

ELEKTROÇEKİM YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN POLİAMİD 6/KİTOSAN BAZLI NANOLİFLERİN MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ramazan ERDEM*, **Erhan SANCAK†**

Geliş: 23.05.2013 Kabul: 18.06.2013

ÖZET

Çalışmamızda, elektroçekim yöntemiyle çeşitli karışım oranlarında Poliamid 6 ve Kitosan içeren nanolif bazlı kompozit yapılar elde edilmiştir. Kitosan, asetik asit ile Poliamid 6 ise formik asit yardımıyla çözülmüştür. Çözeltilere ait özellikler, viskozite, iletkenlik ve pH ölçümleri ile saptanmıştır. Karışımdaki Kitosan miktarı arttıkça, iletkenliğin azaldığı, viskozitenin ise arttığı kaydedilmiştir. Nanolif bazlı kompozit yapıların morfolojik özellikleri SEM analizleri ile tespit edilmiştir. Elektroçekim işlemi sonucu düzgün ve hatasız lifler elde edilmiştir. Lif incelikleri 87±22nm ve 44±26nm aralığında değişim göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Elektroçekim, poliamid 6, kitosan, nanolif.*

ANALYSIS OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF POLYAMIDE 6/CHITOSAN BLENDED NANOFIBERS FABRICATED BY ELECTROSPINNING

ABSTRACT

In our study, various ratios of Polyamide 6 and Chitosan blended nanofibers in the nanofibrous composite form obtained via electrospinning at ambient atmosphere. Homogenous Chitosan solutions were prepared in aqueous acetic acid. Polyamide 6 was dissolved in formic acid. Properties of all blended solutions were determined by measuring viscosity, conductivity and pH values. It was recorded that when the Chitosan content increased in the blend solution, viscosity was also increased, however, conductivity was decreased. SEM analysis was conducted to investigate the characteristics of the final nanofibrous composite structures. Beadless and uniform nanofibers were obtained and the diameter of the fibers ranged from 87±22nm to 44±26nm.

Keywords: *Electrospinning, polyamide 6, chitosan, nanofiber.*

*Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, TekstilEğitimi Bölümü, 34722, Göztepe/ İSTANBUL

†Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, TekstilBölümü, 34722, Göztepe/ İSTANBUL

1.GİRİŞ

Kitosan [poly-(b-1/4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose], deniz kabukluları ve bazı mantarların hücre duvarlarında bulunan Kitin'in alkali ortamda kısmen ya da tamamen deasetilasyona tabi tutulması ile elde edilen ve polikatyonik özellik taşıyan bir biyopolimerdir. Birçok araştırmacı, Kitosan'ın taşıdığı biyoyoumluluk, biyobozunurluk, toksik olmama, hücre tutunması ve çoğalmasına olanak sağlama, antimikrobiyal etkinlik ve yaraların hızlı iyileşmesine katkı sağlama gibi özelliklerinden dolayı biyotıp ile ilgili uygulamalarda sıklıkla tercih edildiğini belirtmiştir. Bununla birlikte Kitosan toz, jel, köpük, film, lif ve iplik halinde üretilerek birçok alanda değişik formlarda kullanılabilir (Tikhonov vd., 2006; Peter, 1996; Rao ve Sharma, 1994; Rinaudo, 2006).

Poliamid 6 (PA6), iyi derecede mekanik ve fiziksel nitelikleri olan, biyoyoumlu ve biyobozunur özellikteki sentetik polimerlerdendir. Genellikle, 'ε-kaprolaktam'ın halka açılımı polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Özellikle tekstil endüstrisinde çok geniş bir kullanım alanı söz konusudur. Elektroçekim yöntemi ile doku mühendisliğine yönelik uygulamalarda, daha sağlam ve biyoyoumlu nanolif bazlı doku iskelelerinin üretilmesi için tercih edilmektedir (Nirmala vd., 2010).

Elektroçekim, bir polimer çözeltisine ya da eriyiğine elektrostatik kuvvetler uygulayarak mikron altı inceliklerde liflerin üretilmesi şeklinde kısaca tanımlanabilir. İşlem, (i) çözeltinin elektriksel yüklerle yüklenmesi (ii) Taylor konisinin oluşması (iii) polimer jetin elektrik alan içinde kararsız hale gelerek (whipping instability) incelenmesi (iv) incelen ve katılaştıran polimer jetin lifler halinde toplayıcı düzenek üzerinde toplanması gibi operasyonel aşamalardan meydana gelmektedir. Elektroçekim yöntemiyle elde edilen liflerin çapları ve morfolojileri, çözelti özellikleri (viskozite, iletkenlik, polimerin molekül ağırlığı ve konsantrasyonu, yüzey gerilimi, çözücünün cinsi), işlem parametreleri (elektrik alan şiddeti, besleyici ünite-toplayıcı arası mesafe, çözeltinin beslenme miktarı) ve ortam koşulları (sıcaklık, nem) gibi unsurlardan etkilenmektedir (Chong vd., 2007; Li vd., 2004).

