



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

**Polivinil Alkol (PVA) Nanoliflerin Üretiminde Yenilikçi Bir Yaklaşım: Santrifüjlü Lif Üretimi**

**A Novel Approach for the Production of Poly (Vinyl Alcohol) Nanofibers: Centrifugal Spinning**

Yasin AKGÜL<sup>1</sup>, Ali KILIÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Mart 2018 (30 March 2018)

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Yasin AKGÜL, Ali KILIÇ (2018): Polivinil Alkol (PVA) Nanoliflerin Üretiminde Yenilikçi Bir Yaklaşım: Santrifüjlü Lif Üretimi, Tekstil ve Mühendis, 25: 109, 30-36.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216/1300759920182510904>

**Sorumlu Yazara ait Orcid Numarası (Corresponding Author's Orcid Number) :**

<https://orcid.org/0000-0001-5915-8732>



**Arştırma Makalesi / Research Article**

**POLİVİNİL ALKOL (PVA) NANOLİFLERİN ÜRETİMİNDE YENİLİKÇİ BİR  
YAKLAŞIM: SANTRİFÜJLÜ LİF ÜRETİMİ**

**Yasin AKGÜL<sup>1</sup>  
Ali KILIÇ\*<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Karabük, Türkiye  
<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 22.10.2017  
Kabul Tarihi / Accepted: 23.02.2018*

**ÖZET:** Nanolif üretimi üzerine son yıllarda öne çıkan teknolojilerden birisi de santrifüjlü lif üretimidir. Yaygın olarak kullanılan yöntem olan elektroğirmeye göre, yüksek hızlarda üretim sağlaması ile endüstriyel uygulamalara uygundur. Bu çalışmada, santrifüjlü lif üretim yöntemiyle biyomedikal uygulamaları, lityum iyon pil elektrotları gibi katma değeri yüksek ürünlerde kullanılabilen polivinil alkol (PVA) nanolifleri üretilmiştir. Üretim parametrelerinin (çözelti konsantrasyonu, iğne çapı, rotor hızı ve iğne-toplayıcı arası mesafe) lif morfolojisine olan etkileri SEM görüntüleri ile incelenmiştir. PVA nanolif üretimi için %10-15 çözelti konsantrasyonu, 6000-9000 d/dk hız, 0,5 mm iğne çapı ve 150 mm civarı iğne-toplayıcı arası mesafe uygun değerler olarak görülmüştür. Ortalama 200 nm'nin altında çapa sahip nanolifler endüstriyel üretime ölçeklendirilebilir hızlarda üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanolif, polivinil alkol, santrifüj kuvvet, lif çapı

**A NOVEL APPROACH FOR THE PRODUCTION OF POLY (VINYL ALCOHOL) NANOFIBERS:  
CENTRIFUGAL SPINNING**

**ABSTRACT:** One of the emerging technologies for the nanofiber production is “centrifugal spinning”. It is a compatible technique for industrial applications due to higher production rates compared to electrospinning, which is the most widely used method. In this study, poly(vinyl alcohol) nanofibers which are used in high value added products such as biomedical applications and lithium ion battery electrodes were produced via centrifugal spinning. Effect of production parameters (solution concentration, needle diameter, rotor speed and needle-collector distance) on fiber morphology was investigated with SEM images. Optimum conditions were determined as 10-15 wt% solution concentration, 6000-9000 rpm speed, 0.5 mm needle diameter and around 150 mm needle-collector distance. Also, nanofibers with diameters below 200 nm were produced at industrial rates.

**Keywords:** Nanofiber, polyvinyl alcohol, centrifugal force, fiber diameter

\* Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: [alikilic@itu.edu.tr](mailto:alikilic@itu.edu.tr) <https://orcid.org/0000-0001-5915-8732>  
DOI: 10.7216/1300759920182510904, [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Nanolifler, birim hacim başına yüksek yüzey alanına ve mikro-nano boyutlarda gözenekliliğe sahip olmaları sebebiyle filtrasyon [1], enerji [2], biyomedikal [3] gibi birçok alanda ileri teknoloji malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Nanoliflerin üretimi üzerine yaygın olarak araştırılan yöntem, elektroğirme (electrospinning)'tir [4]. Ancak, yüksek elektrik alan gereksinimi (60 kV'ya kadar) ve düşük üretim hızı (düze başına 1 ml/sa) endüstriyel uygulamalar için iki önemli dezavantajdır [5]. Son yıllarda üzerine çalışmaların yapıldığı, elektroğirmeye göre yeni bir teknik olan santrifüjlü lif üretimi (centrifugal spinning) metodunda bahsedilen dezavantajlar aşılmıştır.

