DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ İLE KENEVİRDEN NANOLİF ÜRETİMİ VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

ÜLKER YALÇIN ERBASTI

HAZİRAN 2022
DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ İLE KENEVİRDEN NANOLİF ÜRETİMİ VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

ÜLKER YALÇIN ERBASTI

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
FİZİK ANABİLİM DALINDA
DOKTORA TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ İLE KENEVİRDEN NANOLİF ÜRETİMİ VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ _____
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Hadice Budak GÜMGÜM _____
Danışman, **Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Prof. Dr. Hamdi Şükür KILIÇ _____
İkinci Danışman, **Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Selçuk Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Muzaffer AŞKIN (*) _____
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Munzur Üniversitesi

Prof. Dr. Hadice Budak GÜMGÜM (**) _____
Fizik Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Nermin BİRİCİK _____
Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Zafer KÖYLÜ _____
Fizik Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa KOYUNCU _____
Fizik Bölümü, Selçuk Üniversitesi

ONAY **Savunma Tarihi:** 23.06.2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Anneme ve Kızlarıma…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Ülker YALÇIN ERBASTI

İmza: …….…….

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Hadice BUDAK GÜMGÜM'e ve ikinci danışmanım Prof. Dr. Hamdi Şükür KILIÇ'a çalışmanın fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmelere kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında laboratuvarlarını bize açan Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Lazer Spektroskopi Grubu (LSG) Başkanı Prof. Dr. Hamdi Şükür KILIÇ'a ve çalışma arkadaşları; Dr. Öğr. Üyesi Yasemin GÜNDOĞDU'ya, Dr. Öğr. Üyesi Serap YİĞİT GEZGİN'e ve Yüksek Makine Mühendisi Sümeyye Kılıç'a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez izleme komitesi hocalarım; Prof. Dr. Nermin BİRİCİK'e ve Prof. Dr. Mehmet Zafer KÖYLÜ'ye de teşekkürü borç bilirim. Dicle Üniversitesi Merkez Laboratuvarında TGA analizlerini yapan Prof. Dr. Ömer YAVUZ'a ve FTIR analizlerindeki yardımlarından dolayı Filiz KOYUNCU'ya da teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında ve data analizlerinde desteğini esirgemeyen Fizik Bölümünün çalışkan öğretim elemanı Arş. Gör. Dr. İlhan CANDAN'a da çok teşekkür ederim.

Tez dönemimde yardımlarını esirgemeyen D. Taha ALEMDAR'a teşekkür ederim.

Dualarını hiçbir zaman benden esirgemeyen, her konuda daima bana destek olan Anneme ve Babama, eğitim konusunda beni yüreklendiren kardeşime, ablama ve kenevir çalışma fikrini bana veren kıymetli eşine, eğitimim süresince ve özellikle de deney aşamasında teknik desteği ile bana yardımcı olan hayat arkadaşım Değerli Eşime ve eğitimim süresince sabırla bana destek olan Sevgili Kızlarıma çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında sağladıkları finansal destek için (Proje No: DÜBAP-FEN.20.007) Dicle

Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (DÜBAP) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ……..vi

İÇİNDEKİLER ....……vii

ŞEKİLLER LİSTESİ ……....ix

TABLOLAR LİSTESİ …….....xi

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ……..xii

ÖZET ……..xiii

ABSTRACT ……xiv

1. GİRİŞ ……..1

2. KAYNAK ÖZETLERİ ……5

2.1 Lifli Malzemelerin Tarihçesi ve Uygulama Alanları 5

2.2 Kenevir ve Uygulamaları..... 7

2.3 Nanolif Üretme Teknikleri 9

2.3.1 Nanolif moleküllerinin kendi kendine kümelenmesi 9

2.3.2 Nanoliflerin termal olarak indüklenen faz ayrımı 9

2.3.3 Mekanik defibrilasyon ile nanoliflerin üretilmesi 10

2.3.4 Meltblown (eriyik üfleme) tekniği ile nanolif üretimi 10

2.3.5 Fibrilasyon tekniği ile lif üretimi 11

2.3.6 Bikomponent lif üretim tekniği 11

2.3.7 Elektrospinning tekniği ile nanolif üretimi 13

3. MALZEME VE YÖNTEM ……21

3.1 Deneysel Kurulum..... 21

3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 25

3.3 Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi 26

3.4 Termogravimetrik Analiz (TGA) 26

3.5 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) 26

4. BULGULAR VE TARTIŞMA ……29
4.1 SEM Görüntüleri 29
4.2 SEM Kesit Alanı Görüntüleri 40
4.3 UV-Vis-NIR Spektrumu 42
4.4 AFM Görüntüleri 42
4.5 FTIR Analizi 46
4.6 TGA Analizi 48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ……51
KAYNAKLAR ……55
EKLER ……59
ÖZGEÇMİŞ ……..91

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Meltblown yönteminin basit bir gösterimi 11
Şekil 2.2 İki bileşenli fiberlerin şematik gösterimi: (a) Ç/K, (b) Y/Y ve (c) D/A 12
Şekil 2.3 İki bileşenli liflerin eriyik spinleme sırasının şematik görünümü..... 13
Şekil 2.4 Elektrospinning için temel kurulumun şematik gösterimi 15
Şekil 2.5 İşlem parametrelerinin nanolif çapına etkisi 17
Şekil 2.6 Viskozite-boncuklu yapı ilişkisi 17
Şekil 2.7 Konsantrasyon ve voltaj artışında boncuk şekilleri 17
Şekil 3.1 a) Kenevir tohumu b) Kenevir lifi c) Kenevir sapının işlenmeden önceki görünümleri 21
Şekil 3.2 a) Kenevir tohumu b) Kenevir lifi c) Kenevir sapının Ball milling işleminden sonra toz haline getirilmiş görünümleri 22
Şekil 3.3 Elektrospinning sisteminin deneysel kurulumu 22
Şekil 3.4 Kenevir nanoliflerin alüminyum folyo üzerine elektrospinning yöntemi ile biriktirildikten sonraki görünümü 24
Şekil 3.5 SEM cihazının laboratuvardaki görünümü (Dicle Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi (DÜBTAM)) 25
Şekil 4.1 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme 29
Şekil 4.2 % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme 59
Şekil 4.3 % 8 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme 30
Şekil 4.4 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme …….....31

Şekil 4.1 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme 31
Şekil 4.6 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme 32
Şekil 4.2 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme…….....32
Şekil 4.3 % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme …….33

Şekil 4.9 % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme …….....33

Şekil 4.10 % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme 34
Şekil 4.11 % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme 34
Şekil 4.12 % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme….....34

Şekil 4.13 Sabit mesafe 20 cm, sabit konsantrasyon %6 PAN, sabit biriktirme zamanı 10 dk, değişen voltaj 10, 15, 20 kV ile lif çapı değişimi 40

Şekil 4.4 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin enine kesitinin SEM görüntüsü; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi 3000 kat büyütme 41
Şekil 4.5 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin enine kesitinin SEM görüntüsü; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi 1000 kat büyütme 41
Şekil 4.16 %6 PAN+ kenevir sapı; biriktirme süresi 10 dakika ve 20 cm mesafe ile 20 kV uygulanan gerilime sahip a) UV-Vis soğurma spektrumu ve b) Üretilen nanoliflerin enerji band aralığı spektrumu 42
Şekil 4.17 %6 PAN nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi 43
Şekil 4.18 %6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe,15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi 44
Şekil 4.19 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi 45
Şekil 4.20 %6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe,15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi 46
Şekil 4.21 %6 PAN nanoliflerin FTIR spektrumu; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi 47
Şekil 4.22 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin FTIR spektrumu; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi 47
Şekil 4.23 a) %6 PAN nanoliflerin TGA grafiği; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi b) %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin TGA grafiği; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi 49

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 % 6, 7 ve 8 PAN için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı ve ortalama lif çapı değerleri ……..…….....35

Tablo 4.2 % 6, 7 ve 8 PAN+Kenevir sapı için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı ve ortalama lif çapı değerleri..... 37

Tablo 4.3 % 6 PAN+Kenevir tohumu için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı değerleri..... 38

Tablo 4.4 % 6 PAN+Kenevir lif tozu için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı değerleri..... 39

Tablo 4.5 PAN+Kenevir sapının soğurma band aralığı 48

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
h	Jetin yarıçapı
$\bar{\varepsilon}$	Jetin dışındaki dielektrik sabiti
ε	Jetin içindeki dielektrik sabiti
γ	Sıvı jet yüzey gerilimi
E_∞	Uygulanan Yüksek Elektrik Alan
σ	Yüzey yük yoğunluğu

Kısaltma	Açıklama
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
BALL MILLING	Bilyalı Öğütme
DMF	N,N-dimetilformamid
PAN	Poliakrilonitril
FTIR	Fourier Transform Infra-Red
LSNF	Lignoselülozik nanolifler
PCL	Poli (e-kaprolakton)
PLA	Poli (laktik asit)
PGA	Poli (glikolik asit)
PPi	Polipirol
PVA	Polivinil Alkol
LSNF	Lignoselülozik nanolifler
CBG	Cannabigerol
CBD	Cannabidiol
µm	Mikrometre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
THC	Tetrahidrokanabinol
TİFA	Termal Olarak İndüklenen Faz Ayrımı
UV-Vis-NIR	Ultraviyole Görünür Bölge Spektroskopisi

ÖZET

ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ İLE KENEVİRDEN NANOLİF ÜRETİMİ VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

Yalçın Erbastı, Ülker

Doktora, Fizik Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Hadice Budak Gümgüm

İkinci Danışman: Prof. Dr. Hamdi Şükür Kılıç

Haziran 2022, 106 sayfa

Bu tezde, geleneksel elyaf üretim yöntemlerine kıyasla polimer esaslı nanolif üretiminde en etkili yöntemlerden biri olan elektrospinning yöntemi kullanılarak kenevir lifi, kenevir tohumu ve kenevir sapından nano boyutlara indirgenen nanolifler elde edilmiştir. Nanolif sentezi için, DMF (N,N-dimetilformamid) içerisinde PAN (poliakrilonitril) çözeltisi hazırlanmıştır. Öncelikle, hazırlanan bu çözelti ile elektrospinning düzeneğinde PAN polimer lifi üretilmiştir. Daha sonra, kenevir sapı, lifi ve tohumu Ball Milling (bilyalı öğütme) tekniği ile mekanik olarak toz haline getirilmiştir. Elde edilen kenevir tozlarının PAN polimer çözeltisine ilavesiyle PAN polimerli kenevir saplı, kenevir lifli ve kenevir tohumlu nanolifler, elektrospinning tekniği kullanılarak üretilmiştir. Elektrospinning işleminin optimizasyon parametreleri (şırınga çapı, toplama mesafesi, voltaj, püskürtme hızı ve toplama süresi gibi) birçok değişkenin hassas bir kontrolünü içerdiğinden elektrospinning işlemi, her biri (PAN polimerli kenevir saplı, kenevir lifli ve kenevir tohumlu) için; voltaj, mesafe ve biriktirme süresi değiştirilerek tekrarlanmıştır. Üretilen nanoliflerin 30 ila birkaç yüz nanometre arasında değişen çaplarda olduğu gözlenmiştir. Nanoliflerin morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak belirlenmiş ve karakterize edilmiştir. Ayrıca absorbsiyon spektrumunu belirlemek için UV-Vis-NIR spektroskopik tekniği kullanılmıştır. FTIR ile kimyasal yapı analizi yapılmış ve içerikte bulunan bağlanma grupları tespit edilmiştir. PAN ve kenevire ait piklerin varlığı teyit edilmiştir. PAN polimerli kenevir sapından ve PAN'dan üretilen nanoliflerin termal dayanıklılığını belirlemek için 20 ila 800 ^{o}C'ye kadar olan sıcaklık aralığında Termogravimetrik Analiz (TGA) yapılmıştır. Bunun sonucunda, sırasıyla 15 dakikalık biriktirme süresi ile % 6 PAN polimerli kenevir sapının ve PAN'ın TGA spektrumu elde edilmiştir. PAN nanolifleri için 300 ^{o}C'de % 40'lık bir kütle kaybını gösterirken, kenevir nanolifleri için 314 ^{o}C'de % 20'lik bir kütle kaybını göstermektedir. Hem PAN hem de kenevir nanoliflerin, ilk keskin düşüşten sonra yavaş yavaş kütle kaybının devam ettiği ve 800 ^{o}C'de neredeyse tamamen parçalandığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kenevir sapı, Kenevir lifi, Kenevir tohumu, Nanolif, Elektrospinning

ABSTRACT

STUDIES ON PRODUCTION AND ANALYSIS OF HEMP NANOFIBERS BY ELECTROSPINNING METHOD

Yalçın Erbastı, Ülker

Doctor of Philosophy in Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Hadice Budak Gümgüm

Co-Supervisor: Prof. Dr. Hamdi Şükür Kılıç

June 2022, 106 pages

In this thesis, fibers reduced to nano dimensions were obtained from hemp fiber, hemp seed and hemp stem by using electrospinning method, which is one of the most effective methods in polymer-based nanofiber production compared to traditional fiber production methods. For nanofiber synthesis, a solution of PAN (polyacrylonitrile) in DMF (N,N-dimethylformamide) was prepared. First of all, PAN polymer fiber was produced in the electrospinning mechanism with this solution. Then, hemp stem, fiber and seed were mechanically pulverized by ball milling technique. The obtained hemp powders were produced using electrospinning technique by adding PAN polymer hemp stem, hemp fiber and hemp seed nanofibers to the PAN polymer solution. Since the optimization parameters of the electrospinning process (such as syringe diameter, collection distance, voltage, spray rate and collection time) involve precise control of many variables, the electrospinning process for each (hemp stem with PAN polymer, hemp fiber and hemp seed); voltage, distance and accumulation time were changed. The produced nanofibers were observed to have diameters ranging from 30 to several hundred nanometers. The morphology of the nanofibers was determined and characterized using scanning electron microscopy (SEM). In addition, UV-Vis-NIR spectroscopic technique was used to determine the absorption spectrum. With FTIR, the chemical structure was tried to be clarified and the presence of functional groups in its composition was examined. It was determined that there are PAN and hemp peaks in the structure of nanofibers. Thermogravimetric Analysis (TGA) was carried out in the temperature range from 20 to 800 ^{o}C to determine the thermal durability of nanofibers produced from PAN polymer hemp stem and PAN. As a result, the TGA spectrum of hemp stem with 6 % PAN polymer and PAN was obtained, with a deposition time of 15 minutes, respectively. It shows a weight loss of 40% at 300 ^{o}C for PAN nanofibers alone, while there is a 20 % weight loss at 314 ^{o}C for hemp stem nanofibers. Both PAN and PAN:hemp stem nanofibers were observed to slowly lose weight after the initial sharp decline and almost completely disintegrated at 800 ^{o}C.

Keywords: Hemp stem, Hemp fiber, Hemp seed, Nanofiber, Electrospinning

1. GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın başlangıcı, 'nanobilim' alanında muazzam bir bilimsel faaliyet artışına tanık olmuştur. Tohumları geçen yüzyılda ekilen 'nanoteknoloji' ile dünyanın birçok ülkesindeki bilim insanları, nanobilime dayalı nanoteknolojinin yirmi birinci yüzyılın teknolojisi olduğunu kabul etmişlerdir. Böylece bilim dünyasında nanoteknolojiye büyük bir ilgi meydana gelmiştir. Farklı disiplinlerden gelen çeşitli veriler ve bunların sentezi, karakterizasyonu, anlayışı ve uygulamalardaki tamamlayıcı doğası nanoteknolojinin temellerini zenginleştirmiştir. 'Nanoteknoloji' ve 'nanobilim' terimleri genellikle eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Nanoteknoloji, 1-100 nm aralığında çok küçük boyutlu malzemelerin teknolojisidir. Makro bir madde ile nanoparçacığı karşılaştırıldığında, nano ölçek seviyesindeki özelliklerinin makroskobik ölçekten tamamen farklı olduğu ya da gelişmiş özellikler taşıdığı, nano-boyutlara yaklastıkça birçok yeni özelliğin ortaya çıktığı görülmektedir. Herhangi bir malzemenin boyutlarından en az biri 100 nm'nin altına düştüğünde, o malzemenin bazı boyut karakteristikleri olan mekanik, termal, optik, manyetik ve diğer özellikleri de değişir. Böylece aynı malzeme içinde bir dizi yeni özellik elde edilebilir. Nanoteknoloji disiplinler arası bir bilimdir. Fizik, Kimya, Mühendislik, Biyoloji vb. bilimlere ihtiyaç duyar ve tüm potansiyeli insanoğlunun yararına kullanılabilir.

Nanolifler 1 mikrondan daha küçük çapa sahip lifler olarak adlandırılırlar. Nanolifler, biyomedikal uygulamalar, membranlar, ilaç salımı, optikler ve koruyucu giysiler gibi çeşitli ve çok sayıda uygulama alanına sahiptir. Yüksek yüzey alanları (yüzey/hacim veya yüzey/kütle oranları yüksektir) ve mükemmel elektriksel, termal ve mekanik özellikleriyle (küçük boyutları sayesinde) daha az yapısal kusur taşırlar. Nanolifler basit donanımlar ile üretilebildiklerinden dolayı tekstil endüstrisi de gelişen nanolif teknolojinin uygulama alanı olmuştur. Bu sayede ısı yalıtımını sağlayan, anti bakteriyel ve yanmaz özellikli giysiler üretilmiştir.

Lifler, tüpler, çubuklar, teller, ince filmler vb. şeklinde farklı türde nanomalzemeleri sentezlemek için çok sayıda teknik mevcuttur. Elektrospinning (elektro-eğirme), polimer nano-mikroliflerin üretimi için yüksek verimlilik sunan bir teknik olarak bilinir. Bu yöntemde, yüksek potansiyelli bir elektrik alanı ile gerilmiş bir polimer çözeltisinin katılaştırılmasıyla mikron altı çaplardan nanometre çaplara kadar sürekli nanolifler üretilir. Elektrospinningteki son gelişmeler sayesinde birkaç nanometre ile birkaç yüz nanometre arasında değişen çaplarda nanolifler üretmek mümkün olmuştur.

Elektrospinning, ultra ince polimerik lifler üretmek için kullanışlı ve verimli bir tekniktir. Çok yönlülüğü, uygun maliyetli oluşu ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılma potansiyeli nedeniyle büyük bir bilimsel ve endüstriyel ilgi süreci olmuştur ve bu da nanoteknoloji araştırmaları için olağanüstü bir potansiyele yol açmıştır. Büyük ölçekte sürekli nanolifler üretmek için en umut verici yaklaşım olarak kabul edildiğinden ve teknolojiyi geniş bir uygulama yelpazesinde kullanmayı amaçladığından bu alanda hem akademik hem de endüstriyel çevrelerde büyük miktarda çalışma ve araştırmanın yapıldığı gözlemlenmektedir.

Son zamanlarda, yenilenebilir kaynaklardan üretilen yeni nanomalzemelerin izolasyonu ve araştırılmasına büyük ilgi duyulmaktadır. Nanomalzemelerin önemli bir sınıfı, farklı selüloz kaynaklarından ve selüloz kristallerinden nanolifler ve fibriller olmuştur. Bu yeni nanolifler, fibriller ve kristaller, farklı polimerlere dahil edildiğinde benzersiz özelliklerle sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Bu nanomalzemelerin kaynakları buğday samanı, bakteriyel selüloz, kraft küspesi, şeker pancarı küspesi, patates ve kenevir bitkisi olmaktadır. Kenevire ilgi, bitkinin inanılmaz çok yönlülüğünden kaynaklanmaktadır. Tohumları, sağlıklı gıda, nutrasötikler ve vücut bakım ürünleri üretmek için ve sapı da kağıt, tekstil, biyokompozit ve yapı malzemeleri gibi yüksek performanslı fiber ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır.

Bu çalışmadaki amacımız elektrospinning yöntemiyle PAN (poliakrilonitril) polimer katkılı kenevir lifi, kenevir tohumu ve kenevir sapından nanolif üretmektir. Ayrıca işlem parametrelerini değiştirerek üretilen nanoliflerin optimum seviyeye çıkmasını sağlamaktır. Elektrospinning işleminde besleyici ile toplayıcı plaka arasında yapılan ayarlamalar genellikle elektrik alan gücünü arttırmak, oluşan kararsızlık hallerini en aza indirgeyebilmek, nanoliflerin toplayıcı plakaya istenilen şekilde toplanmasını sağlamak ve sürekli nanolifler üretebilmek amacı ile yapılmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, kenevirin çok yönlülüğü ve zengin içeriğinden faydalanılarak nanolif üretim teknolojisi olarak kullanılan elektrospinning yöntemiyle kenevir lifi, kenevir tohumu ve kenevir sapından nano boyutlara indirgenen polimer (PAN) esaslı nanolifler elde edilmiştir. Nanoliflerin üretiminde işlem parametreleri (voltaj, lif toplama süresi, şırınga ile toplayıcı arasındaki mesafe) ve konsantrasyonlar değiştirilerek deneysel bir çalışma yapılmıştır.

Kenevirin endüstri sektöründen kozmetik sektörüne, tıp alanından otomotiv sektörüne kadar geniş kullanım alanı vardır. Kenevirin geniş kullanım alanına sahip olması ile kenevir tabanlı nanoliflerin bu alanlarda yapılabilecek araştırmalarda da yol gösterici niteliği bulunması, dayanıklı lifler elde edilebilmesi, aynı zamanda maliyetinin düşük olması ulusal ekonomiye

ciddi anlamda katkı sağlayacaktır. Kenevirin bilimsel alanda kullanımının arttırılması toplumsal bilinci de olumlu yönde etkileyecektir. Çalışmanın literatüre sağlayacağı katkılar sonuçlar ve öneriler kısmında değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Lifli Malzemelerin Tarihçesi ve Uygulama Alanları

Lifli malzemeler, insanlık tarihinde binlerce yıldan beri var olmuştur. Hayvan derisinden, keten, pamuk, yün ve ipek gibi bitkilerden elde edilen doğal lifler, beş bin yılı aşkın bir süreden beri giysi olarak üretilmektedir [1]. Lifli malzemenin biyo-üretimi yerine, yapay lif üretimi kavramı, 1855 yılında George Audemars tarafından üretilen bir rejenere selüloz lifi olan suni ipek lifinin ortaya çıkmasıyla başlamıştır [2]. Suni ipek liflerinin ticari üretimi, 1891 yılında Chardonnet tarafından başlatılmış ve bu, suni ipek lifinin tekstil endüstrisinde popüler bir hammadde haline gelmesini sağlamıştır [2, 3]. Tamamen petrol kimyasallarından elde edilen sentetik yapay elyaf olan Naylon 66, 1935'te DuPont tarafından patentlenmiş ve yüksek verimleri ve düşük maliyetleri nedeniyle Naylon 66 elyafı, tekstil endüstrisinde son derece popüler bir şekilde ipeğin yerini almıştır [3, 4]. Nanolif sentezinin kökeni, Hughes'un filamentli karbon7 sentezinin ve İngiliz fizikçi Boys'un sıvının elektrik alanları altında uzamasını kullanarak nanolifler yapma başarısının patentini aldıkları 1880'lere kadar uzanmaktadır [5]. 1900'lerde, elektrospinning işlemi patentlenmiş ve laboratuvar ölçeğinde yaygın olarak uygulanmıştır [6].

Nanolifler; çok geniş yüzey alanı/hacim oranı, yüzey işlevselliklerinde esneklik ve üstün mekanik performansı nedeniyle biyoteknoloji, ilaç dağıtımı, yara iyileşmesi, doku mühendisliği, mikroelektronik, çevre koruma ve enerji depolama gibi çeşitli uygulamalar vaat etmektedir [7]. Z.M. Huang ve arkadaşları, başarılı bir şekilde elektrospunu yapılmış polimerlerin kapsamlı bir özetini yapmışlardır [8]. Elektrospunlu nanoliflerin filtrasyon uygulamalarında kullanımının bir geçmişi bulunmaktadır. Savunma, otomotiv, giyim uygulamaları dâhil olmak üzere çeşitli kullanımlar için nanolif esaslı filtreler geliştirilmiştir. Katmanlı nanolifler dokusuz malzemeden oluşur. Elektrospunlu nanolif hasırları (lif yığını), filtreleme yeteneklerinde önemli artışlar sunmaktadır [9]. Diğer bir uygulama ise metal iyon emilimi ve geri kazanımıdır. Su kaynaklarında yüksek düzeyde metal iyonlarının varlığı ciddi bir kirlilik olup insan sağlığı ve çevre için risk oluşturmaktadır. Elektrospunlu nanolifler, yüksek özellikli yüzey alanı, yüksek gözeneklilikleri ve kontrol edilebilir yüzey işlevselliği sayesinde bir çözeltiden metal iyonları toplamak için kullanılabilir. Elektrospunlu nanolifler üzerindeki metal iyonlarının emilimi, yüzey kimyası veya kaplama teknikleri kullanılarak lif yüzeyine fonksiyonel materyallerin eklenmesi ile yüzey alanını artırarak geliştirilmiştir [9].

