inceliğinde olduğu belirtilmiştir (Bazbouz ve Stylios 2008). Aynı araştırmacılar tarafından özlü iplikler de üretmiş olup, ipliklerin endüstriyel ve medikal alanda kullanılabileceği belirtilmiştir (Bazbouz ve Stylios 2009).

Döner disk sisteminin kullanıldığı farklı konstrüksiyondaki sistemler de mevcut (Lee ve ark. 2010) olmakla birlikte sadece lif görüntüleri yer almakta, bükümlü iplik görüntüsü, nanolif ve iplik inceliklerine ait bilgi bulunmamaktadır. Dabirian ve ark. (2011), çalışmalarında dönen disk ve eşlenik enjektörler kullanarak PAN iplikler üretmiş olup, ipliklerin kopma mukavemeti 61,30- 116,56 MPa; % kopma uzama değerleri ise % 22,5-54,2 olarak belirtilmiştir. Wu ve ark. (2013, 2014) tarafından sunulan sistemde ise 480-650 nm nanoliflerden, 40-150 µm (PAN) nanolif ipliklerin eğrildiği, iplik mukavemetlerinin 5,5-13,35 cN/tex arasında değiştiği ifade edilmiştir.

Farklı bir çalışma ise Chawla ve ark. (2013) tarafından sunulmuş olup, çalışmada 1300 t/m bükümlere kadar nanolif iplikler elde edilmiştir. Fennessey ve ark. (2004) tarafından sunulan başka bir çalışmada nanolifler demetler halinde elde edildikten sonra bir motor yardımıyla bükülerek iplik üretimi sağlanmış; nanolif incelikleri 0,38-0,43 µm, iplik mukavemetleri ise 90-165 MPa olarak belirtilmiştir. Ancak kullanılan sistem, gerçek bir iplik eğirme sisteminden ziyade kesikli ve iki aşamalı bir sistemdir.

### 1.1.2.4. Huni vb. Kollektör Kullanan Sistemler

Bu sistemlerde elektro lif çekim yöntemi kullanılarak elde edilen lifler, huni vb. Forma sahip bir kollektörde toplanmakta ve bu kollektörlerin dönüşü ile büküm almaktadır. Bu gruptaki çalışmalar arasında örneğin ring kollektörü kullanılan bir sistemde (Shaukat ve Lin 2015), PVDF-HFP esaslı ortalama 592 nm lif inceliğinde, 30-150 µm aralığında değişen inceliklerde nanolif iplikler elde edildiği görülmektedir. Huni benzeri kollektörün kullanıldığı çalışmalardan biri de Lotus (2009) tarafından sunulmuş olup, 30-40 µm inceliğinde nanolifli iplik elde edilmiştir. Benzer bir çalışma Afifi ve ark. (2010) tarafından da sunulmuş olup, ortalama 480-1500 nm lif inceliğine ve 160 µm iplik inceliğine sahip PLA nanolif iplikler elde edilmiştir. Yang ve ark. (2014) tarafından sunulan başka bir çalışmada nanolif ve nanolif iplikten oluşan iskelet doku (scaffold) elde edilmektedir. Öte yandan başka bir çalışmada hem kollektör hem de iplik sarım sistemi döndürülerek, 19 tex doğrusal yoğunluğa sahip PAN nanolif ipliklerden kumaşlar elde edilmiştir (Ravandi 2015). Li ve ark. (2012) tarafından sunulan bir çalışmada ise huni formundaki kollektör içinde hava emişi yer almakta, ipliklerin mukavemetinin 17 MPa, % kopma uzama değerlerinin ise %104 olduğu belirtilmektedir. Ali ve ark. (2012) tarafından sunulan bir çalışmada ise ortalama lif inceliği 480 nm-1,5 µm iken iplik inceliği 30-450 µm olan nanolif iplikler elde edilmiştir. Öte yandan, Xie (2013) tarafından sunulan çalışmada Ali



(2012)'nin çalışmasına ilave olarak lif toplanma alanını kontrol etmek amacıyla kullanılan disk elektrotlu enjektör kullanımı göze çarpmaktadır. Sunulan çalışmalarda 562,5±13,4 nm nanoliflerden 247,2±55,2 µm (PAN) iplikler eğrilmiştir. Bir başka çalışmada ise 400-700 nm nanoliflerden, 70-386 µm iplikler 2 m/dk hızında üretilmiş olup, iplik mukavemetleri 55,7 MPa olarak belirtilmiştir (He 2013, 2014a, -2014b). Levitt ve ark. (2017), çalışmasında benzer bir sistem kullanarak 3 farklı polimer ile iplik üretmiş olup, lif incelikleri 0,97 µm (PVDF-TrFe), 1,20 µm (PAN), 0,81 µm (PCL) olup, iplik mukavemetlerinin ise sırasıyla 10,16 MPa (PVDF-TrFe), 4,25 MPa (PAN), 2,03 MPa (PCL) olduğu belirtilmiştir. Huni vb. forma sahip kollektörün kullanıldığı başka bir sistemde ise lif inceliklerinin 200-800 nm, iplik inceliklerinin 90-230 µm olduğu belirtilmiş olup, iplik eğirme hızınının 10 d/dk, iplik mukavemetlerinin ise 10-30 cN/dtex olduğu ifade edilmiştir (Jin ve ark. 2017).

### 1.1.2.5. Diğer Yöntemler

Bu grupta ise elektro lif çekim yönteminin kullanıldığı ancak yukarıda verilen sistemlere dahil olmayan farklı yaklaşımlara yer verilmektedir. Örneğin tekstüre prosesine benzer yöntemlerle 50-100 nm nanoliflerden iplik üretimi yapılmıştır (Ko ve ark. 2003). 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 üretilmiş, bu yüzey daha sonra küçük bantçıklar halinde kesilerek bir hava jeti yardımıyla bükümlü ipliğe (75 denye-Poly e-kaprolaktam, 120 denye-PU, 75 denye-PA 6) dönüştürülmüştür (Smit 2007). Elektro lif çekiminin sıvı bir banyo üzerinde yapılması suretiyle üretilen lifler su yüzeyine sürekli olarak yerleşirken, oluşturulan vorteks sayesinde liflerin su girdabına doğru çekilerek büküm aldığı ve bir sarım sistemiyle sarıldığı yaklaşımlar da mevcuttur (Smit 2007, Latifi 2011, Yousefzadeh 2011). Başka bir çalışmada ise iki adet karşılıklı yerleştirilmiş fakat zıt yüklü enjektörden püskürtülen lifler, toplayıcı olarak statik su banyosunda toplanmış, elde edilen ipliğe ise nano açık-uç (open-end) iplik adı verilmiştir. Çalışmada elde edilen iplik inceliklerinin 32-56 µm (PAN) arasında değiştiği, iplik üretim hızınının ise 150 m/sa olduğu belirtilmiştir. Ancak üretilen ipliğin bükümlü olduğu belirtilse de, bükümün nasıl verildiğine dair bilgi yer almamaktadır (Aslı 2010). Yan (2011), tarafından sunulan çalışmada ise kısa uzunluklarda iplikler elde edilmiş olup, iplik inceliklerinin 10-12 µm (PAN) arasında değiştiği belirtilmiştir. Bagherzadeh (2010) tarafından sunulan başka bir çalışmada da benzer bir sistem kullanılarak, 250-350 nm nanoliflerden, 22-32 µm aralığında PVA iplikler elde edilmiştir.

Nonwoven nanolifli yüzeyin kesilmesi ve büküm verilerek iplik haline getirilmesi esasına dayanan yaklaşımlar da mevcut olup, elde edilen lif inceliklerinin 100-917 nm (PVDF), iplik mukavemetinin ise 22-55 MPa arasında değiştiği ifade edilmiştir (Nakashima ve ark. 2011). Benzer bir çalışma Tsai (2013) tarafından da sunulmuş olup, elde edilen nanolif ipliklerin inceliklerinin 260 µm (CA/PMMA), 240 µm (PAN/PMMA), 200 µm (PVDF/PEO), iplik mukavemetlerinin ise 27,4-59,4 MPa arasında değiştiği belirtilmiştir. Bosworth (2014a, 2014b) tarafından sunulan bir çalışmada ise nanoliflerden oluşan şeritler daha sonra 50 mm uzunluğunda kesilerek, saf suya daldırılarak ve elde edilen şeritlere

manuel olarak büküm verilerek yaklaşık 200 µm çapında nanolif ipliklerin elde edildiği ifade edilmekte, elde edilen nanolifli ipliğin kök hücre çoğalmasını sağladığı belirtilmektedir (Bosworth 2014a, 2014b).

Su ve ark. (2013) tarafından sunulan bir çalışmada ise hem nanolif iplik hem de sisteme 20 tex inceliğinde bir filament beslenerek özlü nanolif iplik üretilmiştir. Benzer şekilde Zhou ve ark. (2010) tarafından da öz iplik olarak beslenen PA (50 µm), PEO nanoliflerle kaplanmış ve sonrasında büküm verilmiştir. Enjektör ve kollektör kullanımı olmamakla birlikte, sistemde güç kaynağı olarak AC güç kaynağı kullanılan bir sistemde ise elde edilen iplik ve lif özelliklerine dair bilgi verilmediği görülmüştür (Pokorny 2014).

Sonuç olarak literatürde yer alan üretim metotlarından elde edilen lif ve ipliklerin özellikleri incelendiğinde ilk özgün çalışmanın 1934'lere dayandığı, ancak elde edilen lif ve iplik özelliklerine dair her hangi bir bilginin bulunmadığı 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. (Aslı 2010, Levitt 2017, Jin 2017, Li 2017 vb.) Çalışmalarda iplik mukavemetlerinin geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği (0,59 cN/tex -118 MPa gibi) görülmektedir.

## **2. GEREÇ ve YÖNTEMLER**

### **2.1. Materyal**

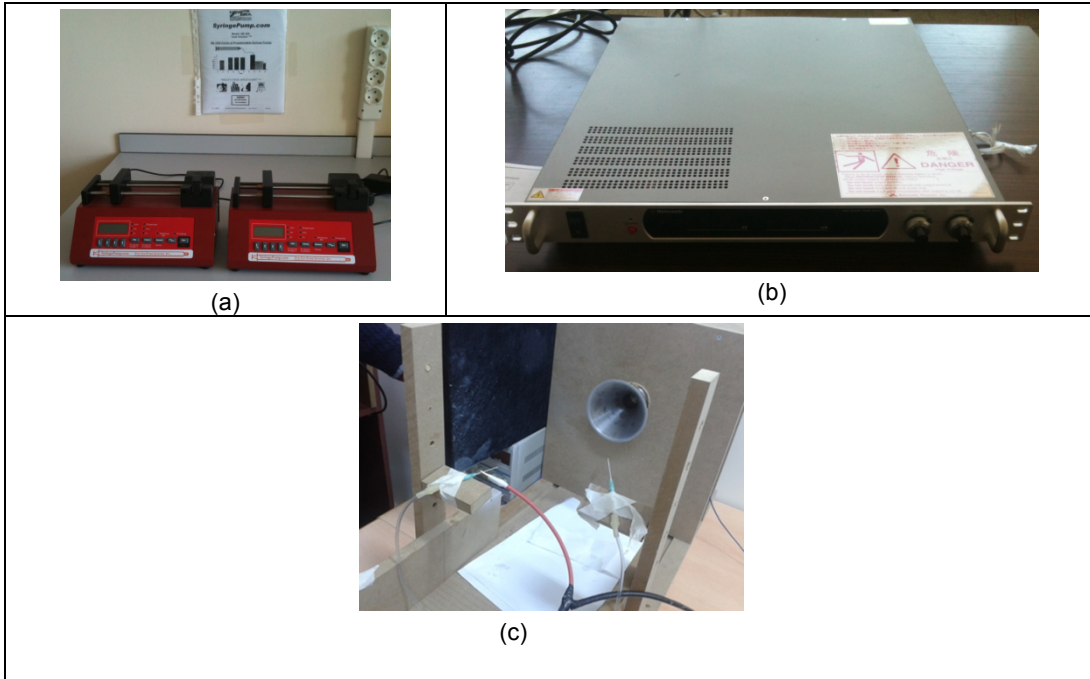
Çalışmada polimer olarak poliakrilonitril (Mw 150.000- Sigma-Aldrich), çözücü olarak ise N,N-Dimetilformamid (Emparta) kullanılmıştır. %10'luk PAN polimeri manyetik karıştırıcı yardımıyla, DMF içerisinde 4 saat 80°C sıcaklıkta çözülerek hazırlanmıştır. Elektro lif çekiminde kullanılan polimer çözeltilerinin vizkozitesi 750 cP (Brookfield Viscometer) ve iletkenliği (WTW Cond 330i/SET) ise 115 µS/cm olarak ölçülmüştür.