Elektrik alandan bağımsız olan, yüksek hızlarda üretim kapasitesine sahip bu yöntemin çalışma mekanizması pamuk şeker makinasına benzetilebilmektedir [6]. Şekil 2'de şematik olarak gösterilen santrifüjlü lif üretimi cihazının üretim adımları, i) polimer çözeltisi, üzerinde iğneler bulunduran hazneye beslenmesi; ii) motora bağlı haznenin dönmesiyle birlikte polimer çözeltisinin jetler halinde iğnelere fırlaması; iii) jetlerin, vakum etkisiyle birlikte toplayıcıya doğru yönelmesi ve incelenerek uzaması; iv) çözücünün, toplayıcı-iğne arasındaki mesafede buharlaşması; v) nanoliflerin toplayıcı üzerinde birikmesi olarak özetlenebilir [7].

Zhang vd. [8] poliakrilonitril (PAN) nanoliflerin santrifüjlü lif üretiminde sistem ve malzeme parametrelerinin lif morfolojisi üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Lif morfolojisi ile hız arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla ağırlıkça %13'lük PAN çözeltisi ile 2000, 3000, 4000 d/dk hızlarında üretim gerçekleştirmişlerdir ve ortalama nanolif çapı sırasıyla 663 nm, 541 nm, 440 nm olarak hesaplanmıştır. Artan merkezkaç kuvvetine karşın çözelti yüzey geriliminin aynı kalmasıyla nanolif çaplarında düşüş görülmüştür. Ters orantılı olarak da artan çözelti konsantrasyonu, dolayısıyla viskozitenin artması ile lif çaplarında artış görülmüştür. İğne çapının etkisi ise %14'lük PAN çözeltisinden 4000 d/dk hızla 10 cm toplayıcı-iğne mesafesinde 0,4 mm, 0,8 mm ve 1 mm çaplarına sahip üç farklı iğneyle nanolif üretilerek incelenmiştir. İğne çapı azaldıkça nanolif çapı da sırasıyla 895, 807, 665 nanometre şeklinde azalmıştır. İğne çapının küçülmesiyle beraber besleme miktarı da azalmıştır ve lif çaplarında düşüş görülmüştür. İğne-toplayıcı mesafesi 10 cm, 20 cm, 30 cm şeklinde üç farklı mesafede ayarlayarak üretim yapılmış ve nanolif çaplarında dikkat çekici bir değişikliğe (ortalama lif çapları sırasıyla 665 nm, 658 nm, 647 nm olarak) rastlanmıştır. Hammami vd. [9] poliamid (PA)-formik asit çözeltisinden nanolif üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada malzeme parametresi olan çözelti konsantrasyonunun ortalama lif çapı üzerinde sistem parametrelerine göre daha etkin olduğu istatistiksel analiz ile hesaplanmıştır. Weng vd. [10] yaptığı çalışmada da çözelti konsantrasyonu en etkin parametre olarak görülmüştür. Dev vd. [11] ilaç salınımında kullanılmak üzere tetrasilin içeren PVP (polivinilpirolidon)-PLC (polikaprolaktan) nanolifleri üretmişlerdir. 2000 d/dk hızında üretim yapıldığında artan PVP oranıyla viskozitenin artmasına bağlı olarak lif çapında artış

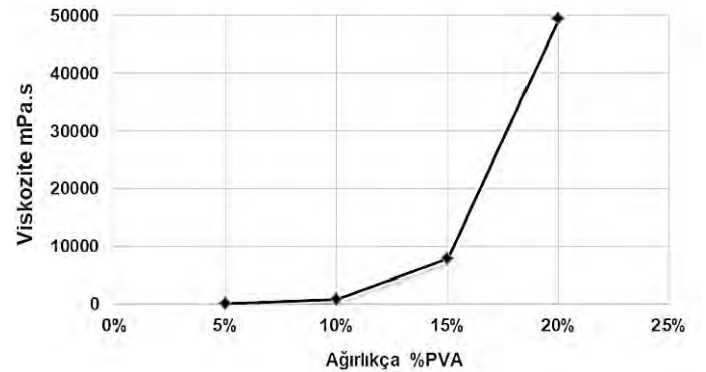
görülmüştür. Loordhuswamy vd. [12] yaptığı benzer bir çalışmada PCL ile birlikte PVP yerine jelatin kullanmış ve çözelti içindeki jelatin miktarı arttıkça lif çaplarında artış görülmüştür.

PVA içerdiği yüksek karbon oranı (yaklaşık %54) ile karbon lif gibi karbon bazlı malzemelerin üretiminde ara ürün olarak kullanılabilir [13]. Ayrıca suda çözünür olması, biyoyumumluluğu ve toksik etkisi olmaması sebebiyle biyomedikal alanında da aranan bir malzemedir [14]. Literatürde santrifüjlü lif üretimi ile PVA nanoliflerin elde edilmesi üzerine oldukça kısıtlı bir bilgi birikimi vardır. Munir vd. [15] yalnızca çözelti konsantrasyonunun lif çapı üzerine olan etkisini incelemişlerdir ve çözelti konsantrasyonu dar bir aralıkta %9-13 arasında tutulmuştur.