Hem doğal hem de sentetik polimerlerden basit ve etkin bir şekilde nanolif üretimine imkan vermesi nedeniyle son yıllarda elektroçekim yöntemine olan akademik ve sektörel ilginin arttığı görülmektedir. Nanolif bazlı yapılar, yüksek yüzey alanı/hacim oranı, yüksek gözeneklilik miktarı ve çok küçük gözenek boyutlarına sahip olmaları sebebiyle biyotıp, filtrasyon ve sensör uygulamaları gibi birçok alanda önemli katkılar sağlayacak potansiyel malzemeler olarak nitelendirilmektedir (Li ve Xia, 2004).

Kitosan ile hazırlanan çözeltilerin polikatyonik yapısından dolayı yüzey gerilimi çok arttığından elektroçekimlerinin çeşitli sorunlar yarattığı ifade edilmektedir. Bu problemin aşılması için çeşitli polimerlerle karışım yoluna gidilerek düzgün nanoliflerin eldesi mümkün hale getirilmiştir (Subramanian vd., 2005; Zhang vd.,

2007; Nirmala vd., 2011; Yang vd., 2010). Bu çalışmanın amacı, tek başına elektroçekimi zor olan Kitosan'ın farklı karışım oranlarında Poliamid 6 (PA6) ile bir araya getirilerek elektroçekimi sonucu elde edilen nanoliflerin morfolojik özelliklerini incelemektir.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmalarımızda kullanılan Kitosan (60.000-120.000 g/mol) Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. Poliamid 6 ise Eurotec firmasından temin edilmiştir.

2.1.Polimer Çözeltilerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Ağırlıkça %2 oranında hazırlanan Kitosan (CS) %90 derişik asetik asit içerisinde, oda sıcaklığında 24 saat boyunca karıştırılarak homojen bir şekilde çözülmüştür. Ağırlıkça %11 oranında hazırlanan Poliamid 6 (PA 6) ise %100 formik asit ile 70°C'de 7 saat boyunca karıştırılarak homojen bir şekilde çözülmüştür.

Çalışmada, Kitosan (CS) / PA 6 homojen çözeltileri ile çeşitli oranlarda (%100, %90/10, %80/20, %70/30, %60/40, %50/50) karışımlar hazırlanarak elektroçekim denemeleri yapılmıştır. Çözeltiler, birbirleri ile oda sıcaklığında iki saat boyunca manyetik karıştırıcı (Stuart, SB 162) yardımıyla homojen olarak karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltilerin pH değerleri gösterge kartları (indicator strips, Merck) ile, viskozite değerleri Brookfield (DV-E Viscometer) marka viskozimetre ile, iletkenlikleri ise WTW (Cond 3110) marka cihaz ile ölçülmüştür. Viskozimetre ile yapılan ölçümlerde 30 rpm'de dönen s21 tipi mil (spindle) kullanılmıştır.

2.2.Elektroçekim İşlemi

Elektroçekim işlemi dikey çalışma prensibine göre tasarlanmış olan laboratuvar tipi makine (NanoFMG, NS24) ile gerçekleştirilmiştir. Her bir çözelti 10ml hacme sahip şırıngalar içine aktarılmış ve çapı 20 gauge olan besleyici ünite (nozzle) vasıtası ile üzerinde alüminyum folyo sarılı olan silindir şeklindeki toplayıcıya gönderilmiştir. Çözeltilerin elektrik alana beslenme miktarı 0,50ml/saat olarak belirlenmiştir. Toplayıcının dönme hızı 35 rpm, besleyici üniteye olan uzaklığı ise 15 cm olarak ayarlanmıştır. Elektroçekim denemelerinde 34 kV voltaj uygulanmıştır. Elektriksel alan oluşturulurken alternatif akımdan (AC) faydalanılmıştır. Deneyler, %35-42 bağıl nemde ve 26-31°C aralığında değişen sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir.

2.3.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Elektroçekim işlemi ile elde edilen nanoliflerin şekil yapıları ve incelikleri SEM (SEM, JSM-5910 LV from JEOL) çekimi yapılarak incelenmiştir. Bunun için, nanolif bazlı kompozit yapılar önce Polaron (SC7620) marka kaplama makinesinde,

vakumlu ortamda altın paladyum (%20/80) alaşımı ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra, kompozit yapıların 20 kV hızlandırma gerilimi altında, 20.000x büyütmede (magnifikasyon) SEM resimleri çekilmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri, Image J. (2011) yazılım programı ile analiz edilmiştir. Her bir numune görüntüsünde, 50 adet lif incelenerek ortalama lif incelikleri hesaplanmıştır.

