

İkili Besleme Ünitesi Sistemi ile Elektroçekimi Gerçekleştirilen PVA/ Aloe barbadensis ve PEO/Kitosan Bazlı Nanolifli Yapıların Morfolojik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Ramazan ERDEM¹, Erhan SANCAK²

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi Bölümü, Göztepe, İstanbul.

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Bölümü, Göztepe, İstanbul.

e-posta: erdemramazan@gmail.com, esancaq@marmara.edu.tr

Geliş Tarihi:07.08.2013; Kabul Tarihi:05.11.2013

Özet

Elektroçekim tekniği kullanılarak elde edilen Kitosan (CS)/Polietilen oksit (PEO)ve Polivinil alkol (PVA)/ Aloe barbadensis (AVG) bazlı nanolifler, ikili besleme ünitesi sistemi ile birleştirilerek nanolif bazlı kompozit yapılar meydana getirilmiştir. Elektroçekim öncesi hazırlanan karışım çözeltilerinin özellikleri viskozite, iletkenlik ve pH ölçümleri ile tayin edilmiştir. Nanolifli yapıların morfolojik özellikleri ise SEM analizi ile belirlenmiştir. Düzgün ve hatasız olarak elde edilen nanoliflerin incelikleri 72 ± 15 nm ile 115 ± 41 nm aralığında değişim göstermiştir. Nanolifli yapılar, birbirleri ile mukavemet ve uzama değerleri baz alınarak karşılaştırılmıştır. PVA oranı yüksek karışımlardan elde edilen nanolifli yapıların, kitosan oranı yüksek karışımlardan elde edilen nanoliflere göre daha mukavim ve esnek olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Elektroçekim; PVA; Aloe barbadensis; PEO; Kitosan; Nanolif; Mukavemet.

Investigation of Morphological and Mechanical Properties of PVA/ Aloe barbadensis and PEO/Chitosan Blended Nanofibrous Structures Fabricated by Dual Electrospinning System

Abstract

Chitosan (CS)/Polyethylene oxide (PEO) and Polyvinyl alcohol (PVA)/ Aloe vera (AVG) based electrospun nanofibers were gathered together by dual electrospinning system. Properties of blended solutions for electrospinning were investigated by measuring viscosity, conductivity and pH values. Morphological characteristics of the nanofibers were analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM). Beadless and uniform nanofibers were obtained through the electrospinning process and the diameters of the fibers were ranged from 72 ± 15 to 115 ± 41 nm. Blended nanofibers were compared to each other in terms of tensile strength and elongation at break results. Our experiments proved that Polyvinyl alcohol (PVA)/ Aloe vera (AVG) based electrospun nanofibers exhibited greater tensile strength and elongation at break compared with the Chitosan (CS)/Polyethylene oxide (PEO) based electrospun nanofibers.

Key words

Electrospinning; PVA; Aloe Vera; PEO; Chitosan; Nanofiber; Tensile Strength.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Polivinil alkol (PVA), poli(vinil asetat)'daki asetat grubunun hidroliz ile uzaklaştırılması sonucu elde edilmektedir. Kimyasal aşınmaya olan dayanımı, biyo-uyumlu yapısı ve çeşitli fiziksel özelliklerinden dolayı tekstil ve kimya endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Moleküler kristal yapısı nedeniyle PVA liflerin oldukça yüksek mukavemet değerlerine ve aşınma dayanımına sahip olduğu bilinmektedir (Lee *et al.* 2004).

Aloe barbadensis ekstraktı, Aloe barbadensis bitkisinden elde edilmektedir. Bitkinin yapraklarında bulunan temel doku (parankima), %98-99 oranında su ihtiva etmektedir. Aloe barbadensis (AVG) ekstarktında bulunan 1,8-dihidroksi antrakinon türevleri ve müsilajinöz (zamk), cilt yanıklarında ve yara tedavilerinde kullanılmaktadır (Park and Nho 2003).

Kitosan (CS) [poly-(b-1/4)-2-amino-2-deoksi-D-glikopiranoz], deniz kabukluları ve bazı mantarların hücre duvarlarında bulunan Kitin'in alkali ortamda kısmen ya da tamamen deasetilasyona tabi tutulması ile elde edilen ve polikasyonik özellik taşıyan bir biyopolimerdir. Birçok araştırmacı, Kitosanın taşıdığı olduğu biyouyumluluk, 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 *et al.* 2006).