Bu çalışmada, polivinil alkol nanolifleri santrifüjlü lif üretim yöntemiyle üretilmiştir. Sistem (hız, iğne çapı, iğne-toplayıcı arası mesafe) ve malzeme parametrelerinin (çözelti konsantrasyonu) lif morfolojisine olan etkileri SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) görüntüleri alınarak incelenmiştir. ImageJ programı kullanılarak üretilen nanolif yapılarının lif çap dağılımları ve ortalama lif çapları hesaplanmıştır.

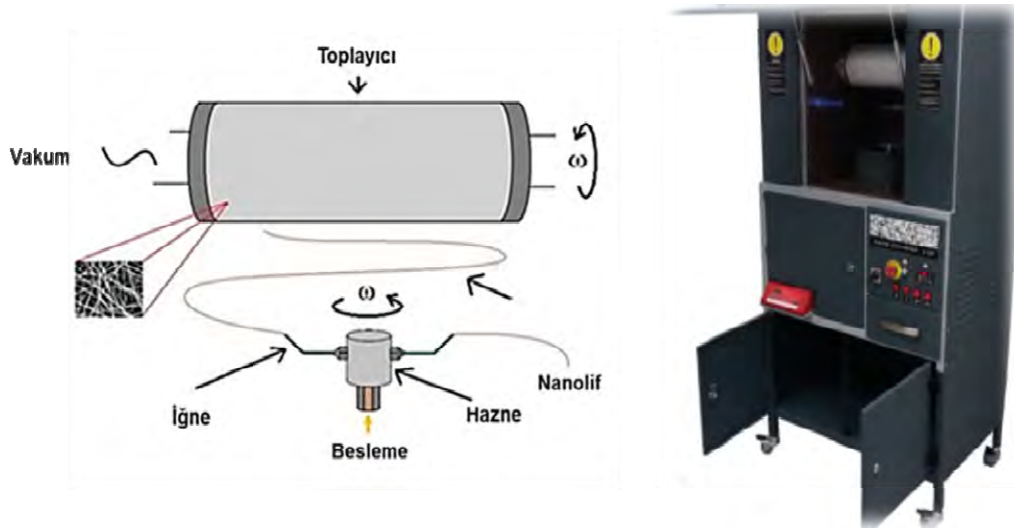
## 2. MATERYAL VE METOT

PVA, (Sigma-Aldrich, Mw=85000-124000) manyetik karıştırıcı kullanılarak saf su ile 70 °C sıcaklıkta 5 saat boyunca karıştırılmıştır ve ağırlıkça farklı oranlarda (%5-10-15-20) PVA çözeltileri elde edilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği üzere artan PVA oranıyla birlikte viskozite değerinde artış görülmüştür.



Şekil 1. Viskozite değerinin ağırlıkça % PVA oranıyla değişimi

PVA nanolifleri, Şekil 2'de şematiği gösterilen Nanocentrino L1.0 (Areka Grubu, İstanbul) çözeltilerden santrifüjlü nanolif üretim cihazıyla üretilmiştir. Cihaz yüksek hızlı rotor, ona bağlı düzeli haznelere, vakumlu döner toplayıcı aparatlarından oluşmaktadır. Motora bağlı kontrol ünitesiyle dönüş hızı değiştirilebilir iken, hazne üzerine de farklı çaplardaki iğneler takılabilmektedir. Vakum toplayıcı sayesinde lif dağılımı homojenitesi artırılmıştır.



Şekil 2. Nanocentrino L1.0 şematik gösterimi ve fotoğrafı

Tablo 1’de gösterildiği üzere her bir parametrenin etkisi farklı çalışma aralıkları belirlenerek incelenmiştir. Tüm üretimler 20 ml/sa besleme hızında 20 dakika süre boyunca gerçekleştirilmiştir. Üretimler boyunca toplayıcı dönüş hızı 50 d/dk, vakum değeri ise 1000 m<sup>3</sup>/sa olarak ayarlanmıştır ve kullanılan haznenin çapı 30 mm’dir. Nanolif yapıları 30x50 cm boyutlarındaki dokusuz kumaş üzerinde toplanmıştır. SEM analizi için her bir nanolif yapısının üç farklı noktasından numune alınmıştır. Numuneler altın ile kaplandıktan sonra Carl Zeiss EVO MA10 marka cihaz ile SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntülerden ImageJ programı kullanılarak SEM görüntülerindeki 100 farklı lifin çapı ölçülmüştür.

### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

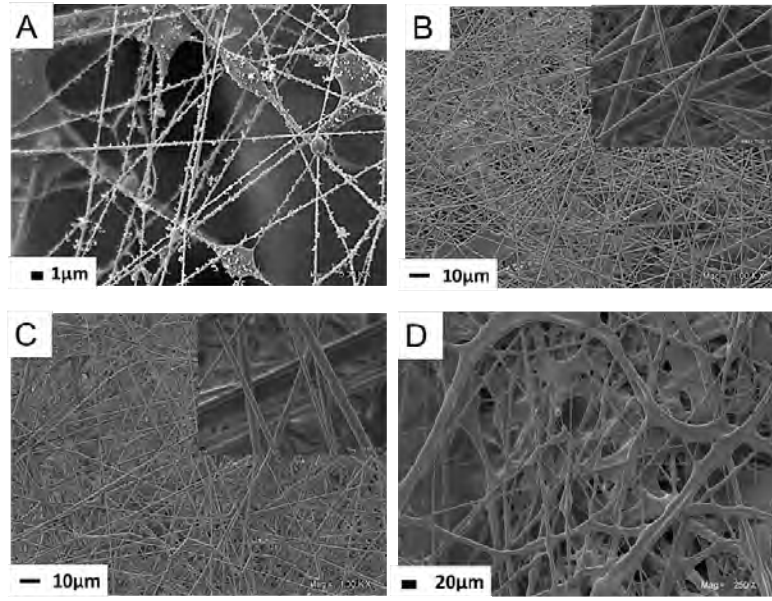
#### 3.1. Konsantrasyonun Etkisi

Polimer çözeltisinin reolojik özellikleri polimerin lif formuna dönüşümünde etkilidir. Malzemenin santrifüj kuvveti ile reolojik

özellikleri değiştiğinden polimer çözeltisinin viskozitesi, viskoelastik özellikleri ve yüzey gerilimi lif üretim optimizasyonunda kritik öneme sahip işlem parametreleridir [16]. Bu özellikler de polimerin molekül yapısına, çözelti konsantrasyonuna, polimer-çözelti etkileşimine, çözücü yapısına ve buharlaşma hızına bağlıdır [17], [18]. Sürekli bir başlangıç jeti üretimini ve damlacıksız (droplet free) lif üretimini sağlayacak polimer çözeltisinin kritik zincir karmaşıklık yoğunluğu (critical chain entanglement density) en önemli faktördür. incir karmaşıklık yoğunluğu; çözelti konsantrasyonuna bağlıdır ve çözeltinin viskozitesiyle açıklanmaktadır [19]. Yapılan bu çalışmada, yeterli zincir karmaşık yoğunluğunu sağlayamayan %5’lik PVA çözeltisiyle lif üretimi gerçekleşmiş, damlacıklı yapı elde edilmiştir. Şekil 3’te görüldüğü gibi çözelti konsantrasyonu %10 ve %15 iken bu damlacıklar yok denecek kadar azalmış ve nanolif yapıları üretilebilmiştir.

Tablo 1. Parametreler ve çalışma aralıkları

İncelenen Parametre	Çalışma Aralığı	Sabit Tutulan Parametre Değerleri
Çözelti konsantrasyonu	%5 - %10 - %15 - %20	Rotor hızı: 6000 d/dk, İğne çapı: 0,5 mm, İğne-toplayıcı arası mesafe: 20 cm
Rotor hızı	3000 d/dk, 6000 d/dk, 9000 d/dk	%15’lik çözelti, iğne-toplayıcı arası mesafe: 20 cm, iğne çapı: 0,5 mm
İğne çapı	0,5 mm – 1 mm	%15’lik çözelti, iğne-toplayıcı arası mesafe: 20 cm, rotor hızı: 6000 d/dk
İğne-toplayıcı arası mesafe	150 mm – 300 mm	%15’lik çözelti, rotor hızı: 6000 d/dk, iğne çapı: 0,5 mm



**Şekil 3.** Rotor hızı: 6000 d/dk, İğne çapı: 0,5 mm, İğne-toplayıcı arası mesafe: 20 cm parametreleri sabit tutularak ağırlıkça A) %5'lik PVA [5000X], B) %10'luk PVA [1000X, 10000X], C)%15'lik PVA[1000X], d) %20'lik PVA [250X] çözeltisi üretilen liflerin SEM görüntüleri

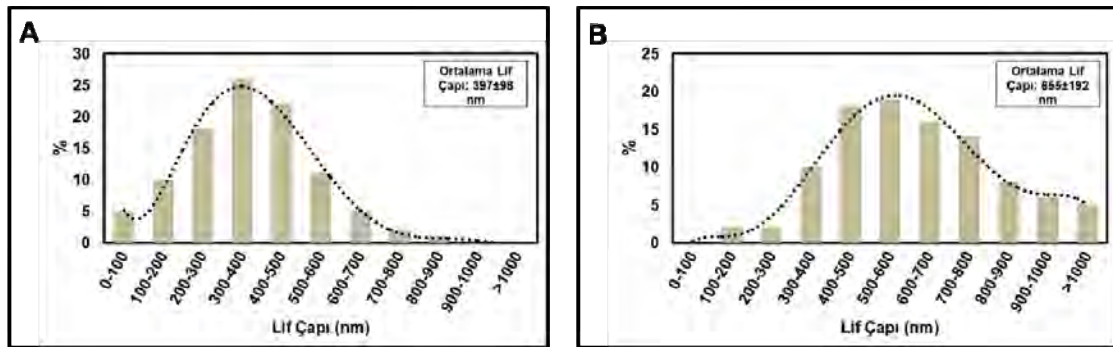
Viskozite ve yüzey gerilimi, lif oluşumu için merkezkaç kuvvetinin aşması gereken karşı kuvvetlerdir [20]. %5-20 konsantrasyon aralığında yapılan çalışmalarda morfoloji oldukça değişken çıkmıştır. %5'lik çözeltide buharlaşmanın tamamlanmadığı gözlenmiştir. %20'lik çözeltide de lif çapları mikron boyutlara çıkmış ve yine damlacıklı bir yapı söz konusu olmuştur. Bunun sebebi ise %20'lik PVA çözeltisinde viskozite ciddi oranda yükselmesidir. Önceki çalışmalarda gösterildiği üzere artan polimer konsantrasyonu ile yüzey gerilimi az miktarda değişmekteyken [27, 28], lif morfolojisinin üzerindeki ana unsur Şekil 1'de gösterildiği üzere viskozite olduğu anlaşılmaktadır. Parametrik etkiyi, artan çözelti konsantrasyonu ile viskozite üzerindeki değişim gerçekleştirmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi konsantrasyonun artmasıyla lif çapında artış görülmüştür.

