



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)

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



Elektro Lif Çekim Yöntemi ile Poliüretan Nano Lif Üretiminde Polimer ve Tuz Konsantrasyonunun Lif Özelliklerine Etkisi

The Effect of Polymer and Salt Concentration on Fiber Properties in Electrospinning of Polyurethane Nanofibers

Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU¹, Oldrich JIRSAK²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

²Liberec Teknik Üniversitesi, Dokusuz Yüzeyler Bölümü, Liberec-Çek Cumhuriyeti

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Haziran 2013 (30 June 2013)

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

Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU, Oldrich JIRSAK (2013): Elektro Lif Çekim Yöntemi ile Poliüretan Nano Lif Üretiminde Polimer ve Tuz Konsantrasyonunun Lif Özelliklerine Etkisi, Tekstil ve Mühendis, 20: 90, 1-16.

For online version of the article: <http://dx.doi.org/10.7216/130075992013209001>



ELEKTRO LİF ÇEKİM YÖNTEMİ İLE POLİÜRETAN NANO LİF ÜRETİMİNDE POLİMER VE TUZ KONSANTRASYONUNUN LİF ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU^{1*}
Oldrich JIRSAK²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye
²Liberec Teknik Üniversitesi, Dokusuz Yüzeyler Bölümü, Liberec-Çek Cumhuriyeti

Gönderilme Tarihi / Received: 15.04.2013
Kabul Tarihi / Accepted: 29.05.2013

ÖZET: Bu çalışmada, poliüretan (PU) polimeri ve tetraetilamonyumbromid (TEAB) tuzu konsantrasyonunun iğneli elektro lif çekim yöntemi ile üretilen nano lif özellikleri (lif çapı, çap uniformitesi, lif olmayan alan yüzdesi, boncuk miktarı gibi) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre PU polimer konsantrasyonu arttıkça lif çekilebilirliğinin arttığı, dolayısıyla lif olmayan alan yüzdesinin de azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca PU ve TEAB konsantrasyonu arttıkça lif çapının arttığı, nano lif esaslı yapıdaki boncuk sayısının ise belirgin bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. Öte yandan, lif çapı uniformite katsayısı ile PU ve TEAB konsantrasyonu arasında herhangi bir ilişki olmadığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Poliüretan, TEAB, elektro lif çekim yöntemi, nano lif

THE EFFECT OF POLYMER AND SALT CONCENTRATION ON FIBER PROPERTIES IN ELECTROSPINNING OF POLYURETHANE NANOFIBERS

ABSTRACT: In this study, effects of polyurethane (PU) polymer concentration and tetraethylammoniumbromide (TEAB) salt concentration on the nanofiber properties (such as fiber diameter, diameter uniformity, non-fibrous area, amount of bead), which was produced by needle electrospinning method, were investigated. It was determined from the results, that spinnability increases therefore non-fibrous area decreases as the PU polymer concentration increases. Also it was observed that fiber diameter increases and number of beads on nanofibrous structure decreases prominently with PU and TEAB concentration. On the other hand it was found that there was no relationship between the fiber diameter uniformity coefficient and PU and TEAB concentrations.

Keywords: Polyurethane, TEAB, electrospinning, nanofiber.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: fundacengiz@sdu.edu.tr
DOI: 10.7216/130075992013209001, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Son yıllarda çevre, sağlık, konfor, güvenlik gibi günlük yaşamın gerekleri doğrultusunda nano liflere olan ilgi artarak, gerek araştırmacıların gerekse ticari firmaların yoğun ilgi gösterdiği alanlardan biri olmuştur. Artan bu ilgide nano liflerin konvansiyonel liflere nazaran çok daha küçük çapta, fakat oldukça geniş yüzey alanına (500 nm çapında bir lif için 10 m²/g) sahip olması ve yüksek gözeneklilik gibi özelliklerin rolü büyüktür [1]. Buna bağlı olarak, nano lif kullanım alanları da gün geçtikçe artmaktadır. Üstün özelliklere sahip nano liflerden üretilen yüzeylerin; kullanılan polimerin çeşidine göre, filtrasyon [2-4], koruyucu giysiler [5], membran [6], kompozit yapılar [7,8], tıbbi tekstiller [9-13] ve ses yalıtımlı paneller [14] gibi birçok uygulama alanında kullanımı söz konusudur.

Nano lif esaslı yüzey üretiminde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri elektro lif çekim yöntemidir. Elektrotatik kuvvetler kullanılarak nano lif üretimine yönelik çalışmaların temeli 1600'lü yıllarda Gilbert [15] tarafından gerçekleştirilen çalışmalara dayanmakla birlikte 1900'lü yıllarda bu konuyla ilgili bilimsel araştırmalar oldukça artmıştır [16-23].

Poliüretan nano lifler; filtrasyon, koruyucu giysiler, kompozitler, yara örtücü materyaller gibi birçok kullanım alanına [24-28] sahiptir. Bu sebepten poliüretan polimerinden elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üre-

timinde lif çekilebilirliği ve lif özellikleri oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada yatay iğneli elektro lif çekim yöntemi ile poliüretan nano lif üretimi gerçekleştirilerek, PU polimer ve TEAB tuz konsantrasyonunun lif morfolojisi (lif çapı, çap uniformitesi, lif olmayan alan, boncuk miktarı gibi) üzerindeki etkileri incelenmiştir.

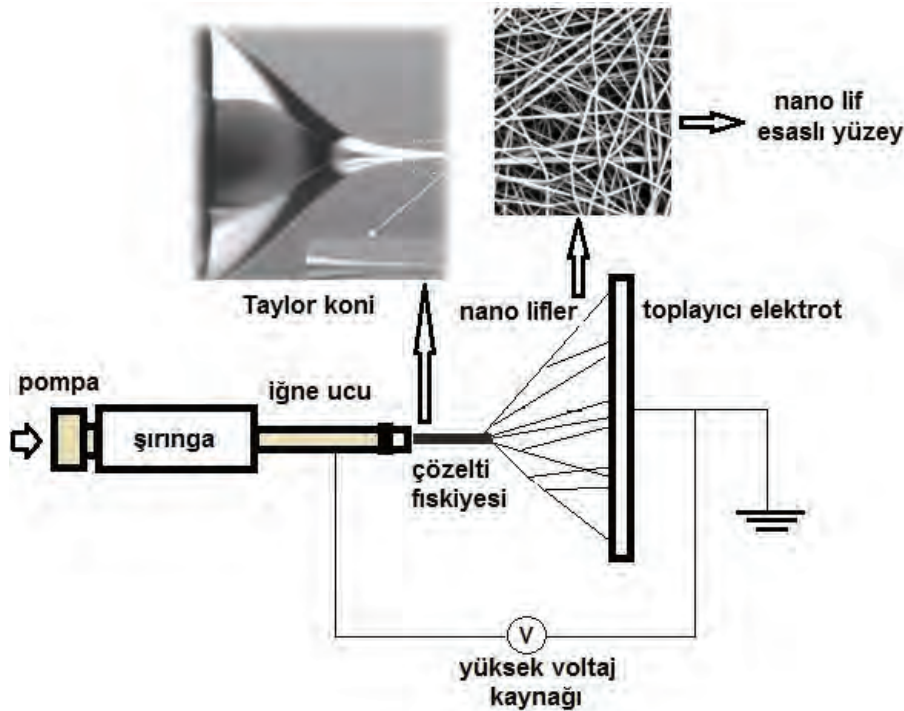
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada polimer olarak poliüretan (PU) (Larthane LS 1086, Novotex, alifatik elastomeric, molekül ağırlığı 2000 g/mol), çözücü olarak dimetilformamid (DMF), tuz olarak ise tetraetilamonyumbromid (TEAB) kullanılmıştır. Çözeltiler % 10-12,5-15-17,5 ve 20 poliüretan konsantrasyonunda hazırlanmıştır ve her bir konsantrasyondaki çözelti % 0-0,4-0,8-1,27 konsantrasyonda TEAB tuzu içermektedir.

2.2. Metot

Çalışmada kullanılan çözeltiler eşit koşullarda hazırlanmıştır (ortam sıcaklığı, oda sıcaklığı, çözelti karıştırma süresi-24 saat vb.). Daha sonra hazırlanan tüm çözeltilerden yatay iğneli elektro lif çekim yöntemi ile nano lif esaslı poliüretan yüzey üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de iğneli elektro lif çekim prosesinin şematik gösterimi verilmektedir.