Polietilen oksit (PEO), biyotıp alanında oldukça yoğun kullanılan biyo-bozunur özellikte ve düşük toksisiteye sahip olan termoplastik bir polimerdir. Ayrıca, PEO'nun, diğer doğal polimerler ile karıştırılarak düzgün ve pürüzsüz nanoliflerin elde edilebildiği başarılı elektroçekim işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlayan bir polimer olduğu bildirilmektedir (Son *et al.* 2006).

Elektroçekim yöntemi, akışkanlar dinamiği, polimer kimyası, temel fizik, elektrik fiziği, makine ve tekstil mühendisliği alanlarını barındıran çok yönlü bir tekniktir. Bu yöntem ile nano-ölçekli lifler tek aşamada elde edilirler. İşlem; çekilecek olan polimer çözeltisi ya da eriyiği ile doldurulmuş şırınganın ucuna bağlı bir elektrota (iğneye) yüksek voltaj uygulanarak, elektrostatik kuvvetler altında nanoliflerin üretimi olarak özetlenebilir. Elektroçekim yönteminde nanolif özelliklerini etkileyen unsurlar; çözeltiliye ait unsurlar (viskozite, polimer konsantrasyonu, polimerin molekül ağırlığı, iletkenlik ve yüzey gerilimi), işlem değişkenlerine ait unsurlar (uygulanan voltaj, besleyici ve toplayıcı arasındaki mesafe, besleme oranı) ve ortam koşulları (sıcaklık ve nem) olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir (Kozanoğlu, 2006).

Bu çalışmanın amacı, biyotıp uygulamalarında sıklıkla kullanılan doğal polimerlerden 'Aloe barbadensis (AVG)' ve 'Kitosan (CS)'ın, yardımcı polimerler olan PVA ve PEO ile karıştırılarak, farklı iki besleme ünitesinden aynı anda aynı elektriksel alana beslenmeleri ile oluşan nanolif bazlı yapıların morfolojik ve mekanik özelliklerinin incelenmesidir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmalarımızda kullanılan Kitosan (60.000-120.000 g/mol) ve Polietilen oksit (600.000 g/mol) Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. Polivinil alkol (75.000 g/mol) Merck firmasından, Aloe barbadensis ise Forever Living Products isimli ticari firmadan temin edilmiştir.

2.1. Çözeltilerin Hazırlanması

Ağırlıkça %2 oranında hazırlanan Kitosan (CS), toplam çözelti miktarı 10g olacak şekilde, %90/10 asetik asit/saf su içerisinde, oda sıcaklığında 24 saat boyunca karıştırılarak çözülmüştür. Ağırlıkça %2 oranında hazırlanan Polietilen oksit (PEO) ise toplam çözelti miktarı 10g olacak şekilde saf su içerisinde, oda sıcaklığında 24 saat boyunca karıştırılarak çözülmüştür. Sonra bu iki çözelti birbirleri ile %60/40 (CS/PEO) oranında bir araya getirilerek 3 saat boyunca, oda sıcaklığında, manyetik karıştırıcı (Stuart, SB 162) yardımıyla karıştırılmıştır.

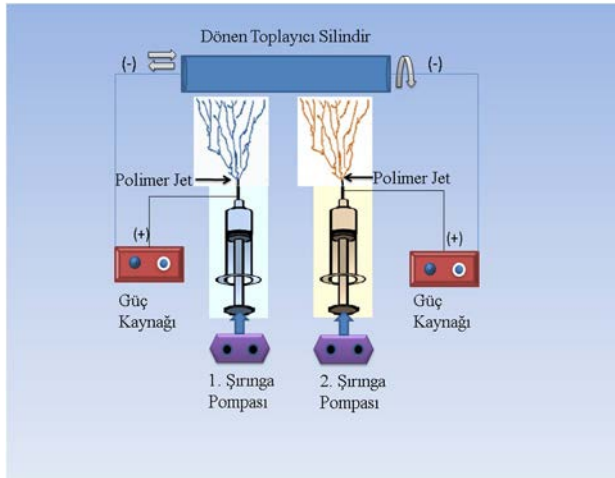
Ağırlıkça %12 oranında hazırlanan Polivinil alkol (PVA), toplam çözelti miktarı 10g olacak şekilde saf su içerisinde, 70° C'de 6 saat boyunca karıştırılarak çözülmüş, sonraki 6 saat boyunca da oda sıcaklığında dinlendirilmiştir. Daha sonra PVA çözeltisi, Aloe barbadensis ekstraktı ile %90/10 (PVA/AVG) oranında bir araya getirilerek oda sıcaklığında, 3 saat boyunca, manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır.