### **2.2. Çalışmada Kullanılan Cihazlar**

#### **2.2.1. Elektro Lif Çekim Yöntemi ile İplik Üretimi**

Projede ipliklerin eğirilmesi, NKÜ bünyesinde prototip olarak tasarlanmış bulunan, dönen kollektör yöntemini esas alan elektro lif çekim sistemi ile nanolif iplik eğirme sisteminde gerçekleştirilmiştir. Eğirme düzeneği temel olarak iki adet New Era Pump Systems marka pompa (Şekil 2a); Matsusada AU Series Model 30 kV'ye kadar güç uygulayabilen DC güç kaynağı (Şekil 2b); 100-1300 d/dk aralığında dönebilen çelik malzemeden

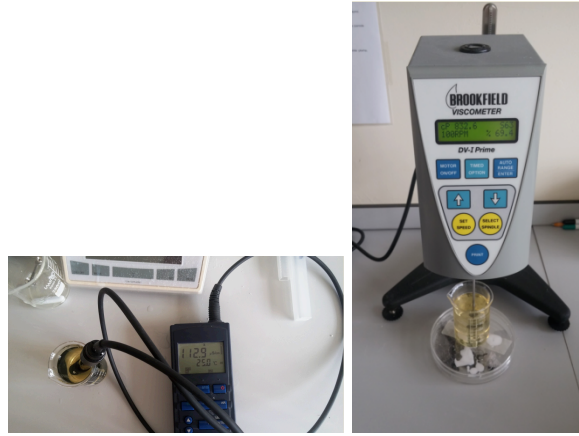
(E335) yapılmış konik kollektörden oluşmaktadır. Söz konusu prototip eğirme sistemi ahşap konstrüksiyonlu olup, şematik ve genel görünümü Şekil 2c'de yer almaktadır. Projede belirtilen parametreler ışığında farklı inceliklerde ve farklı bükümlerde nanolif ipliklerin üretimi tamamlanmıştır. Bu kapsamda hazırlanan çözelti, yüksek gerilimle yüklenmiş enjektörlere beslenerek, lif haline getirilmiş ve dönen kollektör yardımıyla toplanarak bükümlü iplik eğirme işlemi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.** Elektro lif çekim yöntemi ile iplik üretimi için kullanılan prototip sistem

### 2.2.2. Polimer Çözeltisi ve Ortam Şartlarının Kontrolü

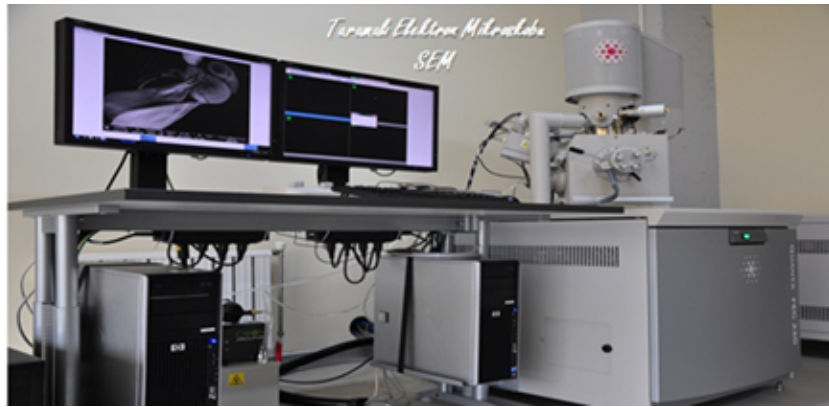
Tüm deneysel çalışmalarda hazırlanan polimerin vizkozite ve iletkenliği NKU Çorlu Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği laboratuvarında bulunan Brookfield Viscometer markalı vizkozimetre ve WTW markalı Cond 330i/SET model iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Viskozite ölçümü sırasında ortam sıcaklığı 25°C, ölçüm hızı 30 d/dk, tork değeri %17,8 ve spindle numarası S63'tür (Şekil 3).



**Şekil 3.** Deneysel çalışmada kullanılan iletkenlik ve vizkozite ölçüm cihazları

### 2.2.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Çalışma sonucunda elde edilen ipliklerin yüzey büküm açıları, iplik ve lif incelikleri Namık Kemal Üniversitesi Merkez Laboratuvarında FEİ marka Quanta FEG 250 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Çalışmalarda her parametreye ait 10'ar numuneden görüntü alınmış olup, her görüntüden 5 ölçüm yapılmıştır. Bu şekilde her parametreden 50 ölçüm yapılmış olup, test sonuçlarının analizi için ayrıca Photoshop PC6 ve OriginPro8 programları kullanılmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Çalışmada kullanılan SEM cihazı

#### 2.2.4. Mukavemet Test Cihazı

Sistemde eğrilen ipliklerin mukavemet ve kopma uzamaları Namık Kemal Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan Tinius Olsen H10KS cihazında test edilmiştir. Her iplik numunesinden 5'er adet ölçüm yapılmış olup, aritmetik ortalamaları alınmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışmada kullanılan mukavemet test cihazı

#### 2.2.5. Hassas Teraziler

Yapılan çalışmalarda sırasında çalışılan deney malzemelerinin ağırlık ölçümünde Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan 0,0001 g hassasiyette ve maksimum 220 g ölçüm yapabilen Precisa marka hassas terazi kullanılmıştır. Ayrıca nanolif ipliklerin doğrusal yoğunluklarının ölçümleri için Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde bulunan 0,00001 g ölçüm hassasiyetine sahip maksimum 220 g ölçüm yapabilen Shimadzu marka hassas terazi kullanılmış (Şekil 6), bu amaçla her parametreye ait iplikten 5'er adet (her biri 10 cm) ölçüm yapılmıştır.



**Şekil 6.** Kullanılan hassas teraziler

### 2.3. Farklı Eğirme Parametrelerinde Nanolif İpliklerin Eğrilmesi

Proje kapsamında sistemin temel parametreleri olan kollektör dönüş hızı, iplik sarım hızı, polimer besleme hızı değiştirilerek, bu parametrelerin iplik ve lif özelliklerine etkisi incelenmiştir.

#### 2.3.1. Kollektör Dönüş Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi

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 1’de verilmektedir.

**Tablo 4.** Kollektör dönüş hızının etkisinin analizine ait çalışma parametreleri

İplikler	a	b	c	d	e	f	g	h
Kollektör Dönüş Hızı (d/dk)	200	300	400	500	600	700	800	900
Sarım Hızı (m/sa)	7,5							
Toplam Besleme Hızı (ml/sa)	2							
Gerilim (kV)	13,5							

### 2.3.2. Sarım Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi

Çalışmada farklı sarım hızlarında lif ve iplik özellikleri de incelenmiştir. Bölümde kullanılan çalışma parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Sarım hızının etkisinin analizine ait çalışma parametreleri

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

### 2.3.3. Polimer Besleme Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi

Çalışmada sistemin polimer besleme hızı açısından alt ve üst limitleri araştırılmıştır. Bu amaçla belirlenen çalışma parametreleri Tablo 3’te görülmektedir.

**Tablo 6.** 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

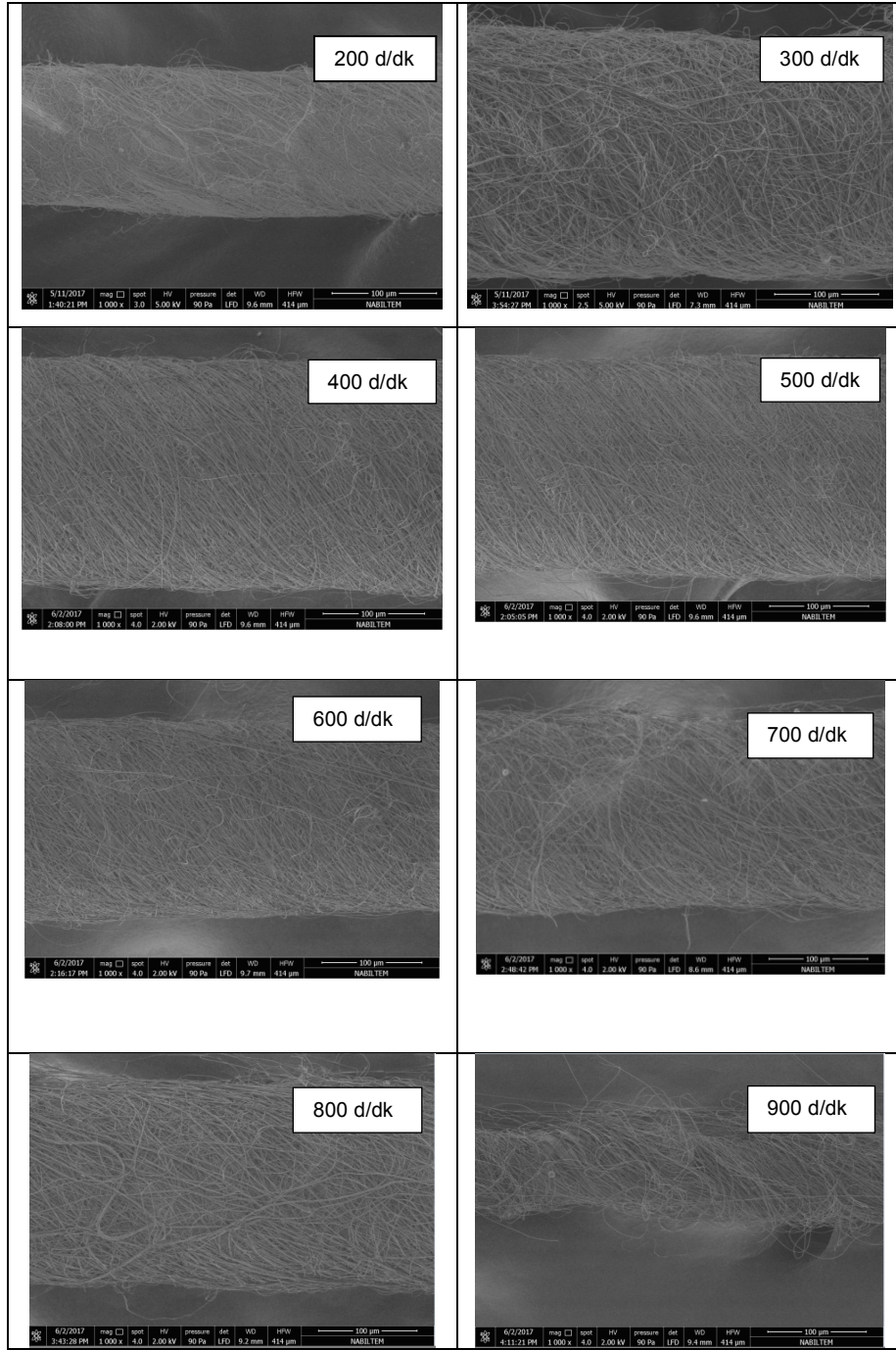
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Kollektör Dönüş Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi

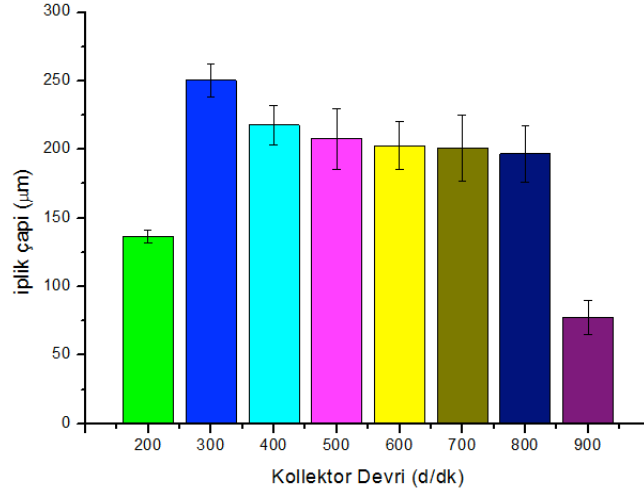
Bu bölümde, 8 farklı iplik türü elde edilmiştir. Kollektör dönüş hızı 200 d/dk'nın altında iken liflerin sağlıklı kollektör tarafından toplanamadığı, kollektör dönüş hızı 900 d/dk' ya ulaştığında ise yüksek hızın etkisiyle liflerde saçılma ve buna bağlı olarak da iplik inceliğinde önemli azalma gözlenmiş, dolayısıyla sistemde 200 d/dk ve altında, 900 d/dk ve üzerinde iplik eğrilmesinin sağlıklı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bu bölümde elde edilen ipliklere ait örnek SEM görüntüleri Şekil 7'de, ortalama iplik inceliğine ait sonuçlar ise Şekil 8'de verilmektedir. İplik inceliğine ait sonuçlar incelendiğinde, sağlıklı eğirmenin gerçekleştiği 300-800 d/dk aralığında elde edilen en düşük ortalama iplik inceliği 196 µm iken, en yüksek değer 250 µm olduğu görülmektedir.



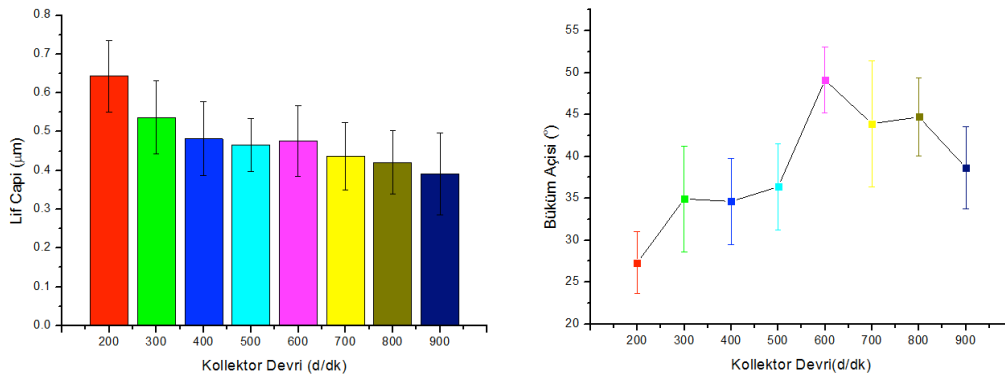


Şekil 7. İpliklere ait SEM görüntülerine örnekler



**Şekil 8.** Kollektör dönüş hızının iplik inceliğine etkisi

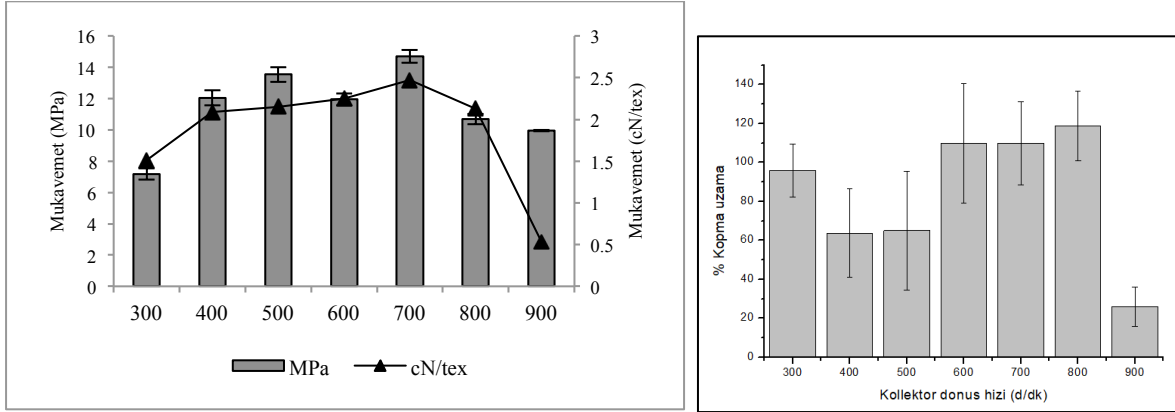
Lif inceliklerindeki ve iplik yüzey büküm açısındaki değişim ise Şekil 9'da verilmektedir. Bu sonuçların literatürde benzer sistemle üretilmiş PAN esaslı iplikler ve liflerle uyumlu olduğu görülmektedir (Dabirian 2007, He 2013-2014, Xie 2013, Ravandi 2015). Ayrıca kollektör dönüş hızının artmasıyla iplik yüzey büküm açısının arttığı görülmektedir. Ancak iplik üretimi esnasında kollektörün dönüş hızı arttıkça daha sık iplik kopuşları gözlenmiştir.