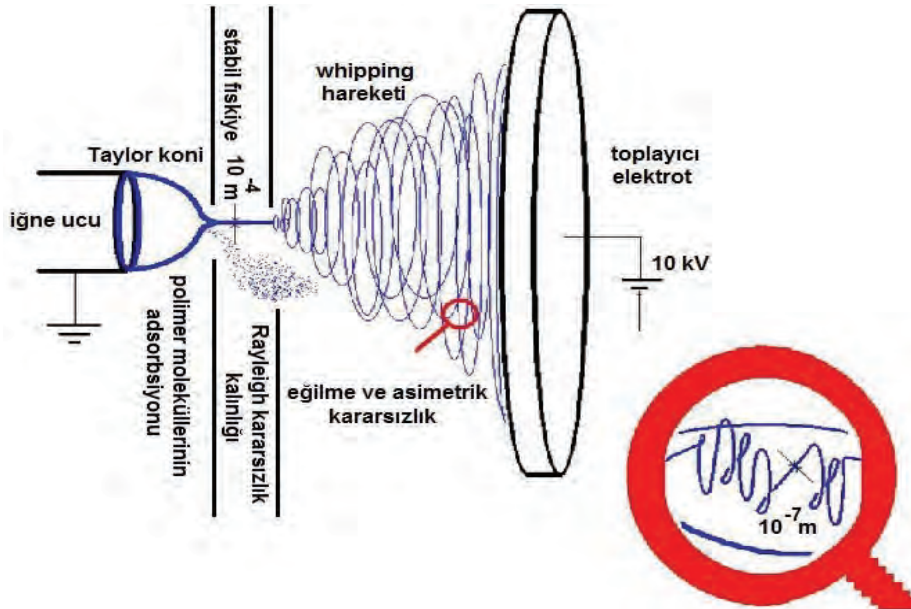
Şekil 1. İğneli elektro lif çekim yönteminin şematik gösterimi.

İğneli elektro lif çekim yönteminde öncelikle polimer uygun bir çözücüde çözülür veya ısı ile eritilir. Hazırlanan çözelti şırınga içerisine yerleştirilir ve belirli bir hızda sıvı akışının sağlanması için şırınga, enjektör pompasına yerleştirilir. Şırınga ucundaki iğne ve iğneden belirli bir mesafe uzaklıkta bulunan toplayıcı elektrot zıt kutuplar halinde yüklenir. Elektro lif çekim prosesinin esasını oluşturan yüksek voltaj kaynağının anot ve katot uçları, iğne ucuna ve toplayıcı elektrotta bağlıdır. Böylece zıt kutuplardan dolayı iğne ucu ve toplayıcı elektrot arasında elektriksel alan oluşur. Düzenek ya pozitif ya da negatif polaritede çalışabilmektedir. Fakat şırınganın pozitif polaritede olması ve toplayıcı elektrotun topraklanması durumunda verimlilik ve lif özellikleri bakımından daha iyi özellikler elde edilmiştir [29]. Çözelti akışı ve elektriksel alan büyüklüğü ayarlanarak, lif çekim hızı kontrol edilebilmektedir. Eğer elektriksel alan uygulanmazsa iğne ucundaki polimer çözelti damlası yerçekiminden dolayı yere damlayacaktır. Yüksek voltaj uygulandığında çözelti damlası ile toplayıcı elektrot arasında oluşan gerilim farkından dolayı pipet ucundaki çözelti damlası şekil değiştirerek koni şeklinde dışa doğru taşar. Elektriksel voltaj uygulanan çözelti damlasının bu şekil değiştirme durumu ilk kez Taylor tarafından 1960'lı yıllarda bulunmuştur [30]. Uygulanan volta-

jin artışı ile itici elektrostatik kuvvet, polimer çözeltinin yüzey gerilimini aştığı anda kritik değere ulaşır ve Taylor koni yapısı hızlı bir şekilde elektrik yüklü çözelti fiske haline gelir. Çözelti fiske yaklaşık 10^{-4} m gibi oldukça küçük bir çapta püskürür [31, 32] (Şekil 2).

Daha sonra yapılan çalışmalarda whipping olarak adlandırılan kamçılama hareketi başlar ve bu esnada iğne ucundan püsküren çözelti fiske çapı yaklaşık 10^{-7} m olan onlarca fiskeye parçalanır [33]. Pompanın düzenli olarak polimer çözelti beslemesi ile fiskeye püskürmesi devam eder ve çözücünün buharlaşması ile toplayıcı elektrot üzerinde kuru veya yarı kuru halde nano lifler toplanır. Toplayıcı levha üzerinde oluşan ağ şeklindeki yüzeyde çapları 10-1000 nm aralığında değişen çaplara sahip lifler elde edilir [31]. Elektro lif çekim yöntemi ile lif çekim işlemi oldukça hızlı olup, çözelti fiskeyesinin püskürtülmesi ile kuru nano lif eldesi mili saniyeler içinde gerçekleşmektedir [34, 35].

Yapılan ön denemeler sonucunda lif çekimi esnasında uygulanacak optimum proses parametreleri belirlenmiştir (Tablo 1). Daha sonra hazırlanan çözeltilerden Tablo 1'de verilen proses parametreleri uygulanarak 30 dakika boyunca oda sıcaklığında nano lif üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. İğneli elektro lif çekim prosesinin anatomik şeması [32].

Tablo 1. İğneli elektro lif çekim yönteminde uygulanan proses parametreleri

Voltaj (kV)	Elektrotlar Arası Mesafe (cm)	Çözelti besleme hızı (ml/s)	İğne çapı (mm)
20	15	0,5	0,8

Üretilen nano liflerin morfolojisini (lif çapı, çap uniformitesi ve lif olmayan alan) görüntülemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM, Phenom FEI), SEM görüntülerinin analizi (lif çapı ve lif olmayan alan değerlerinin hesaplanması) için ise Lucia 32 G görüntü analiz programı kullanılmıştır.

Lif çapı hesaplamalarında ise her bir SEM görüntüsünden 200 farklı ölçüm yapılmıştır. Daha sonra çap uniformitesini belirlemek için sayıca ortalama ve ağırlıkça ortalama değerleri hesaplanmıştır. Sayıca ortalama, matematikte kullanılan aritmetik ortalamadır. Lif çapı uniformite katsayısını hesaplamada kullanılan yöntem, kimyadaki molar kütle dağılımı esasına dayanmaktadır [36].

Aşağıda verilen (1) ve (2) numaralı formüller kullanılarak sayıca ve ağırlıkça ortalama değerleri hesaplanmıştır.

d_i = lif çapı
 n_i = lif sayısı

$$A_1 = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} \text{ (sayıca ortalama)} \quad (1)$$

$$A_2 = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i d_i} \text{ (ağırlıkça ortalama)} \quad (2)$$

Lif çapı uniformite katsayısı (LÇÜK), ağırlıkça ortalamının sayıca ortalamaya oranı ile hesaplanmıştır (3).

$$LÇÜK = (A_2 / A_1) \quad (3)$$

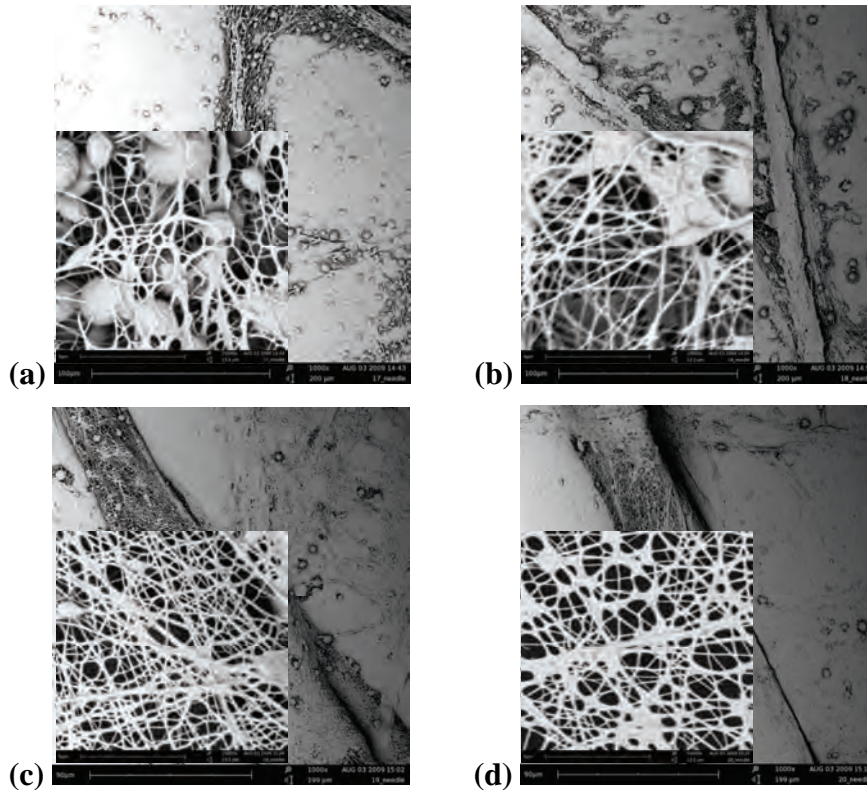
(3) no'lu eşitlikten elde edilen değer 1'e ne kadar yakın ise lif çapı o kadar uniform demektir [37].

Çalışmada ayrıca PU ve TEAB konsantrasyonunun lif çapı, lif çapı uniformite katsayısı ve lif olmayan alan üzerindeki etkilerini göstermek ve de ANOVA testleri için MINITAB 14 istatistik programı ve çap dağılımı grafiklerinin eldesinde ise SPSS istatistik programı kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada öncelikle üretimi gerçekleştirilen PU nano lif esaslı yüzeylerin; taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında 1.000 kat ve 15.000 kat büyütme ile elde edilen görüntülerinin analizi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3'te % 10 PU ve % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri yer almaktadır.