2.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi

Nanolif bazlı kompozit yapıları meydana getiren polimerlerin kimyasal bağ yapıları FT-IR spektroskopisi (PerkinElmer Spectrum 100) ile incelenmiştir. Her bir numune için 5 farklı deneme gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 380cm^{-1} ve 4000cm^{-1} dalgaboyu aralığında, 4cm^{-1} çözünürlükte incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Çözeltili Özelliklerinin İncelenmesi

Kitosan'ın polikationik doğası ve kimyasal yapısındaki molekül içi ve moleküller arası yoğun etkileşim, elektroçekim işlemi önemli zorluklarla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Sağlam hidrojen bağları, polimer zincirindeki blokların elektrik alandaki serbest hareketini engellemekte ve elektroçekim işlemi süresince jet kopuşlarına sebep olmaktadır [Li ve Hsieh, 2006; Desai ve Kit, 2008]. Ayrıca, polimer zincirinde yer alan iyonik gruplar arasındaki itici kuvvetler (repulsive force) de polimer zincirlerinin yeterli miktarda birbirleri içine girmelerine (entanglement) engel olmaktadır. Bu durum, polimer jetin uzaması, bükülmesi ve 'whipping' kararsızlığı sergilemesi esnasında yeterli ve sürekli lif oluşumuna engel teşkil etmektedir. Polimer jetin uzaması esnasında yaşanan bu sorunlar, elektroçekim işlemi sonucu, düzenli lif oluşumu yerine, boncuk (bead) oluşumları ya da boncuklu düzensiz liflerin elde edilmesine neden olmaktadır (Min vd., 2004).

Kitosan'ın asidik ortamda çözündüğü bilinmektedir. Asetik asit ile hazırlanan çözeltilerde, asetik asit konsantrasyonunun artması ile birlikte çözeltinin yüzey geriliminin düştüğü bildirilmektedir. Yüzey geriliminin düşmesi, elektroçekim işlemini kolaylaştıran bir etkidir (Geng vd., 2005). Bu sebeple, elektroçekim işlemlerinde herhangi bir problemle karşılaşmamak ve yeterince homojen çözeltiler hazırlayabilmek amacıyla, Kitosan ile hazırlanan çözeltilerde çözücü olarak saf suda seyreltilmiş (%90) asetik asit kullanılmıştır. Poliamid 6 ile hazırlanan çözeltilerde ise sorunsuz karışım çözeltilerinin hazırlanması ve elektroçekim esnasında hatasız ve düzgün liflerin elde edilmesi amacı ile formik asit (%100) kullanılmıştır.

Kitosan ve PA 6 polimerleri ile hazırlanan karışım çözeltilerinde, toplam polimer miktarı ağırlıkça %13 olarak belirlenmiştir. Bu konsantrasyonun üzerine çıktığında bazı çözeltilerde homojenite ve jelleşme problemleri ile karşılaşmıştır.

Hazırlanan bazı çözeltilerin aşırı bekletilmesi, çözeltide yaşlanma (aging) probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle Kitosan için tipik bir problemdir. Yaşlanma neticesinde, polimerde üç boyutlu yapı değişikliği, kümelenme ve birtakım enzimatik tepkimelerle polimer zincirinde kopmalar meydana gelmektedir. Bu da polimer çözeltisinin kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır (Queen, 2006). Yaşlanma sorununun önüne geçmek üzere, hazırlanan çözeltiler bekletilmeden elektroçekim işlemine tabi tutulmuştur.

Çözeltilerin viskozite, iletkenlik ve pH değerleri, çözeltide kullanılan polimerlerin cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Kitosan ve PA 6 ile hazırlanan çözeltilerdeki viskozite ve iletkenlik değerleri Tablo 1’de sunulmuştur. Asetik asidin, asitlik sabiti (Ka) formik asidin asitlik sabitinden daha küçük bir değere sahip olduğundan, sadece %90’lık asetik asit ile hazırlanan Kitosan bazlı çözeltinin pH değeri, formik asit içeren karışım çözeltileri ve PA6 bazlı çözeltinin pH değerinden daha yüksek çıkmıştır.