**Şekil 9.** Kollektör dönüş hızının lif inceliği ve iplik yüzey büküm açısına etkisi

Kollektör dönüş hızının iplik ve lif inceliği ile iplik yüzey büküm açılarına etkisi ayrıca istatistiksel olarak da analiz edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Ek 1'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.

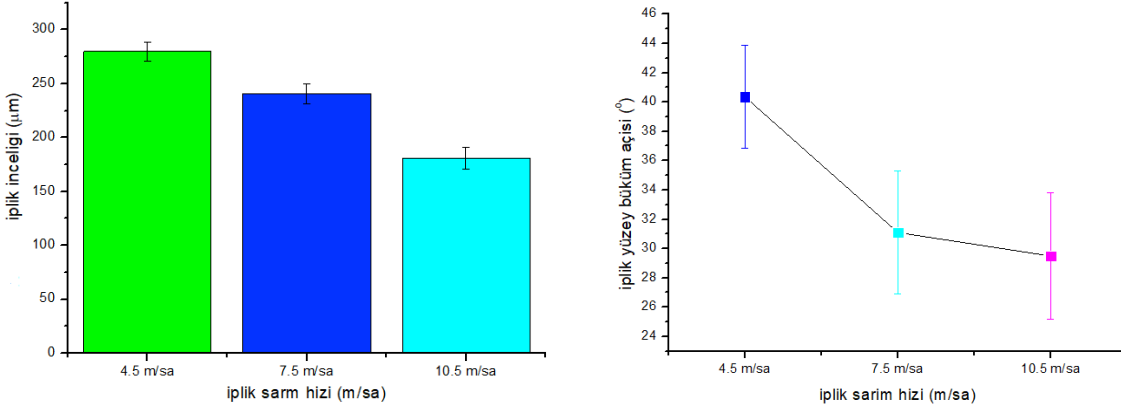
Şekil 10'da görüldüğü üzere bu bölümde ayrıca iplik mukavemeti ve % kopma uzama özellikleri de analiz edilmiş olup, iplik mukavemetlerinin iyileştirilmesinin gerektiği görülmektedir. Nitekim literatürde elektro lif çekim yöntemi ile elde edilen PAN esaslı nano ipliklerin mukavemetlerinin genel olarak düşük olduğu ve iyileştirmeye yönelik çalışmaların yapıldığı görülmektedir (Wang 2008, Baura 2017).



**Şekil 10.** Kollektör dönüş hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi

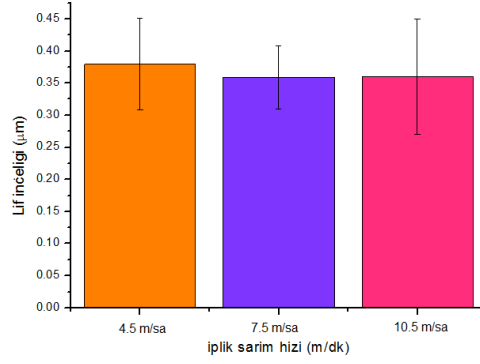
### 3.2. Sarım Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi

Farklı sarım hızlarında elde edilen ipliklere ait ortalama iplik inceliği ve iplik yüzey açılarına ait sonuçlar Şekil 11'de verilmektedir. Bu sonuçlar bekleneceği üzere sarım hızının artmasıyla daha ince ipliklerin eğrilebileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Benzer şekilde ipliklerin yüzey büküm açılarının da azaldığı görülmektedir. Ayrıca sarım hızının iplik inceliği ve iplik yüzey büküm açılarına etkisi istatistiksel olarak analiz edilmiş olup, yapılan varyans analizinde (ANOVA) ve Tukey analizlerinden elde edilen sonuçlar, iplik incelikleri ve iplik yüzey büküm açıları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur (Ek 2).



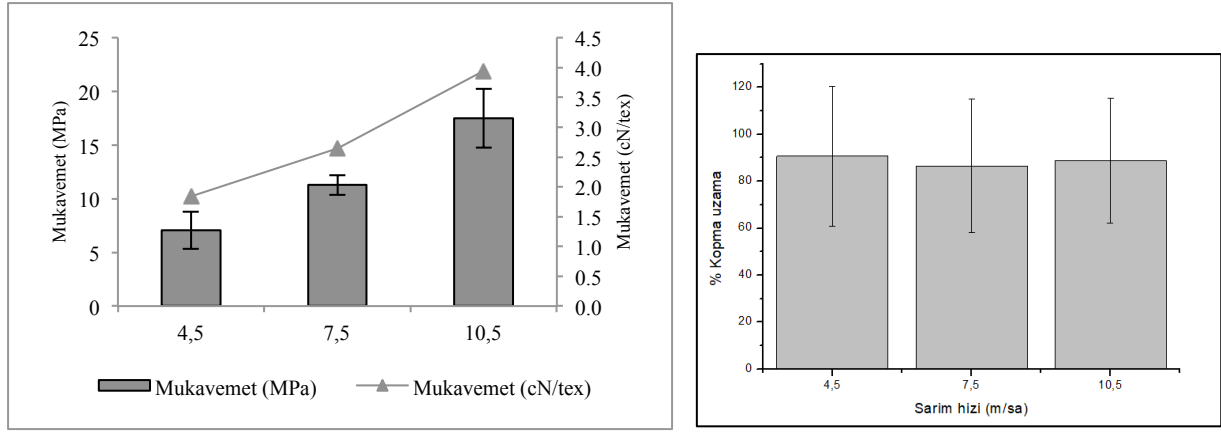
**Şekil 11.** Sarım hızının iplik inceliğine ve iplik yüzey büküm açısına etkisi

Sarım hızının lif inceliğine etkisi ise Şekil 12 ile verilmekte olup, sarım hızının artışıyla lif inceliğinde belirgin bir değişim gözlenmemiş, aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir (Ek 2).



**Şekil 12.** Sarım hızının lif inceliğine etkisi

Aynı zamanda sarım hızının artmasıyla iplik mukavemetleri artmakta iken % kopma uzama değerlerinde ise belirgin değişim gözlenmemiştir (Şekil 13).

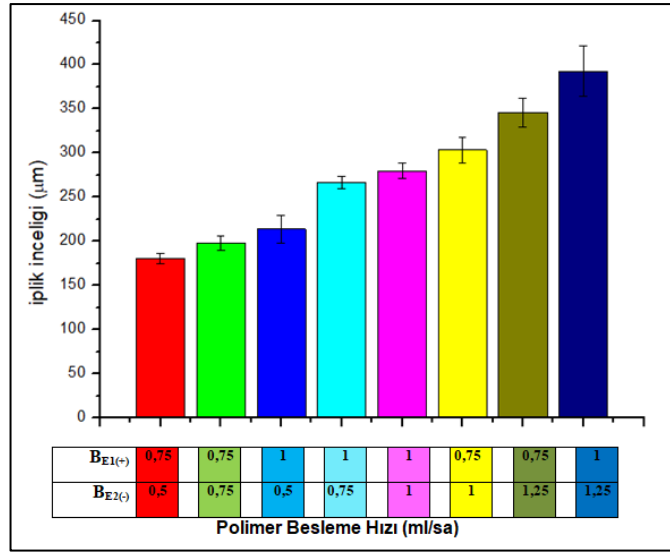


**Şekil 13.** Sarım hızının iplik mukavemeti ve % kopma uzama değerine etkisi

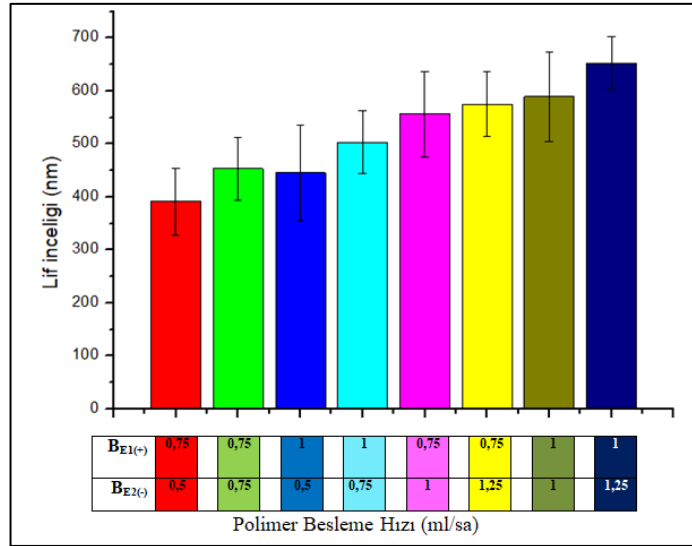
### 3.3. Polimer Besleme Hızının İplik ve Lif Özelliklerine Etkisi

Bu bölümde polimer besleme hızının lif ve iplik özelliklere etkisini incelemek amacıyla farklı besleme hızı ile çalışılmış, sürekli, kesintisiz ve stabil iplik eğirme için,  $B_{E1(+)}$ : 1 ml/sa,  $B_{E2(-)}$ : 0,75-1 ml/sa aralığının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca elde edilen iplik ve liflerin inceliği, iplik yüzey büküm açıları ve iplik mukavemetleri incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 14-16 ile verilmektedir. Şekil 14 incelendiğinde polimer besleme hızının bekleneceği üzere iplik inceliğini doğrudan etkilediği görülmektedir. Şekil 15'de yer alan sonuçlar ise polimer besleme hızının artması ile lif çaplarının arttığını ortaya koymaktadır.

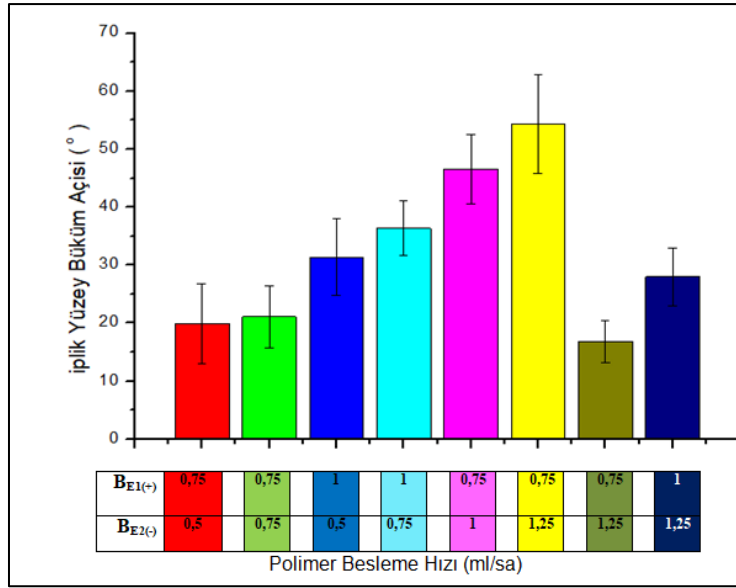


Şekil 14. Polimer besleme hızının iplik inceliğine etkisi



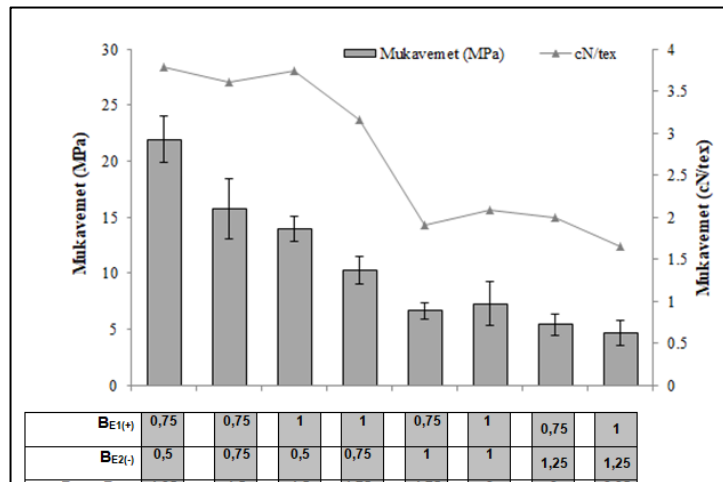
Şekil 15. Polimer besleme hızının lif inceliğine etkisi

Şekil 16 incelendiğinde ise polimer besleme hızının artmasına bağlı olarak ipliklerde yüzey büküm açısının genel olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 16. Polimer besleme hızının iplik yüzey büküm açısına etkisi

Öte yandan polimer besleme hızının artmasına bağlı olarak iplik mukavemetinin azaldığı görülmüş olup, iplik kesitine eklenen liflerin iplik mukavemetine katkı sağlamadığı düşünülmektedir (Şekil 17). Ayrıca polimer besleme hızının lif ve iplik özelliklerine etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir (Ek 3). 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 istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 17. Polimer besleme hızının iplik mukavemetine etkisi

#### 4. Sonuç

Proje kapsamında elektro lif çekim yöntemi ile eğrilen nanolif ipliklerin özellikleri analiz edilmiş, ayrıca elektro lif çekim yöntemi ile iplik üretim sisteminde belirli temel parametrelerin iplik ve lif özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sistemin temel parametrelerinden olan, nanolifleri toplayan ve dönüşü ile büküm veren kollektör dönüş hızının artması ile iplik ve liflerin incelendiği, iplik yüzey büküm açılarının ise genel olarak arttığı görülmüştür. Bu kapsamda kollektör dönüş hızının artmasına bağlı olarak belli bir değere kadar mukavemet değerinin arttığı gözlenmiştir.

Öte yandan sistemde ipliğin bobinlenmesi görevini üstlenen sarım silindiri hızı değiştirilerek iplik ve lif özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sarım hızının artması ile bekleneceği üzere ipliklerin incelendiği ve yüzey büküm açısının azaldığı, lif çaplarının ise değişmediği görülmüştür. Sistemde nanoliflerin kollektör tarafından toplanırken çekime uğradığı ve incelendiği bilinmektedir. Bu sebeple sarım hızının lif inceliğini etkilemediği düşünülmektedir.

Proje kapsamında çalışılan bir diğer konu ise polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi olmuştur. Sistemde polimer besleme hızı arttıkça, lif çapları ve buna bağlı olarak iplik çapları artmıştır. Büküm açısının da toplam polimer besleme hızına bağlı olarak arttığı, buna karşılık iplik mukavemetlerinin azaldığı görülmüştür.