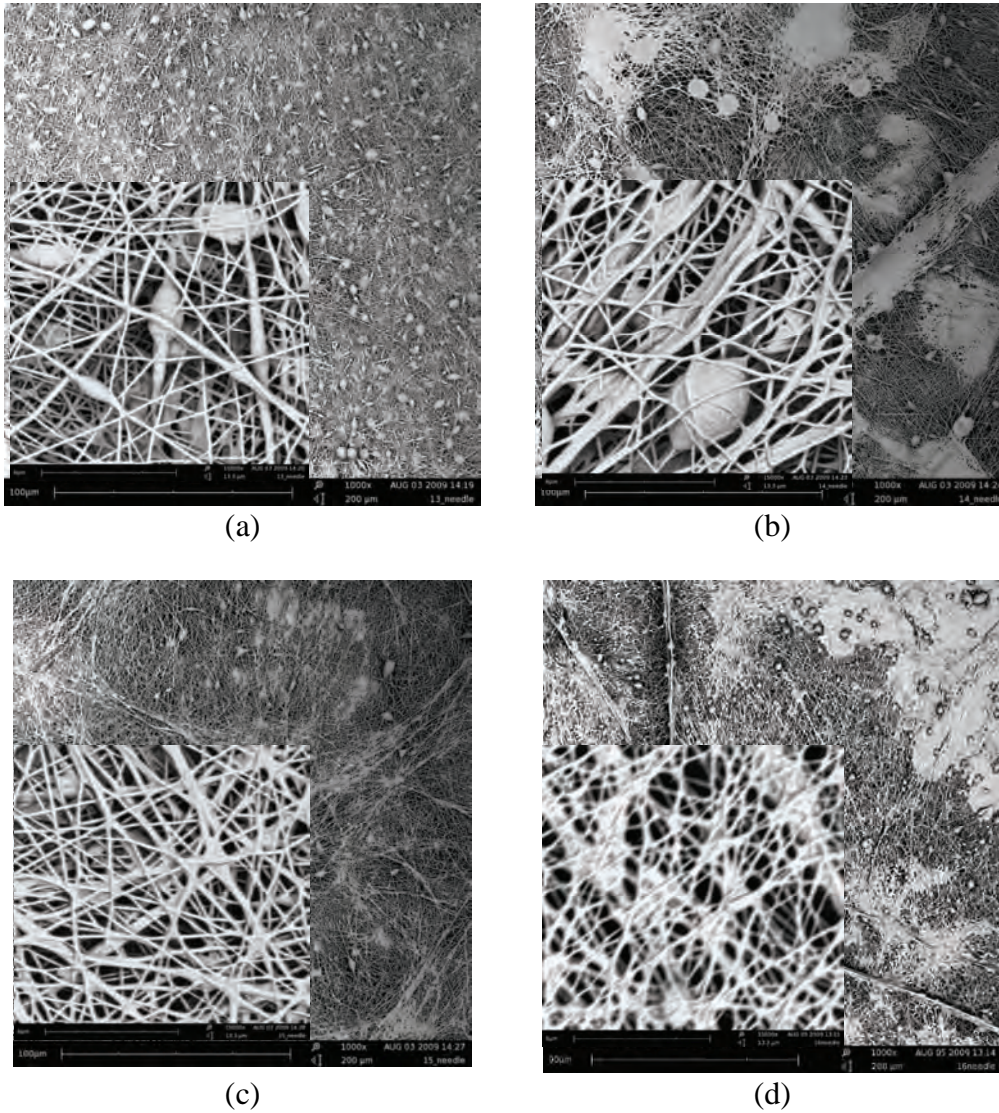
Şekil 3. % 10 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (1.000-15.000x). (a) % 0 TEAB (b) % 0,4 TEAB (c) % 0,8 TEAB (d) % 1,27 TEAB.

Şekil 3'deki görüntülerden de anlaşılacağı gibi düşük PU konsantrasyonundan dolayı nano lif oluşumu oldukça düşük olup, lif olmayan alan miktarı ve boncuk sayısının da fazla olduğu gözlenmiştir. Belirli bir polariteye sahip PU polimerinin çözelti içerisindeki konsantrasyonu düşük olduğu zaman makro moleküller arası bağlar da zayıf olur. Dolayısıyla çözülden lif çekimi esnasında iğne ucunda oluşan çözelti fiskeyesinin devamlılığı ve ömrü de azalır. Bu durumun, lif çekilebilirliğini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

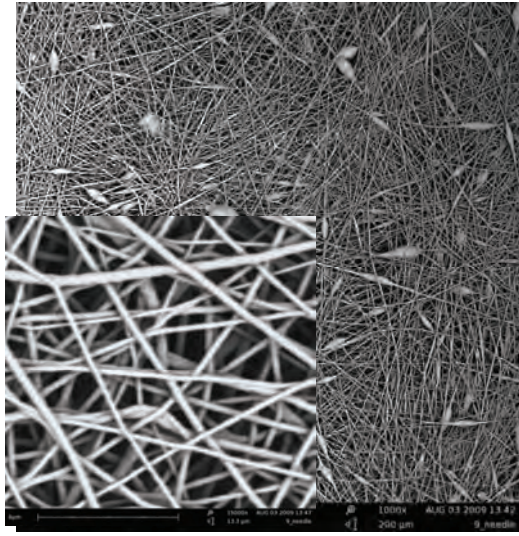
Şekil 4'te % 12,5 PU ve % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4'te verilen görüntüler, Şekil 3'deki görüntüler ile karşılaştırıldığında % 12,5 PU içeren çözeltilerden elde edilen nano lif esaslı yüzeylerde, lif oluşumunun daha fazla olduğu gözlenmektedir. Özellikle TEAB tuzu içermeyen nano lif esaslı yüzeylerde boncuk sayısının oldukça fazla olduğu, TEAB tuz konsantrasyonu arttıkça boncuk miktarının azaldığı görülmektedir. Bu durumun TEAB konsantrasyonu artışı ile PU polimer yapısındaki polar grupların fonksiyonelliğinin artması ve dolayısıyla makro moleküller arası etkileşimin güçlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

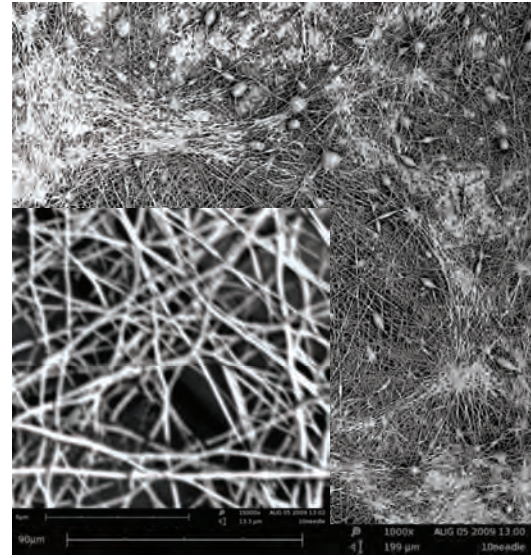
Şekil 5'te % 15 PU ve % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri gösterilmektedir.



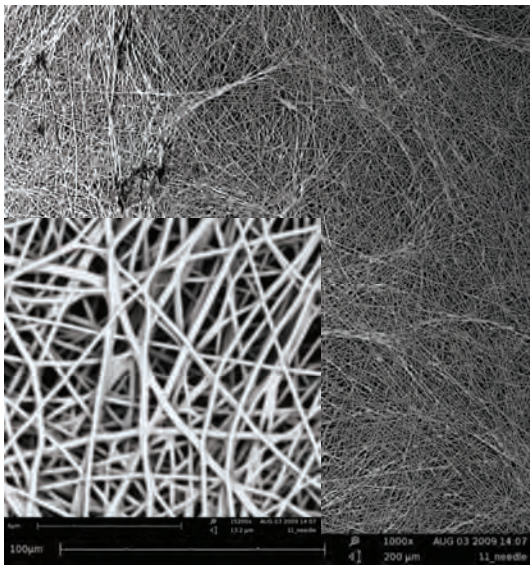
Şekil 4. % 12,5 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (1.000-15.000x). (a) % 0 TEAB (b) % 0,4 TEAB (c) % 0,8 TEAB (d) % 1,27 TEAB.



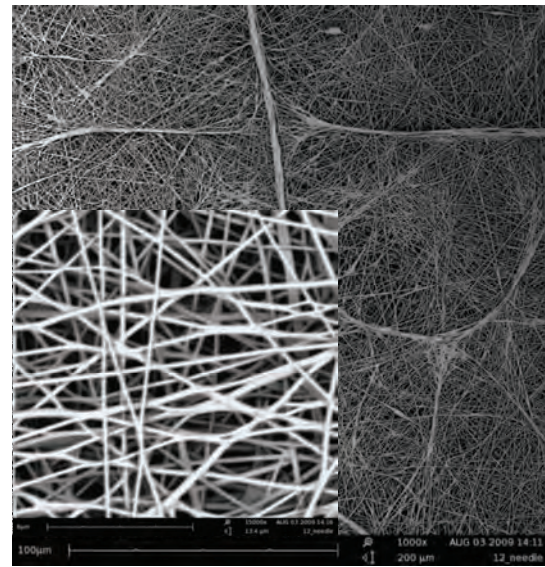
(a)



(b)



(c)



(d)

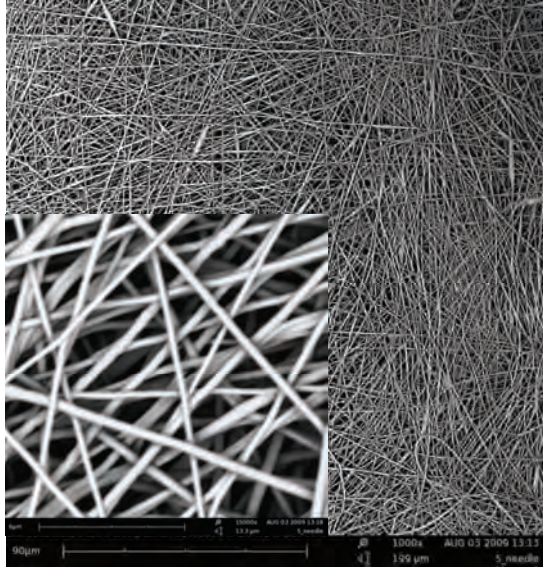
Şekil 5. % 15 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (1.000-15.000x). (a) % 0 TEAB (b) % 0,4 TEAB (c) % 0,8 TEAB (d) % 1,27 TEAB.