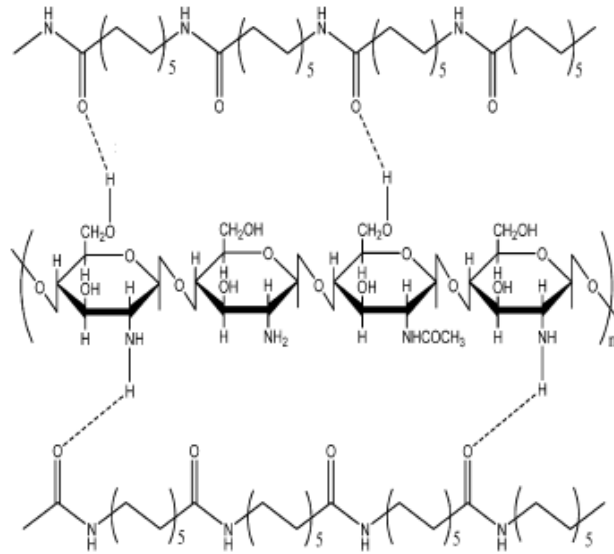
Tablo 1. Polimer çözeltilerinin viskozite, iletkenlik ve pH değerleri.

Polimer	Karışım Oranı (%)	Viskozite (cp)	İletkenlik (mS/cm)	pH
CS	100	195	0,284	3-4
PA 6	100	142	4,43	0;1
PA 6/CS	90/10	198	3,34	0;1
PA 6/CS	80/20	232	2,65	0;1
PA 6/CS	70/30	225	1,79	0;1
PA 6/CS	60/40	335	1,328	0;1
PA 6/CS	50/50	318	0,952	0;1

%100 PA6 (%11wt.) ile hazırlanan çözeltinin viskozitesi 142 cP, iletkenliği ise 4,43 mS/cm olarak bulunmuştur. %100 Kitosan (%2wt.) ile hazırlanan çözeltinin viskozitesi 195 cP, iletkenliği ise 0,284 mS/cm olarak ölçülmüştür. Karışım çözeltilerindeki Kitosan (CS) miktarı arttığında viskozitenin de arttığı, ancak iletkenliğin azaldığı kaydedilmiştir. Viskozitedeki değişimin Kitosan’ın moleküler yapısından kaynaklandığı tahmin edilmiştir. Polielektrolit özelliğe sahip olan Kitosan’ın molekülleri arasında yoğun hidrojen bağlarının oluşması nedeniyle

dolaşık bir moleküler yapı (chain entanglement) meydana gelmektedir (Geng, 2005). Bu durumun çözelti viskozitesini arttırdığı tahmin edilmiştir. Ayrıca *Supaphol* ve *ekibinin* yapmış olduğu çalışmada, PA6 ile yapılan denemelerde, çözeltilere asetik asit eklenmesi ile viskozitenin arttığı ve yüzey geriliminin düştüğü ifade edilmiştir. Elde ettiğimiz bulgular bahsi geçen çalışma sonuçları ile tutarlılık göstermiştir (Supaphol vd., 2005).

Poliamid 6'nın moleküler yapısı, metilen $[-(CH_2)_5-]$ lineer zincirleri ile birbirlerinden ayrılan amid (CO–NH) gruplarından oluşmaktadır. Yüksek dielektrik katsayısına sahip olan, tek protonlu (mono-protic) formik asit, laktam ile tepkimeye girerek iyonik formdaki birçok oligomer zinciri ve monomerin $(-CONH_2^+)$ oluşmasına neden olmaktadır (Schaeffgen ve Trivisonno, 1951).

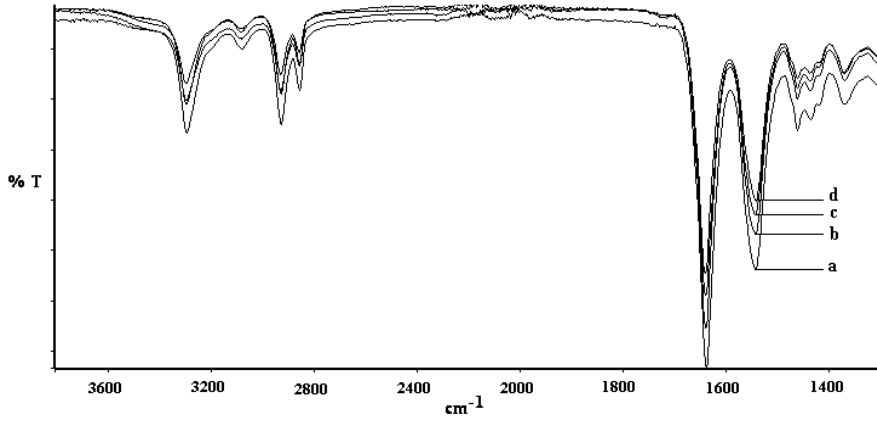


Şekil 1. Kitosan ve Poliamid-6 zincirleri arasındaki hidrojen bağları (Zhang vd., 2009).