#### KAYNAKLAR

Afifi, A, M, Nakano, S, Yamane, H, Kimura, Y, Electrospinning of Continuous Aligning Yarns with a Funnel Target, *Macromolecular Materials and Engineering*, Volume 295, 660–665, 2010.

Ali, U, Zhou, Y, Wang, X, Lin, T, Direct Electrospinning of Highly Twisted, Continuous Nanofiber Yarns, *The Journal of the Textile Institute*, Volume 103-1, 80–88, 2012.

Aslı, M, M, Harehaghaji, A, A, Johari, M, S, Study on the Effects of Application of Surface Tension on the Structure of Electrospun Nanofiber Yarn, 7<sup>th</sup> International Conference, September 6-8, Czech Republic, 2010.

Bagherzadeh, A, S, Electrospinning Yarn Formation and Coating, Ph.D. Thesis, Graduate of Faculty of North Carolina State University, North Carolina, US, 2010.

Baura, B, Investigation of Electrospinning Process Parameters and Studies of Stabilization Kinetics of Polyacrylonitrile-Based Electrospun Carbon Nanofibers”, University of Oklahoma, Graduate Collage, Norman, Oklahoma, 2015.



Bazbouz, M B, Stylios, G, Novel Mechanism for Spinning Continuous Twisted Composite Nanofiber Yarns, *European Polymer Journal*, Volume 44, 1–12, 2008.

Bazbouz, M, B, Stylios, G, A New Mechanism for the Electrospinning of Nano Yarns, *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 124, 195–201, 2009.

Bosworth, L, A, Travelling along the Clinical Roadmap: Developing Electrospun Scaffolds for Tendon Repair, UK Society for Biomaterials Annual Conference, Hindawi Publishing: Conference Papers in Materials Science, Vol. 2014, 2014.

Bosworth, L, A, Rathbone, S, R, Bradley, R, S, Cartmell, S, H, Dynamic Loading of Electrospun Yarns Guides Mesenchymal Stem Cells Towards a Tendon Lineage, *Journal of the Mechanical Behaviour of Biomedical Materials*, 39, 175-183, 2014.

Chawla, S, Naraghi, M, Davoudi, A, Effect of Twist and Porosity on the Electrical Conductivity of Carbon Nanofiber Yarns, *Nanotechnology*, 24, 255708- 255717, 2013.

Dabirian, F, Ravandi, H, S, A, Pishavar, A, R, Abuzade, R, A, A, Comparative Study of Jet Formation and Nanofiber Alignment in Electrospinning and Electrocentrifugal Spinning Systems, *Journal of Electrostatics*, Vol. 69, 540-546, 2011.

Dabirian, F, Hosseini, Y, Ravandi, S, A, Manipulation of the Electric Field of Electrospinning System to Produce Polyacrylonitrile Nanofiber Yarn, *The Journal of the Textile Institute*, Volume 98-3, 237–241, 2007.

Dabirian, F, Hosseini, S, A, Novel Method for Nanofiber Yarn Production Using Two Differently Charged Nozzle, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Volume 17-3, 45-47, 2009.

Dabirian, F, Ravandi, H, S, A, Hashemi, S, R, Hinestroza, J, P, Manufacturing of Twisted Continuous PAN Nanofiber Yarn by Electrospinning Process, *Fibers and Polymers*, Vol. 12 (5), 610-615, 2011.

Fennessey, S, F, Farris, R, J, Fabrication of Aligned and Molecularly Oriented Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers and the Mechanical Behaviour of Their Twisted Yarns”, *Polymer*, 45, 4217–4225, 2004.

Formhals, A, Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads, US Patent 1,975,504, 1934.

Formhals, A, Artificial Fiber Construction, US Patent 2,109,333, 1938.

Formhals, A, Method and Apparatus for the Production of Fibers, US Patent 2,123,992, 1938.

Formhals, A, Method and Apparatus for Spinning, US Patent 2,160,962, 1939.

Formhals, A, Artificial Thread and Method for Producing Same, US Patent 2,187,306, 1940.

Formhals, A, Artificial Fibers From Forming Liquids, US Patent 2,323,025, 1943.

Formhals, A, Method and Apparatus for Spinning, US Patent 2,349,950, 1944.

Göktepe, F, Buzol, Mülayim, B, Elektrik Alan Lif Çekimi (Elektrospinning) ile Nano Liflerden İplik Üretim Yöntemleri. *Tekstil ve Mühendis*, 22, 99, 2015.

Hajiani, F, Jeddi, A, A, A, Gharehaghaji, A, A, 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, 2012.

He, J, Zhou, Y, Qi, K, Wang, L, Li, P, Cui, S, Continuous Twisted Nanofiber Yarns Fabricated by Double Conjugate Electrospinning, *Fibers and Polymers*, Vol.14, 11, 1857-1863, 2013.

He, J, Qi, K, Zhou, Y, Cui, S, Multiple Conjugate Electrospinning Method for the Preparation of Continuous Polyacrylonitrile Nanofiber Yarn, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 8, 40137-40143, 2014.

He, J, Qi, K, Zhou, Y, Cui, S, Fabrication of Continuous Nanofiber Yarn Using Novel Multi-Nozzle Bubble Electrospinning, *Polymer Int.*, 63, 1288–1294, 2014.

Jin, S, Xin, B, Zheng, Y, Preparation and Characterization of Polysulfone Amide Nanoyarns by the Dynamic Rotating Electrospinning Method, *Textile Research Journal*, 0(00), 1-11, 2017.

Kim, H, Y, Method of Manufacturing A Continuous Filament By Electrospinning, US Patent 7,799,262B1, 2010.

Ko, F, Gotsi, Y, G, Ali, A, Naquib, N, Ye, H, Yang, G, Li, C, Willis, P, Electrospinning of Continuous Carbon Nanotube Filled Nanofiber Yarns, *Adv. Materials*, Volume 15, No 14, 1161-1165, 2003.

Latifi, M, Yousefzadeh, M, Teo, Amani-Tehran, M, Ramaksihna, S, Continuous Twisted Yarn from Well-Aligned Nanofibers by a Water Vortex, *Society of Plastics Engineers*, 10.1002/spepro.003599, 2011.

Lee, J, R, Jee, S, Y, Kim, H, J, Hong, Y, T, Kim, S, Park, S, J, Filament Bundle Type Nanofiber and Manufacturing Method, US Patent 7,803,460B2, 2010.

Levitt, A, S, Knittel, C, E, Vallett, R, Koerner, M, Dion, G, Schauer, C, L, Investigation of Nanoyarn Preparation by Modified Electrospinning Set up, *Journal of Applied Polymer Science*, 134, 44813, 2017.

Li, X, Yao, C, Sun, F, Song, T, Li, Y, Pu, Y, Conjugate Electrospinning of Continuous Nanofiber Yarn of Poly(L-lactide)/Nanocalcium Phosphate Nanocomposite, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 107, 3756–3764, 2007.

Li, N, Hui, Q, Xue, H, Xiong, J, Electrospun Polyacrylonitrile Nanofiber Yarn Prepared by Funnel Shape Collector, *Materials Letters*, Vol 79, 245-247, 2012.

Lotus, A, F, Synthesis of Semiconducting Ceramic Nanofibers, Development of P-N Junctions and Bandgap Engineering by Electrospinning, PhD Thesis, The Graduate Faculty of The University of Akron, ABD, 2009.

Maheshwari, S, Chang, H, Assembly of Multi Stranded Nanofiber Threads through AC Electrospinning, *Advanced Material*, Vol. 21, 349–354, 2009.

Maleki, H, Gharehaghaji, A, A, Moroni, L, Dijkstra, P, J, Influence of the Solvent Type on the Morphology and Mechanical Properties of Electrospun PLLA Yarns, *Biofabrication*, 5, 035014-035021, 2013.

Memarian, F, Latifi, M, Armani-Tehran, M, 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, 2014.

Mondal, A, Borah, R, Mukherjee, A, Basu, S, Jassal, M, Agraw, A, K, Electrospun Self-Assembled Nanofiber Yarns, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 110, 603–607, 2008.

Nakashima, R, Watanabe, K, Lee, Y, Kim, B, S, Kim, I, Mechanical Properties of Poly(vinylidene fluoride) Nanofiber Filaments Prepared by Electrospinning and Twisting, *Advances in Polymer Technology*, Vol. 32, No. S1, E44–E52, 2011.

Pan, H, Li, L, Hu, L, Cui, X, Continuous Aligned Polymer Fibers Produced by a Modified Electrospinning Method, *Polymer*, Volume 47, 4901–4904, 2006.

Pokorny, P, Kostakova, E, Sanetnik, F, Mikes, P, Chvojka, J, Kalous, T, Bilek, M, Pejchar, K, Valtera, J, Lukas, D, Effective AC Needleless and Collectorless Electrospinning for Yarn Production, *Physical Chemistry Chemical Physics*, Vol. 16, 48, 26816-26822, 2014.

Ramakrishna, S, An Introduction To Electrospinning And Nanofibers, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2005.

Ravandi, S, A, H, Tork, R, B, Dabirian, F, Gharehaghaji, A, A, Sajjadi, A, Characteristics of Yarn and Fabric Made out of Nanofibers, *Materials Sciences and Applications*, Volume 6, 103-110, 2015.

Smit, E, Buttner, U, Sanderson, R, D, *Continuous Yarns from Electrospun Nanofibers, Nanofibers and Nanotechnology in Textiles*, Cambridge:Woodhead Publishing, 2007.

Shuakat, M, N, Lin, T, Direct Electrospinning of Nanofibre Yarns Using a Rotating Ring Collector, *The Journal of The Textile Institute*, DOI: 10.1080/00405000.2015.1061785, 2015.

Su, C, Lai, T, Lu, C, Liu, Y, Wu, S, Yarn Formation of Nanofibers Prepared Using Electrospinning, *Fibers and Polymers*, Vol.14, No.4, 542-549, 2013.

Teo, W, E, Gopal, R, Ramaseshan, R, Fujihara, K, Ramakrishna, S, A, Dynamic Liquid Support System for Continuous Electrospun Yarn Fabrication, *Polymer*, 48, 3400–3405, 2007.

Tian, L, Yan, T, Pan, Z, Fabrication of Continuous Electrospun Nanofiber Yarns with Direct 3D Processability by Plying and Twisting, *J Mater Sci*, Volume 50, 7137–7148, 2015.

Tsai, C, C, *Electrospun Nanofiber Yarns for Nanofluidic Applications*, Ph.D. Thesis, Graduate School of Clemson University, South Carolina, US, 2013.

Wang, X, Zhang, K, Zhu, M, Yu, H, Zhou, Z, Chen, Y, Hsiao, B, S, Continuous Polymer Nanofiber Yarns Prepared by Self-bundling Electrospinning Method, *Polymer*, 49, 2755-2761, 2008.

Wang, X, Zhang, K, Zhu, M, Hsiao, B, Chu, B, Enhanced Mechanical Performance of Self Bundled Electrospun Fiber Yarns via Post-Treatments, *Macromolecular Rapid Communications*, 29, 826–831, 2008.

Wu, S, Qin, X, Uniaxially Aligned Polyacrylonitrile Nanofiber Yarns Prepared by a Novel Modified Electrospinning Method, *Materials Letters*, 106, 204-207, 2013.

Wu, S, Zhang, Y, Liu, P, Qin, X, Polyacrylonitrile Nanofiber Yarns and Fabrics Produced Using a Novel Electrospinning Method Combined With Traditional Textile Techniques, *Textile Research Journal*, Vol. 86 (16), 1716–1727, 2014.

Xie, Z, *Polyacrylonitrile Nanofiber Yarn; Electrospinning and Their Post-Drawing Behavior*, Ph.D. Thesis, Deakin University, Australia, 2013.

Yan, H, Liu, L, Zhang, Z, Continually Fabricating Staple Yarns with Aligned Electrospun Polyacrylonitrile Nanofiber, *Materials Letters*, 65, 2419-2421, 2011.

Yang, H, Deng, G, Chen, W, Ye, X, Mo, X, A Novel Electrospun-Aligned Nanoyarn-Reinforced Nanofibrous Scaffold for Tendon Tissue Engineering, *Colloids and Surfaces B: Bio Interfaces*, 122, 270–276, 2014.

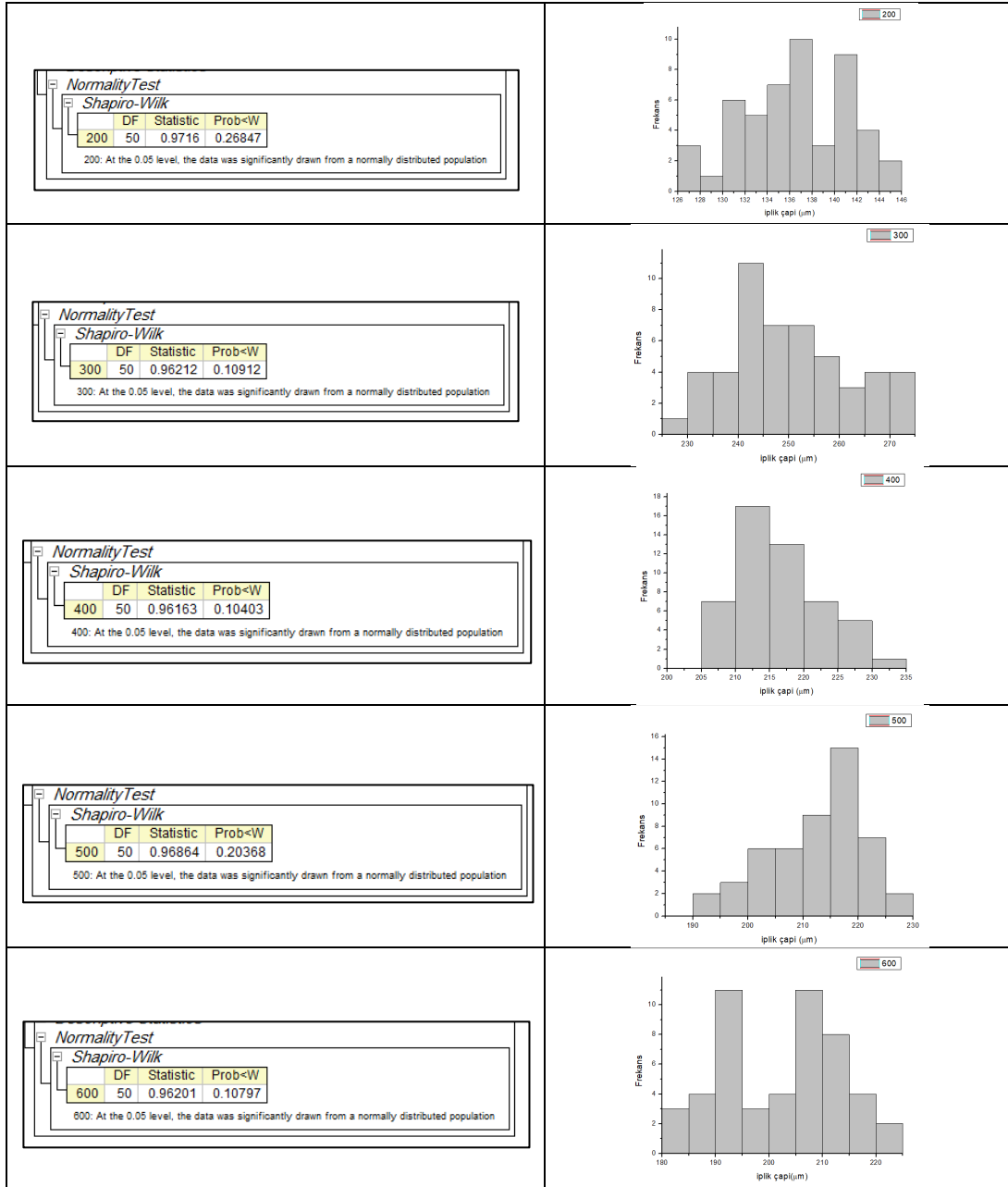
Yousefzadeh, M, Latif, M, Teo, W, E, Armani-Tehran, M, Ramakrishna, S, Producing Continuous Twisted Yarn from Well-Aligned Nanofibers by Water Vortex, *Polymer Eng. Science*, 51, 323–329, 2011.

