



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİKAPROLAKTON-KİTOSAN NANOLİFLERİN ÜRETİMİNDE VE
ANTİBAKTERİYEL AKTİVİTESİ ÜZERİNDE ÇÖZÜCÜ ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ömer Fırat TURŞUCULAR

Doç. Dr. Yakup Aykut

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2017

TEZ ONAYI

Ömer Fırat TURŞUCULAR tarafından hazırlanan "POLİKAPROLAKTON-KİTOSAN NANOLİFLERİN ÜRETİMİNDE VE ANTİBAKTERİYEL AKTİVİTESİ ÜZERİNDE ÇÖZÜCÜ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yakup Aykut

Başkan: Doç. Dr. Yakup Aykut
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Doç. Dr. Mehmet Orhan
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Doç. Dr. İdris Çerkez
Bursa Teknik Üniversitesi
Doğa Bilimleri, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
Lif ve Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki Sonucu Onaylarım

Prof. Dr. Ali Bayram

Enstitü Müdürü

16.1.6/2017

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13.09.2017

İmza



Ömer Fırat Turşucular

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİKAPROLAKTON-KİTOSAN NANOLİFLERİN ÜRETİMİNDE VE ANTİBAKTERİYEL AKTİVİTESİ ÜZERİNDE ÇÖZÜCÜ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer Fırat Turşucular

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yakup Aykut

Farklı oranlarda karışımı yapılmış polikaprolakton/kitosan (PCL/CS) nanolifler elektroçekim metoduyla üretilmiştir. Elektroçekim çözeltileri aseton ve formik asit olmak üzere iki farklı çözücü kullanılarak hazırlanmıştır. Çözücü etkisinin üretilen nanoliflerin morfolojileri, kimyasal özellikleri ve termal özellikleri optik mikroskop, SEM, FTIR ve DSC cihazlarıyla, antibakteriyel aktiviteleri üzerindeki etkileri ise ASTM 2149 01 standardına göre ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, çözücü olarak aseton kullanıldığında CS'in partikül olarak PCL nanolifler tarafından enkapsüle edildiği ve bununda nanoliflerin antibakteriyellik özelliklerini az katkı yaptığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, çözücü olarak formik asit kullanıldığında CS ve PCL'nin elektroçekim çözeltisi içerisinde tamamen çözüldüğü, üretilen nanoliflerin her tarafında iki polimerinde bulunduğu ve sonuç olarak nanoliflerin daha iyi antibakteriyel özelliklerde oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Antibakteriyel malzemeler, elektroçekim, kitosan, polikaprolakton, aseton, formik asit, nanolif

2017, x + 76 sayfa.

ABSTRACT
MSc Thesis

**INVESTIGATION OF SOLVENT EFFECT ON THE PRODUCTION AND
ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF POLYCAPROLACTONE/CHITOSAN
NANOFIBERS**

Ömer Fırat TURŞUCULAR

Uludağ Üniversitesi

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yakup Aykut

Chitosan (CS) blended polycaprolactone (PCL) nanofibers were prepared with different CS content via electrospinning procedure. Two different solvents, acetone and formic acid (FA) were used to dissolve and blend the polymers before electrospinning process. Effect of solvent on the electrospinnability of the blend, final nanofiber morphologies, chemical and thermal properties and antibacterial activities were investigated with optical microscopy, SEM, FTIR, DSC, and ASTM 2149 01 Standard Dynamic Contact Conditions. The results revealed that using acetone as a solvent chitosan particles were encapsulated in the as spun PCL nanofibers and antibacterial activity increase as a certain amount. Contrarily; when FA is used as the solvent, CS and PCL were dissolved and blended very well, and antibacterial activity was enhanced considerably.

Key words: Antibacterial materials, electrospinning, chitosan, polycaprolactone, acetone, formic acide, nanofiber

2017, x + 76 pages.

TEŞEKKÜR

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümünü kazandığım günden beri kıymetli bilgi ve tecrübelerine sürekli başvurduğum öğretim üyesi değerli hocam Prof. Dr. Yusuf Ulcay hocama sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü desteğini esirgemeyen danışman hocam Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Yakup Aykut'a sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Antimikrobiyel aktivite tayinlerinde kıymetli bilgilerine başvurduğum Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Mehmet Orhan'a sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bursa Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri ve Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Lif ve Polimer Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. İdris Çerkez'e ve yüksek lisans öğrencisi Arş. Gör. Büşra Ateş'e FTIR ve DSC testlerindeki yardımlarından dolayı sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim devam ederken Erasmus öğrenci değişim programı kapsamında Almanya'da bulunan RWTH Aachen Üniversitesi'ne çeşitli teknik araştırmalar için gitmemde her türlü desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Recep Eren ve Doç. Dr. Mehmet Orhan'a sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın mihenk taşlarından biri olan Uludağ Üniversitesinde çalışan tüm akademik ve idari personele sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine, Tekstil ve Otomotiv Mühendisliği öğrencisi canım kız kardeşim Elif Dicle Turşucular'a bütün tez çalışmam süresince bana verdiği manevi desteklerinden dolayı sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi-manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ömer Fırat TURŞUCULAR
Haziran, 2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Antimikrobiyellik.....	3
2.1.1. Antimikrobiyel kimyasal materyaller.....	4
2.1.2. Malzemeye antimikrobiyellik kazandırma yöntemleri.....	6
2.1.3. Antimikrobiyellik test metodları.....	7
2.1.4. Tekstilde antimikrobiyellik.....	8
2.1.5. Antimikrobiyel nanolifler.....	9
2.2. Polimer nanolifler ve üretim yöntemleri.....	9
2.2.1. Fibrilasyon.....	10
2.2.2. Bikomponent.....	10
2.2.3. Meltblowing.....	10
2.2.4. Santrifüj çekim.....	11
2.2.5. Elektroçekim.....	12
2.3. Elektroçekimle polimer nanolif üretimi.....	12
2.3.1. Elektroçekimde nanolif oluşumunda etkili olan parametreler.....	13
2.4. Polikaprolakton (PCL).....	19
2.4.1. Polikaprolakton (PCL) ve antimikrobiyellik.....	20
2.4.2. Polikaprolakton (PCL) nanolifler.....	21
2.4.3. Polikaprolakton (PCL) nanoliflerin antimikrobiyel uygulamaları.....	22
2.5. Kitosan (CS).....	22
2.5.1. Kitosan (CS) antimikrobiyellik.....	23
2.5.2. Kitosan (CS) nanolifler.....	24
2.5.3. Kitosan (CS) nanoliflerin antimikrobiyel uygulamaları.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26
3.1. MATERYAL.....	26
3.1.1. Kullanılan kimyasallar.....	26
3.2. YÖNTEM.....	27
3.2.1. Elektroçekim yöntemi.....	27
3.2.2. Konsept çalışması.....	28
3.2.3. Nanoliflerin karakterizasyonları.....	29
3.2.4. Antimikrobiyel etkinlik testleri.....	29

4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1.	Taramalı elektron ve optik mikroskoplarıyla nanoliflerin morfolojik analizleri .	32
4.2.	PCL/CS nanoliflerin ATR-FTIR ile kimyasal analizleri	35
4.3.	PCL/CS nanoliflerin DSC ile termal analizleri.....	36
4.4.	Antibakteriyel aktivite testi sonuçları	37
5.	SONUÇ	40
	KAYNAKLAR	41
	EKLER.....	50
	ÖZGEÇMİŞ	76



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Simgeler	Açıklama
%CV	Yüzde değişim (varyasyon) katsayısı
Σ	Toplama işareti
°C	Derece (santigrad cinsinden)
°C/dk	Isıtma oranı
C	Konsantrasyon
cm ⁻¹	Dalgaboyu birimi (santimetre üzeri -1)
C _p	Sabit basınç altında özgül ısı
Da	Atomik kütle birimi (dalton)
dev/dk	Devir sayısı
E	Young modülü (GPa)
kV	Kilovolt
mg/l	Sıvı yoğunluğu
ml/dk	Hacimsel debi
M _n	Sayıca-ortalama molekül ağırlığı
M _w	Ağırlıkça-ortalama molekül ağırlığı
n	Yığının içerisindeki toplam sayısal veri sayısı
pH	Çözeltideki asitlik derecesi ölçü birimi
S	Standart sapma
T _g	Camsı geçiş noktası sıcaklığı (°C)
T _m	Erime noktası sıcaklığı (°C)
X	Aritmetik ortalama
X _i	Yığının içerisindeki her bir veri (i = 1'den başlamak üzere, n tane sayısal veri için n sonda olmak kaydı ile n adettir)

Kısaltmalar

Açıklama

AATCC	Amerikan Tekstil Kimya ve Boyaları Derneği
ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Derneği
Ag	Gümüş
AgNPs	Gümüş nanoparçacıklar
AC	Aseton
ADMH	3-alil-5,5-dimetilrudantoin
ARGE	Araştırma geliştirme
CA	Selüloz asetat
CS	Kitosan
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
DMF	Dimetilformamid
EVOH	Etilenvinilalkol
E.Coli	Escherichia coli
FA	Formik asit
PA	Poliamid
PE	Polietilen
PBT	Polibütilentereftalat
PCL	Polikaprolakton

PEO	Poliyetenoksit
PEG	Poliyetenlikol
PES	Polyester
PLA	Polilaktikasit
PLLA	Poli-L-laktik asit
PDLA	Poli-D,L-Laktik asit
PHMB	Polihegzametilen biguanid
PP	Polipropilen
PVA	Polivinilalkol
PVB	Polivinilbütiral
PVC	Polivinilklorid
PVP	Polivinilpirolidon
PMMA	Polimetilmetakrilat
PS	Polistiren
PSBC	Zwitterionic sulfobetaine
PSBMA	Poly(sulfobetaine methacrylate)
ROP	Halka açılma polimerizasyonu
AgNPs	Gümüş nanoparçacıklar
SiO ₂	Silisyum dioksit
S.Aureus	Staphylococcus aureus
NaCl	Sodyum klorür
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	Disodyum hidrojen fosfat dodekahidrat
NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O	Sodyum dihidrojen fosfat
THF	Tetrahidrofur
TSB	Triptik soya suyu
MIC	Antibakteriyel madde konsantrasyonu
MEK	Metiletilketon
P.Aeruginosa	Pseudomonas aeruginosa
MRSA	Metisilin dayanıklı staphylococcus aureus
NA	Besleyici agar
NB	Besleyici besiyer
SHP	Sodyumhipofosfit (NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O ₂)
FT-IR	Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TEM	Aktarmalı elektron mikroskobu
ZnO	Çinko oksit
%R:	Bakteri azalma yüzdesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. E.Coli (solda) ve S.Aureus (sağda) bakterilerinin SEM görüntüleri.....	4
Şekil 2.2. Kuaterner amonyum tuzunun kimyasal yapısı.....	5
Şekil 2.3. Polivinilasetat ko metakrilamid asilik N-Halamin kopolimeri.....	5
Şekil 2.4. Kitosanın (CS) kimyasal yapısı.....	5
Şekil 2.5. Triklosan kimyasal yapısı.....	6
Şekil 2.6. Polihegzametilen biguanid - PHMB kimyasal yapısı.....	6
Şekil 2.7. Lif çekim işlemi sırasında ekstrüder içerisine antimikrobiyel kimyasallar eklenmesi sayesinde antimikrobiyel özellik kazandırılması işlemi olarak düşünülebilen masterbatch işlemi.....	7
Şekil 2.8. Çeşitli bikomponent liflerin enine kesit görüntüleri.....	10
Şekil 2.9. Meltblown metoduyla nanolif üretim yöntemi.....	11
Şekil 2.10. Taylor konisi oluşumuna ve etki eden parametreler.....	13
Şekil 2.11. Elektro çekim prosesinde kullanılan toplayıcı plaka tipleri.....	13
Şekil 2.12. Polikaprolakton'ın kimyasal yapısı.....	20
Şekil 2.13. Kitin ve kitosanın kimyasal yapıları.....	22
Şekil 2.14. Kitin/CS'den tamamen deasetillenmiş CS üretimi.....	23
Şekil 3.1. Aseton (AC) (solda) ve Formik asitin (FA) (sağda) kimyasal yapısı.....	26
Şekil 3.2. CS (solda) ve PCL (sağda)'nin kimyasal yapıları.....	26
Şekil 3.3. Elektro çekim tekniğinin şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.4. Polimer çözeltilerinin hazırlanması (solda) ve manyetik karıştırma tekniğiyle polimerin çözdürülmesi (sağda).....	28
Şekil 3.5. Elektroçekim prosesinde kullanılan mikropompa (solda) ve voltajın uygulandığı güç kaynağı (sağda).....	28
Şekil 3.6. AC ve FA çözücüleri kullanılarak hazırlanan PCL/CS elektroçekimli nanoliflerin; çözeltinin hazırlanması, elektroçekim prosesi ve nanolif morfolojilerinin şematik gösterimi.....	29

Şekil 3.7. Antibakteriyel aktivite testine ait proses görüntüleri.....	31
Şekil 4.1. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda AC çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen SEM görüntüleri.....	32
Şekil 4.2. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda AC çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	33
Şekil 4.3. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen SEM görüntüleri.....	34
Şekil 4.4. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	35
Şekil 4.5. (a: PCL), (b: PCL/CS (95/5)), (c: PCL/CS (80/20)) ve (d: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda solda AC çözücüsü ve sağda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen FTIR sonuçları.....	36
Şekil 4.6. (a: PCL), (b: PCL/CS (95/5)), (c: PCL/CS (80/20)) ve (d: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda solda AC çözücüsü ve sağda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen DSC görüntüleri.....	37
Şekil 4.7. ASTM 2149 01 test yöntemi göre <i>Escherichia coli</i> (AATCC 35218) ^a 'ye karşı antibakteriyel etkinlik değerleri.....	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. PCL'nin özellikleri.....	20
Çizelge 4.1. ASTM E2149 01 test yöntemine göre yapılan farklı çözücülerde hazırlanmış PCL/CS nanoliflerin Escherichia coli (ATCC 35218) ^a 'ye karşı antibakteriyel test ları.....	38



1. GİRİŞ

Dünya genelinde salgın hastalıkların artış antibakteriyel malzemelerin geliştirilmesi konusunda kritik bir önem haline getirmiştir. Gerekli uyarılar ve önlemler arttırılmaz ise bu tür mikroorganizmaların 2050 yılı itibariyle yıllık ortalama 10 milyon insanın ölümüne yol açabileceği öngörülmektedir (O'Neill 2016). Medikal alanlar başta olmak üzere hemen hemen tüm alanlarda ürünlerin yüzeylerinin antibakteriyel fonksiyonellikte olması gerekebilmektedir. N-halamin, metal iyonları, kuaterner amonyum bileşikler, sentetik antibakteriyel peptitler ve kitosan başlıca antibakteriyel özelliğe sahip organik ve inorganik malzemelerdir (Siedenbiedel ve Tiller 2012). Kitosanın selülozdan sonra ikinci en yaygın polimer olması, diğer metaryellerle uyumu, kolay proses edilebilir olması, biyoyumlu ve biyoaktif karakterinden dolayı antibakteriyel malzeme olarak kullanımı önem arz etmektedir (Hurt ve ark 2015).

PCL biyoyumlu ve biyobozunur karakterlerinden dolayı biyomedikal uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PCL nanolifler yara örtüsü (Croisier 2014), biyomedikal doku çatısı (Kim 2008, Ghasemi-Mobarakeh ve ark. 2010), ilaç salınımı (Zamani ve ark. 2010), sentetik damar (Nottelet ve ark. 2009) ve su filtrasyonu (Cooper ve ark. 2013) uygulamaları başta olmak üzere birçok alanda kullanılmak üzere üretilmektedir. Bahsedilen bu alanlar için PCL nanoliflerin antibakteriyel karakterde olması gerekmektedir. Bu kapsamda kitosanın PCL membranların yapısına katılarak üretimi yaygın çözücülerin kullanımıyla yapılmaktadır (Van der Schueren ve ark 2012, Sarasam ve ark. 2006). Karışım polimerik yapıların nanolif üretiminde kullanımının yanısıra kitosanın PCL ile kopolimerleşmesi ve eşmerkezli PCL/kitosan nanolif uygulamalarında yapılabilmektedir (Yu ve ark. 2006).

Elektro çekim yöntemi çeşitli prekürsör malzemeler kullanılarak sürekli polimer, seramik ve karbon nanoliflerin üretimi için kullanılan yeni bir teknolojidir (Aykut ve ark. 2013a,b, Xue ve ark. 2015). Elektro çekimde nanolif üretiminde kısaca hazırlanan bir polimer çözümü veya eriyiğinin uygulanan yüksek voltajla yapının hemen karşıya yerleştirilmiş olan topraklanmış yüzeyde kuru nanolif formunda toplanması prensibine dayanmaktadır. PCL birçok solventte çözünebildiği bilinmektedir. PCL nin çözücü çeşidine bağlı olarak hazırlanan elektro çekim çözeltilerinden elde edilen nanoliflerin

morfolojileri ve elektro çekim esnasındaki proses parametreleri farklılık göstermektedir (Abedalwafa ve ark. 2013).

Bu çalışmada; nanolif üretim yöntemlerinden biri olan elektroçekim prosesiyle tıbbi tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanılan polikaprolakton (PCL) polimerine, antibakteriyel özelliği bilinen kitosan (CS) polimeri dört farklı oranda çözündürme davranışının farklı olduğu bilinen iki farklı çözücü olan; aseton (AC) ve formik asit (FA) ile ayrı ayrı çözüldürülerek toplamda sekiz farklı yapıli çözelti hazırlanıp, T.C Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliğı Yüzey Analiz Laboratuvarı'nda elektroçekim prosesi ile nanolifli dokusuz yüzey formuna getirilmiştir.

Daha sonraki aşamada hazırlanan nanolif numuneleri T.C. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Laboratuvarı'nda antibakteriyel aktivitenin etkisinin incelenmesi için gram negatif olan Escherichia coli (E.Coli) bakterilerinin ekimleri uygulanmış ve bir gün süreyle (24 saat) inhibitör içerisinde standart atmosfer şartları altında ve belirli bir devirde karıştırıldıktan sonra antibakteriyel aktivitenin analiz sonuçları elde edilmiştir.

En son aşamada ise, üretilen nanoliflerin T.C. Bursa Teknik Üniversitesi Lif ve Polimer Mühendisliğı Laboratuvarı'nda DSC termal ve FTIR kimyasal analizleri yapılmış olup, T.C Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü Laboratuvarında SEM görüntüleri, T.C Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliğı Bölümü Tekstil Kimyası Laboratuvarı'nda Optik mikroskop görüntüleri alınmak suretiyle antibakteriyel özellikli dokusuz yüzey formundaki nanolifli yapıların; morfolojik yapıların yüzey analizleri ve topografyaları incelenmiştir. Ekler kısmında ise; nanolif çapları dağılımı grafiklere dönüştürülerek temel istatistiksel incelemelerinde yardımcıyla yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde; yapılan çalışmanın konusu ile ilgili literatürde daha önce yapılmış çalışmalardan kısaca görsellerle desteklenerek açıklanmıştır.

2.1. Antimikrobiyellik

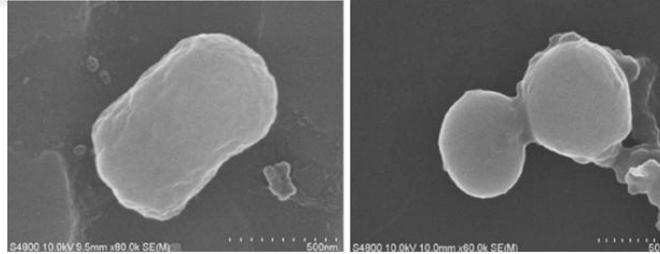
Tamamen antimikrobiyel özellikte olan malzemeler kullanılarak antibakteriyel karakterde ürünler üretiminin yanı sıra antibakteriyel olmayan malzemelerde çeşitli yöntemler kullanılarak antibakteriyel özellik kazandırılmaktadır. Günlük hayatta antibakteriyel malzemeler sıvı sabunlara katıldığı gibi tekstil ürünlerinde de kullanımı geniş şekilde mevcuttur. Antibakteriyel özellik kazandırılması istenen ürüne daha üretim esnasında antibakteriyel özellikteki malzeme katılabileceği gibi ürün üretildikten sonra da bu özellik kazandırılabilir. Örneğin antibakteriyel bir kumaş üretilmek istendiğinde daha kumaşın bileşenlerinden olan liflerin üretilmesi esnasında antibakteriyel malzeme ürüne katılabileceği gibi kumaş üretilmesi tamamlandıktan sonra kaplama yöntemi gibi ekstra metotlarla da antibakteriyel özellik kumaşa kazandırılabilir. Diğer taraftan ürüne antibakteriyel özellik kazandırılacak diye zararlı kimyasalların kullanımından ve bu kimyasalların kumaşta kalıcı olmasından da kaçınılması gerekmektedir. Antibakteriyellik mikroorganizmanın işlevsel özelliklerini yavaşlatma, durdurma veya mikro organizmayı yok etme şeklinde olabilmektedir.

Paketleme ve diğer gıda temas yüzeyleri gibi gıda uygulamaları için antimikrobiyel malzemelerin araştırma ve gelişimi, yeni polimer malzemelerin ve antimikrobiyellerin önümüzdeki on yıl içerisinde büyümesi umulmaktadır. Gıda teması, ticari uygulamalar ve gelecek eğilimler için geliştirilen antimikrobiyel polimerin çeşitli türleri Appendini ve Hotchkiss tarafından rapor edilmiştir (Appendini ve Hotchkiss 2002).

Muhabet çiçeği olarak adlandırılan Reseda Luteola, doğal boyama bitkisi olarak seçilmiş ve CS biyopolimeri ile ön işlem görerek ve yünlü kumaşları boyayarak fonksiyonel ve estetik özelliklere etkisinin yanı sıra antibakteriyel etkisi Seventekin ve arkadaşları tarafından incelenmiştir (Seventekin ve ark. 2012). Çeşitli parametreler değiştirilerek boyama koşulları belirlenmiştir. Daha sonra ise, farklı konsantrasyonlarda

CS çözeltileri ile ön işlem görmüş yünlü kumaşlar belirlenen boyama koşullarına bağlı olarak boyanmış ve işlem görmüş numunelerin sonuçları, renk verimi, antibakteriyel aktivite ve haslık özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. Sonuçta ise, CS'nin yünlü kumaşların hem antibakteriyel aktivitelerini hem de renk verimliliğini ciddi bir biçimde arttırdığı vurgulanmıştır (Seventekin ve ark. 2012).

