

# Elektroçekim Yöntemiyle Üretilen Biyouyumlu Katkılar İçeren PLA Bazlı Nanolifli Yüzeylerde Mikroyapı İncelemeleri

Nihat TOSUN<sup>1\*</sup>, Dilan ŞEN ULUSAL<sup>1</sup>, Gül TOSUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23200 Elazığ.

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23200 Elazığ.

Sorumlu yazar e-posta\*: [ntosun@firat.edu.tr](mailto:ntosun@firat.edu.tr)  
[sendilan9372@gmail.com](mailto:sendilan9372@gmail.com)  
[gultosun@firat.edu.tr](mailto:gultosun@firat.edu.tr)

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6211-5044>  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8004-8375>  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8828-827X>

Geliş Tarihi: 15 Mart 2023 ; Kabul Tarihi: 15 Kasım 2023

## Öz

### Anahtar kelimeler

Elektroçekim; Nanolif;  
Polilaktik asit;  
Hidroksiapatit;  
Titanium dioksit.

Bu çalışmada, tıbbi ve biyomalzeme olarak kullanılmak üzere biyouyumluluk oranları iyi olan farklı özelliklere sahip titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), hidroksi apatit (HA) ve polilaktik asit (PLA) kullanılarak farklı konsantrasyon ve karışım oranlarında farklı çözeltiler hazırlanmış ve bu farklı çözeltilerden sabit proses parametrelerinde elektro çekim yöntemi kullanılarak nanolifli yüzeyler üretilmiştir. Üretilen nanolif örtülerin karakteristik özellikleri, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve EDX analizleri ile belirlendi. Deney sonuçlarından, HA veya TiO<sub>2</sub> miktarındaki artışın boncuk oluşumunu ve lif çaplarını arttırdığı tespit edilmiştir. FT-IR analiz sonuçları incelendiğinde tüm deney sonuçlarında olağandışı bir farklılığa rastlanmamıştır.

## Microstructure Investigations on PLA-Based Nanofiber Surfaces Containing Biocompatible Additives Produced by Electrospinning Method

### Abstract

### Keywords

Electrospinning;  
Nanofiber; Polylactic acid; Hydroxyapatite;  
Titanium dioxide.

In this study, different solutions with different concentrations and mixing ratios were prepared using titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>), hydroxyapatite (HA) and polylactic acid (PLA) with good biocompatibility rates for use as medical and biomaterials, and nanofibrous surfaces were produced from these different solutions using electrospinning method in fixed process parameters. The characteristic properties of the nanofiber surfaces produced were determined by Scanning Electron Microscopy (SEM) and EDX analysis. From experimental results, it was determined that the increase in the amount of HA or TiO<sub>2</sub> increased the bead formation and fiber diameters. When the FT-IR analysis results were examined, no unusual difference was found in all test results.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Nanoteknoloji; atomların ve moleküllerin en küçük birimlerini ifade etmek ve maddeyi atom boyutu ile kontrol etmek amacı ile kullanılmaktadır. Nanoteknolojik çalışmalarda, nano boyutlara inildikçe yüzey alanı/hacim oranı artmakta ve malzemelere eşsiz özellikler kazandırılmaktadır. Nanoteknoloji ve nanolifler, hem araştırmacıların hem de ticari firmaların günümüzde oldukça ilgi gösterdiği alanlar arasında yerini almıştır.

Nanoliflerin, geleneksel liflere kıyasla çok daha küçük çap, son derece yüksek yüzey alanı/hacim oranı, düşük yoğunluk, yüksek gözenek hacmi, küçük gözenek boyutu, üstün sertlik ve çekme dayanımı gibi benzersiz özelliklerinden dolayı, nanolif kullanım alanları da gitgide artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Kullanılan polimerin çeşidine bağlı olarak, üstün özelliklere sahip olan bu nanoliflerden üretilen yüzeylerin membran, doku mühendisliği, diş hekimliği uygulamaları, kompozit yapılar, koruyucu giysiler, tıbbi tekstiller,

antimikrobiyal maskeler, biyosensörler ve ses yalıtımlı paneller, hava ve araç filtreleri gibi birçok uygulama alanında kullanımı yaygın olarak gerçekleşmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir (Çallıoğlu 2013).