### 3.2. Rotor Hızının Etkisi

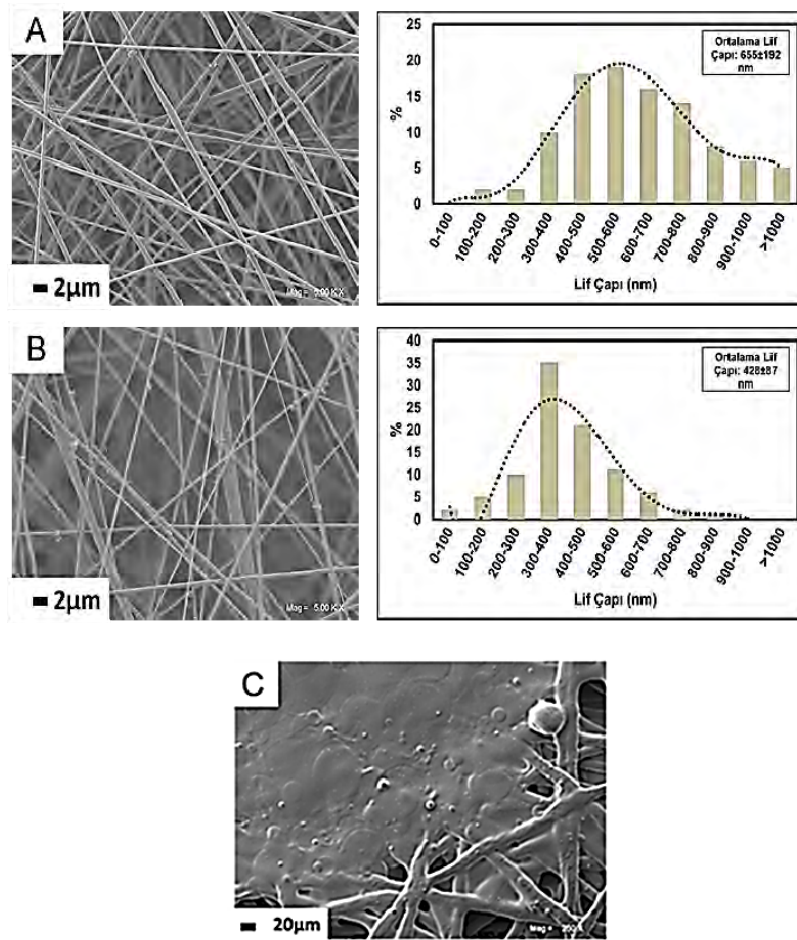
Rotor hızının etkisini incelemek amacıyla %15'lik çözelti ile toplayıcı-ığne arası mesafe 20 cm ve iğne çapı 0,5 mm sabit tutularak 3000 d/dk, 6000 d/dk ve 9000 d/dk' de üretim yapılmıştır. Açığa çıkan santrifüj kuvvetinin viskoz kuvvetleri ve yüzey gerilimini yenememesi sonucunda Şekil 5.C'de görüldüğü üzere 3000 d/dk'da sürekli lif üretimi görülmemiştir. Santrifüj kuvveti, denklem (1)'de görüleceği üzere ( $F_c$ ) proses sırasında rotanın açısal dönme hızı ( $\omega$ ), polimer jet kütlesi ( $m$ ) ve rotor çapı ( $R_s$ )'na bağlıdır.

$$F_c = m\omega^2 R_s \quad (1)$$

Kritik açısal hız sayesinde iğne ucundaki polimer çözeltisinin üzerindeki viskozite ve yüzey gerilim kuvvetleri aşılar ve lifleri oluşturacak polimer jetleri elde edilir [21].