Halkın giderek artan farkındalığıyla birlikte bulaşıcı hastalıkların, tekstil endüstrisini ve bilimadamlarını çeşitli antimikrobiyel ve antiviral bileşenlerin eklentisiyle hijyenik kumaşlar geliştirmeye yönlendirmiştir. Sodyum pentaborat pentahidra, triklosan ve glukaplonlu antimikrobiyel ve antiviral özellikler kazandırmak için pamuklu kumaşlara uygulanmıştır (İyigünoğdu ve ark. 2017). Çalışmada kullanılan kimyasallar tekstillerin antimikrobiyel aktivitesi; bakteri, maya ve mantar içeren geniş bir aralığa karşı araştırılmıştır. Dahası; modifiyeli pamuklu kumaşlar, adenovirüs tip 5 ve poliovirüs tip 1'e karşı test edilmiştir. Test sonuçlarına bağlı olarak; modifiyeli tekstil ürünlerinin çok iyi antimikrobiyel ve antiviral özelliklerde olduğu rapor edilmiştir (İyigünoğdu ve ark. 2017). Antibakteriyel çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılan E.Coli ve S.Aureus bakterilerinin SEM görüntüleri Şekil 2.1. de verilmiştir.

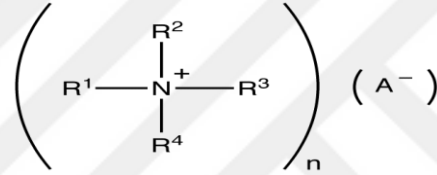


Şekil 2.1. E.Coli (solda) ve S.Aureus (sağda) bakterilerinin SEM görüntüleri (Li ve ark. 2015)

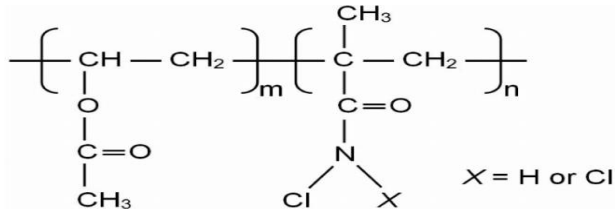
2.1.1. Antimikrobiyel kimyasal materyaller

Bozja ve arkadaşları ışık kaynaklı aktif hale geçen antimikrobiyel malzeme olarak protoporphyrin IX ve çinko protoporphyrin IX'ın naylon liflerine aşılması ile üretmişlerdir (Bozja ve ark. 2003). Bu lifler, *S.Aureus*'a ve *E.Coli*'ye karşı belitli şiddetteki ışık altında antibakteriyel atki göstermiştir. Işığın yokluğunda, her ikisinde de

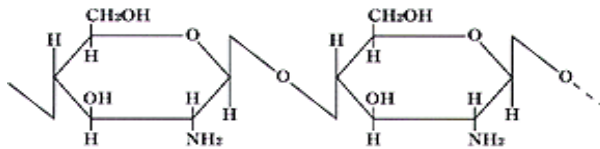
etkisiz olduğu vurgulanmıştır. Simoncic ve Tomsic tarafından rapor edilen makalede tekstiller içerisinde kullanılan modern antimikrobiyel ajanların bazıları olan kuaterner amonyum bileşikleri, N-halaminler, polybiguanide, kitosan, triklosan ve metal oksitlerin nanoparçacıkları kapsamlı olarak gözden geçirilmiştir (Simoncic ve Tomsic 2010). Beyth ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada nanoparçacıkların antimikrobiyel olarak etkilerini ve nanoparçacıkların antibakteriyel ajan olarak kullanımında beraberinde taşıdığı riskler tartışılmıştır (Beyth ve ark. 2015). Kuaterner amonyum tuzunun genel yapısı Şekil 2.2. de, Polivinilasetat ko metakrilamid asilik N-Halamin in yapısı Şekil 2.3. te, kitosanın yapısı Şekil 2.4. te, triklosan kimyasal yapısı Şekil 2.5. te ve polihegzametilen biguanid - PHMB yapısı Şekil 2.6. da gösterilmiştir.



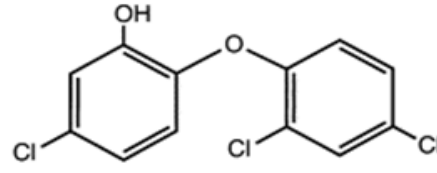
Şekil 2.2. Kuaterner amonyum tuzunun kimyasal yapısı (Anonim 2017a)



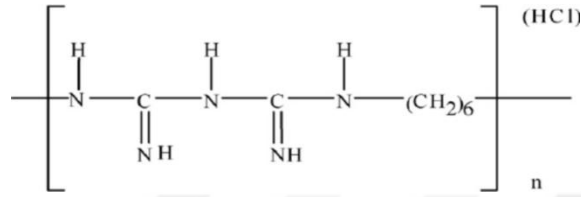
Şekil 2.3. Polivinilasetat ko metakrilamid asilik N-Halamin kopolimeri (Hui ve Bebiemme-Chouvy 2013)



Şekil 2.4. Kitosanın (CS) kimyasal yapısı (Anonim 2017b)



Şekil 2.5. Triklosan kimyasal yapısı (Stewart ve ark 1999)



Şekil 2.6. Polihezametilen biguanid - PHMB kimyasal yapısı (Rowhani ve Lagalante 2007)

2.1.2. Malzemeye antimikrobiyellik kazandırma yöntemleri

Kendiliğinden antimikrobiyel karakterde olan tekstil lifleri (kitosan gibi) üretilip bu liflerden iplik ve kumaşlar üretilbileceği gibi kumaş üretildikten sonra bitim işlemleriyle de tekstil mamulüne antimikrobiyel özellik kazandırılabilir. Diğer taraftan lif üzeritimi esnasında polimer çözeltisi veya eriyiğine katılacak antimikrobeyel malzeme lif üretiminden sonra lifin yapısına katılmış olacaktır. Terbiye işlemine kıyasla lif üretim esnasında katılan antimikrobiyel malzemenin kullanım esnasında tekstil mamulündeki kalıcılığı daha yüksek olacaktır. Lif üretim esnasında çözeltiliye katılan antimikrobiyel malzemenin çözücünden etkilenmemesi ve eriyiğe katılanların ise uygulanan sıcaklığa karşı dayanıklı olup antimikrobiyel özelliğinin kaybolmaması gerekmektedir.

Tıp, koruyucu sağlık ve hijyen alanlarında antimikrobiyel liflerin kullanılabilir ve bu alanda kullanılan antimikrobiyel lifler toksik, alerjik ve kanserojen olmaması istenmektedir (Orhan 2007). Belirli fiziksel ve kimyasal özellikli bakteriyostatik lifler ve iplikler, PES, PAN ve viskon gibi liflerinin üretimini ciddi bir oranda arttırmaktadır,

ve bu bakteriyostatik liflerin çoğu Ag, bakır ve çinko gibi metal kompleks tabanlı kimyasal maddeler içermektedir (Jaiswal ve ark. 2012, Baser 1995).

Lif çekim teknolojilerinde antimikrobiyel madde, düzeden geçirilmeden önce polimer veya lif çekim çözeltisi veya eriyiği içerisine eklenmektedir. Antimikrobiyel maddenin özellikleri lif çekim koşulları olan partikül çapı, ısı ve kimyasal dayanıklılık, polimerlerle etkileşime girmemesi gibi şartlara uyumlu olmak zorundadır, ve antimikrobiyel maddelerin çekim işleminde ilavesiyle üretilen liflerin antimikrobiyel etkinlikleri, daha yüksek haslıklarda ve daha uzun süreli korunması gerekmektedir (Orhan 2007).

Lif çekim işlemi sırasında özel bileşiklerin eklenmesi şematik olarak Şekil 2.7. de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Lif çekim işlemi sırasında ekstreder içerisine antimikrobiyel kimyasallar eklenmesi sayesinde antimikrobiyel özellik kazandırılması işlemi olarak düşünülebilen masterbatch işlemi (Anonim 2017c)

2.1.3. Antimikrobiyellik test metodları

Antimikrobiyel test metodu olarak birçok test metodu bulunmaktadır. Bu test metodlarından bazıları şu şekildedir:

-ASTM E-2149-01– Dinamik temas şartları altında sabitlenmiş antimikrobiyel ajanların antimikrobiyel aktivitenin belirlenmesi için standart test yöntemi.

-ASTM Standartı olan E1054 - Dezenfektanlar, antiseptik veya korunmuş ürünler için kullanılan antimikrobiyel ajanların inaktivatör olarak değerlendirilmesi için uygulamalar

-AATCC 147– Tekstil malzemelerinin antibakteriyel aktivitesinin değerlendirilmesi: Paralel Çizgi metodu–RTP-NC.

-AATCC 100– Kumaşlar üzerinde antibakteriyel bitimler–RTP-NC.

2.1.4. Tekstilde antimikrobiyellik

Pamuklu kumaş yapılarına *sodyum pentaborat* pentahidrat ve triklosan katılarak antimikrobiyel ve antiviral textile ürünleri üzerine yapılan çalışmada kullanılan kimyasalların antimikrobiyel ve antiviral özelliklerini iyileştirdiği İyioğlu ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Iyigundogdu 2017). Bir siklo amin monomeri olan 3-alil-5,5-dimetilrudantoin (ADMH) sürekli bir bitim prosesiyle dayanıklı bir antibakteriyel malzeme olarak çeşitli tekstiller üzerine aşılanmıştır, daha sonra klorine maruz kalan numuneler içerisindeki aşılanmış hidantoin yapılar güçlü, dayanıklı ve rejenere antibakteriyel aktiviteler sağlayan N-halaminlere dönüştürülmüştür (Sun ve Sun 2001). Bir lif-reaktif kitosan türevi olan O-akrilamidometil-N-[(2-hidroksil-3-trimetilamonyum)propil] kitosan klorid (NMA-HTCC) pamuklu kumaşlar üzerine alkali ortamda soğuk pad-batch metoduyla uygulanmıştır ve elde edilen yapının *Staphylococcus aureus* e karşı iyi bir antimikrobiyel etki gösterdiği değerlendirilmiştir (Lim ve Hudson 2004). Pamuklu tekstillerin antimikrobiyel bitimleri için uygun maliyetli ve düşük sıcaklıkta uygulanabilen bir proses sol-jel yöntemiyle Xing ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Xing ve ark. 2007). Tekstiller için Ag, kватerner amonyum tuzları, polihegzameten biguanid, triklosan, CS, boyalar ve rejenere N-halamin bileşenleri ve peroksidler gibi çeşitli aktif ajanların kullanıldığı çeşitli antimikrobiyel bitim işlemleri ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Gao ve Cranston 2008). Gümüş kolloidlerinin yüzeylerine fikse edildiği pamuklu kumaşların *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* karşı antimikrobiyel etkileri Su ve arkadaşları tarafından incelenmiştir ve mükemmel antimikrobiyel etki gözlemlenmiştir (Su ve ark. 2011).

2.1.5. Antimikrobiyel nanolifler

Kendiliğinden antimikrobiyel karakterde olan (kitosan gibi) nanolifler üretilebildiği gibi antimikrobiyel özellikteki malzemelerin direk lif yapısına dahil edilerek veya üretilen nanoliflere daha sonra antimikrobiyel bitim işlemi uygulayarak antimikrobiyel özellikte nanoliflerin üretimi mümkündür.

Son ve arkadaşlar selüloz asetat nanoliflerin yüzeyine gümüş nanoparçacıklar dahil ederek antimikrobiyel özellikte selüloz asetat nanolifler üretmişlerdir (Son ve ark. 2006). Elektro çekim selüloz asetat solüsyonuna gümüş nitrat (AgNO_3) katarak nanolifleri üretmiş, ardından nanolifleri UV ışımına maruz bırakarak yüzeyde gümüş nanoparçacıkların oluşumunu sağlamışlardır. Ortalama 21 nm boyutuna sahip Ag nanoparçacıklar ile yapı güçlü bir antimikrobiyel aktivite sergilemiştir. (Son ve ark. 2006).

Modifiye edilmiş bir elektroçekim tekniği olan nanoörümcek teknolojisi ile metronidazole (MTZ) nin PVA/PEO nanoliflerin yapısına katılımıyla antimikrobiyel nanolifler üretilmiştir, ve PVA/PEO/MTZ kompozit nanolifler: test edilen mikroorganizmaların çeşitli türleri olan; E.Coli, P.Aeruginosa, Aspergillus Niger, Penicillium Notatum ve Aspergillus Flavus'a karşı dikkat çekici antimikrobiyel aktivite sergilemiştir. (El-Newehy ve ark. 2012). Antimikrobiyel özellikte olan Pleurocidin in elektro çekim metoduyla PVA nanoliflerin yapısına katılımıyla antimikrobiyel nanolifler üretilmiştir. (Wang ve ark. 2015).

2.2. Polimer nanolifler ve üretim yöntemleri

Günümüzde, polimer nanolif üretiminde farklı üretim yöntemleri mevcuttur. Bunlara örnekler olarak; fibrilasyon, bikomponent, meltblown, santrifüj, elektroçekim, faz ayrımı gibi ve daha birçok üretim metoduyla nanolif üretilebilmektedir. Her bir üretim tekniğinin kendine has olan çeşitli avantaj ve dezavantajları mevcuttur ve bu özellikler ile farklı malzemeler için farklı uygulama alanları sağlamaktadır. Bu üretim yöntemlerinden bazıları başlıklar halinde bu bölümde incelenmiştir.

2.2.1. Fibrilasyon

Kitin nanolifler, bir bileme aparatı kullanılarak fibrilleşme ile kurutulmuş kitinden üretilmektedir. Ifuku ve arkadaşları kuru kitini asidik ortamda sürtme uygulanarak 10-20 nm genişliğinde üniform fibriler nanolif formunda dönüştürülmüştür (Ifuku ve ark. 2010). Başka bir çalışmada Lu ve arkadaşları kitin nanolifleri ultrasonik aparat yardımıyla fibriler yapıda üretmişlerdir (Lu ve ark. 2013). Uygulanan ultrasonun süresine bağlı olarak nanolif çapı değişkenlik göstermektedir.

2.2.2. Bikomponent

Üretilen denizde adacık formundaki bikomponent liflere uygulanan mekanik kuvvetler sayesinde lifte fibrilleşme meydana gelmekte ve nano ölçekte çapa sahip lifler üretilmektedir. Anantharamaiah ve arkadaşları denizde adacık formunda naylon 6 (deniz)-polietilen (adacık) bikomponent lifleri üretmişler ve ardından yüksek basınçlı su jetiyle fibrilleşmeyi gerçekleştirerek nano ölçekte lifler üretmişlerdir (Anantharamaiah ve ark. 2008). Bazı bikomponent liflerin şematik gösterimi Şekil 2.8. de sunulmuştur.



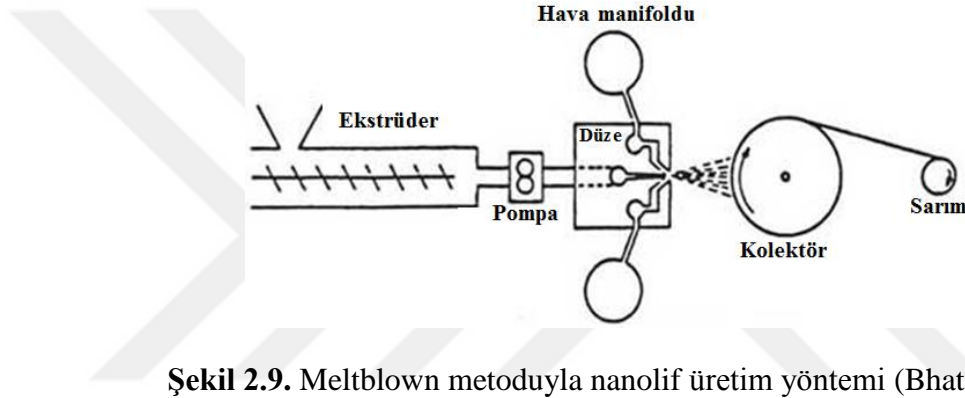
Şekil 2.8. Çeşitli bikomponent liflerin enine kesit görüntüleri (Anonim 2017d)

2.2.3. Meltblowing

Meltblown, 1-2 µm aralığında değişen ortalama lif çapı ile polimer reçineden direk olarak kendi kendine bağlanmış lifli dokusuz yüzey membranların üretimi için benzersiz bir adım prosesidir, mikronaltı ve nano ölçekli lif oluşumunda da bu proses kullanılabilir (Hassan ve ark. 2013). Hassan ve arkadaşları filtrelemede kullanmak için 300-500 nm çap aralığına sahip polipropilen nanolif mebranları

meltblown yöntemiyle kullandıkları yeni düze sistemiyle üretmişlerdir (Hassan ve ark. 2013).

Meltblown prosesinin şematik gösterimi Şekil 2.9. de sunulmuştur. Kısaca meltblown metodunda nanolif üretimi ekstrüderde eriyik formuna getirilmik termoplastik bir polimer düzeden çıktıktan sonra sıcak hafa ile üflenerek kolektör üzerinde toplanması prensibine dayanır. 500 nm'den daha küçük ortalama çaplara sahip PBT, PP ve PS nanolifler, ticari olarak uygulanabilen proses şartları kullanılarak tek delikli (Düzeli-İğneli) meltblown aparatı ile üretilebilmektedir (Ellison ve ark. 2007).



Şekil 2.9. Meltblown metoduyla nanolif üretim yöntemi (Bhat 2015)

2.2.4. Santrifüj çekim

Bu yöntemde nanolif oluşumu merkezkaç kuvvetinin etkisiyle gerçekleşmektedir. Bu yöntemde lif çekilmesi istenen sıvı yüksek hızlara çıkabilecek dönebilen bir başlık içerisinde beslenmek suretiyle santrifüj hızı belirli kritik bir değerin üzerine çıktıktan sonra sıvı jet fırlatılıp uzatılarak kuru nanolif formunda toplayıcı üzerinde birikmesi prensibine dayanır (Zhang ve Lu 2014). McEachin ve Lozano kuvvetçekim yöntemi diyede adlandırılan bu yöntemle PCL nanolifleri üretmeyi başarmışlardır (McEachin ve Lozano 2012). PCL diklorometan içerisinde çözülmüştür ve çözeltiler, 3000'den 9000 rpm aralığına kadar değişen hızlarda santrifüjlenmiştir. Dönme hızı arttıkça lif çapının azaldığı gözlemlenmiştir. 9000 rpm'de 220 nm ortalama lif çapı ve CV değeri +-98 nm olarak rapor edilmiştir (McEachin ve Lozano 2012).

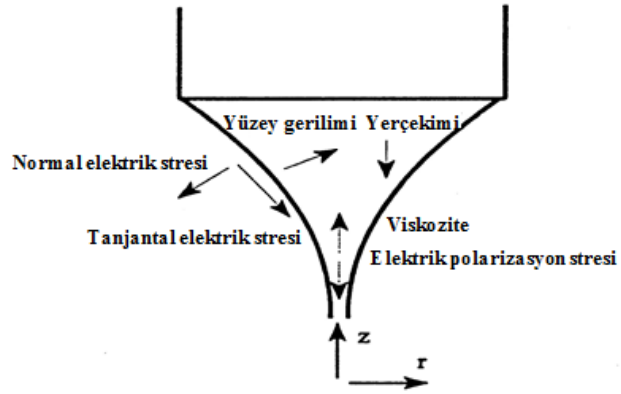
2.2.5. Elektroçekim

Günümüzde, elektroçekim yöntemi en yaygın kullanılan nanolif üretim yöntemlerinin başında gelmektedir. Elektroçekim prosesinin en büyük avantajı çok küçük çaplara sahip liflerin üretilmesine olanak sağlaması, düşük üretim maliyeti ve basit bir nanolif üretim tekniği olmasıdır. Bunun yanı sıra ise, üretim hızının düşüklüğü ve homojenitesinin zayıflığı bu yöntemin dezavantajlarıdır. Elektroçekim prosesi daha teknik detaylı bir şekilde bir sonraki alt ana başlıkta incelenip açıklanmıştır.

2.3. Elektroçekimle polimer nanolif üretimi

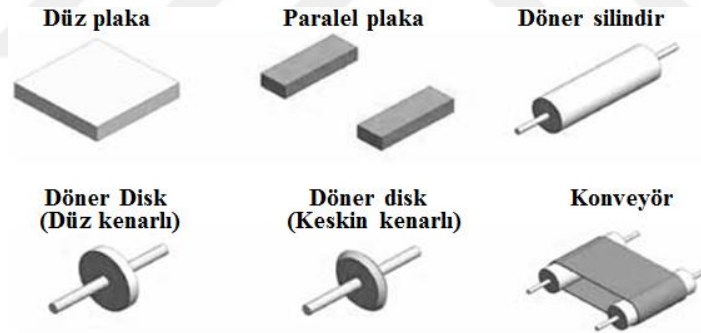
Çok çeşitli yapıdaki mühendislik malzemeleri olan; polimer, seramik ve kompozit malzemelerin ultra ince lifler olarak üretilmesi için kullanılan kolay ve çok yönlü bir yöntemdir. Elektroçekim prosesi için, teorik modelleme ve mekanizması geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Prosesin kontrol yeteneği; çap, morfoloji, kompozisyon, ikincil yapı ve elektroçekim liflerinin konumsal hizalanmasına bağlıdır. Bazı önemli uygulama alanlarıyla ilişkilendirerek önemi vurgulanmıştır. Tüm bunlara bağlı olarak geleceğin en harika nanolif üretim yöntemi olduğu düşünülmektedir (Li ve Xia 2004). Elektro çekim prosesi şematik olarak metaryel ve metot kısmında sunulmuştur.

Kısaca elektro çekim prosesi, besleme ünitesinde bulunan şırınganın içerisindeki oldukça iyi çözünmüş halde bulunan sıvı fazdaki polimerin belirli bir mesafe uzaklıktaki topraklanmış metal toplayıcı bir plakaya elektriksel alan içerisinde çeşitli elektriksel kuvvetlere maruz bırakılarak ve elektriksel olarak yüklenmesi ile polimerin yüzey enerjisinin yenilmesi ve çekime uğraması sonucu nanolifler oluşarak topraklanmış metal bir plakaya gelişigüzel konumlanması olarak açıklanır. Polimer jete dönüşmeden önce düze çıkışında koniye benzer bir şekil almaktadır ve taylor konisi olarak adlandırılmaktadır. Düze çıkışında oluşan taylor konisinin şematik gösterimi Şekil 2.10. de sunulmuştur.



Şekil 2.10. Taylor konisi oluşumuna ve etki eden parametreler (Ijsebaert ve ark. 2001)

Düzeden çıkan polimer solüsyonu veya eriyiği belirli bir mesafe katettikten sonra çeşitli formlarda topraklanmış plakalar üzerine nanolif formunda kuru olarak toplanmaktadır. Şekil 2.11. de çeşitli toplayıcı plaka tipleri görülmektedir. Plakaların farklı şekillerde olması nanliflerin plaka üzerindeki konumlanmasına etki etmektedir.



Şekil 2.11. Elektro çekim prosesinde kullanılan toplayıcı plaka tipleri (Persona ve ark. 2013)

2.3.1. Elektroçekimde nanolif oluşumunda etkili olan parametreler

Elektroçekim prosesi uygulanarak üretilen nanoliflerin oluşumunda; çözelti, proses ve ortam parametreleri ana başlıklarına ve her birinin içerisindeki diğer alt başlıklara bağlı olarak detaylı bir şekilde aşağıda incelenmiştir.