Nanolifler, şablon sentezi, faz ayrımı, kendinden düzenleme, eriyik püskürtme, elektro lif çekme (elektro-eğirme) gibi yöntemlerle üretilmektedir. Elektro lif çekme (Elektro-eğirme) polimerler, kompozitler ve seramikler gibi çeşitli malzemelerden çapları 3 nm ila 1 µm aralığında değişen kalınlıklarda sürekli nanoelyaf elde edilebilen en etkili bir üretim yöntemidir (Huang vd. 2003, Andradı 2008). Elektro çekim yöntemi ile üretilen nanoliflerle ilgili üzerine en çok araştırma yapılan konu, biyomedikal uygulama alanlarıdır. Özellikle umut vaat eden araştırma konuları ise; doku mühendisliğinde kullanılan nanolif bazlı üç boyutlu doku iskeleleri (scaffold), kontrollü ilaç salınımı için nanolif araçların tasarımı ve nanolifli yara örtü malzemeleridir. Yapılan araştırmalarda, nanolifli yüzeylerin, insan cildinde oluşan yara ve yanıkların tedavisinde kullanımının mümkün olduğu görülmüştür. Elektro çekim ile üretilen nanolifli yüzeyler, gözenekli yapı ve küçük gözenek boyutları, çok geniş yüzey alanı, yara üzerinde etkin bir kapama, iyi oksijen geçirgenliği ve bakteriyel ajanlara karşı bariyer olma özelliği sergilemiştir (Huang vd. 2003, Li ve Younan 2004, Üstündağ ve Karaca 2009).

Biyomalzeme yüzeyinde yapılacak nanotopografik desenlemeyle, hücresel davranışlar kontrol edilebilmektedir (Badamia et al. 2006). Biyomühendislik canlı dokuları yeniden inşa edilirken, uygun hücre kaynağı, biyobozunur iskele ve uygun hücre kültürü gibi temel elemanlara ihtiyaç duyulur (Yoshimoto et al. 2003). Biyobozunur polimerlerden hazırlanmış, üç boyutlu gözenekli yapıya ve büyük yüzey alanına sahip birbiri ile bağlantılı nanolifli iskelelerin, doku mühendisliği, ilaç geliştirilmesi, ilaç salım sistemleri, yara iyileştirici özellikteki yara örtüleri ve gen terapisi gibi birçok alanda uygulaması bulunmaktadır (Jiang et al. 2005, Arslan 2007). Doku mühendisliğinde poliglolik asit, poliL-kaprolakton, PLGA (polilaktik glikolik asit), kollajen

ve polilaktik asit gibi polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal dokuların oluşturulması sürecinde, hücre dışı matrisin yerine geçebilecek geçici doku destekleri olarak nanolifler kullanılmaktadır. Bu nanoliflerden oluşturulan destekler, doğal hücre dışı matrisin bileşimindeki makromoleküllerin boyutlarıyla olan benzerliği nedeniyle doku gelişimine yardımcı olmaktadır (Arslan 2007).

Yapılan geniş çaplı literatür araştırması incelendiğinde; çeşitli araştırmacılar tarafından elektro çekim yöntemi kullanılarak birtakım araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda, başarılı bir elektro çekimi yöntemi için viskozite, çözelti konsantrasyonu, voltaj ve besleyici toplayıcı arası mesafe gibi farklı elektro çekim parametrelerinin (Doshi and Reneker 1995, Deitzel vd. 2001, Kleinmeyer vd. 2002, Frenot and Chronakis 2003, Van der Schueren vd. 2011, Çallıoğlu 2013, Swain vd. 2013, Çakmak 2014, Duygulu 2020, Uslu 2020, Yıldız vd. 2021), şırınga sayısının (Dosunmu vd. 2006, Krucinska vd. 2010, Özmen ve Aksoy 2020), toplayıcı tipinin (Mülazım ve Canpolat 2017), kutuplama yöntemi (Kılıç vd., 2008), püskürtme şekillerinin (Badıllı ve Tarımcı 2009), iletkenlik ve besleme hızının (Wu vd. 2009) lif morfolojisine etkilerini incelemişlerdir. Üstündağ ve Karaca (2009) tarafından yapılan çalışmada, elektro çekim yöntemi kullanılarak PVA/NaAlg karışımıyla ürettikleri liflerin yara örtüsü olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yara örtüsü olarak kullanılmak istenen bu lifli yüzeylere oksijen geçirgenliği, su emicilik testi, kalınlık gibi testler uygulanmıştır. Üretilen lifli yüzeyler tavşan yaraları üzerine denemiştir ve tavşanlardan alınan doku örnekleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, örtülerin yara küçültme çapı bakımından önemli bir etki yarattığı kanısına varılmıştır. Çağlayan (2019) tarafından yapılan çalışmada ise, polikaprolakton (PCL), ipek fibroin (İF) ve yara iyileştirme özelliğiyle tanınan kurkumin (KR) kimyasalları kullanılarak, elektro çekim yöntemiyle elde edilen nanoliflerin oluşturduğu yara örtülerinin ilaç salım sisteminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda, PLA (Polylactic Acid), HA (hidroksi apatit) ve Titanyum