Böylece, PA6 oranı yüksek olan çözeltilerin iletkenlik değeri yükselmektedir. Karışım çözeltilerindeki Kitosan miktarı arttıkça iletkenlik değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu durum, CS ve PA6 arasında gerçekleşen hidrojen bağları ile açıklanmıştır. Kitosan ve Poliamid 6 çözeltilerinin birbirleri ile karıştırılması sonucu PA6'nın amid grupları arasındaki hidrojen bağlarının koptuğu ve PA6'nın $-CO$ grupları ile kitosanın $-OH$ ve $-NH_2$ grupları arasında yeni hidrojen bağlarının oluştuğu tahmin edilmiştir (Şekil 1). Böylelikle hem Kitosan'ın hem de PA6'nın

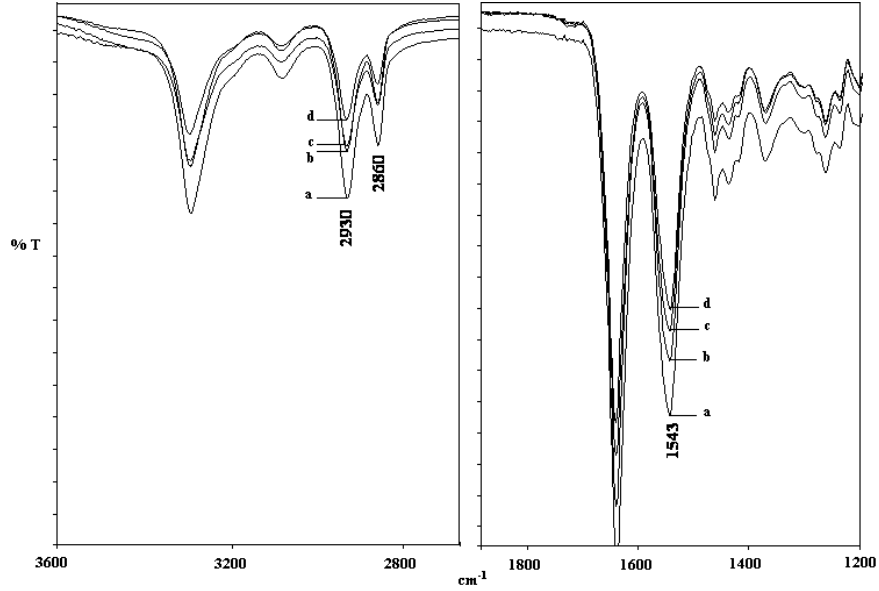
iyonik özellik taşıyan aktif grupları arasında yeni bağlar oluşarak, çözelti iletkenliğinin azalmasına neden olduğu öngörülmüştür (Zhang vd., 2009).

3.2. Nanoliflerin Fourier Dönümlü Infrared (Kızılötesi) Spektrofotometre (FT-IR) Analizleri



Şekil 2. Poliamid-6 ve farklı oranlarda Kitosan içeren Poliamid-6/Kitosan nanoliflerine ait FT-IR spektrumları; (a) % 100/0; (b) % 90/10; (c) % 70/30; (d) % 50/50.

Şekil 2’de Poliamid-6 ve farklı oranlarda Kitosan içeren nanoliflere ait FT-IR spektrumları verilmiştir. Buna göre; Poliamid-6’nın metilen ve amid grupları için; 3295 cm⁻¹ (H-bağlı N-H gerilim titreşimi), 3079 cm⁻¹ (N-H düzlem içi eğilme), 1638 cm⁻¹ (amid I, C=O gerilme), 1543 cm⁻¹ (amid II, C-N gerilme ve CO-N-H eğilme), 2930 ve 2860 cm⁻¹ (-CH₂ gerilme titreşimleri) karakteristik bandları göstermektedir [11].

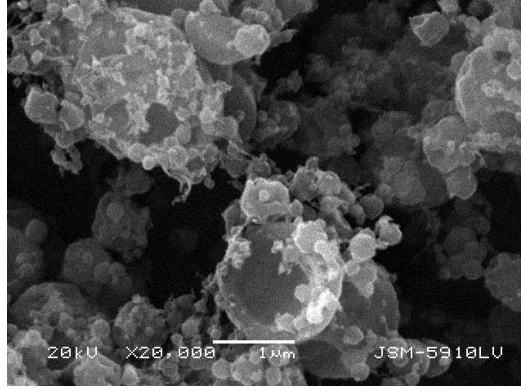


Şekil 3. Poliamid-6/Kitosan karışımlarında değişen Kitosan miktarına göre; 1543 cm⁻¹ (amid II), 2930 ve 2860 cm⁻¹ (-CH₂ gerilme titreşimleri) bandlarında meydana gelen değişimleri gösteren FT-IR spektrumları; (a) % 100/0; (b) % 90/10; (c) % 70/30; (d) % 50/50.