2.3.1.1. Çözelti parametreleri

Elektroçekim prosesindeki üç ana parametreden biri olan çözelti parametreleri beş alt başlıkta detaylı bir şekilde incelenmiştir.

a) Molekül ağırlığı

Molekül ağırlığı oluşacak ürünün morfolojik yapısı, ömrü ve mekanik özellikleri başta olmak üzere daha birçok özelliğe etki eden önemli bir parametredir. Diğer taraftan polimerin porses edilmesinde porses parametrelerin belirlenmesi molkeül ağırlığı dikkate alınarak yapılmaktadır.

Koski ve arkadaşları tarafından Elektroçekimli PVA'nın lif yapısı üzerine, polimerin ağırlıkça-ortalama molekül ağırlığı (M_w)'nın etkileri çalışılmıştır (Koski ve ark. 2004). 9000'den 186000 g/mol moleküler ağırlığı aralığında % 98-99 hidroliz derecelerine sahip PVA suda çözülmüştür. Çözelti içerisindeki polimerin konsantrasyonu, molekül ağırlığına bağlı olarak çeşitlenmiştir. Çözelti, 30 kV ile elektroçekime uğratılmıştır ve toplayıcı üzerinde numune gözlemlenmiş ve SEM ile incelenmiştir. Ortalama lif çapı 250 nm'den 2 µm arasında olup M_w ve konsantrasyonun artmasıyla birlikte lif çaplarının arttığı gözlemlenmiştir (Koski ve ark. 2004).

b) Konsantrasyon ve viskozite

Polimer çözeltilerinde konsantrasyonun artmasıyla polimer molekül zincirlerinin birbirine değme ve dolaşma olasılığı artacaktır, buda viskozitenin artmasına sebep olacaktır. Solüsyon viskozitesi elektro çekim için optimum değerde olmasıyla birlikte viskozitenin artmasıyla birlikte daha üniform nanolifler elde edilmekte ve nanolif yapısında daha az boncuklaşma gözlemlenmektedir (Fong ve ark. 1999). Tan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada PLLA nin DCM/pyridine içerisinde çözünmesiyle Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan polimer solüsyonlarından elde edilen nanoliflerde polimer çözelti konsantrasyonunun azalmasıyla üretilen nanoliflerin çaplarında bariz bir azalma olduğu rapor edilmiştir (Tan ve ark. 2005). PAN'ın

konsantrasyonuna bağıl viskozitesinin değişimi Gomes ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Gomes ve ark. 2007). Polimer konsantrasyonu arttıkça vizkositenin arttığı belirtilmiştir. Elektroçekimde çözelti viskozitesinin optimum değerde olması istenir. Çok düşük ve çok yüksek viskozitelere üniform nanolifler oluşmaz. Çözelti viskozitesinin nanolif morfolojisine etkisi Beglou tarafından rapor edilmiştir ve düşük viskozitelere boncuk oluşma olasılığı daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Beglou 2008).

c) Yüzey gerilimi

Solüsyon yüzey gerilimi üniform nanoliflerin oluşabilmesi için göz önünde bulundurulmuş bir diğer parametredir. Düşük viskozitelere yüzey gerilimi değeri nanolif morfolojisine daha belirgin etki etmektedir ve belirli bir konsantrasyonun altında yüzey geriliminin artışından dolayı elektro çekimde nanolif oluşumu yerine damlacık oluşmaktadır (Deitzel ve ark. 2001).

d) Elektrik iletkenliği

Elektroçekim tekniği aracılığıyla; mikron ve nanolifler, çok yüksek elektriksel bir alan altında polimer çözeltilerinden gözlemlenebilmektedir. Özel bir zorluk ise boncuklaşma davranışı düşük yani üniform liflerin üretilmesidir. Çünkü elektroçekim parametrelerindeki herhangi küçük değişimler, polimer çözeltilerindeki ve/veya elektroçekim deneysel parametrelerindeki hafif varyasyonlar son nanolif morfolojisi üzerinde önemli varyasyonlarla sonuçlanabilir. Optimize edilmiş elektroçekim şartları için yeniden üretilebilir üniform elektroçekimli nanolifler gözlemlenenlerin tümünde sıklıkla rahat değildir.

Uyar ve Besenbacher in polistireni (PS) farklı firmalardan temin ettikleri DMF çözücülerinde çözerek hazırladıkları aynı konsantrasyonlarda ve farklı solüsyon elektrik iletkenliklerine sahip PS/DMF solüsyonlarıyla solüsyon elektrik iletkenliğinin üretilen nanolif morfolojisine olan etkilerini incelemiştir (Uyar ve Besenbacher 2008). Yapılan çalışmada PS/DMF solüsyonlarından nanolif elde edilmek istendiğinde düşük konsantrasyonlarda yüksek solüsyon iletkenliğinde boncuklaşma oranının daha

az olduğu rapor edilmiştir (Uyar ve Besenbacher 2008). Yapılan başka bir çalışmada P(LLA – CL) (%70-%30) polimer çözeltisindeki çözücünün elektrik iletkenliğinin azlığı nanolif çapını azalttığı belirtilmiştir (Beglou 2008).

e) Çözücü

Elektro çekim metodunda çözelti parametrelerinin belirlenmesinde polimerin yapısı ve özellikleri kadar çözücünün kimyasal yapısı ve özellikleride önemlidir çünkü polimer ve çözücü çözelti içerisinde temas halindedir. Wannatong ve arkadaşları altı farklı çözücü kullanırken (Asetik asit, asetonitril, m-kresol, toluen, THF ve DMF) polisitiren çözeltileri hazırlamış ve elektro çekimle nanolifler üretmişlerdir. Çözücülerin, kaynama noktası ve yoğunluğundaki artış ile lif çaplarında azalma olduğunu belirtmişlerdir. PS'nin çözünebilirlik parametreleri ve çözücü arasındaki büyük farklar, gözlemlenen lif morfolojisi üzerindeki boncuklaşmadan sorumlu olduğunu vurgulamışlardır. Çalışılan çözücüler arasında, en uygun morfolojik karakteristikler ve en yüksek verimliliğe sahip PS liflerini sağladığından dolayı DMF en iyi çözücü olduğu belirtilmiştir (Wannatong ve ark. 2004). Jarusuwannapoom ve arkadaşlarının onsekiz farklı çözücü kullanarak hazırladıkları polisitiren solüsyonlarıyla ürettikleri nanoliflerde morfolojik değişimler gözlemlenmişlerdir (Jarusuwannapoom ve ark. 2005). Çekilmiş PS liflerin morfolojik görünümü ve hazırlanmış PS çözeltilerin elektroçekilebilirliği üzerindeki çözücülerin etkileri SEM mikroskopuyla incelenmiştir. T-bütülasetat, karbontetraklorid, klorobenzen, kloroform, siklohegzan, dekahidronafatalen (Dekalin), 1,2-dikloroetan, DMF, 1,4-dioksan, etilasetat, etilbenzen, hegzan, MEK, nitrobenzen, THF, 1,2,3,4-Tetrahidronafatalen (Tetralin) ve toluen olmak üzere 18 çözücü kullanılmıştır. 1,2-dikloroetan, DMF, etilasetat, MEK ve THF içerisindeki PS çözeltiler yeteri kadar yüksek verimlilikle üretilebilirken, benzen, siklohegzan, dekalin, etilbenzen, nitrobenzen ve tetralin içerisindeki PS çözeltiler çekilememektedir. Gözlemlenen sonuçlara göre çözeltilerin yüzey gerilimi ve çok yüksek değerlerde olmayan viskozitesileri, çözücünün kaynama noktası, çözeltiler ve çözücünün iletkenliği hazırlanmış PS çözeltilerin elektroçekilebilirliğinde belirleyici ve önemli faktör olduğunu göstermiştir (Jarusuwannapoom ve ark. 2005).

2.3.1.2. Proses parametreleri

Elektroçekim prosesindeki üç ana parametreden biri proses ortam parametreleri beş alt başlıkta incelenmiştir.

a) Besleme hızı

Elektro çekim prosesinde düze çıkışında düzgün bir taylor konisi oluşabilmesi için besleme hızının optimum seviyelerde olması gerekmektedir. Buna bağlı olarak farklı besleme hızında farklı nanolif morfolojileri elde edilebilmektedir. Zong ve arkadaşları yaptıkları çalışmada poly(D,L-lactic acid) (PDLA) polimeri dimethyl formamide (DMF) te çözdürülerek besleme hızının nanolif çapına etkisini incelemişlerdir (Zong ve ark. 2002). Deneysel çalışmalar sonucunda besleme hızının artmasıyla nanolif çapında artış gözlemlendiği rapor edilmişlerdir.

b) Toplayıcı plaka ve düze arası mesafe

Düze ile toplayıcı arası mesafe, nanoağı toplanma alanı ve nanoliflerin çapları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu mesafenin uzunluğu solüsyon içerisindeki solventin buharlaşarak yapıdan uzaklaşmasına müsaade edecek ölçüde olmalıdır.

Hekmati ve arkadaşlarının diğer parametreler sabit tutularak düze ve toplayıcı plaka arasındaki mesafenin nanolif morfolojisine etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada mesafe azaldıkça nanoliflerin plaka üzerindeki toplanma alanında azaldığını rapor etmişlerdir. Diğer taraftan mesafenin azalmasıyla elde edilen nanoliflerin ortalama çaplarının arttığı belirtilmiştir (Hekmati ve ark. 2013).

c) Düze (İğne) iç çapı

Elektroçekim ile üretilmiş PMMA'nın ortalama nanolif çapının sonuçları üzerindeki iğne çapının etkisi, üç çeşit iğne çapı için değerlendirilmiştir. Nanolifler SEM ile gözlemlenmiştir ve analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılan iğne çapı ve

ortalama nanolif çapı arasındaki belirgin bir korelasyon olmadığını göstermiştir (Macossay ve ark. 2007).

d) Voltaj

Elektro çekim prosesinde polimer solüsyon damlacığının nanolif oluşturmak üzere jete dönüşebilmesi için kritik değerde voltaja ihtiyaç vardır. Farklı voltaj değerlerinin, nanolif çaplarına etkisi incelenmiştir. PVB (Polivinilbütiral) polimeri, izo-propanol çözücüsü ile karıştırılarak %10'luk çözelti üretilmiştir, voltaj değeri parametresi değişken tutularak, geri kalan tüm parametreler sabit tutulup eğirme işlemi yapılmıştır. Üretilen nanoliflerin çaplarının dağılımı ve SEM görüntüleri sayesinde ise nanoliflerin çapları hesaplanmıştır. Sonuç olarak, PVB polimeri için artan voltaj değerlerinde nanolif çapları önemli derecede azaldığı belirtilmiştir (Gemci ve ark. 2011).

e) Toplayıcı plaka cinsi

Elektro çekimde toplayıcı plaka topraklandığından plakanın elektrik iletkenliği önem arz etmektedir. Aynı zamanda toplayıcı plakanın şekli ve düzeye konumlanmasında elde edilecek nanoliflerin web içerisinde konumlanması açısından önemlidir. Konvensiyonel elektro çekimde nanolifler rasgele oryente olmuş şekilde nanoweb içerisinde bulunurken, Katta ve arkadaşlarının geliştirdiği silindirik şekildeki silindir ekseni boyunca birbirine paralel bakır tellerden oluşan toplayıcının kullanımıyla bakır teller arasında ve bakır tellere dik konumda birbirine paralel oryente olmuş nanolifler üretilmiştir (Katta ve ark. 2004). Vaquette ve Cooper-White tarafından gözenekli toplayıcı ızgaraların kullanımıyla farklı morfolojilerde gözenekli nanowebler elde edilmiştir (Vaquette ve Cooper-White 2011).

2.3.1.3. Ortam parametreleri

Elektroçekim prosesindeki üç ana parametreden biri olan ortam parametreleri üç alt başlıkta incelenmiştir.

a) Sıcaklık

Elektro çekim esnasında ortam sıcaklığı oldukça önemlidir çünkü ortam sıcaklığı gerek çözücünün buharlaşmasında gerekse elektro çekim çözeltisinin viskozitesi üzerinde etkili olacaktır. Sıcaklığın artmasıyla hem çözelti viskozitesi azalacak hemde çözücünün buharlaşma hızı artacaktır (Vrieze ve ark. 2009).

b) Nem ve atmosfer koşulları

Ortam nemi polimer solüsyonundaki çözücünün buharlaşmasına müsaade edecek ölçülerde olmalıdır. Vrieze ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ortam nemiminin artması selülüz asetat (CA) nanoliflerin ortalama çapını arttırırken polivinil prolidon (PVP) nanoliflerin ortalama çaplarını azalttığı belirtilmiştir (Vrieze ve ark. 2009). PVP etanolde çözülmüşken, CA ise aseton-dimetilasetamid(DMAc) karışım solventinde hazırlanmıştır. Ortam neminin nanoliflerde gözenek oluşumundada etkili olduğu rapor edilmiştir (Medeiros ve ark. 2008).

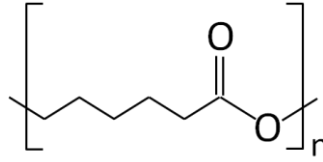
c) Elektrik alanı

Elektrik alanı elektro çekimde nanoliflerin web içerisinde yönlenmesinde etkili olduğu gibi nanolif içerisindeki polimer zincirlerinde lif eksenine doğrultusunda yönlenmesinde etkili olduğu Kakade ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Kakade ve ark. 2007).

2.4. Polikaprolakton (PCL)

PCL, biyobozunabilirliği ve diğer polimerlerin büyük bir çoğunluğu ile karıştırılabilirliği ve mekanik özelliklerine bağlı olarak önemli bir polimerdir ve başta biyomedikal olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir. PCL'nin fiziksel, termal ve mekanik özellikleri, moleküler ağırlığına ve kristalizasyon derecesine bağlıdır. Oda sıcaklığında; PCL, kloroform, diklormetan, karbontetraklorid benzen, toluen, sikloheksanon ve 2-nitropropan içerisinde çözülebilirken alkoller, petrol eteri, dietiler ve su içerisinde çözünmemektedir (Labet ve Thielemens 2009). Polikaprolakton PVC, polistirenakrilonitril, poliakrilonitrilstirenbutadien, polibisfenol-A, polikarbonat,

nitroselüloz ve selüloz bütirat gibi diğer polimerlerle karıştırılabilirlik özelliğini çeşitli oranlarda sergilemektedir (Labet ve Thielemens 2009). PCL nin kimyasal yapısı Şekil 2.12. de, özellikleri ise Çizelge 2.1. de sunulmuştur.



Şekil 2.12. Polikaprolakton'ın kimyasal yapısı (Anonim 2017e)

Çizelge 2.1. PCL'nin özellikleri (Labet ve Thielemans 2007)

Özellikler	Değeri
Molekül ağırlığı - Mn (g/mol)	530000-630000
Camlaşma sıcaklığı - Tg (°C)	(-65)-(-60)
Erime sıcaklığı - Tm (°C)	56-65
Elastik modülü - E (GPa)	0.21-0.44
Kopma uzaması - ε (%)	20-1000

2.4.1. Polikaprolakton (PCL) ve antimikrobiyellik

PCL kendi başına antibakteriyel karakterli değilken çeşitli yöntemlerle PCL ye antibakteriyel özellik kazandırılabilir. Gümüş nanoparçacıklar gram-pozitif ve gram-negatif patojenlerin her ikisine karşı geniş bir aralıkta etkinlik gösteren antimikrobiyel ajan olarak ortaya çıkmıştır ve Tran ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada PCL matriks bölgesi içerisine katılmış AgNPs ve matriksten Ag iyonlarının salınımının geliştirilmesi, PCL polimerinde antimikrobiyel etkinliğin gelişmesi olarak sonuçlanmıştır. (Tran ve ark. 2015). Olgun ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada antimikrobiyel PCL kompozit filmler %12.5 silika ve %0.15 Ag nanoçubuk içerecek şekilde üretilmiştir (Olgun ve ark. 2009). Kompozit filmlerin yüzeyleri üzerinde E.Coli ve S.Aureus'ın yok edilmesi (37 °C'deki inkübatörün ile 6 saat sonraki değerleri) değerlendirilmiştir. E.Coli için, %100 lük mikroorganizma azalması ile tamamen dezenfekte edilmiş film yüzeyi 6 saat sonra elde edilmiştir. S.Aureus için, 6 saat sonra bakteriyel bulaşmanın %94 azalması gözlemlenmiştir. Sonuçlar, geniş spektruma sahip

antimikrobiyel ajan olan triklosan içeren kompozit filmlerle karşılaştırılmıştır. 0.25 triklosan içeren PCL-silika kompozit filmlerin antimikrobiyel testleri, 6 saat sonra %70 E.Coli azalma ve S.Aureus %95 azalma göstermiştir. Bu sonuçlar; Biyopolimer endüstrisi içerisinde Ag nanoparçacıkların kullanımı, kendi kendini temizleme uygulamaları için devasa bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. (Olgun ve ark. 2009). TiO₂ nanoparçacıklarının PCL nin içerisine katılmasıyla nanokompozitlerin antimikrobiyel aktivitesi, gram-negatif olan E.Coli ve gram-pozitif olan S.Aureus'e karşı hem UV hem de gözle görülür ışık kullanılarak test edilmiştir, PCL yapının içerisinde TiO₂ nun varlığı UV ışını altında bakterileri öldürdüğü tespit edilmiştir (Bonilla ve ark. 2013).

2.4.2. Polikaprolakton (PCL) nanolifler

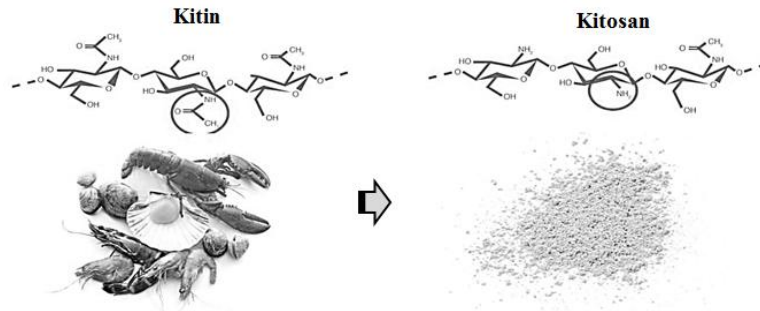
PCL tıbbi alan içerisindeki çoğu uygulamalara uygun, biyouyumlu bir polimerdir ve nanolif formunda elektroçekim metodu ile üretilebilmektedir. PCL in çeşitli çözücülerle solüsyonu hazırlanarak elektro çekim işlemine tabi tutulabilmektedir. Schueren ve arkadaşları PLC 1 kloroform, FA, asetik asit, FA/etanol, FA/metanol, FA/kloroform, FA/asetik asit, asetik asit/kloroform, asetik asit/etanol ve asetik asit/metanol gibi çözücü sistemleriyle hazırlanmış PCL solüsyonlarının elektro çekimle nanolif üretilebilirliğini incelemişlerdir ve FA/asetik asit sisteminin PCL nanolif üretiminde en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir (Schueren ve ark. 2011). Çeşitli konsantrasyonlarda aseton içerisinde çözdürülen PCL den elektro çekim metoduyla nanolif üretimi Reneker ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Reneker ve ark. 2002). Saf PCL nanoliflerin üretiminin yanı sıra kitosan, jelatin ve lektin gibi maddelerin katılımıyla karışım PCL nanolifler elde edilmiştir ve çeşitli PCL karışım nanoliflerin üretimi Borjigin ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Borjigin ve ark. 2013).

2.4.3. Polikaprolakton (PCL) nanoliflerin antimikrobiyel uygulamaları

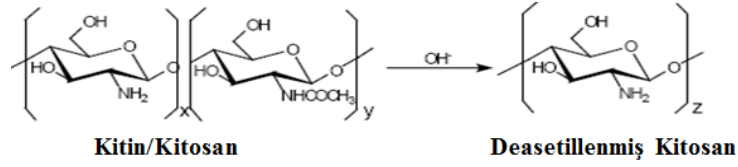
Augustine ve arkadaşları tarafından elektroçekimle PCL dokusuz yüzey membra ZnO nanoparçacıkların katılımıyla antibakteriyel aktivitesi üzerinde etki araştırılmış, üretilen malzemenin antibakteriyel aktivitesi ve mekanik stabilitesi ZnO katılımıyla arattığı rapor edilmiştir (Augustine ve ark. 2014). Çerkez ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada çeşitli konsantrasyonlarda AgCl (gümüş klorür) katkılı PCL nanoliflerin, *S. aureus* ve *E.Coli*'ye karşı antimikrobiyel aktivite testi sonuçlarında AgCl nin PCL nanolif yapısına katılımıyla antibakteriyel etkinin arttığı rapor edilmiştir (Çerkez ve ark. 2017). Motealleh ve arkadaşları PCL/PS karışım nanolif yapısına papatyanın katılımıyla antibakteriyel etkinin (*S. aureus* e karşı) belirginleştiği tespit etmişlerdir (Motealleh ve ark. 2014).

2.5. Kitosan (CS)

Kitin doğal amino polisakkariddir ve her yıl neredeyse selüloz kadar üretildiği tahmin edilmektedir. Kitin yengeç ve karides gibi denzi kabuklarından kolayca elde edilebilmektedir (Kumar 2000). Kitosan kitinden deasetillenerek elde edilebilmektedir. Kitin ve kitosanın kimyasal yapısı Şekil 2.13. da sunulmuştur. Ayrıca deasetilasyonlanmayla kitosan oluşumu Şekil 2.14. de gösterilmiştir. Kitin ile CS arasında kesin ve net bir şekilde N-deasetilasyonun derecesi tanımlanmamıştır. CS elverişli fonksiyonel malzeme olarak önerilmektedir. Çünkü bu doğal polimer biyoyuumluluk, biyobozunabilirlik, non-toksisite, adsorbsiyon özellikler gibi mükemmel özelliklere sahiptir (Kumar 2000).



Şekil 2.13. Kitin ve kitosanın kimyasal yapıları (Anonim 2017f)



Şekil 2.14. Kitin/CS'den tamamen deasetillenmiş CS üretimi (Varan 2017)

2.5.1. Kitosan (CS) antimikrobiyellik

Kitosanın antimikrobiyel özelliği literatürde yapılan çeşitli çalışmalar incelenerek açıklanmıştır. E. Coli ve S. Aureus, çeşitli moleküler ağırlıklarına sahip CS'nin antimikrobiyel aktivitesi çalışmada kullanılmıştır. CS'nin molekül ağırlığı ve konsantrasyonunun etkisi sırasıyla araştırılmış ve antimikrobiyel mekanizması tartışılmıştır. 300 kDa molekül ağırlıklı CS için, molekül ağırlığı arttıkça, S. aureus üzerindeki antimikrobiyel etkisi güçlenmiştir, aksine E. Coli üzerindeki antimikrobiyel etkisi azalmıştır. (Zheng ve Zhu 2003).

Kitosanın antimikrobiyel özelliğinden dolayı sebze meyvenin daha uzun raf ömrüne sahip olması için yemlere kaplamanın yemlerin tadını bozmadığı müttetçe uygun olabileceğinden bahsedilmiştir (Devlieghere ve ark. 2004). Çileklerin üzerindeki CS kaplama uygulanabilir iken, CS kaplı karışmış marulda acı bir tadın gelişimine bağlı olarak uygulanamayacağı belirtilmiştir. Antimikrobiyel etki 12 saat boyunca çilekler üzerinde korunurken, 4 günlük depolamadan sonra marul üzerinde CS'nin antimikrobiyel etkisi ortadan kaybolmuştur. (Devlieghere ve ark. 2004).