dioksit (TiO<sub>2</sub>) hiçbir araştırmada birlikte kullanılmadığı ve bu kimyasalların kullanılarak tıbbi tekstil malzemesi olarak herhangi bir çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, PLA, HA ve TiO<sub>2</sub> içeren farklı kompozisyonlarda çözeltiler hazırlanıp elektro çekim yöntemiyle üretilen nanolifli yüzeylerin özellikleri incelendi. Üretilen nanoliflerin oluşturduğu örtüler, yara örtüsü veya tıbbi malzeme olarak kullanılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, biyouyumluluk oranları iyi olan titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), hidroksi apatit (HA) ve polilaktik asit (PLA) belirli oranlarda karıştırılmıştır. Bu kimyasalların farklı oranlardaki karışım kompozisyonları ile elde edilen çözeltiler kullanılarak elektro çekim yöntemiyle nanolifli örtülerin üretimi yapıldı. Deneysel çalışmalarda polimer olarak Purapol LX175 marka granül PLA kullanıldı. Kumru Kimya/Türkiye firmasından temin edilen PLA'nın kimyasal formülü (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub> olup özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** PLA'nın özellikleri

Yoğunluk	1,24 g/cm <sup>3</sup>
Erime akış indeksi (210°C)	8 g/10 dak
Erime akış indeksi (190°C)	3 g/10 dak
Stereokimyasal saflık	96 (% L-izomer)
Görünüm	Kristal beyaz peletler
Artık monomer	maks. %0,3
Su / nem	maks. 400 ppm
Erime sıcaklığı	155 °C
Cam geçiş sıcaklığı	55-60 °C

Hem doğal yollarla hem de sentetik olarak üretilebilen HA, kemiklerde ve diş minesinde bulunan bir mineraldir. Günümüzde sıklıkla kemik yerine kullanılmaktadır. Biyouyumluluğu yüksek olan bir mineral olmasından ötürü deneysel çalışmada kullanılmıştır. Kullanılan HA'nın özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

TiO<sub>2</sub> (Titanyum dioksit) biyouyumluluğu ve korozyon direnci yüksek, antibakteriyel özelliğe sahip ve kolay şekillendirilebilen bir malzemedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan TiO<sub>2</sub> özellikleri

Tablo 3'te verilmiştir. TiO<sub>2</sub> ve HA tozları Nanografi/Türkiye firmasından temin edilmiştir.

**Çizelge 2.** HA'nın özellikleri

Ortalama partikül boyutu	50 nm
Renk	Beyaz
Saflık	%99,95
Kurutma kaybı	%2,21
PH (%1 sulu çözelti)	6,95
Ağır metaller	<%0,001
Çözünürlük	Ca/P:1,68
Kalsiyum	%27,4
Fosfor	%12,5
Sodyum	%0,3
Alüminyum	%0,035
Demir	%0,05
Sülfat	%0,048
Erime noktası	1650 °C
Ağırlık	3,16 g/cm
Formül	[Ca <sub>5</sub> (OH)(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] <sub>x</sub>

**Çizelge 3.** TiO<sub>2</sub>'nin özellikleri

Parçacık boyutu	200 nm
CAS	13463-67-7
Saflık	%99,5
Özgül ağırlık	4,1 g/cm <sup>3</sup>
Kütle yoğunluğu	1,1 g/cm <sup>3</sup>
105°C'de kayıp	%0,6
Yağ soğurması	18/100 cm <sup>3</sup> /g
Su gereksinimi	25/100 cm <sup>3</sup> /g

### 2.2. Metot

Yapılan deneysel çalışmalarda 0.01 g hassasiyete sahip Lante Mh Hassas cep terazisi, Velp Arex marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Çözeltiler ısıtma yapılmadan 800 rpm devir sayısında hazırlandı. İlk önce ağırlıkça %8 PLA çözeltisinin hazırlanması için gerekli PLA tartıldı ve çözücü olarak kloroform eklendi. Çözdürme işlemi laboratuvar şartlarında 4 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılarak yapılmıştır. Ağırlıkça %4 HA çözeltisinin oluşturulması için HA tartıldı ve üzerine çözücü olarak DMF (Dimetil Formamid) eklendi ve karıştırıldı. Ağırlıkça %4 TiO<sub>2</sub> çözeltisini oluşturmak için gerekli TiO<sub>2</sub> tartıldı ve çözücü olarak DMF eklenerek karıştırıldı. PLA içerisine sonradan eklenen karışımlardan sonra en az 1 saat

boyunca karıştırma işlemine devam edilmiştir. Nanolifler üretilirken farklı çözeltiler hazırlandı. Bu çözeltiler Çizelge 4'te görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan çözücüler Life Biotek Medikal/Türkiye firmasından temin edilmiştir.