1543 cm⁻¹ de görülen amid II ait bandların şiddetinde, kitosan içeriğinin artması ile birlikte bir azalma gözlenmektedir (Şekil 3). Bunun nedeni, iki farklı makromolekül arasında oluşan hidrojen bağlarının, aynı polimerin molekülleri arasında oluşan hidrojen bağlarından daha kuvvetli olmasıdır. Bundan dolayı, Kitosan ve Poliamid-6 arasında hidrojen bağı oluşturma eğilimi olmaktadır (Şekil 1). Aynı zamanda poliamid-6/kitosan karışım nanolifinin 2930 ve 2860 cm⁻¹ de görülen CH₂ gruplarına ait bandlar, poliamid-6'ya göre biraz daha zayıftır (Şekil 3). Bu da yapıya ilave edilen kitosan'ın daha az CH₂ grubu içermesi ile açıklanabilir (Nirmala vd., 2010).

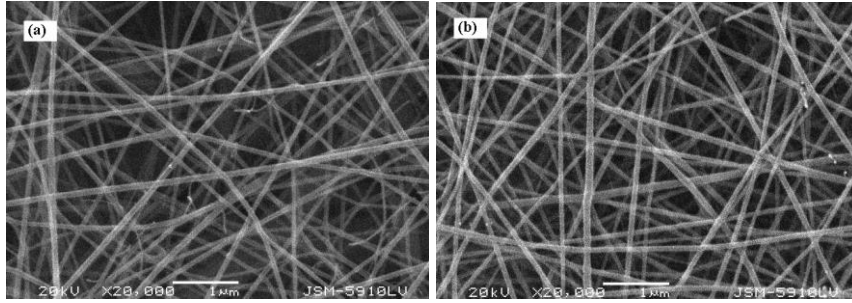
3.3. Nanoliflerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

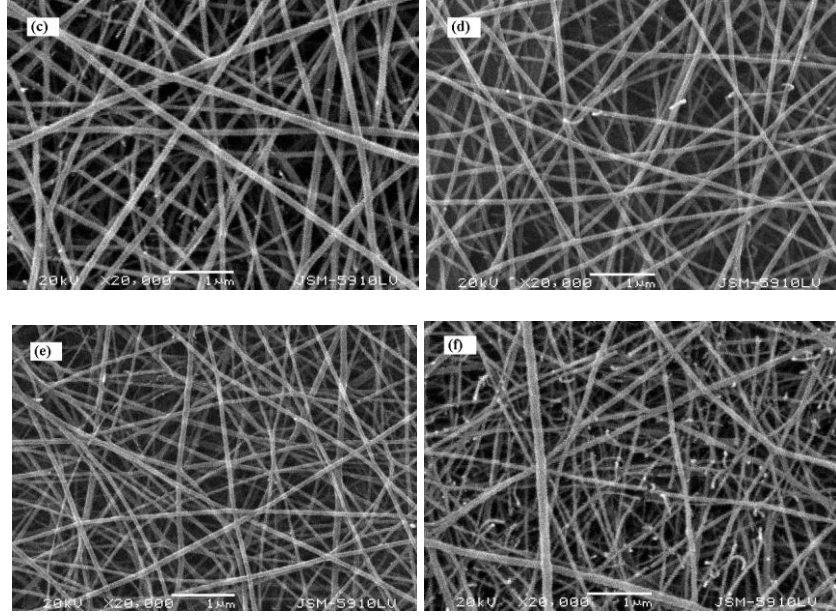
%100 Kitosan (%2wt.) ile hazırlanan çözeltilerle yapılan elektroçekim denemelerinde düzgün lif oluşumu sağlanamamıştır. Yoğun boncuk (bead) hataları gözlenmiştir. Uygulanan elektrik alan şiddetinin değiştirilmesi sonucu elektrostatik kuvvetlerin etkisiyle boncuk oluşumların içlerinde oyuklar meydana gelmiş, ancak lif oluşumuna yetecek kadar düzgün bir etki sağlanamamıştır (Şekil 4).



Şekil 4. %100 Kitosan (ağırlıkça %2) ile hazırlanan çözeltilerle yapılan elektroçekim sonucu oluşan yapılar.