Hazırlanan homojen 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 NanoFMG (NS24) marka laboratuvar tipi makine ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan CS/PEO ve PVA/AVG çözeltileri önce 5ml hacme sahip şırıngalar içine aktararak elektroçekim işlemine ayrı ayrı tabi tutulmuşlardır. Daha sonra, çözeltiler 2,5 ml hacme sahip şırıngalara aktararak, ikili besleme ünitesi (Şekil 1) ile elektroçekim işlemine aynı anda tabi tutulmuşlardır.

Çözeltiler, çapı 20 gauge olan besleyici ünite (nozzle) vasıtası ile üzerinde alüminyum folyo sarılı olan ve sağa-sola travers hareketi yapabilen silindir şeklindeki toplayıcıya gönderilmiştir. CS/PEO karışımı çözeltinin elektrik alana beslenme miktarı 1ml/saat, PVA/AVG karışımı çözeltinin elektrik alana beslenme miktarı ise 0,75ml/saat olarak belirlenmiştir. Toplayıcının kendi eksenine etrafındaki dönme hızı 35 rpm, besleyici üniteye olan uzaklığı ise 15 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Elektroçekim işlemi 25 kV 'luk elektrik alan şiddeti altında gerçekleştirilmiştir. Elektriksel alan oluşturulurken alternatif akımdan (AC) faydalanılmıştır. Deneyler, %35-42 bağıl nemde ve 26-31°C aralığında değişen sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İkili Besleme Ünitesi Sistemi ile Elektroçekim İşlemi.

2.3. Nanoliflerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Analizi

Elektroçekim işlemi ile elde edilen nanoliflerin morfolojik yapıları ve incelikleri SEM (SEM, JSM-5910 LV from JEOL) çekimi yapılarak incelenmiştir. Bunun için, nanolif bazlı yapılar önce Polaron (SC7620) marka kaplama makinesinde, vakumlu ortamda altın paladyum (%20/80) alaşımı ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra, nanolifli yapıların 20 kV hızlandırma gerilimi altında, 20.000 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. Nanolif Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin Analizi

Nanolif bazlı yapıların mekanik özelliklerini incelemek üzere Instron (Instron 4411) marka universal test cihazı kullanılmıştır. Numuneler makine yönü ve malzeme eni yönünde olmak üzere iki farklı şekilde ve 30 x 10 mm (boy x en) ölçülerinde kesilmiştir. Nanolifler, elektroçekim cihazında alüminyum folyo üzerine toplandıktan sonra, nanolifli yapı folyoya yapışmıştır. Dolayısıyla folyonun, nanolifli yapının mukavemet değerlerini etkilememesi amacıyla nanolifli yapıdan ayrılması gerekmiştir. Ancak ayrılma esnasında nanolifli yapıda birtakım zedelenme ve parçalanmalar olduğundan, folyonun nanolifli yapıdan tamamen ayrılması yerine, iğne ile çizilmek kaydıyla yırtılması yoluna gidilmiştir.