**Çizelge 4.** Hazırlanan çözelti kompozisyonları

Deney No.	Çözelti Parametreleri		
	%8 PLA	%4 TiO <sub>2</sub>	%4 HA
1	10	-	-
2	9,8	0,2	-
3	9,8	-	0,2
4	9,6	0,2	0,2
5	9,4	0,2	0,4
6	9,4	0,4	0,2

Çizelge 4'teki çözeltiler kullanılarak, Fytronix marka elektrospinning (elektroçekim) cihazında yüzeylerin üretimi gerçekleştirildi. Cihazda güç kaynağı, besleme ünitesi ve topraklanmış silindir toplayıcı mesafesi ayarlanabilir iğne düzesi ve üretim aşamasının canlı izlenebildiği bir kamera sistemi bulunmaktadır.

DeneySEL çalışmada besleme ünitesinde besleme yapmak için 10 ml kapasitede plastik şırıngalar kullanıldı. Silindir toplayıcı üzerine altlık malzemesi olarak alüminyum folyo yerleştirilmiş ve oluşan nanolif örtüleri, bu altlık alüminyum folyo üzerine toplanması sağlanmıştır. Yapılan ön denemelerde iyi bir lif oluşumu toplayıcı tambur devri 10 rpm, 12 cm iğne-düze arası mesafe, 15 kV voltaj ve 50 µl/dak çözelti besleme hızında elde edilmiştir. Bu nedenle bu parametreler tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

### 3. Bulgular ve Tartışma

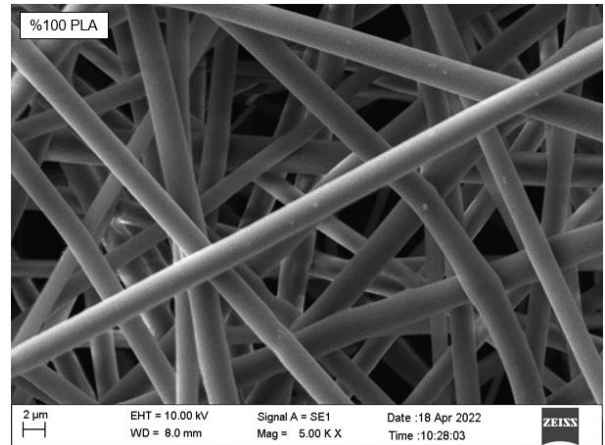
Tablo 1'teki çözeltiler kullanılarak belirtilen deney şartlarında üretilen polimer yüzeylerinin SEM ile mikroyapı incelemeleri, EDX ve FT-IR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre) analizleri yapıldı. Bu analizler Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapıldı. 12 cm iğne-düze arası mesafe, 15 kV voltaj ve 50 µl/dak çözelti besleme hızında üretilen bir nanolifli örtü Şekil 1'de görülmektedir.



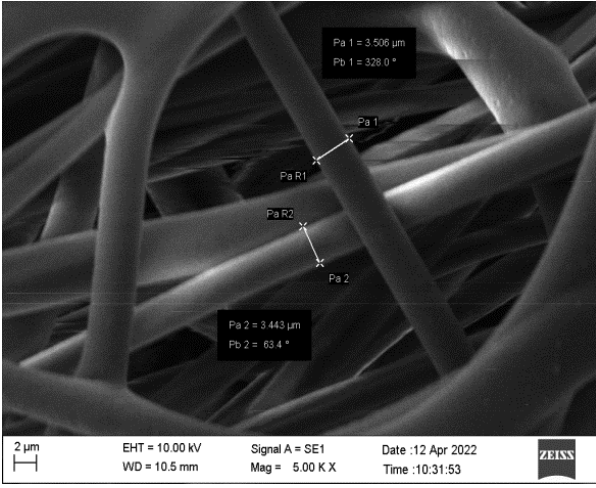
**Şekil 1.** Elektro çekim yöntemi ile üretilen nanolifli örtü

%100 PLA (%8 PLA) kullanılarak üretilen D1 nolu numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 2'de görülmektedir. %100 PLA kullanılan Şekil 2'deki görüntülerde, lif oluşumunun gerçekleştiği, fakat bu parametreler ve konsantrasyon ile liflerdeki boncuk oluşumunun meydana gelmediği görülmektedir. Şekil 2'deki görsellenmiş olan SEM görüntüsü %100 PLA içeren D1 nolu numuneye aittir.

%98 PLA ve %2 TiO<sub>2</sub> karışımının çözeltisinden iğne-düze arası mesafe 12 cm, 15 kV voltaj ve 50 µl/dak çözelti besleme hızında üretilen D2 numunesine ait SEM görüntüsü Şekil 3'te görülmektedir. Şekil 3'te 100X ve 5KX büyütmede TiO<sub>2</sub>'in homojen bir şekilde dağıldığı ve lifler üzerinde boncuklanmaya sebep olmadığı görüldü. Bu deneydeki asıl amaç, TiO<sub>2</sub>'in PLA ile birlikte homojen dağılmasını sağlamaktır. Görsellerde bunun sağlandığı görülmektedir.