Zhou, F, Gong, R, Porat, I, Nano-Coated Hybrid Yarns Using Electrospinning, *Surface & Coatings Technology*, 204, 3459–3463, 2010.

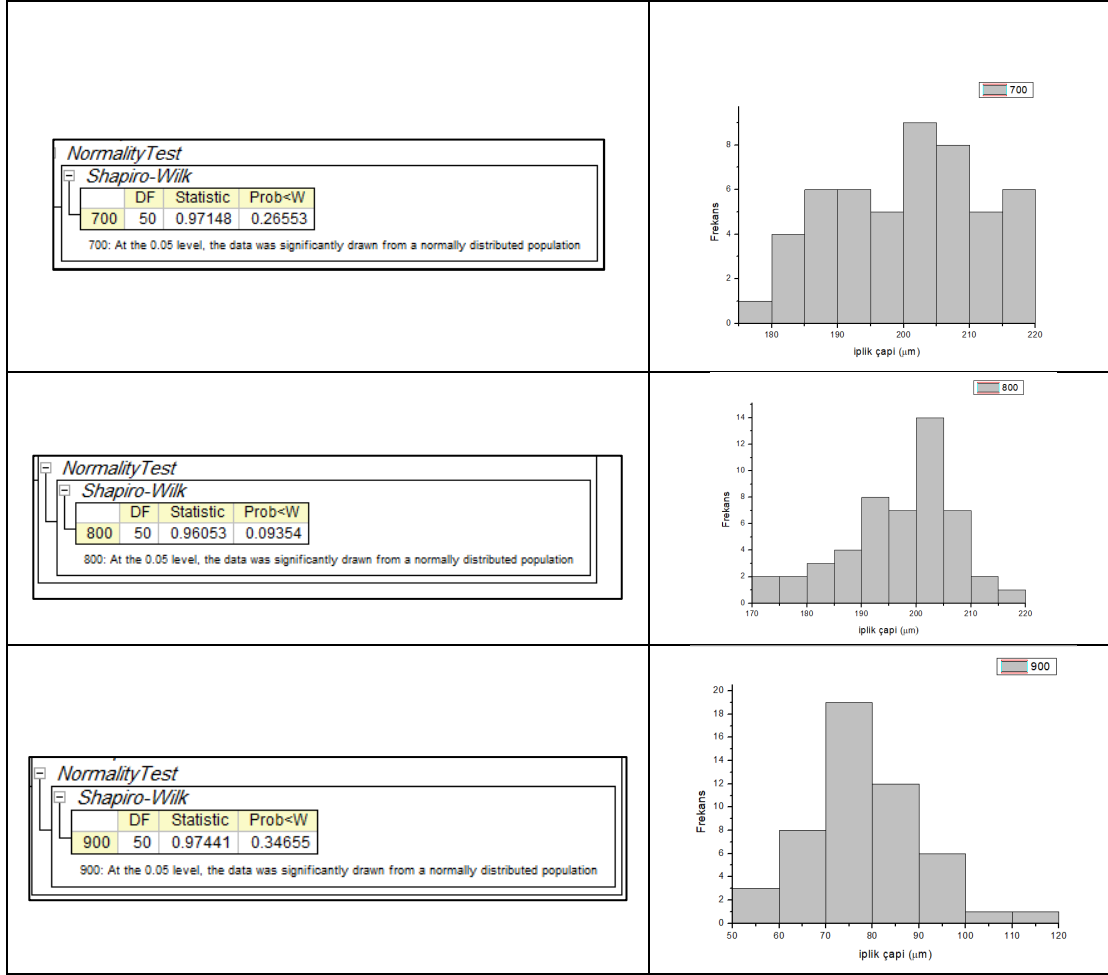


## EKLER

### Ek 1. Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 1 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi





## Ek 1 (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

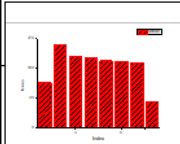
R-Square	Coeff Var	Root MSE	Data Mean
0.96366	0.05333	9.94312	186.45714

	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	2.82211	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

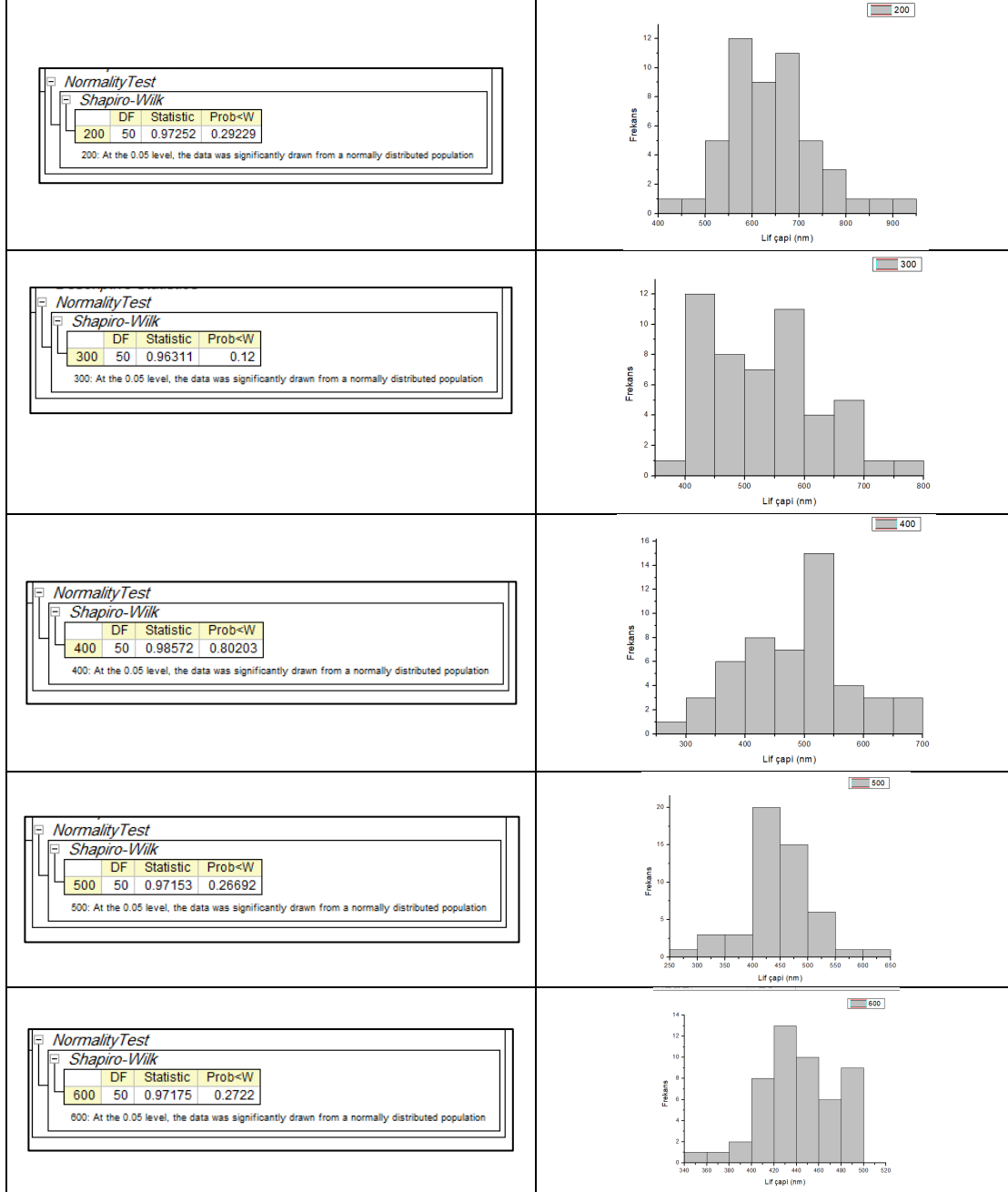
Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.  
 Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

#### Powers

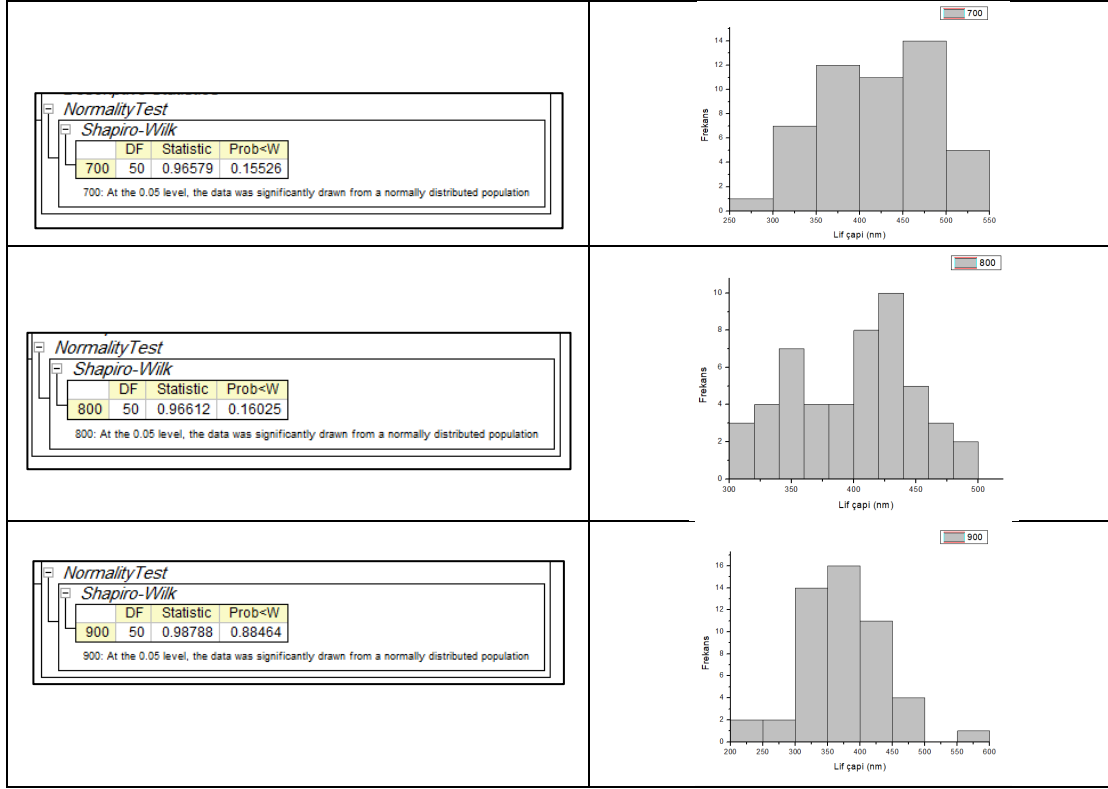
#### Bar Chart



## Ek 1 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 1 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 1 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

### Kollektör dönüş hızının lif inceliğine etkisine ait ANOVA test sonuçları

ANOVAOneWay (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			

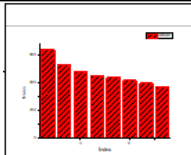
Null Hypothesis: The means of all levels are equal  
 Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different  
 At the 0.05 level, the population means are significantly different.