Elektrospinning yöntemi, biyomedikal uygulamalar için doğal polimerleri ve sentetik biyo uyumlu veya biyo emilebilir polimerleri işlemek için de çok uygundur [10]. Doğal hücre dışı matrisin yapısını ve biyolojik işlevlerini taklit eden yapı iskelelerinin tasarımı, doku mühendisliğinde ciddi bir güçlüktür [8]. Elektrospun nanolifli yapı iskeleleri, hem in vivo hem de in vitro denemelerde hücre bağlanması, çoğalması ve penetrasyonunda büyük performans sergilemiştir. Doku mühendisliği uygulamaları için elektrospun yapı iskelelerinin hazırlanması için çok çeşitli malzeme seçenekleri vardır ve bunlar doğal ve sentetik polimer kategorilerinde olabilir. Doğal polimerlerden, örneğin kolajen, aljinat, ipek proteini, hyaluronik asit, fibrinojen, kitosan, nişastadan hazırlanan elektrospun lifli yapı iskeleleri çoğunlukla tercih edilir. Sentetik polimerler arasında poli (e-kaprolakton) (PCL), poli (laktik asit) (PLA), poli (glikolik asit) (PGA) ve bunların kopolimerleri, biyo uyumlulukları ve biyobozunurlukları nedeniyle biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Biyobozunur yapı iskeleleri, biyolojik olarak işlevsel doku veya doğal hücre dışı kalıbın yenilenmesinden önce hücre tohumlaması, istilası, çoğalması ve farklılaşması için geçici şablonlar olarak kullanılmıştır [12]. Lif çapının hücre kültürü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Lee ve arkadaşları PLGA nanofiberler üzerinde yetiştirdikleri polipirol (PPi) hücre büyümesi sırasında elektriksel uyarım ile iletken nanolifli yapı iskeleleri hazırlamışlardır [13]. PCL'den elde edilen nanolifler, kemik dokusu mühendisliği için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [14]. PLLA, PCL, PVA, kitosan, ipek fibroin, kolajen ve kolajen/PLGA gibi sentetik/doğal polimer nanolifler, kemik kusurlarının onarımı ve cilt rejenerasyonlarında başarıyla uygulanmıştır [15, 16]. Elektrospun polimer nanolifler ayrıca cilt iyileştirme, cilt temizleme ve tedavi edici özelliklerde kozmetik cilt bakım maskesi olarak kullanılmak üzere üretilmiştir [8]. Sun ve arkadaşları, koaksiyel elektrospinning ile çekirdek-kabuk nanoliflerin oluşumunu gerçekleştirmişler ve bu tekniğin biyolojik olarak ilgili moleküllerin ve nanokompozitlerin kapsüllenmesi için çok yönlü bir yöntem olduğunu kanıtlamışlardır [17]. Zhang ve diğerleri koaksiyel elektrospinning ile PCL nanolifleri içinde proteini kapsüllemişlerdir [18].

Elektrospun nanolif hasırı, dış mikroorganizma istilalarını engellemek ve sıvıyı dışarı atmak için birbirine iyi bağlanmış gözenekli yapısı ve çok özel yüzey alanı nedeniyle yara pansumanı için iyi bir adaydır. Elektrospinleme ile ilaç yüklemesi çok kolay olduğundan, elektrospun nanolifler potansiyel ilaç taşıyıcı olarak birçok avantajı sergilemiştir [9]. Elektrospun nanolifli zarlar, koruyucu giysilerde de arzu edilen özellikler olan hafif, geniş yüzey alanı, yüksek gözenekliliği (nefes alabilir doğası), yüksek filtrasyon verimliliği vb. nedeniyle potansiyel giysi uygulamaları olarak kabul edilmektedir. Gözenekliliği yüksek fakat gözenek boyutu küçük bir

tabakaya serilmiş elektrospun nanoliflerin, sprey formundaki kimyasal zararlı ajanlara karşı direnç sağladığı gözlenmiştir [19].

2.2 Kenevir ve Uygulamaları

Kenevir (hemp) ve esrar (marijuana) ikisi de aynı cins bitki türünden (Cannabis sativa L.) geldiği için birçok insan kenevir (hemp) ve esrarı (marijuana) karıştırabilir, ancak aslında bunlar farklı alt türlerdir. Kenevir Sativa alt türü iken; esrar Indica (Lam.) E. Small & Cronquist alt türüdür. Ayrıca, kenevir için endüstriyel kullanım ve esrar için tıbbi kullanım olarak adlandırılmaları, insanların endüstriyel kenevir ve tıbbi kenevir gibi farklı isim ve uygulamalarla ayırt etmelerini sağlamaktadır. Endüstriyel kenevir, tekstil, gıda, kağıt, kişisel bakım ürünleri, yakıt, yapı malzemeleri ve plastikler, boyalar, yapıştırıcılar vb. için kimyasal hammaddeler gibi birçok ticari amaç için kullanılmaktadır. Keneviri ilaçtan hariç tutan en büyük farkı (THC) miktarıdır. Tetrahidrokanabinol (THC) bu bileşenin esas olarak çiçekli üst kısımlarda ve yapraklarda bulunur. Kenevir, THC seviyesinin %1'inden daha azını içerirken; esrar, kenevirden en az 10 kat daha yüksek olan THC seviyesinin yaklaşık %10-30'unu içermektedir [20, 21].

Dünya çapındaki pazarlarda doğal gıdalara, fonksiyonel gıdalara, glütensiz ürünlere, bitki kaynaklı proteinlere ve biyolojik ürünlere artan talepler, kenevir üretiminin itici gücü olmuştur. Endüstriyel kenevir için küresel pazar, dokuz ana alt pazarda (tekstil, tarım, yiyecek ve içecek, otomotiv, kağıt, mobilya, inşaat, geri dönüşüm ve kişisel bakım) 25.000'den fazla ürüne sahiptir. Kenevir lifi, pamuk, keten ve ısırgan otu gibi diğer doğal liflere göre çok daha güçlüdür. Kenevir giysiler, pamuklu giysilerden daha güçlüdür ve daha dayanıklıdır ve kolay kolay deforme olmazlar [22].

Doğal lifler, kolayca bulunabilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik, geri dönüştürülebilirlik, yenilenebilirlik, akustik yalıtım ve daha az üretim maliyeti gibi avantajlara sahiptir [23]. Kenevir doğal olarak en çevre dostu liflerden biridir, aynı zamanda en eski liflerden biridir. Kenevir lifleri, diğer doğal liflere göre selüloz yüzdesi bakımından daha zengindir ve daha güçlü performans sunar. Sürdürülebilir, geri dönüştürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemelere olan talebin artması nedeniyle son yıllarda kenevir liflerinin kullanımı artmıştır. Kenevir lifleri, bitkinin dik kalmasına yardımcı olan gövdesinin dokularında bulunur, bu da onların sert ve güçlü olmasına sebep olur. Dolayısıyla, kullanıldığı malzemeye mukavemet ve sertlik kazandırır. Kenevir lifleri tüm lifler arasında en uzun ömürlü ve daha güçlü olanıdır [24].

Geçtiğimiz yıllarda araştırmacılar, kenevirin çevresel etkileri ve özellikleri açısından avantajlarını incelemiş ve ABD'deki hükümet kayıtlarına göre, endüstriyel kenevirin pamuktan daha fazla plantasyon sürdürülebilirliği sağladığı ve daha az su, gübre, herbisit ve böcek ilacı talebinin olduğu rapor edilmiştir [21].

Crowley [25] tarafından yapılan bir başka çalışmada da endüstriyel kenevirin, tarımsal kimyasallar girdisi olmaksızın yüksek yıllık biyokütle verimi (>10 t/ha bütün gövde) sağladığı rapor edilmiştir.

Ayrıca Finnan ve Styles [26] tarafından iki yıllık biyoenerji mahsulü (şeker pancarı ve yağlı tohumlu şalgam) ile endüstriyel kenevirin yakıt zinciri sera gazı dengesi incelenmiştir. Kenevir, sırasıyla % 140 ve % 540 oranlarında yağlı tohumlu şalgam ve şeker pancarından daha fazla net yakıt zinciri sera gazı azaltımı sağladığı gözlenmiştir. Bu nedenle, kenevirin harika bir yeşil hammadde kaynağı ve birçok uygulama için sürdürülebilir bir ürün olacağı düşünülmektedir.

Kenevir, yaklaşık %68'lik yüksek selüloz içeriği olan güçlü noktalarından yararlanılabildiğinden, kenevir nanoselüloza dönüştürülmüş [27] ve sisal, abaka (muz türü tropik bir bitki), jüt (kendir) ve keten gibi diğer odunsu olmayan bitkilerle karşılaştırıldığında yaklaşık %86 yüksek kristallik gözlenmiştir [28].

Hidrotermal, karbonat ve kraft işlemlerinden elde edilen artık kenevirin (Cannabis sativa) sert lifleri, lignoselülozik nanolifler (LSNF) elde etmede kullanılmıştır. Nanoselüloz filmlerin morfolojik, kristallik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bunların su bariyeri özellikleri; su temas açısı, su buharı geçirgenliği ve su emme açısından (WVP) ölçülmüştür [29, 30].

Gelecek vaad eden bir diğer pazar, filtrasyondur. Uygulama sonucunda, kenevir kağıtlarının pamuklu kağıttan daha iyi yağ/hava süzme özelliklerine sahip olduğu görülmüştür [31].

Wang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek basınçlı defibrilasyonun ve kimyasal saflaştırmanın kenevir lifi morfolojisini mikro ölçekten nano ölçeğe nasıl etkilediği incelenmiştir. Kimyasal-mekanik işlem, 30-100 nm aralığında bir genişliğe sahip kenevir nanolifleri ile sonuçlanmıştır. Kullanılan kimyasal işlemler, bireyselleştirilmiş kenevir mikro lifleri ile sonuçlanmış ve daha fazla mekanik işlem, kenevir nanoliflerinden oluşan bir ağ yapısı oluşturmuştur. Yüksek basınçlı defibrilasyon, nanofiberlerin birbirine bağlı ağ benzeri yapısının benzersiz bir morfolojisine katkıda bulunmuştur [32].

Örümcek ve ipekböceği ipekleri, kitin lifleri, kolajen, pamuk, bambu ve kenevir lifleri gibi çeşitli doğal malzemelerden ultrasonik teknik kullanılarak biyonanolifler üretilmiştir [33].

Cannabis sativa L. kimyasal yapısı nedeniyle biyolojik aktiviteye sahiptir. Cannabis sativa L. bitkisinde bulunan psikotropik olmayan başlıca fitokanabinoid, Cannabigerol (CBG) ve Cannabidiol (CBD)'dir [34]. Yeni çalışmalar, CBG'nin geniş bir farmakolojik profile sahip olduğunu ve kanser tedavisi için önerilebileceğini, anti-inflamatuar ve analjezik özellikler sergilediğini ve bu nedenle cilt hastalıklarının tedavisinde de uygulanabileceğini göstermektedir [35].

2.3 Nanolif Üretme Teknikleri

Nanolifler, termal olarak indüklenen faz ayrımı, moleküllerin kendi kendine birleşmesi, spinning ve santrifüj eğirme dahil olmak üzere çeşitli işlemlerden üretilebilir. Bu yöntemlerin ilkeleri birbirinden farklıdır. Sanayileşmiş lif üretiminin gelişmesine benzer şekilde, laboratuvar ölçeğinde nanolif üretim yöntemleri geliştirilmiş ve büyük ölçekli üretime yaklaşmak için süreçler geliştirilmektedir.

2.3.1 Nanolif moleküllerinin kendi kendine kümelenmesi

Moleküllerin kendi kendine bir araya gelerek kümelenmesi, moleküllerin bir dış kaynaktan yönlendirme veya yönetimi olmaksızın tanımlanmış bir düzenlemeyi benimsediği bir süreçtir. İki tür kendi kendine bir araya gelme vardır [36, 37]. Bunlar, moleküller arası kendiliğinden bir araya gelme (kümelenme) ve moleküller arası kendi kendine birleşmedir. Genel olarak, moleküllerin kendi kendine birleşme terimi, moleküller arası kendi kendine birleşmeyi ifade eder, molekül içi analog yaygın olarak katlama olarak adlandırılır. Moleküllerin kendi kendine bir araya gelerek kümelenmesi, supramoleküler kimyada anahtar bir kavramdır. Çünkü bu tür sistemlerde moleküllerin birleşmesi, kovalent olmayan etkileşimler (örneğin, hidrojen bağı, metal koordinasyonu, hidrofobik kuvvetler, van der Waals kuvvetleri, π-π etkileşimleri ve/veya elektrostatik) ve ayrıca elektromanyetik etkileşimler yoluyla yönlendirilmesidir.

2.3.2 Nanoliflerin termal olarak indüklenen faz ayrımı

Termal olarak indüklenen faz ayrımı (TİFA) sırasında, polimer yüksek sıcaklıkta zayıf bir çözücü içinde çözülür. Sıcaklık düşürüldükçe polimerce zengin faz, homojen çözeltiden cam geçişi ile polimer malzemenin kristalleşmesi veya çözücünün ekstraksiyonuyla katılaşır. Bu faz ayırma işlemi, aynı zamanda süblime edilmesi kolay olan düşük erime noktasına sahip bir çözücünün kullanılmasını gerektirir. Örneğin, polilaktik asidi çözmek için dioksan kullanılabilir, ardından az miktarda su ilavesiyle faz ayrılması indüklenir, bunun sonucunda

polimerce zengin ve polimerce fakir bir faz oluşur. Çözücüyü erime noktasının altında soğutmanın ve süblimleştirmek için vakumla kurutmanın ardından gözenekli bir nanolifli yapı elde edilir.

2.3.3 Mekanik defibrilasyon ile nanoliflerin üretilmesi

Selülozik malzemeleri kimyasal işlemlerle dönüştürmek için birçok araştırma yapılmıştır. Asit hidrolizi, lif yapısındaki amorf parçayı çözmek için iyi bilinen bir yöntemdir ve alfa-selülozun kristalli kısmını geride bırakarak selüloz nanokristalleri ile sonuçlanır. Ancak bu kimyasallar çevreye ve operatörlere zararlı olabilir. Bu nedenle, selülozu defibrile etmek için soğuk-kırma ve ultrasonikasyon gibi birçok mekanik yöntem çalışılmıştır. Nemli lifleri soğuk-kırma yönteminde dondurmak için sıvı azot kullanılmakta ve ardından donmuş lifler, bir dökme demir havanda havaneli ile ezilmektedir. Daha sonra kırılan lifler suya batırılıp ve bir parçalayıcı kullanılarak dağıtılmaktadırlar. Bu yöntemle elde edilen fibrillerin % 89'u dağıldıktan sonra 1 μm (mikrometre) çapa kadar olduğu bildirilmiştir [38].

Ultrasonikasyon, hücre bozulması için selüloza 20-50 kHz ultrason uygulandığı iyi bilinen bir başka yöntemdir. Üretilen yüksek frekanslı ultrasonik dalgalar, metal bir prob vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülür ve selüloza iletilir. Kenevir ve diğer doğal lifler, 2,5 cm çapında silindirik titanyum alaşımlı bir prob ucuna sahip 20 kHz'lik bir sonifier kullanılarak incelenmiştir. Ultrasonikasyon ile elde edilen nanolifler, farklı lif türlerine bağlı olarak 30-120 nm çapta kabın dibinde farklı sürelerde toplandığı gerçekleştirilmiştir [39].

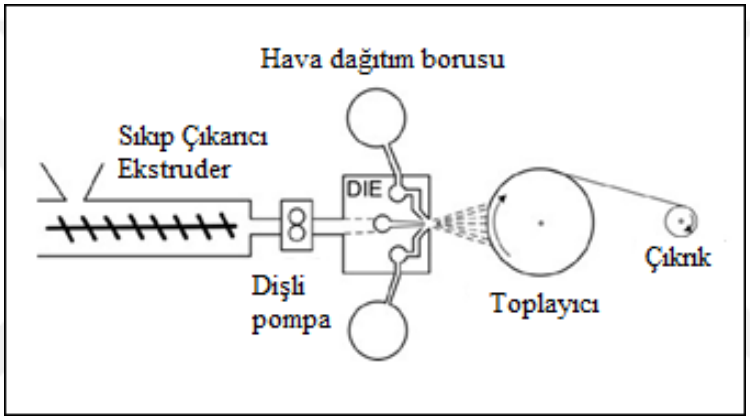
Bununla birlikte, bazı fibriller mikro liflerden soyulduğu ve bazıları hala lif yüzeylerinde kaldığı için bu teknikle nano ve mikro liflerin bir karışımı elde edilmiştir [40]. Bu nedenle, nanolifleri elde etmek için, her iki yöntem de hidroliz, oksidasyon, öğütme, homojenizasyon veya diğer mekanik defibrilasyonlar gibi ek, ön veya son işlemleri gerektirir. Özellikle kenevir nanoliflerinin hazırlanmasında ek işlemler gerekmektedir. Çünkü 690 MPa'da yüksek gerilme mukavemetine ve 70 GPa'da Young modülü ile kenevir yüksek güçlü bir liftir [41].

2.3.4 Meltblown (eriyik üfleme) tekniği ile nanolif üretimi

Meltblown, erimiş termoplastik polimer elyafı çekmek için yüksek hızlı sıcak havanın kullanıldığı tek adımlı bir işlemdir (Şekil 2.1). Tipik bir eriyik üfleme işlemi, polimer besleme sistemleri, ekstrüder, ölçüm pompaları, kalıp montajı, ağ oluşumu ve bir toplayıcıdan oluşan tek bir bütünleşmiş işlemdir [42]. Ekstrüder, ölçüm pompaları, filtre ve kalıp tertibatına kadar işlem, eriyik eğirmeye oldukça benzer. Ancak, kalıp konfigürasyonu ve toplama sistemleri tamamen farklı bir şekilde tasarlanmıştır. Polimerler birleşen sıcak hava akımlarına lineer bir

kalıptan ekstrüde edildiğinden, yüksek hızlı hava akımları lifleri zayıflatır. Aynı hava akımları lifleri bir toplayıcıya iletir. Lifler toplayıcıya hareket ettikçe söndürülürler, dolaşıklıklar oluştururlar. Bağlanma, liften life temas noktalarında yapışkan dokunmamış bir ağ oluşturularak gerçekleşir. Genel olarak, havanın liflerden ayrılmasını kolaylaştırmak için toplayıcıya vakum uygulanır.

Eritilerek şişirilmiş ağlar, çap olarak geniş bir dağılım ile ortalama olarak 2-5 µm aralığında liflere sahiptirler. Kullanılan polimerin türü ve süreç nedeniyle, lifler nispeten zayıf mekanik özelliklere, ancak malzemeleri iyi bariyer özelliklerine sahiptir. Meltblown ağlar, tek başına veya kompozit yapıların bir parçası olarak, daha ince parçacıkları ve bakterileri uzaklaştırmak için ince filtrasyonda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.1 Meltblown yönteminin basit bir gösterimi [42]

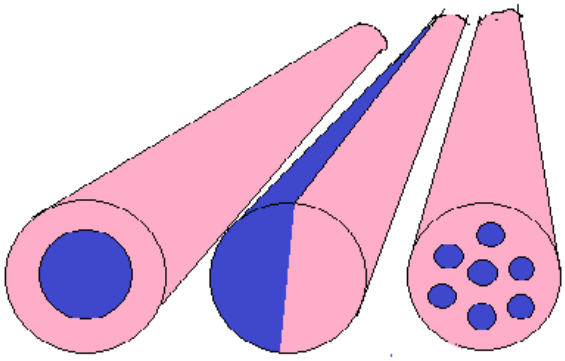
2.3.5 Fibrilasyon tekniği ile lif üretimi

Çok ince lifler üretmek için kullanılan bir diğer teknik fibrilasyon tekniğidir. Bu teknikle özellikle mikrobiyoloji alanında uygulama imkânı olan mikro gözenekli yapıda yüzeyler oluşturulabilmektedir. Selüloz lifleri yaklaşık bir mikrondan daha küçük çapları olan ince liflere bölünmektedir. Elde edilenler tek tek lifler halinde değil, delikli kumaş formundadırlar.

2.3.6 Bikomponent lif üretim tekniği

İki farklı malzemeyi içeren iki bileşenli lifler ve nanolifler, birçok yeni uygulamada kullanım için olağandışı bir potansiyel sunmuştur. Bu lifler, koaksiyel (ortak eksenli) spinning ve elektrospinning gibi farklı tekniklerle, çeşitli malzemeler kullanılarak üretilebilir. Seçilen spinleme tekniği, polimerin özelliklerine ve ayrıca nihai lifin performansına bağlıdır. Çok bileşenli lifler, iki veya daha fazla farklı malzemenin mekanik, fiziksel veya kimyasal özelliklerinden yararlanan termoplastik veya termoset polimerlerden üretilen yeni liflerdir. Malzemeler, son uygulama amaçları kadar işleme yöntemine göre de seçilmelidir. İki bileşenli liflerin spinlenmesinde, çekirdek/kabuk (Ç/K veya çekirdek/kılıf), yan yana (Y/Y) veya

denizdeki adalar (D/A) gibi istenen dağılımları yapmak için iki erimiş/çözünmüş benzemez polimer, şırınganın püskürtme ucunun çıkışında farklı enine kesitlerde birbiriyle buluşur (Şekil 2.2). Bu lifler, iki bileşenli liflerin üretiminde kullanılan polimerlerin doğasına bağlı olarak iletkenlik ve kendi kendine kıvrılma vb. gibi farklı özellikler sergilerler.

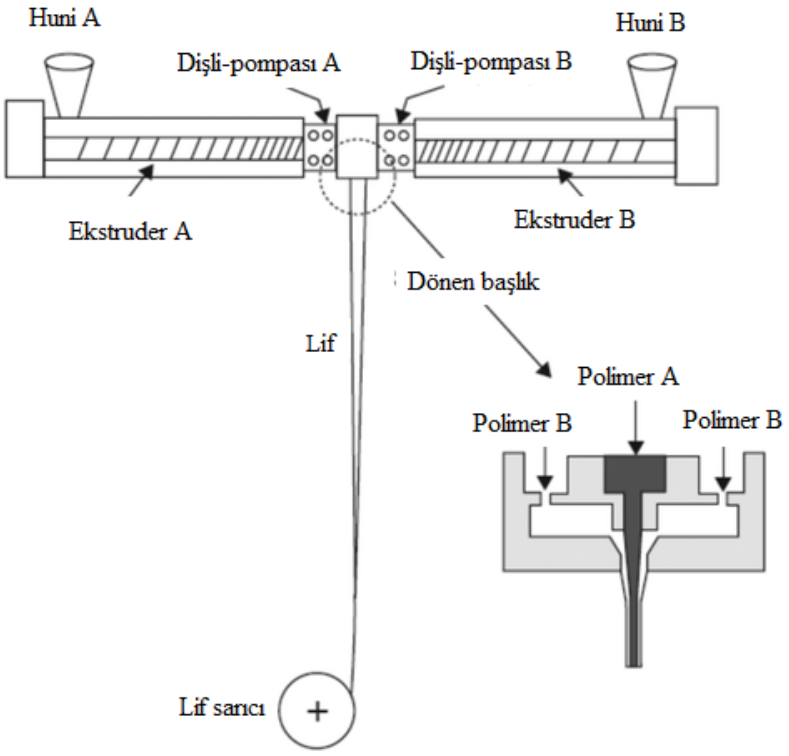


Şekil 2.2 İki bileşenli fiberlerin şematik gösterimi: (a) Ç/K, (b) Y/Y ve (c) D/A [43]

Ç/K iki bileşenli liflerin üretimi Y/Y'dan daha zordur, ancak çeşitli raporlar ve patentlerde vurgulandığı gibi daha fazla uygulamaları vardır. Ayrıca Ç/K liflerinin farklı konfigürasyonları olabilmektedir.

Yüksek performanslı polimerik lifler, itfaiyeci kıyafetleri, kurşun geçirmez yelekler, kompozit yapılar, roketler ve sertlik ve gerilimde dayanıklılık gerektiren kablolar gibi tekstil uygulamalarına sahiptirler [43]. Daha önce bahsedildiği gibi, iki bileşenli liflerin de geniş uygulamaları vardır. Örneğin optik ve elektronikte, spunbond nonwovenlar (eğrilmiş ham maddeler), kendi kendini düzenleyen kompozitler vb. işlenmemiş malzemeler, iki bileşenli lifler için en önemli pazardır [44]. Döşeme, spor ve temizlik ürünleri bu uygulamalar arasındadır. Noll ve arkadaşları tarafından bildirildiği gibi, dokunmamış kumaşlardaki liflere daha fazla özellik kazandırmak için farklı dolgu maddelerinin kullanılması genel bir yöntemdir. Hufenus ve arkadaşları yeni nesil suni çim olarak Ç/K iki bileşenli elyafları geliştirmişlerdir.

Eriterek suponlama, ticari sentetik liflerin üretimi için en yaygın yöntemdir. Tek polimerik liflerin üretiminden daha önce bahsedilmişti. Ç/K iki bileşenli liflerin eriterek spinlenmesinde (Şekil 2.3), iki ekstrüder, istenen kesiti yapmak için düze çıkışında bir araya gelen iki polimeri ayrı ayrı eritir ve basınçlandırır.



Şekil 2.3 İki bileşenli liflerin eriyik spinleme sırasının şematik görünümü [45]

Her yıl yeni iki bileşenli liflerin spinleme ve uygulamalarını bildiren farklı çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmaların çoğu, çekirdek ve kılıf malzemelerinde farklı özelliklere dayanmaktadır [45].

