

16TH INTERNATIONAL THE RECENT
PROGRESS SYMPOSIUM ON TEXTILE
TECHNOLOGY AND CHEMISTRY

May 4th - 5th - 6th 2017-BURSA/TURKEY

16.ULUSLARARASI TEKSTİL
TEKNOLOJİSİ VE KİMYASINDAKİ
SON GELİŞMELER SEMPOZYUMU

4 - 5 - 6 Mayıs 2017-BURSA

Yayıncı/ Publisher : TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Bursa Şubesi ve
TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Bursa Şubesi
UCTEA Chamber of Chemical Engineers - Bursa Branch
UCTEA Chamber of Textile Engineers - Bursa Branch

Editörler / Editors : Dilek KUT, Funda GÖKSEL

Basım / Printed by : Star Ajans Ltd. Şti. Alaaddin Bey Mah. 634. Sk. Ayaz Plaza
Nilüfer - Bursa / Turkey

Kopya Sayısı / Number of copies : 500

Her hakkı saklıdır. Bu kitaptaki bildirilerin içerikleri ile ilgili bütün sorumluluk yazarlara aittir. Editörler, Organizasyon Komitesi ve diğer tüm kurullar için bağlayıcı nitelik taşımazlar.

Bu kitabın tamamı veya bir kısmı Kimya Mühendisleri Odası ve Tekstil Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmadan elektronik, mekanik, fotokopi veya başka herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

Editor's Note:

All the contribution presented in this publication have been reviewed and approved by the International Scientific Committee. The editors and 16th International the Recent Progress Symposium on Textile Technology and Chemistry Symposium organizing committee are not responsible for any materials contained in the papers. All the rights belong to authors.

After this Book of Proceedings 16th International the Recent Progress Symposium on Textile Technology and Chemistry Symposium has been published, the authors and other persons/institutions wishing to publish reference or in some manner use the papers published here, are kindly requested to explicitly identify prior publication in the book of proceedings of 16th International the Recent Progress Symposium on Textile Technology and Chemistry including the ISBN number and page numbers concerned.

***“16. Uluslararası Tekstil Teknolojisi ve Kimyasındaki Son Gelişmeler Sempozyumu”
4-5-6 Mayıs 2017 Bursa***

***“16th International the Recent Progress Symposium on Textile
Technology and Chemistry”
4th - 5th - 6th May 2017 Bursa***

Publisher Contact Address :

Bursa Akademik Odalar Birliği Yerleşkisi (BAOB)
Odunluk Mah. Akademi Cad. No:8 A/4 Blok Kat: 2 Nilüfer / BURSA

Phone : +90 224 451 66 82

Fax : +90 224 451 65 82

E-mail: bursa@kmo.org.tr

www.tekstilsempozyumu.org

ISBN : 978 - 605 - 01 - 1022 - 7

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Bursa Şubesi ve
TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Bursa Şubesi
tarafından 4 - 5 - 6 Mayıs 2017 tarihlerinde düzenlenen
“16. Uluslararası Tekstil Teknolojisi ve Kimyasındaki Son Gelişmeler Sempozyumu”
notlarından derlenmiştir

TMMOB
Kimya Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Yönetim Kurulu
ve
TMMOB
Tekstil Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Yönetim Kurulu

Tasarım ve Baskı	
 nisan reklam&tanıtım Konakradı Sk. Petek İşhanı No:3/4 Osmangazi / BURSA Tel. 0224 221 17 94 nisanposta@gmail.com	

TMMOB
KİMYA MÜHENDİSLERİ ODASI
BURSA ŞUBESİ YÖNETİM KURULU

BAŞKAN	Ali ULUŞAHİN
II. BAŞKAN	Rengin DEMİRÖZ
SEKRETER ÜYE	Erkan Tekin MUTLU
SAYMAN	Yalçın GEMİCİ
ÜYE	Hale Nur OYMAK
ÜYE	Melih GÜZEL
ÜYE	Ayhan ÇAKMAK

TMMOB
TEKSTİL MÜHENDİSLERİ ODASI
BURSA ŞUBESİ YÖNETİM KURULU

BAŞKAN	Fusun Tan EKREN
II. BAŞKAN	İstikbal GÜNDOĞDU
SEKRETER ÜYE	Hakan TURBİL
SAYMAN	Ahmet GÜMÜŞ
ÜYE	Yasemin KAVUŞTURAN
ÜYE	Sibel ÖZCAN
ÜYE	Selcan Zeren ANDIÇ

YÜRÜTME KURULU

AKCA, Ali (Kimya Mühendisi)

KUT, Dilek (Tekstil Müh. Prof. Dr)

DÖVEN, Gökçe (Kimya Mühendisi)

TURBOL, Hakan (Tekstil Mühendisi)

AKLEMAN, Erkan (Kimya Mühendisi)

ATAKCI, Osman (Öğrenci Üye)

CÖMERT, Dilan (Öğrenci Üye)

AYBEY, Yelda (Sekretarya)

ULUDERE Selin (Sekretarya)

GİLER Gamze (Sekretarya)

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

Tekstil Komisyonu Başkanı

TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Dilek KUT

Prof. Dr. Şule ALTUN

Prof. Dr. Binnaz KAPLANGIRAY

Prof. Dr. Recep EREN

Yük. Müh. Funda GÖKSEL

BİLİM KURULU

AKÇAKOCA KUMBASAR, Perrin	Ege University, Turkey
AKŞİT, Aysun	Dokuz Eylül University, Turkey
ALTUN, Şule	Bursa Technical University, Turkey
ANİŞ, Pervin	Uludağ University, Turkey
BECERİR, Behçet	Uludağ University, Turkey
BLAGA, Mirela	Technical University of Iasi, Romania
BONET ARACİL, María Angeles	Polytechnic University of Valencia, Spain
BÖLÜKBAŞI, Ufuk	Middle East Technical University, Turkey
ÇOPUR, Mehmet	Bursa Technical University, Turkey
DURAN, Kerim	Ege University, Turkey
EKE BAYRAMOĞLU, Elif Eser	Ege University, Turkey
EREN, Hüseyin Aksel	Uludağ University, Turkey
EREN, Recep	Uludağ University, Turkey
GÖKSEL, Funda	Tübitak Butal
GÜÇER, Şeref	Uludağ University, Turkey
GÜRSOY, Nevin Çiğdem	İstanbul Technical University, Turkey
HERZBERG, Osnat	Maryland University, USA
KADIRGAN, Neşet	Marmara University, Turkey
KANIK, Mehmet	Uludağ University, Turkey
KAPLANGİRAY, Binnaz	Uludağ University, Turkey
KADIOĞLU, Hüseyin	Ege University, Turkey
KHAN, Saad	NC State University, USA
KÖRLÜ, Ayşegül	Ege University, Turkey
KUT, Dilek	Uludağ University, Turkey
MANUEL MENESES GUİMARAES, Luis	University of Minho, Portugal
MARMARALI, Arzu	Ege University, Turkey
MENCELOĞLU, Yusuf	Sabancı University, Turkey
MISHRA, Rajesh	Technical University of Liberec, Czech Republic
OKUR, Ayşe	Dokuz Eylül University, Turkey
ÖCAL, Nüket	Yıldız Technical University, Turkey
ÖNER, Erhan	Marmara University, Turkey
ÖZDOĞAN, Esen	Ege University, Turkey
ÖZTÜRK, Neşe	Osmangazi University, Turkey
PAUL, Roshan	University of Beira Interior, Portugal

BİLİM KURULU

SARIIŞIK, Merih	Dokuz Eylül University, Turkey
SAYED, Usha	Institute of Chemical Technology, Mumbai
SPONZA, Delya	Dokuz Eylül University, Turkey
TAŞKIN, Çağatan	Uludağ University, Turkey
ULCAY, Yusuf	Uludağ University, Turkey
VOLMAJEH VALH, Julija	University of Maribor, Slovenia
YILDIZ, Ufuk	Kocaeli University, Turkey
AKBULUT, Ekrem	Sanayi/Industry
ALTAY, Kasım	Sanayi/Industry
BAYRAM, Kerim	Sanayi/Industry
ÇAĞAN, Rasim	Sanayi/Industry
DEĞİRMENCİ, Bülent	Sanayi/Industry
GÖK, Özcan	Sanayi/Industry
GÜLDOĞAN, Güven	Sanayi/Industry
GÜNDOĞAN, Seda	Sanayi/Industry
MANER, Şemi	Sanayi/Industry
MECİT, Diren	Sanayi/Industry
SARAÇ, Mustafa	Sanayi/Industry
SAVAŞ, Fikri	Sanayi/Industry
SEVİM, Emrah	Sanayi/Industry
SEZEN, Mutlu	Sanayi/Industry
ŞENER, Mehmet	Sanayi/Industry
TEKİN, Alp	Sanayi/Industry
TÜRKÜN, Erol	Sanayi/Industry
YAPRAK, Nejat	Sanayi/Industry
YENİ, Ömer	Sanayi/Industry
YILDIRIM, Rafet	Sanayi/Industry

ÖNSÖZ

Hiçbir ülke tekstil sanayisinden vazgeçmezken düşük ve orta teknolojili bir sektör olarak görülen tekstil üretimi içine konan teknoloji, performans, tasarım gibi değerlerle kendini yeniden üreterek katma değerini yükseltiyor ve uygulama alanlarını savunma ve medikal gibi çok sofistike alanlara kadar genişletiyor. Dünya tekstil ticaretinden aldığı yaklaşık 4% payını daha çok konvansiyonel alanlarda gerçekleştiren ülkemiz çağın getirdiği bir yol ayrımında bulunuyor. Bu payı korumak ve büyütmek ancak pazarın ve çağın talep ettiği ürünleri tasarlayarak üreterek ve bunların içindeki katma değeri arttırarak mümkün.

Bu tarz ürünlerin üretilbilmesine olanak verecek iklimin yaratılması için devletçe bir çok sektörde olduğu gibi tekstilde desteklenen ar-ge ve tasarım merkezleri oluşturma çabaları devam ederken henüz bunlardan amaca dönük anlamlı bir sonuç elde edilmiş değil.

Ulusal bir hedef olarak kabul edilen ancak gerçekleşmesi tekstil alanında şu anda mümkün gözükmeyen 2023 hedefleri çerçevesinde yapılan swot analizinde artan çevreci talep ve uygulamalar tehdit olarak görülürken enerjiden sonra çevreyi en çok kirleten ikinci üretim alanı olarak tekstil bu haklı ve etik talepten en çok etkilenecek sektör olarak öne çıkıyor.

Gelişen, değişen ve artık çoklu amaçları gerçekleştirmeye dönük sürekli gelişerek evrilen tüketici istekleri, bireyselliğin dayattığı farklılaşma talebi, artan refahla birlikte sadece gelenekselle sınırlı kalmayan, kamunun bireyin rahat konfor ve güvenliğini zorunlu kılan yasa ve yasakları; doğanın acımasızca yok edilmesine ve geri dönülemez noktaya gelen çevre kirliliği ve küresel ısınma, sektörün geleneksel üretim metotlarıyla yola devam etmesini imkansız kılıyor.

14. ve 15. sempozyumların ana konusu olarak belirlediğimiz sürdürülebilirlik varlık mücadelesi anlamında çözülmesi artık çok daha önemli bir sorun haline geldi. Bu bağlamda ülkemiz açısından yarattığı istihdam ve katma değerle vazgeçilmez olan Tekstil Sektörünün bu acımasız rekabet içinde ayakta kalmasını sağlamak, yeni teknolojiler, ürünler geliştirebilmesini sağlamak çabasına katkı koymak amacıyla 32 yıldır düzenli olarak TMMOB Kimya Mühendisleri Odası'nda düzenlenen Tekstil Teknolojisi ve Kimyasındaki Son Gelişmeler Sempozyumu son 6 yıldır TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası'nın da katılımıyla “ Türkiye de Tekstil Sektörünün Geleceği” ana temasıyla Uluslararası katılımlı olarak düzenlenerek bilimsel çalışmalara ve sanayi içinden uygulamalara bir platform oluşturmaya çalışılmıştır. Yapılacak olan “ **Türkiye de Teknik Tekstil Üretimi ve Ekonomisi**” ve “**Tekstil Sürmeli.. Ne Pahasına?** “ konulu 2 panelde farklı talepleri olabilen sektör paydaşlarının tartışarak sektörün ve ülkenin ortak faydası için görüş ve önerilerini bir sonuç bildirgesi potasında birleştirebilmeleri hedeflenmiştir.