**Şekil 2.** D1 nolu numunenin SEM görüntüsü



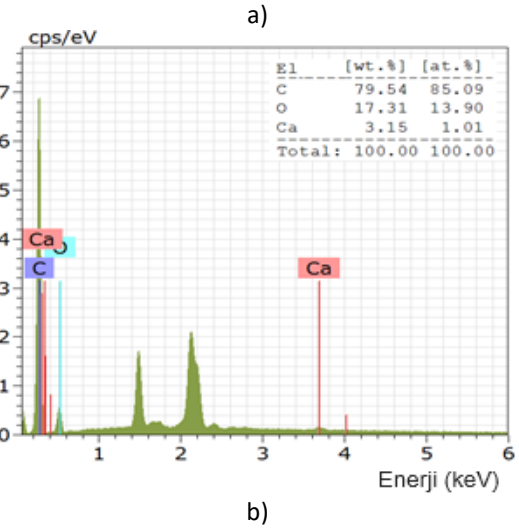
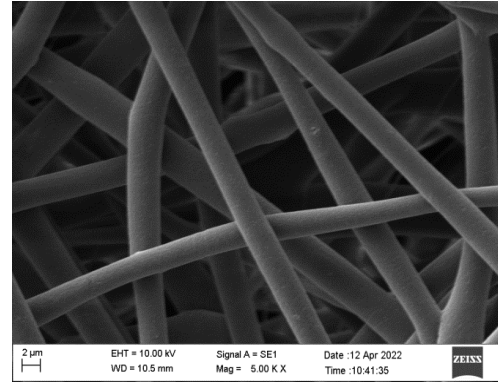
Şekil 3. D2 nolu numunenin SEM görüntüsü

D3 numunesi için %98 PLA ya %2 HA karıştırılmıştır. Cihaz parametreleri sabit tutulmuştur. Şekil 4'teki SEM analizi sonuçları incelendiğinde, HA'nın PLA ile homojen dağılımlı lifler oluşturduğu gözlemlenmiştir. HA, lifler üzerinde kalıntı bırakmayarak üniform lifler oluşmasını sağlamıştır. HA'nın PLA ile birlikte homojen lifler oluşması istenilen sonuca ulaşıldığını göstermektedir. Şekil 4'teki D3 numunesine ait malzemenin iç yapısında hangi elementlerin olduğunu görüntüleme olanağı sağlayan EDX analizinde, lif üzerinden alınan örmekten C, O ve Ca pikleri görüntülenmiştir. Numuneler, analiz için hazırlanırken paladyum (Pd), Silisyum (Si) ve Altın (Au) tozlarıyla kaplanmış olduğu için analiz sonuçlarında bu piklere de rastlanılmıştır. Ayrıca EDX analizlerindeki Al piklerinin sebebi, altlık olarak kullanılan Al folyodan kaynaklı bir durumdur.

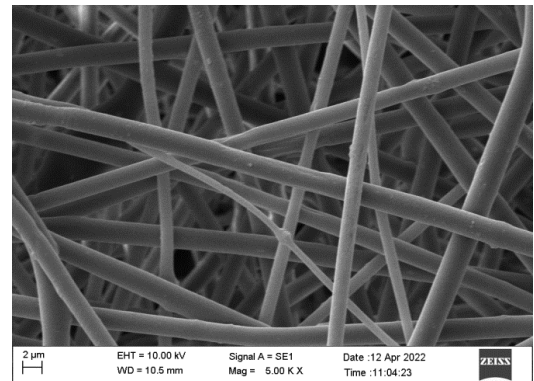
Çözeltide %96 PLA, %2 HA ve %2 TiO<sub>2</sub> kullanılıp cihaz parametreleri sabit tutularak üretilen D4 numunesine ait SEM görüntüleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi PLA ile birlikte HA ve TiO<sub>2</sub>'nin homojen bir şekilde dağıldığı ve üniform lifler elde edildiği görülmektedir. HA ve TiO<sub>2</sub>'in lifler üzerinde hiçbir olumsuz etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

D6 numunesi için %94 PLA, %4 TiO<sub>2</sub> ve %2 HA kullanılmıştır. Cihaz parametreleri sabit tutularak üretilen D6 numunesine ait SEM görüntüsü ve EDX analizi Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, cihaz parametreleri sabit tutularak TiO<sub>2</sub> miktarının

arttırılmasıyla üretilen numunedeki liflerde boncuk oluşumu artmıştır. Bu deney numunelerinde istenilmeyen bir durum olduğu için TiO<sub>2</sub> oranının %2 olarak kalmasının lif örtüleri için daha sağlıklı sonuçlar doğuracağı anlaşılmıştır. Şekil 8'deki EDX analizinde boncuklar üzerinden alınan örmekten C, O, Ti ve Ca piklerine rastlanılmıştır.