2.3.7 Elektrospinning tekniği ile nanolif üretimi

"Elektrostatik spinning"den türetilen "elektrospinning" terimi, nispeten yakın zamanda (1994 civarında) kullanılmıştır, ancak kökeni 60 yıldan fazla bir süre öncesine dayanmaktadır [8]. İlk kez 1897'de Rayleigh tarafından gözlemlenen, 1914'te Zeleny tarafından ayrıntılı olarak incelenen ve Formhals tarafından 1934'te patenti alınan eski bir tekniktir [12].

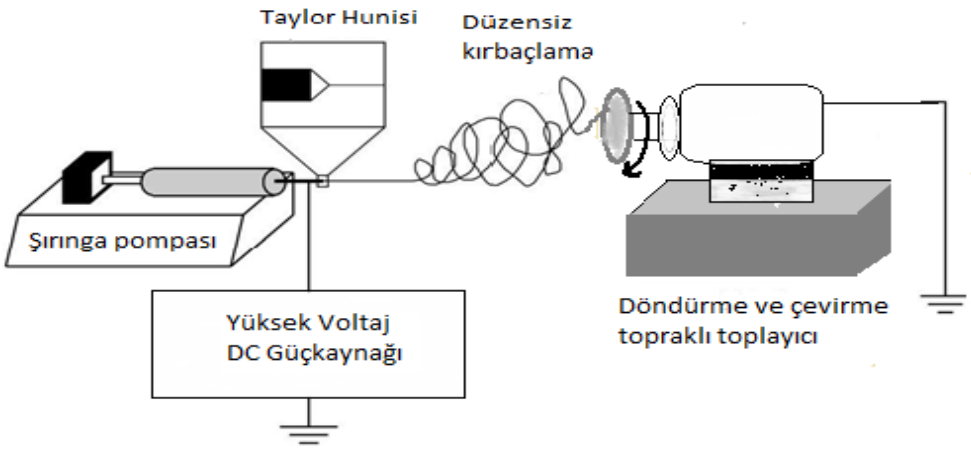
1971'de Baumgarten [8], elektrospinning yöntemi ile akrilik polimerinden 0.05-1.1 µm çaplarında, sürekli bir şekilde, lifler üreten bir cihaz geliştirmiştir. Dimetilformamid içerisinde çözülmüş poliakrilonitril polimeri elektrospinninge tabi tutulmuş ve çözeltiye 5 ila 20 kV arasında gerilim uygulanmıştır. Bu çalışmada; lif çapı, jet uzunluğu, çözelti viskozitesi, debi ve ortam gazı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Lif çapının çözelti viskozitesi ve jet uzunluğu ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Jet uzunluğu ise, jetin oluşmaya başladığı yer olan damla ucu ve kararsız dalgalanmanın başladığı nokta arasındaki mesafe olarak söylenebilir. Debinin lif çapına etkisi azdır. Ortam gazının etkisi ise nem oranına bağlı bulunmaktadır. Damlacık, kuru havada kurumaya meyilliyken, nemli havada %12,5'luk derişime sahip

çözeltiden elde edilen lifler tamamen kurumaz ve toplayıcı plaka üzerinde birbirlerine karışırlar[46].

1982'de Bornat [47], bir silindir üzerine sökülüp takılabilen bir tabaka sarmış ve bu mekanizmayı elektrospinningte kullanmıştır. Bu çalışmada da ana süreçler öncekiler ile aynıdır. Bornat, bu çalışmasında poliüretanın kullanımıyla elde edilen tüp yapılarının suni idrar kanalı ve kan damarı olarak kullanılabileceğini iddia etmiştir. Bornat, 1982 ve 1987 yıllarında birer patent almıştır. Elektrospinning yöntemi kullanılıp suni vasküler doku nakli yapılarının elde edildiği başka patentler de mevcuttur [46].

Elektrospinning, çeşitli araştırmacıların nanofiberlerin birkaç polimerden üretilebileceği gerçeğini kabul ettiği 1990 yılına kadar dikkate alınmıştır. Bu açıklamadan sonra, elektrospinning tekniğinin popülaritesi önemli ölçüde artmış ve bu da önemli sayıda yayınlanmış araştırma makalesi ile sonuçlanmıştır [48]. Elektrospinning işleminin popülaritesi, dünya çapında 200'den fazla üniversite ve araştırma enstitüsünün bu işlemin çeşitli yönlerini ve ürettiği lifleri incelemesi ve ayrıca son yıllarda uygulamaları için yayınlanan önemli sayıda patent ile fark edilebilir [49, 50].

Elektrospinning, elektrik kuvvetlerinin kullanılması yoluyla çapları birkaç mikrometreden birkaç nanometreye kadar olan polimer lif oluşumuna izin veren, yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Elektrospinning tekniğinin diğer nanolif üretim yöntemlerine göre birçok benzersiz avantajları vardır. Bu yöntemi diğer geleneksel tekniklerden ayıran temel özellik, üretilen liflerin çaplarının mikrometre mertebelerinin altında olmasıyla beraber diğer tekniklerde kullanılan tüm polimerlerin bu teknikte hem eriyik hem de çözelti şeklinde kullanılmasıdır [46]. Tipik bir elektrospinning işlemi şematik diyagramı şekil 2.4'te gösterilmektedir. Elektrospinning için üç ana eleman gereklidir: bir yüksek voltajlı doğru akım güç kaynağı (5 ila 50 kV), bir şırınga pompası ve topraklanmış bir toplayıcı.



Şekil 2.4 Elektrospinning için temel kurulumun şematik gösterimi

Farklı lif morfolojileri elde etmek için birçok farklı elektro eğirme düzeneği vardır. Ancak tipik olan yukarıdaki şekilde de gösterildiği gibi; elektrot, elektrospun edilecek polimer çözeltisi ile doldurulmuş şırıngaya takılır ve toplayıcı topraklanır. Pompa, polimeri şırınga gövdesinden iterken, iğne ucunda bir damlacık oluşur. Elektrik voltajı uygulandığında, damlacık şarj olur ve elektrostatik bir itme yaşar. Elektrik alanının etkisi altında, Taylor konisi olarak bilinen konik şekilli bir yapı oluşturacak şekilde gerilir. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi bir Taylor konisi, fışkıran ince viskoelastik sıvı jeti oluşturur. Taylor konisi içindeki yüklü sıvı ile topraklanmış bir toplayıcı arasındaki potansiyel fark, fışkıran sıvı üzerinde bir çekme kuvveti indükler. Püskürtme memesinden çıkan ve güçlü elektrik alanı nedeniyle uzayan sıvı jet toplayıcı plakaya doğru hareket eder. Polimer jeti havada hareket ederken, çözücü sürekli bir lif üreterek buharlaşır ve jetin çapı azalır. Başarılı bir nanolif üretme işlemi için, uygulanan elektrik alanı "E_∞" olduğunda sıvı jetinin Rayleigh kararsızlığı bastırılır. (Rayleigh-Taylor kararsızlığı Akışkanlar dinamiğinde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Farklı yoğunluklara sahip iki sıvı arasındaki dengesizliktir). Voltaj kritik bir seviyeyi aştığında damlacıktaki itme kuvveti yüzey gerilime kuvvetine baskın gelir. Denklem 1'de görüldüğü gibi, "σ" yüzey yük yoğunluğu; "γ" sıvı jet yüzey gerilimi olmak üzere; jet üzerine uygulanan elektrik alanı denge denkleminden geliştirilebilecek bir eşiği aştığında Rayleigh kararsızlığı etkisizleşir. Bu kez Whipping (kırbaçlama) kararsızlığı yaygın hale gelir.

$$(\varepsilon - \bar{\varepsilon})E_\infty^2 + \frac{4\pi^2\sigma^2}{\bar{\varepsilon}} = \frac{2\pi\gamma}{h} \qquad (2.1)$$

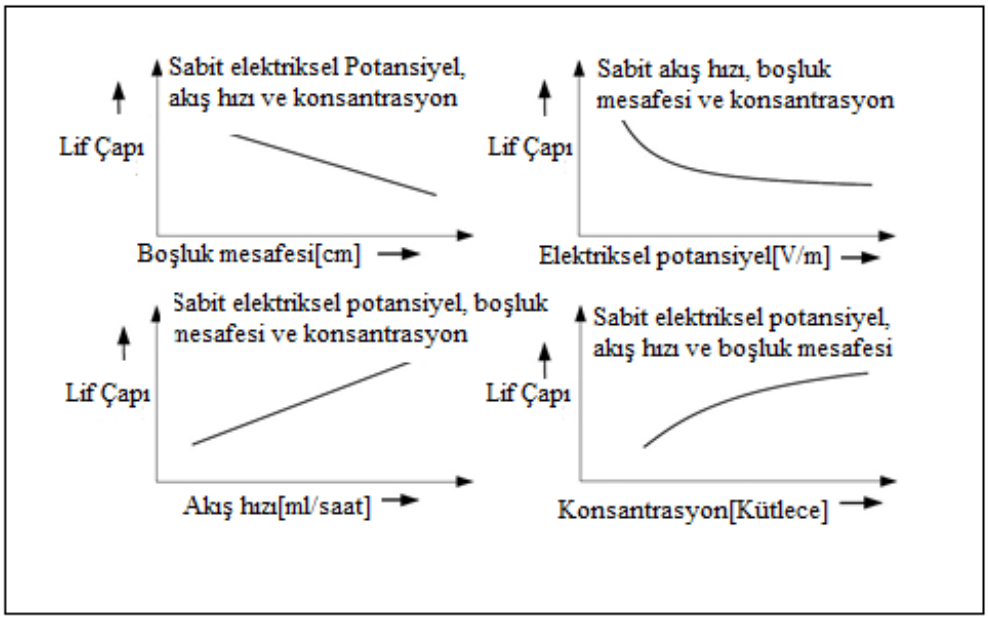
Burada "ε" jetin içindeki dielektrik sabiti; "$\bar{\varepsilon}$" jetin dışındaki dielektrik sabitidir. ($\bar{\varepsilon}/\varepsilon \gg 1$); ve "$h$" jetin yarıçapı; "$\sigma$" yüzey yük yoğunluğu; "$\gamma$" sıvı jet yüzey gerilimi; "E_∞" uygulanan elektrik alanı; "π" pi sayısıdır. Elektrospinleme sırasında sürekli lif oluşumu, sıvı jetin

viskoelastik özellikleri ile uygulanan elektrostatik alan arasındaki hassas bir dengeye bağlıdır. Elektrospinleme işleminin optimizasyonu, spinleme çözeltisinin sıvı özellikleri (moleküler oryantasyon derecesi, polimer zinciri örtüşme derecesi, polimer moleküler zincir uzunluğu, çözelti konsantrasyonları, katkı maddeleri, çözüm iletkenliği, çözelti iletkenliği iplik çözeltisi), çözücü ve çözelti özellikleri (uçuculuk, gizli buharlaşma, dinamik yüzey gerilimi, çözücü, çözünürlük ve viskoelastisite), işlem parametreleri (spinneret orifice çapı, ekstrüzyon hızı, toplama mesafesi / geometri, uygulanan voltaj, akış hızı, nozül geometrisi) gibi birçok değişkenin hassas bir kontrolünü içerir.

Polimer çözeltilerinin elektrospinlenmesi, ilk yaklaşımda, çözücünün hızlı bir şekilde buharlaşmasını içerir. Böylece çözeltinin buharlaşması, ikinci aralığın çok altında bir zaman ölçeğinde gerçekleşir. Jetin uzaması sırasında elektrostatik kuvvet, atalet, viskozite ve yüzey gerilimi tarafından başlatılır. Uygulanan voltaj, iğne ucundaki solüsyon damlasının yüzeyinde yüksek bir elektrik yükü indükler. Damla iki ana elektrostatik kuvvete maruz kalır: elektrik alanı tarafından indüklenen Coulomb kuvveti ve yüzey yükleri arasındaki elektrostatik itmedir. Bu kuvvetlerin yoğunluğu damlanın yarım küre yüzeyinin uzamasına ve Taylor konisi olarak da bilinen konik bir şekil oluşturmasına neden olur. Voltaj daha da artırıldığında, damladaki elektrostatik kuvvetler, sıvı/hava ara yüzünün yüzey gerilimini yenerek elektrik yüklü bir jet püskürtür.

Nanoliflerin morfolojisini kontrol etmek için yapısını ve çapını etkileyen parametreleri incelemek gereklidir. İyi bir uygulama için, sadece lif çapının değil, aynı zamanda iç morfolojinin de kontrol edilmesi arzu edilir. İdeal bir inceleme, nanolif çapının kontrol edilebildiği, liflerin yüzeyinin sağlam olduğu ve tek bir lifin toplanabilir olduğu bir incelemedir. Lif çapının kontrolü çözelti konsantrasyonundan, elektrik alan kuvvetinden, iğne ucundaki besleme hızından ve iğne ile toplayıcı arasındaki boşluktan etkilenebilir.

Polimer çözeltisinin konsantrasyonu, nihai nanolif morfolojisi üzerinde etkili olan en önemli parametredir. Deneyler sırasında çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak elektrik alanı için çeşitli etkiler gözlemlenmiştir. Çözelti konsantrasyonunun ve elektrik alan kuvvetinin, farklı eğirme mesafelerinde ortalama lif çapı değişimi üzerindeki etkileri, parametreler arasında bazı etkileşimler ve kuplaj etkileri mevcuttur [4]. Şekil 2.4, işlem parametrelerinin lif çapı üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 2.5 İşlem parametrelerinin nanolif çapına etkisi [51]

Toplayıcı plaka ile düze arasındaki mesafe, nanolif çapını etkileyen önemli bir parametredir. Bu mesafede nanolif oluşumu meydana gelir, çözücü uzaklaşır ve nanolif katılaşır, toplayıcı plakaya nanolif birikme olayı bu arada gerçekleşmektedir. Mesafenin artması ile jetin izleyeceği yol uzayacağından nanolifin incelmesine neden olur ve nanolifler kuru bir şekilde toplanır [46].

Eğer mesafe düşük olursa konsantrasyon parametresi ihmal edilerek nanolifler toplayıcı plakada ıslak olarak toplanacağından boncuklu yapılar meydana gelir. Buckho'nun çalışmasında, düşük mesafede boncuklu yapıda yuvarlak kesitten yassı kesite dönüşüm de gözlenmiştir [46, 52]. Polimerin akış hızı, malzeme transfer hızını ve jetin hızını etkileyen önemli bir değişkendir. Uygulanan gerilimin sabit kalmasından dolayı malzemeyi inceltmeye yeterli olacak elektriksel kuvvet azalacağından akış hızının artması, lif çapının kalın olmasına ve gözenek çapının büyük olmasına sebep olur [8, 46, 53].

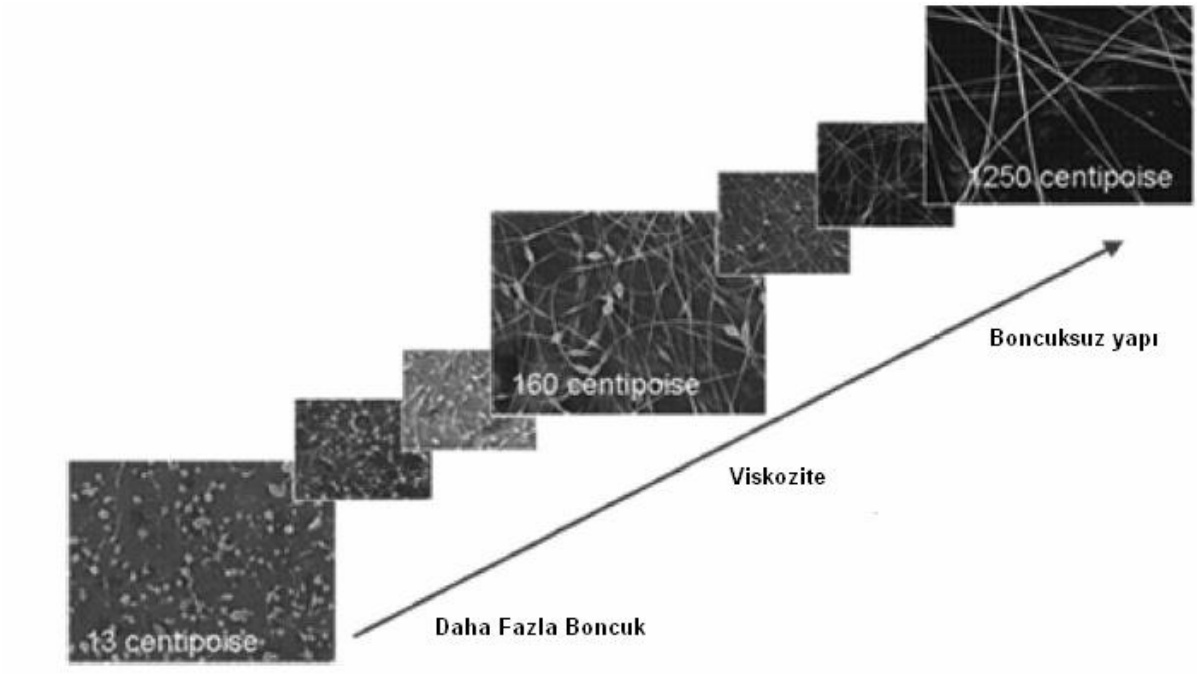
Uygulanan voltajın elektrospinning üzerindeki etkisi konusunda farklı görüşler mevcuttur. Uygulanan gerilimin, besleyici ile toplayıcı arasındaki mesafenin sabit kaldığı durumlarda artması ile nanoliflerin çapları genel olarak azalmaktadır ancak gerilimin artması ile akış oranındaki düzensizlik sebebiyle lif çapı tam olarak kontrol altına alınamamaktadır. Voltajın artması ile beslemedeki düzensiz akış oranı nedeni ile nanoliflerde düzensizlik ve yüksek çap dağılımı gözlenmiştir [46]. Zhang ve arkadaşları, daha yüksek voltajlarda daha yüksek polimer püskürmesi olduğunu ve daha büyük lif çapının oluşumunu kolaylaştırdığını göstermiştir. [54, 55].

Bazı araştırmacılar ise, uygulanan voltajdaki artışın lif çapındaki daralmayı desteklediğini gözlemlemiş ve yüklü jet üzerindeki elektrostatik itme kuvvetinin artması sebebiyle artan voltaj ile lif çapının azaldığını göstermişlerdir. [55-57].

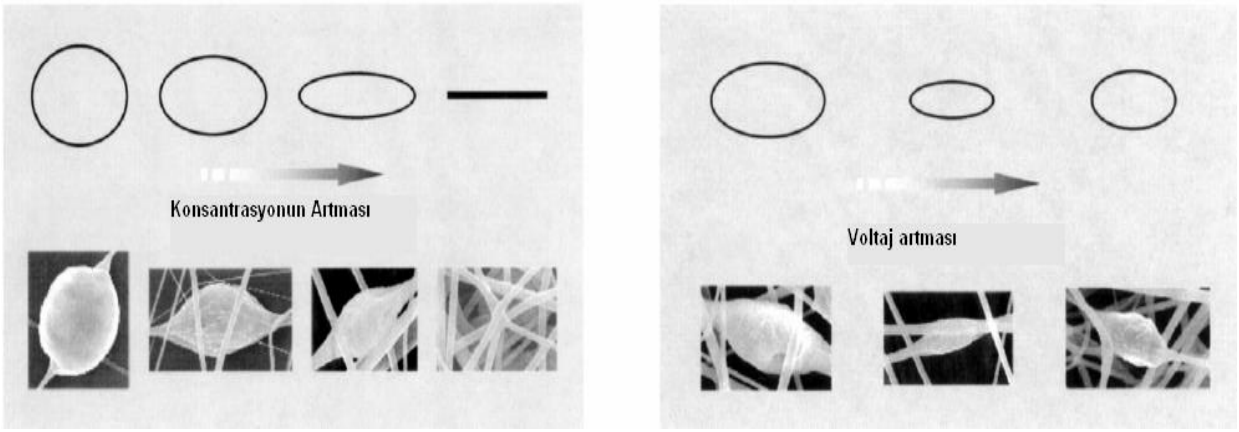
Konsantrasyon arttığında viskozite arttığından lif çapı artar. Düşük viskoziteli çözeltilerden üretilen nanolifler daha ince ve daha kısa olma eğilimindeyken, yüksek viskoziteli çözeltilerden elde edilen nanolifler nispeten süreklidir. Çözelti viskozitesi polimer konsantrasyonu ile orantılı olduğundan polimer konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa, üretilen nanolif çapları da daha büyük olacaktır [8, 46].

Fong, daha yüksek polimer konsantrasyonunun daha az boncuk ile sonuçlandığını fark etmiştir. Ayrıca, bir polimer çözeltisine bir miktar dolgu malzemesinin eklenmesi de boncuksuz liflerle sonuçlanabilir. Nano ölçekli dolgu maddelerini polimer çözeltisine dahil etme düşüncesi, elektrospinleme için organik ve inorganik malzemelerin kompozit bir çözeltisini hazırlamak için elektrospin kompozit nanolifleri için genişletilmiştir. Bu nedenle, daha düzgün boncuksuz nanoliflerin oluşumuna yol açmak için sonunda polimer zincir dolaşmalarını artıran bir çözeltinin viskozitesini artırmak için optimal bir konsantrasyon gereklidir [8].

Lee'nin çalışmasında, polistren polimeri kullanarak farklı türden çözücülerin boncuklu yapı oluşumuna etkisini incelemiştir [58]. Polimer konsantrasyonu arttıkça boncuk sayısının azaldığı ve yüksek konsantrasyonlarda boncuk oluşumunun meydana gelmediği gözlenmiştir. Bu durumu da daha fazla boncuk oluşumuna sebep olan daha düşük yüzey gerilimi ile açıklamışlardır. Polimer konsantrasyonu arttığında yüzey gerilimi de artacağından daha az boncuk oluşumuna sebep olur [55].
Şekil 2.6 ve 2.7'de işlem parametrelerine bağlı boncuk yapı ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Viskozite-boncuklu yapı ilişkisi [46]



Şekil 2.7 Konsantrasyon ve voltaj artışında boncuk şekilleri [46]

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Deneysel Kurulum

Çalışmada nanoliflerin sentezi için Sigma-Aldrich firmasından temin edilen PAN (poliakrilonitril, $C_2H_3NO_5$) polimeri kullanılmıştır. Molekül ağırlığı 150,000 g/mol'dür. PAN (poliakrilonitril) polimeri üstün özellikleri ve çok yönlü uygulamalara açık olması nedeni ile üzerinde sıkça araştırma yapılan ve çalışılan polimerlerden birisidir. Bu yüzden PAN polimeri seçilmiştir. Polimer çözeltilerinin hazırlanmasında Chemsolute firmasından temin edilen DMF (N,N-dimetilformamid, C_3H_7NO) çözücü olarak kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada kenevir ($C_{21}H_{30}O_2$) kullanılmıştır. Kullanılan kenevir, yasal üretim izni olan 3A Girişim Tarım Eğitim Danışmanlık Sanayi Ticaret Limited Şirketi, Atakum, Samsun'dan fatura karşılığı temin edilmiştir. Nanolifler, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi bir elektrospinning cihazı kullanılarak üretilmiştir. Kenevir tohumu, kenevir lifi ve kenevir sapını nano boyuta indirmek için Selçuk Üniversitesi Lazer Spektroskopi Laboratuvarında bulunan ball milling cihazı kullanılmıştır. Ball milling cihazı herhangi bir katı numuneyi mekanik olarak parçalayarak çok küçük ebatlara getirebilmektedir. Şekil 3.1, kenevir numunelerinin işlenmeden önceki görünümlerini; şekil 3.2 ise işlendikten sonraki görünümlerini göstermektedir.

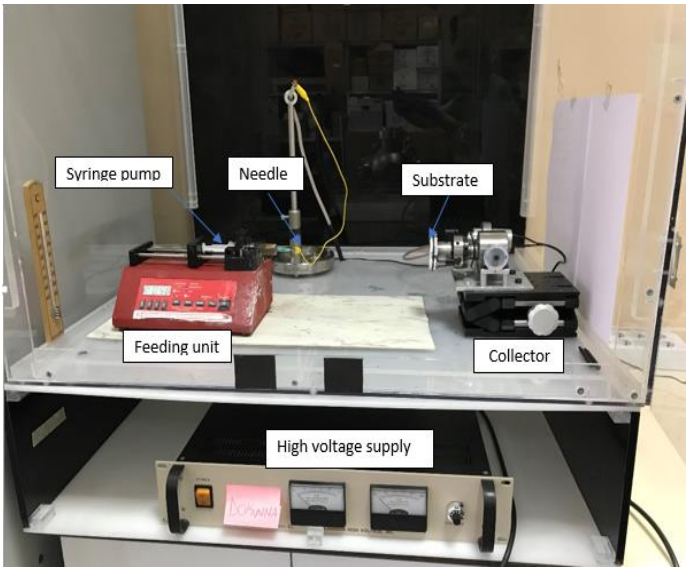


Şekil 3.1 a) Kenevir tohumu b) Kenevir lifi c) Kenevir sapının işlenmeden önceki görünümleri



Şekil 3.2 a) Kenevir tohumu b) Kenevir lifi c) Kenevir sapının ball milling işleminden sonra toz haline getirilmiş görünümleri

Kenevir numuneleri hassas terazide tartılarak istenilen kütlelerde ölçüm alınmıştır. Belirlenen kütlelerde (her bir çözelti numunesi için 0,2 gram) alınan numuneler farklı oranlarda homojen çözeltiler (%6, %7 ve %8 konsantrasyonlarda hazırlanan PAN çözeltisi içine ilave edilerek) hazırlanması için manyetik karıştırıcı ile ısıtılarak karıştırılmıştır.