Numuneleri koparmak için 50 N (Newton)'luk kuvvet uygulanmıştır. Piston hızı 10 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Yük değerleri 'kg' cinsinden okunmuş daha sonra Megapascal'a (MPa) çevrilmiştir. Çevrim hesabı aşağıdaki 1 numaralı denklem kullanılarak yapılmıştır. Uzama değerleri ise 'mm' olarak kaydedilmiş ve daha sonra '%' olarak hesaplanmıştır (2 numaralı denklem).

$$1\text{-Mukavemet (MPa)} = \text{Maksimum Kuvvet(kg)} \times 9,81 / \text{Kesit alanı (mm}^2\text{)}$$

$$2\text{-Uzama (\%)} = \text{Numunenin Son Boyu (mm)} - \text{Numunenin İlk Boyu} / \text{Numunenin İlk Boyu} \times 100$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çözelti Özellikleri

Elektroçekim işlemi öncesi hazırlanan çözeltilerin viskozite, iletkenlik ve pH değerleri Tablo 1'de sunulmaktadır.

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

Polimer	Karışım Oranı (%)	Viskozite (cP)	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	pH
PVA(%12)/AVG	90/10	113	1030	5
PEO(%2)/CS(%2)	40/60	324	1281	2;3

Çözeltilerin viskozite ve iletkenlik değerleri, çözeltide kullanılan polimerlerin cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Çözelti viskozitesi, lif inceliği ve özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. Düşük viskozitelere sürekli lif üretimi mümkün olmazken, yüksek viskozitelere

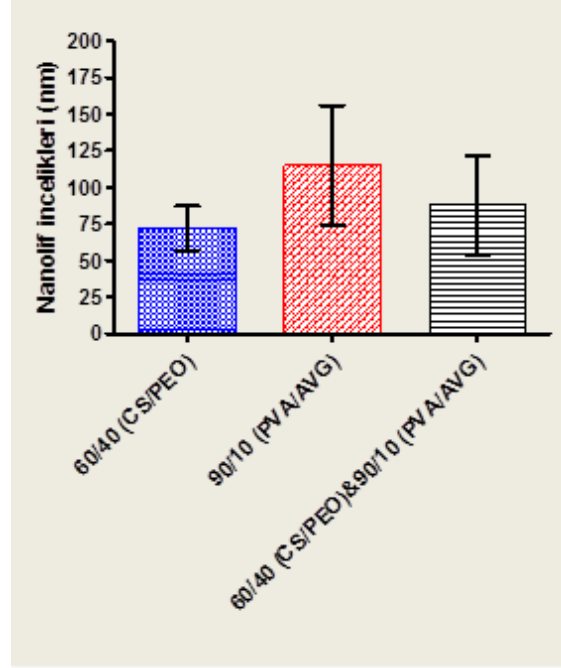
çıkıldığında jet oluşumunun güçleştiği belirlenmiştir. Kullanılan polimer çeşidine göre ideal viskozite değerleri farklılıklar göstermektedir. Şimdiye dek yapılan araştırmalarda 1-215 poise aralığında viskoziteye sahip birbirinden farklı çözeltilerle elektroçekim üretimi başarıyla gerçekleştirilebilmiştir [Doshi and Reneker 1995].

Elektroçekim işlemi, elektrottan alınan elektrik yükünün polimer çözeltisine aktarılmasıyla nanolif eldesi prensibine göre gerçekleştiği için, kullanılan çözeltinin bu işleme yanıt verecek ölçüde iletken özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bu özellik, polimer maddenin uygun çözücü ile çözülmesi sonucu ortaya çıkan iyonize gruplardan faydalanılarak elde edilmektedir. Bununla birlikte, iletkenliğin azalması, elektrik kuvvetleri altında jetin yeterince uzayamamasına ve dolayısıyla düzensiz liflerin ve boncuk hatasının meydana gelmesine neden olmaktadır [Erdem, 2013]. Hayati ve arkadaşları, yüksek iletkenliğe sahip çözeltilerin, elektroçekim işlemi esnasında uygulanan şiddetli elektriksel alan içinde çok fazla kararsızlık gösterdiğini ve bu durumun daha ince liflerin üretilmesine olanak sağladığını saptamışlardır. Genel olarak en ince nanolifler, iletkenliğin yükseldiği durumlarda elde edilmektedir [Hayati *et al.* 1987].

Çalışmalarımızda elde ettiğimiz viskozite ve iletkenlik değerleri, aynı elektriksel alanda farklı iki çözeltinin başarılı bir şekilde elektroçekime tabi tutulabilmesini mümkün kılmıştır.