Saygılarımızla

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Bursa Şubesi
TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Bursa Şubesi

İÇİNDEKİLER

PROGRAM KURULLARI.....	IV
Önsöz	VII
The Effect of The Solvent Type on The Electrospinning of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Nanofibers Polivinilidin Florür (PVDF) Nano Liflerin Elektro Lif Çekiminde Çözücü Tipinin Etkisi	13
F. Cengiz Çallıoğlu and H. Devocioğlu	
Adsorption of SO ₂ on metal-doped graphene oxide fibers.....	21
ÖzgeAlptoğa, Nuray Uçar, Nilgün K Yavuz and Ayşen Önen	
Elektro-eğirme yöntemi ile deniz kaynaklı β -trikalsiyum fosfat ve polikaprolakton kompozit nanolifler için yenilenebilir tekstil uygulamaları	25
Erdi BULUŞ, Yeşim Müge ŞAHİN, ve Gül TOSUN	
Caustic soda treatment of electrospun cellulose acetate nanofibers for disperse dying.....	35
O. Uslu, and H. Akyildiz, Y. Aykut	
Grafen Kaplı Poliamid Mono Filament İpliklerin Üretimi ve Elektriksel, Optik ve Morfolojik Özelliklerinin Araştırılması	40
Mahmut TAŞ, Yasin ALTIN, Ayşe BEDELOĞLU	
Tourmaline/Polypropylene Filament Production for Energy Generating Smart Textiles.....	44
D. VATANSEVER BAYRAMOL	
Lif Destekli İletken PUR Kompozit Malzemelerin Tasarımı ve Üretimi Design and Production of Fiber-Reinforced Conductive PUR Composite Materia.....	50
Devrim D. Soyaslan	
Shape Memory Performances of Fabrics Produced from Shape Memory Polyurethane Fibers Spun Under Different Conditions	57
S.Aslan and S. Kaplan	
Production and Analysis of Cellulose Nanowhisker Reinforced Thermo-water Responsive Polyurethane Nanocomposites	64
Nazife KORKMAZ MEMİŞ and Sibel KAPLAN	
Kompozit uygulamaları için doğal lif içeren tekstil yapıları: Takviye etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi Natural fibre containing textile preforms for composite applications: Comparative assessment of their reinforcing efficiency.....	73
Burcu KARACA UĞURAL, Esen ÖZDOĞAN	

2-D Piezoelectric Woven Fabric for Energy Harvesting Smart Textile Applications.....	79
D. VATANSEVER BAYRAMOL	
HOLLOW YARN DESIGN FOR SOCKS PRODUCTION.....	84
P. Çelik, T. Bedez Üte, M. B. Üzümcü and H. Kadoğlu	
Keten ve Keten Karışımı İpliklerden Üretilen Örme Kumaşların Konfor Özelliklerinin İncelenmesi.....	94
S. ŞARDAĞ ve E. K ÇEVEN	
Üç Boyutlu Sandviç Örme Kumaşların Tekerlekli Sandalye Minderlerinde Kullanımının Araştırılması	103
G. ERTEKİN ve A. MARMARALI	
Ultrasonik Yıkamanın Örme Kumaş Nem İletim Özelliklerine Etkisi.....	113
Yasemin KAVUŞTURAN, Mehmet TİRİTOĞLU	
Elektromanyaetik Bariyer Özellikli Tekstiller.....	123
Prof.Dr. O. Sermet Kabasakal, Hamed Ghorbanpoor, Doç. Dr. Macid Nurbaş	
Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğine Sahip Polipirol ve Poli(3,4-etilendioksitiyofen) Kaplanmış Poliester Kumaş Üretimi ve Karakterizasyonu.....	128
Hidayet KÖSE, Suat ÇETİNER	
HT (Yüksek Sıcaklık-Basınç) Prosesinde Sodyum Klorit (NaClO ₂) ile Pamuk Linterinin Ağartılması.....	133
Talha AKKUŞ, Salih Zeki YILDIZ, Ahmet Zeki KADAYIFÇI, Osman CAN	
Fungal Lakkazların Denim Ağartmadaki Etkinliklerinin Karşılaştırılması [Comparison of Denim Bleaching Efficiency of Fungal Laccases].....	142
Murat Yavuz, ve Mehmet Çetin Aytekin	
Pamuk Liflerini Reaktif Boyalarla Asidik Ortamda Boyanabilir Hale Getirmek Üzere Katyonikleştirme İşleminin Optimizasyonu.....	153
Rıza Atay, Canan Kazan Şahin, Ruşen Alp, Ali Murat Taşçı	
Yünlü kumaşların reaktif boyarmaddeler ile boyanmasında lipozomların kullanım olanaklarının incelenmesi.....	162
G. E. KARTAL, A. M. SARIİŞİK, G. ERKAN, A. ÖZTÜRK ve B. ÖZTÜRK	
Kaplama / Laminasyon İşlemi ile Denim Kumaşlara Fonksiyonel Özellik Kazandırılması.....	172
M. Yüceer, A. Genç, C. Güneşoğlu, N. Karakaplan, M. Ertek Avcı	
Nano Kaplama Yönteminin Tekstil Materyallerinin Terbiye İşlemlerinde Kullanım Olanakları.....	181
Şule S. Uğur ve A. Merih Sarıışık	

Çok Tabakalı Nano Kaplama Yöntemi İle Pamuklu Kumaşların Su İticilik ve Güç Tutuşurluk Özelliğinin Geliştirilmesi.....	189
Mevlûde Bilgiç, Şule Sultan Uğur	
Yara örtüsü kullanımı için pH'a duyarlı PVP/AMPS içerikli akıllı tekstillerin sentezi	196
Betül Taşdelen	
Application of microencapsulated phase change materials in preparation of thermoregulating textiles : a review.....	200
M. Ahrari, R. Khajavi, M. Kamali Dolatabadi, T. Toliyat and A Rashidi	
Mikrokapsül Teknolojisi İle Termal Denge Kurulmasına Yardımcı Halı Üretimi.....	210
Cem Güneşoğlu, Mehmet Topalbekiroğlu, Sennur Alay, Orhan Dal, Tayfun Cevher	
Investigated the water repellent performance of chenille fabrics.....	216
S. YILÖNÜ, B. KARTAL and B. ZERVENT ÜNAL	
An Investigation on Easy-Care Finishing of Viscose Fabric.....	220
Mehmet ORHAN	
Effect of finishing on protective leather gloves.....	216
Arife Candas Adiguzel Zengin, Nima Pourrasoul Sardroudi, Nilay Ork, Gökhan Zengin and Eylem Kılıç	
Tekstil Ürünlerine Yerleştirilen Ultrasonik Sivrisinek Kovucularının Koruma Amaçlı Kullanımı.....	233
M. KARAHAN, N. KARAHAN, P. AKYUVA ve B. KUL	
Karides atıklarından kitosan biyopolimerinin üretimi ve nanoparçacıklarının sentezi.....	237
Mahmut TAŞ, Emel Ceyhun SABIR, Aygöl KÜÇÜKGÜLMEZ	
SYNTHESIS OF MICROCRYSTALLINE CELLULOSE FROM WASTE COTTON FIBERS ATIK PAMUK LİFLERİNDEN MİKROKRİSTAL SELÜLOZ SENTEZİ.....	240
Sabiha DEMİRCİ, Ebru BOZACI, Fatma AYHAN	
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF N-VINYLCAPROLACTAM BASED POLYMER WITH THERMORESPONSIVE MOISTURE ABSORPTION PROPERTIES.....	245
Sena DEMİRBAĞ, Sennur ALAY AKSOY and Cemil ALKAN	
Fotokromik boyaların tekstil sanayinde kullanımı.....	250
EP. Akçakoca Kumbasar ve S. Morsunbul	
Removal of Crystal Violet Dye From Aqueous Solutions Using Natural Materials: Equilibrium Isotherms, Kinetic and Thermodynamic Studies.....	255
Gülçin DOĞAN, and Prof. Dr. Semra ÇORUH	

OZON GAZIYLA RENKSİZLEŞTİRİLMİŞ BOYAMA SUYUNUN REAKTİF BOYAMA PROSESİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI.....	263
Tek. Müh. Elif Aylin AKÇUL, Öğr. Gör. Dr. Burcu SANCAR BEŞEN, Doç.Dr. Onur BALCI, Kimya Müh. Fulden YÜKSEL, Tek. Müh. Günel YILDIZ	
Denim Yıkama Atık Sularının Tekrar Kullanılmak Üzere Zeolitle Adsorpsiyon Yöntemine Göre Arıtılması.....	268
Teks. Yük. Müh. Cem Bağırın, Prof. Dr. Ayşegül Körlü ve Prof. Dr. Saadet Yapar	
Tekstil Boyar Maddeleri ve Yardımcı Kimyasalların Voltametrik ve Spektroskopik Karakteristiklerine Yönelik Veri Tabanı Oluşturulması.....	278
Derya Yılmaz, Şengül Teke, M. Haluk Türkdemir	
Hava Kirleticilerinin TiO ₂ Katalizörü ile Fotokatalitik Bozunması TiO ₂ Catalyzed Photocatalytic Degredation of Air Pollutants.....	289
Duygu G. R., Şule A., Aysu A. ve Ali K.	
Carbon footprint of antibacterial cotton fabric produced with sol-gel method.....	294
Yeşim ÜNVAR, Aysun AKŞİT and Eylem KILIÇ	
Dökümhane Atıklarının Tekstil Endüstrisinde Değerlendirilmesi.....	301
E. H. G. , S.Ç. ve Y.T.	
Teknik Tekstil Takviyeli Kompozit Ayakkabı Koruyucunun Darbe Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi.....	308
Seçkin ERDEN Yard.Doç.Dr., Mustafa ERTEKİN, Dr., Hüseyin Ata KARAVANA Doç.Dr.	
Ageing behavior of temperature sensitive leathers.....	313
Arife Candaş ADIGÜZEL ZENGİN, Eylül KÜÇÜKAKIN and Behzat Oral BİTLİSLİ	
Rubbing Fastness Values of the Automotive Steering Wheel Leathers.....	321
KARAVANA, H. A , IŞIK, N O, YALÇIN, F. ve AKPOLAT F.	
A new, alternative, subjective measurement-based antibacterial test method.....	329
Zeynep ÖMEROĞULLARI BAŞYİĞİT, Dilek KUT	
Tekstil Sektörü ve Sürdürülebilirlik.....	331
Pervin ANİS ve Tuba TOPRAK	
Perde ve Perde Sistemleri Yardımıyla Binalarda Sağlanabilecek Enerji Tasarruf Potansiyeli.....	345
Prof. Dr. Mehmet KANIK, Arş. Gör. Gizem MANASOĞLU, Tekstil Müh. Semih SORUÇ	
Enerji Verimliliği İçin Bir Çalışma: İplik Fabrikası Buhar Sistemlerinde Maliyet Analizi ve Enerji Verimliliği Olanakları.....	354
Eylem PEHLİVAN, Mesut TURAN	

İPLİK İŞLETMELERİNDE BULUNAN MERKEZİ TOZ EMİŞ
SİSTEMİ İLE KLİMA TOZLARININ TOPLANMASI.....364
İbrahim Seçil AYDIN, Mehmet KERTMEN, Osman ÖZGER

DİKİŞ MAKİNELERİNDE MOTOR TİPİ VE MOTOR-MAKİNE BAĞLANTI
ŞEKİLLERİNE GÖRE ENERJİ TÜKETİMİNİN İNCELENMESİ.....367
Serkan Boz, Mustafa Engin, Savvas Vassiliadis, M. Çetin Erdoğan

Numune Departmanında Oluşan Fiziksel Kayıpların 8D Problem
Çözme Tekniği ile Minimize Edilmesi.....374
M. İŞLER, M. KÜÇÜK, M. GÜNER

Tekstil Baskı İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliğine Genel Bir Bakış
A. T. ÖZGÜNEY, N. KERTMEN ve A. KÖRLÜ

Bursa Bölgesinin Teknik Tekstil Alt Yapısının Geliştirilmesi Projesi.....387
TEKE Ş., DEĞİRMENCİ N. ve DOĞRUOK S.Y.