%100 PA6 ve PA6/CS karışımları ile hazırlanan çözeltilerden elektroçekim ile elde edilen nanoliflerin düzgün ve pürüzsüz yapıda oldukları gözlenmiştir. İşlem parametrelerinin her çözelti için sabit olduğu denemelerde, karışımdaki Kitosan miktarı arttıkça daha ince liflerin elde edildiği ve %50/50 (PA6/CS) karışıma sahip çözeltilerden üretilen liflerin çok fazla incelmesi sonucu kopmaların meydana geldiği saptanmıştır (Şekil 5-f).

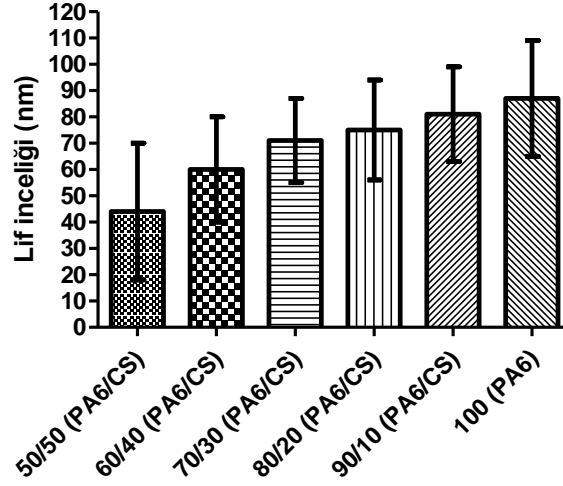




Şekil 5. Elektroçekim işlemi sonucu oluşan nanolifler; (a) %100 PA6, (b) %90/10 PA6/CS, (c) %80/20 PA6/CS, (d) %70/30 PA6/CS, (e) %60/40 PA6/CS, (f) %50/50 PA6/CS.

Karışımındaki Kitosan miktarı arttıkça, çözeltilerin iletkenlik değerlerinin düşmesi ve viskozitenin artmasına rağmen, elektroçekim işlemi sonucu elde edilen nanoliflerin inceliği yüzey gerilimi ile açıklanmıştır. Normal şartlar altında, iletkenliğin artmasının daha ince liflerin, viskozitenin ve yüzey geriliminin artmasının ise daha kalın liflerin oluşmasına ve bazı durumlarda işlemin aksamasına neden olduğu bilinmektedir (Geng vd., 2005).

Geng ve ekibi, Kitosan ile gerçekleştirdikleri elektroçekim işleminde en önemli parametrenin asetik asit konsantrasyonu olduğunu belirtmişlerdir. Çünkü asetik asidin etkisiyle Kitosan bazlı çözeltinin yüzey gerilimi düşürülmüş ve polimer jetin yük yoğunluğu artırılmıştır (Geng vd., 2005). Yapmış olduğumuz çalışmalarda, karışım çözeltilerindeki Kitosan ve asetik asit miktarı arttıkça, yüzey geriliminin düşmesi nedeniyle daha ince liflerin üretilmesinin mümkün hale geldiği tahmin edilmiştir. Böylelikle, %10 CS içeren nanoliflerin incelikleri ortalama 81 ± 18 nm olarak ölçülmüş iken, karışımındaki CS oranı %50'ye çıktığında lif inceliklerinin ortalama 44 ± 26 nm'ye kadar düştüğü gözlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. PA6 ve CS ile çeşitli karışım oranlarında hazırlanan çözeltilerden elektroçekim yöntemi ile elde edilen nanoliflerin incelikleri. [%100 PA6, 87±22nm; PA6 CS (90/10), 81±18nm; PA6 CS (80/20), 75±19nm; PA6 CS (70/30), 71±16nm; PA6 CS (60/40), 60±20nm; PA6 CS (50/50), 44±26nm].