**Şekil 4.** Rotor hızı: 6000 d/dk, İğne çapı: 0,5 mm, İğne-toplayıcı arası mesafe: 20 cm parametreleri sabit tutularak ağırlıkça a) %10'luk PVA, b)%15'lik PVA çözeltisi üretilen liflerin ortalama lif çapı dağılımları



**Şekil 5.** %15'lik çözelti, iğne-toplayıcı arası mesafe: 20 cm ve iğne çapı 0,5 mm parametreleri sabit a) 6000 d/dk, b) 9000 d/dk c) 3000 d/dk şartlarında üretilen liflerin sırasıyla 5000x, 5000x ve 250x büyütmelerdeki SEM görüntüleri-lif çapı dağılımları

Şekil 5.A ve Şekil 5.B'de sırasıyla 6000 d/dk ve 9000 d/dk' de yapılan üretimlerin SEM görüntüleri ve lif çapı dağılımları verilmektedir. Sonuçlardan da görüldüğü üzere artan hız ile lif çaplarında düşüş görülmüş ve ortalama lif çapı 655±192d/dk nm' den 428±87 nm'ye düşmüştür. Rotor hızının artmasıyla nanolif çapının azalması literatür çalışmaları ile benzerlik göstermiştir [8]. Santrifüj kuvvetin açılma hız ve kütle ile artması lif inceliği için pozitif katkıda bulunsa da, bir yandan da beslenen polimer çözelti çok yüksek miktarlara çıkınca jet başlangıç çapı artmaktadır. Başlangıç jet çapının artması lif çapının azaltılmasında negatif etki etmektedir.

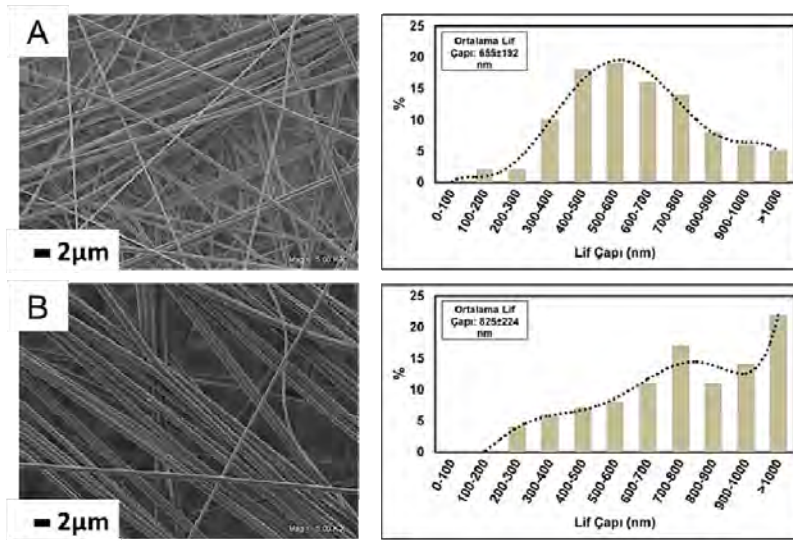
### 3.3. İğne Çapının Etkisi

Literatürde yapılan çalışmalarda iğneli [22] veya iğnesiz [21], [23] hazneler olmak üzere iki farklı tipte tasarımlar yapılmaktadır. İğnesiz sistemde kuvvetler arasındaki denge, viskoz çözeltiler için düşük dönme hızında gerçekleşmektedir [21]. İğneli sistemde iğne çapı, lif morfolojisinde önemli rol oynamaktadır [22]. Lif çapının kontrol edilebilmesiyle, düşük lif çap dağılımını ve daha az miktarda damlacık oluşumu sağlanmaktadır [23]. Şekil 6.A ve Şekil 6.B'de SEM görüntüleri verilen numunede, iğne çapının 1 mm'den 0,5 mm'ye düşmesi ile orta-

lama nanolif çapı 825±224 nm'den 655±192 nm' ye düşmüştür. Santrifüj kuvvetin sabit kalmasına karşın polimer çözeltisinin miktarının düşmesi yani karşı kuvvetin azalması daha ince jetler oluşmuştur. Ayrıca diğer üretimlerle kıyaslanacak olur ise hem iğne çapının büyük olması hem de rotor hızının düşük olması sebebiyle Şekil 5.B'de kalın çapa sahip liflerin daha çok dağılım gösterdiği görülmektedir.

### 3.4. İğne Çapı-Toplayıcı Arası Mesafenin Etkisi

Lif oluşumunda ve lif morfolojisinde diğer etkili bir parametre iğne ile lif toplayıcı arasındaki mesafedir [19]. Polimer jetin uçtuğu mesafe, çözücünün buharlaşmasını ve lif çapını etkilemektedir. Yeterince mesafe olmaması durumunda damlacıklı bir yapı elde edilebilmektedir. Bu çalışmada 6000 d/dk hız, 0,5 mm iğne çapı ve %15'lik çözelti parametreleri sabit tutularak, 150 mm ve 300 mm olmak üzere iki farklı mesafede ile üretim yapılmış ve her iki mesafede çözücünün buharlaşmasına imkân tanımıştır. Arada uzun bir mesafenin bulunması sayesinde; jetin uzaması ve lif katılması için daha fazla süre oluşacağından lif çapı azalmaktadır [24]. Ancak bu çalışmada yüksek vakumlu toplayıcı sistemi kullanılmış ve lif çapında kayda değer bir değişme görülmemiştir. Bunun sebebi ise literatürden farklı