The Effect of The Solvent Type on The Electrospinning of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Nanofibers

Polivinilidin Florür (PVDF) Nano Liflerin Elektro Lif Çekiminde Çözücü Tipinin Etkisi

F Cengiz Calhoğlu¹ and H Devecioğlu¹

Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, Isparta, TURKEY
fundacengiz@sdu.edu.tr

ABSTRACT

In this study, optimization of suitable solvent type and mixture to obtain uniform PVDF nanofibers was achieved. PVDF polymer concentration is 15 wt % for all solutions and various solvent types (Acetone, Dimethylformamide (DMF), Dimethylsulfoxide (DMSO), N,N-Dimethylacetamide (DMAC)) and solvent mixture ratios (1/1 DMF/Acetone, 1/3 DMAC/Acetone etc.) were used for the nanofiber production. All solutions were prepared under the same conditions (stirring time, temperature). Firstly, optimum process parameters of needle electrospinning were determined to obtain uniform PVDF nanofibers. According to the optimization studies of process parameters; 13 kV voltage, 15 cm distance between the electrodes and 0.150 ml/h solution feed rate were applied for all solutions. Then fiber morphology was analyzed using scanning electron microscope (SEM) and fiber diameter and diameter uniformity values were calculated. The effects of solvent type on the spinnability and fiber morphology were determined. According to the results, DMSO is not suitable solvent for PVDF nanofiber production because, it was not possible to produce nanofibrous surface using PVDF/DMSO solution, while acetone, DMF, DMAC solvents are suitable. Pure acetone is also not suitable for PVDF nanofiber production, because only beads occurred not fibers. Therefore it is possible to say for PVDF/acetone; electrospraying was achieved instead of electrospinning. Also, fiber stickiness occurred from PVDF/DMAC solution. For the production of PVDF nanofibrous surface, the best solvent mixture is DMF/Acetone. As the acetone concentration increases in solution, it was observed that shorter and finer jet during the electrospinning process.

ÖZET

Bu çalışmada, üniform PVDF nano lifler elde etmek için uygun çözücü tipi ve karışımı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tüm çözeltiler için PVDF polimer konsantrasyonu % 15 'dir ve nano lif üretimi için farklı çözücü tipleri (Aseton, dimetilformamid (DMF), dimetilsülfoksit (DMSO), N,N-dimetilasetamid (DMAC)) ve çözücü karışım oranları (1/1 DMF/aseton, 1/3 DMAC/aseton vb.) kullanılmıştır. Tüm çözeltiler aynı koşullarda (çözelti karıştırma süresi, sıcaklık) hazırlanmıştır. Öncelikle üniform PVDF nano lifler elde edebilmek için iğneli elektro lif çekiminde optimum proses parametreleri belirlenmiştir. Proses parametreleri optimizasyon çalışmalarına göre tüm çözeltiler için; voltaj 13 kV, elektrotlar arası mesafe 15 cm ve çözelti besleme hızı 0.150 ml/saat olarak uygulanmıştır. Daha sonra taramalı electron mikroskobu (SEM) ile lif morfolojisi analiz edilmiştir ve lif çapı ve çap üniformitesi değerleri hesaplanmıştır. Çözücü tipinin eğrilebilirlik ve lif morfolojisi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Sonuçlara göre; PVDF nano lif üretimi için aseton, DMF, DMAC çözücülerini uygun iken DMSO uygun bir çözücü değildir, çünkü PVDF/DMSO çözeltisinden nano lifli yüzey üretimi gerçekleştirilememiştir. PVDF nano lif üretimi için sadece aseton çözücüsü de uygun

değildir çünkü lif değil sadece boncuk oluşmuştur. Dolayısı ile PVDF/aseton çözeltisi için elektro lif çekimi yerine elektro püskürme işlemi gerçekleşmiştir denilebilir. Ayrıca PVDF/DMAC çözeltisinden elde edilen lifte yapışkanlık oluşmuştur. PVDF nano lifli yüzey üretimi için en iyi çözücü karışımı DMF/Aseton'dur. Çözeltideki aseton konsantrasyonu arttıkça elektro lif çekim prosesi boyunca daha kısa ve daha ince çözelti jeti gözlenmiştir.

INTRODUCTION

Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) polymer have many superior properties such as piezoelectric, biocompatibility, filtration, high chemical resistance, mechanical properties etc [6, 7, 9]. That's why it was focused on PVDF (Kynar 761) nanofibrous surface production by electrospinning in this study.

It is well known from the literature that solvent type and quality are very important to spinnability of nanofibers by electrospinning [5]. In this study, optimization of the best solvent type and mixture to obtain uniform nanofibers was achieved. In literature there are many studies about PVDF nanofibers with different solvents. Marton et al studied that PVDF nanofiber production using different acetone/DMF solvent ratios. They also used trifluoroacetic acid as a solvent and indicated that this solvent has a negligible impact on the bead formation [8]. In another study, Chanunpanich et al was determined optimum solvent mixture as a DMAC/acetone (3/7) [3]. And Sharma et al studied tetrafluoroethylene solvent to obtain core-shell PVDF nanofibers [10]. In this study, DMF, DMSO, DMAC, acetone and various solvent mixtures were used as a solvent.

EXPERIMENTAL

Material and Method

Polyvinylidene Fluoride (PVDF) (Kynar 761, Arkema) was used as a polymer, various solvents such as acetone, dimethylformamide (DMF), dimethylsulfoxide (DMSO), N,N-dimethylacetamide (DMAC) and various solvent mixture ratios (50/50 DMF/acetone, 25/75 DMAC/acetone etc) were used. PVDF polymer concentration is 15 wt % for all solutions. Thirteen different PVDF samples were prepared, as shown in Table 1.

Table 1. PVDF solution properties

PVDF sample	PVDF Concentration (wt %)	Solvent Type (wt %)
A1	15	DMF
A2	15	DMF/acetone (1/1)
A3	15	DMF/acetone (1/3)
A4	15	DMF/acetone (3/1)
B1	15	DMSO
B2	15	DMSO/acetone (1/1)
B3	15	DMSO/acetone (1/3)
B4	15	DMSO/acetone (3/1)
C1	15	DMAC
C2	15	DMAC/acetone (1/1)
C3	15	DMAC/acetone (1/3)
C4	15	DMAC/acetone (3/1)
D1	15	Acetone

Firstly, all solutions were prepared under the same conditions (room temperature, stirring time, etc.). Then, PVDF solutions were electrospun via needle electrospinning to obtain uniform and hydrophobic nanofibrous layers (Figure 1).

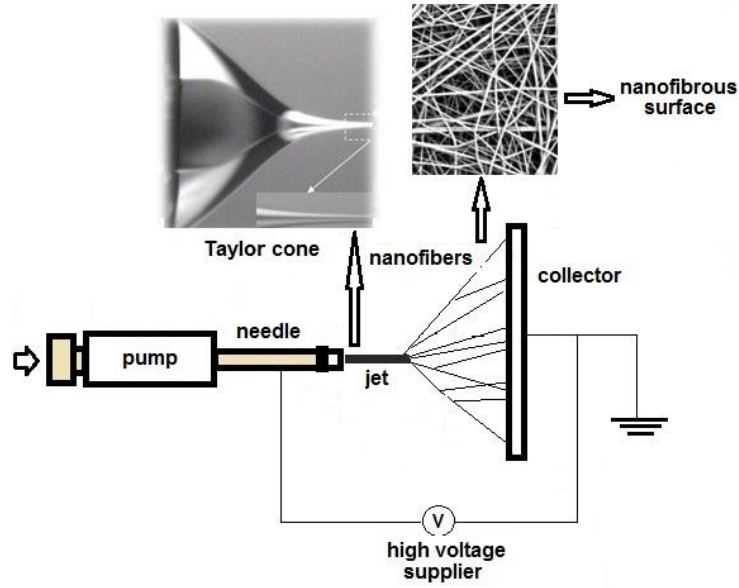


Figure 1. a) Schematic diagram of needle electrospinning method [2]

The same process parameters of electrospinning were used during experiments (Table 2).

Table 2. Process parameters of the electrospinning

Voltage (kV)	Distance between the electrodes (cm)	Solution feed rate (ml/h)
13	15	0.150

PVDF nanofibers were collected on aluminium sheet. Pictures of the microstructure of the nanofibers were taken by scanning electron microscopy (SEM) under 1.000x and 15.000x magnification. From the SEM pictures, average fiber diameter (nm) and diameter uniformity were determined with the aid of LUCIA software. Average fiber diameter was calculated using 100 different diameter values for each sample. The fiber diameter uniformity coefficient was calculated using the number and weight average calculations method. The number average has been used as an arithmetic mean in mathematical science, and the method which was used to calculate the uniformity coefficient has the same principle as the molar mass distribution in macromolecular chemistry [1]. Both of these values were calculated using equations 1 and 2 given below:

d_i = fiber diameter

n_i = fiber number

$$A_n = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} \text{ (number average)} \quad (1)$$

$$A_w = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i d_i} \text{ (weight average)} \quad (2)$$

The fiber diameter uniformity coefficient (FDUC) was determined using equation 3; the optimum value should be very close to 1 for uniform fibers [1].

$$FDUC = \frac{A_w}{A_n} \quad (3)$$

Lastly fiber diameter histograms were created using Minitab Statistical Program.

RESULTS and DISCUSSION

In this study, DMF, DMAC, DMSO and acetone were used as a solvent to electrospinning of PVDF nanofibers. Fiber diameter and diameter uniformity values are given in Table 3 for all solutions.

Table 3. All results of PVDF nano fiber properties.

PVDF Sample	Average Fiber Diameter (nm)	Fiber Diameter Uniformity
A1	238,40	1,97555
A2	490,7	1,25738
A3	285,4	1,45710
A4	278,3	1,29884
B1	Non-spinnable	Non-spinnable
B2	Non-spinnable	Non-spinnable
B3	Non-spinnable	Non-spinnable
B4	Non-spinnable	Non-spinnable
C1	178,3	1,58375
C2	527,2	1,32253
C3	508,8	1,50298
C4	289,7	1,36278
D1	Only Beads	Only Beads

According to the experimental results, DMSO is not suitable solvent for PVDF (Sample B1-4). It wasn't possible to spin PVDF nanofibers with DMSO solvent. Using DMF and DMAC solvents, nanofibers could be produced while only beads obtained with acetone (Figure 2). Using only acetone as a solvent, electrospraying could be achieved not electrospinning [4].

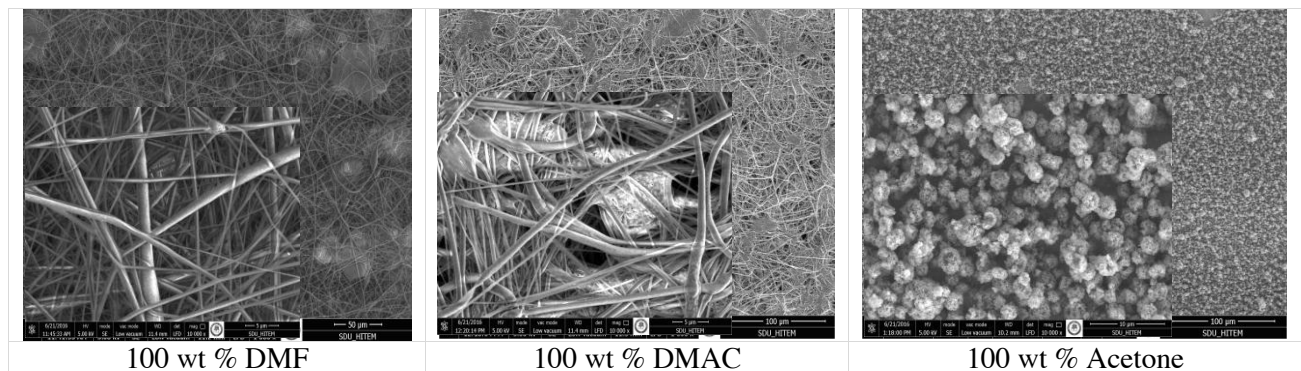


Figure 2. SEM pictures of PVDF nanofibers with various solvent types

[illegible]

SEM image showing a dense network of nanofibers. A scale bar indicates 50 μm. The image is labeled "SEM" in the bottom right corner.