Benzer bir çalışma Campaniello ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Campaniello ve ark. 2008). Bu çalışma içerisinde, taze kesilmiş çileklerin üzerinde CS kaplamanın kullanım olasılığı araştırılmıştır. Elle dilimlenmiş çilekler, %1 CS çözeltisi ile muamele edilmiş, düşük (%5) ve yüksek (%80) oksijen yüzdesi ile modifiye edilmiş atmosfer içerisinde paketlenmiştir ve sonra 4, 8, 12 ve 15 °C'lerde depolanmıştır. CS kaplaması mikroorganizmanın büyümesini engellemiştir ve ürünlerin raf ömürlerini arttırmıştır (Campaniello ve ark. 2008).

2.5.2. Kitosan (CS) nanolifler

Kitosan nanolifler elektro çekim metoduyla üretilebilmektedir. Bhattacharai ve arkadaşları kitosan türevi nanolifleri elektro çekim metoduyla üretmişlerdir (Bhattacharai ve ark. 2005). Doku mühendisliği için bu nanolifli matrisin potansiyel kullanımı, hücresel uyumluluğu ve sudaki bütünlüğü incelenerek çalışılmıştır. Bu nanolifli yapı dokunun yeniden yapılanması ve kontrollü ilaç salınımı için doku mühendisliğinde özel öneme sahip olduğu vurgulanmıştır (Bhattacharai ve ark. 2005).

Hava ve su filtrasyonu içerisinde potansiyel uygulamalar ile CS'nin dokusuz yüzey nanowebler, CS ve PEO karışım çözeltilerinin elektroçekimi ile başarılı olarak üretilmiştir. Saf CS'nin elektroçekimi, zincirler arası hidrojen bağları sebebiyle sulu asitler içerisinde sınırlı çözünürlüğü sahiptir (Desai ve ark. 2008). Boncuklaşma sorunu olmaksızın 80+-35 nm kadar düşük lif çapıyla nanometre ölçekli lifler, elektroçekim ile yüksek molekül ağırlıklı CS/PEO (95/5) karışımlardan üretilmiştir (Desai ve ark. 2008).

2.5.3. Kitosan (CS) nanoliflerin antimikrobiyel uygulamaları

Kitin ve onun deasetillenmiş türevleri ile CS; non-toksik, antibakteriyel, biyobozunabilir ve biyouyumlu biyopolimerlerdir. Bu özelliklerine bağlı olarak, doku mühendisliği iskeleleri, ilaç salınımı, yara pansumanları, ayırıcı membranlar ve antibakteriyel kaplamalar, stend kaplamalar ve sensörler gibi biyotıbbi uygulamalar için oldukça yaygın kullanılır. Son yıllar içerisinde; elektroçekimin, kitin ve CS nanoliflerinin yeni bir üretim tekniği olduğu bulunmuştur. Bu nanolifler, yüksek yüzey alanı ve gözenekliliklerine bağlı olarak biyotıbbi alanlar içerisinde yeni uygulamalar bulmuştur. Jayakumar ve arkadaşları kitin ve CS temelli nanoliflerin biyotıbbi uygulamaları, özellikleri ve hazırlanmaları üzerine son zamanlardaki raporları detaylıca gözden geçirmiştir (Jayakumar ve ark. 2010).

Lee ve arkadaşları gümüş nanopartükel katkılı kitosan nanolifler üreterek antibakteriyel aktivitelerini incelemişlerdir (Lee ve ark. 2014). AgNPs, kimyasal bir indirgeme yöntemi kullanılarak elektro çekim CS çözeltisi içerisinde üretilmiştir. Bu nanolifler, gram-negatif olan P.Aeruginosa ve gram-pozitif olan MRSA'ya karşı antibakteriyel

aktiviteleri değerlendirilerek daha sonrasında test edilmiştir. CS/AgNPs nanoliflerin yara bakımı içerisinde bölgesel antibakteriyel iyileşmeler içerisinde etkilenliğini ne sürmüşlerdir (Lee ve ark. 2014).



3. MATERYAL ve YÖNTEM

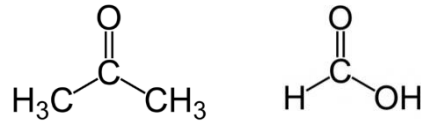
Bu bölümde; yapılan deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar, uygulanan yöntem ve görselleri, yapılan karakterizasyonlar ve antimikrobiyel aktivite ölçümlerinden, alt başlıklar altında açıklanmıştır.

3.1. MATERYAL

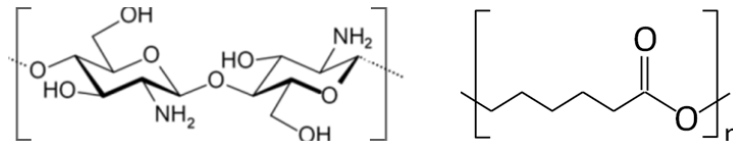
Bu kısımda deneysel çalışmada kullanılan kimyasallardan belirtilmiştir.

3.1.1. Kullanılan kimyasallar

Elektroçekim çözeltilerini hazırlamak için, CS (Mw: 100,000-300,000) Acros Organics firmasından, PCL (Mn:80,000) Sigma Aldrich firmasından alınmıştır. Çözücü olarak kullanılan FA ve AC aynı şekilde Sigma Aldrich firmasından alınmıştır. Antimikrobiyel testler için kullanılan destek ortamı ve mikroorganizmalar için büyüme ortamı sağlayacak kimyasallardan Triptik soy broth (TSB), Nutrient Broth (NB) ve Nutrient Agar (NA) Becton Dickinson dan temin edilmiştir. Tompon çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sodyum dihidrojen fosfat) ve $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (Disodyum hidrojen fosfat dodekahidrat) Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Aseton (AC) ve Formik asitin (FA) açık kimyasal yapısı Şekil 3.1. de kitosan (CS) ve polikaprolakton (PCL) nin kimyasal yapıları Şekil 3.2. de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Aseton (AC) (solda) ve Formik asitin (FA) (sağda) kimyasal yapısı (Anonim 2017g, 2017h)



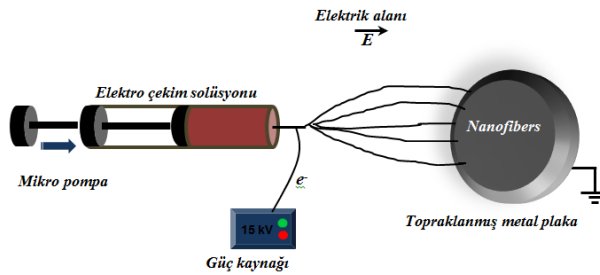
Şekil 3.2. CS (solda) ve PCL (sağda)'nin kimyasal yapıları (Anonim 2017i)

3.2. YÖNTEM

Bu kısımda deneysel çalışmada uygulanan elektroçekim prosesinden ve görsellerinden, elektroçekim prosesindeki çözücü farkından kaynaklanan sorunlar ve antibakteriyel aktivite testinin uygulanışından alt başlıklar altında incelenmiştir.

3.2.1. Elektroçekim yöntemi

Belirli oranlarda PCL, AC ve FA içerisinde oda sıcaklığında manyetik karıştırma metoduyla karıştırılarak hazırlanmıştır. Belirli oranlardaki CS'ler hazırlanan çözeltiler içerisinde eklenerek yine manyetik karıştırıcıyla karışımı sağlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 1 mL olarak iğne iç çapı 0.505 mm olan plastik şırıngaya eklenerek elektroçekimde kullanılmışlardır. Bir mikro pompa üzerine konumlandırılan plastic şırınganın metal iğne ucunun tam karşısına gelecek şekilde aradaki mesafeyi 15 cm ayarlayarak bir topraklanmış iletken plaka yerleştirilmiştir. Belirli bir hacimsel debi oranında (AC'li numune için 4 ml/sa ve FA'lı numune için 1 ml/sa) beslenen polimer çözeltilisinin iğneye verilen yüksek voltaj (15 kV) sebebiyle topraklanmış plakaya doğru fırlamasına ve plaka üzerinde nanolif formunda toplanmasına sebep olunmuştur. Nihayetinde nanolifler plakaya ulaşıncaya kadar üzerindeki çözücü buharlaşmış ve nanolifler kuru formda plaka üzerinde toplanmıştır. Şekil 3.3. elektro çekim tekniği şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.4. te polimer çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan manyetik karıştırma tekniğiyle polimerin çözdürülmesi gösterilmiş olup, Şekil 3.5. te elektroçekim prosesinde kullanılan mikropompa ve voltajın uygulandığı güç kaynağı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Elektro çekim tekniğinin şematik gösterimi

Polimer çözeltilerinin hazırlanması ve çözdürülmesinde (Şekil 3.4.) ve elektro çekim esansında (Şekil 3.5.) kullanılan aparat ve cihazlar şekillerle gösterilmiştir.



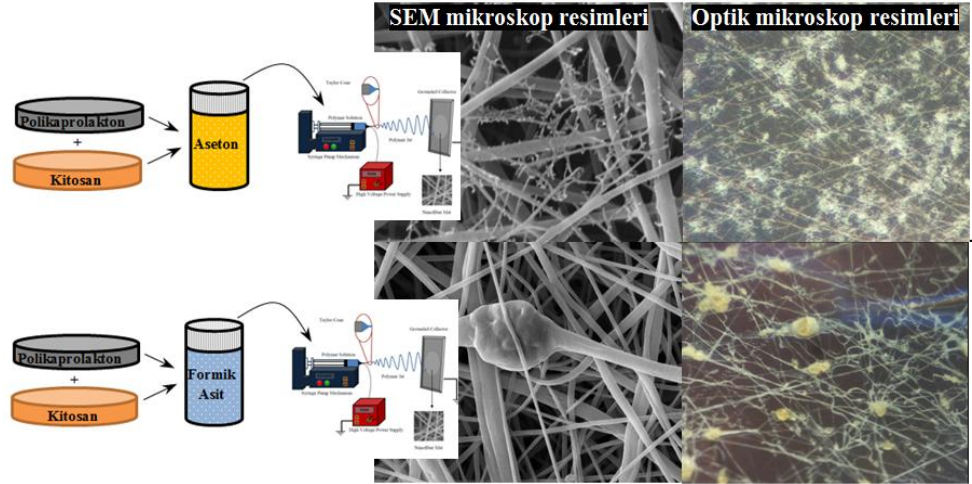
Şekil 3.4. Polimer çözeltilerinin hazırlanması (solda) ve manyetik karıştırma tekniğiyle polimerin çözdürülmesi (sağda)



Şekil 3.5. Elektroçekim prosesinde kullanılan mikropompa (solda) ve voltajın uygulandığı güç kaynağı (sağda)

3.2.2. Konsept çalışması

Bu çalışmada konsept olarak; öncelikle, AC ve FA çözücüleri ayrı ayrı kullanılarak PCL/CS çözeltileri hazırlanmıştır. Bu tez çalışmasında farklı solventler kullanılarak üretilen nanolifler için yapılan konsept çalışması Şekil 3.6. da verilmiştir. SEM ve optik mikroskop resimlerinden de görüldüğü gibi üretilen nanoliflerin morfolojik yapıları farklılık arz etmektedir. Solvent olarak aseton kullanıldığında CS partükeller olarak PCL nanolifler tarafından kapsüle edildiği görülmektedir (Şekil 3.6. A1, A2). Diğer taraftan çözücü olarak formik asit kullanıldığında lif çap dağılımı daha geniş bir aralıkta gözlemlenmiştir ve ultra incelikte lifsi yapılar görülmektedir (Şekil 3.6. B1, B2). Elde edilen sonuçlar bulgular ve tartışma kısmında irdelenmiştir.



Şekil 3.6. AC ve FA çözücülerini kullanarak hazırlanan PCL/CS elektroçekimli nanoliflerin; çözeltinin hazırlanması, elektroçekim prosesi ve nanolif morfolojilerinin şematik gösterimi

3.2.3. Nanoliflerin karakterizasyonları

Üretilen nanoliflerin morfolojik analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM, ZEISS EVO 40) ile yapılmıştır ve analizlerin hepsinde 20 kV'luk voltaj kullanılmıştır. SEM analizleri için numuneler yaklaşık olarak 100°A kalınlıkta BAL-TEC SCD005 cihazıyla altın-paladyumla kaplanmıştır. Kimyasal analizler için Infrared (ATR-FTIR) spektroskopisi (Thermo Nicolet İS50) 4000 to 400 cm^{-1} aralığında kullanılmıştır ve her ölçümde 124 tarama yapılmıştır. Termal analizlerde diferansiyel taramalı kalorimetre (Perkin Elmer DSC 8000) kullanılmıştır. DSC analizi azot gazı ortamında dakikada 10°C lik sıcaklık artışı ile yapılmıştır.

3.2.4. Antimikrobiyel etkinlik testleri

Antibakteriyel etkinlik, sayısal olarak aşağıda belirtilen prosedüre göre yapılabilmektedir. Hastanelerde karşılaşılan enfeksiyonların yaklaşık %25'ine neden olması ve genel antibakteriyel ajanlara karşı direncinin yüksek olmasından dolayı her numune Gram-negatif bakteriye (*Escherichia coli* AATCC 35218) karşı test edilmektedir. Stok halindeki dondurulmuş bakteriler süspansiyon olarak TSB içerisinde

hazırlanır ve 37 °C’de 24 saat inkübe edilir ve sonra gözlemlenmek üzere Müller Hinton II besiyerlerine transfer edilir.

Antibakteriyel etkinlik, ASTM E-2149 01 standardına göre analiz edilmekte ve yaşayan mikroorganizma sayısına göre belirlenmektedir. Bu test yönteminde, homojen bakteri süspansiyonu NB içerisinde hazırlanır ve pH 7 de tampon çözeltisiyle seyreltilir. Daha sonra standart konsantrasyon olan $1,5-3 \times 10^8$ CFU/ml’de antibakteriyel test işlemi gerçekleştirilir. Her bir test için 50 mL tampon çözeltisi ve 1 ml standardize edilmiş bakteri süspansiyonu 3 steril kavanoza konur. Kavanozun bir tanesi sadece bakteri süspansiyonu içerir, diğeri ise 1 gr antibakteriyel özelliğe sahip test numunesi, sonuncu kavanoz ise 1 gr kontrol numunesi içerir. Kavanozların hepsi 37 °C’de inkübe edilir ve 24 saat boyunca çalkalanır. Daha sonra her numune, tampon çözelti kullanılarak seri bir şekilde seyreltilir.

Bakteri hücreleri, standart plaka yöntemine göre zamana bağlı olarak sayılır. CS katkılı ve CS katkısız PCL nanolif numunelerine aynı sayıda bakteri aşılansak 24 saat sonraki bakteri sayısındaki azalma yüzde olarak hesaplanır. Hesaplanan % değeri, ne kadar büyük ise antibakteriyel etkinlik de o kadar yüksek demektir. Bakteri azalma oranı $\%R = [(B-A)/B] \times 100$ eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Eşitlikteki B: “0” temas zamanında test örneklerinden elde edilen bakteri sayısı ve A: 24 saat süresince inkübe edilen test örneklerinden elde edilen bakteri sayısına karşılık gelmektedir. Antibakteriyel aktivite testine ait aparatların görüntüleri Şekil 3.7. de sunulmuştur.

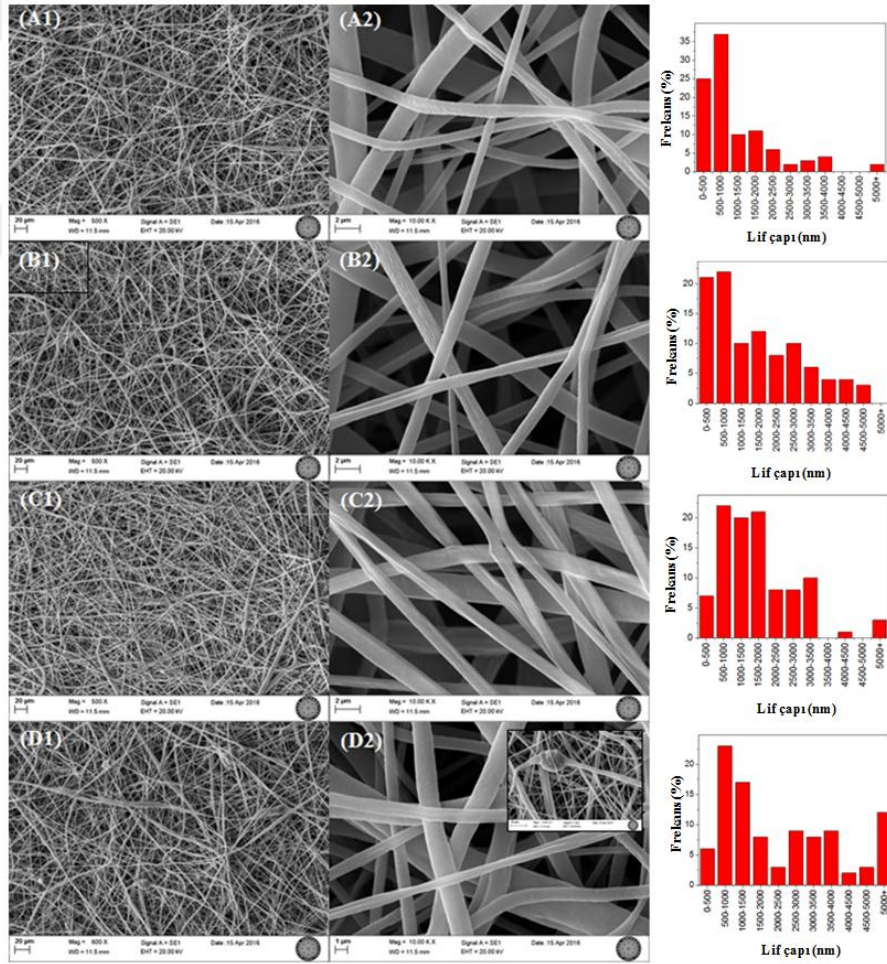


Şekil 3.7. Antibakteriyel aktivite testine ait proses görüntüleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

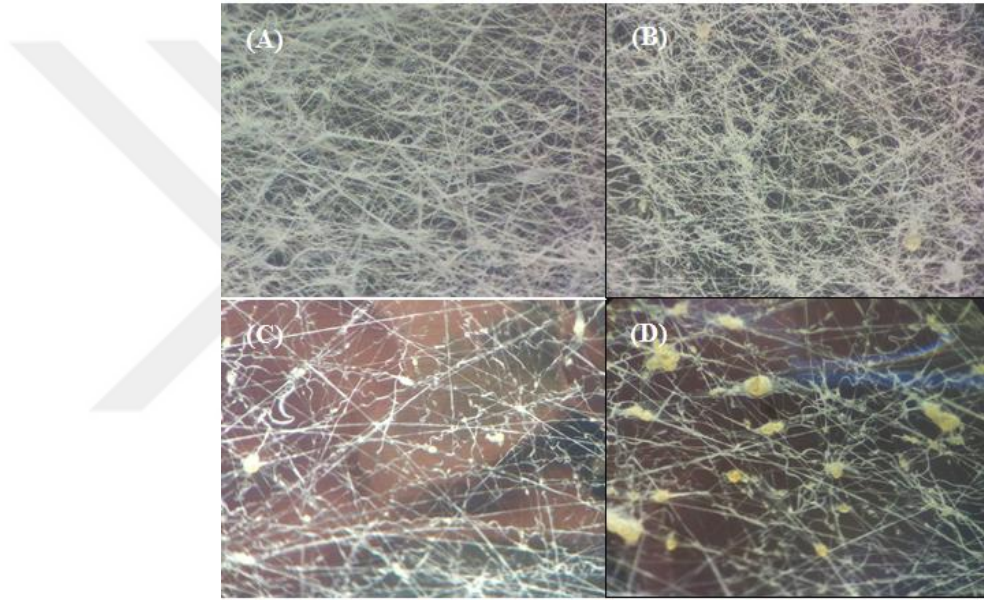
4.1. Taramalı elektron ve optik mikroskoplarıyla nanoliflerin morfolojik analizleri

Üretilen PCL/CS kompozit nanoliflerin yüksek ve düşük magnifikasyonlu SEM resimleri Şekil 4.1’de ve Şekil 4.3’de verilmiştir. Nanolif çaplarına bağlı istatistiksel analizler ekler kısmında verilmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, çözelti olarak AC kullanıldığında, CS’nin PCL nanoliflerinin yapısına katılmasıyla nanoliflerin ortalama çapları ve çap dağılım değerleri artmıştır. CS, AC içerisinde düzenli bir şekilde çözdürülmediği için CS’ler partiküller halinde PCL nanolifleri içerisinde kapsüle edilmiştir. Bu kapsülasyon yüksek CS yoğunluğuna sahip numunede açık bir şekilde görülmektedir. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda AC çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen SEM görüntüleri

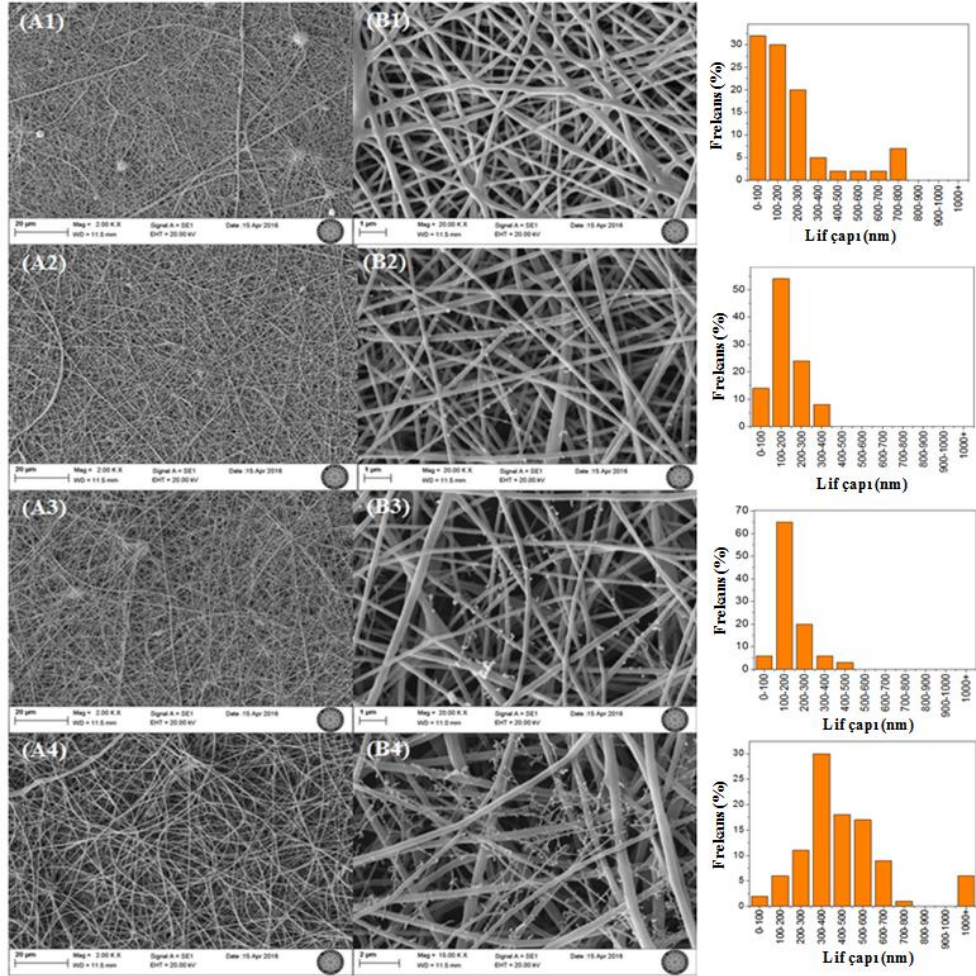
SEM resimleri analiz edildiğinde çözücü olarak AC kullanımında CS'nin PCL nanolifler tarafından kapsüle edildiği daha net bir şekilde ispatlanması için PCL/CS nanoliflerin optik mikroskop resimleri çekilmiş ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Resimdeki görüntüler SEM resimleriyle aynı olduğu için optik mikroskop resimlerine ölçüm skalası konulmamıştır. Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi CS, AC içinde iyi bir şekilde çözülemediği için partiküler formda PCL nanolifler içerisinde kapsüle edilmişlerdir. Diğer taraftan CS partiküllerinin kapsülasyonundan dolayı elektroçekim prosesi esnasında nanoliflerde kopmalar da meydana gelmiştir.