Şekil 3.3 Elektrospinning sisteminin deneysel kurulumu

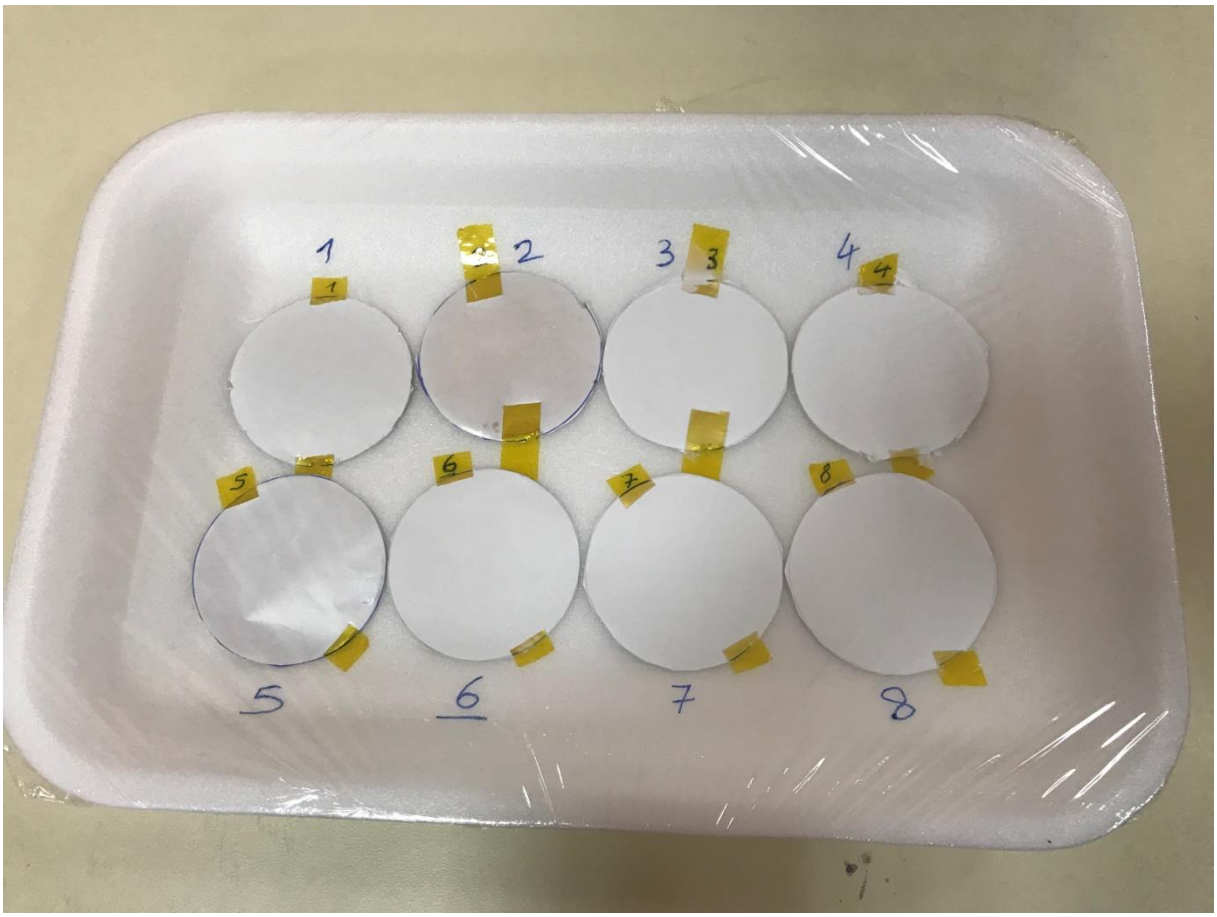
Nanolif üretiminde kullanılan elektrospinning cihazı 3 ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar besleme ünitesi (şırınga pompası) yani hazırlanan solüsyonun yerleştirildiği şekil 3.3'te sol

tarafta bulunan kırmızı cihaz, sağ tarafta bulunan toplayıcı / kollektör (döner alüminyum levha) ve alt tarafta bulunan yüksek gerilim güç kaynağıdır. Polimer solüsyonunu kontrollü bir şekilde toplayıcıya ulaştırmak ve şırınga pompası (NEW ERA) ile nanolifleri üretmede gereken yüksek voltajı sağlamak için yüksek voltajlı güç kaynağı (Glassman Yüksek Voltaj Serisi EL) kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan güç kaynağı maksimum 50 kV'a kadar DC güç uygulayabilmektedir. Karakterizasyon analizleri için nanolif üretiminde 10 ila 25 kV arasında DC güç seçilmiştir. Toplayıcı plakanın ölçülerine uygun olarak kesilen alüminyum folyo, döner plaka üzerine yerleştirilerek nanoliflerin bu yüzeye toplanması sağlanmıştır. Toplayıcı (alt tabaka) olarak 5 cm çapında alüminyum levha kullanılmıştır. Alüminyum levha kullanılmasının nedeni, şırınga pompasının iğnesi ile kollektör plakası arasına belirli bir mesafede yüksek gerilim uygulandığından, oldukça büyük bir elektrik alanının (yaklaşık 75000 V/m) oluşması için ve bunu iletmek için bir iletkene ihtiyaç duyulmasıdır. Nanolif sentezi için DMF (N,N-dimetilformamid) içinde %6, %7 ve %8`lik konsantrasyonlarda 3 farklı PAN (poliakrilonitril) çözeltisi hazırlanmıştır. %6`lık konsantrasyonda çözelti hazırlamak için 0,6 gram PAN polimeri ve 9,4 gram DMF karıştırılmış, %7`lik konsantrasyonda çözelti hazırlamak için 0,7 gram PAN polimeri ve 9,3 gram DMF karıştırılmış, %8`lik konsantrasyonda çözelti hazırlamak için 0,8 gram PAN polimeri ve 9,2 gram DMF karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltiler ağızları kapatılarak homojenizatör cihazında 60°C'de ısıtılarak, 2,5 devirde 2 saat karıştırılmış ve bir gün bekletilmiştir. İlk aşamada hazırlanan PAN polimer solüsyonu 800 µm iğne çapına sahip plastik bir şırıngaya çekildikten sonra şırınga pompasına yerleştirilmiş ve besleme hızı 0,5 mL /saat olarak ayarlanmıştır. İstenilen besleme oranına ayarlanan şırınga pompası çözeltinin sabit bir hızla nanolif çekim alanına sevk edilmesini sağlamıştır. Daha sonra elektrospinning sistemi kullanılarak nanolif üretimi için yüksek voltaj uygulanmıştır. Üretilen nanolifler, elektrospinning yöntemi ile alüminyum levhaya biriktirilmiştir. Biriktirme süreleri 1 ila 15 dakika arasında değiştirilmiştir. Yüksek voltaj güç kaynağından 10, 15, 20, 25 kV DC güç uygulanmıştır. Besleme ünitesi ile toplayıcı arasındaki mesafe 5 ila 20 cm arasında değiştirilmiştir. Bu değişen parametreler ile çeşitli çap ve kalınlıklarda nanolifler üretilmiştir. Çalışmanın diğer aşamasında aynı oranlarda hazırlanan PAN polimer çözeltilerine 0,2 gram kenevir numuneleri ilave edilip aynı aşamalar tekrar edilerek kenevir katkılı nanolifler üretilmiştir. Üretilen nanoliflerin optik özellikleri UV-Vis-NIR spektroskopisi ile ölçülmüştür. Kenevir nanoliflerinin yüzey morfolojisi ve kesiti, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) görüntüleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Üretilen

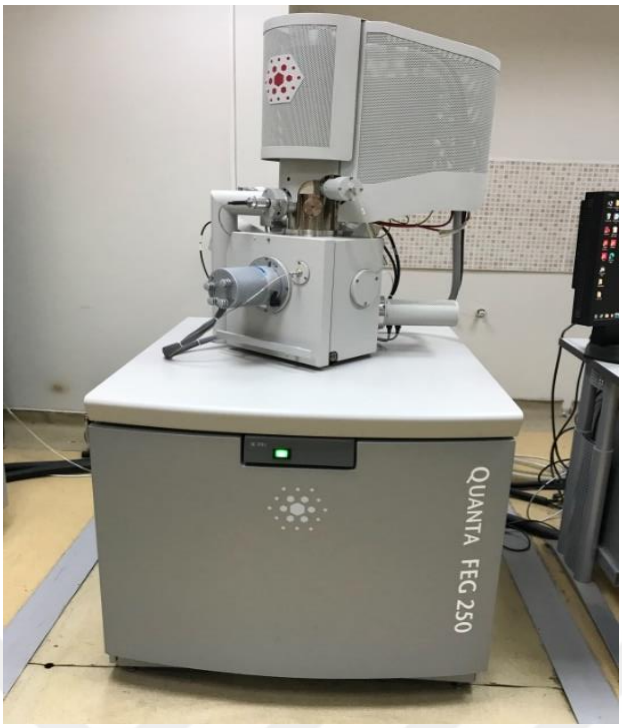
kenevir nanoliflerinin kimyasal olarak aktif bağları, Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca üretilen kenevir nanoliflerinin termal özellikleri Termogravimetrik Analiz (TGA) ölçümleri ile karakterize edilmiştir.

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi nanolifler 5 cm çapında yuvarlak bir alüminyum folyo üzerine biriktirilmiştir. Liflerin yoğunluğuna (biriktirme süresine) bağlı olarak liflerin rengi beyaza doğru gitmektedir. İstenilen parametrelerde nanolif üretimi tamamlandıktan sonra, alüminyum folyolar toplayıcı plaka üzerinden alınarak analizleri yapılmak üzere muhafaza edilmişlerdir.



Şekil 3.4 Kenevir nanoliflerin alüminyum folyo üzerine elektrospinning yöntemi ile biriktirildikten sonraki görünümü

SEM analizleri için şekil 3.5'te gösterilen Dicle Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (DÜBTAM) bulunan FEI marka Quanta FEG 250 model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.



Şekil 3.5 SEM cihazının laboratuvardaki görünümü (Dicle Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi (DÜBTAM))

Her bir numuneden küçük bir parça kesilerek SEM analizi yapılmıştır. Bazı numunelerin SEM görüntüleri çok net çıkmamış olup, SEM görüntülerinin net çıkmamasının nedeninin yüzeyde asılı kalan bazı nanoliflere SEM dedektörünün yeterince odaklanamamasından dolayı oluştuğu belirlenmiştir.

3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İlk elektron mikroskobu 1931'de yapılmış ve o zamandan bu yana geliştirilmiştir. Teknik, elektronlar ve analiz edilen numuneyi oluşturan atomlar arasındaki etkileşimlerden yararlanır. Bir elektrik voltajı, kaynak tarafından yayılan elektronları hızlandırır ve manyetik lensler onları numuneye doğru yönlendirir. Gaz molekülleri ile çarpışmalar sinyali bozar, bu nedenle tüm kurulum, özellikle elektron kaynağı ve numune tutucuyu korumak için özel bir vakumlu bölme içine kapatılır. Ayrıca hazne kontaminasyona, titreşime veya gürültüye karşı koruma sağlar.

Numunenin dokusuna ve bileşimine bağlı olarak, elektronlar numuneyle farklı şekilde etkileşir. Yansıyan, saçılan, iletilen ve hatta yeni üretilen elektronlarda bulunan bilgiler kullanılarak yüksek büyütmeli görüntüler oluşturulabilir. Modern elektron mikroskoplarının çözme gücü, atomik seviyeye ulaşan bir nanometrenin önemli ölçüde altında olabilir. Bu nedenle, yöntem esas olarak klasik ışık mikroskopları tarafından görüntülenemeyen nesnelerin veya yapıların görüntülenmesi için uygulanır.

SEM'de elektron ışını, numuneyi bir raster modelinde tarar. Elektronlar numuneden geçmek yerine yüzeye yansır ve hatta elektronları serbest bırakarak numune içindeki atomları iyonize eder. Bu sözde ikincil elektronlar ve geri saçılan elektronlar, nihai görüntüyü oluşturmak için sinyal görevi görebilir. SEM görüntüleri, bir numunenin morfolojisini temsil eder ve ayrıca numune yüzeyinin yarı-üç boyutlu görünümlerini yeniden oluşturabilir. Bu nedenle, teknik temel olarak yüzey özelliklerinin yüksek çözünürlüklü bir resmini elde etmek için kullanılır ve numune içindeki farklı kimyasal elementlerin dağılımı hakkında sonuçlara varılmasını sağlar. Modern SEM taraması, bir nanometreden daha iyi bir çözümleme gücüne ulaşır.

3.3 Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi

FTIR analizi, bir malzeme tarafından absorbe edilen kızılötesi bölgedeki dalga boylarının aralığını ölçer. Bu, bir malzemenin numunelerine kızılötesi radyasyonun (IR) uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Numunenin çeşitli dalga boylarında kızılötesi ışığın enerjisini emme yeteneği, malzemenin moleküler bileşimini ve yapısını belirlemek için ölçülür.

Bilinmeyen malzemeler, spektrumun bir referans spektrum veri tabanına karşı aranmasıyla tanımlanır. Malzemeler, ilgili bileşenin bilinen konsantrasyonlarının standart bir eğrisi oluşturulabildiği sürece, FTIR malzeme karakterizasyon tekniği kullanılarak nicelenebilir. FTIR analizi, bilinmeyen malzemeleri, polimerler içindeki katkı maddelerini, bir malzeme üzerindeki yüzey kontaminasyonunu ve daha fazlasını belirlemek için kullanılabilir. Testlerin sonuçları, bir numunenin moleküler bileşimini ve yapısını belirleyebilir. İçine kodlanmış tüm IR frekansları ile bir optik sinyal üreterek örnekleri tanımlamak için interferometre adı verilen basit bir cihaz kullanılır. Sinyal hızlı bir şekilde ölçülebilir. Ardından, Fourier dönüşümü olarak bilinen matematiksel bir teknik uygulanarak sinyalin kodu çözülür. Bu bilgisayar tarafından oluşturulan süreç daha sonra spektral bilginin bir haritalamasını üretir. Ortaya çıkan grafik, daha sonra tanımlama için referans kitaplıklarına karşı aranan spektrumdur.

Bilinmeyen parçacıkların, kalıntıların, filmlerin veya liflerin hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde tanımlanmasını sağlar. FTIR testi ayrıca bazı polimerlerdeki oksidasyon seviyelerini veya diğer polimerlerdeki sertleşme derecelerini ölçebilir ve ayrıca malzemelerdeki kirleticileri veya katkı maddelerini ölçebilir.

3.4 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik Analiz (TGA); numune, kontrollü bir atmosferde kontrollü bir sıcaklık programına tabi tutulurken, kütlesinin sıcaklık veya zamanın bir fonksiyonu olarak izlendiği bir tekniktir. TGA, bir malzemenin ısıtılması üzerine ağırlığının azaldığı bir tekniktir.

Bir TGA, hassas bir terazi tarafından desteklenen bir numune tepsisinden oluşur. Bu tepsi bir fırında bulunur ve deney sırasında ısıtılır veya soğutulur. Numunenin kütlesi deney sırasında izlenir. Numune temizleme gazı numune ortamını kontrol eder. Bu gaz, inert veya numunenin üzerinden akan ve bir egzozdan çıkan reaktif bir gaz olabilir.

3.5 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

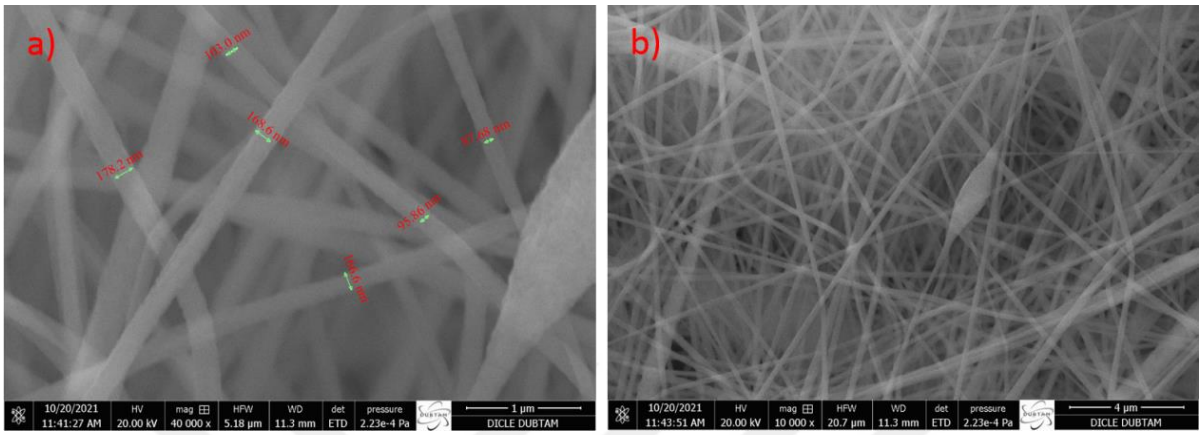
Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), yüzey topografisini angstrom seviyesinden 100 μm boyutlarına kadar ölçebilen bir tekniktir.

Bu tekniğin en büyük avantajı, numunenin incelenmesinde iletken olma şartı istenmemesidir. Böylelikle, biyolojik numune incelemelerinde de kolaylıkla kullanılabilmektedir. Elektron mikroskoplarının tersine hava ve sıvı içinde numunelere bakabilmektedir.

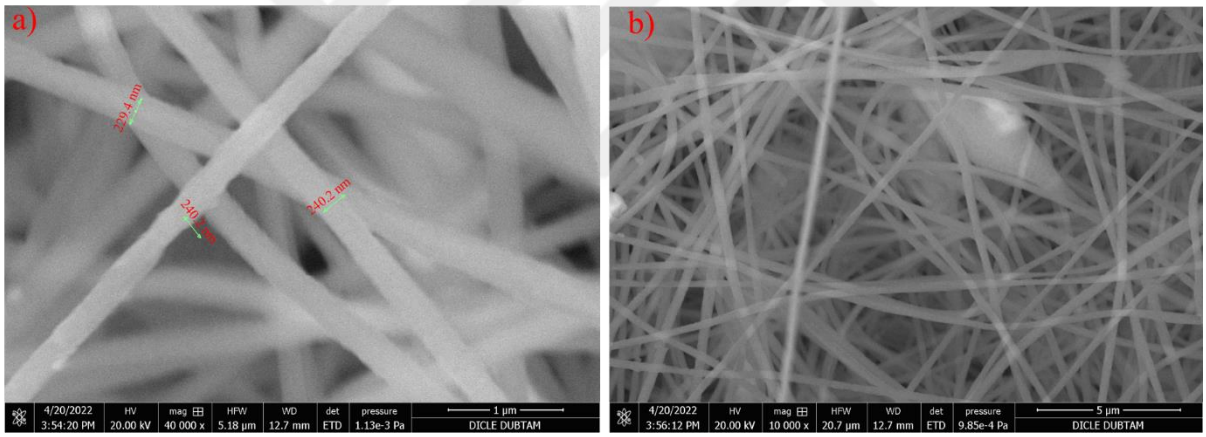
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 SEM Görüntüleri

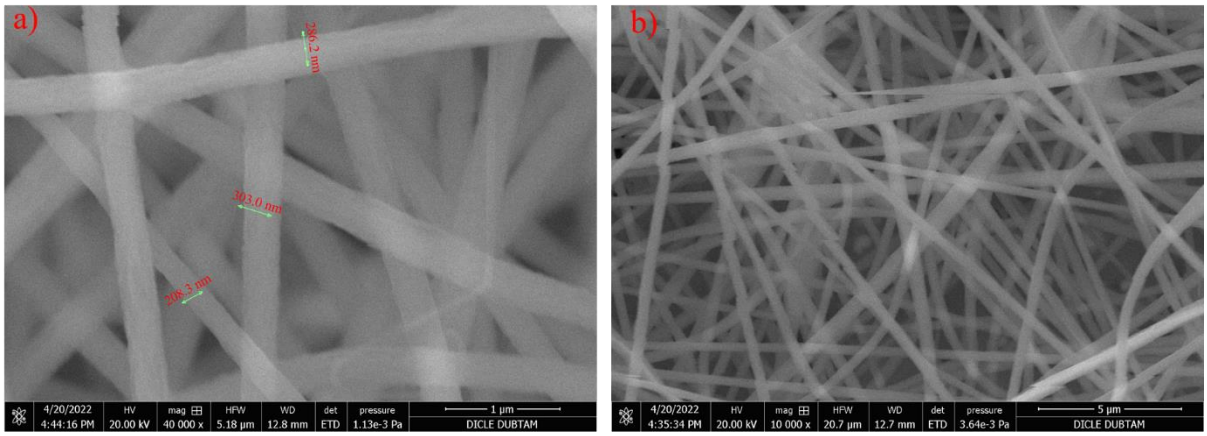
Şekil 4.1 - 4.12'de üretimi gerçekleştirilen nanoliflerin bazı SEM görüntülerine yer verilmiş, diğer SEM görüntüleri ise tezin ekler kısmına eklenmiştir.



Şekil 4.1 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

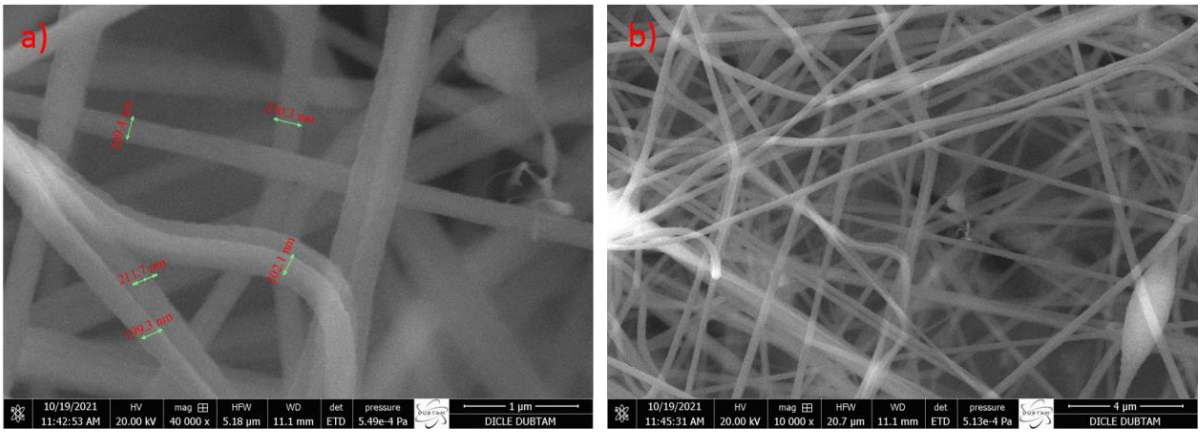


Şekil 4.2 % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

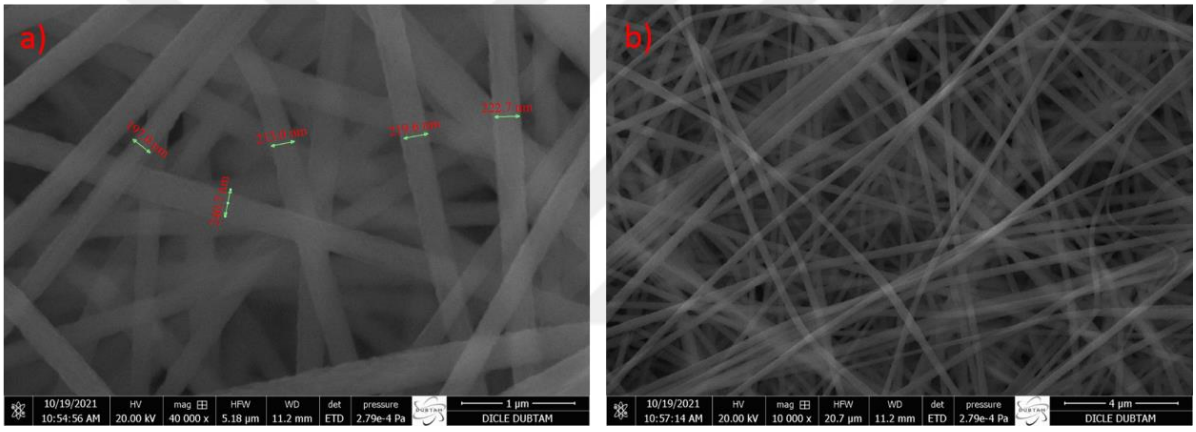


Şekil 4.3 % 8 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

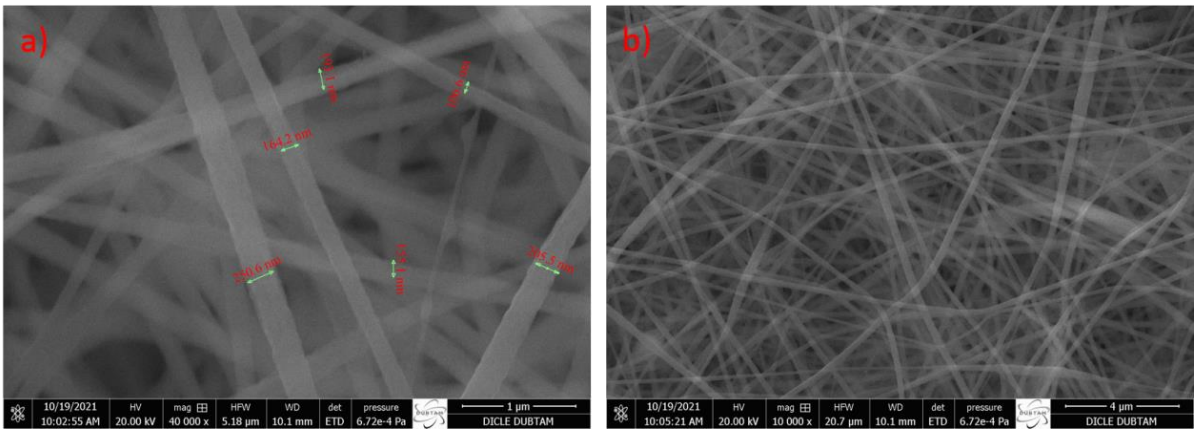
Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 karşılaştırıldığında; 15 cm mesafede 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak %6, %7 ve %8 konsantrasyonda hazırlanan kenevir sapı katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 132.94 nm, 234.80 nm ve 256.05 nm olduğu görülmektedir. Bu da konsantrasyon arttıkça lif çapının arttığını ve liflerin daha düzgün yapıda oluştuğunu göstermektedir. Tersi durumda, %8 konsantrasyondan %6 konsantrasyona doğru konsantrasyon azaldığında nanoliflerin inceldiği ancak hata olarak nitelendirilen boncuk yapıların oluştuğu görülmektedir. Boncuk oluşmasının nedeni kaynak özetlerinde görselleriyle birlikte ayrıntılı olarak belirtilmiş olup, konsantrasyon ve voltaj parametrelerinin değişimine bağlı olarak düşük yüzey gerilimi sonucunda nanolif yapısında hata olarak nitelendirilen yapıların meydana gelmesidir. Elektrospinning işleminde besleyici ile toplayıcı plaka arasında yapılan ayarlamalar genellikle elektrik alan gücünü arttırmak, oluşan kararsızlık hallerini en aza indirgeyebilmek, nanoliflerin toplayıcı plakaya istenilen şekilde toplanmasını sağlamak ve sürekli nanolifler üretebilmek amacı ile yapılmıştır.