Technical data for the SEM image:

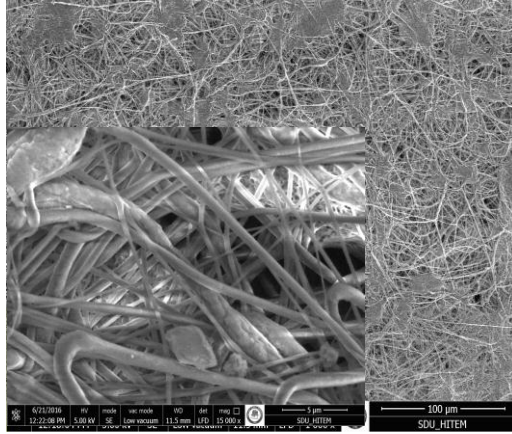
SEI	0.212000	0V	mode	vac. mode	WD	mag. 1.0
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Scale bar: 100 μm

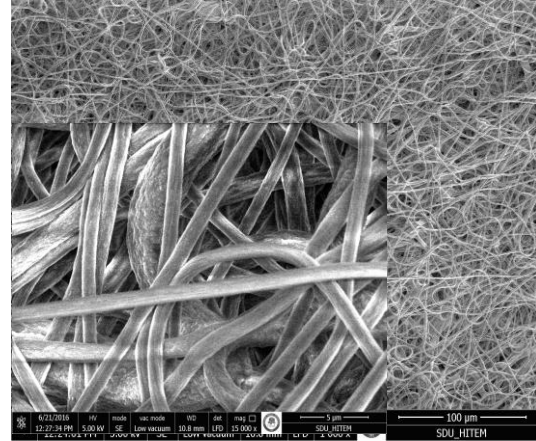
SDU_HITEM

Figure 3. SEM pictures of PVDF nanofibers for A samples

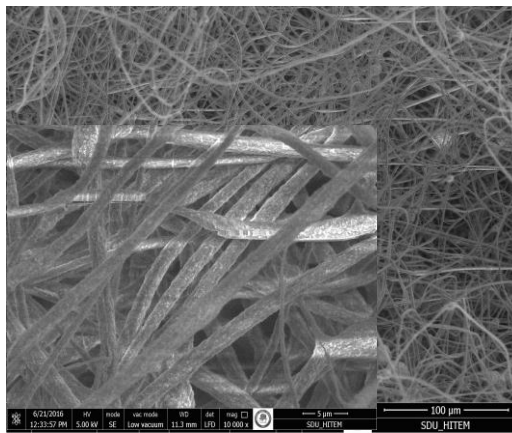
SEM pictures of nanofibers for C1, C2, C3 and C4 samples are shown in Figure 4. It is clearly to see that sticky PVDF nanofibers were produced using DMAC and DMAC/acetone mixture solvent. As the acetone concentration increases (sample C3) stickiness decreases and uniformity of nanofibers increases.



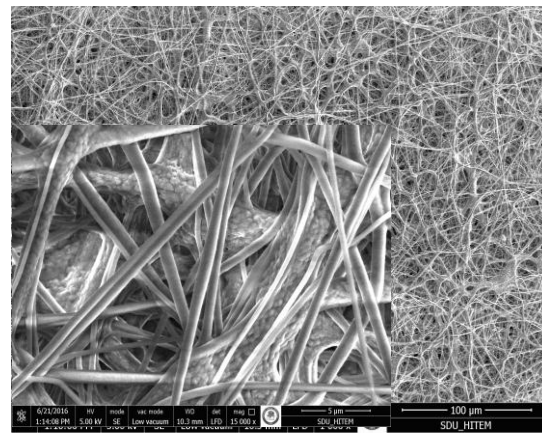
C1: DMAC



C2: DMAC/acetone (1/1)



C3: DMAC/acetone (1/3)



C4: DMAC/acetone (3/1)

Figure 4. SEM pictures of PVDF nanofibers for C samples.

Lastly fiber diameter histograms were obtained using MiniTab Statistical Program (Figure 5-7).

The lowest average fiber diameter is 178 nm which was obtained from PVDF/DMAC (C1) solution however fiber stickiness is high at nanofibrous web (Figure 4, C1) that means low diameter uniformity.

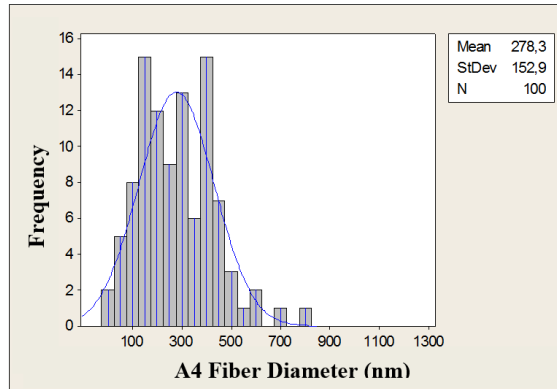
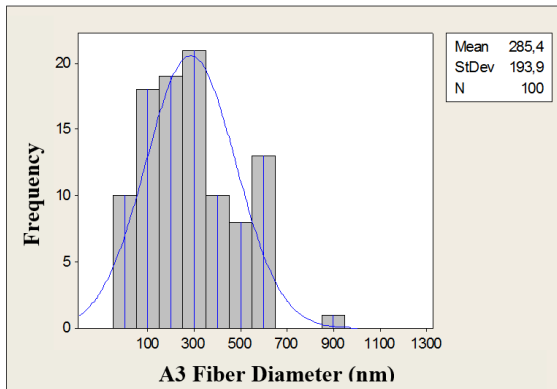
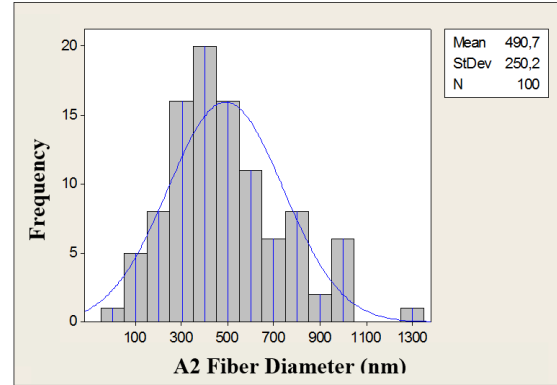
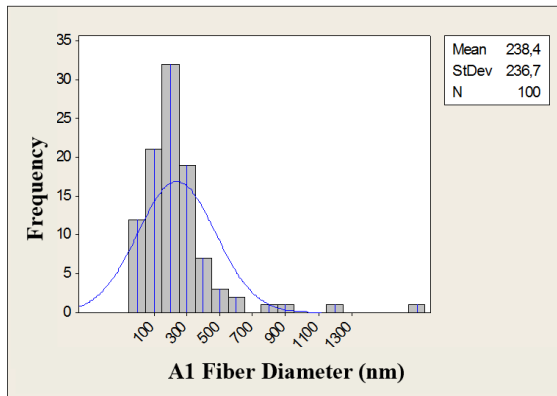


Figure 5. Fiber diameter histograms for sample A.

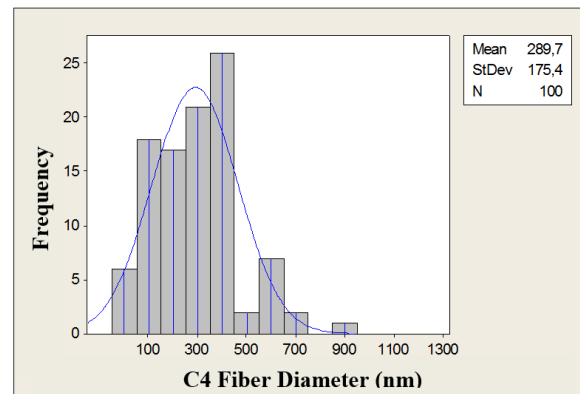
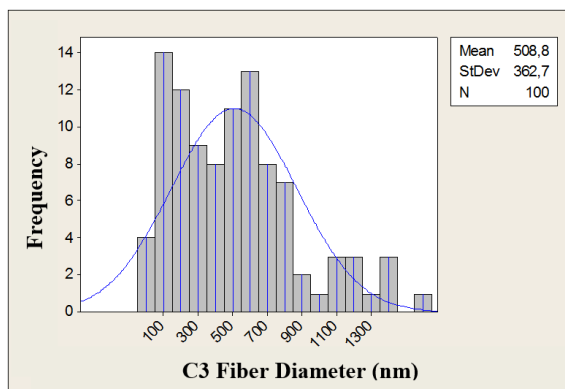
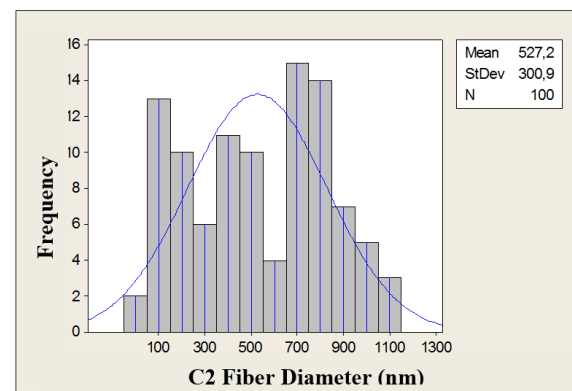
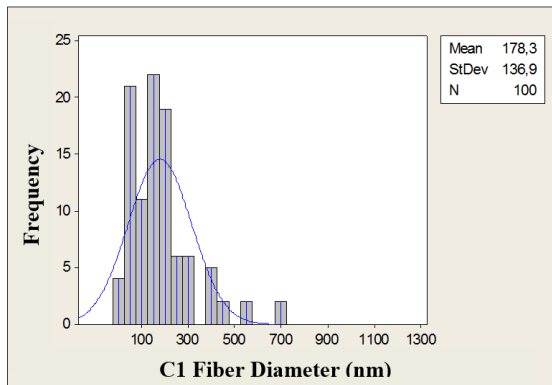


Figure 6. Fiber diameter histograms for sample C.

CONCLUSIONS

In this research, various solvent types and solvent mixtures were used to spin PVDF nanofibers by electrospinning. PVDF nanofibers could be obtained using pure DMF and DMAC while couldn't with pure DMSO and acetone solvents. From the SEM pictures, it was observed that stickness was occurred between nanofibers obtained from PVDF/DMAC solution. This stickness decreases with acetone addition in DMAC. It was not possible to produce nanofibers using PVDF/DMSO solution. Therefore DMSO is not suitable solvent for PVDF nanofiber production. Electrospinning was achieved using PVDF/acetone solution and only beads were observed from the SEM pictures not fibers. During the spinning process, it was observed that jet length and diameter decreases as the acetone solvent concentration increases in solution. It is possible to say that the best solvent mixture is DMF/Acetone for the production of PVDF nanofibrous surface.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the grant of Tubitak 2209 A Project. Also thanks to Hülya Kesici Güler for her helps.

REFERENCES

- [1] Cengiz F and Jirsak O, *Fibers and Polymers* 2009, **10(2)**, 177-184.
- [2] Cengiz F and Jirsak O, *Journal of Textiles and Engineer* 2013, **20(90)**, 1-16.
- [3] Chanunpanich N, Lee B and Byun H, *Macromolecular Research* 2008, **16(3)**, 212-217.
- [4] Costa L M M, Bretas R E S, Gregorio R, *Materials Sciences and Applications* **2010, 1**, 247.
- [5] Cozza E S, Monticelli O, Marsano E and Cebe P, *Polymer International* 2013, **62(1)**, doi 10.1002/pi.4314
- [6] Hwang K, Kwon B and Byun H, *Journal of Membrane Science* 2011, **378**, 111.
- [7] Lee B O, Woo W J, Park, H S, Hahm, H S, Wu J P and Kim M S, *Journal of Materials Science* 2002, **37**, 1839.
- [8] Marton A W, *Honors Research Projects* 2015, 135.
- [9] Yalcinkaya F, Yalcinkaya B, Pazourek A, Mullerova J, Stuchlik M and Maryska J, *International Journal of Polymer Science* 2016, **1**.
- [10] Sharma T, Naik S, Langevine J, Gill B and Zhang J X J, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 2015, **62(1)**, 188-195.