Şekil 5'te verilen görüntüler, Şekil 3 ve Şekil 4'teki görüntüler ile karşılaştırıldığında, % 15 PU çözeltisinden elde edilen nano lif esaslı yüzeylerde lif yoğunluğunun çok daha fazla olduğu ve boncuk sayısının da oldukça azaldığı özellikle % 0,8 ve 1,27 TEAB içeren yapılarda boncuklu yapının kalmadığı görülmektedir. Şekil 6 ve 7'de % 17,5-% 20 PU ve % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri bulunmaktadır.

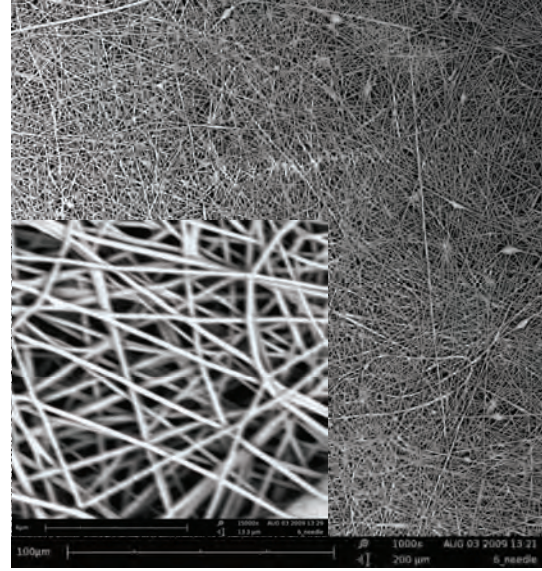
Şekil 6 ve 7'de verilen görüntüler incelendiğinde lif yoğunluğunun oldukça fazla olduğu ve boncuklu yapının tamamen yok olduğu görülmektedir. Oldukça düzgün lif morfolojisi söz konusudur. Çözelti içerisindeki PU polimer konsantrasyonu yeterli miktarda olduğu için makro moleküller arası etkileşim de güçlenmiştir ve lif çekilebilirliği artarak çok miktarda nano lif üretilebilmiştir. Lif morfolojisinde istenmeyen özelliklerden olan boncuk ve lif olmayan alan ise TEAB tuzu ilave ederek,

PU polimeri makro molekülleri arasındaki etkileşim ile ortadan kaldırılabilmektedir.

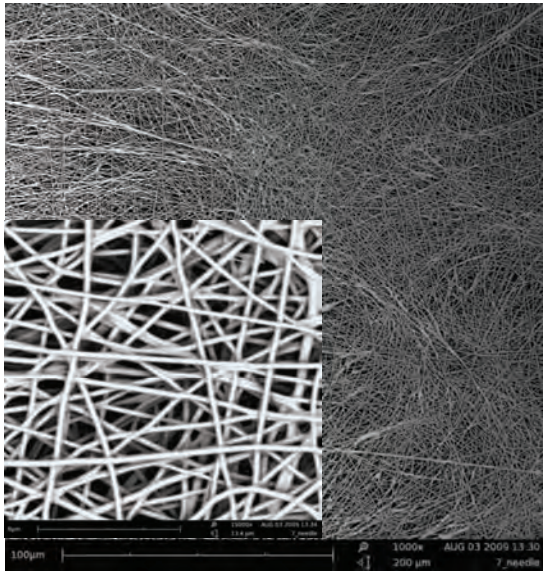
Şekil 3-7’de SEM görüntüleri verilen nano liflere ait çap dağılımı grafikleri ise Şekil 8-12’de verilmiştir.



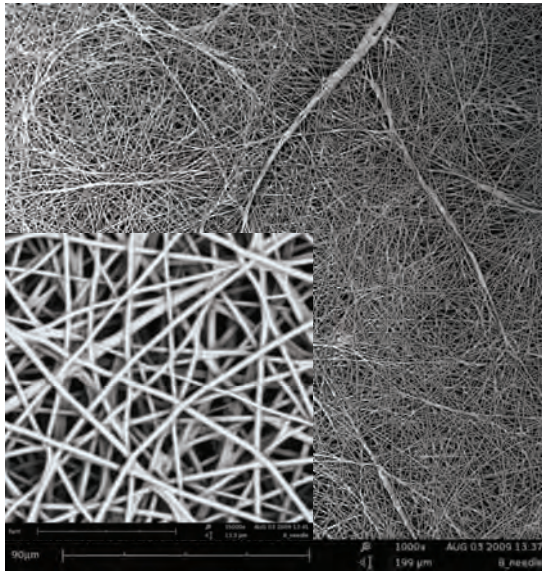
(a)



(b)

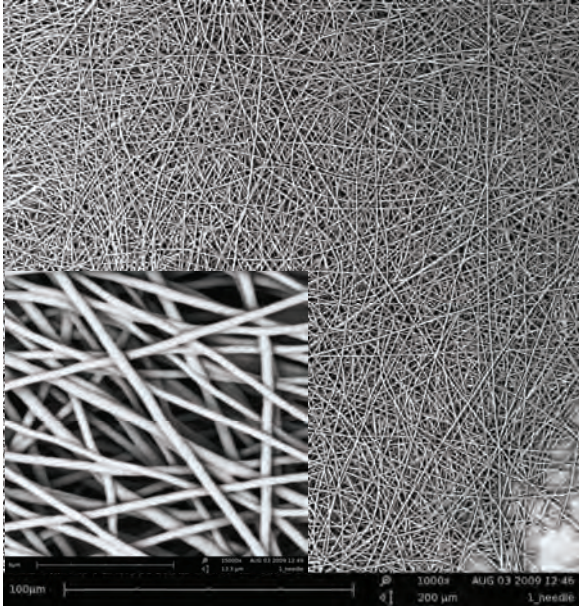


(c)

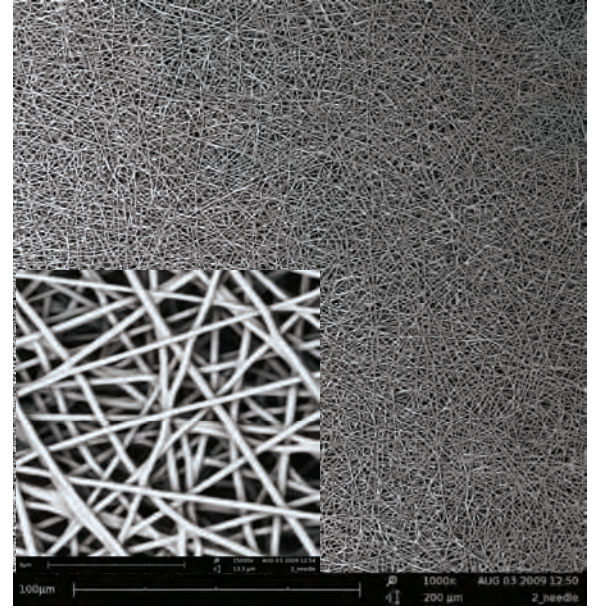


(d)

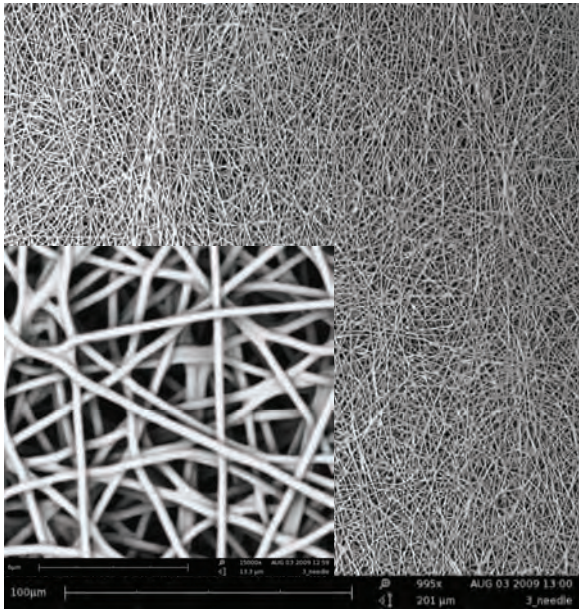
Şekil 6. % 17.5 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (1.000-15.000x). (a) % 0 TEAB (b) % 0