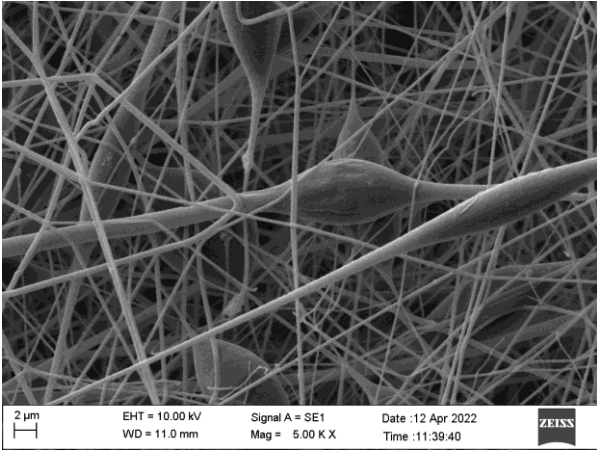


Şekil 4. D3 nolu numunenin a) SEM görüntüsü ve b) EDX analizi



Şekil 5. D4 nolu numunenin SEM görüntüsü





Şekil 6. D5 nolu numunenin SEM görüntüsü

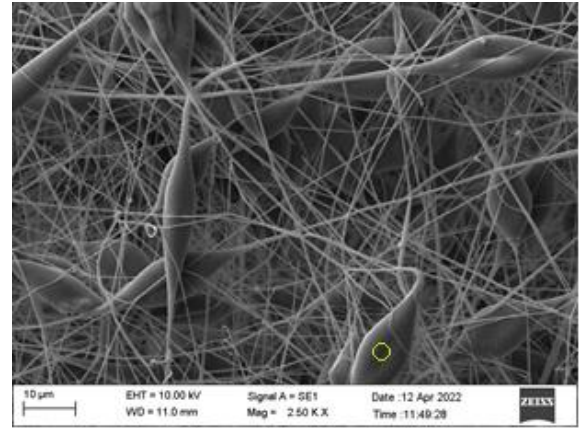
D5 numunesi için %94 PLA, %4 HA ve %2 TiO<sub>2</sub> kullanılmıştır. Cihaz parametreleri sabit tutularak üretilmiş olan D5 numunesinin SEM görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. D5 numunesi için HA miktarının artırılması boncuk oluşumuna sebep olmuştur.

FT-IR analizinde, numunenin moleküler yapısında oluşan fonksiyonel gruplar tespit edilir. Kimyasal yapılarında oluşan değişimin veya oluşan etkileşimin incelemesi yapılır. Bu sebeple numunelerin FT-IR analizleri yapılmıştır. FT-IR analizi spektrumları 4000-550 cm<sup>-1</sup> bant genişliğinde ele alınmıştır. %100 PLA içeren D1 nolu numuneye ait ve %96 PLA, %2 HA ve %2 TiO<sub>2</sub> içeren D4 nolu numuneye için alınmış olan FT-IR spektrum sonuçları Şekil 8'deki grafiklerde gösterilmiştir.

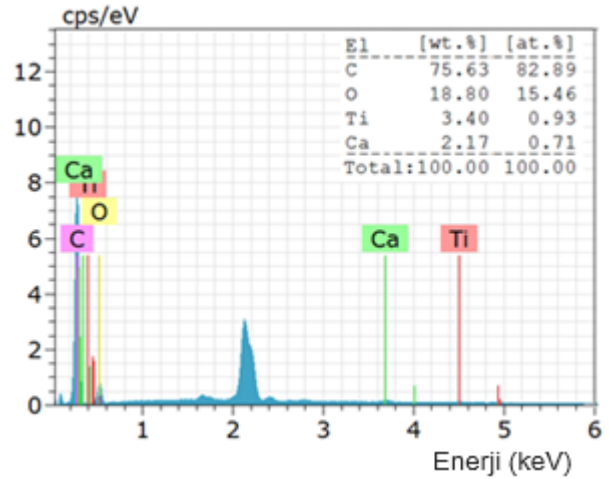
FT-IR analiz sonuçları incelendiğinde tüm deney sonuçlarında olağandışı bir farklılığa rastlanmamıştır. 3100-3400 cm<sup>-1</sup> bandında karşılaşılan piklerin N-H veya -OH (hidroksil) gerilmesine ait olduğu söylenebilir (Uslu,2020).