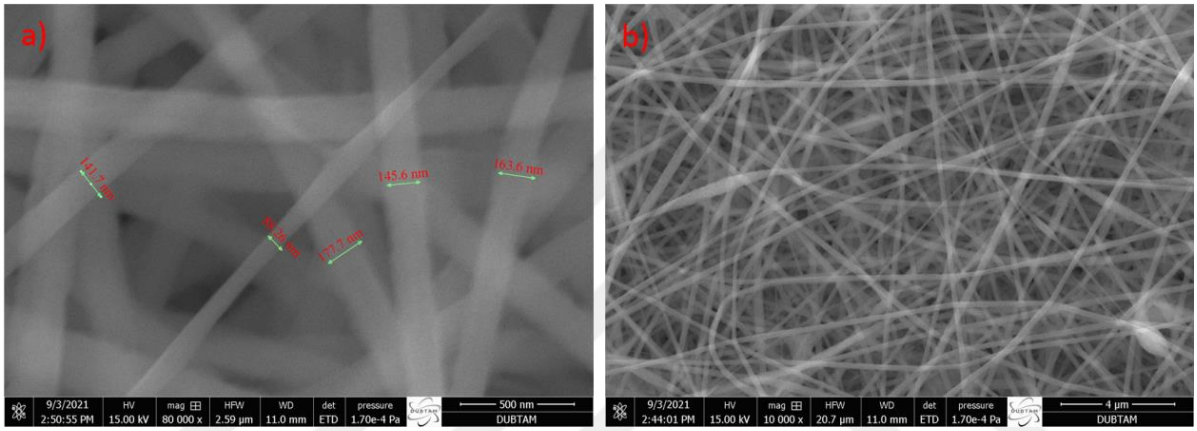
Şekil 4.4 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



Şekil 4.1 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

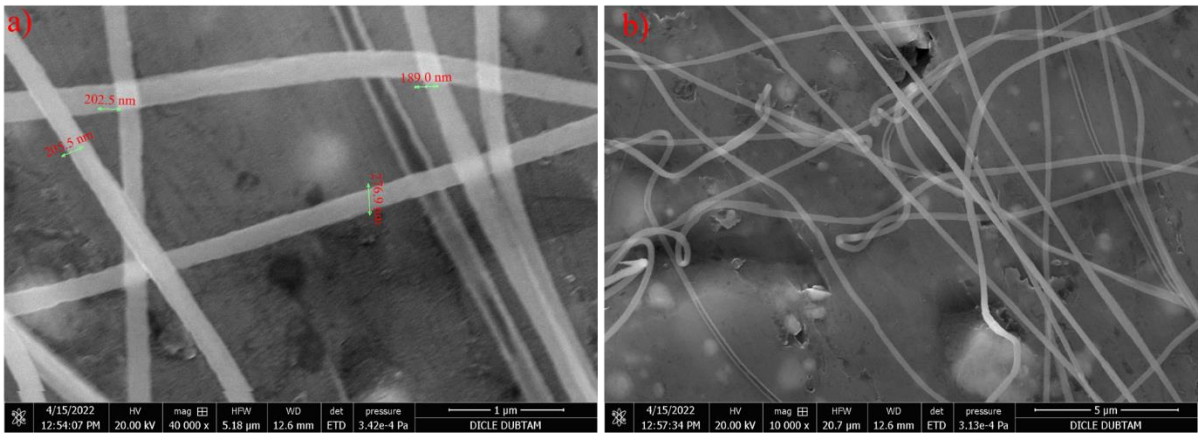


Şekil 4.6 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

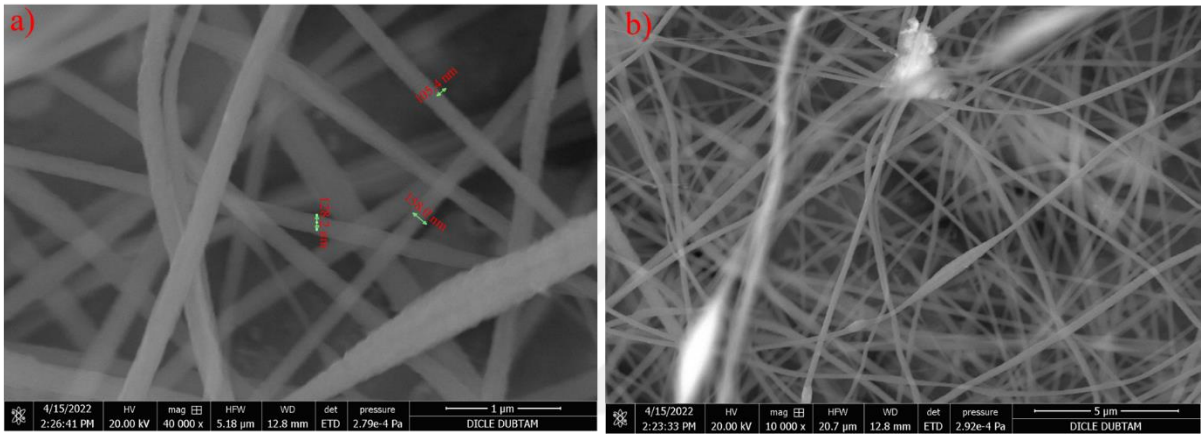


Şekil 4.2 %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7 karşılaştırıldığında; %6 konsantrasyon, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 5 cm, 10 cm, 15 cm ve 20 cm mesafede üretilen PAN esaslı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 224.80 nm, 218.85 nm, 178.60 nm ve 132.98 nm olduğu görülmektedir. Bu da şırınga ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe arttıkça lif çapının inceldiğini göstermektedir.

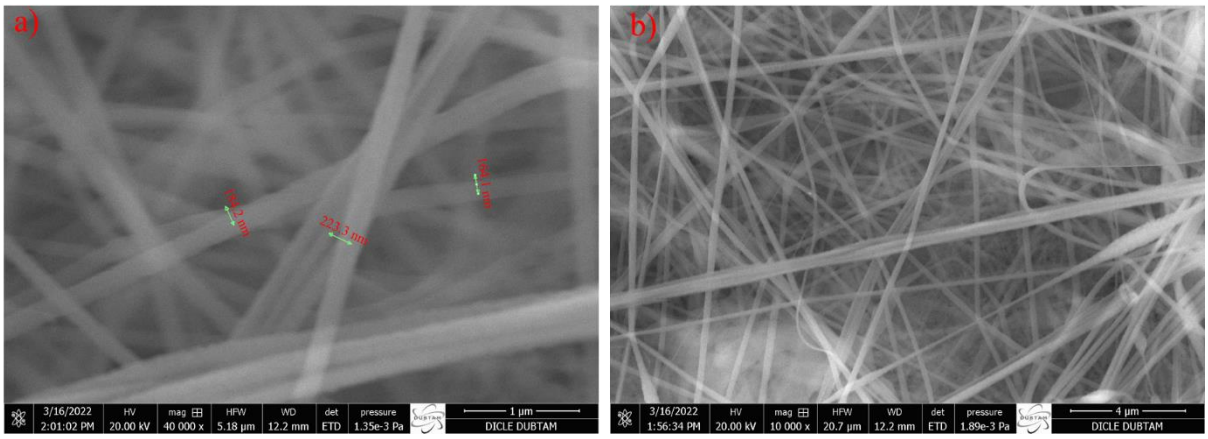


Şekil 4.3 % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

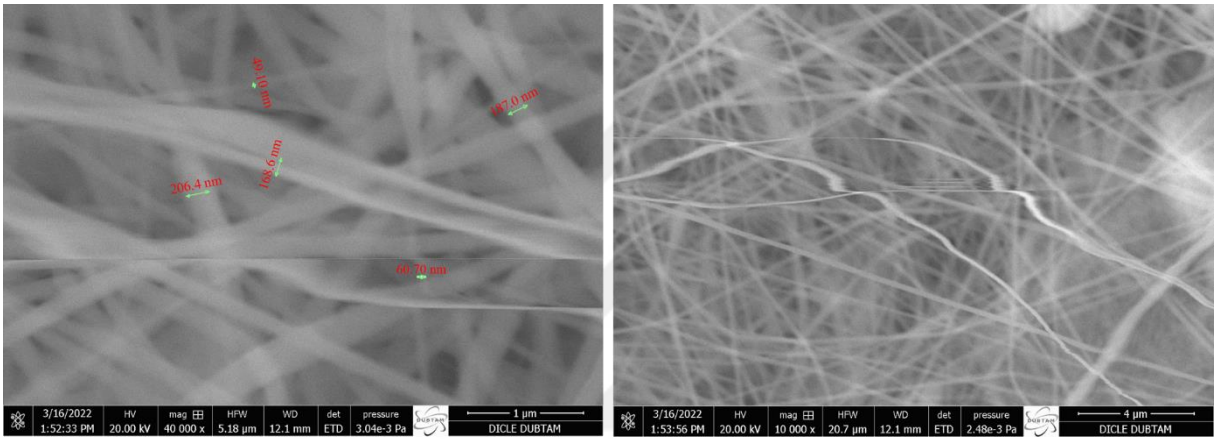


Şekil 4.9 % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

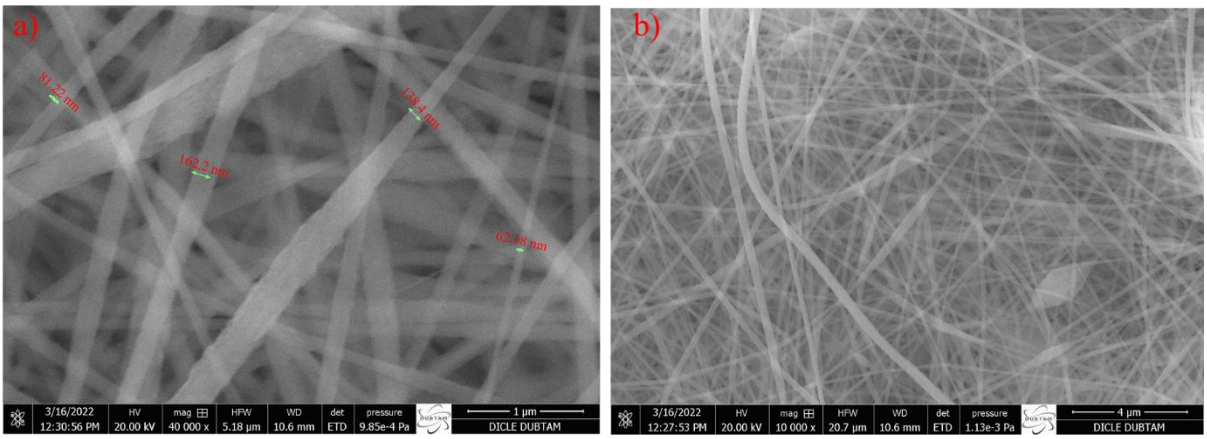
Şekil 4.8 ve 4.9 karşılaştırıldığında; %6 konsantrasyon, 20 cm mesafe ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 15 kV ve 25 kV voltaj uygulanarak üretilen kenevir lif tozu katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 232.95 nm ve 131.7 nm olduğu hesaplanmaktadır. Bu da voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflerin inceldiğini göstermektedir.



Şekil 4.10 % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



Şekil 4.11 % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



Şekil 4.12 % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12 karşılaştırıldığında; %6 konsantrasyon, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 05 cm, 10 cm ve 15 cm mesafede üretilen kenevir tohumu katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 193.7 nm, 127.75 nm ve 112.19 nm olduğu

hesaplanmaktadır. Bu da şırınga ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe arttıkça lif çapının inceldiğini göstermektedir.

Tablo 4.1 – 4.4'te çalışmada kullanılan parametrelere bağlı üretilen nanoliflerin çapları gösterilmektedir.

Tablo 4.1 % 6, 7 ve 8 PAN için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı ve ortalama lif çapı değerleri

Numune	Mesafe (cm)	Gerilim (kV)	Biriktirme süresi (dk)	Lif Çapı (nm)	Ortalama Lif Çapı (nm)
PAN(%6)	20	15	1	158.5-221.8	190.15
			5	131.2-209.5	170.70
			10	106.6-202.3	154.45
			15	137.6-220.9	179.25
		20	1	131.0-238.4	184.70
			5	121.5-191.7	156.60
			10	88.26-177.7	132.98
			15	167.5-190.8	179.15
		10	10	158.8-209.2	184.00
		25	10	189.9-236.1	213.00
	15	20	1	156.9-198.4	177.65
			5	118.0-214.4	166.00
			10	106.6-250.6	178.60
			15	95.86-223.3	159.55
	10		10	197.0-240.7	218.85
	5			199.3-250.3	224.80
PAN(%7)	20	15	1	159.9-258.5	209.20
			5	152.2-230.7	191.45
			10	88.71-292.2	190.46
			15	163.1-263.8	213.45
		20	1	160.3-300.8	230.55
			5	114.7-198.5	156.60
			10	-	
			15	142.3-307.7	225.00
		10	10	241.8-301.6	271.70
		25	10	263.1-366.5	314.80
	15	20	1	215.8-242.9	229.35
			5	214.7-298.8	256.75
			10	244.4-258.2	251.30
			15	128.9-215.5	172.20
	10		10	-	-
	05			169.2-358.0	263.60
PAN(%8)	20	25	10	249.6-303.5	276.55
		20		-	-
		15		47.21-223.0	135.11
		10		286.3-315.4	300.85
	15	20		271.5-357.5	314.50
	10			210.1-397.1	303.60
	05			209.8-239.2	224.50

Tablo 4.1'de 15 cm mesafede 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak %6, %7 ve %8 konsantrasyonda hazırlanan PAN esaslı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 178.60 nm, 251.30 nm ve 314.50 nm olduğu görülmektedir. Bu da konsantrasyon arttıkça lif çapının arttığını göstermektedir.

%6 konsantrasyon, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 5 cm, 10 cm, 15 cm ve 20 cm mesafede üretilen PAN esaslı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 224.80 nm, 218.85 nm, 178.60 nm ve 132.98 nm olduğu görülmektedir. Bu da şırınga ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe arttıkça lif çapının inceldiğini göstermektedir.

%6 konsantrasyon, 20 cm mesafe ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 10 kV, 15 kV, 20 kV ve 25 kV voltaj uygulanarak üretilen PAN esaslı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 184.00 nm, 154.45 nm ve 132.98 nm ve 213.00 nm olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda, voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflere belli bir noktaya kadar incelme sağladığı, optimum voltaj değerinin üzerine çıkılması durumunda tekrar kalınlaşmasına yol açtığı değerlendirilmektedir.

Tablo 4.2 % 6, 7 ve 8 PAN+Kenevir sapı için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı ve ortalama lif çapı değerleri

Numune	Mesafe (cm)	Gerilim (kV)	Biriktirme süresi (dk)	Lif Çapı (nm)	Ortalama Lif Çapı (nm)
PAN+Kenevir Sapı (%6)	20	25	1	163.3-196.6	179.95
			5	104.7-213.3	159.00
			10	103.0-326.5	214.75
			15	90.49-193.1	141.80
		20	1	123.1-207.8	165.45
			5	103.2-211.3	157.25
			10	148.1-221.2	184.65
			15	170.8-238.4	204.60
		15	1	-	-
			5	142.3-193.3	167.80
			10	116.4-219.6	168.00
			15	131.0-189.3	160.15
		10	1	125.5-181.6	153.55
			5	91.74-181.6	136.67
			10	34.39-157.5	95.95
			15	114.9-211.7	163.30
	15	20	1	74.04-205.3	139.67
			5	111.6-276.6	194.10
			10	87.68-178.2	132.94
			15	119.5-203.9	161.70
	10		1	107.9-275.5	191.70
			5	101.4-187.4	288.80
			10	182.2-265.8	224.00
			15	151.6-199.3	175.45
	05		1	87.68-157.9	122.79
PAN+Kenevir Sapı (%7)	20	25	10	149.8-196.6	173.2
		20		141.6-229.7	185.65
		15		167.0-169.2	168.10
		10		148.4-209.1	178.75
	15	20		229.4-240.2	234.80
	10			170.8-263.4	217.10
	05			93.70-207.8	150.75
PAN+Kenevir Sapı (%8)	20	25		219.6-301.1	260.35
		20		260.6-354.5	307.55
		15		230.2-345.8	288.00
		10		-	-
	15	20		208.3-303.0	256.05
	10			255.9-334.9	295.40
	05			242.9-349.8	295.35

Tablo 4.2'de 15 cm mesafede 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak %6, %7 ve %8 konsantrasyonda hazırlanan kenevir sapı katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının

sırasıyla 132.94 nm, 234.80 nm ve 256.05 nm olduğu görülmektedir. Bu da konsantrasyon arttıkça lif çapının arttığını göstermektedir.

%6 konsantrasyon, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 10 cm, 15 cm ve 20 cm mesafede üretilen kenevir sapı katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 288.80 nm, 194.10 nm ve 157.25 nm olduğu görülmektedir. Bu da şırınga ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe arttıkça lif çapının inceldiğini göstermektedir.

%6 konsantrasyon, 20 cm mesafe ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 10 kV, 15 kV, 20 kV ve 25 kV voltaj uygulanarak üretilen kenevir sapı katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 95.95 nm, 168.00 nm ve 184.65 nm ve 214.75 nm olduğu görülmektedir. Bu da voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflerin yüksek çap dağılımına sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.3 % 6 PAN+Kenevir tohumu için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı değerleri

Numune	**Mesafe (cm)**	**Gerilim (kV)**	**Biriktirme süresi (dk)**	**Lif Çapı (nm)**
PAN+Kenevir Tohumu (%6)	20	15	1	56.53-169.3
			5	82.33-118.0
			10	105.7-139.0
			15	53.32-97.80
		20	1	17.20-137.6
			5	89.61-138.8
			10	84.51-188.9
			15	72.64-196.1
	15	20	1	33.21-180.5
			5	47.69-237.6
			10	62.18-162.2
			15	120.7-175.0
	20	10	10	-
		25		-
	10	20		49.10-206.4
	05			164.1-223.3

Tablo 4.3’te %6 konsantrasyon, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 05 cm, 10 cm ve 15 cm mesafede üretilen kenevir tohumu katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 193.7 nm, 127.75 nm ve 112.19 nm olduğu hesaplanmaktadır. Bu da şırınga ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe arttıkça lif çapının inceldiğini göstermektedir.

%6 konsantrasyon, 20 cm mesafe ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 15 kV ve 20 kV voltaj uygulanarak üretilen kenevir tohumu katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının

sırasıyla 122.35 nm ve 136.705 nm olduğu hesaplanmaktadır. Bu da voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflerin yüksek çap dağılımına sahip olduğunu göstermektedir.

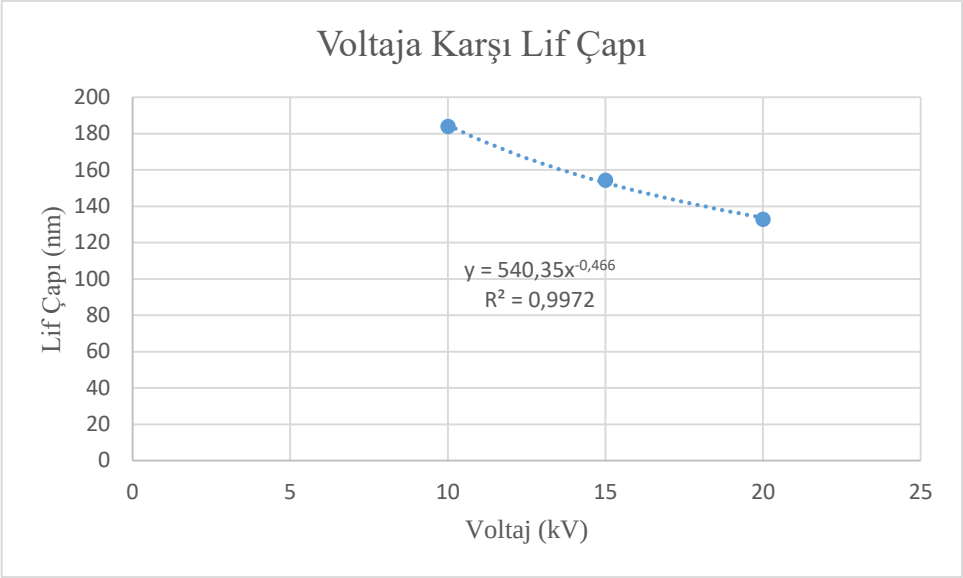
Tablo 4.4 % 6 PAN+Kenevir lif tozu için farklı mesafe, gerilim, biriktirme süresi, lif çapı değerleri

Numune	Mesafe (cm)	Gerilim (kV)	Biriktirme süresi (dk)	Lif Çapı (nm)
PAN+Kenevir Lif Tozu (%6)	20	25	10	105.4-158.0
		20		-
		15		189.0-276.9
		10		-
	15	20		147.9-214.4
	10			114.3-229.7
	05			75.41-245.5

Tablo 4.4'te %6 konsantrasyon, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 05 cm, 10 cm ve 15 cm mesafede üretilen kenevir lif tozu katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 160.455 nm, 172 nm ve 181.15 nm olduğu hesaplanmaktadır. Bu da şırınga ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe arttıkça lif çapının arttığını göstermektedir. Bu durumda ise, bu mesafelerde besleyiciden çıkan jetin toplayıcı plakaya ulaşana kadar kurumadığını, ıslak bir şekilde toplayıcı plakada toplandığını, böylelikle lif çapının kalın olabileceğini değerlendirmek mümkündür.

%6 konsantrasyon, 20 cm mesafe ve 10 dakikalık biriktirme süresi sabit tutularak 15 kV ve 25 kV voltaj uygulanarak üretilen kenevir lif tozu katkılı nanoliflerin ortalama lif çaplarının sırasıyla 232.95 nm ve 131.7 nm olduğu hesaplanmaktadır. Bu da voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflerin inceldiğini göstermektedir.

Yapılan SEM analizlerinin görüntüleri incelenerek farklı parametrelerden elde edilen veriler tablo 4.1-4.4 tablolarında ayrıntılı olarak verilmiştir. Elde edilen verilere göre nanolif boyutları farklı biriktirme sürelerine göre değişmemekte veya çok az değişmektedir. Fakat biriktirme süresi arttıkça nanolif yoğunluğunun ve kesit kalınlığının arttığı yönünde yorumlanabilmektedir. Bunun yanında farklı konsantrasyonlarda yapılan nanolif analizlerinden konsantrasyon değişiminin, lif kalınlığı ve yoğunluğuna büyük ölçüde etki ettiği görülmüştür (Tablo 4.1-4.4). İlave olarak voltaj ve mesafe parametreleri değiştirildiğinde oluşan nanoliflerin morfolojileri değişmiş ve SEM görüntülerinden teyit edilerek tablo 4.1-4.4'te analiz sonuçları sunulmuştur.