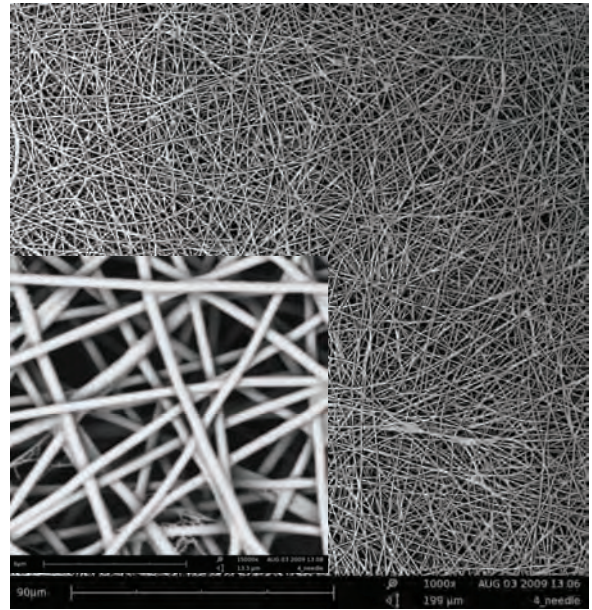
(a)



(b)

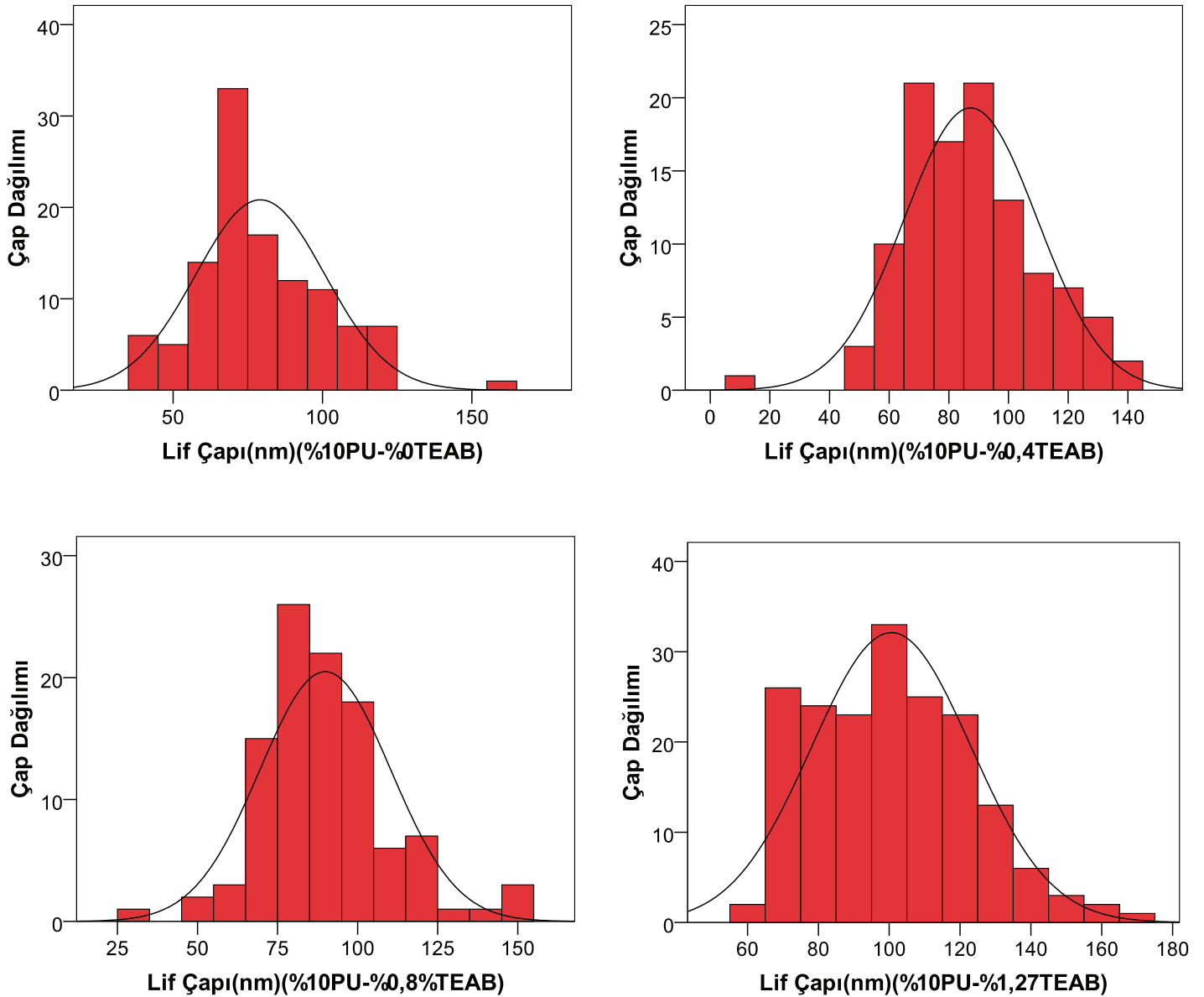


(c)



(d)

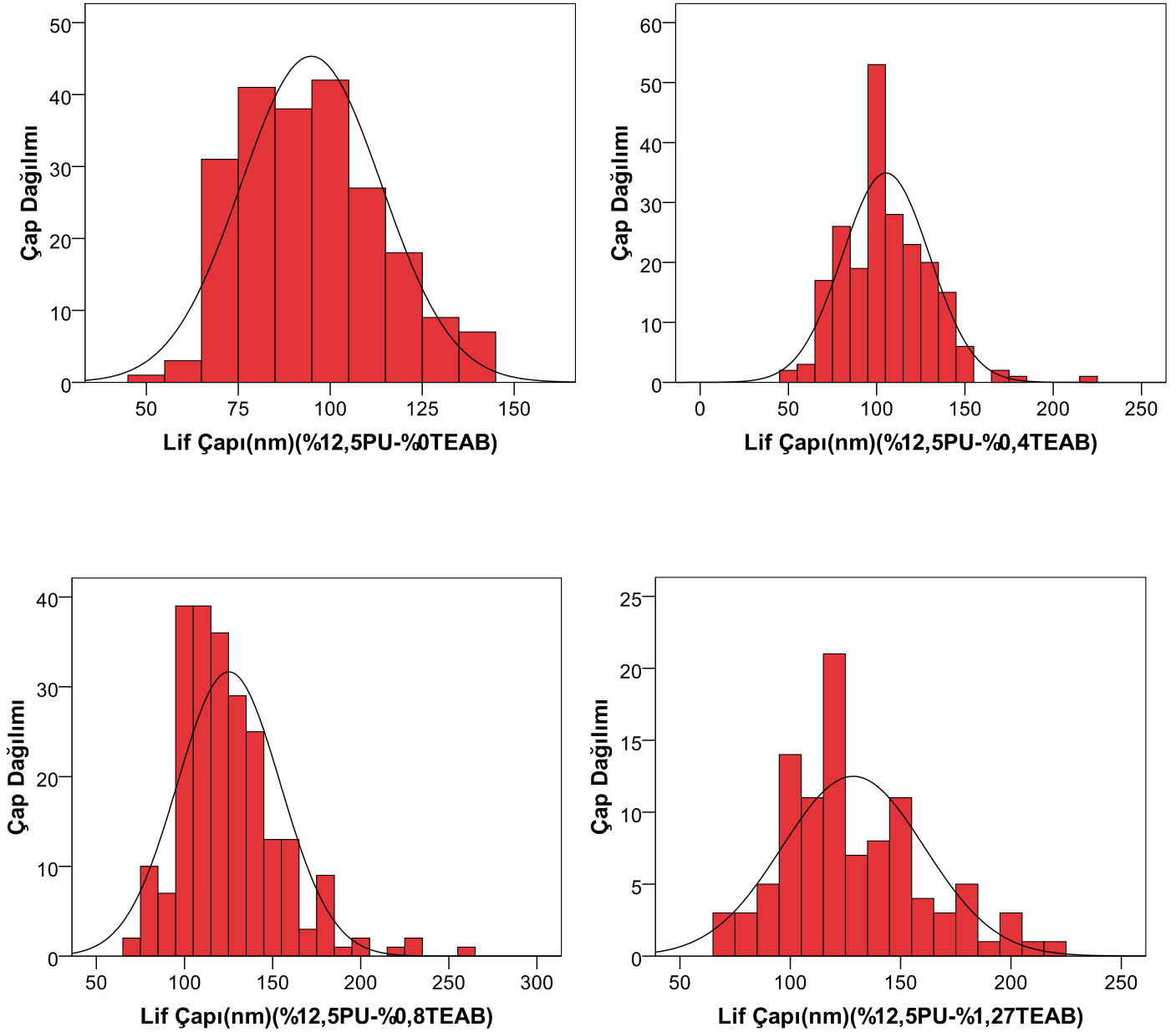
Şekil 7. % 20 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait SEM görüntüleri (1.000-15.000x). (a) % 0 TEAB (b) % 0,4 TEAB (c) % 0,8 TEAB (d) % 1,27 TEAB.



Şekil 8. %10 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılım grafikleri.

Şekil 8 incelendiğinde, % 10 PU konsantrasyonunda hazırlanan çözeltilerden elde edilen lif çaplarının oldukça düşük olduğu ve minimum 10 nm ile maksimum 170 nm arasında değiştiği görülmektedir.