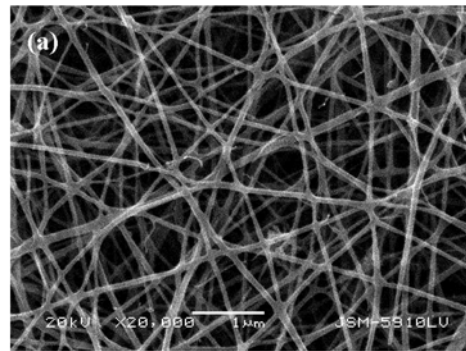
3.2. Nanolifli Yapıların Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi

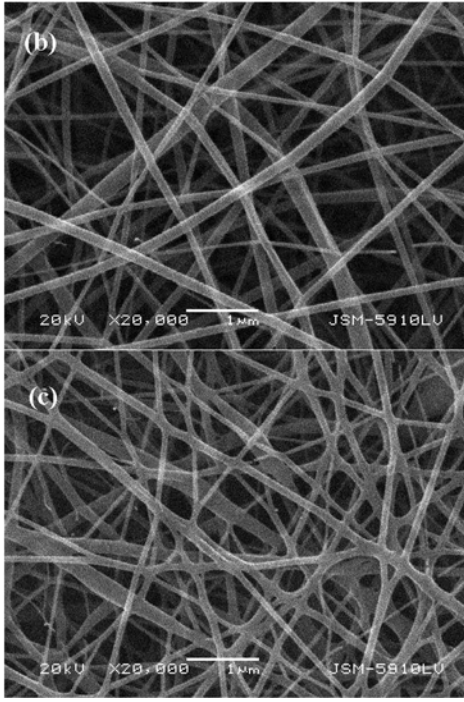
Şekil 3'de, CS/PEO ve PVA/AVG çözeltilerinin ayrı ayrı ve birlikte olmak üzere, benzer özellikteki elektriksel alana beslenmeleri ile oluşan nanolifli yapıların SEM çekimleri sunulmaktadır. Nanoliflerin sorunsuz ve hatasız bir şekilde, çeşitli inceliklerde oluştuğu görülmektedir. Lif incelikleri ile ilgili dağılım grafiği Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2. Karışım çözeltilerinden elektroçekim ile elde edilen nanoliflerin incelikleri.

CS/PEO (%60/40) karışım çözeltisinden elektroçekim yoluyla elde edilen liflerin incelikleri ortalama 72 ± 15 nm olarak saptanmıştır. PVA/AVG (%90/10) karışım çözeltisinin elektroçekime tabi tutulması ile elde edilen liflerin incelikleri ortalama 115 ± 41 nm olarak bulunmuştur. Her iki çözeltinin aynı anda aynı elektriksel alana beslenmeleri sonucu elde edilen nanolifli yapıda (CS/PEO&PVA/AVG), lif inceliklerinin ortalama 88 ± 34 nm olduğu kaydedilmiştir. Sonuçlar birbirleri ile karşılaştırıldığında CS/PEO bazlı nanoliflerin, PVA/AVG bazlı nanoliflere göre daha ince oldukları görülmüştür. Bu durum, aynı elektroçekim işlemi şartlarında CS/PEO karışımı çözeltinin viskozitesinin daha düşük, iletkenliğinin ise daha yüksek olması ile açıklanabilir.





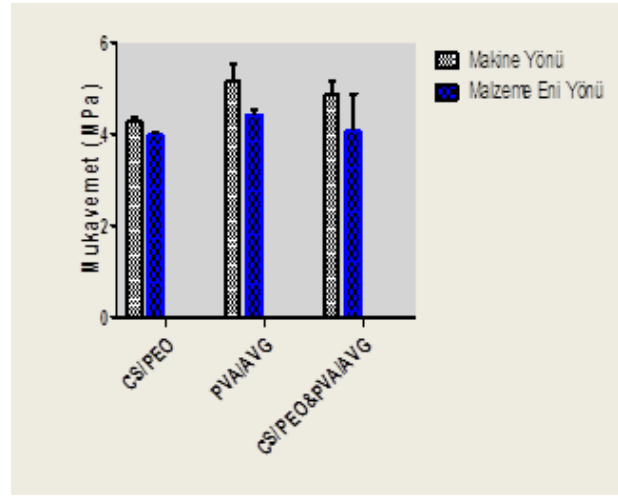
Şekil 3. Nanolifli yapıların SEM çekimleri: (a) CS/PEO (%60/40), (b) PVA/AVG (%90/10), (c) CS/PEO (%60/40)& PVA/AVG (%90/10).