Fit Statistics

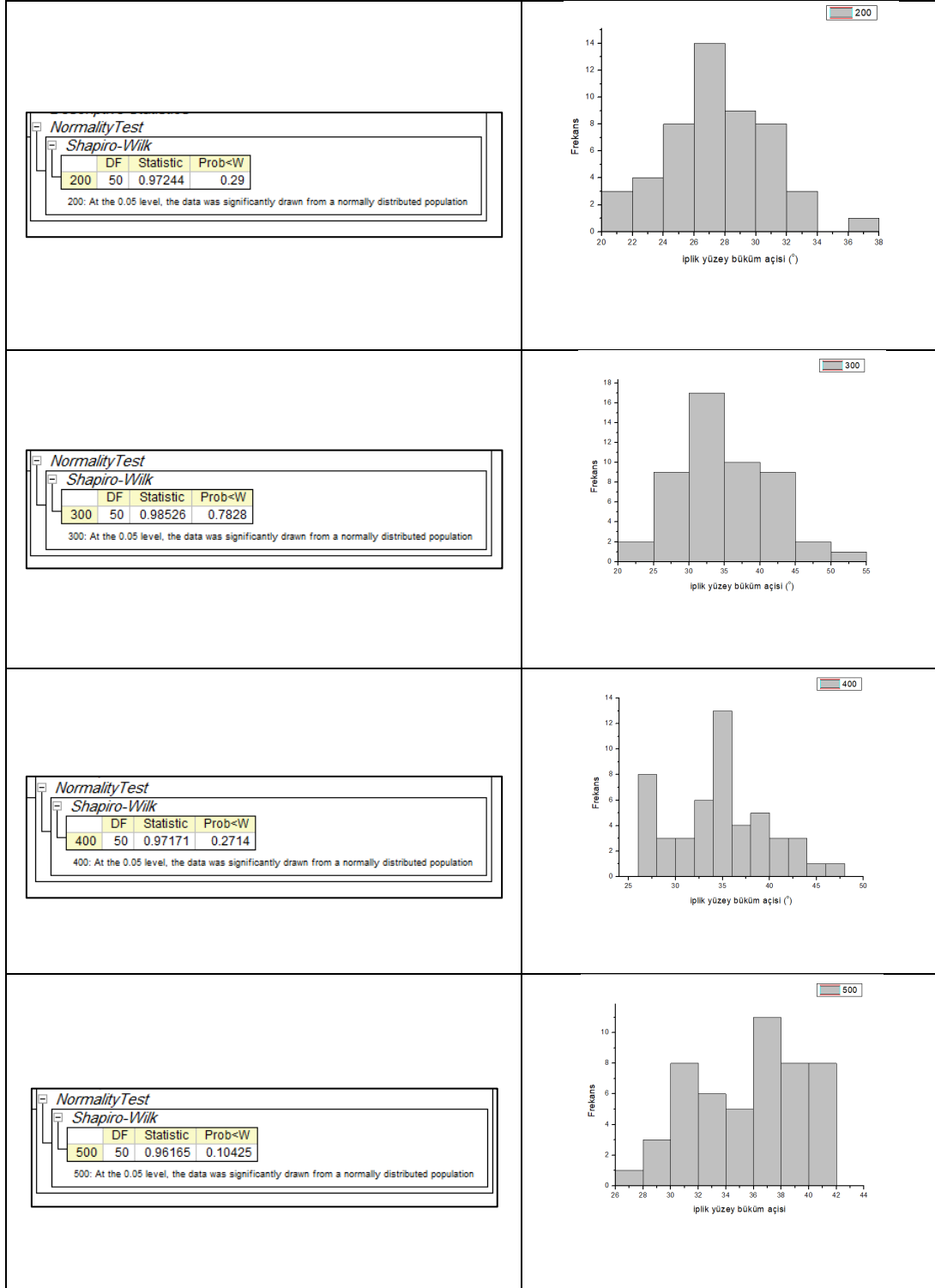
R-Square	Coeff Var	Root MSE	Data Mean
0.55831	0.15486	72.57006	468.61568

Pairwise Test

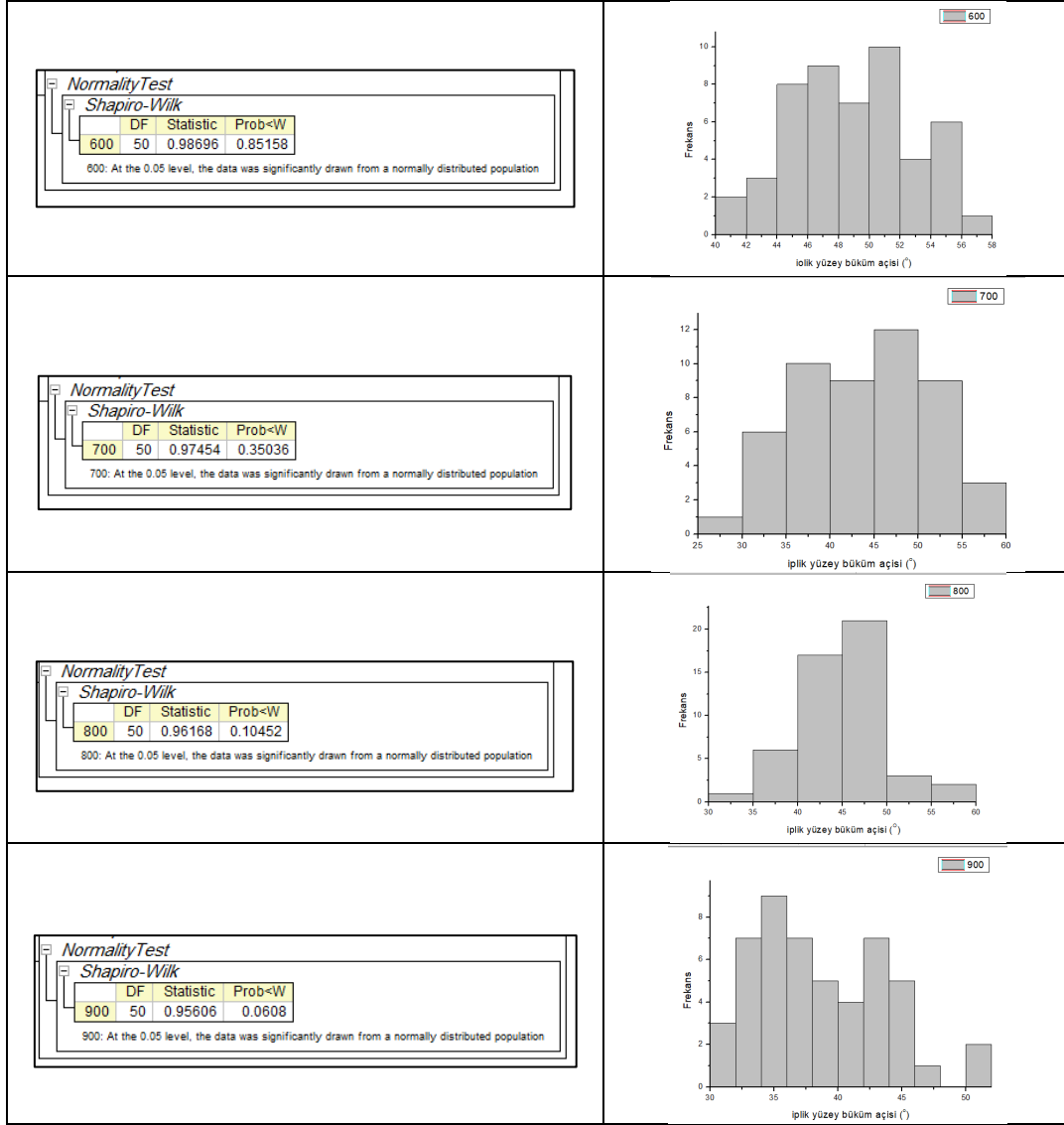
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
300 200	-106.049	14.51401	10.33318	2.25185E-8	0.05	1	-150.27873	-61.81927
400 200	-160.8886	14.51401	15.67663	9.14291E-9	0.05	1	-205.11833	-116.65887
400 300	-54.8396	14.51401	5.34345	0.00448	0.05	1	-99.06933	-10.60987
500 200	-191.8856	14.51401	18.69691	0	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 1 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 1 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Ek 1 (Devam). Kollektör dönüş hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi

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

ANOVA OneWay (11/25/2018 21:49:22)

**Notes**

Description	Perform One-Way ANOVA
User Name	beyza
Operation Time	11/25/2018 21:49:22
Report Status	New Analysis Report

**Input Data**

**Descriptive Statistics**

	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

**One Way ANOVA**

**Overall ANOVA**

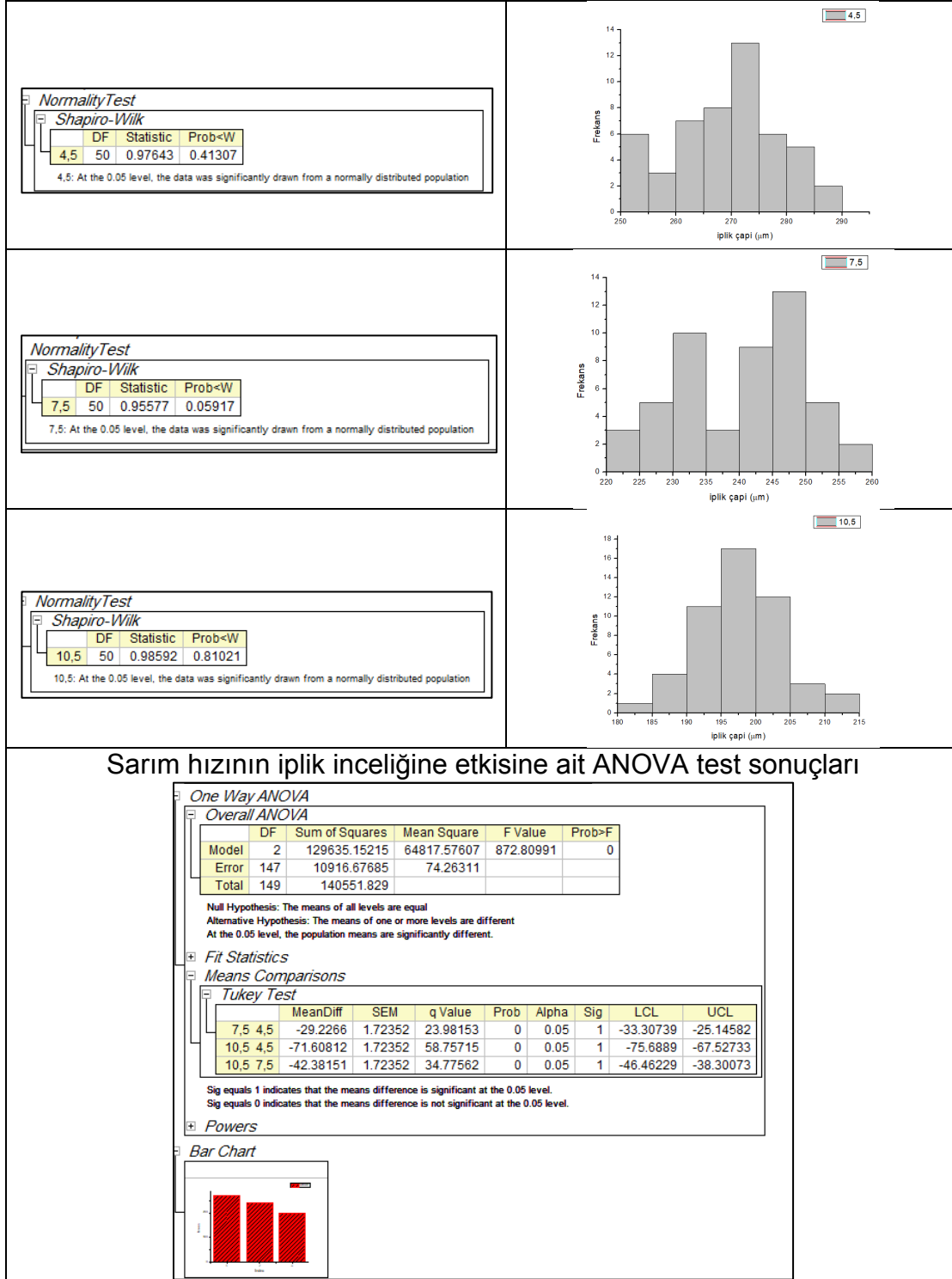
	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	16871.02786	2410.14684	92.14094	0
Error	392	10253.61312	26.15718		
Total	399	27124.64098			

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.

**Tukey Test**

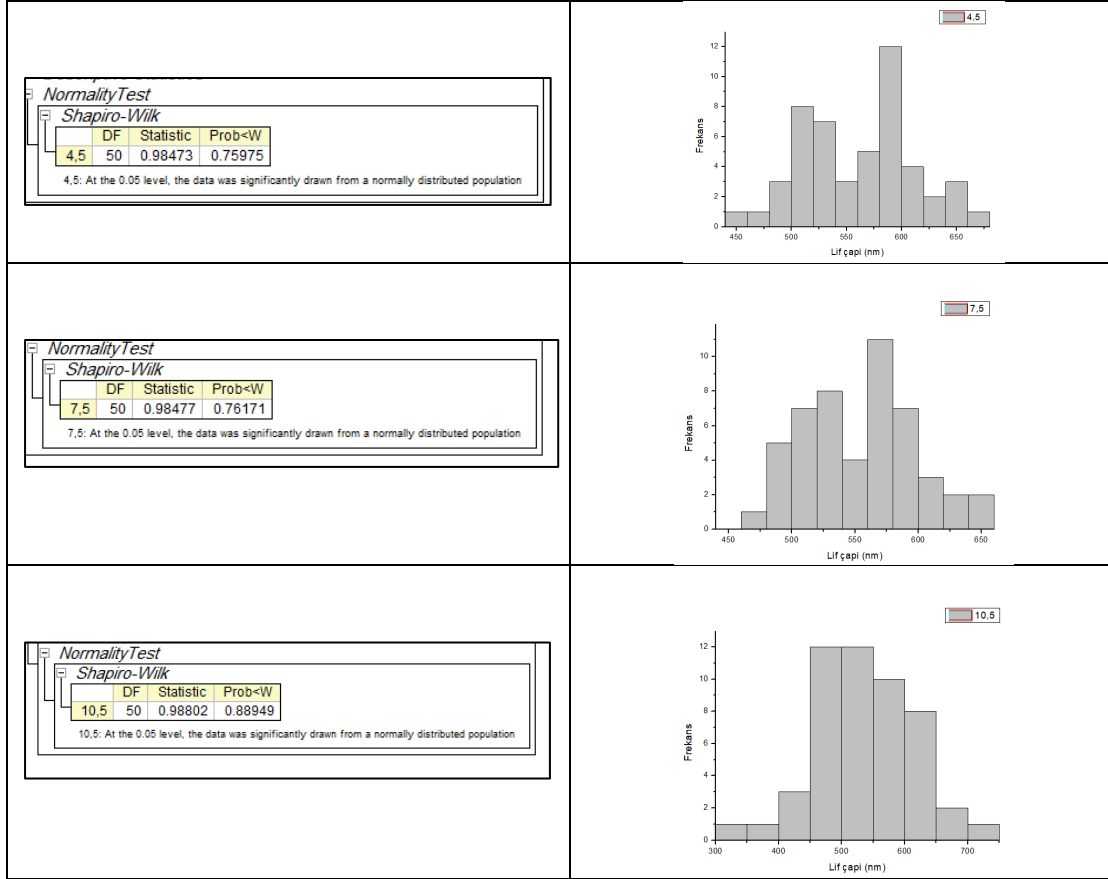
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
300 200	7.41463	1.02288	10.2513	2.27747E-8	0.05	1	4.29752	10.53174
400 200	7.11219	1.02288	9.83315	2.43553E-8	0.05	1	3.99508	10.2293
400 300	-0.30244	1.02288	0.41815	0.99999	0.05	0	-3.41955	2.81467
500 200	8.02842	1.02288	11.09991	2.03164E-8	0.05	1	4.91131	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 2. Sarım hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi





## Ek 2 (Devam). Sarım hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



## Sarım hızının lif inceliğine etkisine ait ANOVA test sonuçları

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
4,5	50	561.4918	50.89772	7.19803
7,5	50	554.4774	42.98241	6.07863
10,5	50	533.8226	78.09921	11.0449

One Way ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	20690.11998	10345.05999	2.9452	0.0557
Error	147	516340.06726	3512.51746		
Total	149	537030.18725			

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 not significantly different.