Şekil 4.2. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda AC çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen optik mikroskop görüntüleri

Aynı şekilde PCL, FA'da çözdürüldükten sonra çeşitli oranlarda CS hazırlanan çözeltiye eklenerek homojen bir çözelti elde edilmiştir. AC kullanımında elde edilen nanolif çapı dağılımındaki büyüklük çözücü olarak FA kullanımında yerini daha dar dağılıma bıraktığı SEM görüntüleri olan Şekil 4.3'den de görülmektedir. Bu trend özellikle, düşük CS konsantrasyonlarında gözlemlenmiş ve nanolif çapındaki dağılım CS konsantrasyonunun artmasıyla tekrar artmıştır. FA kullanımında, PCL çözeltisinin CS'nin katılımıyla elde edilen ağ yapısı içerisinde nanoliflerin arasında ultra nano inceliğe sahip fibrillerin oluştuğu gözlemlenmiştir ve bu ultra inceliğe sahip nanolif yapılarının

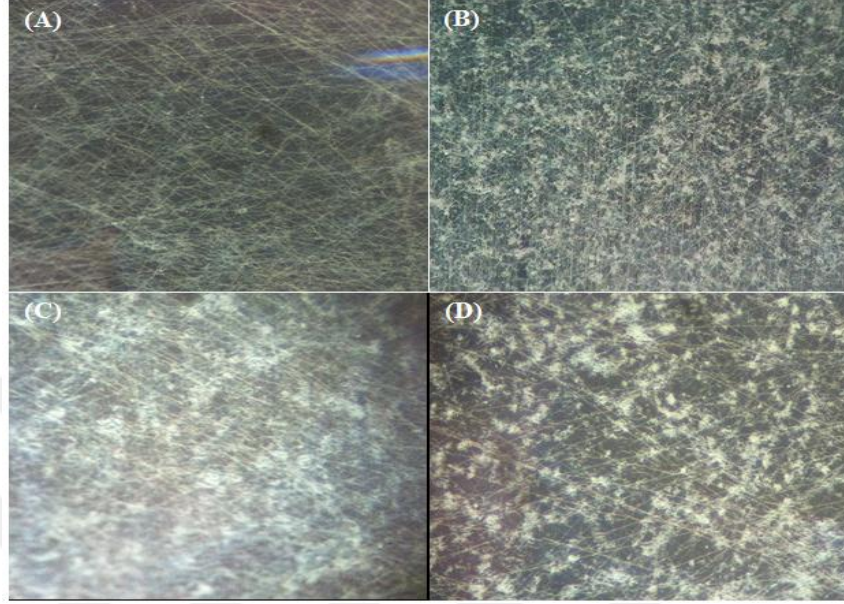
oranının CS miktarının artmasıyla arttığını göstermiştir. (Şekil 4.3’de B1’den B4’e kadar). Benzer trend asetik asit ve FA çözücü karışımının PCL/CS nanolifleri üretiminde gözlemlendiği Schueren ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Schueren ve ark. 2012).



Şekil 4.3. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen SEM görüntüleri

AC’li çözeltiden elde edilen nanoliflerde olduğu gibi FA’lı çözeltilerden elde edilen nanolifler içerisinde de CS’nin PCL tarafından enkapsüle edilip edilmediği optik mikroskop resimlerine bakılarak analiz edilmiştir. Elde edilen optik mikroskop resimlerinde CS’nin PCL tarafından kapsüle edilmediği Şekil 4.4’de görülmüştür. AC’li ve FA’lı PCL/CS elektroçekim çözeltileri kıyaslandığında, CS’nin çözeltiye katılımıyla

AC'li çözelti bulanık iken, FA'lı çözeltiler şeffaf bir yapıya sahiptir. Bu da CS'nin FA'lı çözeltilerde daha iyi çözüldüğünün bir sonucudur. Bu yüzden FA'lı çözeltilerde CS kapsüle olmamıştır.

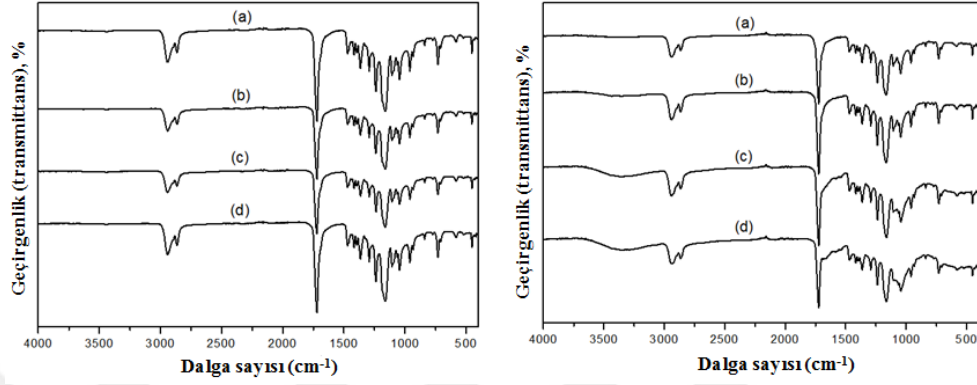


Şekil 4.4. (A1, A2: PCL), (B1, B2: PCL/CS (95/5)), (C1, C2: PCL/CS (80/20)) ve (D1, D2: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen optik mikroskop görüntüleri

4.2. PCL/CS nanoliflerin ATR-FTIR ile kimyasal analizleri

Elektroçekim çözeltilerinde AC ve FA'nın çözücü olarak kullanıldığı PCL/CS nanoliflerin ATR-FTIR analizleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Literatürde PCL için yapılan FTIR analizlerindeki pikler AC ve FA in kullanımıyla elde edilen PCL nanoliflerinde de gözlemlenmiştir (Joshi ve ark. 2015, Ali ve ark 2014). AC ile hazırlanan numunelerde CS'nin katılımıyla PCL/CS nanoliflerde belirgin bir farklılaşma gözlemlenmemiştir. Diğer taraftan FA'le hazırlanan numunelerde CS'nin katılımıyla 3356, 1666, ve 1569 cm^{-1} de yeni absorpsiyon pikleri gözlemlenmiştir. Bu yeni piklerin şiddeti PCL/CS nanolifler içerisindeki CS miktarının artmasıyla artış eğilimindedir. Bu yeni pikler CS'nin karakteristik FTIR absorpsiyon pikleridir ve 3356 cm^{-1} deki pik N-H gerilme titreşimine, 1666 cm^{-1} deki pik C=O gerilme titreşimine ve 1569 cm^{-1} deki pik ise N-H eğilme titreşimine karşılık gelmektedir (Wan ve ark 2009). SEM resimlerinden de gözlemlendiği gibi AC ile hazırlanmış nanolif numunelerinde CS'ler, PCL nanolifler

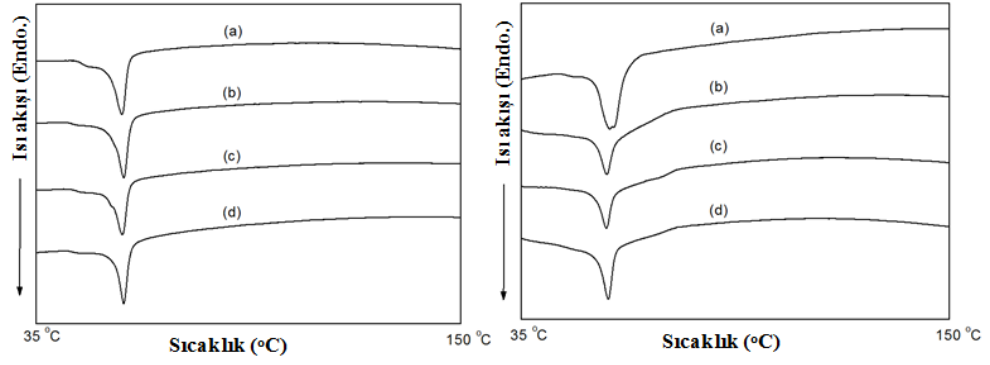
tarafından kapsüle edildiği için CS'dan gelen pikler AC ile hazırlanmış numunelerde gözlemlenmemiştir. Diğer taraftan FA ile hazırlanmış numunelerde ultra incelikteki CS nanoliflerin PCL/CS nanolifler arasındaki varlığı CS piklerinin tespit edilmesini sağlamıştır.



Şekil 4.5. (a: PCL), (b: PCL/CS (95/5)), (c: PCL/CS (80/20)) ve (d: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda solda AC çözücüsü ve sağda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen FTIR sonuçları

4.3. PCL/CS nanoliflerin DSC ile termal analizleri

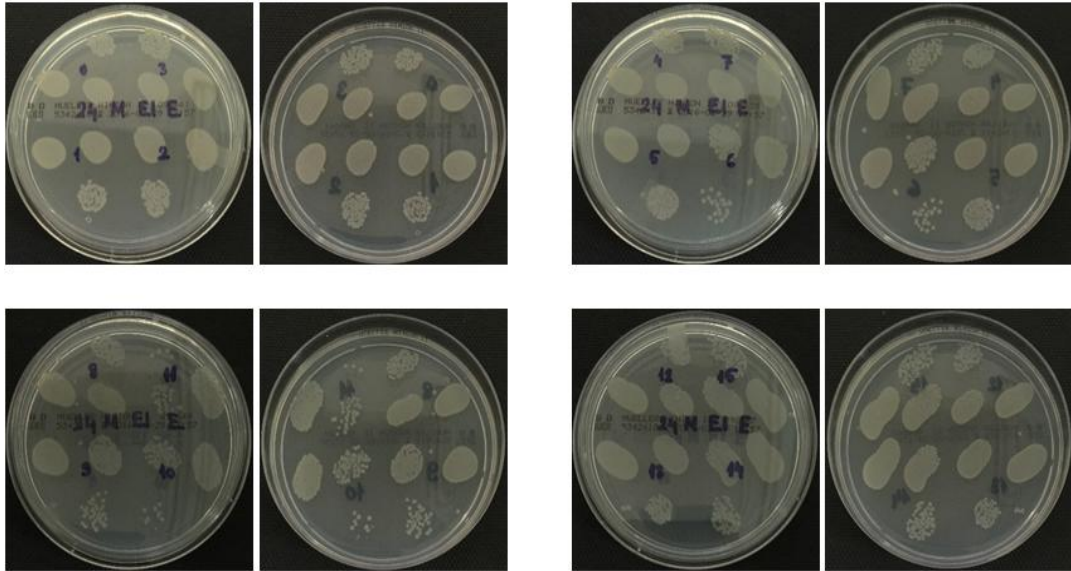
Üretilen PCL/CS kompozit nanoliflerin termal analizler diferansiyel taramalı kalorimetre ile yapılmıştır ve Şekil 4.6'de verilmiştir. DSC eğrilerinden de gözlemlendiği gibi saf ve CS katkılı PCL nanolifler yaklaşık 58 °C civarında bir endotermik pik vermiştir ve bu pik PCL'nin erime sıcaklığına tekabül etmektedir (Joshi ve ark. 2015). AC ile hazırlanmış numunelerde CS'nin katılımıyla bu pikte belirgin bir değişme görülmezken, FA ile hazırlanan numunelerde CS'nin katılımıyla bu pikte az miktarda düşük sıcaklığa kayma eğilimi gözlemlenmiştir. Bu PCL ve CS'nin FA içerisinde tamamen çözünüp homojen bir çözelti oluşturmasından kaynaklandığı ve akabinde nanoliflerin üretildiği sonucundan kaynaklandığı ile yorumlanmıştır.



Şekil 4.6. (a: PCL), (b: PCL/CS (95/5)), (c: PCL/CS (80/20)) ve (d: PCL/CS (50/50)) nanoliflerin, PCL/CS çözeltisinin çeşitli konsantrasyonlarda solda AC çözücüsü ve sağda FA çözücüsü ile elektroçekim prosesine tabi tutularak elde edilen DSC görüntüleri

4.4. Antibakteriyel aktivite testi sonuçları

Çözücünün oluşan PCL/CS nanoliflerinin morfolojik yapılarında etkili olduğu gibi elde edilen nanoliflerin antibakteriyel etkinliklerindeki farklılıklara da etki edip etmediği AC ve FA'da ayrı ayrı dört farklı PCL/CS konsantrasyon oranında nanolifler hazırlanarak antibakteriyel etkinlikler incelenmiştir. *E. Coli*'ye karşı yapılan antibakteriyel test sonuçları Çizelge 4.1.'de sunulmuştur. ASTM E 2149 01 test yöntemi göre *Escherichia coli* (AATCC 35218)'ye karşı antibakteriyel etkinler Şekil 4.7. de sunulmuştur.



Şekil 4.7. ASTM E 2149 01 test yöntemi göre *Escherichia coli* (AATCC 35218)'ye karşı antibakteriyel etkinlik değerleri

Çizelge 4.1. ASTM E 2149 01 test yöntemine göre yapılan farklı çözücülerde hazırlanmış PCL/CS nanoliflerin *Escherichia coli* (AATCC 35218)^a’ye karşı antibakteriyel test sonuçları

Test Numunesi	Test numunesi ismi			24 saat sonraki antibakteriyel test sonuçlar (bakteri azalma değeri, %)
1	Kontrol numunesi			12.90
	Nanolifler	Çözücü	Konsantrasyon (PCL/CS)	
2	PCL / CS	FA	(100-0)	-3.23
3			(95-5)	-35.48
4			(80-20)	-79.03
5			(50-50)	-94.84
6		AC	(100-0)	-3.23
7			(95-5)	-6.45
8			(80-20)	-19.35
9			(50-50)	-35.48

^a Her bir numune için bakteri konsantrasyonu $3,10 \times 10^5$ (log 5,49) cfu*/ml olarak sabitlenmiştir.

* cfu: Koloni oluşturan birim

Not: Pozitif (+) olarak verilen % azalma bakteri değerleri, bakteri sayısında artışı, negatif (-) olarak verilen % bakteri değerleri ise bakteri sayısında azalmayı göstermektedir. (-)100 değeri, yüzey üzerinde bulunan tüm bakterin öldüğünü belirtmektedir.

** PCL: Polikaprolakton, CS: Kitosan, FA: Formik asit, AC: Aseton

Aseton ve formik asit çözücülerinin ayrı ayrı kullanımıyla farklı CS/PCL oranlarında hazırlanmış nanoliflerin antibakteriyel test sonuçları Çizelge 4.11 de verilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre, hem FA hem de AC solüsyonlarıyla hazırlanmış saf PCL nanolif yüzeylerde *E. coli*’ye karşı iyi bir antibakteriyel etkinlik gözlemlenmemiştir.

CS antibakteriyel özellik gösteren bir biyopolimerdir (Chung ve ark. 2003, No ve ark. 2002, Sarasam ve ark. 2006). Kitosanın PCL nanoliflerinin yapısına katılmasıyla *E.coli*’ye karşı antibakteriyel etkinlikte bariz bir artış gözlenmektedir ve bu artış PCL nanolifler içerisindeki CS oranının artmasıyla artış eğilimindedir. CS oranının artmasıyla antibakteriyel etkinliklerdeki artış hem FA hem de AC çözücülerile

hazırlanan numunelerde gözlemlenmiştir (-94.84% ve -35.48%, yaklaşık) fakat artış oranı her iki gurup içinde farklılık arz etmektedir.

Asetonun çözücü olarak kullanımında nanolif içerisinde CS'ın PCL tarafından kapsülasyonu sonucu *E. coli*'ye karşı antibakteriyel etkinliklerde belirgin bir miktar artış gözlemlenmemiştir (-3.23% ten -35.48% e kadar). Formik asitin çözücü olarak kullanılmasıyla kapsülasyonun oluşmaması ve CS'nın PCL/CS nanoweb içerisinde ultra incelikte nanolif formunu alması ve CS nin nanoliflerin yüzeyinde bulunma olasılığının yüksek olması antibakteriyel etkinlik değerlerinde belirgin bir artış olduğu tespit edilmiştir (-3.23% ten -94.84% e kadar). Formik asitte hazırlanmış PCL/CS (50/50) nanolif numunelerinin *E. coli*'ye karşı antibakteriyel etkinliklerinin diğer numunelere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Asetonun çözücü olarak kullanımında elektro çekimde nanolif oluşum esnasında kitosan partükellerin PCL tarafından enkapsüle edilmesi kitosanın nanolif yüzeyinde bulunma olasılığını azaltmış ve sonuç olarak antibakteriyel etkiye katkısını azaltmıştır. Diğer taraftan formik asitin çözücü olarak kullanımında ise homojen bir çözelti hazırlanmış ve elektroçekimle elde edilen CS/PCL nanoweb içerisinde ultra incelikte kitosan nanolifler oluşmuştur. CS nin FA ile hazırlanmış numunelerde tespiti FTIR sonuçlarıylada örtüşmektedir. Böylece kitosanın antibakteriyel etkisi daha bariz hale gelmiştir ve nihayi olarak formik asitin asetona kıyasla antibakteriyel PCL/CS nanoliflerin üretiminde elektroçekim prosesi için daha uygun çözücü olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇ

CS ve PCL gibi polimer karışımlarının eldesinde çözücü çözme tipi önemli parametrelerdir. PCL/CS polimer karışımının elektroçekim le nanolif üretimi için FA'ın bir çözücü olarak kullanılması, AC nin çözücü olarak kullanımıyla karşılaştırıldığında antibakteriyel aktivite FA ile hazırlanan numunelerde daha etkin bir şekilde artmıştır ve bu artış PCL/CS nanolif içindeki CS oranı arttıkça artış eğilimindedir. AC ile hazırlanmış numunelerde FTIR analizinde CS'a ait olan pikler CS'ın PCL tarafından kapsüle edilmesinden dolayı tespit edilemezken ilgili pikler FA ile hazırlanmış nanolif numunelerinde tespit edilmiştir ve piklerin şiddeti PCL/CS nanolif içindeki CS oranı arttıkça artış eğiliminde olmuştur. Optik ve elektron mikroskop görüntüleri AC'lu çözeltideki PCL matriks tarafından CS'ın enkapsülasyonunu desteklemiştir ve CS'ın bakteri ile sınırlı temasın sonucu olarak antibakteriyel etkiyi sınırlandırmıştır. Aseton ile hazırlanmış nanolif numunelerinde kapsülasyon sorununun ortadan kaldırılabilmesi için verilen çözüm önerileri aşağıdaki gibidir:

- Çözücü olarak aseton kullanımıyla elde edilen CS/PCL nanoliflerde CS'ın PCL tarafından kapsüle edildiği buda antibakteriyel sonuçlara olumsuz etki gösterdiği tespit edilmiştir. Bu problemin ortandan kalkabilmesi için farklı çözücülerin denenmesi daha uygun olacaktır. Yapılan çalışmada çözücü olarak formik asit denenmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Diğer taraftan aseton kullanımında kapsülasyon probleminin azaltılması için çözelti iletkenliğini farklılaştıracak iyonik tuzlar elektroçekim çözeltisine eklenebilir.
- Çözelti içerisinde PCL/CS karışımının daha homojen olabilmesi için daha düşük molekül ağırlığında polimerle kullanılabilir, bunu yaparken polimer molekül ağırlıklarının elektro çekim işlemine engel olamayacak ve uniform nanolifler elde edilebilecek ölçülerde seçilmesi gerekir.
- Ortam parametrelerinden olan sıcaklık ve nem değerlerindeki değişiklikler CS'ın PCL tarafından kapsülasyonunu ortamdan kaldırabilir. Farklı sıcaklık ve nem değerlerinde denemeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

Abedalwafa, M., Wang, F., Wang, L., Li, C. 2013. Biodegradable poly-epsilon-caprolactone (PCL) for tissue engineering applications: a review. *Rev. Adv. Mater. Sci*, 34 (1): 123-140.

Ali, S., Khatri, Z., Oh, K, W., Kim, I, S., Kim, S, H, 2014. Preparation and Characterization of Hybrid Polycaprolactone/cellulose Ultrafine Fibers via Electrospinning, *Macromol. Res*, 22 (5): 562–568.

Anantharamaiah, N, Ph, D., Verenich, S, Ph, D., Pourdeyhimi, B, Ph, D. 2008. Durable nonwoven fabrics via fracturing bicomponent islands-in-the-sea filaments. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 3 (3): 1-9.

Anonim, 2017a. Kuaterner amonyum tuzu.

<http://www.ochempal.org/index.php/alphabetical/q-r/quaternary-ammonium-salt/>-(Erişim tarihi: 10.05.2017).

Anonim, 2017b. Kitosanın (CS) kimyasal yapısı.

<http://www.swicofil.com/products/055chitosan.html>-(Erişim tarihi: 10.05.2017).

Anonim, 2017c. Çekim işlemi sırasında ekstrüder içerisine antimikrobiyel kimyasallar eklenmesi sayesinde antimikrobiyel özellik kazandırılması işlemi olarak düşünölebilen masterbatch işlemi. <http://www.nanocid.com/english/polymers.htm>-(Erişim tarihi: 10.05.2017).

Anonim, 2017d. Bikomponent lif üretim yöntemleri ve liflerin enine kesit görüntöleri. <http://www.nonwoventechnology.com/tr/custom-lightbox-click-the-image/>-(Erişim tarihi: 10.05.2017).

Anonim, 2017e. PCL yapısı. <http://incrediblematerials.com/index.php/stats/2-uncategorised/6-polycaprolactone>-(Erişim tarihi: 20.05.2017).

Anonim, 2017f. Kitin ve CS kimyasal yapıları. <http://2014.igem.org/Team:ITESM-Guadalajara/Product>-(Erişim tarihi: 20.05.2017).