Corresponding author:

Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU

Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, Isparta.

E-mail: fundacengiz@sdu.edu.tr

Presentation options to indicate

1. *Oral presentation*

2. *Technical Textiles (Teknik/Akıllı Tekstille r)*

Adsorption of SO₂ on metal-doped graphene oxide fibers

Özge Alptoga¹, Nuray Uçar², Nilgün K Yavuz³ and Ayşen Önen¹

¹Istanbul Technical University, Department of Polymer Science and Technology, Istanbul, Turkey

²Istanbul Technical University, Department of Textile Engineering, Istanbul, Turkey.

³Istanbul Technical University, Institute of Energy, Istanbul, Turkey.

E-mail: ozgealptoga@hotmail.com

ABSTRACT

Fossil fuel combustion and other industrial activities cause the emission of sulfur dioxide (SO₂) gas. SO₂ is an air pollutant gas and a very toxic for human health. Hence, cleaning of this harmful gas is an important issue. Here we report the investigation of sulfur dioxide capture by way of graphene oxide (GO) fibers containing activated carbon (AC) and metal salt. Due to the layered structure and the functional groups on the GO surface, it is thought to be a good adsorbent. It is also aimed to increase the adsorption capacity by producing graphene oxide (GO) fibers containing activated carbon (AC) and metal salt. GO dispersion was first obtained with Hummers' method from graphite, and wet spinning process was used to produce GO fibers. These fibers were subjected to SO₂ gas adsorption test. Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD) analyses were performed on the fibres.

INTRODUCTION

Sulfur dioxide (SO₂) is a poisonous gas with destructive effects on nature (lake, forest, sea), people, buildings and materials with the acid rains it creates [12] and worse, it is one of the air pollutants [11]. Therefore, removal of SO₂ remains under investigation. Activated carbon (AC), activated carbon fibers [14], metal oxides [9], [3], porous adsorbents as zeolite [8], [15], metal organic framework (MOFs) [13] and graphite based materials [10], [1], [12], [11] are considered as appropriate materials for SO₂ adsorption applications [10]. In this paper, SO₂ adsorption of graphene oxide fibers and AC and manganese (II) chloride (MnCl₂) additions were investigated based on SEM, XRD, FTIR analyzes.

EXPERIMENTAL

Materials and Methods

Experimental steps consist in obtaining graphene oxide dispersion from graphite by Hummers' method [5], fiber production from dispersion by coagulation, and attachment of AC and metal salts. The fibers were then brought into disk form and subjected to SO₂ adsorption.

Graphene oxide production

Briefly, graphite, sodium nitrate (NaNO₃), sulfuric acid (H₂SO₄) materials were mixed together accompanied with ice bath. Potassium permanganate (KMnO₄) was added by controlling temperature. Stirring, heating and cooling processes were carried out, then distilled water was added. Suspension was resettled for 5 days. After then, suspension was mixed with hydrogen peroxide (H₂O₂) and after 24 hours, graphitic oxide is obtained by centrifugation with hydrogen chloride (HCl) and distilled water until pH-5. After mechanical homogenization step, the resulting material is called graphene oxide (GO) dispersion.

Activated carbon addition

Activated carbon was added as percentage by weight of GO in the dispersion. In this study, fiber samples with 1 wt % activated carbon were produced and SO₂ adsorption test was applied to disk forms. After the activated carbon addition, mechanical homogenization is used to disperse the nanoparticles homogeneously.

Production of GO fibers

To produce fibers, wet spinning method was used. So, fibers were extruded directly into a liquid bath. In this work, triple coagulation baths were used to obtain fibers without filler which is called as reference fibers. The baths were prepared mentioned in Table 1. The fibers were passed through these baths respectively and waited in each bath for a while.

Table 1.Coagulation baths and contents

Coagulation bath	Content
First bath	30 ml ethanol+70 ml water+5 % wt. CaCl_2
Second bath	40 ml ethanol+60 ml water
Third bath	50 ml ethanol+50 ml water

Production of GO fibers with metal salt (MnCl_2)

Manganese (II) chloride tetrahydrate ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) was added to third bath (1% weight of the total bath). Fibers were feed to first bath and then second bath and finally third bath containing MnCl_2 .

Characterization

The morphology and the microstructure of samples were observed by Scanning Electron Microscopy (QUANTA FEG 200). FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) spectra were recorded by using Perkin Elmer FT-IR C99089. X-Ray Diffraction patterns were obtained with PW3040 diffractometer using $\text{Cu K}\alpha$ radiation ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$).

RESULTS and DISCUSSION

Figure 1 shows SEM images of samples. There is a smoother structure in the reference specimen. On the contrary, while the AC particles entering the structure in the activated carbon doped specimen, particles cause voids in the structure. For MnCl_2 doped sample, it was observed that MnCl_2 contributed to swelling.

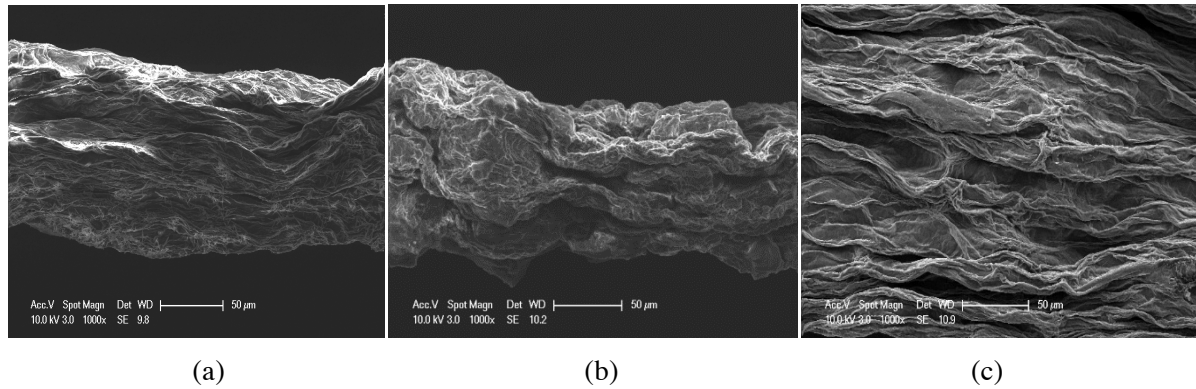


Figure 1. SEM images of the prepared samples, (a) reference sample, (b) AC doped sample, (c) MnCl_2 doped sample

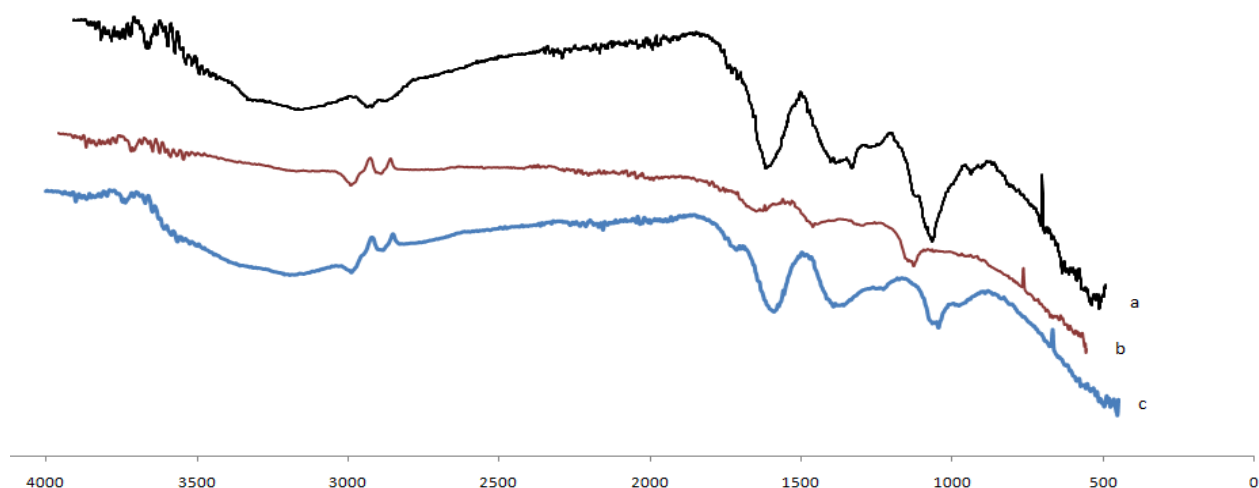


Figure 2.FTIR spectra of samples, (a) reference sample, (b) AC doped sample, (c) MnCl₂ doped sample

In FTIR spectra (Figure 2), O-H bond stretching in the hydroxyl group peaks appear as the broad peak between 3000- 3700 cm⁻¹, the peaks about 2900 cm⁻¹ and 2880 cm⁻¹ belong to the stretching vibrations of symmetric and antisymmetric CH₂, respectively. The weak peak at 1700 cm⁻¹ is attributed to the C = O bond stretching of the carbonyl and carboxyl groups. The peaks at 1615 cm⁻¹, 1366 cm⁻¹ and 1045 cm⁻¹ are attributed to C=C bonds of aromatic structures, C-OH stretching bonds and C-O-C stretching bonds of epoxy groups, respectively. Very small vibrations at 976 cm⁻¹ show the other epoxy, ether and peroxide groups on GO surface [6], [7], [4]. Unlike the GO fiber; in spectra of AC doped sample, an increase in peaks from 1000 cm⁻¹ to 1300 cm⁻¹ was observed, with the peaks belonging to the C-H bond stretching and bending of the sample structure. In addition, due to the lack of O-H bonds, a broad peak reduction of 3000-3500 cm⁻¹ was observed. These bonds are thought to be reformed by activated carbon bonds. MnCl₂ doping did not cause any significant peak change. Also from XRD analyzes, GO peaks are noticed at (2 Theta: 10°) [2] for reference sample. For AC doped sample, XRD peak is observed at 25-27° [16].

Table 2.SO₂ adsorption capacities

Sample	SO ₂ adsorption capacity (mg SO ₂ /1 g sample)
Referencefiber	320.9
Fiber with AC	561.27
Fiber with MnCl ₂	188.06

Consequently, AC doped sample has higher SO₂ adsorption capacity then reference and MnCl₂ doped sample. Because of high surface area, porous structure of AC, graphene fiber with AC has showed highest adsorption capacity. Attachment of MnCl₂ to graphene fiber surface decreased adsorption capacity of reference fiber.

CONCLUSIONS

The MnCl₂ addition was carried out in the bath while the AC addition was made into the GO dispersion. AC doped fibers have the highest adsorption capacity. But, MnCl₂ caused a decrease of adsorption capacity.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank to TUBITAK for supporting this project (Project No: 114M524).