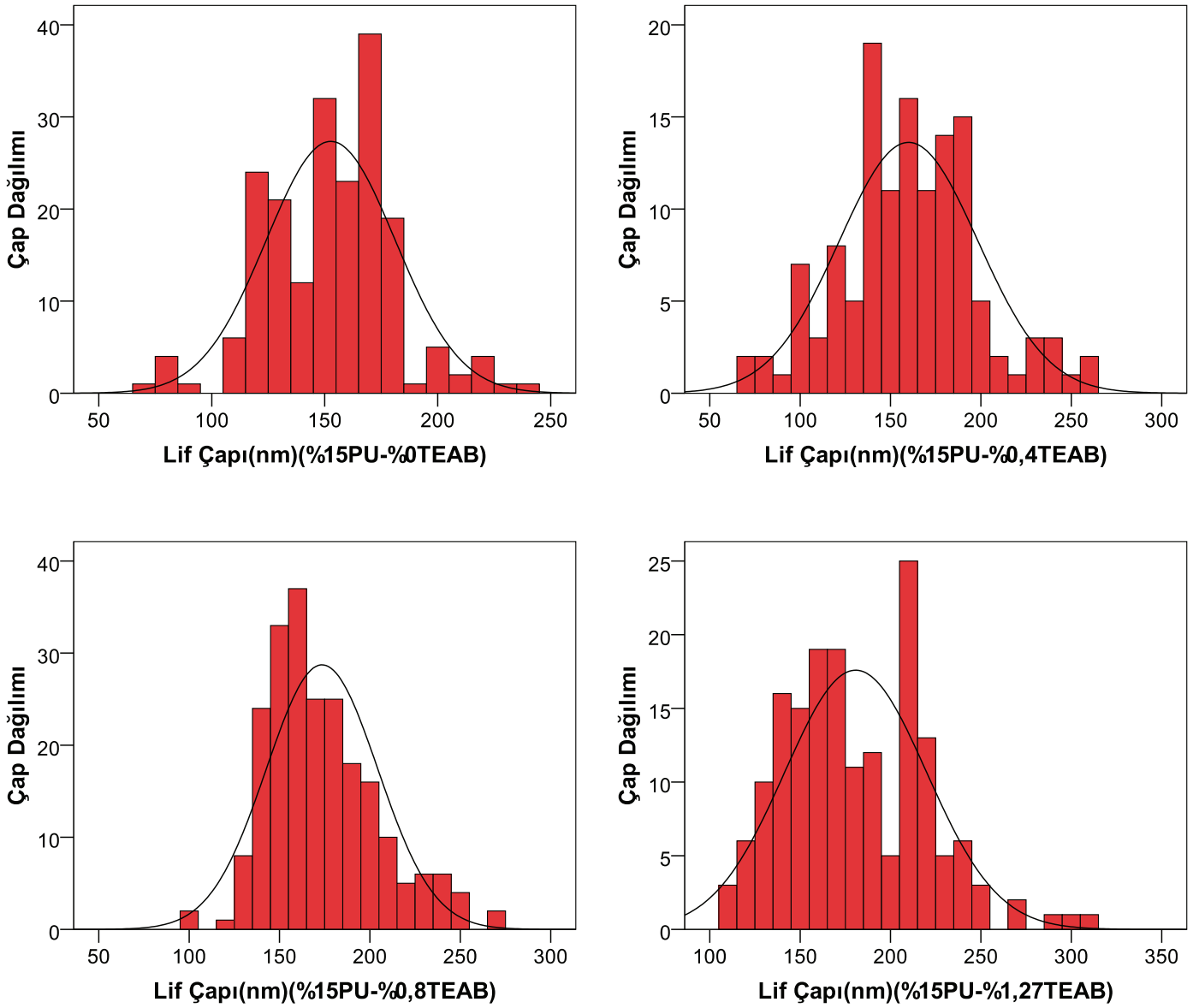
Şekil 9’da ise % 12,5 PU ve % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılım diyagramları görülmektedir.



Şekil 9. % 12,5 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılım grafikleri.

Şekil 9'daki diyagramlar incelendiğinde, % 12,5 PU çözeltisinden farklı TEAB konsantrasyonlarında elde edilen nano liflerde çap aralığının minimum 50 nm, maksimum 260 nm olduğu belirlenmiştir.

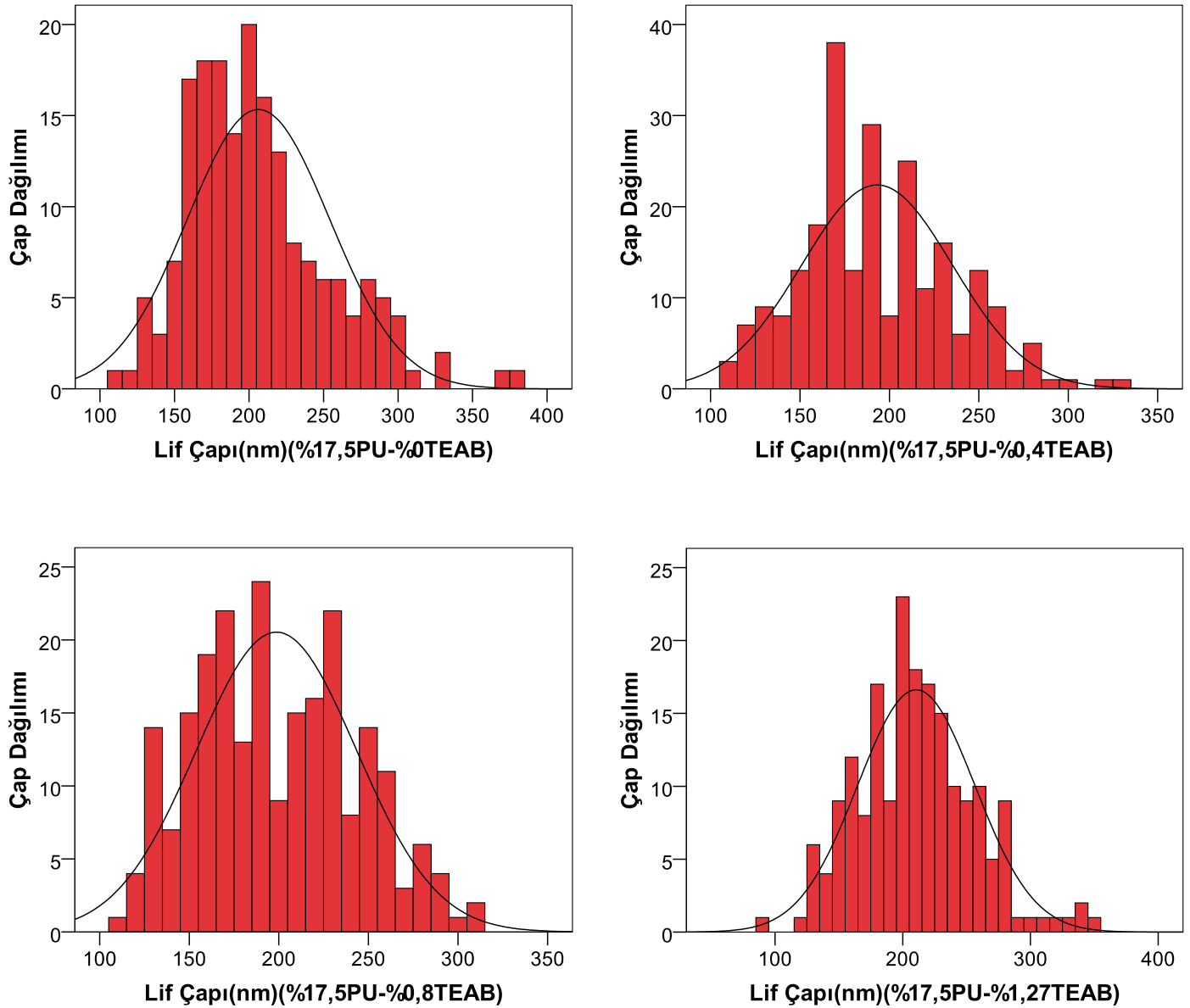
Şekil 10'da % 15 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılım grafikleri yer almaktadır.



Şekil 10. % 15 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılım grafikleri.

Şekil 10 incelendiğinde, çap aralığının minimum 70 nm, maksimum 310 nm arasında olduğu tespit edilmiştir. Özellikle % 0 ve 0,8 TEAB içeren nano liflerde daha homojen ve daha üniform bir çap dağılımı olduğu görülmektedir.