Anonim, 2017g. Aseton (AC) un açık kimyasal yapısı. <http://chemistry.about.com/od/factsstructures/ig/Chemical-Structures---A/Acetone.-eEy.htm>-(Erişim tarihi: 23.05.2017).

Anonim, 2017h. Formik asitin (FA) in açık kimyasal yapısı. <http://dogabilimleridernegi.org/karincalarin-asit-fabrikalari/>-(Erişim tarihi: 23.05.2017).

Anonim, 2017i. CS ve PCL'nin kimyasal yapıları. <http://incrediblematerials.com/index.php/stats/2-uncategorised/6-polycaprolactone>-(Erişim tarihi: 23.05.2017).

Appendini, P., Hotchkiss, H. 2002. Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3: 113-126.

Augustine, R., Malik, H, N., Singhal, D, K., Mukherjee, A., Malakar, D., Kalarikkal, N., Thomas, S. 2014. Electrospun Polycaprolactone/ZnO nanocomposite membranes as biomaterials with antibacterial and cell adhesion properties. *J. Polym. Res*, (21): 347.

Aykut, Y., Porsons, G.N., Pourdeyhimi, B., Khan, S. A. 2013. Synthesis of Mixed Ceramic Mg x Zn_{1-x} O Nanofibers via Mg²⁺ Doping Using Sol–Gel Electrospinning. *Langmuir*, 29 (12): 4159-4166.

Aykut, Y., Pourdeyhimi, B., Khan, S, A. 2013. Effects of surfactants on the microstructures of electrospun polyacrylonitrile nanofibers and their carbonized analogs. *J. Appl. Polym. Sci*, 130 (5): 3726-3735.

Baser, I., Usta, I. ve Özyazgan, V., 1995. Tipta Kullanılan Tekstil Materyalleri. *Tekstil&Teknik*, Mayıs:97-100.

Beglou, M, J. 2008. Electrospun Biodegradable and Biocompatible Natural Nanofibers: A Detailed Review. *Cellulose Chemistry and Technology*, 42 (9-10): 441-462.

Beyth, N., Hourı-Haddad, Y., Domb, A., Khan, W., Hazan, R. 2015. Alternative Antimicrobial Approach: Nano-Antimicrobial Materials. Hindawi. *Evidence Based Complementary and Alternative Medicine*, 16 pp.

Bhat, G. 2015. Meltblown Submicron Fibers for Filter Media and Other Applications, *Fiber Journal*, 4 pp.

Bhattarai, N., Edmondson, D., Veiseh, O., Matsen, F, A., Zhang, M. 2005. Electrospun chitosan-based nanofibers and their cellular compatibility. *Biomaterials*, 26: 6176-6184.

Bonilla, A, M., Cerrada, M, L., Garcia, M, F., Kubacka, A., Ferrer, M., Garcia, M, F. 2013. Biodegradable Polycaprolactone-Titania Nanocomposites: Preparation, Characterization and Antimicrobial Properties. *Int. J. Mol. Sci*, (14): 9249-9266.

Borjigin, M., Eskridge, C., Niamat, R., Strouse, B., Bialk, P., Kmiec, E, B. 2013. Electrospun fiber membranes enable proliferation of genetically modified cells. *Int. J. Nanomedicine*, (8): 855–864.

Bozja, J., Sherrill, J., Michielsen, S., Stojiljkovic, I. 2003. Porphyrin-Based, Light-Activated Antimicrobial Materials. *Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry* 41: 2297-2303.

Campaniello, D., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., Corbo, M, R. 2008. Chitosan: antimicrobial activity and potential applications for preserving minimally processed strawberries. *Food Microbiology*, 25: 992-1000.

Chung, Y-C., Wang, H-L., Chen, Y-M., Li, S, L. 2003. Effect of abiotic factors on the antibacterial activity of chitosan against waterborne pathogens. *Bioresource Technology*, 88 (3): 179-184.

Cooper, A., Oldinski, R., Ma, H., Bryers, J, D., Zhang, M. 2013. Chitosan-based nanofibrous membranes for antibacterial filter applications. *Carbohydrate Polymers*, 92 (1): 254-259.

Croisier, F., Atanasova, G., Poumay, Y., Jerome, C. 2014. Polysaccharide-coated PCL nanofibers for wound dressing applications. *Advanced Healthcare Materials*, 3 (12): 2032-2039.

Çerkez, I., Sezer, A., Bhullar, S, K. 2017. Fabrication and characterization of electrospun poly (ε-caprolactone) fibrous membrane with antibacterial functionality. *Royal Society Open Science*, 4: 8 pp.

Deitzel, J, M., Kleinmeyer, J., Harris, D., Beck-Tan, N, C. 2001. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, Polymer 42: 261-272.

Desai, K., Kit, K., Li, J., Zivanovic, S. 2008. Morphological and Surface Properties of Electrospun Chitosan Nanofibers. *Biomacromolecules*, (9): 1000-1006.

Devlieghere, F., Vermeulen, A., Debevere, J., 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21: 703-714.

Ellison, C, J., Phatak, A., Giles, D,W., Macosko, C, W., Bates, F. S. 2007. Melt blown nanofibers: Fiber diameter distributions and onset of fiber breakup. *Polymer*, Polymer 48: 3306-3316.

El-Newehy, M, H., Al-Deyab, S, S., Kenawy, E, R., Megeed, A, A. 2012. Fabrication of Electrospun Antimicrobial Nanofibers Containing Metronidazole Using Nanospider Technology. *Fibers and Polymers*, 13 (6): 709-717.

Fong, H., Chun, I., Reneker, D, H. 1999. Beaded nanofibers formed during electrospinning. *Polymer*, Polymer 40: 4585-4592.

Gao, Y., Cranston, R. 2008. Recent Advances in Antimicrobial Treatments of Textiles. *Textile Research Journal*, 78 (1): 60-72.

Gemci, R., Yener, F., Solak, H. 2011. Uygulanan Voltaj Değeri İle Pvb Nanolif Çapı Arasındaki İlişki. *KSU Mühendislik Dergisi*, 14 (1): 31-34.

Ghasemi-Mobarakeh, L., Prabhakaran, M. P., Morshed, M., Nasr-Esfahani, M. H., Ramakrishna, S. 2010. Bio-functionalized PCL nanofibrous scaffolds for nerve tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*, 30 (8): 1129-1136.

Gomes, D. S., da Silva, A. N. R., Morimoto, N. I. 2007. Characterization of an Electrospinning Process using Different PAN/DMF Concentrations, *Polimeros*, 17 (3): 206-211.

Hassan, M. A., Yeom, B. Y., Wilkie, A., Pourdeyhimi, B., Khan S, A. 2013. Fabrication of nanofiber meltblown membranes and their filtration properties. *Journal of Membrane Science*, Journal of Membrane Science 427: 336-344.

Hekmati, A. H., Rashidi, A., Ghazisaeidi, R., Drean, J. Y. 2013. Effect of needle length, electrospinning distance and solution concentration on morphological properties of polyamide 6 electrospun nanowebs. *Textile Research Journal*, 83 (14): 1452-1466.

Hui, F., Bebiemme- Chouvy, C. 2013. Antimicrobial N-Halamine Polymers and Coatings: A Review of Their Synthesis, Characterization, and Applications. *Biomacromolecules*, 585-601.

Hurt, A. P., Kotha, A. K., Trivedi, V., Coleman, N. J. 2015. Bioactivity, biocompatibility and antimicrobial properties of a chitosan-mineral composite for periodontal tissue regeneration. *Polimeros*, 25 (3): 311-316.

Ifuku, S., Nogi, M., Kentaro, A., Yoshioka, M., Morimoto M., Saimoto, H., Yano, H. 2011. Simple preparation method of chitin nanofibers with a uniform width of 10-20 nm from prawn shell under neutral conditions. *Carbohydrate Polymers*, 84: 762-764.

Ifuku, S., Nogi, M., Yoshioka, M., Morimoto M., Yano, H., Saimoto, H. 2010. Fibrillation of dried chitin into 10-20 nm nanofibers by a simple grinding method under acidic conditions. *Carbohydrate Polymers*, 81: 134-139.

Ijsebaert, J. C., Geerse, K. B., Marijnissen, J. C. M., Lammers, J. W. J., Zanen, P. 2001. Electro-hydrodynamic atomization of drug solutions for inhalation purposes. *Journal of Applied Physiology*, 91 (6): 2735-2741.

İyigündoğdu, Z. U., Demir, O., Asutay, A. B., Sahin, F. 2017. Developing Novel Antimicrobial and Antiviral Textile Products. *Apply. Biochem. Biotechnol*, 181: 1155-1166.

Jaiswal, S., McHale, P., Duffy, B., 2012. Preparation and rapid analysis of antibacterial silver, copper and zinc doped sol-gel surfaces, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 94: 170-176.

Jarusuwannapoom, T., Hongrojjanawiwat, W., Jitjaicham, S., Wannatong, L., Nithitanakul, M., Pattamaprom, C., Koombhongse, P., Rangkupan, R., Supaphol, P. 2005. Effects of solvents on electro-spinnability of polystyrene solutions and morphological appearance of resulting electrospun polystyrene fibers. *European Polymer Journal*, 41: 409-421.

- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Nair, S. V., Tamura, H. 2010.** Novel chitin and chitosan nanofibers in biomedical applications. *Biotechnology Advances*, 28: 142-150.
- Joshi, M, K., Tiwari, A, P., Pant, H, R., Shrestha, B, K., Kim, H, J., Park, C, H., Kim, C, S. 2015.** In Situ Generation of Cellulose Nanocrystals in Polycaprolactone Nanofibers: Effects on Crystallinity, Mechanical Strength, Biocompatibility, and Biomimetic Mineralization, *ACS. Appl. Mater. Interfaces*, 7: 19672–19683.
- Kakade, M, V., Givens, S., Gardner., K, Lee, K, H., Chase, D, B., Rabolt J, F. 2007.** Electric field induced orientation of polymer chains in macroscopically aligned electrospun polymer nanofibers. *JACS*, 129: 2777-2782.
- Katta, P., Alessandro, M., Ramsier, R.D., Chase, G. G. 2004.** Continuous electrospinning of aligned polymer nanofibers onto a wire drum collector. *Nano Letters*, 4 (11): 2215-2218.
- Kim, G, H. 2008.** Electrospun PCL nanofibers with anisotropic mechanical properties as a biomedical scaffold. *Biomedical Materials*, 3 (2): 025010.
- Koski A., Yim K., Shivkumar S. 2004.** Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning. *Materials Letters*, 58: 493-497.
- Labet, M., Thielemans, W. 2009.** Synthesis of polycaprolactone: a review. *Chem. Soc. Rev.*, (38): 3484-3504.
- Lee, S, J., Heo, D , N., Moon, J, H., Ko, W, K., Lee, J, B., Bae, M, S., Park, S, W., Kim, J , E., Lee, D, H., Kim, E, C., Lee, C, H., Kwon, I, K. 2014.** Electrospun chitosan nanofibers with controlled levels of silver nanoparticles. preparation, characterization and antibacterial activity. *Carbohydrate Polymers*, 111: 530-537.
- Li, C., Hou, J., Huang, Z., Zhao, T., Xiao, L., Gao, G., Harnode, C., Dong, A. 2015.** Assessment of 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidinol-based amine N-halamine – labeled silica nanoparticles as potent antibiotics for deactivating bacteria, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 126: 106-114.
- Li, D., Xia, Y. 2004.** Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel. *Advanced Materials*, 16 (14): 1151-1170.
- Lim, S-H ., Hudson, S, M. 2004.** Application of a fiber-reactive chitosan derivative to cotton fabric as an antimicrobial textile finish. *Carbohydrate Polymers*, 56: 227-234.
- Lu, Y., Sun, Q., She, X., Xia, Y., Liu, Y., Li, J., Yang, D. 2013.** Fabrication and characterisation of α -chitin nanofibers and highly transparent chitin films by pulsed ultrasonication. *Carbohydrate Polymers*, 98(2):1497-504.

- Macossay, J., Marruffo, A., Rincon, R., Eubanks, T., Kuang, A. 2007.** Effect of needle diameter on nanofiber diameter and thermal properties of electrospun poly(methylmethacrylate). *Polymer for Advanced Technologies*, 18: 180-183.
- McEchain, Z., Lozano, K. 2012.** Production and Characterization of Polycaprolactone Nanofibers via Forcespinning Technology. *Journal of Applied Polymer Science*, 126: 473-479.
- Medeiros, E, S., Mattoso, L, H, C., Offeman, R, D., Wood, D, F., Orts, W, J. 2008.** Effect of relative humidity on the morphology of electrospun polymer fibers. *Can. Journal Chemical*, 86: 590-599.
- Motealleh, B., Zahedi, P., Rezaeian, I., Moghimi, M., Abdolghaffari, A, H., Zarandi, M, A. 2014.** Morphology, drug release, antibacterial, cell proliferation, and histology studies of chamomile-loaded wound dressing. *Journal of Biomedical Materials Research Part B Applied Biomaterials*, (102B): 977-987.
- No, H, K., Park, N, Y., Lee, S, H., Meyers, S, P. 2002.** Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International Journal of Food Microbiology*, 25(74)-(1-2): 65-72.
- Nottelet, B., Pektok, E., Mandracchia, D., Tille, J-C., Walpoth, B., Gurny, R., Moeller, M. 2009.** Factorial design optimization and in vivo feasibility of poly(ϵ -caprolactone)-micro- and nanofiber-based small diameter vascular grafts. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 89A (4): 865-875.
- Olgun, U., Tunç, K., Özaslan, V. 2009.** Preparation of antimicrobial polycaprolactone-silica composite films with nanosilver rods and triclosan using roll-milling method. *Polymers Advanced Technologies*, (22): 232-236.
- O'Neill J.**, "Tackling Drug-Resistant Infections Globally: Final Report and Recommendations". https://amr-review.org/sites/default/files/160525_Final%20paper_with%20cover.pdf (accessed October 4, 2016)
- Orhan, M. 2007.** Pamuk, poliamid ve poliester esaslı tekstil materyallerinde antimikrobiyel bitim uygulamaları üzerine bir araştırma. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil ve Tekstil Mühendisliği, Bursa.
- Persano, L., Camposeo, A., Tekmen, C., Pisignano, D. 2013.** Industrial Upscaling of Electrospinning and Applications of Polymer Nanofibers: A Review, *Macromol. Mater. Eng.*, (298): 504-520.
- Kumar, M., N., V., R. 2000.** A review of chitin and chitosan applications. *Reactive & Functional Polymers*, 46: 1-27.
- Reneker, D, H., Kataphinan, W., Theron, A., Zussman, E., Yarin, A, L. 2002.** Nanofiber garlands of polycaprolactone by electrospinning. *Polymer*, 43: 6785-6794.

Rowhani, T., Lagalante, A, F., 2007. A colorimetric assay for the determination of polyhexamethylene biguanide in pool and spa water using nickel-nioxime. *Talanta*, 71 (2): 964-970.

Sarasam, A, R., Krishnaswamy, R, K., Madihally, S, V. 2006. Blending Chitosan with Polycaprolactone: Effects on Physicochemical and Antibacterial Properties. *Biomacromolecules*, 7 (4): 1131-1138.

Schueren L, V, D., Schoenmaker, B, D., Kalaoğlu, Ö, I., Clerck, K , D. 2011. An alternative solvent system for the steady state electrospinning of polycaprolactone. *European Polymer Journal*, 47: 1256-1263.

Schueren, V, L, D., Steyaert, I., Schoenmaker, B, D., Clerck, K, D. 2012. Polycaprolactone/chitosan blend nanofibres electrospun from an acetic acid/formic acid solvent system. *Carbohydrate Polymers*, 88 (4): 1221 -1226.

Seventekin, N., Demir, A., Sahan, G., Arık, B. 2012. Effect of Chitosan on Natural Dyeability and Antibacterial Activity of Wool Fabrics. 1 st International Fashion and Textile Design Symposium. Department of Fashion and Textile Design, Faculty of Fine Arts, Akdeniz University, 8-10 October, 2012, Antalya, Turkey.

Siedenbiedel, F., Tiller, J, C. 2012. Antimicrobial Polymers in Solution and on Surfaces: Overview and Functional Principles. *Polymers*, 4 (1): 46-71.

Simoncic, B., B, Tomsic. 2010. Structures of Novel Antimicrobial Agents for Textile a Review. *Textile Research Journal*, 80 (16): 1721-1737.

Son, W, K., Youk, J, H., Park, W, H. 2006. Antimicrobial cellulose acetate nanofibers containing silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 65: 430-434.

Stewart, M, J., Parikh, S., Xiao, G., Tonge, J., Kisker, C. 1999. Structural Basis and Mechanism of Enoyl Reductase Inhibition by Triclosan. *J. Mol. Biol*, (290): 859-865.

Su, W., Wei, S, S., Hu, S, Q., Tang, J, X. 2011. Antimicrobial finishing of cotton textile with nanosized silver colloids synthesized using polyethylene glycol. *The Journal of The Textile Institute*, 102 (2): 150-156.

Sun, Y., Sun G. 2001. Durable and Regenerable Antimicrobial Textile Materials Prepared by a Continuous Grafting Process. *JAPS*, 84: 1592-1599.

Tan, S-H., Inai, R., Kotaki, M., Ramakrishna, S. 2005. Systematic parameter study for ultra-fine fabrication via electrospinning process. *Polymer*, Polymer 46: 6128-6134.

Tran, P, A., Hocking, D, M., O'Connor, A, J. 2015. In situ formation of antimicrobial silver nanoparticles and the impregnation of hydrophobic polycaprolactone matrix for antimicrobial medical device applications. *Materials Science and Engineering C*, 47: 63-69.

Uyar, T., Besenbacher, F. 2008. Electrospinning of uniform polystyrene fibers: The effect of solvent conductivity. *Polymer*, Polymer 49: 5336-5343.

Van der Schueren L., Steyaert I., De Schoenmaker, B., De Clerck, K. 2012. Polycaprolactone/chitosan blend nanofibres electrospun from an acetic acid/formic acid solvent system. *Carbohydrate Polymers*, 88 (4): 1221-1226.

Vaquette, C., Cooper-White, J, J. 2011. Increasing electrospun scaffold pore size with tailored collectors for improved cell penetration. *Acta Biomaterialia*, 7: 2544-2557.

Varan, N. 2017. The Use of Titration Technique and FTIR Bands Determine the Deacetylation Degree of Chitosan Samples. *Journal of Textile Science & Engineering*, 7 (1): 4 pp.

Vrieze, S, De., Camp, T, Van., Nelvig, A., Hagström, B., Westbroek, P., Clerck, K, De. 2009. The effect of temperature and humidity on electrospinning. *Journal Material Science*, 44: 1357-1362.

Wan, Y., Lu, X., Dalai, S., Zhang, J. 2009. Thermophysical properties of polycaprolactone/chitosan blend membranes. *Thermochimica Acta*, 487 (1-2): 33-38.

Wang, X., Yue, T., Lee, T-C. 2015. Development of Pleurocidin-poly(vinyl alcohol) electrospun antimicrobial nanofibers to retain antimicrobial activity in food system application. *Food Control*, Food Control 54: 150-157.

Wannatong, L., Sirivat, A., Supaphol, P. 2004. Effects of solvents on electrospun polymeric fibers: preliminary study on polystyrene. *Polymer International*, 53: 1851-1859.

Xing, Y., Yang, X., Dai, J. 2007. Antimicrobial finishing of cotton textile based on water glass by sol-gel method. *J. Sol-Gel Sci. Technol*, 43: 187-192.

Xue, J., Niu, Y., Shi, R., Chen, D., Zhang, L., Lvov, Y. 2015. Electrospun Microfiber Membranes Embedded with Drug-Loaded Clay Nanotubes for Sustained Antibacterial Protection. *ACS. Nano*, 9 (2): 1600–1612.

Yu, H., Wang, W., Chen, X., Deng, C., Jing, X. 2006. Synthesis and characterization of the biodegradable polycaprolactone-graft-chitosan amphiphilic copolymers. *Biopolymers*, 83 (3): 233-242.

Zamani, M., Morshed, M., Varshosaz, J., Jannesari, M. 2010. Controlled release of metronidazole benzoate from poly ϵ -caprolactone electrospun nanofibers for periodontal diseases. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 75 (2): 179-185.

Zhang, X., Lu, Y. 2014. Centrifugal Spinning: An Alternative Approach to Fabricate Nanofibers at High Speed and Low Cost. *Polymer Reviews*, 54 (4): 677-701.

Zheng, L, Y., Zhu, J, F. 2003. Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights. *Carbohydrate Polymers*, 54: 527-530.

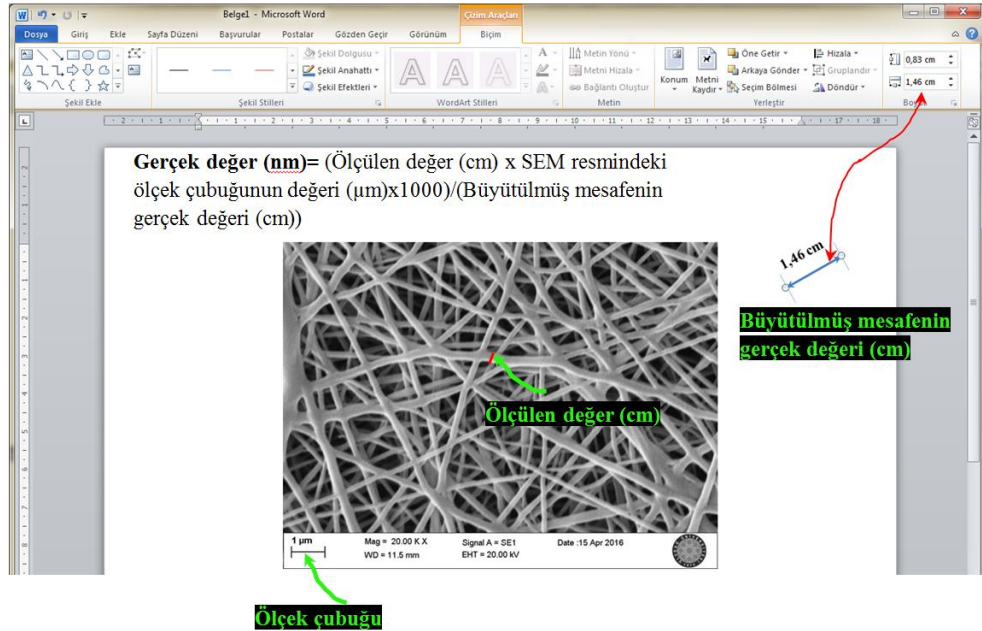
Zong, X., Kim, K., Fang, D., Ran, S., Hsiao, B, S., Chu, B. 2002. Structure and process relationship of electrospun bioabsorbable nanofiber membranes. *Polymer*, 43: 4403-4412.