REFERENCES

- [1] Chen C, Xu K, Ji X, Miao L and Jiang J, *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 2014, **16**, 11031.
- [2] Cong H P, Ren, X C, Wang, P and Yu, S H, *Sci. Rep.*, 2012, **2**, 613.
- [3] Dunn J P, Stenger H G, Wachs I E, *Journal of Catalysis*, 1999, **181**, 233–243.
- [4] Fernández-Merino M J, Guardia L, Paredes J I, Villar-Rodil S, Solís-Fernández P, Martínez-Alonso A, and. Tascón J M D, *J. Phys. Chem. C*, 2010, **114**, 6426–6432.
- [5] Hummers S, William S, Offeman S E, *Journal of the American Chemical Society*, 1958, **80** (6), 1339.
- [6] Kumar R, Avasthi D K, Kaur A, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2017, **242**, 461–468.
- [7] Loryuenyong V, Totepvimarn K, Eimburanaprat P, Boonchompoo W, and Buasri A, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013, **2013**, 1-5.
- [8] Marcu I C and Sandulescu I, *J. Serb. Chem. Soc.*, 2004, **69** (7), 563–569.
- [9] Sasmaz E, Wilcox J, *J. Phys. Chem. C*, 2008, **112**, 16484–16490.
- [10] Seredych M, Bandoz T J, *J. Phys. Chem. C*, 2010, **114**, 14552–
- [11] 14560 Seredych M, Mabayoje O, Bandoz T J, *Chemical Engineering Journal*, 2013, **223**, 442–453.
- [12] Shao L, Chen G, Yea H, Wu Y, Qiao Z, Zhu Y, and Niu H, *Eur. Phys. J. B*, 2013, **86**, 54. [4] Liu X C, Osaka Y, Huang H Y, Huhetaoli J L, Yang X X, Liab S J, Kobayashid N, *RSC Advances*, 2016, **6**, 96367.
- [13] Tan K, Canepa P, Gong Q, Liu J, Johnson D H, Dyevoich A, Thallapally P K, Thonhauser T, Li J, and Chabal Y J, *Chemistry of Materials*, 2013, **25**, 4653–4662.
- [14] Ucar N, Cavdar Z, Karatepe N, Altay P, Kızıldag N, *TekstilveKonfeksiyon*, 2016, **26**(4), 407–413.
- [15] Yi H, Deng H, Tang X, Yu Q, Zhou X, Liu H, *Journal of Hazardous Materials*, **203–204**, 2012, 111–117.
- [16] Yusof N, Rana D, Ismail A F, Matsuura T, *Journal of Applied Research and Technology*, 2016, **14**, 54–6.

Corresponding author:

Özge ALPTOĞA

Istanbul Technical University, Department of Polymer Science and Technology.

E-mail: ozgealptoga@hotmail.com

Elektro-eğirme yöntemi ile deniz kaynaklı β -trikalsiyum fosfat ve polikaprolakton kompozit nanolifler için yenilenebilir tekstil uygulamaları

Erdi BULUŞ^{1,2=}, Yeşim Müge ŞAHİN^{2,3} ve Gül TOSUN^{1,4}

¹Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, 23119 Elazığ, Türkiye.

²Polimer Teknolojileri ve Kompozit Malzemeler Ar-Ge Merkezi, İstanbul Arel Üniversitesi, 34537 İstanbul, Türkiye.

^{2,3}Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul Arel Üniversitesi, 34537 İstanbul, Türkiye.

^{1,4}Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119 Elazığ, Türkiye.

⁼erdibulus@arel.edu.tr

ÖZET

Biyouyumlu ve biyobozunur özelliklere sahip olan polikaprolakton (PCL), cerrahi amaçlı üretilen ipliklerde, ilaç salınım sistemi gibi biyolojik alanlar ve kolay şekillenebilir olmaları sebebiyle naylon katkılı malzemelerin içinde ve ambalajlamada kullanılmaktadır. Biyouyumlu ve biyobozunur özelliklere sahip olan ve saf polikaprolaktonun yanında farklı oranlarda DK β -TCP ilave edilerek elektro-eğirme yöntemi ile kompozit malzeme üretimi için kullanılmıştır. Konsantrasyon değerlerinin nanolif morfolojisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Moleküler ağırlığı 80.000 g/mol olan saf PCL polimeri ile bu polimerlere farklı konsantrasyon değerlerinde DK β -TCP katılmıştır. Solüsyonun viskozite, elektriksel iletkenlik ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Üretilen biyoseramik tozlarının ve nanoliflerin, DTA, XRD, FTIR, MTT ve SEM analizleri ile karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Oluşan nanoliflerin lif boyutları hesaplanmıştır. Lif özellikleri ve malzeme özellikleri arasındaki bağlantı saptanmıştır. Elde edilen yüzeyler ve parametrelere bağlı olarak uygun polimer çözeltisine ulaşılmıştır. En uygun konsantrasyon %6 Polikaprolakton-%8 DK β -TCP çözeltisi olarak belirlenmiştir **Anahtar Kelimeler:** Biyouyumlu, biyobozunur, polikaprolakton, biyoseramik, deniz kaynaklı beta-trikalsiyum fosfat(DK β -TCP), nanolif.

Electrospun marine sourced eta-tricalcium phosphate and polycaprolactone composite nanofibers for renewable textile applications

ABSTRACT

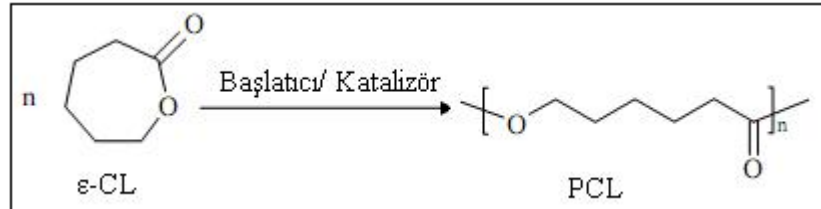
Polycaprolactone (PCL), which has both biological and biodegradable properties, is used in nylon-added materials and in packaging because of the biological fields such as drug release system, and easily formable in surgical threads. It has biodegradable and biodegradable properties and besides polycaprolactone besides MS β -TCP, it is used for the production of composite material by electro-bending method. The effect of concentration values on the nanofiber morphology was investigated. PCK polymer with a molecular weight of 80,000 g/mol and MS β -TCP at different concentration values were added to these polymers. The viscosity, electrical conductivity and density of the solution were tested. Characterization studies of bioceramic powders and nanofibers produced by DTA, XRD, FTIR, MTT and SEM analyzes were performed. The fiber sizes of the resulting nanofibers were calculated. The link between fiber properties and material properties has been determined. The polymer solution has been reached. The best fit rate was determined as 6% polycaprolactone-8% MS β -TCP solution.

Keywords: Biocompatible, biodegradable, polycaprolactone, bioceramic, marine sourced beta-tricalcium phosphate (MS β -TCP), nanofiber.

GİRİŞ

Biyomalzemeler nakil edilen doku ile doğrudan temas halinde olduğundan, biyolojik açıdan doğal dokuyla tam bir uyum içinde olması gerekmektedir. Bu amaçla doğal ve sentetik yapıli biyomalzemeler elde edilebilmektedir. Doğal yollarla elde edilen seramik biyomalzemeler implant-doku ara yüzeyinde bağlanma gerçekleştirebilmektedirler. Ayrıca doku ile biyolojik uyumun sağlanması için seramik malzemeler, implant malzemelerin kaplanması kullanım fırsatı bulabilmektedir. Mühendislik teknolojilerinin sürekli ele alınan konularından biyomalzemeler biyoteknoloji uygulamalarının ciddi bir bölümünü oluşturmaktadır. Üretilen biyomalzemelerin toksik etki yaratmaması, kimyasal açıdan kararlı olması, biyouyumlu olması, yeterli seviyede mekanik dayanıma sahip olması beklenen özelliklerdendir. Seramik, metalik, polimerik ve kompozit malzemeler genel olarak biyomalzeme olarak kullanılmaktadır. Biyolojik alanlarda kullanımlarına örnek olarak ilaç salım sistemleri, doku ve organ nakilleri ve ortopedik uygulamalar verilebilmektedir. Biyomalzemelerin farklı uygulamalarda kullanılması ve giderek kullanım alanlarının yaygınlaşmasında en önemli etkenlerden birisi de bu malzemelerin doğal yollardan saf dışı bırakmak ve böylelikle günümüzdeki en önemli sorunların önde gelenlerinden çevre kirliliği ve atık problemlerine çözüm yolu sağlayabilmesidir [1].

Polikaprolakton poliestere ailesinden olan polimerlerin tam tersine enzimatik ve mikrobiyal ortamda bozunma gösterebilmektedir [2]. Ancak polikaprolakton'un biyobozunurluğu uzun ve kısa bir süreçte gerçekleşmektedir. PCL tek başına, başka bir polimerle karıştırılarak kullanılabilir. Doku mühendisliği uygulamalarından, tıp ve medikal araçların üretiminden tekstil sanayine, yapıştırıcılardan boyalara kullanımına kadar çok geniş bir uygulama hacmine sahiptir [3]. Polikaprolakton zincirinin yapısal olarak görünümü Şekil 1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.: Polikaprolakton zincirinin yapısal görünümü [4].

Kemiğin ana bileşenlerinden biri olan kalsiyum fosfatın alfa ve beta formları mevcuttur. Süt ve peynir üretiminde gıda katkı maddesi olarak, kaya ve kemiklerde tuz olarak bulunmaktadır. Genelde porselen ve diş tedavi ürünlerinde kullanılır. CaCO₃ daha sık kullanılmasına rağmen tri kalsiyum fosfat tıbbi olarak antasid veya kalsiyum yedeği olarak görev yapar. Trikalsiyum fosfat, yüksek bir biyolojik değere sahiptir. Trikalsiyum fosfat, fosfor ve kalsiyum sağlayıcısıdır. Doğal esaslı kalsiyum fosfatlar, birçok faydalı elementi (Na, Fe, Mg vb.) de içermektedir. β-TCP standart fazı ortalama ısısı 1125°C, α-TCP ise 1430 °C'dir. Doğada Morocco, İsrail, Filipin, Mısır ve Rusya'da ve küçük miktarlarda diğer ülkelerde de kaya olarak bulunur. Doğal formu tamamen saf değildir. İçyapısında kum, kireç gibi farklı bileşenler barındırır. Bu bileşenler genel yapıyı değiştirebilir. Normalde bileşimi P₂O₅'dir ve fosfat kayası ağırlıkça %30 - %40 oranında P₂O₅ içermektedirler. Trikalsiyum fosfat, birçok alanda kullanıldığı gibi, parlatma ve dental tozlar, porselenler, çömlekçilik, emaye kaplama, şeker şuruplarının berraklaştırılması, tekstil ürünleri gibi kullanım alanlarında da kullanılmaktadır [5].

Bu çalışma, elektro-eğirme yöntemiyle PCL / DKβ-TCP nanoliflerinin üretilmesi amaçlamaktadır. Bu sebeple, elektro-eğirme yöntemi hem nano hem de mikro ölçekli iskele üretimini sağlayan basit, etkili ve düşük maliyetli bir tekniktir. Bu teknik sonucu olarak son ürünler nanoteknolojinin sunduğu avantajlar ile geliştirilebilecektir.

DENEYSEL KISIM

Kullanılan Malzemeler

Kalsiyum fosfat biyoseramikleri elde etmek için ise *Lettered olive* deniz kabukları İstanbul Eminönündeki deniz ürünleri satışı yapan bir marketten satın alınmıştır. Orto-fosforik asit (% 85 reaktifli saflığa sahip) Merck'ten satın alındı. Toplayıcı tabaka olarak yağlı kağıt kullanılmıştır. 80.000 g/mol molekül ağırlıklı Polikaprolakton (PCL) (% 97 saflıkta Sigma-Aldrich/Türkiye) kullanılmıştır. Polimerleri çözmek için Molekül ağırlığı 73.29 g/mol Dimetilformamit (DMF-HCON(OH₃)₂) (Sigma-Aldrich/Türkiye), Molekül ağırlığı 119.38 g/mol Kloroform (CHCl₃) (Sigma-Aldrich/Türkiye), Molekül ağırlığı 32.04 g/mol Metanol (CH₃OH) (Sigma-Aldrich/Türkiye) gibi organik çözücüler kullanılmıştır. Elektrosinning basamağında, farklı boyutta cam şiringalar (İnyekta, İstanbul, Türkiye) kullanılmıştır.