**Şekil 6.** %15'lik çözelti, iğne-toplayıcı arası mesafe: 20 cm ve rotor hızı: 6000 d/dk parametreleri sabit a) 0,5 mm iğne çapı b) 1 mm iğne çapı şartlarında üretilen liflerin 5000x büyütmedeki SEM görüntüleri-lif çapı dağılımları

olarak kullanılan vakumlu toplayıcının jetin uzaması için gerekli süreyi hızlı çekimden ötürü kısaltması olarak düşünülmektedir. Ortalama lif çapları 150 ve 300 nm mesafeleri için sırasıyla  $648 \pm 175$  ve  $661 \pm 198$  şeklinde hesaplanmıştır. Araştırmacılar liflerin toplama yöntemi üzerine çeşitli çalışmalar yaparak hem lif morfolojisini hem de nanolif ürün yapısını kontrol etmeyi amaçlamaktadırlar [24], [25], [26]. İğne ucu çapı-toplayıcı arası mesafe için en kritik husus, buharlaşma için yeterli minimum mesafenin tespit edilmesidir. Çünkü bu kritik mesafenin altında çözücünün buharlaşmamasından ötürü lif morfolojisi olumsuz etkilenebilmektedir. Bu çalışmada 150 mm'nin buharlaşmaya imkan tanıdığı gözlemlenerek optimum durum için 150 mm ve üstü mesafeler yorumu yapılabilmektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, karbon lif gibi karbon bazlı malzemelerin üretiminde, suda çözünebilir olması ile biyomalzemelerde ve daha birçok alanda kullanımı sahip olan PVA nanolifleri, santrifüjlü lif üretim tekniği ile elde edilmiştir. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Çözelti konsantrasyonunun nanolif morfolojisi üzerinde etkin parametre olduğu görülmüştür.
- Hızın artması ve iğne çapının küçülmesi ise lif çaplarını düşürmektedir.
- İğne-toplayıcı arası mesafenin ise lif çapı üzerinde kayda değer etkinliği görülmemiştir.
- PVA nanolif üretimi için %10-15 çözelti konsantrasyonu, 6000-9000 d/dk hız, 0,5 mm iğne çapı ve 150 mm üstü iğne-toplayıcı arası mesafe optimum durum olarak görülmüştür.
- 9000 d/dk hız, 0,5 mm iğne çapı, 150 mm iğne-toplayıcı arası mesafe, sistem parametrelerinde %10'luk çözelti ile 200 nm' nin altında çapa sahip lifler endüstriyel hızda üretilmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Çalışmanın hazırlanmasında İstanbul Kalkınma Ajansı (TR10/16/YN/0192) ve TÜBİTAK (213M286) destekleri kullanılmıştır.

#### KAYNAKLAR

1. Polat, Y., Pampal, E. S., Stojanovska, E., Simsek, R., Hassanin, A., Kiliç, A., Demir, A., Yılmaz, S. (2016), *Solution blowing of thermoplastic polyurethane nanofibers: A facile method to produce flexible porous materials*, Journal of Applied Polymer Science, 133 (9).
2. Pampal, E. S., Stojanovska, E., Simon, B., & Kiliç, A. (2015), *A review of nanofibrous structures in lithium ion batteries*, Journal of Power Sources, 300, 199–215.
3. Bhullar, S. K., Rana, D., Lekesiz, H., Bedeloglu, A. C., Ko, J., Cho, Y., Ramalingam, M. (2017), *Design and fabrication of auxetic PCL nanofiber membranes for biomedical applications*, Materials Science and Engineering: C, 81, 334-340.
4. Krifa, M., & Yuan, W. (2015), *Morphology and pore size distribution of electrospun and centrifugal forcespun nylon 6 nanofiber membranes*, Textile Research Journal, 86 (12).
5. Cengiz, F., Krucińska, I., Gliścińska, E., Chrzanowski, M., & Goktepe, F. (2009), *Comparative analysis of various electrospinning methods of nanofibre formation*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, (1 (72), 13–19.
6. Mary, L. A., Senthilram, T., Suganya, S., Nagarajan, L., Venugopal, J., Ramakrishna, S., & Giri Dev, V. R. (2013), *Centrifugal spun ultrafine fibrous web as a potential drug delivery vehicle*, Express Polym. Lett, 7 (3), 238–248.
7. Weitz, R. T., Harnau, L., Rauschenbach, S., Burghard, M., & Kern, K. (2008), *Polymer nanofibers via nozzle-free centrifugal spinning*, Nano letters, 8 (4), 1187–1191.
8. Lu, Y., Li, Y., Zhang, S., Xu, G., Fu, K., Lee, H., & Zhang, X. (2013), *Parameter study and characterization for polyacrylonitrile nanofibers fabricated via centrifugal spinning process*, European Polymer Journal, 49 (12), 3834–3845.