Fakat üretilen numunelerin analizlerinde böyle bir pik aralığına rastlanmamıştır. 2993-2997 cm<sup>-1</sup> bant aralığındaki piklerin ise C-H (alkil) gerilmelerinden kaynaklandığı söylenebilir. 650-1550 cm<sup>-1</sup> gerilme bandı aralığında oluşmuş piklerin ise sırasıyla C-O, C-N, C-C ve N=O gerilmelerine ait olduğu bilinmektedir. Farklılık olarak oluşan piklerde bazı 2000-2500 cm<sup>-1</sup> bant aralığında pik oluşmaması ve bunun açığa çıkan karbonil grubu olmadığına göstergesidir. Birbirinden oldukça farklı piklerin oluşmamasının sebebi, analizi yapılan deney

numunelerinin moleküler yapısını koruduğunu ve numuneyi oluşturmuş bileşenlerde yalnızca fiziksel bir reaksiyon gerçekleştiği şeklinde açıklanabilir.

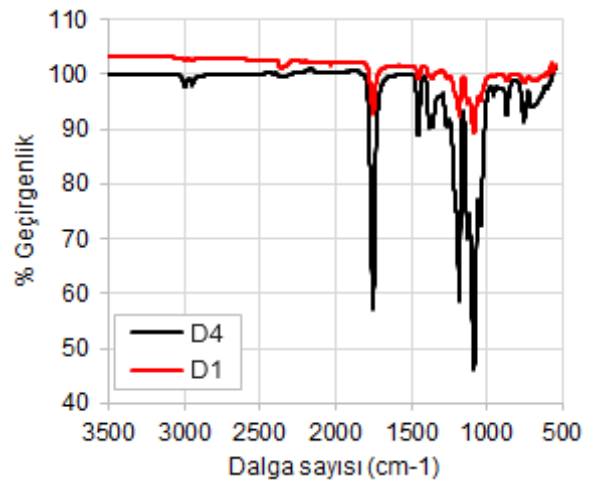


a)



b)

Şekil 7. D6 nolu numunenin a) SEM görüntüsü ve b) EDX analizi



Şekil 8. D1 ve D4 nolu numunelerin FT-IR spektrumu

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada elektro çekim yöntemiyle nano boyutta liflerin üretilmesi ile ilgili deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, biyouyumluluğu yüksek olan TiO<sub>2</sub> ve HA gibi katkılar PLA polimeri içerisine ilave edilmiştir. Farklı kombinasyonlarda çözeltiler hazırlanarak elektro çekim yöntemiyle nanolifli yüzeyler (örtüler) üretilmiştir. Elde edilen yüzeylerin mikroyapı karakterizasyonu SEM ve EDX analizi yapılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde SEM analizine göre PLA ile birlikte kullanılan HA ve TiO<sub>2</sub> katkıları ile homojen bir şekilde lif oluştuğu gözlemlenmiştir. HA ve TiO<sub>2</sub> katkılarının liflerde olumsuz etki yaratmadığı aksine biyouyumluluk bakımından iyi sonuçlar doğuracağı öngörülmüştür. HA veya TiO<sub>2</sub> miktarındaki artışın boncuk oluşumunu ve lif çaplarını arttırdığı tespit edilmiştir. FT-IR analiz sonuçları incelendiğinde tüm deney sonuçlarında olağandışı bir farklılığa rastlanmamıştır.

#### Teşekkür

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.20.34 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

#### 5. Kaynaklar

- Andrady, A.L., 2008. Science and Technology of Polymer Nanofibers, Wiley Pres, New Jersey.
- Arslan, Y.E., 2007. Elektrodöndürme Tekniğiyle Olusturulan Polimer Nano-Liflerin Memeli Hücresi Etkileşimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 51s.
- Badami, A.S., Kreke, M.R., Thompson, M.S., Riffle, J.S., Goldstein, A.S., 2006. Effect of Fiber Diameter on Spreading, Proliferation, Anddifferentiation of Osteoblastic Cells on Electrospun Poly(Lactic Acid) Substrates. *Biomaterials*, **27**, 596–606. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.05.084>
- Badilli, U. ve Tarımcı, N., 2009. Elektro-Püskürtme Yöntemi ve Nanoteknolojideki Uygulamaları. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, **38 (2)**, 117-135. [https://doi.org/10.1501/Eczfak\\_0000000521](https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000521)