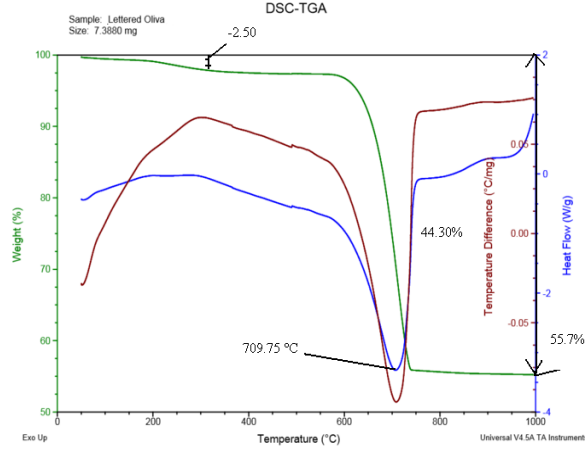
Yöntem

β -TCP Toz Üretimi

Lettered olive deniz kabukları çeşme suyunda yıkanmadan önce yirmi dakika ultrasonik banyoda sterilizasyon işlemi uygulandı. Sterilizasyon işlemi sonrası deniz kabukları fırça ile çeşme suyunda yıkanarak temizlenmiştir. *Lettered olive* deniz kabukları (Deniz Kabukları Resim 1.'de) seramik havanda dövülerek toz haline getirildi. Toz örnekler, 100 μ m'lik tel elekten elenerek standart toz formuna dönüştürüldü. Toz örneklerindeki CaCO₃ miktarını tespit etmek amacıyla kabuğumuza DTA (Setaram Labsys) cihazı ile azot gazı altında 5 °C/dk. ısıtma hızı ile analiz işlemi 550 °C sıcaklığa kadar gerçekleştirildi (DTA grafiği Şekil 2.'de). N₂ akış hızı 40 ml / dakika idi ve deneyler boyunca sabit tutuldu. DTA grafiğince belirlenen CaCO₃ miktarına göre örnek için gerekli ortofosforik miktarı hacimce hesaplandı ve stokiometrik molar oran Trikalsiyum fosfat için Ca/P = 1.5 olarak tespit edilmiştir. Çözelti karışımı 80 °C'ye ısıtıcı ayarına getirildi ve karışım esnasında damla damla ortofosforik asit çözeltisi eklendi. Örnekler 80 °C'de 70 MHz güçte 100 dk karıştırıldı. Çözelti reaksiyonu, oda sıcaklığında gerçekleştirildi. 18 saat süreyle 100 °C'de bekletildi. Kurutulan çökelti toplanarak hava almayacak şekilde petri kaplarına konuldu. Hazırlanan numunelerin havada sinterlenmesi işlemi 1600 °C kapasiteli tüp fırında (Naberherm; Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Alümina krozelere serilerek sinterlenmek üzere fırına yerleştirilmişlerdir. 850 °C'de sinterleme işlemi uygulanmıştır.



Resim 1. *Lettered olive* deniz kabukları



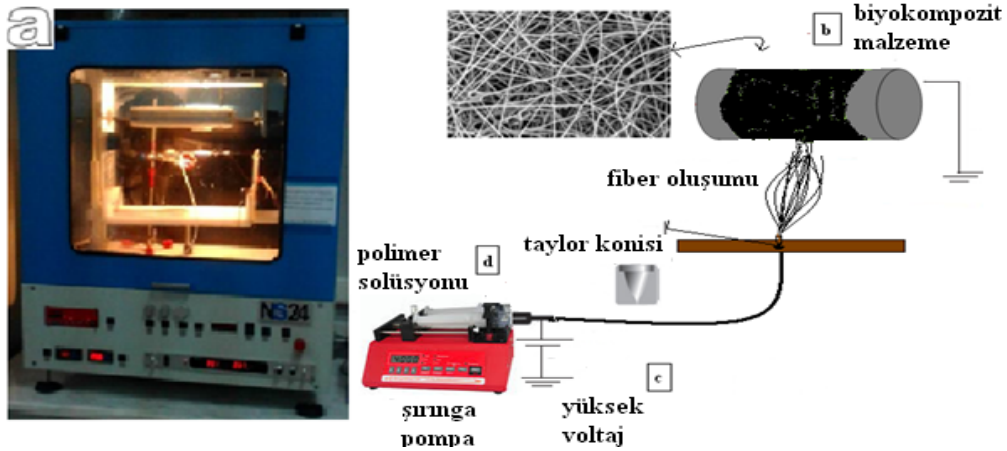
Şekil 2. Lettered olive deniz kabuğuna ait DTA analiz grafiği

Elektro-Eğirme Yöntemi İle Biyokompozit Üretimi

PCL, farklı konsantrasyonlarda Kloroform / Metanol (ağırlıkça% 60:40) çözücüler ile çözülmüştür. Çözünme işlemini hızlandırmak için manyetik karıştırıcı (WiseStir, MSH-20A, Deutschland) kullanıldı. DKβ-TCP, seçilen solüsyonlara ilave edildi ve manyetik karıştırma işlemi 30 °C'de 1 saat gerçekleştirildi. Saf PCL ve PCL/DKβ-TCP harmanlama çözeltileri dört farklı konsantrasyonda hazırlanmış ve numuneler Tablo 1'de elektro-eğirme solüsyonları ve parametre değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Elektro-eğirme cihazının kamera görüntüsü ve elektro-eğirme süreci Şekil 3'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Elektro-Eğirme Solüsyonları ve Parametre Değerleri

Numuneler	Bileşim		Parametre	
	Polikaprolakton (PCL) (wt.%)	Deniz Kaynaklı β-Trikalsiyum fosfat (DKβ-TCP)	Voltaj (kV)	Debi (ml/hr)
s1	%6	-	14.6	0.7
s2	%6	%1	16.8	0.7
s3	%6	%5	19.2	0.7
s4	%6	%8	22.5	0.7



Şekil 3. Elektro-eğirme cihazının kamera görüntüsü (a) ve döner kollektör (b), düzenlenmiş güç kaynağı (c), dijital şırınga pompası (d) ile şematik tasarımı [6].

Partikül ve Biyokompozitlerin Karakterizasyon Çalışmaları

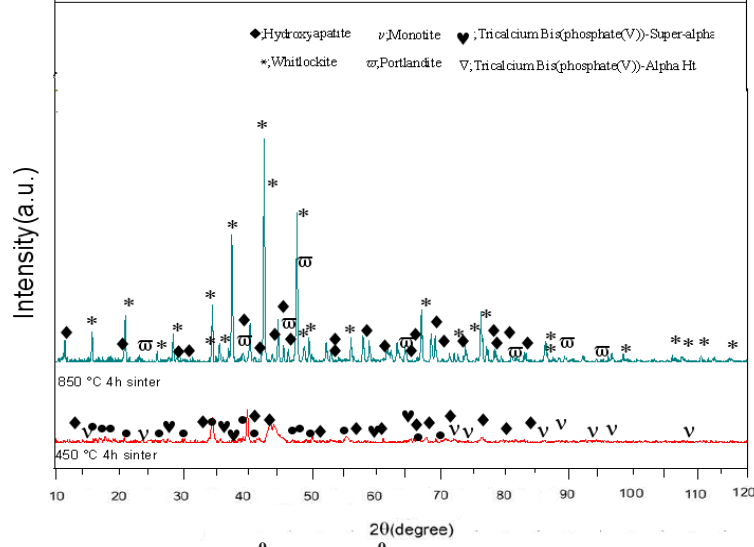
DK β -TCP tozunun kristalografik fazları, CuK α radyasyonlu bir Panalytical X'Pert-Pro kırınımölçer ($\lambda = 0.15418$ nm) kullanılarak belirlendi. Veriler, 2° aralıkta 10° ila 120° arasında, Tarama hızı 1.5° / dk dır. Xrd grafikleri Origin 8 yazılım programıyla çizilmiştir. Isıl analiz, DSC-DTA-TG cihazı (TA SDTQ600 Protherm) azot gazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler 25 - 900 ° C sıcaklık aralığında yapılmıştır. Homojen yoğunluk ölçer cihazı (PCE-LS, İstanbul) için hazırlanmış WTW elektriksel iletkenlik (Cond 3110) Brookfield viskozite (DV-E Viskometre) viskometre marka çözümleri ile ölçülmüştür. 30 rpm s21 tipi şaftta (iş mili) dönen viskozimetrelili ölçümler kullanıldı. Yoğunluk ölçüm ölçümleri piknometre ile oda sıcaklığında yapıldı Fonksiyonel grupların varlığı, Fourier transform infrared spektroskopisi (Perkin Elmer Spektrum 100, Amerika) kullanılarak tespit edildi KBr pellet tekniği kullanılarak 600-3600 cm⁻¹ bölgesi üzerinden elde edilen FT-IR spektrograferidir. Spektrometrenin çözünürlüğü 4 cm⁻¹ dir. Elemental kompozisyonu olan sentezlenmiş DK β -TCP tozunun ve biyokompozitlerin yüzey morfolojisi ve mikroyapısal özellikleri incelenmiş ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Zeiss Evo LS10, Germany) ile değerlendirilmiştir. Partikül ve nanoliflerin boyutları Image J(2011) yazılım programı ile hesaplandı. Fotometrik okuma 570 nm, örnekler ISO 10993-12'ye göre 72 saat elüsyon yapılmıştır. MTT canlılık testi ISO 10993-5'e göre yapılmış örnekler hücrelerle 24 saat etkileştirilmiştir. Pozitif kontrol olarak fenol çözeltisi, negatif kontrol olarak sadece medium kullanılmıştır. Biyokompozitlerin mekanik özellikleri, oda sıcaklığında (23 ° C) ayarlanmış ile 5 mm⁻¹/dak. hızdaki çekme mukavemeti (INSTRON 4411, Massachusetts, ABD) ile ayarlandı. Üretilen liflerin kalınlıkları, dijital mikrometre (795.1 MEXFL-25, Starrett, ABD) ile belirlendi.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Biyoseramik ve nanolif numunelerine uygulanan XRD, FTIR, SEM ve Çekme Ölçümleri ile karakterize edildi. Ayrıca tüm numunelere Biyokompozitlerin MTT sitotoksite testi uygulanarak hücre ortamındaki uyumluluğunun tespiti amaçıyla yapıldı.

XRD Analizi

850 °C'de sinterlenmiş ana fazlar hidroksiapatit (JCPDS kart numarası 98-004-9808), β -TCP(whitlockit) (JCPDS kart numarası 98-000-2071) ve portlandit (JCPDS kart numarası 98-004-6335) olarak sıralanmıştır. Şekil 4.'de 450 °C ve 850 °C'deki tozun xrd grafiği yer almaktadır. β -TCP biyouyumlu ve biyobozunur olmaları nedeniyle korteks ve süngerimsi kemik defekti tedavisinde kullanılabilir. En iyi biyoseramik malzeme, ideal olarak, HA ve β -TCP'nin iki fazlı malzemelerinden oluşmalıdır. Bifazik biyomalzemelerde, β -TCP rezorbe edilebilir ve biyobozunur bileşendir. Genellikle emilebilir biyoseramikler çok aktif olarak kabul edilirler ve bu nedenle yeni oluşan kemiğin daha hızlı oluşumunu teşvik eder. Öte yandan, HA mükemmel bir biyouyumluluk ve biyoaktivite sunar. Portlandit, doğal olarak oluşan kalsiyum hidroksit (Ca (OH) ₂) ile nadir bulunan bir oksit mineralidir. Kemik mineral fazı ile benzerliği nedeniyle onlarca yıl önce biyomedikal seramik için belirgin bir seçim olarak kullanılmıştır [7]. X-ışını analizinin bulguları, üretilen tozların HA ve TCP'den oluşan bifazik malzeme olduğunu ortaya koymaktadır. Bilindiği gibi, en iyi biyoseramik malzemelerin ideal olarak iki fazlı HA ve β -TCP malzemelerinden oluşması gerekir. Genellikle emilebilir biyoseramikler çok aktif olarak kabul edilirler ve bu nedenle yeni oluşan kemiğin daha hızlı oluşumunu uyarırlar. Öte yandan, HA mükemmel bir biyouyumluluk ve biyoaktivite sunar.



Şekil 4. 450 °C ve 850 °C'deki tozun xrd grafiği

Fiziksel Test

Önceden hazırlanmış çözelti viskozitesi, iletkenlik ve yoğunluk değerlerinin elektro atışları Tablo 2'de verilmektedir. 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 elektro-eğirme üretimi başarıyla gerçekleştirilebilmiştir [8]. Elektro-eğirme 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 [9].