EKLER

Nanoliflerin çaplarına bağlı istatistiksel analizler

Elektroçekim prosesi ile elde edilen 8 ayrı nanoyüzey için ayrı ayrı olmakla beraber çeşitli temel istatistiksel bilgilere ulaşılabilir. Ölçülen değer SEM resimleri üzerinden yüzer adet “cm” cinsinden ölçülerek daha sonra SEM resmindeki büyütme oranına göre ve SEM resimleri üzerindeki ölçek çubuğu dikkate alınarak nanometreye çevrilmiştir. Bu sayısal verilerin oluşturdukları yığınların toplam adedi ise 8’dir. Sonuçta istatistiksel analizleri yapılacak sayısal verilerin toplamı 800’dür. Nanoliflerin ölçümleri; SEM görüntüleri üzerinden *homojenitenin* korunması amacı ile olabildiğince birbirinden farklı bölgelerinden imleç yardımı ile çap ölçümü sistemi şekliyle alınmıştır. Dolayısıyla yığın *homojendir* ve sonuçlar *yansız* olarak tespit edilmiştir. Bu sistemle alınan birbirinden çeşitli oranlarda ve çözücü farklılığına sahip 8 ayrı yığından yüzer numune alınarak yapılmıştır. Nanoliflerin çaplarının hesaplanması için çap değerleri SEM resminin Microsoft Word dosyasında açılmasıyla Şekil ek 1. deki gibi ve aşağıda belirtilen genel formüllere dayanarak ve her konsantrasyon için toplam 8 adet numune için hesaplanmıştır:



Şekil ek 1. Nanoliflerin çaplarının hesaplanması için çap değerleri SEM resminin Microsoft Word dosyasında açılmasıyla belirlenmesi

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değer (cm) x SEM resmindeki ölçek çubuğunun değeri (μm)x1000)/(Büyütülmüş mesafenin gerçek değeri (cm)) (ek 1)

AC–(PCL (%100)+CS (%0)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x10(μm)x1000/1,85(cm) (ek 1a)

AC–(PCL (%95)+CS (%5)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x10(μm)x1000/1,85(cm) (ek 1a)

AC–(PCL (%80)+CS (%20)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x10(μm)x1000/1,85(cm) (ek 1a)

AC–(PCL (%50)+CS (%50)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x10(μm)x1000/1,85(cm) (ek 1a)

FA–(PCL (%100)+CS (%0)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x2(μm)x1000/1,85(cm) (ek 1b)

FA–(PCL (%95)+CS (%5)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x1(μm)x1000/1,23(cm) (ek 1c)

FA–(PCL (%80)+CS (%20)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x1(μm)x1000/1,53(cm) (ek 1d)

FA–(PCL (%50)+CS (%50)) için nanolif çapı hesabı;

Gerçek değer (nm): (Ölçülen değerler(cm))x2(μm)x1000/1,23(cm) (ek 1e)

Bu bilgiler doğrultusunda istatistiki nanolif çaplarının hesaplamaları detaylı şekilde yapılmıştır.

a) Mod hesabı

Mod; sayısal yığınlardan oluşan ve tüm sayısal verilerinin içerisinde en çok tekrar eden yani frekansı en yüksek olan ölçme değeridir (Tepe değer).

Mod hesabı;

Eğer sayısal seriler (Her bir yüz numunelik yığın) daha önceki verilerden bakılarak sayılma usulüyle incelenirse en çok tekrar eden sayı olan mod bulunur. Yığın homojendir ve sonuçlar yansız olarak tespit edilmiştir. Ölçülen değerler, sayısal veriler olarak alınmıştır.

b) Frekans hesabı

Modun tekrar sayısıdır. Yığın homojendir ve sonuçlar yansız olarak tespit edilmiştir. Ölçülen değerler, sayısal veriler olarak alınmıştır.

c) Medyan hesabı

Yığının içerisindeki tüm sayısal veriler en küçükten en büyüğe doğru sıralandığında, sayısal veri serisini ortadan ikiye ayıran değere denir. İstatistiğin bir alt dalı olan, istatistikte medyan bir merkezsiz konum ölçüsü olarak kabul edilir. Yığın homojendir ve sonuçlar yansız olarak tespit edilmiştir. Ölçülen değerler, sayısal veriler olarak alınmıştır. Seriler, çift sayı adedine sahip olduğundan dolayı aşağıdaki denklem uygulanacaktır.

d) Aritmetik ortalama hesabı

Yığının içerisindeki sayısal verilerin toplam değerinin, yığının içerisindeki toplam değer sayısına bölümüne denir. Yığın homojendir ve sonuçlar yansız olarak tespit edilmiştir. Ölçülen değerler, sayısal veriler olarak alınmıştır.

Aritmetik ortalamaya ait genel formül;

$$\bar{X} : \sum_{i=1}^n X_i/n \quad (\text{ek 1g})$$

X: Aritmetik ortalama,

X_i : Yığının içerisindeki her bir veri ($i = 1$ 'den başlamak üzere, n tane sayısal veri için n sonda olmak kaydı ile n adettir)

n: Yığının içerisindeki toplam sayısal veri sayısı

e) Standart sapma hesabı

Bir yığın içerisindeki sayısal verilerin aritmetik ortalamadan ne kadar uzaklaştığını gösteren ölçüye denir. Yığın homojendir ve sonuçlar yansız olarak tespit edilmiştir. Ölçülen değerler, sayısal veriler olarak alınmıştır.

Standart sapmaya ait genel formül;

Sayısal verilerin çok fazla olduğu durumlarda n'e bölünür.

$$S: \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n}\right)} \quad (\text{ek 1h})$$

S: Standart sapma

\bar{X} : Aritmetik ortalama

X_i : Yığının içerisindeki her bir veri ($i = 1$ den başlamak üzere, n tane sayısal veri için n sonda olmak kaydı ile n adettir)

n: Yığının içerisindeki toplam sayısal veri sayısı

f) Değişim katsayısı (%CV) hesabı

Yığın içerisindeki tüm sayısal verilerin sayesinde elde edilmiş standart sapmanın, aritmetik ortalamaya göre yüzde değişimine denir. Yığın homojendir ve sonuçlar yansız olarak tespit edilmiştir. Ölçülen değerler, sayısal veriler olarak alınmıştır.

Değişim katsayısına ait genel formül;

$$\% CV: (S/\bar{x}) \times 100 \quad (\text{ek 1i})$$

% CV: Yüzde değişim (Varyasyon) katsayısı

S: Standart sapma

\bar{x} : Aritmetik ortalama

Nanolif çap analizlerinde istatistiksel hesaplamaların sonuçları

Burada; nanolif çaplarına ait 2 farklı çözücü ve her birinde dörder farklı konsantrasyonda hazırlanarak elektroçekim prosesine tabi tutularak üretilen nanoliflerin, normal dağılım gösteren rastgele değişkeninin standart normal dağılımının istatistiki hesaplamalarının tüm ölçüm değerleri nanometre cinsinden ilk çizelgede verilmiştir. Daha sonrasında, her bir çeşitlilik için ayrı ayrı mod, frekans, medyan, aritmetik ortalama, standart sapma ve değişim katsayısı (%CV) değerleri hesaplanmıştır. Daha sonrasında ise, nanoliflerin çapları ve adetleri çizelgeler halinde verilerek ve ekstra olarak ise nanolif çaplarının, nanolif adetleri ve yüzdelere ait genel grafikler verilerek her biri için ayrı ayrı nanoliflerin morfolojileri hakkında teknik yorumlamalar yapılmıştır. En son olarak ise, en son ki çizelge de tüm hesaplanan değerler bir çizelge halinde verilmiştir ve %CV değerlerine bağlı olarak her bir çeşitlilik büyükten küçüğe doğru sıralanarak çeşitli teknik yorumlamalar yapılmıştır.

Çizelge ek 1. Nanolif çapları (Nanometre ölçeğinde alınmıştır)

Ölçüm Sayısı (n)	Aseton (AC)				Formik asit (FA)			
	PCL/CS (100/0)	PCL/CS (95/5)	PCL/CS (80/20)	PCL/CS (50/50)	PCL/CS (100/0)	PCL/CS (95/5)	PCL/CS (80/20)	PCL/CS (50/50)
1	54,054	162,162	108,108	432,432	10,810	65,040	52,287	81,300
2	54,054	162,162	270,270	432,432	10,810	73,170	58,823	97,560
3	54,054	270,270	270,270	432,432	10,810	73,170	71,895	146,341
4	162,162	270,270	324,324	432,432	10,810	73,170	78,431	178,861
5	162,162	270,270	432,432	486,486	10,810	73,170	91,503	178,861
6	162,162	270,270	486,486	486,486	10,810	73,170	91,503	178,861
7	162,162	270,270	486,486	594,594	32,432	89,430	104,575	195,121
8	162,162	324,324	594,594	594,594	32,432	89,430	104,575	195,121
9	162,162	324,324	594,594	594,594	32,432	89,430	104,575	227,642
10	162,162	324,324	648,648	594,594	32,432	89,430	111,111	260,162
11	270,270	432,432	648,648	594,594	54,054	89,430	111,111	260,162
12	270,270	432,432	648,648	594,594	54,054	89,430	111,111	260,162
13	270,270	432,432	648,648	648,648	54,054	89,430	111,111	260,162
14	324,324	432,432	756,756	648,648	54,054	97,560	111,111	260,162
15	324,324	432,432	756,756	648,648	54,054	113,821	124,183	276,422
16	324,324	486,486	756,756	648,648	64,864	113,821	124,183	276,422
17	324,324	486,486	756,756	756,756	64,864	113,821	124,183	276,422
18	324,324	486,486	756,756	756,756	64,864	113,821	124,183	276,422
19	432,432	486,486	864,864	756,756	64,864	113,821	124,183	276,422
20	432,432	540,540	864,864	756,756	64,864	113,821	130,718	308,943
21	486,486	594,594	864,864	864,864	64,864	113,821	130,718	308,943
22	486,486	594,594	864,864	864,864	64,864	121,951	130,718	308,943
23	486,486	594,594	864,864	864,864	64,864	130,081	130,718	308,943
24	594,594	594,594	864,864	864,864	64,864	130,081	130,718	308,943
25	594,594	594,594	864,864	864,864	86,486	130,081	143,790	308,943
26	594,594	648,648	918,918	864,864	86,486	130,081	143,790	308,943
27	594,594	648,648	918,918	918,918	86,486	130,081	143,790	308,943
28	594,594	648,648	918,918	918,918	86,486	130,081	143,790	308,943
29	594,594	702,702	918,918	918,918	97,297	130,081	143,790	308,943
30	648,648	756,756	1027,027	1027,027	97,297	130,081	143,790	308,943
31	648,648	756,756	1027,027	1027,027	97,297	130,081	150,326	308,943
32	648,648	756,756	1027,027	1081,081	97,297	130,081	150,326	325,203
33	648,648	864,864	1027,027	1081,081	118,918	130,081	150,326	325,203
34	648,648	864,864	1081,081	1189,189	118,918	138,211	150,326	325,203
35	648,648	918,918	1081,081	1189,189	118,918	138,211	150,326	325,203
36	648,648	918,918	1081,081	1189,189	118,918	138,211	150,326	357,723
37	648,648	918,918	1189,189	1189,189	118,918	138,211	150,326	357,723
38	648,648	1027,027	1243,243	1189,189	118,918	138,211	150,326	357,723
39	648,648	1027,027	1243,243	1243,243	129,729	138,211	163,398	357,723
40	648,648	1027,027	1243,243	1243,243	129,729	138,211	163,398	357,723
41	756,756	1027,027	1243,243	1243,243	129,729	154,471	163,398	357,723
42	756,756	1027,027	1243,243	1351,351	129,729	154,471	163,398	357,723
43	756,756	1027,027	1351,351	1351,351	129,729	154,471	163,398	357,723
44	756,756	1027,027	1351,351	1405,405	129,729	154,471	163,398	373,983
45	756,756	1081,081	1351,351	1459,459	151,351	154,471	163,398	373,983
46	756,756	1081,081	1459,459	1459,459	151,351	154,471	163,398	373,983
47	864,864	1081,081	1459,459	1513,513	151,351	154,471	163,398	373,983
48	864,864	1081,081	1459,459	1513,513	151,351	154,471	163,398	373,983
49	864,864	1189,189	1459,459	1513,513	151,351	154,471	163,398	390,243
50	864,864	1243,243	1513,513	1783,783	151,351	154,471	176,470	406,504
51	864,864	1243,243	1513,513	1783,783	151,351	154,471	176,470	406,504
52	918,918	1459,459	1513,513	1837,837	172,972	154,471	176,470	439,024
53	918,918	1459,459	1513,513	1837,837	172,972	162,601	176,470	439,024
54	918,918	1459,459	1513,513	2000	172,972	162,601	176,470	439,024
55	918,918	1459,459	1621,621	2162,162	172,972	162,601	176,470	439,024
56	918,918	1513,51	1675,675	2162,162	172,972	178,861	176,470	439,024

<i>Çizelge ek 1'in devamı</i>								
57	918,918	1621,621	1675,675	2270,270	183,783	178,861	183,006	439,024
58	918,918	1675,675	1675,675	2540,540	183,783	178,861	183,006	439,024
59	918,918	1675,675	1783,783	2594,594	183,783	178,861	183,006	455,284
60	918,918	1675,675	1837,837	2702,702	183,783	178,861	183,006	455,284
61	918,918	1675,675	1837,837	2702,702	183,783	178,861	183,006	455,284
62	1027,027	1675,675	1837,837	2756,756	194,594	178,861	196,078	455,284
63	1027,027	1729,729	1837,837	2864,864	205,405	178,861	196,078	455,284
64	1027,027	1783,783	1891,891	2864,864	205,405	186,991	196,078	455,284
65	1027,027	1783,783	1945,945	2864,864	205,405	186,991	196,078	487,804
66	1081,081	1837,837	1945,945	2918,918	205,405	186,991	196,078	487,804
67	1189,189	1837,837	1945,945	3027,027	205,405	186,991	196,078	487,804
68	1351,351	2000	2000	3027,027	216,216	186,991	196,078	504,065
69	1351,351	2000	2000	3027,027	216,216	186,991	196,078	504,065
70	1351,351	2000	2000	3027,027	216,216	186,991	196,078	504,065
71	1351,351	2108,108	2108,108	3189,189	216,216	203,252	196,078	504,065
72	1459,459	2270,270	2162,162	3189,189	237,837	203,252	202,614	504,065
73	1513,513	2378,378	2162,162	3297,297	237,837	203,252	202,614	504,065
74	1513,513	2432,432	2378,378	3297,297	237,837	203,252	202,614	504,065
75	1675,675	2432,432	2378,378	3459,459	248,648	203,252	202,614	536,585
76	1675,675	2540,540	2378,378	3459,459	248,648	203,252	202,614	536,585
77	1675,675	2702,702	2432,432	3513,513	270,270	203,252	202,614	536,585
78	1675,675	2756,756	2432,432	3513,513	270,270	219,512	202,614	536,585
79	1783,783	2756,756	2432,432	3621,621	270,270	219,512	215,686	536,585
80	1837,837	2864,864	2540,540	3675,675	291,891	227,642	222,222	552,845
81	1837,837	2864,864	2540,540	3675,675	291,891	227,642	235,294	552,845
82	1945,945	2864,864	2594,594	3675,675	291,891	227,642	235,294	585,365
83	1945,945	2972,972	2594,594	3729,729	302,702	227,642	254,901	585,365
84	2000	2972,972	2702,702	3729,729	335,1351	227,642	254,901	585,365
85	2108,108	3027,027	2702,702	3729,729	356,756	235,772	261,437	601,626
86	2162,162	3027,027	2864,864	3891,891	356,756	243,902	261,437	601,626
87	2162,162	3135,135	2864,864	4270,270	389,189	243,902	287,581	601,626
88	2162,162	3135,135	2864,864	4378,378	421,621	252,032	287,581	634,146
89	2432,432	3189,189	3027,027	4648,648	486,486	252,032	294,117	634,146
90	2540,540	3297,297	3027,027	4648,648	572,972	252,032	294,117	634,146
91	2864,864	3513,513	3027,027	4810,810	594,594	268,292	294,117	650,406
92	3027,027	3621,621	3135,135	7729,729	659,459	268,292	307,189	650,406
93	3297,297	3621,621	3189,189	8432,432	691,891	300,813	333,333	682,926
94	3351,351	3945,945	3297,297	9081,081	702,7027	300,813	359,477	715,447
95	3513,513	4216,216	3297,297	11945,945	713,513	317,073	366,013	1008,130
96	3675,675	4486,486	3297,297	12054,054	724,324	317,073	379,084	1089,430
97	3675,675	4486,486	3351,351	13135,135	735,135	325,203	385,620	1089,430
98	3891,891	4648,648	3459,459	14324,324	756,756	325,203	405,228	1138,211
99	5891,891	4702,702	4378,378	14486,486	767,567	349,593	418,300	1138,211
100	7513,513	4702,702	5243,243	14594,594	789,189	357,723	437,908	1365,853

a) $AC-(PCL (\%100)+CS (\%0))$ (Çizelge ek 2. ve Şekil ek 2.)

Mod: $AC - PCL / CS - 100/0$: 0,12'dür. 0,12 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

648,648 nm nanolif çapı moddur.

Frekans: $AC-PCL/CS-100/0$: 11'dir.

Medyan: AC-PCL/CS–100/0: 0,16'dır. 0,16 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

864,864 nm nanolif çapı medyan'dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS–100/0 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik ortalama için ise bu iki değerini yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS–100/0: 0,2283'dür. 0,2283 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak

1234,054 nm nanolif çapı aritmetik ortalama'dır.

Standart sapma hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS–100/0 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i 'den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değerini karesi alınarak, toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS–100/0: 0,2212'dir. 0,2212 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak

1195,675 standart sapma'dır.

Değişim katsayısı (%CV) hesabı;

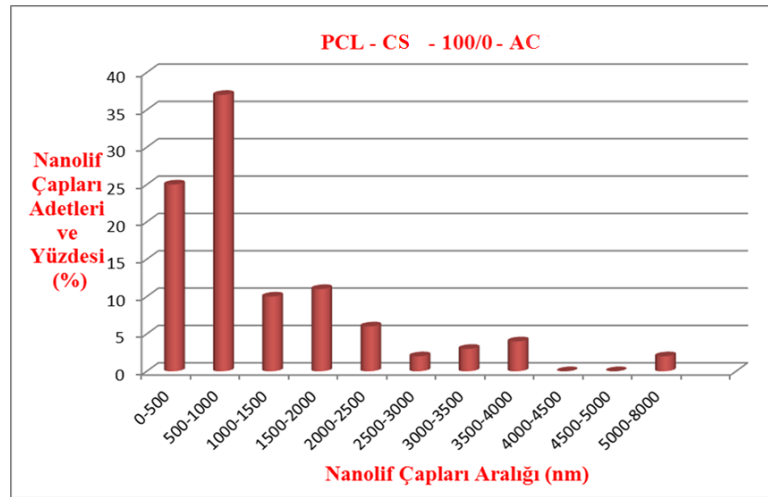
Hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS–100/0: $(0,22129579364016/0,2283) \times 100 = 96,9320 = \%CV$

(%CV) Değişim katsayısı %96,9320 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 2. AC-PCL/CS-100/0 için çap aralıklarına bağlı adetleri

AC-PCL/CS-100/0	
Aralık (nm)	Adet
0-500	25
500-1000	37
1000-1500	10
1500-2000	11
2000-2500	6
2500-3000	2
3000-3500	3
3500-4000	4
4000-4500	0
4500-5000	0
5000-8000	2



Şekil ek 2. PCL/CS-100/0-AC için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 500 – 1000 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün iyi çözme etkisinin olmadığını göstermektedir. Bunun doğrultusunda kalın lif çapları elde edilmiştir. Kalın nanolif oluşum dağılımı gözlemlenmemiştir.

b) AC-(PCL (%95)+CS (%5)) (Çizelge ek 3. ve Şekil ek 3.)

Mod: AC-PCL/CS-95/5: 0,19'dur. 0,19 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

1027,027 nm nanolif çapı moddur.

Frekans: AC-PCL/CS-95/5: 7'dir.

Medyan: AC-PCL/CS-95/5: 0,23'dür. 0,23 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

1243,243 nm nanolif çapı medyan'dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS-95/5 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik ortalama için ise bu iki değerini yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS-95/5: 0,305'dir. 0,305 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak

1648,648 nm nanolif çapı aritmetik ortalama'dır.

Standart sapma hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS-95/5 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i 'den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değer karesi alınarak, toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS-95/5: 0,2261'dir. 0,2261 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak 1222,162 standart sapma'dır.

Değişim katsayısı (%CV) hesabı;

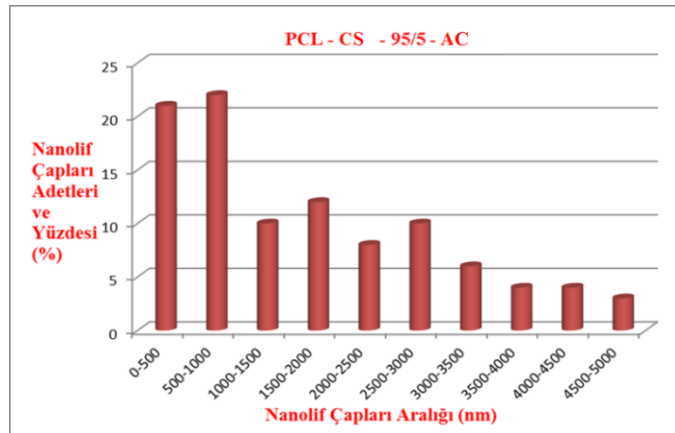
Hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

$$AC-PCL/CS-95/5: (0,226137975223941/0,305) \times 100 = 74,1435 = \%CV$$

(%CV) Değişim katsayısı %74,1435 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 3. AC-PCL/CS-95/5 için çap aralıklarına bağlı adetleri

AC-PCL/CS-95/5	
Aralık (nm)	Adet
0-500	21
500-1000	22
1000-1500	10
1500-2000	12
2000-2500	8
2500-3000	10
3000-3500	6
3500-4000	4
4000-4500	4
4500-5000	3



Şekil ek 3. PCL/CS-95/5-AC için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 500 – 1000 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün iyi çözme etkisinin olmadığını göstermektedir. Bunun doğrultusunda kalın lif çapları elde edilmiştir. İnce ve Kalın nanolif oluşum dağılımının arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla aritmetik ortalama olarak homojenite nispeten artış gözlemlenmiştir.

c) AC-(PCL (%80)+CS (%20)) (Çizelge ek 4. ve Şekil ek 4.)

Mod: AC-PCL/CS-80/20: 0,16'dır. 0,16 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

864,864 nm nanolif çapı moddur.

Frekans: AC-PCL/CS-80/20: 7'dir.

Medyan: AC-PCL/CS-80/20: 0,28'dir. 0,28 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

1513,513 nm nanolif çapı medyan'dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS-80/20 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik ortalama için ise bu iki değerini yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS-80/20: 0,3113'dür. 0,3113 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak

1682,702 nm nanolif çapı aritmetik ortalama'dır.

Standart sapma hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS-80/20 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i 'den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değerini karesi alınarak,

toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS-80/20: 0,1790'dır. 0,1790 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak 967,567 standart sapma'dır.