Fit Statistics

	R-Square	Coeff Var	Root MSE	Data Mean
	0.03853	0.10777	59.2665	549.9306

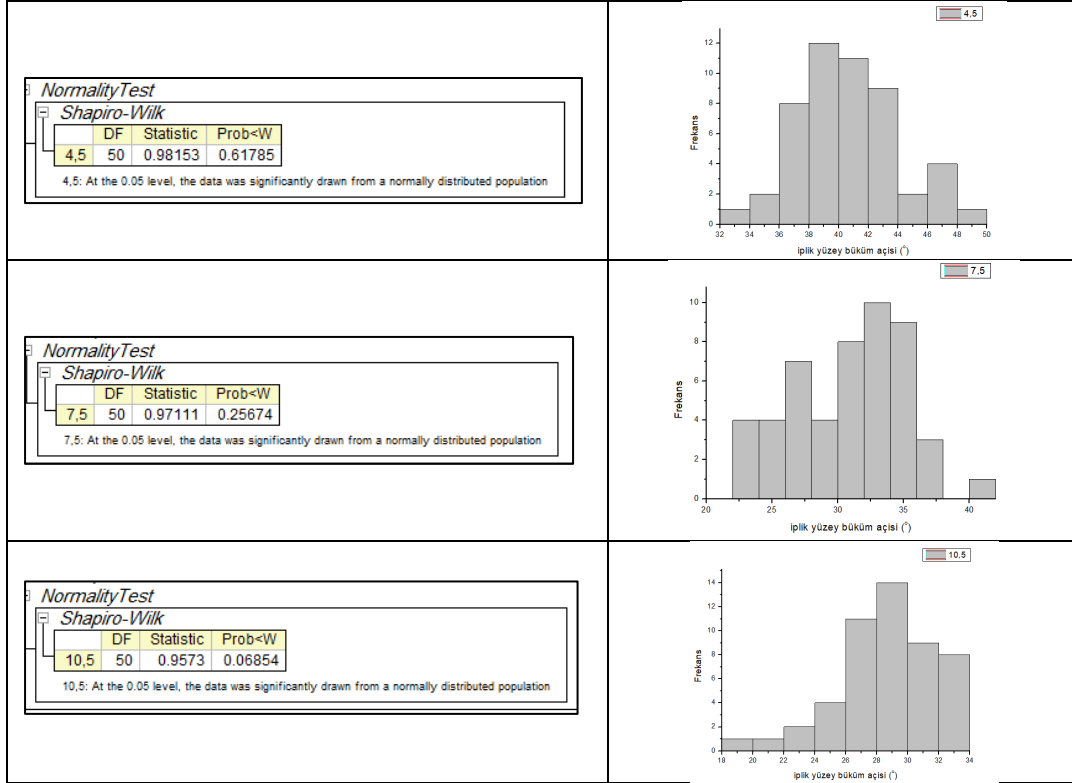
Means Comparisons

Tukey Test

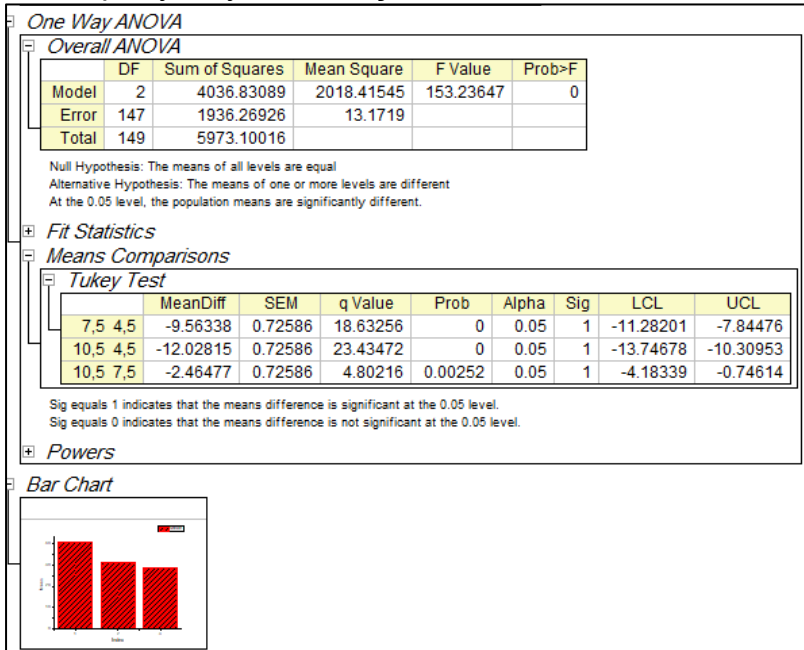
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
7,5 4,5	-7.0144	11.8533	0.83689	0.82475	0.05	0	-35.07947	21.05067
10,5 4,5	-27.6692	11.8533	3.3012	0.05425	0.05	0	-55.73427	0.39587
10,5 7,5	-20.6548	11.8533	2.46432	0.19296	0.05	0	-48.71987	7.41027

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.

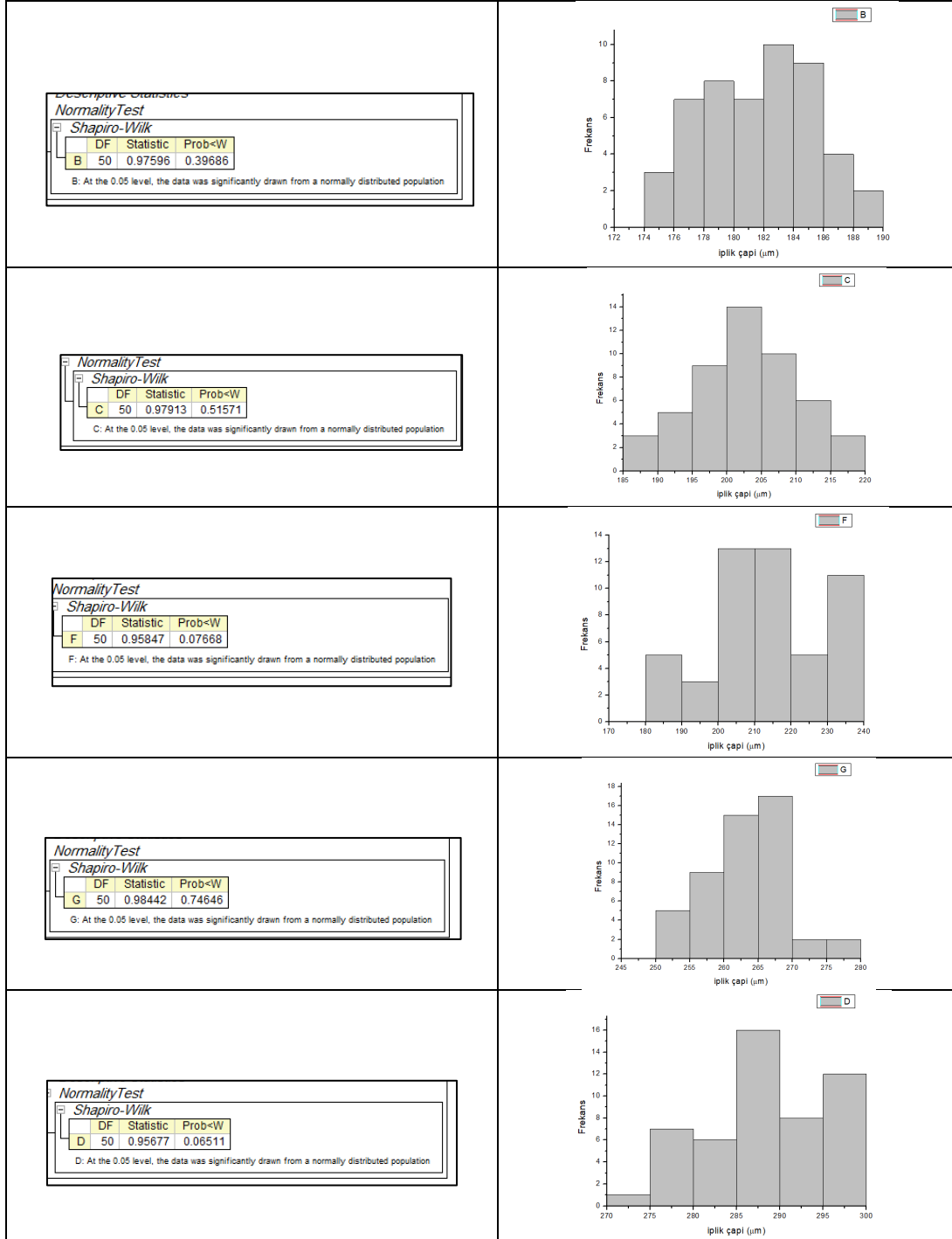
## Ek 2 (Devam). Sarım hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



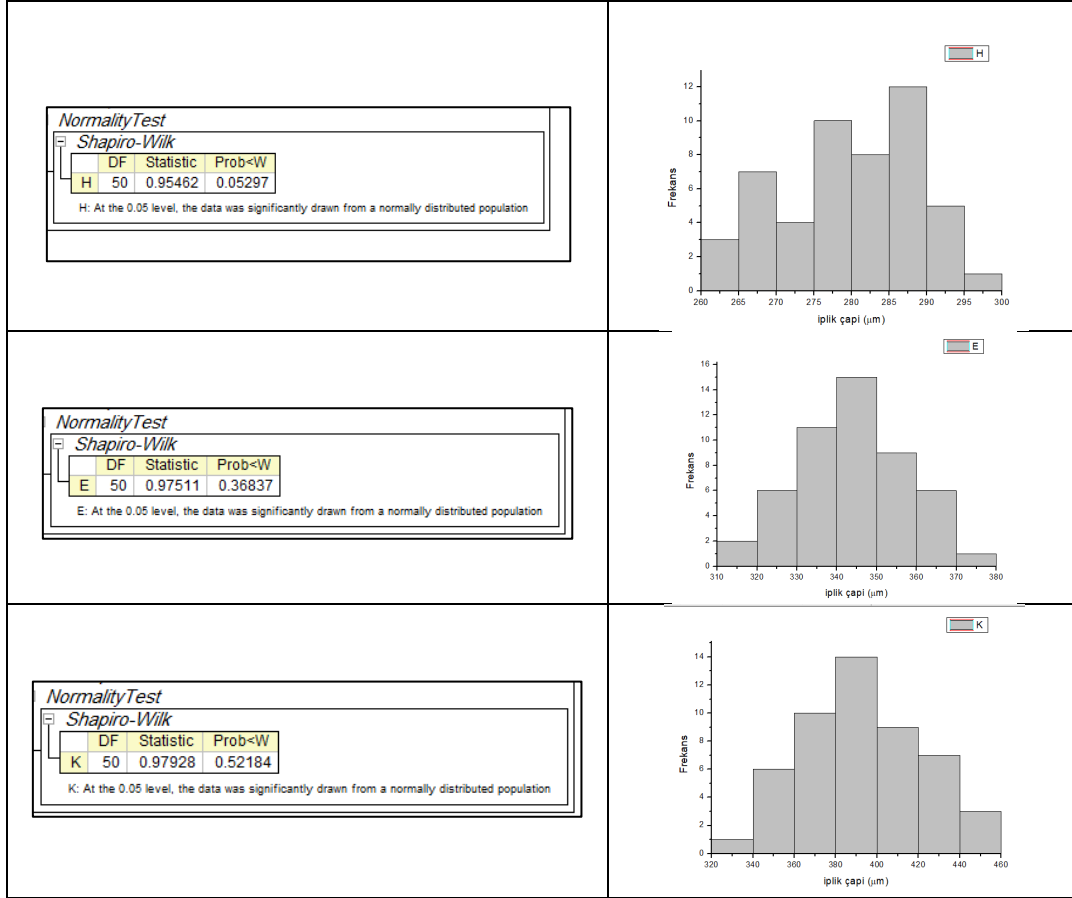
## Sarım hızının iplik yüzey büküm açısına etkisine AİT anova test sonuçları



### Ek 3. Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (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

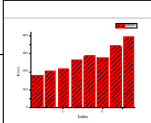
R-Square	Coeff Var	RootMSE	Data Mean
0.96109	0.05076	13.75023	270.88744