3.3. Nanolifli Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

CS/PEO ve/veya PVA/AVG bazlı nanolifli yapıların hem makine hem de malzeme eni yönündeki mukavemet(MPa) ve uzama(%) değerleri Şekil 4 ve 5’de sunulmaktadır. Test numunelerinin mukavemet değerlerinin makine yönünde daha yüksek, malzeme eni yönünde ise daha düşük olduğu kaydedilmiştir. Öte yandan, % uzamaların, malzeme eni yönünde daha fazla, makine yönünde ise daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durum, elektroçekim esnasında dönmekte olan toplayıcı silindirin üzerine, makine yönünde, nanoliflerin birbirlerine paralel bir şekilde düzenli olarak yatırılması, buna karşın malzeme eni yönünde daha dağınık lif toplanmalarının söz konusu olması ile açıklanmıştır.

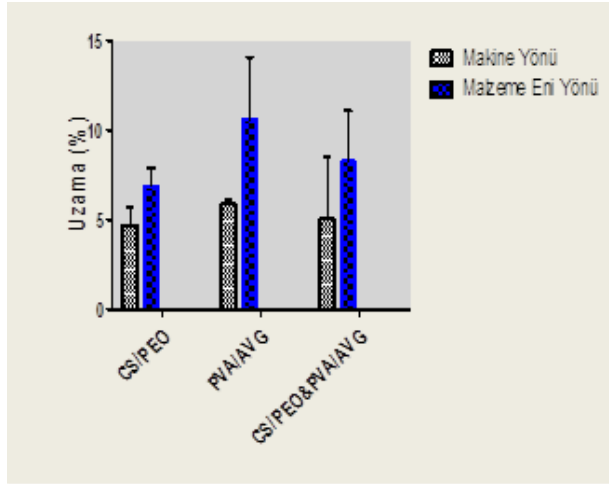
CS/PEO bazlı nanolifli yapıların makine ve malzeme eni yönündeki mukavemet değerleri sırasıyla 4,2 MPa ve 3,9 MPa olarak hesaplanmıştır. PVA/AVG bazlı nanolifli yapıların ise makine ve malzeme eni yönündeki mukavemet değerleri sırasıyla 5,1 ve 4,4 MPa olarak belirlenmiştir. CS/PEO&PVA/AVG bazlı nanolifli yapıların makine ve malzeme eni yönündeki mukavemet değerleri de sırasıyla 4,8 MPa ve 4 MPa olarak kaydedilmiştir. Sonuçlar, %90 oranında PVA içeren nanolifli yapıların, %60

oranında Kitosan (CS) içeren nanolifli yapılara göre daha mukavim olduklarını ortaya koymuştur. Yüksek ölekül ağırlığına sahip olan PVA’nın molekülleri arasında meydana gelen hidrojen bağları sayesinde daha kompakt bir yapı meydana getirdiği, ayrıca, lineer yapıdaki polimer zincirinin yoğun kristalin alan meydana getirme potansiyelinin bulunduğu ve bu durumun da mukavemeti artırıcı bir etki yapabileceği daha önceki çalışmalarda sunulmuştur [Lee *et al.* 2004]. Diğer taraftan Kitosan’ın sert ve kırılğan bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir [Chen *et al.* 2008].