- Çağlayan, B., 2019. Elektrolif Çekim Yöntemiyle Üretilen Nanoliflerin Yara Örtülerinde İlaç Salınım Sistemi Olarak Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, 99s.
- Çakmak, Y., 2014. Elektrostatik Lif Çekim Yöntemiyle Bor Katkılı Nanolif Yüzey Eldesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, 97s.
- Çallıoğlu, F.C., 2013. Silindirik Elektro Lif Çekim Yöntemi ile Nano Lif Üretimi. *Tekstil ve Mühendis*, **20(91)**, 35-49.
- Deitzel, J.M., Kleinmeyer J., Harris D., Becktan N.C., 2001. The Effect of Processing Variables on the Morphology of Electrospun Nanofibers and Textiles. *Polymer*, **42(1)**, 261-272. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00250-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00250-0)
- Doshi, J., Reneker D.H., 1995. Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. *Journal of Electrostatics*, **35(2-3)**, 151-160. [https://doi.org/10.1016/0304-3886\(95\)00041-8](https://doi.org/10.1016/0304-3886(95)00041-8)
- Dosunmu, O.O., Chase, G.G., Kataphinan, W., Reneker, D.H., 2006. Electrospinning of Polymer Nanofibres from Multiple Jets on a Porous Tubular Surface. *Nanotechnology*, **17(4)**, 1123-1127. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/4/046>
- Duygulu, N., 2020. Elektro Eğirme Yöntemiyle Nano Boyutlu TiO<sub>2</sub> Parçacık Katkılı PLA Nanofiber Üretimi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, **10 (1)**, 7-18.
- Frenot, A., Chronakis, I.S., 2003. Polymer Nanofibers Assembled by Electrospinning. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **8(1)**, 64-75.
- Huang, Z.M., Y.Z. Zhang, M. Kotaki, Ramakrishna, S., 2003. A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composite Science and Technology*, **63(15)**, 2223-2253. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00178-7)
- Jiang, H., Hu, Y., Li, Y., Zhao, P., Zhu, K., Chen, W., 2005. A Facile Technique to Prepare Biodegradable Coaxial Electrospun Nanofibers for Controlled Release of Bioactive Agents. *Journal of Controlled Release*, **108**, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2005.08.006>
- Kılıç, A., Oruç, F., Demir, A., 2008. Effects of Polarity on Electrospinning Process. *Textile Research Journal*, **78(6)**, 532-539.

- Kleinmeyer, J., Deitzel J. M., Harris D., Tan N.C.B., 2001. Electrospinning of Polymer Nanofibers with Specific Surface Chemistry. *Polymer*, **42(1)**, 261-272.
- Krucinska, I., Gliscinska, E., Chrzanowski, M., Komisarzczyk, A., 2010. Multi-Nozzle Laboratory Stand For Electrospinning Process. Autex 2010, 10th World Textile Conference Proceedings, pp. 25, June 21-23, Vilnius, Lithuania.
- Li, D., Xia, Y., 2004. Electrospinning of Nanofibers: Reinventing the Wheel. *Advanced Materials*, **16(14)**, 1151-1170.  
<https://doi.org/10.1002/adma.200400719>
- Mülazım, İ. ve Canpolat, M.F., 2017. Farklı Tipteki Toplayıcı Plakaların Elektrostatik Çekim ile Elde Edilen Nanoliflerin Morfolojisi Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **29 (1)**, 161-170.
- Özmen, G., Aksoy, S.A., 2020. Eş Eksenli Elektro Lif Çekim Yöntemiyle Termal Enerji Depolama Özellikli Kompozit Nanolif Üretimi Üzerine Bir Araştırma. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **8(4)**, 1248 – 1259.
- Swain S. K., Dash S., Behera C., Kisku S. K., Behera L., 2013. Cellulose Nanobiocomposites with Reinforcement of Boron Nitride: Study of Thermal, Oxygen Barrier and Chemical Resistant Properties. *Carbohydrate Polymers*, **95(2)**, 728-732.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.080>
- Uslu, E., 2020. Elektro Eğirme Yöntemiyle Üretilen Farklı Nanoelyaflarla Takviye Edilmiş Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 113s.
- Üstündağ, G.C. ve Karaca, E., 2009. Poli (vinil alkol)/sodyum alginat karışımlarından elektro çekim yöntemi ile elde edilen nanolifli yüzeylerin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **14(1)**, 159-172.
- Van Der Schueren, L., Schoenmaker, B.D., Kalaoglu Altan Ö.İ., Clerck, K.D., 2011. An Alternative Solvent System for the Steady State Electrospinning of Polycaprolactone. *European Polymer Journal*, **47(6)**, 1256-1263.  
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2011.02.025>
- Wu, Y., Mackay, A., Mcdaniel, J.R., Chilkoti, A., Clark, R. L., 2009. Fabrication of Elastin- Like Polypeptide Nanoparticles for Drug Delivery by Electrospraying. *Biomacromolecules*, **10(1)**, 19-24.  
<https://doi.org/10.1021%2Fbm801033f>
- Yıldız, A., Demir, C., Bayramol, D.V., Ağırhan, A.Ö., 2021. Fe3O4@HA@Ag Nanokompozitlerin Hazırlanması,