#### Tukey test sonuçları

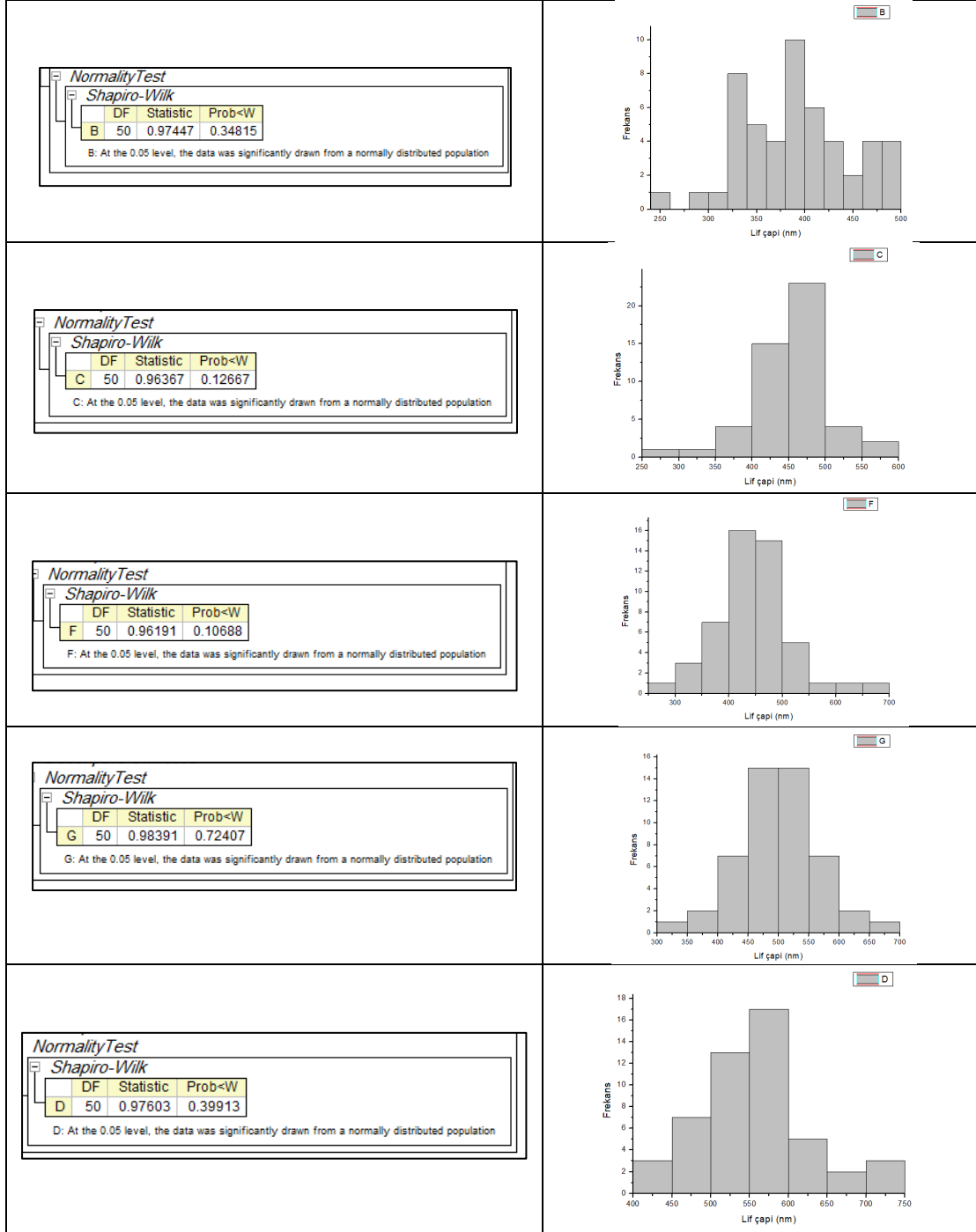
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
C B	21.43874	2.75005	11.02489	2.05242E-8	0.05	1	13.05831	29.81918
F B	32.0793	2.75005	16.49681	7.39153E-9	0.05	1	23.69887	40.45974
F C	10.64056	2.75005	5.47192	0.00319	0.05	1	2.26012	19.021
G B	81.66572	2.75005	41.99667	0	0.05	1	73.28528	90.04616
G C	60.22697	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

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.

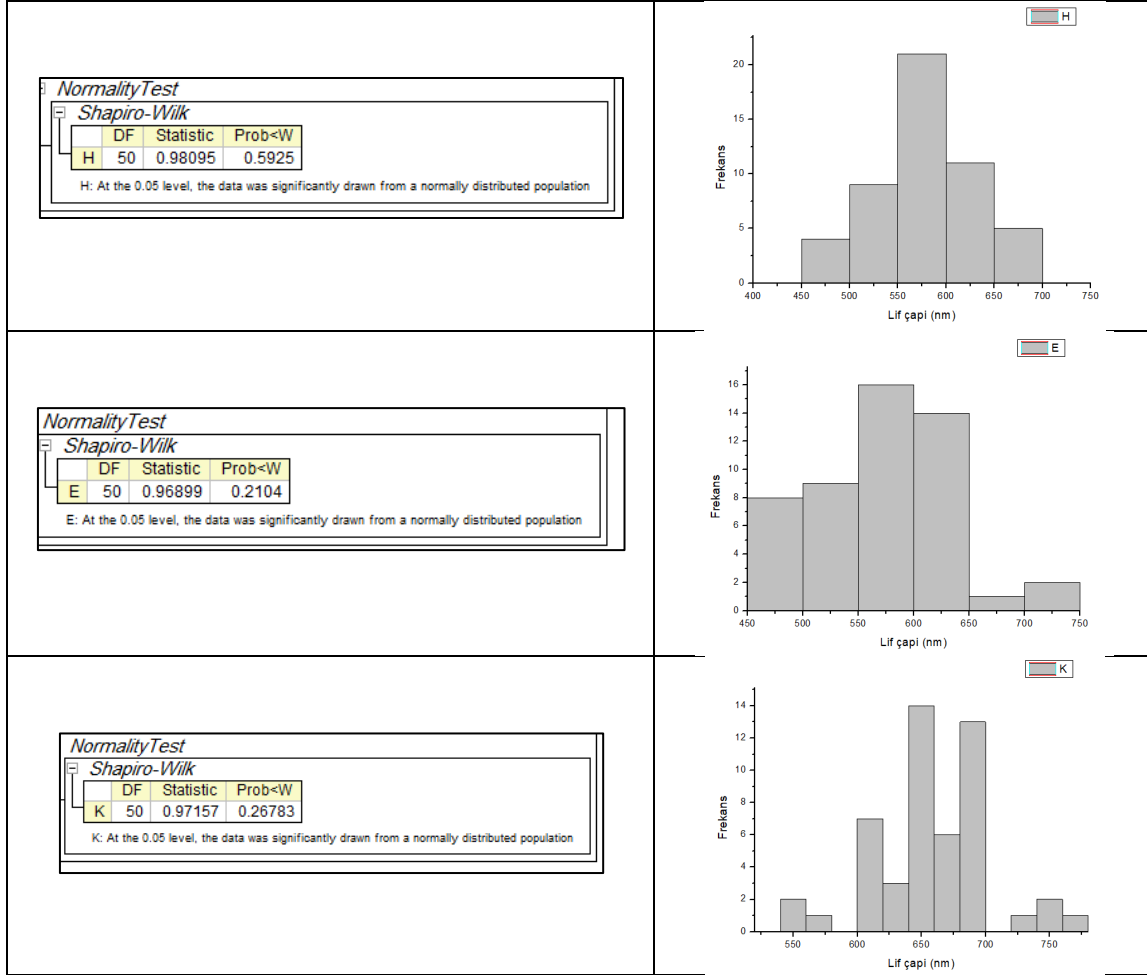
#### Bar Chart



### Ek 3 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (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

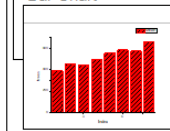
R-Square	Coeff Var	Root MSE	Data Mean
0.66262	0.11423	59.39329	519.93433

#### 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

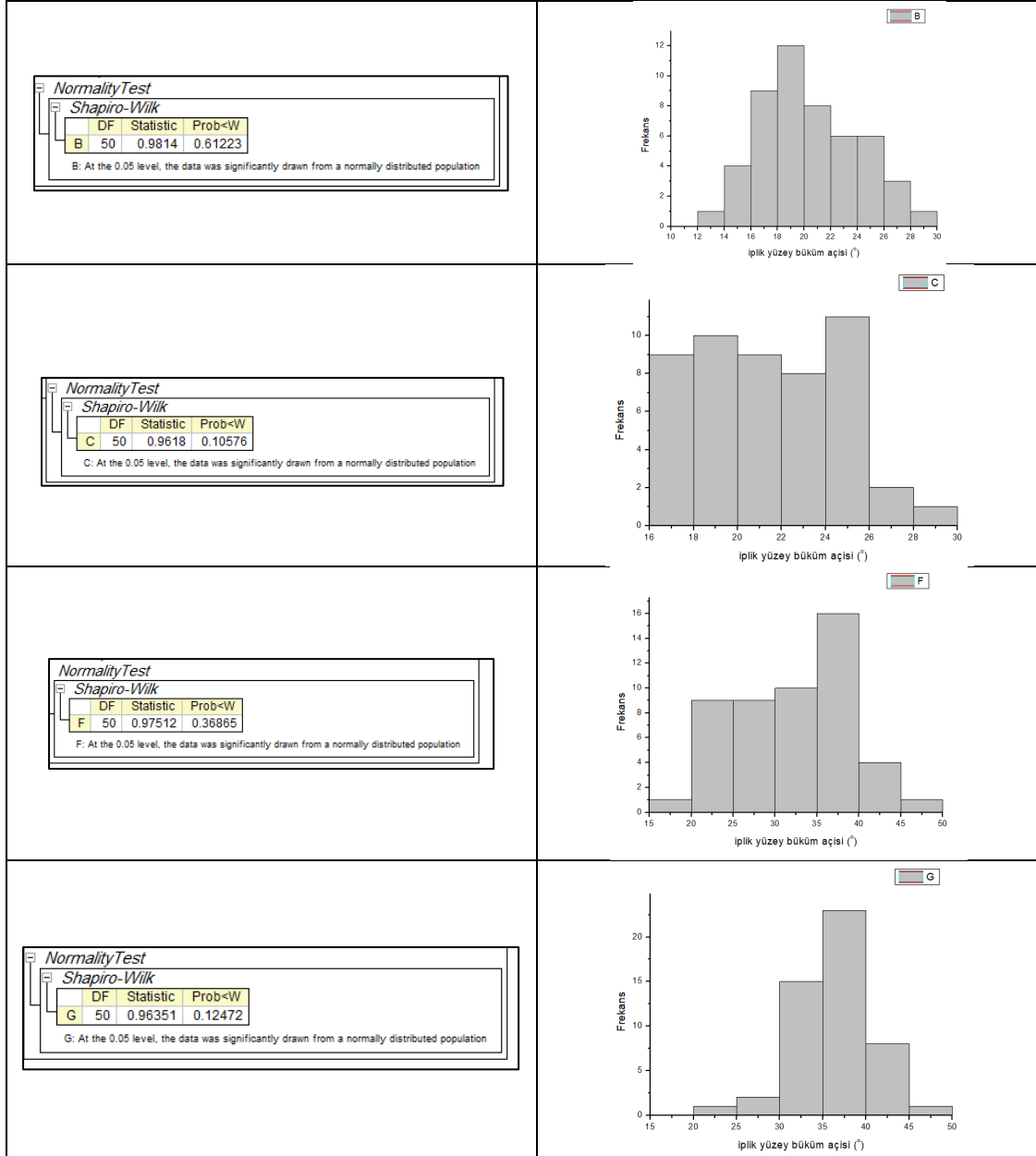
Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.  
Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

#### Bar Chart

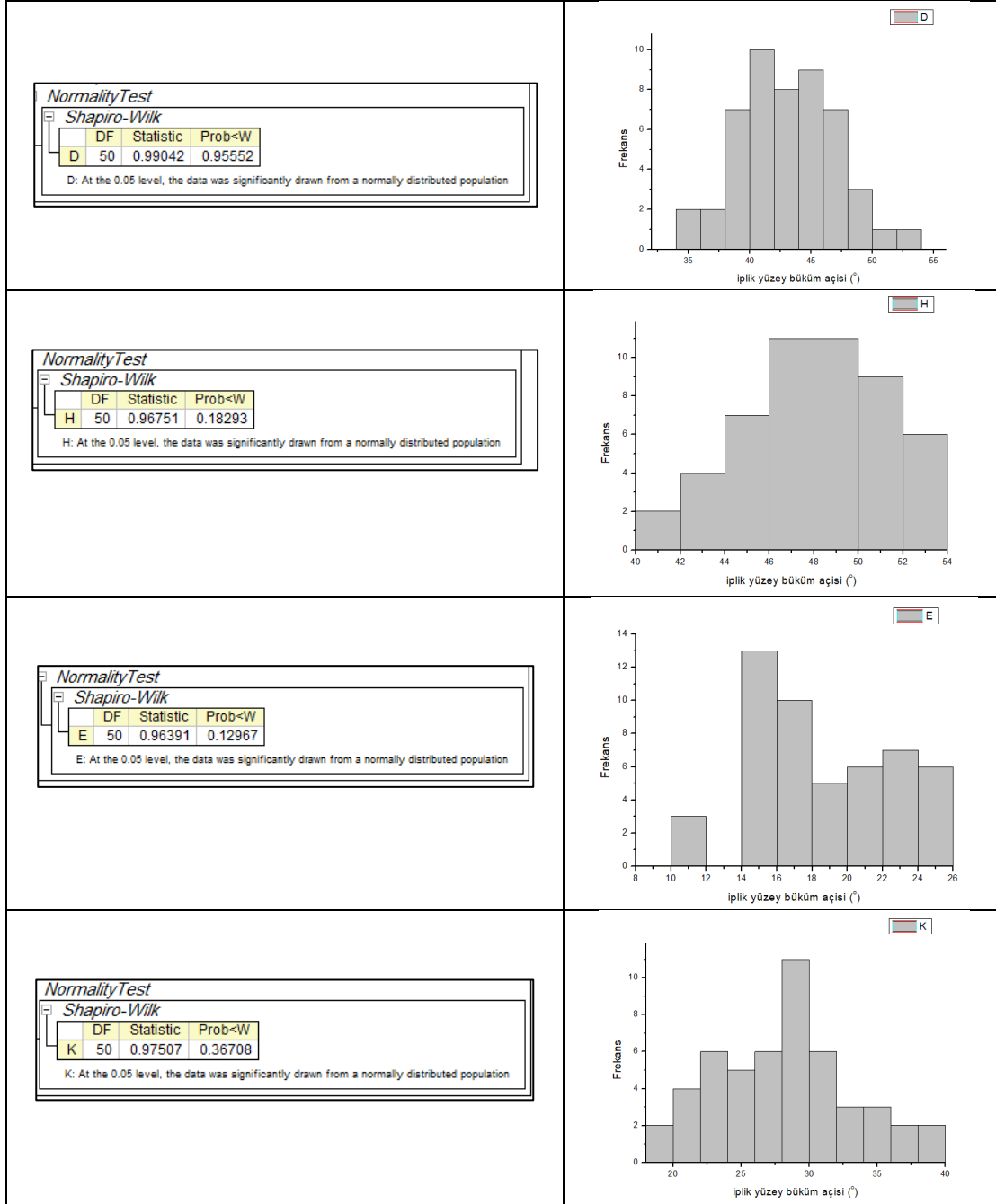




### Ek 3 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (Devam). Polimer besleme hızının iplik ve lif özelliklerine etkisi



### Ek 3 (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	RootMSE	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