Değişim katsayısı (%CV) hesabı;

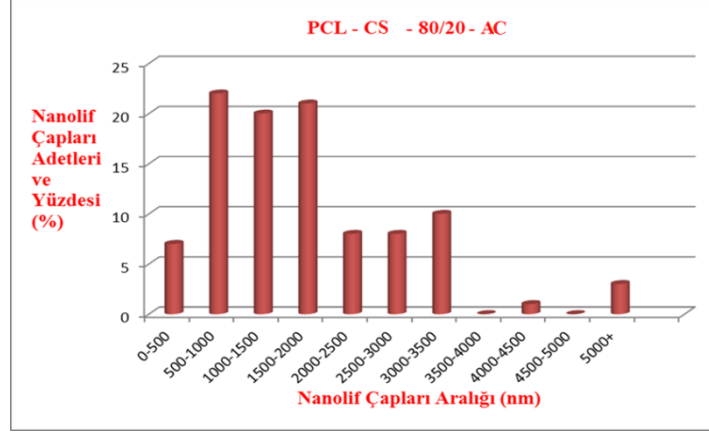
Hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS-80/20: $(0,179047169452323/0,3113) \times 100 = 57,5159 = \%CV$

(%CV) Değişim katsayısı %57,5159 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 4. AC-PCL/CS-80/20 için çap aralıklarına bağlı adetleri

AC-PCL/CS-80/20	
Aralık (nm)	Adet
0-500	7
500-1000	22
1000-1500	20
1500-2000	21
2000-2500	8
2500-3000	8
3000-3500	10
3500-4000	0
4000-4500	1
4500-5000	0
5000+	3



Şekil ek 4. PCL/CS-80/20-AC için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 500 - 1000 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün iyi çözme etkisinin olmadığını göstermektedir. Bunun doğrultusunda kalın lif çapları elde edilmiştir. Kalın ve çok Kalın nanolif oluşum dağılımının arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla aritmetik ortalama olarak homojenitede çok ciddi azalış gözlemlenmiştir.

d) AC-(PCL (%50)+CS (%50)) (Çizelge ek 5. ve Şekil ek 5.)

Mod: AC-PCL/CS-50/50: 0,11-0,16'dır. 0,16 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

594,594-864,864 nm nanolif çapları moddur.

Frekans: AC-PCL/CS-50/50: 6'dır.

Medyan: AC-PCL/CS-50/50: 0,33'dür. 0,33 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1a)'daki denklem uygulanarak;

1783,783 nm nanolif çapı medyan'dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS-50/50 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik ortalama için ise bu iki değerini yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

AC-PCL/CS-50/50: 0,524'dür. 0,524 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak 2832,432 nm nanolif çapı aritmetik ortalama'dır.

Standart sapma hesabı;

Çizelge ek 1'deki Aseton-AC kısmındaki PCL/CS-50/50 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i 'den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değer karesi alınarak, toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise; AC-PCL/CS-50/50: 0,5846'dır. 0,5846 değeri (ek 1a)'daki denklem uygulanarak

3160 standart sapma'dır.

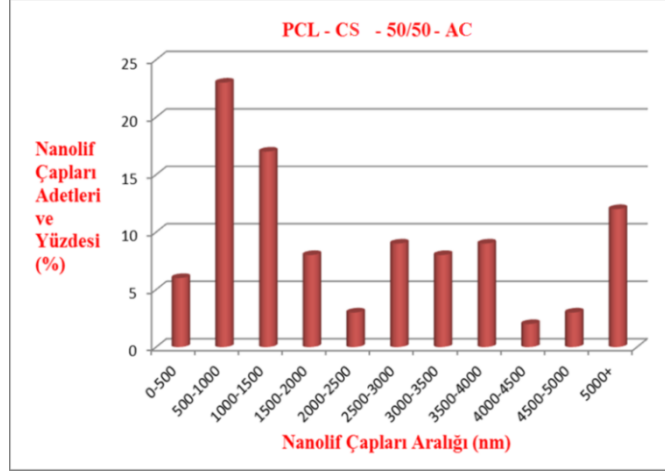
Değişim katsayısı (%CV) hesabı;

Hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise; AC-PCL/CS-50/50: $(0,584640094762616/0,524) \times 100 = 111,5725 = \%CV$

(%CV) Değişim katsayısı %111,5725 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 5. AC-PCL/CS-50/50 için çap aralıklarına bağlı adetleri

AC-PCL/CS-50/50	
Aralık (nm)	Adet
0-500	6
500-1000	23
1000-1500	17
1500-2000	8
2000-2500	3
2500-3000	9
3000-3500	8
3500-4000	9
4000-4500	2
4500-5000	3
5000+	12



Şekil ek 5. PCL/CS-50/50-AC için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 500 – 1000 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün iyi çözme etkisinin olmadığını göstermektedir. Bunun doğrultusunda kalın lif çapları elde edilmiştir. Kalın ve çok Kalın nanolif oluşum dağılımının çok ciddi arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla aritmetik ortalama olarak homojenitede ciddi azalış gözlemlenmiştir.

e) $FA-(PCL (\%100)+CS (\%0))$ (Çizelge ek 6. ve Şekil ek 6.)

Mod: FA-PCL/CS–100/0: 0,06'dır. 0,06 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1b)'deki denklem uygulanarak;

64,864 nm nanolif çapı moddur.

Frekans: FA-PCL/CS–100/0: 9'dur.

Medyan: AC-PCL/CS–100/0: 0,14'dür. 0,14 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1b)'deki denklem uygulanarak;

151,351 nm nanolif çapı medyan'dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1'deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS–100/0 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik

ortalama için ise bu iki değerin yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS-100/0: 0,1985'dir. 0,1985 değeri (ek 1b)'deki denklem uygulanarak 214,594 nm nanolif çapı aritmetik ortalama'dır.

Standart sapma hesabı;

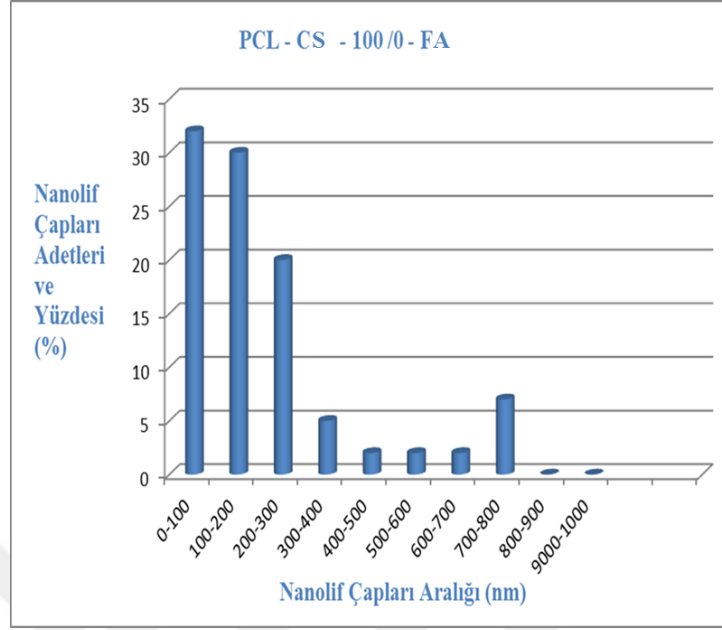
Çizelge ek 1'deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS-100/0 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i 'den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değerin karesi alınarak, toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise; FA-PCL/CS-100/0: 0,1826'dır. 0,1826 değeri (ek 1b)'deki denklem uygulanarak 197,405 standart sapma'dır.

Değişim katsayısı (% CV) hesabı; hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise; FA-PCL/CS-100/0: $(0,182675818173765/0,1985) \times 100 = 92,0281 = \%CV$

(%CV) Değişim katsayısı %92,0281 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 6. FA-PCL/CS-100/0 için çap aralıklarına bağlı adetleri

FA-PCL/CS-100/0	
Aralık (nm)	Adet
0-100	32
100-200	30
200-300	20
300-400	5
400-500	2
500-600	2
600-700	2
700-800	7
800-900	0
900-1000	0



Şekil ek 6. PCL/CS-100/0-FA için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 0 - 100 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün çok iyi çözme etkisinin olduğunu göstermektedir. Bunun doğrultusunda çok ince lif çapları elde edilmiştir. İnce nanolif oluşum dağılımının çok ciddi arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla aritmetik ortalama olarak homojenitede çok ama çok ciddi artış gözlemlenmiştir.

f) $FA-(PCL (\%95)+CS (\%5))$ (Çizelge ek 7. ve Şekil ek 7.)

Mod: FA-PCL/CS-95/5: 0,19'dur. 0,19 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1c)'deki denklem uygulanarak;

154,471 nm nanolif çapı moddur.

Frekans: FA-PCL/CS-95/5: 12'dir.

Medyan: AC-PCL/CS-95/5: 0,19'dur. 0,19 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1c)'deki denklem uygulanarak;

154,471 nm nanolif çapı medyan'dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1'deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS-95/5 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik ortalama için ise bu iki değerini yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS-95/5: 0,2111'dir. 0,2111 değeri (ek 1c)'deki denklem uygulanarak

171,626 nm nanolif çapı aritmetik ortalama'dır.

Standart sapma hesabı;

Çizelge ek 1'deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS-95/5 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i 'den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değerlerin karesi alınarak, toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS-95/5: 0,0820'dir. 0,0820 değeri (ek 1c)'deki denklem uygulanarak

66,666 standart sapma'dır.

Değişim katsayısı (%CV) hesabı;

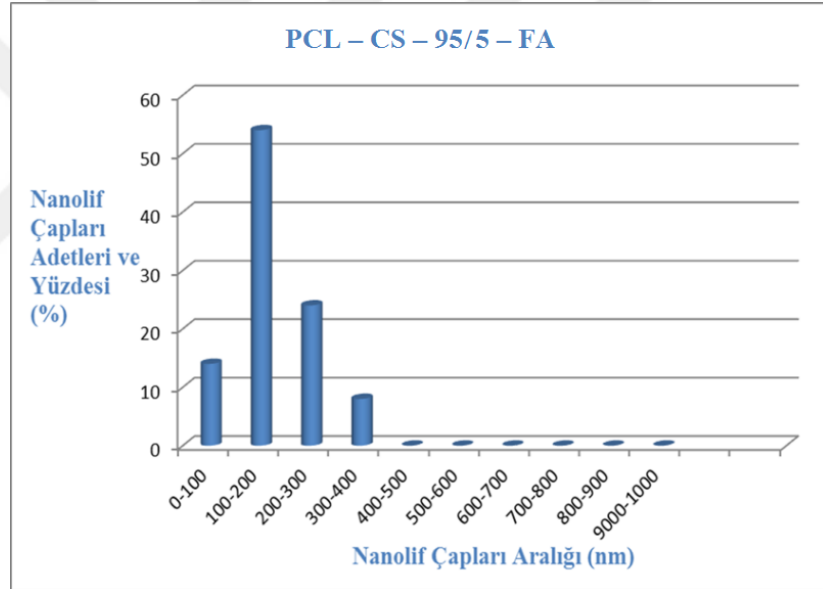
Hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS-95/5: $(0,0820/171,626) \times 100 = 0,0478 = \%CV$

(%CV) Değişim katsayısı % 0,478 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 7. FA-PCL/CS-95/5 için çap aralıklarına bağlı adetleri

FA-PCL/CS-95/5	
Aralık (nm)	Adet
0-100	14
100-200	54
200-300	24
300-400	8
400-500	0
500-600	0
600-700	0
700-800	0
800-900	0
9000-1000	0



Şekil ek 7. PCL/CS-95/5-FA için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 100-200 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün iyi çözme etkisinin olduğunu göstermektedir. Bunun doğrultusunda ince lif çapları elde edilmiştir. İnce nanolif oluşum dağılımının ciddi arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla aritmetik ortalama olarak homojenitede çok ama çok ciddi azalış gözlemlenmiştir.

g) FA-(PCL (%80)+CS (%20)) (Çizelge ek 8. ve Şekil ek 8.)

Mod: FA-PCL/CS-80/20: 0,25'dir. 0,25 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1d)'deki denklem uygulanarak;

163,398 nm nanolif çapı moddur.

Frekans: FA-PCL/CS–80/20: 11’dir.

Medyan: FA-PCL/CS–80/20: 0,27’dir. 0,27 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1d)’deki denklem uygulanarak;

176,470 nm nanolif çapı medyan’dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1’deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS–80/20 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik ortalama için ise bu iki değerini yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS–80/20: 0,2111’dir. 0,2111 değeri (ek 1d)’deki denklem uygulanarak

187,712 nm nanolif çapı aritmetik ortalama’dır.

Standart sapma hesabı;

Çizelge ek 1’deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS–80/20 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i ’den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değerini karesi alınarak, toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS–80/20: 0,1204’dir. 0,1204 değeri (ek 1d)’deki denklem uygulanarak

78,692 standart sapma’dır.

Değişim katsayısı (%CV) hesabı;

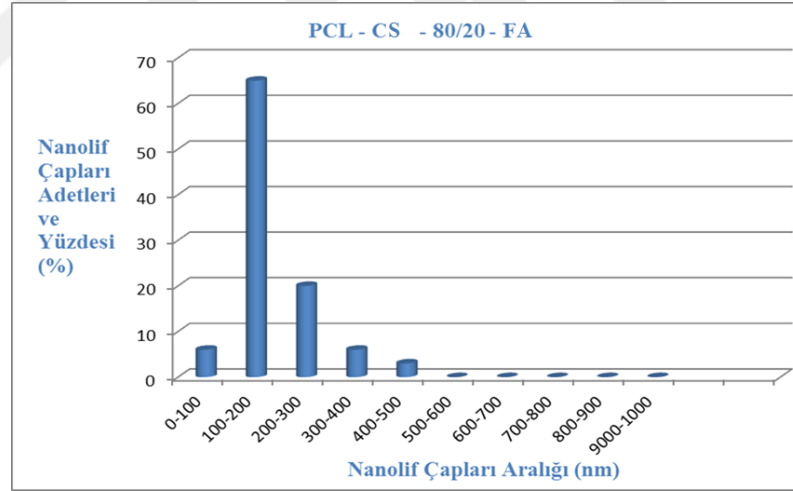
Hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS-80/20: $(0,120471129028049/0,2872) \times 100 = \%CV$

(%CV) Değişim katsayısı % 41,9467 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 8. FA-PCL/CS-80/20 için çap aralıklarına bağlı adetleri

FA-PCL/CS-80/20	
Aralık (nm)	Adet
0-100	6
100-200	65
200-300	20
300-400	6
400-500	3
500-600	0
600-700	0
700-800	0
800-900	0
9000-1000	0



Şekil ek 8. PCL/CS-80/20-FA için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 100 – 200 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün iyi çözme etkisinin olduğunu göstermektedir. Bunun doğrultusunda ince lif çapları elde edilmiştir. İnce nanolif oluşum dağılımının ciddi arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla aritmetik ortalama olarak homojenitede çok ama çok ciddi azalış gözlemlenmiştir.

h) FA–(PCL (%50)+CS (%50)) (Çizelge ek 9. ve Şekil ek 9.)

Mod: FA-PCL/CS–50/50: 0,19'dur. 0,19 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1e)'deki denklem uygulanarak;

308,943 nm nanolif çapı moddur.

Frekans: FA-PCL/CS–50/50: 12'dir.

Medyan: FA-PCL/CS–50/50: 0,25'dir. 0,25 değeri ölçülen değerler kısmında yazılmak suretiyle (ek 1e)'deki denklem uygulanarak;

406,504 nm nanolif çapı medyan'dır.

Aritmetik ortalama hesabı;

Çizelge ek 1'deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS–50/50 kısmında bulunan ölçülen değerlerin kısmındaki toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Aritmetik ortalama için ise bu iki değerini yani, X_i değerinin n değerine oranı aritmetik ortalamayı verir. Kısacası, (ek 1g) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA–PCL/CS–50/50: 0,2748'dir. 0,2748 değeri (ek 1e)'deki denklem uygulanarak

446,829 nm nanolif çapı aritmetik ortalama'dır.

Standart sapma hesabı;

Çizelge ek 1'deki Formik asit-FA kısmındaki PCL/CS–50/50 kısmında bulunan toplam yüz veri teker teker (X_i) olarak nitelendirilmek suretiyle toplam sayısal veri sayısı yüz olduğuna göre ki bu n olarak nitelendirilir. Standart sapma için ise; ana karekök içerisinde, X_i 'den X çıkartılıp bunun sonucunda oluşan yeni değer karesi alınarak, toplam sayısal veri sayısına bölünerek elde edilen en son ki en yeni değer standart sapmayı verir. Kısacası, (ek 1h) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

FA-PCL/CS–50/50: 0,1370'dir. 0,1370 değeri (ek 1e)'deki denklem uygulanarak

222,764 standart sapma'dır.

Değişim katsayısı (%CV) hesabı;

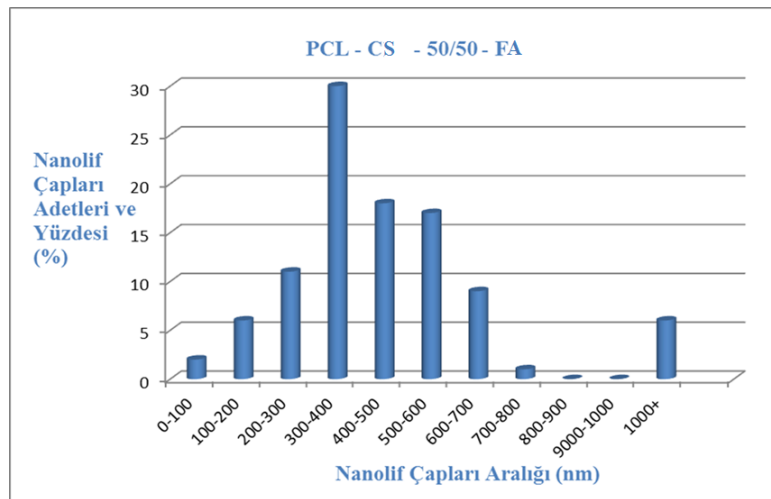
hesaplanmış olan standart sapmanın, hesaplanmış olan aritmetik ortalamaya göre yüzde değişim değeri değişim katsayısını verir. Kısacası (ek 1i) denklemi uygulanır. Bunun sonucu ise;

$$\text{FA-PCL/CS-50/50: } (0,137072420584334/0,2748) \times 100 = 49,8807 = \%CV$$

(%CV) Değişim katsayısı %49,8807 olarak bulunmuştur.

Çizelge ek 9. FA-PCL/CS-50/50 için çap aralıklarına bağlı adetleri

FA-PCL/CS-50/50	
Aralık (nm)	Adet
0-100	2
100-200	6
200-300	11
300-400	30
400-500	18
500-600	17
600-700	9
700-800	1
800-900	0
9000-1000	0
1000+	6



Şekil ek 9. PCL/CS-50/50-FA için nanolif çap dağılım grafiği

En yaygın 300 - 400 nm aralığındaki nanolif çapları belirlenmiştir. Bu da çözücünün orta çözme etkisinin olduğunu göstermektedir. Bunun doğrultusunda orta kalınlıkta lif çapları elde edilmiştir. Orta kalınlıktaki çaplarda nanolif oluşum dağılımının ciddi arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla aritmetik ortalama olarak homojenitede çok ama çok ciddi azalış gözlemlenmiştir.

Çizelge ek 1 deki değerler ve bu bölümdeki istatistik formülleri kullanılarak Çizelge ek 10 oluşturulmuştur.

Çizelge ek 10. İstatistik hesaplamaların sonuçları

		Mod	Frekans	Medyan	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (%CV)
AC	PCL(100/0)	648,648	11	864,864	1234,054	1195,675	96,932
	PCL/CS (95/5)	1027,027	7	1243,243	1648,648	1222,162	74,143
	PCL/CS (80/20)	864,864	7	1513,513	1682,702	967,567	57,515
	PCL/CS (50/50)	594,594 – 864,864	6	1783,783	2832,432	3160	111,572
FA	PCL(100/0)	64,864	9	151,351	214,594	197,405	92,028
	PCL/CS (95/5)	154,471	12	154,471	171,626	66,666	38,852
	PCL/CS (80/20)	163,398	11	176,470	187,712	78,692	41,946
	PCL/CS (50/50)	308,943	12	406,504	446,829	222,764	49,880

En son yapılacak işlem olan teknik yorumlamalar ise: %CV değerleri göz önüne alınarak nanoliflerin çaplarının; homojenitesi, düzensizliği, boncuklaşma eğilimi, toplayıcı plakadaki tüm yüzeye ait nanolif dağılımları üzerine teknik yorumlamalar yapılmıştır.

%CV değerlerine göre değersel ve büyükten küçüğe sıralamalar şu şekildedir:

AC-(PCL/CS-50/50): 111,572 > AC-(PCL/CS-100/0): 96,932 > FA-(PCL/CS-100/0): 92,028 > AC-(PCL/CS-95/5): 74,143 > AC-PCL/CS-80/20: 57,515 > FA-(PCL/CS-50/50): 49,880 > FA-PCL/CS-80/20: 41,946 > FA-PCL/CS-95/5: 38,852 olmaktadır.

Bu sıralama ise şu şekilde açıklanabilmektedir:

%CV değerlerinin yüksekliği küçüldükçe; nanolif çapındaki varyasyon azalacağından dolayı homojenite yükselecektir. Nanolif düzgünsüzlüğü azalacaktır. Tüm bu değerlendirmelere göre;

Homojenitenin en yüksek ve dzgnszlğn en az olduğu nanolif numunesi FA-(PCL/CS-95/5): 38,852'dir.

Homojenitenin en düşük ve dzgnszlğn en fazla olduğu nanolif numunesi ise AC-(PCL/CS-50/50): 111,572'dir.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ömer Fırat TURŞUCULAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Osmangazi/BURSA-15.07.1992

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yılı)

Lise: Özel Nilüfer Anadolu Lisesi GPA: 83.08/100 (2006–2010)
(Son Sınıf Sayısal Bölümü Sınıf 1.liği: 90/100)

İngilizce hazırlık: Ali Osman Sönmez YDYO İngilizce Hazırlık Bölümü
GPA: 87/100 (2010–2011) (İngilizce Hazırlık Bölümü
Okul 10.luğu)

Lisans: Uludağ Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Bölümü GPA: 2.99/4.00 (2011-
2015) (Örgün Eğitim Diploma Başarısı olarak Bölüm
2.liği) (Örgün Eğitim Diploma Başarısı olarak Lif
Teknolojisi ve Teknik Tekstil Uygulamaları Modülü
1.liği)

Yüksek Lisans: Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil
Mühendisliği Bölümü GPA: 3.72/4.00 (2015-2017)

Yurtdışı Araştırmalar: RWTH Aachen Üniversitesi–ITA-Tekstil Mühendisliği
Bölümü, Aachen, Almanya (01.10.2016–31.03.2017)

İletişim (e-posta): omerfirattursucular@gmail.com

Yayımları: **Tursucular, Ö. F., Orhan, M., Cerkez, İ., Aykut, Y. 2017.** “Investigation of solvent effect on the production and antimicrobial activity of polycaprolactone/chitosan nanofibers” başlıklı makale yayınlanmak üzere hazırlanmıştır.