9. Hammami, M. A., Krifa, M., & Harzallah, O. (2013), *Centrifugal force spinning of PA6 nanofibers—processability and morphology of solution-spun fibers*, The Journal of The Textile Institute, 105, 637–647.
10. Weng, B., Xu, F., Garza, G., Alcoutlabi, M., Salinas, A., & Lozano, K. (2015), *The production of carbon nanotube reinforced poly (vinyl) butyral nanofibers by the Forcespinning® method*, Polymer Engineering & Science, 55 (1), 81–87.
11. Dev, V. G., Mary, L. A., Senthilram, T., Suganya, S., Nagarajan, L., Venugopal, J., & Ramakrishna, S., *Centrifugal spun ultrafine fibrous web as a potential drug delivery vehicle*, Express Polymer Letters, 7, 238–248.
12. Loordhuswamy, A. M., Krishnaswamy, V. R., Korrapati, P. S., Thinakaran, S., & Rengaswami, G. D. V. (2014), *Fabrication of highly aligned fibrous scaffolds for tissue regeneration by centrifugal spinning technology*, Materials Science and Engineering: C, 42, 799–807.
13. Fatema, U. K., Uddin, A. J., Uemura, K., & Gotoh, Y. (2011), *Fabrication of carbon fibers from electrospun poly (vinyl alcohol) nanofibers*, Textile Research Journal, 81 (7), 659–672.
14. Sung, J. H., Hwang, M.-R., Kim, J. O., Lee, J. H., Kim, Y. I., Kim, J. H. (2010), *Gel characterisation and in vivo evaluation of minocycline-loaded wound dressing with enhanced wound healing using polyvinyl alcohol and chitosan*, International journal of pharmaceutics, 392 (1), 232–240.
15. Munir, M. M., Fauzi, A., Nuryantini, A. Y., Sofiari, E., & others. (2015), *Optimization of Solvent System and Polymer Concentration for Synthesis of Polyvinyl Alcohol (PVA) Fiber Using Rotary Forcespinning Technique*, In Advanced Materials Research, 1123, 20–23.
16. Badrossamay, M. R., McIlwee, H. A., Goss, J. A., & Parker, K. K. (2010), *Nanofiber Assembly by Rotary Jet-Spinning*, Nano Letters, 10 (6), 2257–2261.
17. Yang, Q., Li, Z., Hong, Y., Zhao, Y., Qiu, S., Wang, C., & Wei, Y. (2004), *Influence of solvents on the formation of ultrathin uniform poly(vinyl pyrrolidone) nanofibers with electrospinning*, Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 42 (20), 3721–3726.
18. Ren, L., Ozisik, R., & Kotha, S. P. (2014), *Rapid and efficient fabrication of multilevel structured silica micro-/nanofibers by centrifugal jet spinning*, Journal of Colloid and Interface Science, 425, 136–142.
19. Lu, Y., Li, Y., Zhang, S., Xu, G., Fu, K., Lee, H., & Zhang, X. (2013), *Parameter study and characterization for polyacrylonitrile nanofibers fabricated via centrifugal spinning process*, European Polymer Journal, 49 (12), 3834–3845.
20. Mahalingam, S., & Edirisinghe, M. (2013), *Forming of Polymer Nanofibers by a Pressurised Gyration Process*, Macromolecular Rapid Communications, 34 (14), 1134–1139.
21. Zhang, C., Yuan, X., Wu, L., Han, Y., & Sheng, J. (2005), *Study on morphology of electrospun poly (vinyl alcohol) mats*, European polymer journal, 41 (3), 423–432.
22. Cengiz, F., Dao, T. A., & Jirsak, O. (2010), *Influence of solution properties on the roller electrospinning of poly (vinyl alcohol)*, Polymer Engineering & Science, 50 (5), 936–943.
23. Xu, H., Chen, H., Li, X., Liu, C., & Yang, B. (2014), *A comparative study of jet formation in nozzle- and nozzle-less centrifugal spinning systems*, Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 52 (23), 1547–1559.
24. Padron, S., Fuentes, A., Caruntu, D., & Lozano, K. (2013), *Experimental study of nanofiber production through forcespinning*, Journal of Applied Physics, 113 (2).
25. Weitz, R. T., Harnau, L., Rauschenbach, S., Burghard, M., & Kern, K. (2008), *Polymer Nanofibers via Nozzle-Free Centrifugal Spinning*, Nano Letters, 8 (4), 1187–1191
26. Zander, N. E. (2015), *Formation of melt and solution spun polycaprolactone fibers by centrifugal spinning*, Journal of Applied Polymer Science, 132 (2).
27. Yanilmaz, M., & Zhang, X. (2015), *Polymethylmethacrylate/ Polyacrylonitrile Membranes via Centrifugal Spinning as Separator in Li-Ion Batteries*, Polymers, 7 (4), 629–643.
28. Zhang, X., & Lu, Y. (2014), *Centrifugal spinning: an alternative approach to fabricate nanofibers at high speed and low cost*, Polymer Reviews, 54 (4), 677–701.