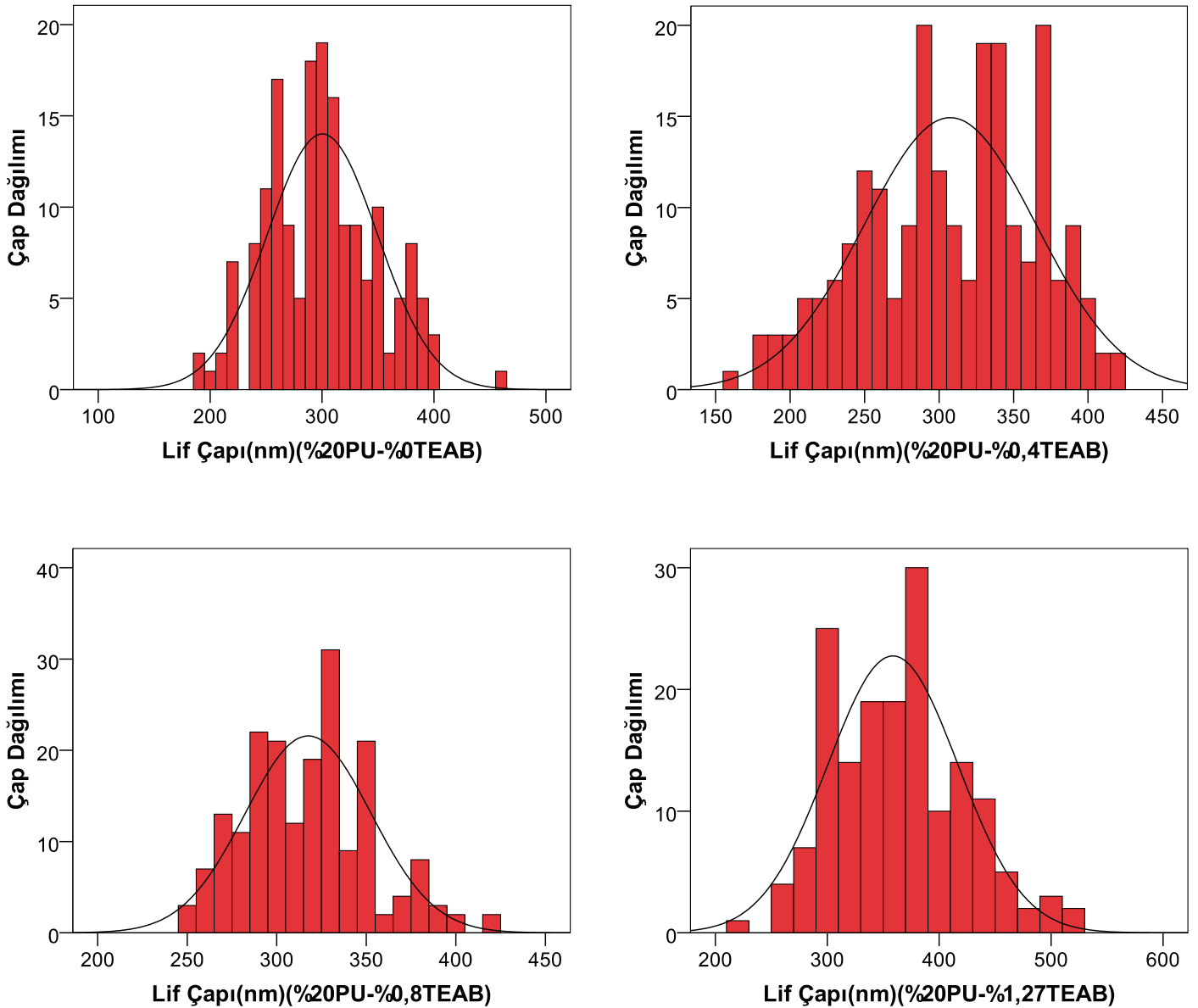
Şekil 11’de % 17,5 PU ve % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait lif çapı dağılım diyagramları verilmiştir.



Şekil 11. % 17,5 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılım grafikleri.

Şekil 11'deki grafikler incelendiğinde lif çaplarının minimum 90 nm, maksimum 380 nm aralığında olup, özellikle % 1,27 TEAB içeren nano liflerde üniform bir dağılım söz konusudur.

Şekil 12'de % 20 PU ve yine % 0-0,4-0,8-1,27 TEAB içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait lif çapı dağılım diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 12. % 20 PU ve farklı konsantrasyonlarda TEAB tuzu içeren çözeltilerden elde edilen nano liflere ait çap dağılım grafikleri.

Şekil 12'deki diyagramlar analiz edildiğinde, çap aralığının minimum 160 nm, maksimum 510 nm aralığında olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak oldukça homojen ve üniform bir çap dağılımı söz konusudur.

Şekil 13'de PU ve TEAB konsantrasyonunun lif çapı üzerindeki etkisi görülmektedir.

Grafik incelendiğinde, PU ve TEAB konsantrasyonu arttıkça lif çapının da arttığı gözlenmiş olup, literatürde de benzer sonuçlar elde edilmiştir [23]. PU konsantrasyonu arttıkça, makro moleküller arası mesafenin azalması ile moleküller arası etkileşim artarak çözelti visko-

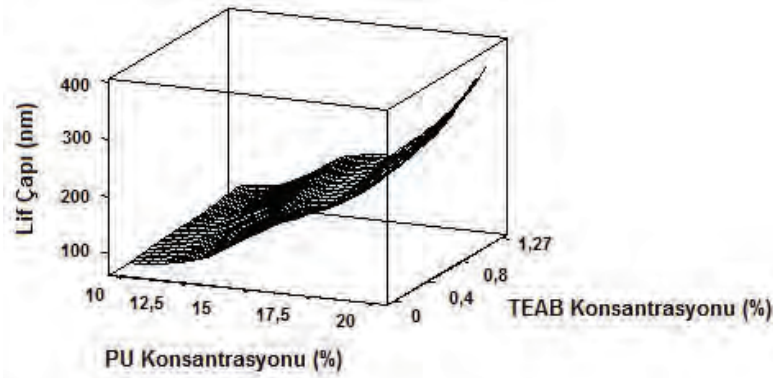
zitesi artar. Dolayısı ile viskozitenin artışı ile elde edilen liflerin çapı da artmaktadır [23, 38]. TEAB konsantrasyonu artışı ile ise PU polimerinin fonksiyonel grupları daha polar hale gelir. Dolayısıyla da moleküller arası etkileşimler polar gruplardan olumlu yönde etkilendiği için çözelti viskozitesinde artış meydana gelir ve yine viskoziteden dolayı lif çapının arttığı düşünülmektedir. ANOVA test sonuçlarına göre, PU konsantrasyonunun lif çapı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli seviyede olduğu (P değeri: 0,000), TEAB konsantrasyonu etkisinin ise önemsiz (P değeri: 0,958) olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 14’te ise PU ve TEAB konsantrasyonunun lif çapı üniformite katsayısı üzerindeki etkisini gösteren grafik verilmiştir.

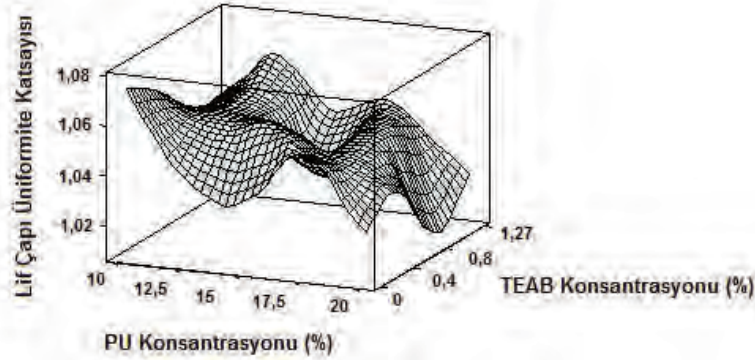
Grafikten de anlaşılacağı gibi PU ve TEAB konsantrasyonu arttıkça lif çapı üniformite katsayısı değerlerinde artış veya azalma olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla PU ve TEAB konsantrasyonu değişimi ile lif çapı üniformite katsayısı arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır. Bu sonuç literatürle uyumlu olup, silindirik

elektro lif çekim yöntemi ile PU nano lif üretiminde de benzer sonuçlar elde edilmiştir [38]. Üretilen nano liflerin üniformite katsayıları analiz edildiğinde; en üniform liflerin 1,012 üniformite katsayısı değeri ile % 20 PU ve % 0,8 TEAB içeren çözeltiden elde edildiği tespit edilmiştir. Üniformitesi en düşük lifler ise % 10 PU içeren çözeltilerden elde edilmiştir.

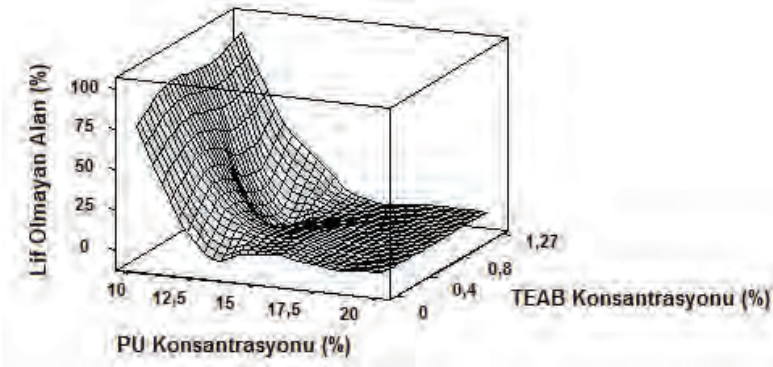
Şekil 15’te PU ve TEAB konsantrasyonunun lif olmayan alan yüzdesi üzerindeki etkisi verilmiştir.



Şekil 13. Poliüretan (PU) ve tetraetilamonyumbromid (TEAB) konsantrasyonunun lif çapına etkisi.



Şekil 14. Poliüretan (PU) ve tetraetilamonyumbromid (TEAB) konsantrasyonunun lif çapı üniformite katsayısına etkisi.



Şekil 15. Poliüretan (PU) ve tetraetilamonyumbromid (TEAB) konsantrasyonunun lif olmayan alan üzerine etkisi.