4.SONUÇ

Elektroçekim işlemi öncesinde hazırlanan karışım çözeltilerinin özellikleri, karışımdaki polimer miktarları ve karışım oranlarından doğrudan etkilenmiştir. Karışımdaki Kitosan miktarı arttıkça, çözelti viskozitesinin arttığı ancak iletkenliğin azaldığı tespit edilmiştir. Elektroçekim işlemi sonucu elde edilen liflerin karışımdaki Kitosan miktarı arttıkça incelendiği görülmüştür. En ince liflerin, (44±26) %50/50 oranında PA6/Kitosan içeren karışıma ait olduğu gözlenmiştir. En kalın lifler (87±22) ise %100 oranında PA6 içeren çözeltiden elde edilmiştir. Elde edilen tüm liflerin düzgün ve pürüzsüz yapıda olduğu görülmüştür. %100 Kitosan ile hazırlanan çözeltilerle yapılan elektroçekim işlemi ile lif formu oluşturulamamıştır. Bu manada, yalnız başına Kitosan ile sorun yaşanan elektroçekim işleminin, Poliamid 6 ilavesi ile sorunsuz bir şekilde gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Chong, E.J., Phan, T.T., Lim, I.J., Zhang, Y.Z., Bay, B.H., Ramakrishna, S., Lim, C.T.** (2007), Evaluation of electrospun PCL/gelatin nanofibrous scaffold for wound healing and layered dermal reconstitution. *Acta Materialia*, 3: 321–330.
- Desai, K., Kit, K.** (2008), Effect of spinning temperature and blend ratios on electrospun chitosan/poly(acrylamide) blends fibers. *Polymer*, 49: 4046–4050.
- Geng, X., Kwon, O.H., Jang, J.** (2005), Electrospinning of chitosan dissolved in concentrated acetic acid solution. *Biomaterials.*, 26: 5427–32.
- Li, L., Hsieh, Y-L.** (2006), Chitosan bicomponent nanofibers and nanoporous fibers. *Carbohydrate Research*, 341: 374–81.
- Li, D., Wang, Y., Xia, Y.** (2004), Electrospinning nanofibers as uniaxially aligned arrays and layer-by-layer stacked films. *Advanced Materials*, 16: 361–366.
- Li, D., Xia, Y.N.** (2004), Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel?. *Advanced Materials*, 16: 1151–1170.
- Min, B.M., Lee, S.W., Lim, J.N., You, Y., Lee, T.S., Kang, P.H., Park, W.H.** (2004), Chitin and chitosan nanofibers: Electrospinning of chitin and deacetylation of chitin nanofibers. *Polymer*, 45: 7137–7142.
- Nirmala, R., Nam, K.T., Soo-Jin Park, Yu-Shik Shin, R. Navamathavan, Hak Yong Kim, H.Y.** (2010), Formation of high aspect ratio polyamide-6 nanofibers via electrically induced double layer during electrospinning. *Applied Surface Science*, 256: 6318–6323.
- Nirmala, R., Navamathavan, R., Kang, H-S., El-Newehy, M.H., Kim, H.K.** (2011), Preparation of polyamide-6/chitosan composite nanofibers by a single solvent system via electrospinning for biomedical applications, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 83: 173-178.
- Peter, M.G.** (1996), Applications and environmental aspects of chitin and chitosan. *Journal of Macromolecular Science: Pure and Applied Chemistry*, 32: 629–640.
- Queen, H.** (2006), Electrospinning Chitosan-Based Nanofibers For Biomedical Applications North Carolina State University, Master Thesis, NC State University. <http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/13>
- Rao, S.B., Sharma, C.P.** (1994), Use of chitosan as a biomaterial: studies on its safety and hemostatic potential. *Journal of Biomedical Materials Research*, 34: 21–28.

Rinaudo, M. (2006), Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31: 603–632.

Schaeffgen, J.R., Trivisonno, C.F. (1951), Polyelectrolyte behavior of polyamides. I. Viscosities of solutions of linear polyamides in formic acid and sulfuric acid. *Journal of the American Chemical Society*, 73: 4580-4585.

Subramanian, A., Vu, D., Larsen, G.F., Lin, H-Y. (2005), Preparation and evaluation of the electrospun chitosan/PEO fibers for potential applications in cartilage tissue engineering. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 16-7: 861–873.

Supaphol, P., Mit-Uppatham, C., Nithitanaku, M. (2005), Ultrafine Electrospun Polyamide-6 Fibers: Effects of Solvent System and Emitting Electrode Polarity on Morphology and Average Fiber Diameter. *Macromolecular Materials and Engineering*, 290: 933–942.

Tikhonov, V.E., Stepnova, E.A., Babak, V.G., Yamskov, I.A., Palma-Guerrero, J., Jansson, H.B., Lopez-Llorca, L.V., Salinas, J., Gerasimenko, D.V., Avdienko, I.D., Varlamov V.P. (2006), Bactericidal and antifungal activities of a low molecular weight chitosan and its N-2(3)-(dodec-2-enyl)succinoyl/-derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 64: 66–72.

Yang, W., Fu, J., Wang, D., Wang, T., Wang, H., Jin, S., He, N. (2010), Study on Chitosan/Polycaprolactone Blending Vascular Scaffolds by Electrospinning. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 6-3: 254-259.

Zhang, H., Li, S., White, C.J.B., Ning, X., Nie, H., Zhu, L. (2009), Studies on electrospun nylon-6/chitosan complex nanofiber interactions. *Electrochimica Acta*, 54: 5739-5745.

Zhang, Y., Huang, X., Duan, B., Wu, L., Li, S., Yuan, X. (2007), Preparation of electrospun chitosan/poly(vinyl alcohol) membranes. *Colloid and Polymer Science*, 285:855–863.