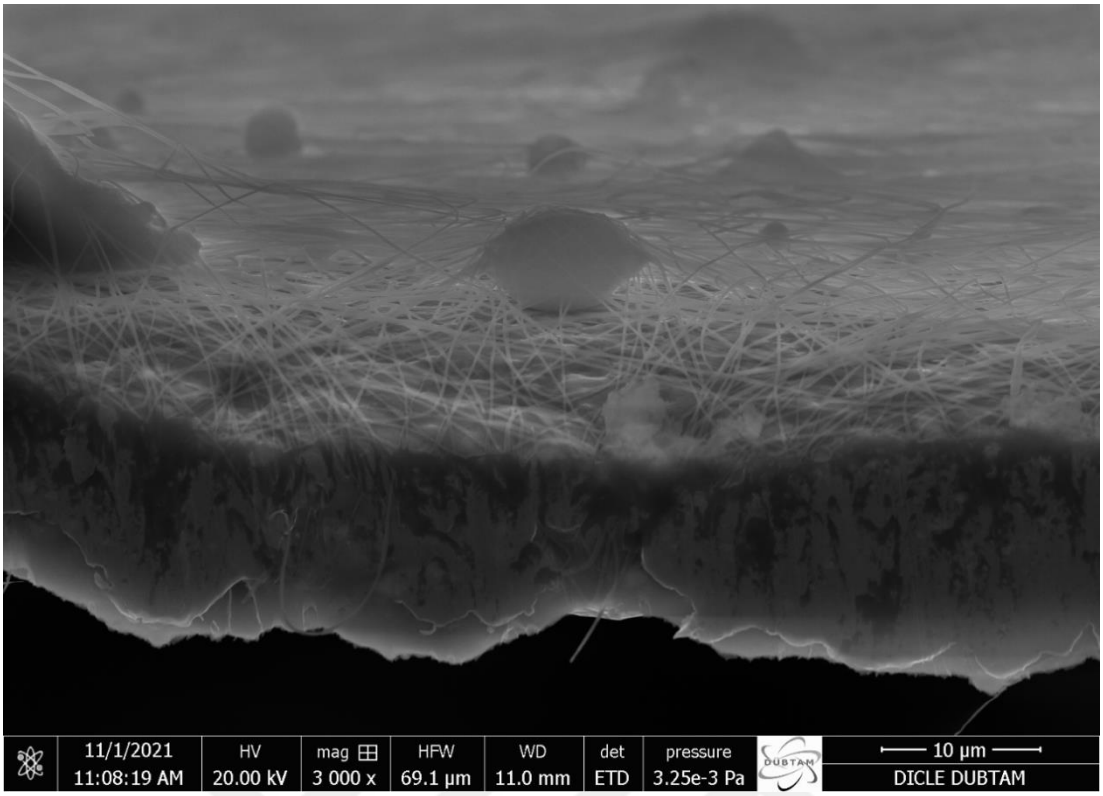


Şekil 4.13 Sabit mesafe 20 cm, sabit konsantrasyon %6 PAN, sabit biriktirme zamanı 10 dk, değişen voltaj 10, 15, 20 kV ile lif çapı değişimi

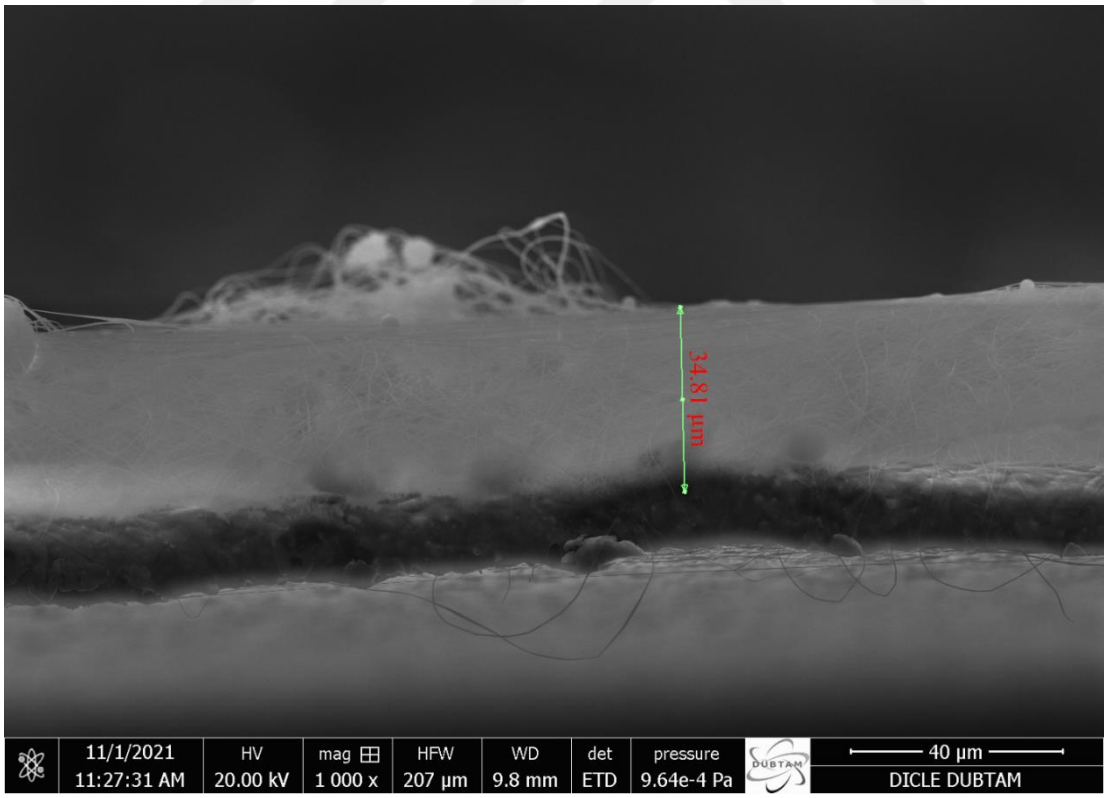
Şekil 4.13, uygulanan voltaj değişiminin lif çapına etkisini göstermektedir. Voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflerin inceldiği görülmektedir.

4.2 SEM Kesit Alanı Görüntüleri

Şekil 4.14 ve 4.15, üretilen % 6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin sırasıyla 1 ve 15 dk biriktirme süresi için enine kesitinin SEM görüntüsünü göstermektedir. 20 cm mesafede, 20 kV voltaj ve biriktirme süresi 1 dakika olan nanolifler, 10 µm yaklaşık kalınlığa sahip bir alüminyum folyo üzerinde üretildiğinden, üretilen kenevir nanoliflerinin kalınlığı 1 dakikalık biriktirme için yaklaşık birkaç µm'dir. 15 dakika biriktirme süresi için oluşan enine kesit görüntüsünde nanoliflerin kalınlığının 34.81 µm olduğu görülmektedir. Bu SEM kesit alanı görüntülerinden, biriktirme süresi arttığında oluşan nanoliflerin hem birikme miktarı hem de yoğunluğunun arttığı teyit edilmiştir.



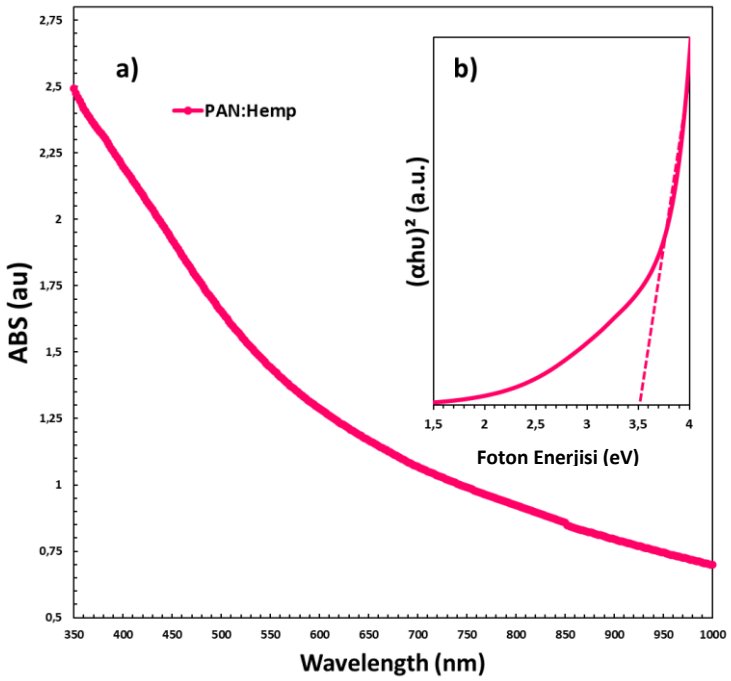
Şekil 4.4 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin enine kesitinin SEM görüntüsü; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi 3000 kat büyütme



Şekil 4.5 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin enine kesitinin SEM görüntüsü; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi 1000 kat büyütme

4.3 UV-Vis-NIR Spektrumu

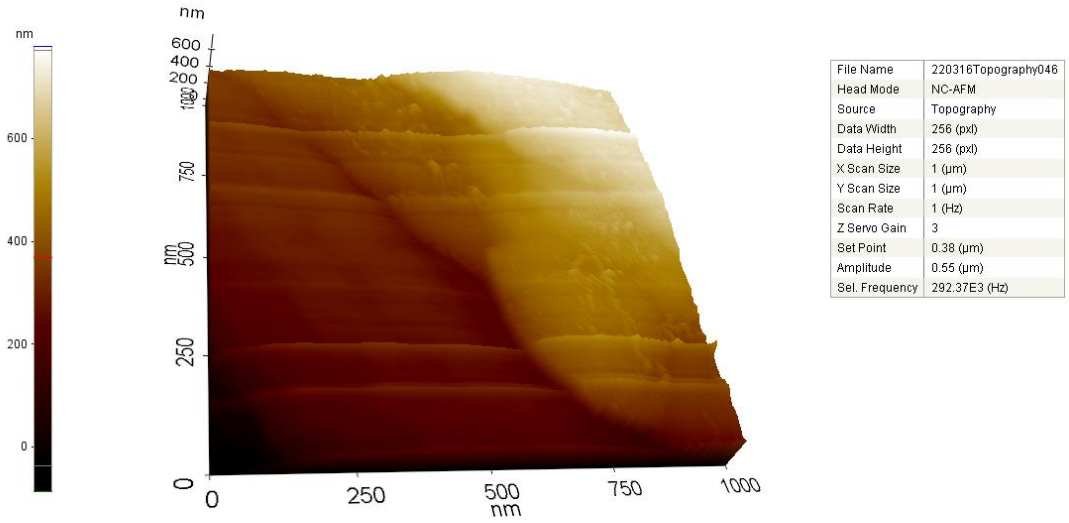
Elde edilen kenevir nanoliflerin optik özellikleri, UV-Vis-NIR spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. Şekil 4.16 a, %6 PAN ve kenevir sapı için üretilen nanoliflerin UV-Vis-NIR absorbans spektrumunu 10 dakikalık biriktirme süresi ve 20 kV uygulanan voltaj ile 20 cm toplayıcı iğne arası mesafe ile göstermektedir. Absorbsiyonun çoğu UV dalga boyu bölgesinde gerçekleşirken; absorbsiyon daha uzun dalga boylarında kademeli olarak azalır. Şekil 4.16 b'de, PAN+kenevir sapı nanoliflerin cam altlık üzerindeki enerji bant aralığı değeri, absorbans verileri kullanılarak ve Tauc denklemleri uygulanarak 3,5 eV olarak hesaplanmıştır [59].



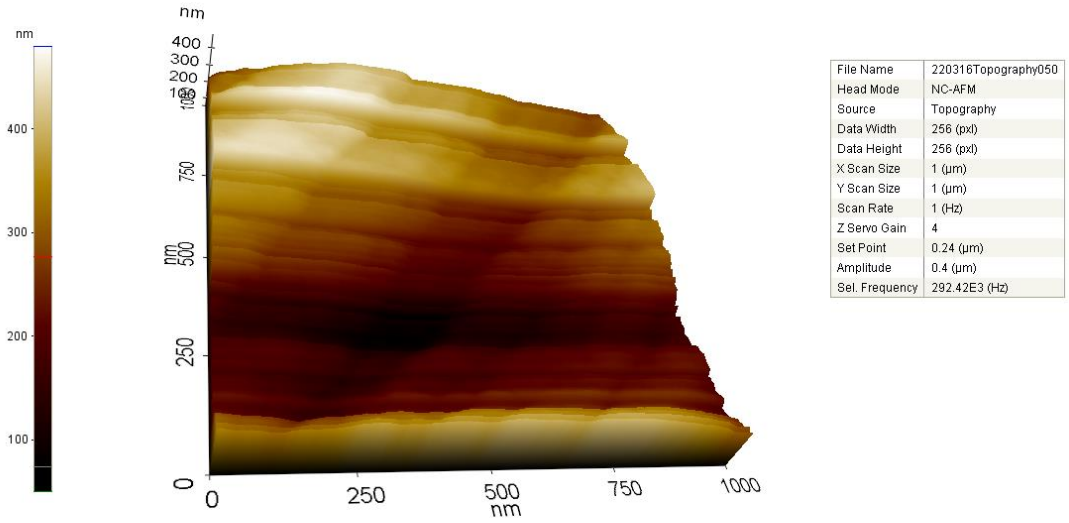
Şekil 4.16 %6 PAN+ kenevir sapı; biriktirme süresi 10 dakika ve 20 cm mesafe ile 20 kV uygulanan gerilime sahip a) UV-Vis soğurma spektrumu ve b) Üretilen nanoliflerin enerji band aralığı spektrumu

4.4 AFM Görüntüleri

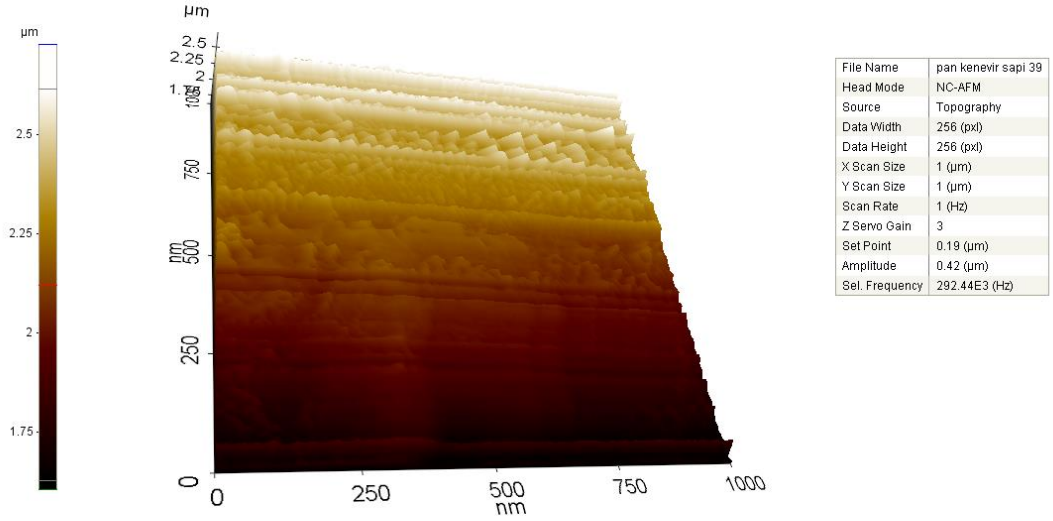
Şekil 4.17-4.20'de %6 PAN, PAN ile kenevir tohumu, PAN ile kenevir sapı ve PAN ile kenevir liflerinin AFM görüntüleri verilmektedir. Görüntülerden anlaşıldığı gibi, üretilen nanoliflerin morfolojileri SEM görüntüleri ile uyuşmakta ve nanoliflerin çapları 17 ile birkaç yüz nanometre arasında değişmektedir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) sonuçlarına destek olmak adına yapılan Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) çalışmaları, lif çapları bakımından SEM ile uyumlu sonuçlar göstermiştir.



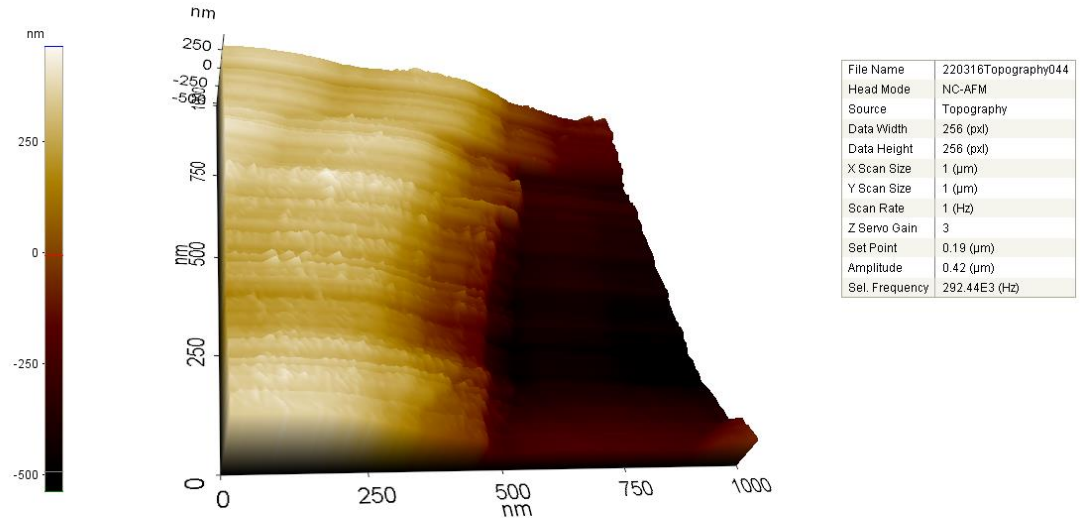
Şekil 4.17 %6 PAN nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi



Şekil 4.18 %6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe,15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi



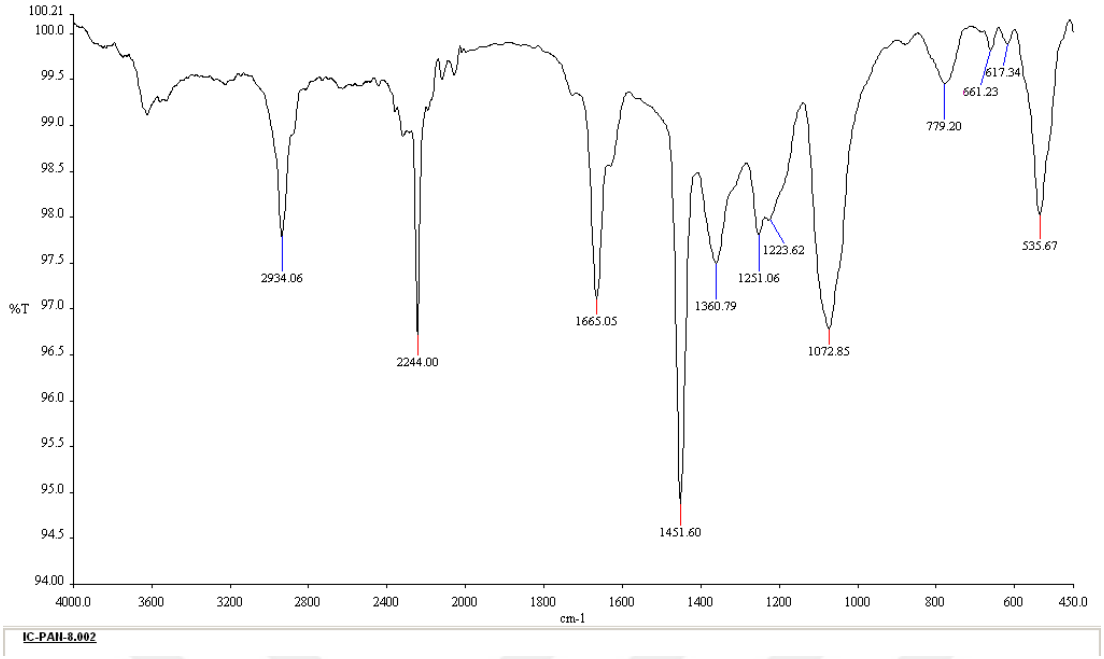
Şekil 4.19 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi



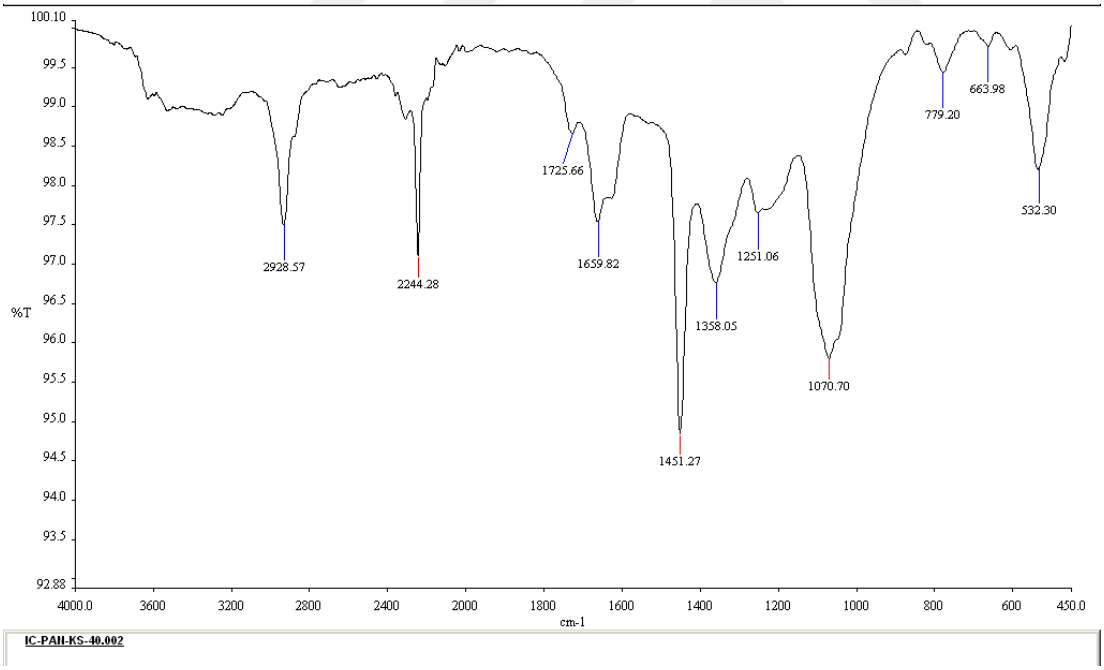
Şekil 4.20 %6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin AFM görüntüleri; 20 cm mesafe,15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi

4.5 FTIR Analizi

Şekil 4.21 ve 4.22, sırasıyla %6 PAN ve %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin FTIR spektrumunu, 20 cm mesafede 15 dakikalık biriktirme süresi ve 20 kV voltaj ile göstermektedir. PAN polimeri ve kenevir sapından üretilen nanoliflerin titreşim modları önceki çalışmalarla uyumludur ve tablo 4.5'te verilmiştir. C-O, sırasıyla 1300-1100 cm^{-1} ve 1150-1000 cm^{-1} civarında antisimetrik ve asimetrik eksenel gerilme. $(CH)_n$'nin (n=1,2,3) gerilme titreşimleri ve eğilme titreşimleri sırasıyla 3000-2900 cm^{-1} ve 1475-722 cm^{-1}'de görülmektedir. Bu piklerin varlığı, nanolifin yapısındaki kenevirin varlığını kanıtlamaktadır.