Şekil 15'te verilen grafik incelendiğinde; PU konsantrasyonu arttıkça lif olmayan alan yüzdesinin belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla lif çekilebilirliğinin de arttığını söyleyebiliriz. TEAB tuz konsantrasyonunun ise lif olmayan alan yüzdesi ve lif çekilebilirliği üzerinde herhangi bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda ise silindri elektro lif çekim yöntemi ile PU nano lif üretiminde, TEAB tuzunun lif çekilebilirliği ve dolayısıyla lif olmayan alan miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [37, 38]. Bu durumun silindri ve iğneli elektro lif çekim yöntemlerinin mekanizmalarındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. ANOVA test sonucu analiz edildiğinde, PU konsantrasyonunun lif olmayan alan üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli seviyede (P değeri: 0,000) iken, TEAB konsantrasyonu etkisinin önemsiz (P değeri: 0,983) olduğu belirlenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada yatay iğneli elektro lif çekim yöntemi ile poliüretan nano lif esaslı yüzey üretimi gerçekleştirilerek; PU polimer ve TEAB tuz konsantrasyonunun lif özellikleri (lif çapı, çap üniformitesi, lif olmayan alan, boncuk miktarı) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan PU ve TEAB konsantrasyonu arttıkça lif çapının arttığı, boncuk miktarının ise azaldığı belirlenmiştir. Özellikle % 10 ve 12,5 gibi düşük PU konsantrasyonunda lif olmayan alan yüzdesi oldukça yüksek, boncuk miktarının ise fazla olduğu gözlenmiştir. % 15-17,5 ve 20 PU içeren çözeltilerden üretilen nano lif esaslı yüzeylerde lif yoğunluğu oldukça fazla olup, düzgün ve üniform nano lifler elde edilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda ise PU konsantrasyonunun lif çapı ve lif olmayan alan üzerindeki etkisinin önemli seviyede olduğu, TEAB konsantrasyonu etkisinin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Lif çapı üniformite katsayısının ise PU ve TEAB konsantrasyonuna bağlı olmadığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde tüm çalışma koşullarını sağlayan (laboratuvar, cihaz vb.) Liberec Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Fakültesi, Dokusuz Yüzeyler Bölümü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Salem, D. R., (2001), *In Structure Formation in Polymeric Fibers: Chapter:6, Electrospinning and Formation of Nanofibers*, Hanser Gardner Publications, Carl Hanser Verlag.
2. Shin, C., Chase, G. G., Reneker, D. H., (2005), *Recycled expanded polystyrene nanofibers applied in filter media*, Colloids and Surfaces A: Physicochemistry Engineering Aspects, 262, 211-215.
3. Kalaycı, V. E., Ouyang, M., Graham, K., (2006), *Polymeric nanofibres in high efficiency filtration applications*, Filtration, 6(4), 286-293.
4. Wang, X., Fang, D., Yoon, K., Hsiao, B. S., Chu, B., (2006), *High performance ultrafiltration composite membranes based on poly(vinyl alcohol) hydrogel coating on crosslinked nanofibrous poly(vinyl alcohol) scaffold*, Journal of Membrane Science, 278, 261-268.
5. Lee, S., Obendorf, S. K., (2006), *Developing protective textile materials as barriers to liquid penetration using melt-electrospinning*, Journal of Applied Polymer Science, 102(4), 3430-3437.
6. Ren, G., Xu, X., Liu, Q., Cheng, J., Yuan, X., Wu, L., Wan, Y., (2006), *Electrospun poly(vinyl alcohol)/glucose oxidase biocomposite membranes for biosensor applications*, Reactive&Functional Polymers, 66, 1559-1564.
7. Fujihara, K., Kotaki, M., Ramakrishna, S., (2005), *Guided bone regeneration membrane made of polycaprolactone/calcium carbonate composite nanofibers*, Biomaterials, 29(16), 4139-4147.
8. Hong, J. H., Jeong, E. H., Lee, H. S., Baik, D. H., Seo, S. W., Youk, J. H., (2005), *Electrospinning of polyurethane/organically modified montmorillonite nanocomposites*, Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, 43, 3171-3177.
9. Khil, M. S., Cha, D., Kim, H. Y., Kim, I. S., Bhattarai, N., (2003), *Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing*, Journal of Biomedical Material Research Part B: Applied Biomaterial, 67B, 675-679.
10. Kim, K., Luuc, Y. K., Chang, C., Fang, D., Hsiao, B. S., Chua, B., Hadjiargyrou, M., (2004), *Incorporation and controlled release of a hydrophilic antibiotic using poly(lactide-co-glycolide) based electrospun nanofibrous scaffolds*, Journal of Controlled Release, 98, 47-56.
11. Owido, A., Mo, X. M., Wong, C. S., Morsi, Y. S., (2006), *Electrospinning of nanofibres for construction of vital organ replacements*, ICONN, 585-587.
12. Chen, J-P., Chiang, Y., (2007), *Nanocomposite Ag nanoparticles-containing polyurethane/collagen nanofibrous membranes as wound dressing*, Textile Research Journal, 77(9), 696-702.
13. Kim, S. E., Heo, D. N., Lee, J. B., Kim, J. R., Park, S. H., Jeon, S. H., Kwon, K. II., (2009), *Electrospun gelatin/polyurethane blended nanofibers for wound healing*, Biomedical Materials, 4(4), 044106.
14. Mohrova, J. and Kalinova, K. (2012), *Different structures of PVA nanofibrous membrane for sound absorption application*, Journal of Nanomaterials, doi:10.1155/2012/643043.

15. Gilbert, W., (1600), *De Magnete*. Transl. P. F. Mottelay, Dover, UK, 1958.
16. Rayleigh, F. R. S., (1882), *On the equilibrium of liquid conducting masses charged with electricity*, Philos Magazine, 44, 184.
17. Morton, W. J., (1902), *Method of dispersing fluids*, U.S. Patent, 705691.
18. Formhals, A., (1934), *Process and apparatus for preparing artificial threads*. US Patent, 1975504.
19. Gladding, (1939), *Apparatus for the production of filaments, threads, and the like*. U.S. Patent, 2168027.
20. Baumgarten, P. K., (1971), *Electrostatic spinning of acrylic microfibers*, Journal of Colloid Interface Science, 36, 75-79.
21. Doshi, J., Reneker, D. H., (1995), *Electrospinning process and applications of electrospun fibers*, Journal of Electrostatics, 35(2-3), 151-60.
22. Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J. D., Harris, D., Beck Tan, N. C., (2000), *The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles*, Polymer, 42, 261-272.
23. Demir, M. M., Yilgor, I., Yilgor, E., Erman, B., (2002), *Electrospinning of polyurethane fibers*, Polymer, 43, 3303-3309.
24. Khil, M. S., Cha, D., Kim, H. Y., Kim, I. S. and Bhattarai, N., (2003), *Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing*, Journal of Biomedical Material Research Part B: Applied Biomaterial, 67B, 675-679.
25. Pedicini, A., Farris, R-J., (2003), *Mechanical behavior of electrospun polyurethane*, Polymer, 44, 6857-6862.
26. Chen, J-P and Chiang, Y., (2007), *Nanocomposite Ag nanoparticles-containing polyurethane/collagen nanofibrous membranes as wound dressing*, Textile Research Journal, 77(9), 696-702.
27. Kang, Y. K., Park, C. H., Kim, J. and Kang, T. J., (2007), *Application of electrospun polyurethane web to breathable water-proof fabrics*, Fibers and Polymers, 8(5), 564-570.
28. Sheikh, F. A., Barakat, N. A. M., Kanjwal, M. A., Chaudhari, A. A., Jung, I. H., Lee, J. H. and Kim, H. Y., (2009), *Electrospun antimicrobial polyurethane nanofibers containing silver nanoparticles for biotechnological applications*, Macromolecular Research, 17(9), 688-696.
29. Kılıç, A., Oruç, F., Demir, A., (2008), *Effects of polarity on electrospinning process*, Textile Research Journal, 78(6), 532-539.
30. Taylor G. I., (1964), *Disintegration of water drops in an electric field*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 280, 383-397.
31. Cengiz-Çallıoğlu, F., (2011), *Silindirik elektro lif çekim yöntemi ile poliüretan nano lif üretimi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
32. Jirsak, O., (2009), *Production, properties and end-use of nanofibres*, Lecture Notes, August, TU Liberec, Czech Republic.
33. Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S. and Ramkumar, S. S., (2005), *Electrospinning of nanofibers*, Journal of Applied Polymer Science, 96(2), 557-569.
34. Reneker, D. H., Yarin, A. L., Fong, H., Koombhongse, S., (2000), *Bending instability of electrically charged liquid jets of polymer solutions in electrospinning*, Journal of Applied Physics, 87, 4531-4547.
35. Dzenis, Y., (2004), *Spinning continuous fibers for nanotechnology*, Science, 304, 1917-1919.
36. Cowie, J. M. G., Arrighi, V., (2007), *Polymers: chemistry and physics of modern materials*, Third Edition, 520, ISBN: 9780849398131.
37. Cengiz, F. and Jirsak, O., (2009), *The effect of salt on the roller electrospinning of polyurethane*, Fibers and Polymers, 10(2), 177-184.
38. Cengiz-Çallıoğlu, F., Jirsak, O. and Dayık, M., (2013), *Investigation into the relationships between independent and dependent parameters in roller electrospinning of polyurethane*, Textile Research Journal, 83(7), 48-59.