Şekil 4. Nanolifli yapıların mukavemet değerleri(MPa)

CS/PEO bazlı nanolifli yapıların makine ve malzeme eni yönündeki uzama değerleri sırasıyla %4,7 ve %6,8 olarak hesaplanmıştır. PVA/AVG bazlı nanolifli yapıların ise makine ve malzeme eni yönündeki uzama değerleri sırasıyla %5,9 ve %10,6 MPa olarak belirlenmiştir. CS/PEO&PVA/AVG bazlı nanolifli yapıların makine ve malzeme eni yönündeki mukavemet değerleri de sırasıyla %5,1 ve %8,2 olarak kaydedilmiştir. Sonuçlar, %90 oranında PVA içeren nanolifli yapıların, %60 oranında Kitosan (CS) içeren nanolifli yapılara göre daha esnek olduklarını ortaya koymuştur. Sonuçlar, Yang ve arkadaşlarının, PVA’nın şekil değiştirebilme ve yüksek derecede esneme kabiliyetine dair yapmış oldukları yorumlar ile tutarlılık göstermiştir [Yang *et al.* 2007].



Şekil 5. Nanolifli yapıların uzama değerleri (%).

4. Sonuç

İkili besleme ünitesi sistemi ile Kitosan/Polietilen oksit ve Polivinil alkol/ Aloe barbadensis bazlı nanolifli yapılar başarılı bir şekilde elektroçekim işlemine tabi tutulmuştur. Elektroçekim işlemi öncesinde hazırlanan çözeltilerin viskozite ve iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Çözelti viskozitesinin düşük, iletkenliğin ise yüksek olduğu Kitosan/PEO karışımından elektroçekim yöntemiyle elde edilen liflerin inceliklerinin, yüksek viskozite ve düşük iletkenliğe sahip olan PVA/Aloe vera karışımından elde edilen liflere göre daha az olduğu bulunmuştur. PVA/ Aloe barbadensis karışımından elde edilen nanolifli yapının hem makine hem de malzeme eni yönündeki mukavemet ve uzama değerleri, Kitosan/PEO karışımından elde edilen liflere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu durum, ikili besleme ünitesi ile elektroçekimi gerçekleştirilen Kitosan/Polietilen oksit ve Polivinil alkol/ Aloe barbadensis karışımı nanolifli yapının nihai mekanik özelliklerini etkilemiştir. İkili besleme ünitesi sistemi yardımıyla, birbirleri ile aynı çözeltide karışma zorluğu bulunan farklı polimerlerle çok işlevli nanolif bazlı kompozit yapıların üretilebileceği görülmüştür.

Kaynaklar

- Chen, Z., Mo, X., He, C. and Wang, H., 2008. Intermolecular interactions in electrospun collagen-chitosan complex nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, **72**, 410–418.
- Doshi, J. and Reneker, D.H., 1995. Electrospinning process and applications of electrospun fibers. *Journal of Electrostatics*, **35**, 151–156.
- Erdem, R., 2013. Nanolif bazlı yara örtüsü yüzeyi geliştirilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 174.
- Hayati, I., Bailey, A.I. and Tadros, T.F., 1987. Investigations into the mechanisms of electrohydrodynamic spraying of liquids. 1. Effect of electric field and the environment on pendant drops and factors affecting the formation of stable jets and atomization. *Journal of Colloid and Interface Science*, **117**, 205–221.
- Kozanoğlu, G.S., 2006. Elektrospinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 161.
- Lee, J.S., Choi, K.H., Ghim, H.D., Kim, S.S., Chun, D.H., Kim, H.Y. and Lyoo, W.S., 2004. Role of molecular weight of atactic poly(vinyl alcohol) (PVA) in the structure and properties of PVA nanofabric prepared by electrospinning. *Journal of Applied Polymer Science*, **93**, 1638–1646.
- Park, K.R. and Nho, Y.C., 2003. Preparation and Characterization by Radiation of Poly(vinyl alcohol) and Poly(N-vinylpyrrolidone) Hydrogels Containing Aloe barbadensis. *Journal of Applied Polymer Science*, **90**, 1477–1485.
- Son, Y.S., 2006. Rheological characterization of carbon nanotubes/poly(ethylene oxide) composites. *Rheol Acta*, **46**, 231–238.
- Tikhonov, V.E., Stepnova, E.A., Babak, V.G., Yamskov, I.A., Guerro, J.P., Jansson, H.B., Llorca, L.V.L., Salinas, J., Gerasimenko, D.V., Avdienko, I.D. and 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, D., Li, Y. and Nie J., 2007. Preparation of gelatin/PVA nanofibers and their potential application in controlled release of drugs. *Carbohydrate Polymers*, **69**, 538–543.