Şekil 4.21 %6 PAN nanoliflerin FTIR spektrumu; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi



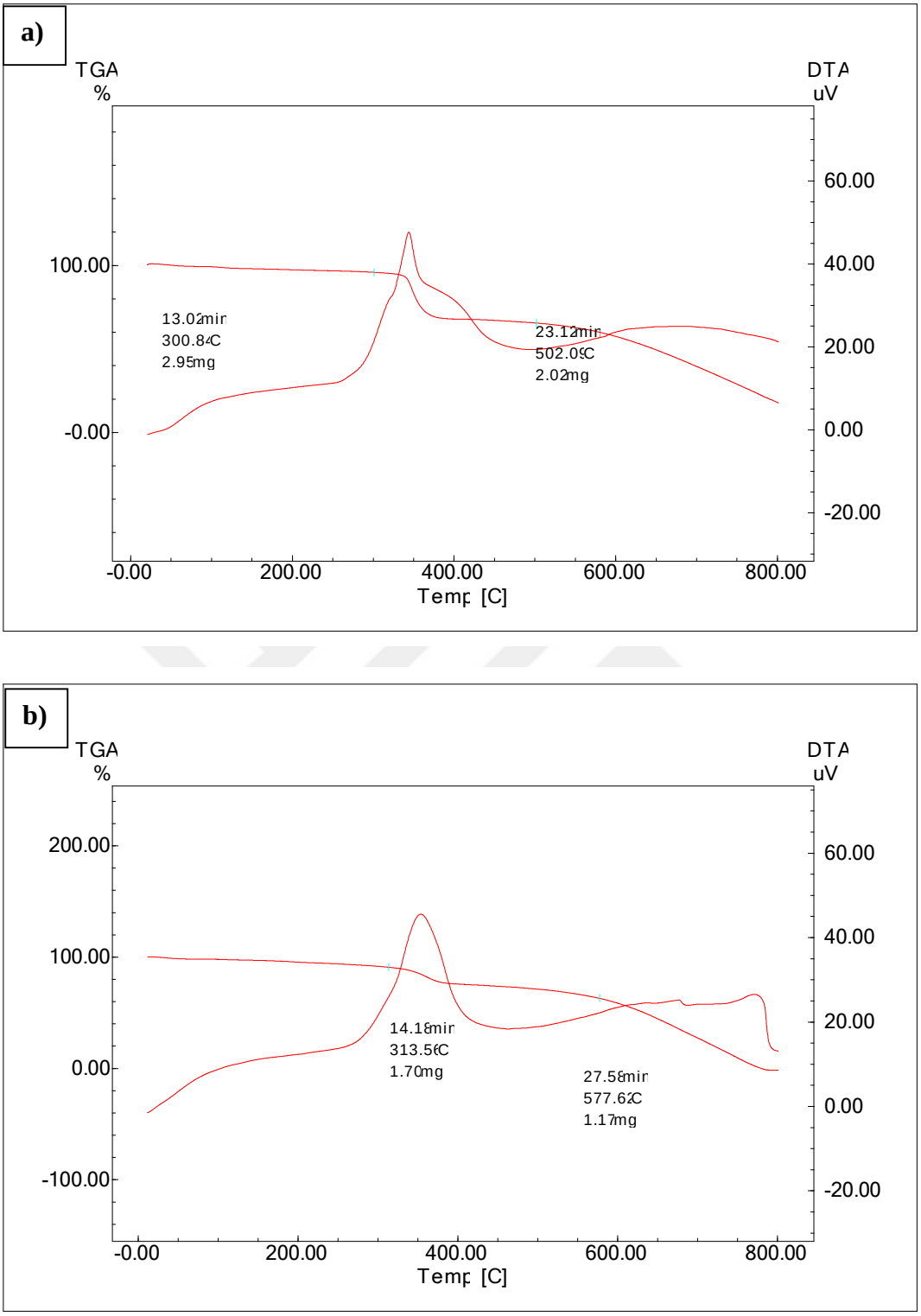
Şekil 4.22 %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin FTIR spektrumu; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi

Tablo 4.5 PAN+Kenevir sapının soğurma band aralığı

Soğurma Aralığı (cm^{-1})	**Fonksiyonel Grup**	**Soğurma Yoğunluğu**
3011-2920	C-H Gerilme Titreşimi	Çok Yoğun
2873-2852	CH_2 Asimetrik ve Simetrik Titreşim	Çok Yoğun
1464-1435	CH_2 Makaslama Titreşimi	Yoğun
1377-1237	CH_2 ve CH_3 Bozunumu	Yoğun
1195-1044	C-O-C Simetrik Gerilme Titreşimi	Yoğun
1044-991	C-O-C Anti-simetrik Gerilme Titreşimi	Az Yoğun
950-700	CH_2 Salınım Titreşimi	Az Yoğun

4.6 TGA Analizi

Şekil 4.23(a-b), sırasıyla 15 dakikalık biriktirme süresi ile % 6 PAN ve % 6 PAN+kenevir sapının TGA grafiğini göstermektedir. Şekil 4.23 a, PAN nanolifleri için 300 ^{o}C'de % 40'lık bir kütle kaybını gösterirken; şekil 4.23 b, kenevir nanolifleri için 314 ^{o}C'de % 20'lik bir kütle kaybını göstermektedir. Hem PAN hem de kenevir nanolifleri, ilk keskin düşüşten sonra yavaş yavaş kütle kaybına devam eder ve 800 ^{o}C'de neredeyse tamamen parçalanır. Sonuç olarak, kenevir nanoliflerinin yüksek sıcaklıklarda PAN polimer nanoliflerine göre daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre kenevir katkılı malzemeler ile daha dayanıklı yapılar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.23 a) %6 PAN nanoliflerin TGA grafiği; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi b) %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin TGA grafiği; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrospinning yöntemi kullanılarak kenevirden nano boyutlara indirgenen lifler elde edilmiştir. Başlangıçta, kenevir numunelerinin nano boyutlu parçacıkları, bilyalı öğütme (ball milling) tekniği ile mekanik olarak üretilmiştir.

Her bir kenevir numunesinden küçük bir parça kesilerek SEM analizleri yapılmıştır. SEM görüntülerinden, konsantrasyon arttıkça lif çapının arttığı ve liflerin daha düzgün yapıda oluştuğu, konsantrasyon azaldığında nanoliflerin inceldiği ancak hata olarak nitelendirilen boncuk yapıların oluştuğu, şırınga ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe arttıkça lif çapının inceldiği, voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflere belli bir noktaya kadar incelme sağladığı, optimum voltaj değerinin üzerine çıkılması durumunda tekrar kalınlaşmasına yol açtığı, bu sebeple de voltajın artması ile birlikte üretilen nanoliflerin bazılarının yüksek çap dağılımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Boncuk oluşmasının nedeni ise, kaynak özetlerinde görselleriyle birlikte ayrıntılı olarak belirtilmiş olup, konsantrasyon ve voltaj parametrelerinin değişimine bağlı olarak düşük yüzey gerilimi sonucunda nanolif yapısında hata olarak nitelendirilen yapıların meydana gelmesidir.

Bazı numunelerin SEM görüntüleri çok net çıkmamış olup, SEM görüntülerinin net çıkmamasının nedeninin yüzeyde asılı kalan bazı nanoliflere SEM dedektörünün yeterince odaklanamamasından dolayı oluştuğu belirlenmiştir.

SEM kesit alanı ölçümlerinden; nanolifler 10 µm yaklaşık kalınlığa sahip bir alüminyum folyo üzerinde üretildiğinden, üretilen kenevir nanoliflerinin kalınlığının, 1 ve 15 dakikalık biriktirme süreleri için sırasıyla yaklaşık birkaç µm ve 34 µm olarak ölçüldüğü görülmüştür. Böylelikle biriktirme süresi arttığında üretilen nanoliflerin hem birikme miktarının hem de birim hacim başına düşen nanolif yoğunluğunun arttığı teyit edilmiştir.

Üretimi gerçekleştirilen kenevir nanoliflerin optik özellikleri, UV-Vis-NIR spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. UV-Vis-NIR absorbans spektrumundan absorbsiyonun çoğunun UV dalga boyu bölgesinde gerçekleştiği; daha uzun dalga boylarında absorbsiyonun kademeli olarak azaldığı görülmüş, nanoliflerin cam altlık üzerindeki enerji bant aralığı değeri, absorbans verileri kullanılarak ve Tauc denklemleri uygulanarak 3,5 eV olarak hesaplanmıştır [59].

%6 PAN, PAN ile kenevir sapı, PAN ile kenevir tohumu ve PAN ile kenevir liflerinin AFM görüntüleri incelenmiştir. Üretilen nanoliflerin morfolojileri SEM görüntüleri ile uyuşmakta ve

nanoliflerin büyüklükleri 17 ile birkaç yüz nanometre arasında değişmektedir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz sonuçlarına destek olmak adına yapılan Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) çalışmalarının lif çapları bakımından SEM ile uyumlu sonuçlar gösterdiği görülmüştür.

FTIR spektrumu, üretilen nanoliflerin titreşim modlarını ortaya çıkarmış ve %6 PAN polimeri ve kenevir sapından üretilen nanoliflerin titreşim modlarının önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür. C-O, sırasıyla 1300-1100 cm^{-1} ve 1150-1000 cm^{-1} civarında antisimetrik ve asimetrik eksenel gerilme. $(CH)_n$'nin (n=1,2,3) gerilme titreşimleri ve eğilme titreşimleri sırasıyla 3000 - 2900 cm^{-1} ve 1475-722 cm^{-1}'de görülmektedir. Bu piklerin varlığı, nanolifin yapısındaki kenevirin varlığını kanıtlamaktadır.

TGA ölçümleri, PAN nanolifleri için 300 ºC'de % 40'lık bir kütle kaybını gösterirken; kenevir nanolifleri için 314 ºC'de % 20'lik bir kütle kaybını göstermiş, hem PAN hem de kenevir nanoliflerin 300 ºC civarındaki ilk keskin düşüşün ardından kademeli olarak kütle kaybetmeye devam ettiğini ve 800 ºC'de neredeyse tamamen parçalandığını ortaya çıkarmıştır. Ölçümler sonucunda, kenevir nanoliflerinin yüksek sıcaklıklarda PAN polimer nanoliflerine göre daha dayanıklı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde üretilen nanolifler, kenevir ile güçlendirilmiş karbon nanolifi üretiminde kullanılabilir ve teknolojiye adapte edilebilir.

Karbon nanolifleri, uygulama alanları açısından önemli bir yere sahiptir. Karbon nanolifleri küçük elektronik esyalarda, şarj edilebilir pillerde, gaz ve sıvılardan küçük parçaları ayırmak için filtreleme uygulamalarında, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, yarı iletken ve uçak gereçlerinde ısı malzemesi olarak ve süper kapasitörlerde kullanılmaktadır [8, 46].

Polimer nanolif kompozitler, kimyasal ajanlara, biyolojik aerosollere, mikro damlalara, radyoaktif tozlara ve benzeri maddelere karşı korumayı arttırıcı rol oynamaktadır. Kompozit yapıların sağlamlığı ve performansı kullanılan malzemenin yapısına bağlıdır [46].

Literatürde kenevirin beton endüstriyel uygulamaları mevcuttur; kenevir özellikle yalıtım, paneller ve çatılar için geleneksel yapı malzemelerine uygun bir alternatif haline gelmiştir [22]. Çalışma sonunda üretilen kenevir nanolifler geliştirilerek kullanılacak malzemeleri güçlendirmek amaçlı kenevir katkılı kompozitler üretilebilir.

Kenevir lifi, pamuk, keten ve ısırgan otu gibi diğer doğal liflere göre çok daha güçlüdür. Kenevir giysiler, pamuklu giysilerden daha güçlü ve daha dayanıklıdır, kolay kolay deforme olmazlar [22]. Ayrıca, bu çalışma kapsamında yapılan TGA ölçümlerinde kenevirin yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı test edilmiş, kenevirin tüm bu özelliklerine dayanılarak farklı polimerlere kenevirin dayanıklılığı adapte edilip savunma alanında koruyucu giysiler yapımında geliştirilerek teknolojiye uyarlanabileceği değerlendirilmektedir.

Bunun yanında, elektrospinning yöntemi ile farklı polimerler kullanılarak üretilen kenevir katkılı nanoliflerin verimliliklerinin ve dayanıklılıklarının arttırılması üzerine geleceğe dönük farklı çalışmalar da yapılabilir.

Bu tez çalışmamız ile nanoteknolojinin kullanım alanlarına yönelik devam eden bilimsel çalışmaların gelişmesine katkıda bulunulabileceği düşünülmekte, aynı zamanda elektrospinning yöntemi ile nanolif üretimi uygulamalarında kenevir ile yapılacak çalışmalara ışık tutması beklenmektedir. İleride yapılacak araştırmalarda farklı polimerler ile çalışmalar yapılıp kenevirin üstün özellikleri kullanılarak farklı çalışmalara imza atılabileceği öngörülmekte, bundan ötürü bu alandaki benzer araştırmalarda literatüre zemin teşkil etmesi amaçlanmaktadır.

Kenevirin endüstri sektöründen kozmetik sektörüne, tıp alanından otomotiv sektörüne kadar geniş kullanım alanı vardır. Kenevirin geniş kullanım alanına sahip olması ile kenevir tabanlı nanoliflerin bu alanlarda yapılabilecek araştırmalarda da yol gösterici niteliği bulunması, dayanıklı nanolifler elde edilebilmesi, aynı zamanda maliyetinin düşük olması ulusal ekonomiye ciddi anlamda katkı sağlayacaktır. Kenevirin bilimsel alanda kullanımının arttırılması toplumsal bilinci de olumlu yönde etkileyecektir. Elektrospinning yöntemi ile kenevirden nanolif üretimi oldukça yeni bir yöntemdir, bu sebeple bu doktora tezi kapsamında elde edilecek sonuçlar literatüre oldukça anlamlı katkıda bulunacaktır. Mevcut geleneksel lif üretim teknikleri, lifin boyutsal ve yapısal özelliklerinde değişiklik yapabilmede sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, yeni lif üretim tekniklerinin araştırılması yeni gelişmelere de zemin hazırlayacaktır. Kullanım performansıyla ön plana çıkan kenevirden elektrospinning yöntemi ile üretilen nanoliflerin ileri boyutlu çalışmalarında daha üstün özellikli malzemeler üretilmesi kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

[1] C. V. Stevens, *Industrial applications of natural fibres: structure, properties and technical applications*. John Wiley & Sons, 2010.

[2] G. B. Kauffman, "Rayon: the first semi-synthetic fiber product," *Journal of chemical education,* vol. 70, no. 11, p. 887, 1993.

[3] J. E. McIntyre, *Synthetic fibres: nylon, polyester, acrylic, polyolefin*. Taylor & Francis US, 2005.

[4] F. Fourné, *Synthetic fibers: machines and equipment, manufacture, properties: handbook for plant engineering, machine design, and operation*. Hanser Verlag, 1999.

[5] C. Boys, "Proc. Phys. Soc. London," 1887.

[6] J. F. Cooley, "Improved methods of and apparatus for electrically separating the relatively volatile liquid component from the component of relatively fixed substances of composite fluids," *United Kingdom Patent,* vol. 6385, p. 19, 1900.

[7] H.-S. Wang, G.-D. Fu, and X.-S. Li, "Functional polymeric nanofibers from electrospinning," *Recent patents on nanotechnology,* vol. 3, no. 1, pp. 21-31, 2009.

[8] Z.-M. Huang, Y.-Z. Zhang, M. Kotaki, and S. Ramakrishna, "A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites," *Composites science and technology,* vol. 63, no. 15, pp. 2223-2253, 2003.

[9] J. Fang, X. Wang, and T. Lin, "Functional applications of electrospun nanofibers," *Nanofibers-production, properties and functional applications,* vol. 14, pp. 287-302, 2011.

[10] J. Venugopal and S. Ramakrishna, "Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology," *Applied biochemistry and biotechnology,* vol. 125, no. 3, pp. 147-157, 2005.

[11] W. Ji *et al.*, "Bioactive electrospun scaffolds delivering growth factors and genes for tissue engineering applications," *Pharmaceutical research,* vol. 28, no. 6, pp. 1259-1272, 2011.

[12] N. Bhardwaj and S. C. Kundu, "Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique," *Biotechnology advances,* vol. 28, no. 3, pp. 325-347, 2010.

[13] J. Y. Lee, C. A. Bashur, A. S. Goldstein, and C. E. Schmidt, "Polypyrrole-coated electrospun PLGA nanofibers for neural tissue applications," *Biomaterials,* vol. 30, no. 26, pp. 4325-4335, 2009.

[14] H. Yoshimoto, Y. Shin, H. Terai, and J. Vacanti, "A biodegradable nanofiber scaffold by electrospinning and its potential for bone tissue engineering," *Biomaterials,* vol. 24, no. 12, pp. 2077-2082, 2003.

[15] S. Y. Chew and T. G. Park, "Nanofibers in regenerative medicine and drug delivery," *Advanced drug delivery reviews,* vol. 61, no. 12, p. 987, 2009.

[16] X. Chen *et al.*, "Ligament regeneration using a knitted silk scaffold combined with collagen matrix," *Biomaterials,* vol. 29, no. 27, pp. 3683-3692, 2008.

[17] Z. Sun, E. Zussman, A. L. Yarin, J. H. Wendorff, and A. Greiner, "Compound core–shell polymer nanofibers by co-electrospinning," *Advanced materials,* vol. 15, no. 22, pp. 1929-1932, 2003.

[18] Y. Zhang, X. Wang, Y. Feng, J. Li, C. Lim, and S. Ramakrishna, "Coaxial electrospinning of (fluorescein isothiocyanate-conjugated bovine serum albumin)-encapsulated poly (ε-caprolactone) nanofibers for sustained release," *Biomacromolecules,* vol. 7, no. 4, pp. 1049-1057, 2006.

[19] P. Gibson, H. Schreuder-Gibson, and D. Rivin, "Electrospun fiber mats: transport properties," *AIChE journal,* vol. 45, no. 1, pp. 190-195, 1999.

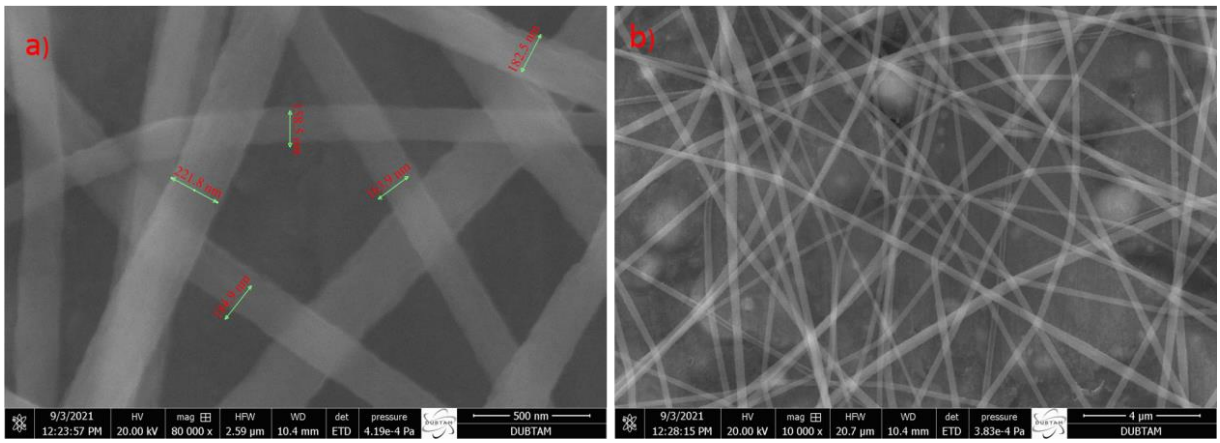
[20] R. Johnson, "Hemp as an Agricultural Commodity: Congressional Research Service," *CRS Report,* 2015.
[21] K. Pacaphol and D. Aht-Ong, "Preparation of hemp nanofibers from agricultural waste by mechanical defibrillation in water," *Journal of Cleaner Production,* vol. 142, pp. 1283-1295, 2017.
[22] G. Crini, E. Lichtfouse, G. Chanet, and N. Morin-Crini, "Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: A review," *Environmental Chemistry Letters,* vol. 18, no. 5, pp. 1451-1476, 2020.
[23] S. Patil and D. Mallikarjuna Reddy, "Damage identification in hemp fiber (cannabis sativa) reinforced composite plates using MAC and COMAC correlation methods: experimental study," *Journal of Natural Fibers,* vol. 19, no. 4, pp. 1249-1264, 2022.
[24] A. Shahzad, "Hemp fiber and its composites–a review," *Journal of composite materials,* vol. 46, no. 8, pp. 973-986, 2012.
[25] J. G. Crowley, *The Performance of Cannabis Sativa (HEMP) as a Fibre Source for Medium Density Fibre Board (MDF)*. Teagasc, 2001.
[26] J. Finnan and D. Styles, "Hemp: a more sustainable annual energy crop for climate and energy policy," *Energy Policy,* vol. 58, pp. 152-162, 2013.
[27] A. Dufresne, J. Y. Cavaillé, and M. R. Vignon, "Mechanical behavior of sheets prepared from sugar beet cellulose microfibrils," *Journal of applied polymer science,* vol. 64, no. 6, pp. 1185-1194, 1997.
[28] S. Alila, I. Besbes, M. R. Vilar, P. Mutjé, and S. Boufi, "Non-woody plants as raw materials for production of microfibrillated cellulose (MFC): A comparative study," *Industrial Crops and Products,* vol. 41, pp. 250-259, 2013.
[29] P. Tyagi *et al.*, "Hydrothermal and mechanically generated hemp hurd nanofibers for sustainable barrier coatings/films," *Industrial Crops and Products,* vol. 168, p. 113582, 2021.
[30] H. Q. Lê, K. Dimic-Misic, L.-S. Johansson, T. Maloney, and H. Sixta, "Effect of lignin on the morphology and rheological properties of nanofibrillated cellulose produced from γ-valerolactone/water fractionation process," *Cellulose,* vol. 25, no. 1, pp. 179-194, 2018.
[31] F. Jianyong and Z. Jianchun, "Preparation and oil/air filtration properties of hemp paper," *Journal of Industrial Textiles,* vol. 45, no. 1, pp. 3-32, 2015.
[32] B. Wang, M. Sain, and K. Oksman, "Study of structural morphology of hemp fiber from the micro to the nanoscale," *Applied Composite Materials,* vol. 14, no. 2, pp. 89-103, 2007.
[33] A. Sutka, S. Kukle, J. Gravitis, R. Milašius, and J. Malašauskienė, "Nanofibre electrospinning poly (vinyl alcohol) and cellulose composite mats obtained by use of a cylindrical electrode," *Advances in Materials Science and Engineering,* vol. 2013, 2013.
[34] E. G. Andriotis *et al.*, "Development of Water-Soluble Electrospun Fibers for the Oral Delivery of Cannabinoids," *AAPS PharmSciTech,* vol. 22, no. 1, pp. 1-14, 2021.
[35] S. Deiana, "Potential medical uses of cannabigerol: a brief overview," *Handbook of Cannabis and Related Pathologies,* pp. 958-967, 2017.
[36] J. Luo and Y. W. Tong, "Self-assembly of collagen-mimetic peptide amphiphiles into biofunctional nanofiber," *Acs Nano,* vol. 5, no. 10, pp. 7739-7747, 2011.
[37] T. Koga, T. Watanabe, and N. Higashi, "Fabrication of nucleobase-functionalized supramolecular nanofiber through peptide self-assembly," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology,* vol. 9, no. 1, pp. 584-590, 2009.

[38] A. Chakraborty, M. Sain, and M. Kortschot, "Cellulose microfibrils: a novel method of preparation using high shear refining and cryocrushing," 2005.
[39] H.-P. Zhao, X.-Q. Feng, and H. Gao, "Ultrasonic technique for extracting nanofibers from nature materials," *Applied physics letters*, vol. 90, no. 7, p. 073112, 2007.
[40] G. Li *et al.*, "Electrospinning derived one-dimensional LaOCl: Ln3+ (Ln= Eu/Sm, Tb, Tm) nanofibers, nanotubes and microbelts with multicolor-tunable emission properties," *Advanced Functional Materials*, vol. 20, no. 20, pp. 3446-3456, 2010.
[41] A. Bismarck, S. Mishra, and T. Lampke, "Plant fibers as reinforcement for green composites," in *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*: CRC Press, 2005, pp. 52-128.
[42] X.-G. Chen, Z. Wang, W.-S. Liu, and H.-J. Park, "The effect of carboxymethyl-chitosan on proliferation and collagen secretion of normal and keloid skin fibroblasts," *Biomaterials*, vol. 23, no. 23, pp. 4609-4614, 2002.
[43] P. Chen and R. Kotek, "Advances in the Production of Poly (ethylene naphthalate) Fibers," *Polymer Reviews*, vol. 48, no. 2, pp. 392-421, 2008.
[44] L. Lu *et al.*, "Electrical conductivity investigation of a nonwoven fabric composed of carbon fibers and polypropylene/polyethylene core/sheath bicomponent fibers," *Materials & Design*, vol. 112, pp. 383-391, 2016.
[45] M. Naeimirad, A. Zadhoush, R. Kotek, R. Esmaeely Neisiany, S. Nouri Khorasani, and S. Ramakrishna, "Recent advances in core/shell bicomponent fibers and nanofibers: A review," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 135, no. 21, p. 46265, 2018.
[46] G. S. Kozanoğlu, "Elektrospinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi," Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
[47] A. Mohan, "Formation and Characterization of Electrospun Nonwoven web, Textile Management and Technology," *North Carolina State University*, 2002.
[48] R. K. Mishra *et al.*, "Electrospinning production of nanofibrous membranes," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 17, no. 2, pp. 767-800, 2019.
[49] U. Sharma, Q. Pham, and J. Marini, "Electrospinning process for fiber manufacture," ed: Google Patents, 2015.
[50] W. Xu and S. Jin Lee, "Recent patents on implantable drug/protein delivery systems fabricated using electrospinning," *Recent Patents on Biomedical Engineering (Discontinued)*, vol. 5, no. 1, pp. 14-22, 2012.
[51] E. T. Thostenson, C. Li, and T.-W. Chou, "Nanocomposites in context," *Composites science and technology*, vol. 65, no. 3-4, pp. 491-516, 2005.
[52] T. Subbiah, G. S. Bhat, R. W. Tock, S. Parameswaran, and S. S. Ramkumar, "Electrospinning of nanofibers," *Journal of applied polymer science*, vol. 96, no. 2, pp. 557-569, 2005.
[53] D. Li and Y. Xia, "Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel?," *Advanced materials*, vol. 16, no. 14, pp. 1151-1170, 2004.
[54] C. Zhang, X. Yuan, L. Wu, Y. Han, and J. Sheng, "Study on morphology of electrospun poly (vinyl alcohol) mats," *European polymer journal*, vol. 41, no. 3, pp. 423-432, 2005.
[55] H. Karakaş, "Electrospinning of nanofibers and their applications," *Istanbul Technical University, Textile Technologies and Design Faculty*, 2015.
[56] M. M. Demir, I. Yilgor, E. Yilgor, and B. Erman, "Electrospinning of polyurethane fibers," *Polymer*, vol. 43, no. 11, pp. 3303-3309, 2002.
[57] V. Beachley and X. Wen, "Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 29, no. 3, pp. 663-668, 2009.
[58] K. Lee, H. Kim, H. Bang, Y. Jung, and S. Lee, "The change of bead morphology formed on electrospun polystyrene fibers," *Polymer*, vol. 44, no. 14, pp. 4029-4034, 2003.