Hayati ve arkadaşları, yüksek iletkenliğe sahip çözeltilerin, elektro-eğirme 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 [10]. Çalışmalarımızda elde ettiğimiz viskozite ve iletkenlik değerleri, aynı elektriksel alanda farklı iki çözeltinin başarılı bir şekilde elektro-eğirmeye tabi tutulabilmesini mümkün kılmıştır.

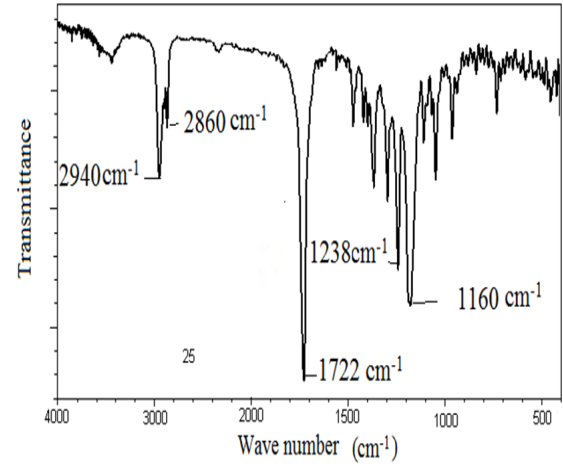
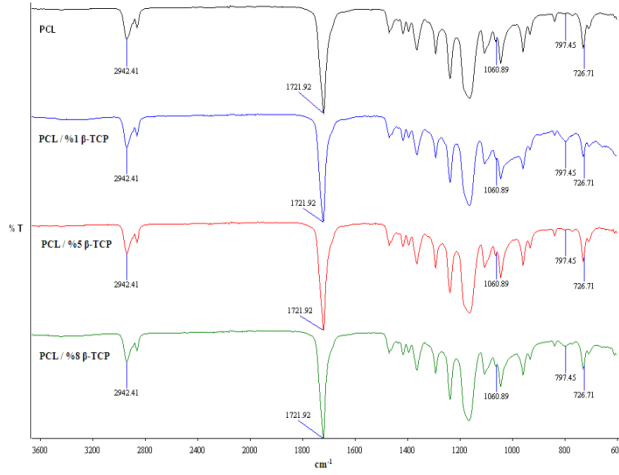
Elektriksel iletkenlik ile standart sapmanın çap değerine oranı arasındaki ilişki de ters orantılıdır. Buradan çıkarılacak sonuç ile sözkonusu çözeltiler ve onlardan üretilen lifler için elektriksel iletkenlik artış gösterdikçe lif çapındaki incelmeye yanı sıra elde edilen liflerin çap değerleri arasındaki homojenliğin de arttığı söylenebilir.

Table 2. Solüyon bileşimlerine ait fiziksel test değerleri

Solüsyon Bileşimleri	Elektriksel İletkenlik (μS/m)	Vizkosite (Pa.s)	Yoğunluk (kg/m ³)
(s1)	0.3	15.469	1.2633
(s2)	0.6	45.987	1.3408
(s3)	0.3	85.234	1.4569
(s4)	0.4	112.350	1.6008

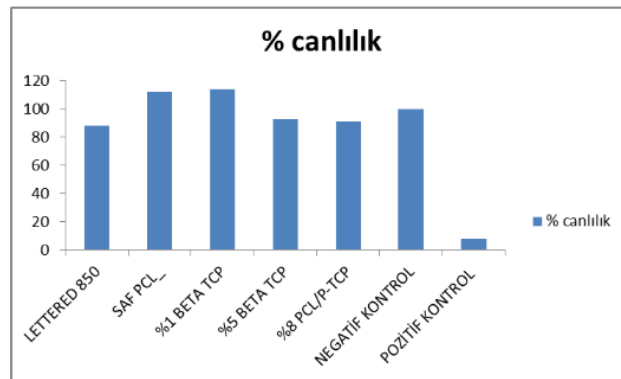
FTIR Analizi.

Biyokompozit örnekleri FT-IR spektrumu Şekil 5'de gösterilmektedir. Sentezlenen Hidroksiapatit, β -TCP, Portlandit ve bu sentezlenen yapılarla ilave elde edilen biyokompozit Polikaprolakton (PCL) FTIR spektrumundaki en karakteristik kimyasal gruplar PO_4^{3-} , OH^- , CO_3^{2-} , HPO_4^{2-} ve β -TCP iyonları ve PCL dir. PO_4^{3-} iyon grubu için karakteristik bölge $1030\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ 'de yoğun IR emme bantları oluşturur; OH^- iyon grubu, $800\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ 'de bantlar oluşturur; CO_3^{2-} grubu, 725 ile 880 cm^{-1} arasındaki zayıf tepeleri ve 1390 ile 1470 cm^{-1} arasında daha yoğun pikler oluşturur[11]; HPO_4^{2-} iyon grubu, $\sim 875\text{ cm}^{-1}$ de bantlar oluşturur[12,13,14]; β -TCP iyon grubu $947\text{-}1120\text{ cm}^{-1}$ de bantlar oluşturur[11];PCL için karakteristik bölge $1160\text{-}2942\text{ cm}^{-1}$ bu aralıkta güçlü IR emme bantları oluşturur[15]. Uygulanan yöntemin ve sıcaklığın dorukların oluşumunda etkili olduğu gözlenmiştir. Allotropik yapılar nedeniyle benzer tepe noktaları oluşturur.



Şekil 5. PCL ve PCL/DK β -TCP kompozitlerin ftr grafiği Şekil 6. Polikaprolakton FTIR spektrumu[15]

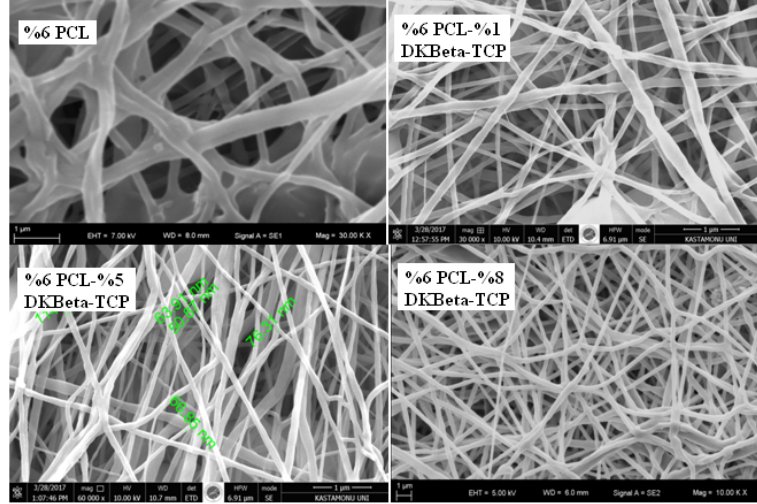
MTT Analizi



Şekil 7. MTT sitotoksite grafiği

850 °C numunesinde MTT testi, tüm numunelerin kontrolle karşılaştırıldığında hiçbir sitotoksik etki göstermemektedir. Hücre yaşayabilirliği, 450 °C'de sinterlenmiş, inceltilmemiş ve negatif kontrolünden önemli derecede yüksektir. Bu veriler sonucunda, biyouyumluluk testleri, elde edilen biyolojik seramiklerin iskele malzemeleri için iyi bir aday olabileceğini ve daha ileri doku mühendisliği ve tekstil uygulamaları için kullanılabilecektir. Şekil 7.'de MTT sitotoksik grafiği verilmektedir.

SEM Analizi



Şekil 8. PCL ve PCL/DKBeta-TCP kompozitlerin SEM görüntüleri

SEM görüntüleri numunelerin morfolojisini gösterdi ve tüm numunelerde nanokompozit fiber yapılanması oluşturuldu. Fiberlerin boyutları 20 nm ila 120 nm arasındadır. Şekil 8.'de Kompozitlere ait SEM görüntüleri yer almaktadır. Konsantrasyon değeri arttıkça lifler dahada incelerek düzenli hale geçmektedirler. Fiber yapılanması en düzgün %6 PCL-%8 DKβ-TCP kompozitinde meydana gelmiştir.

Mekanik Test

1x5 cm uzunluğunda kesilen numunelere, her numuneye üç kez tekrarlı olarak yapılan ve bu çıkan değerlerin aritmetik ortalamaları ile çekme mukavemetleri belirlenmiştir, Tablo 3.'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

	Numuneler	Maksimum Çekme (MPa)
S1	%6PCL	45.350
S2	%6PCL-%1DKβ-TCP	78.900
S3	%6PCL-%5DKβ-TCP	92.517
S4	%6PCL-%8DKβ-TCP	121.686

SONUÇLAR

DK β -TCP'yi PCL ile kullanmak, biyolojik olarak uyumluluğu, biyolojik bozunabilirliği ve lifli malzemelerin mekanik mukavemetini sağlamak için çok önem arz etmektedir. PCL iskeleleri, en uygun solvent kombinasyonu olduğu bulunmuş olan kloroform / metanol (ağırlıkça% 75:25) çözeltilerinden imal edilmiştir. Sonuç olarak PCL/DK β -TCP kompozit nanolif malzemelerin karakteristik özellikleri nedeniyle doku mühendisliği ve tekstil uygulamaları için umut verici bir malzeme özelliği ortaya çıkmaktadır. PCL/DK β -TCP kompozit liflerin mekanik test sonuçlarına göre en yüksek test değeri 121.686 MPa olarak belirlenmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere yüzey alanının artmasıyla birlikte lif yapısının incelendiği, polikaprolakton liflerinin incelenerek DK β -TCP biyoseramik tozları ile kompakt yapı oluşturduğu SEM görüntüleri ile desteklenmiştir. Ayrıca konsantrasyon değeri arttıkça aglomerasyon miktarı azalmıştır. Çözelti viskozitesinin yüksek, iletkenliğin ise düşük olduğu %6PCL/% 8DK β -TCP karışımından elektro-eğirme yöntemiyle elde edilen liflerin inceliklerinin, düşük viskozite ve yüksek iletkenliğe sahip olan diğer PCL/ DK β -TCP çözelti karışımlarından elde edilen liflere göre daha az olduğu bulunmuştur. %6PCL/% 8DK β -TCP karışımından elde edilen nanolif yapının hem makine hem de malzeme eni yönündeki mukavemet ve uzama değerleri, diğer Konsantrasyonlardaki PCL/DK β -TCP elde edilen liflere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Dolayısıyla mukavemetli malzemeler elde edildiğinden başta tekstil uygulamaları olmak üzere çeşitli alanlarda kullanım imkanı bulabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TEKF.16.05 Proje kodu ile Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi (FÜBAP) tarafından destek görmüştür. Malzeme üretimi ve karakterizasyon çalışmalarında yardımcı olan ArelPOTKAM Poje ekibine, Tetra firmasına, Uzman Laboratuvar çalışanlarına, İstanbul Teknik Üniversitesi, YTÜ MERKLAB, Marmara Üniversitesi, Kastamonu Üniversitesi, YTÜ BİTUAM ve İstanbul Üniversitesine yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1]Bedri TE, Synthesis of mikroarm star polymers via combination of controlled polymerization systems, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü 2006, İstanbul.
- [2]Albertsson A C, Varma, I K , Recent developments in ring openingpolymerization of lactones for biomedical applications,*Biomacromolecules* 2003, **4**, 1466-1486.
- [3] Hutmacher D W, Woodruff M A, The return of a forgotten polymerpolycaprolactonein the 21st century, *Progress in Polymer Science* 2010,**35**, 1217-1256.
- [4]<http://biotechnologia.pl/kosmetologia/artykuly/polikaprolakton-w-kosmetologii>,12685
- [5]Kaya Y, İnsan Anatomisi ve Kinesyoloji. *Marmara İletişim Basın Yayın* 2003, İstanbul.
- [6]http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392011000300006
- [7] Barbanti S H, Duek E A R, Zavaglia C A C, Polímeros **15** 2005, 13–21.
- [8]Doshi J and Reneker D H, Electrospinning process and applications of electrospun fibers. *Journal of Electrostatics* 1995, **35**, 151–156.
- [9]Erdem R, Nanolif bazlı yara örtüsü yüzeyi geliştirilmesi. *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2013, İstanbul, **174**.