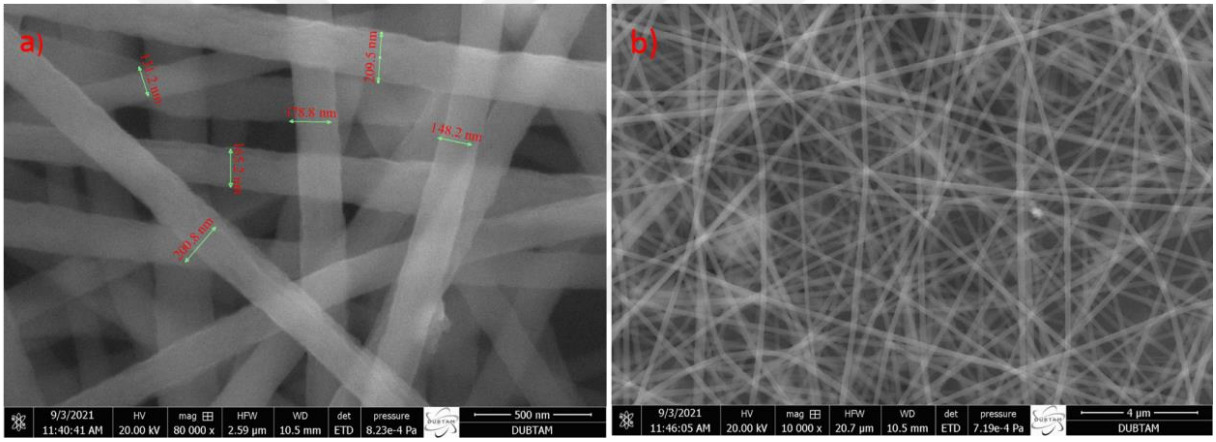
[59] S. Y. Gezgin, A. Houimi, Y. Gündoğdu, B. Mercimek, and H. Ş. Kılıç, "Determination of photovoltaic parameters of CIGS hetero junction solar cells produced by PLD technique, using SCAPS simulation program," *Vacuum*, vol. 192, p. 110451, 2021.

EKLER

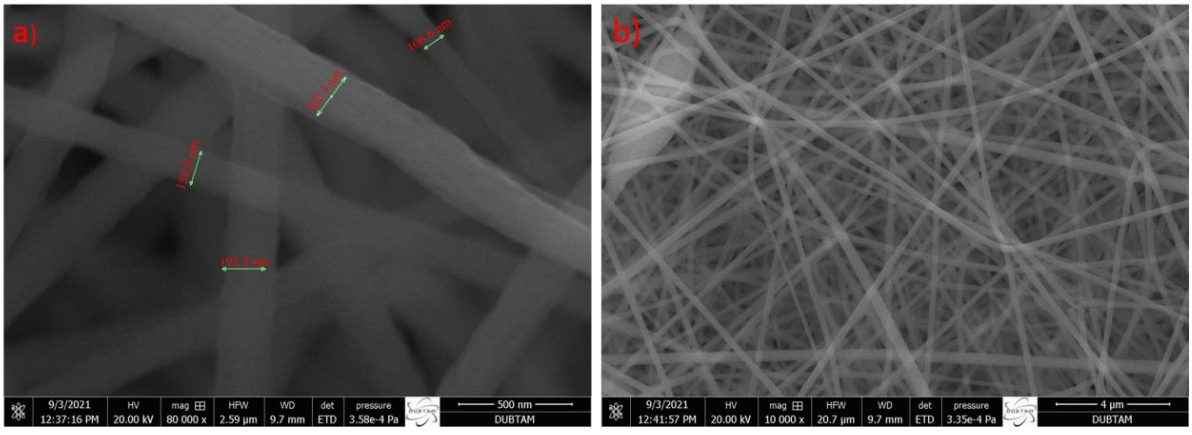
EK 1 % 6 PAN Nanoliflerin SEM Görüntüleri



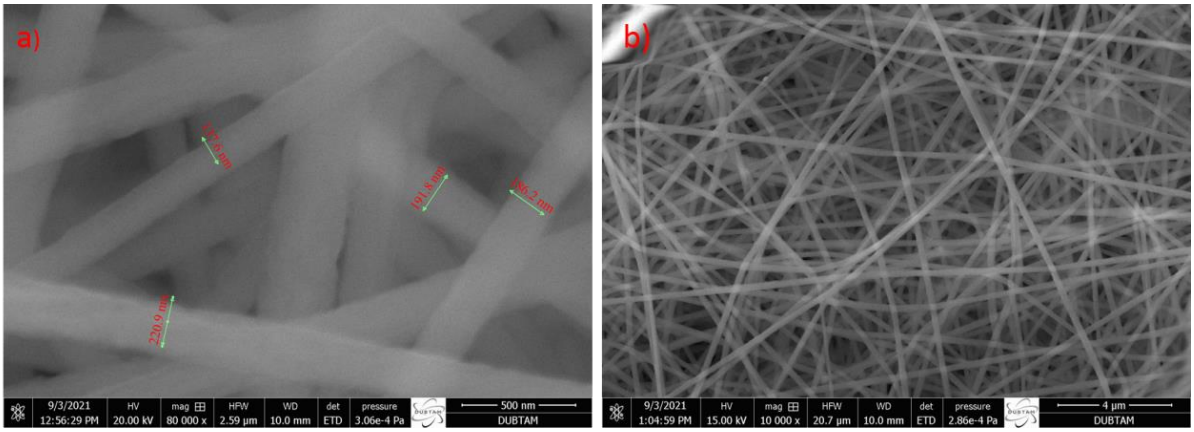
EK 1.A %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



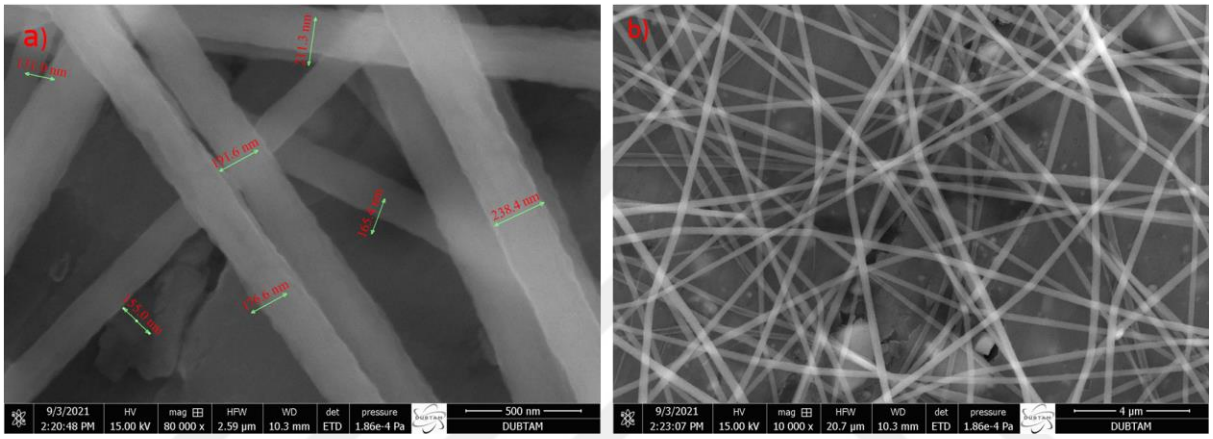
EK 1.B %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



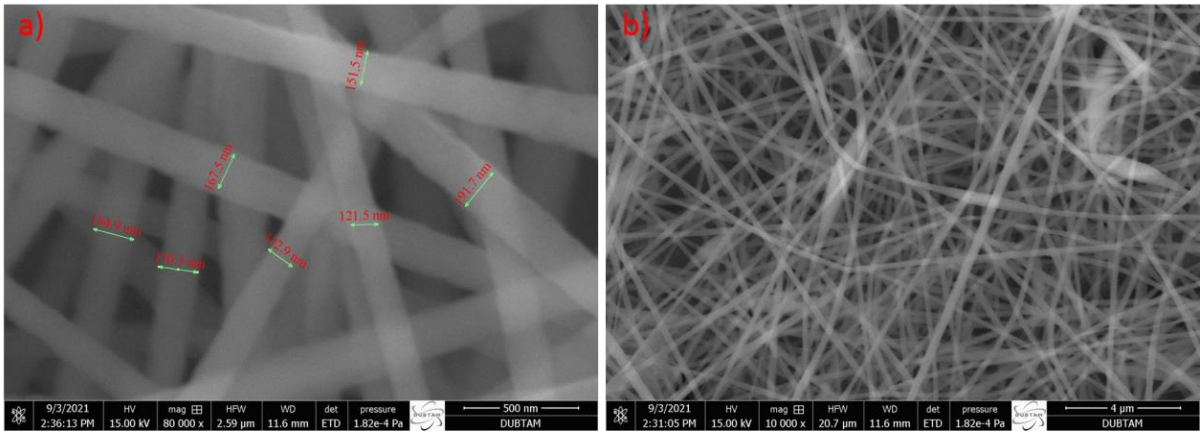
EK 1.C %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



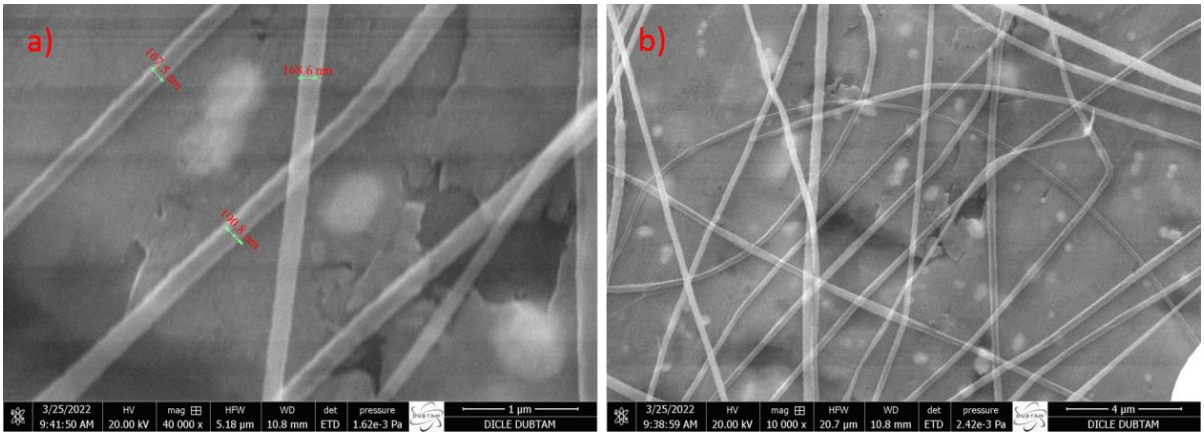
EK 1.Ç %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



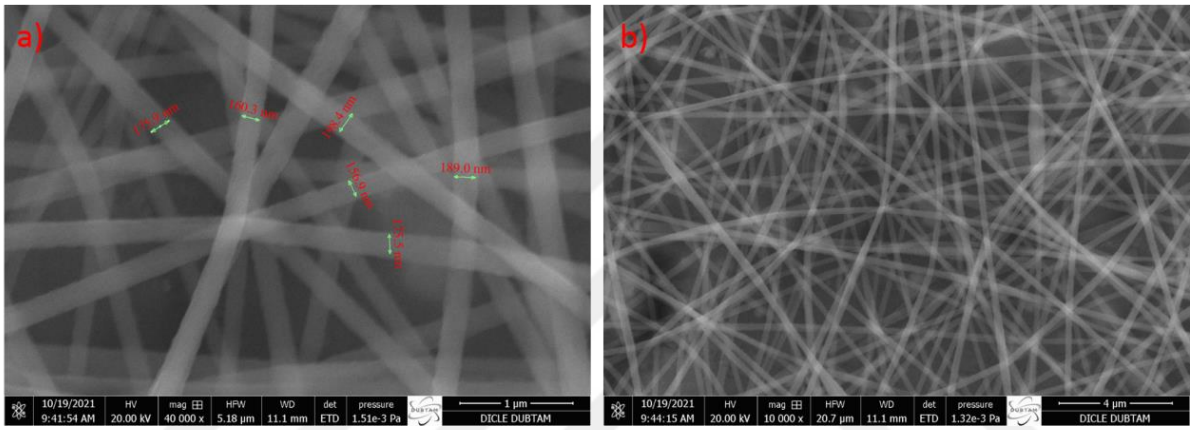
EK 1.D %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



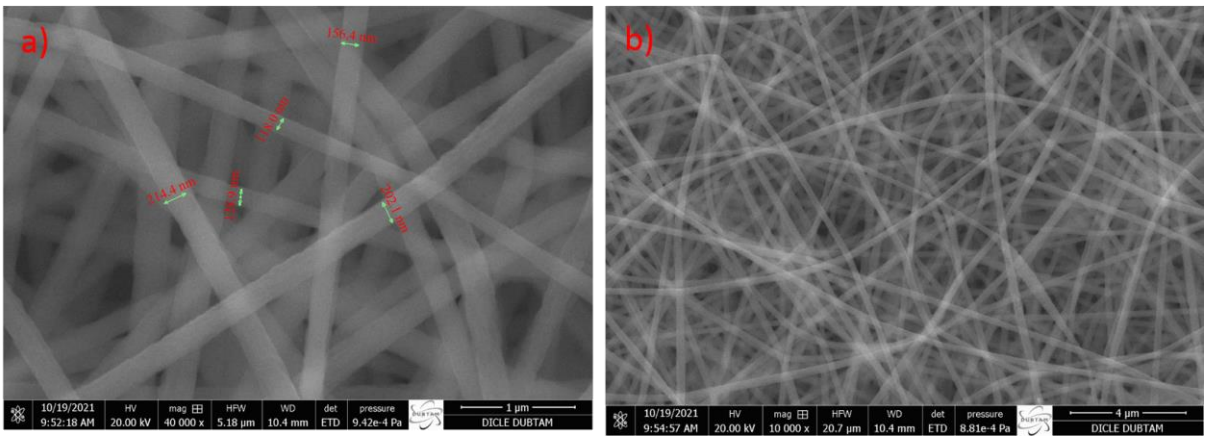
EK 1.E %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 80000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



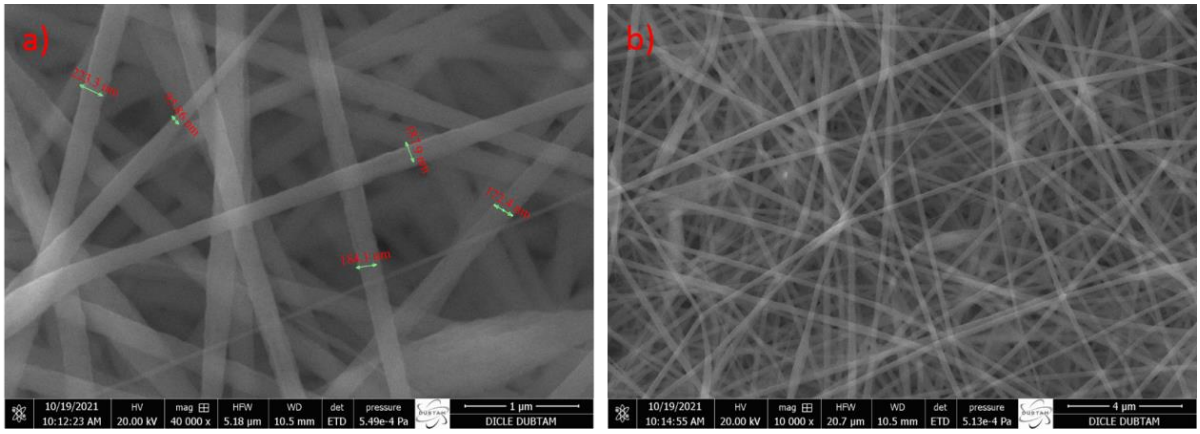
EK 1.F %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



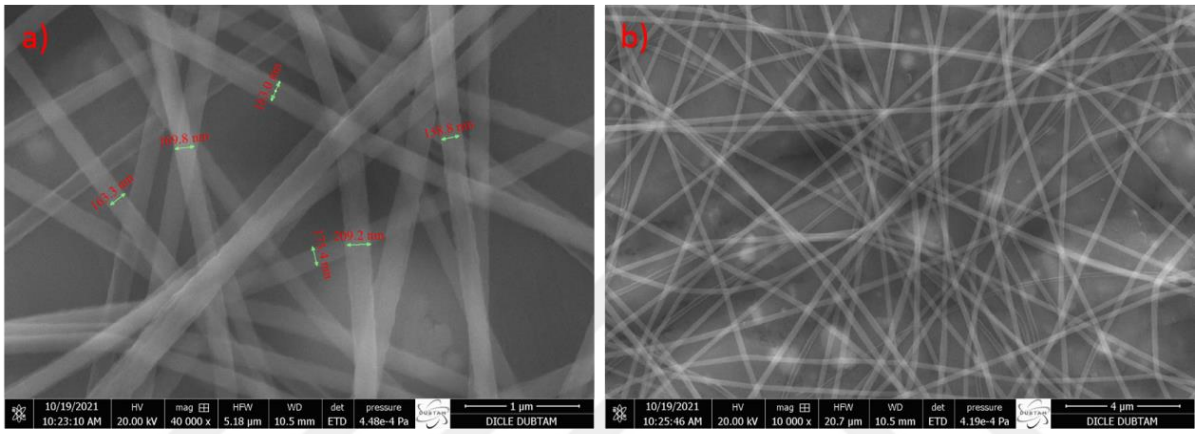
EK 1.G %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



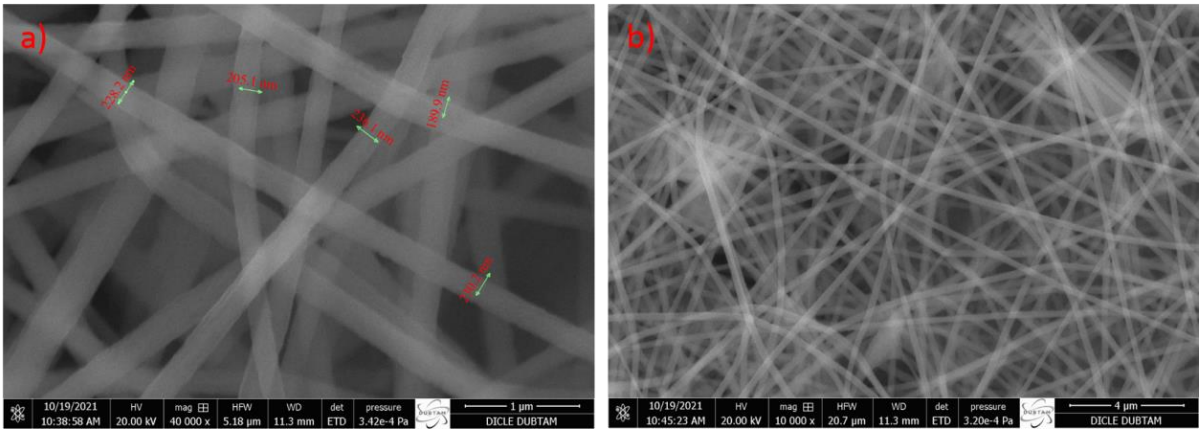
EK 1.Ğ %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 1.H %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

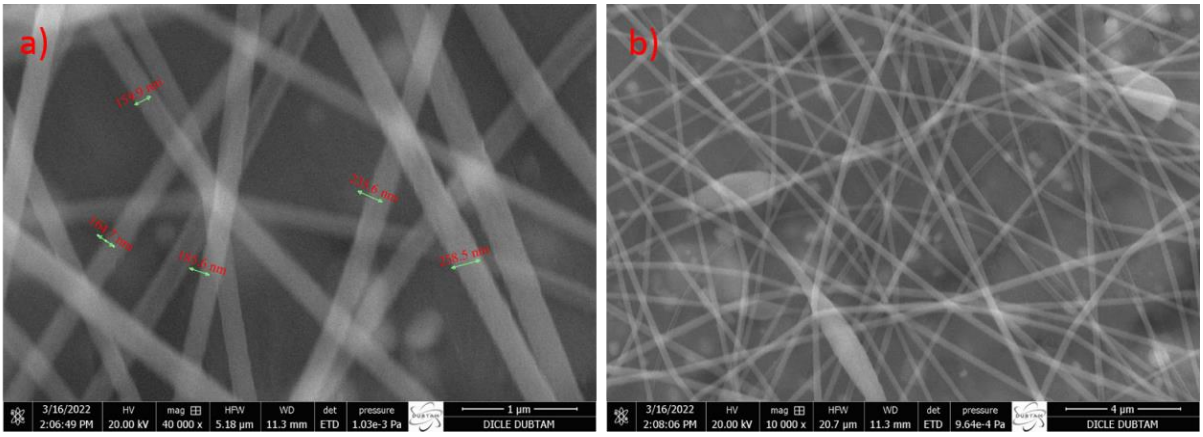


EK 1.I %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

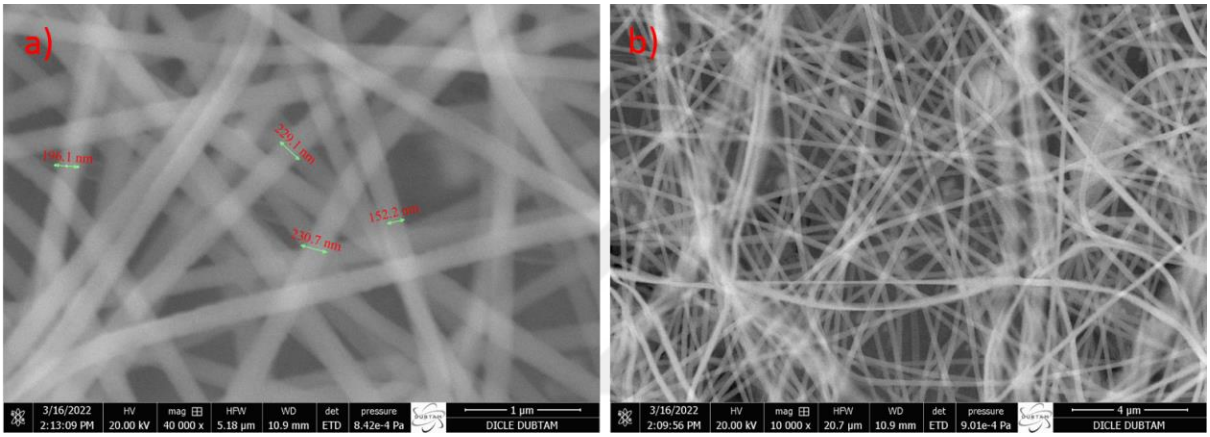


EK 1.İ %6 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

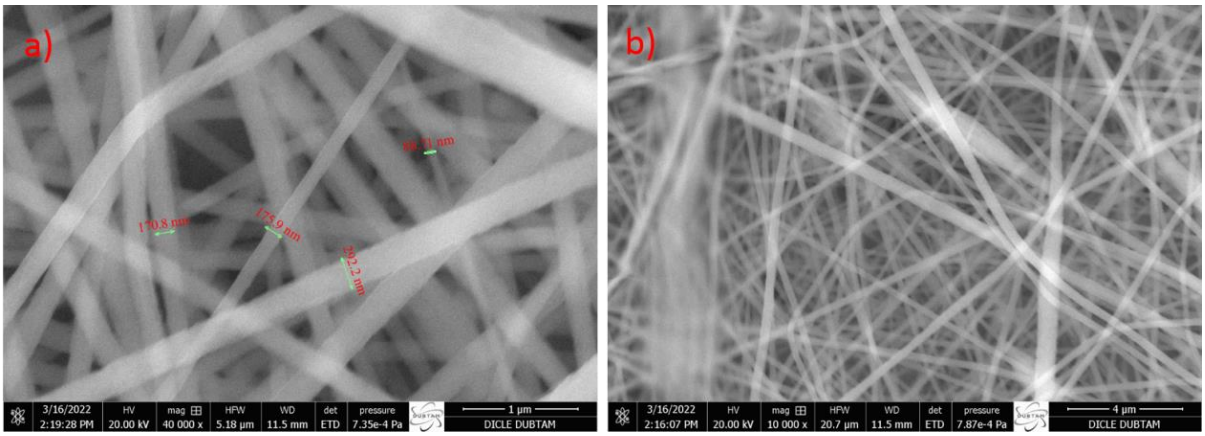
EK 2 %7 PAN Nanoliflerin SEM Görüntüleri



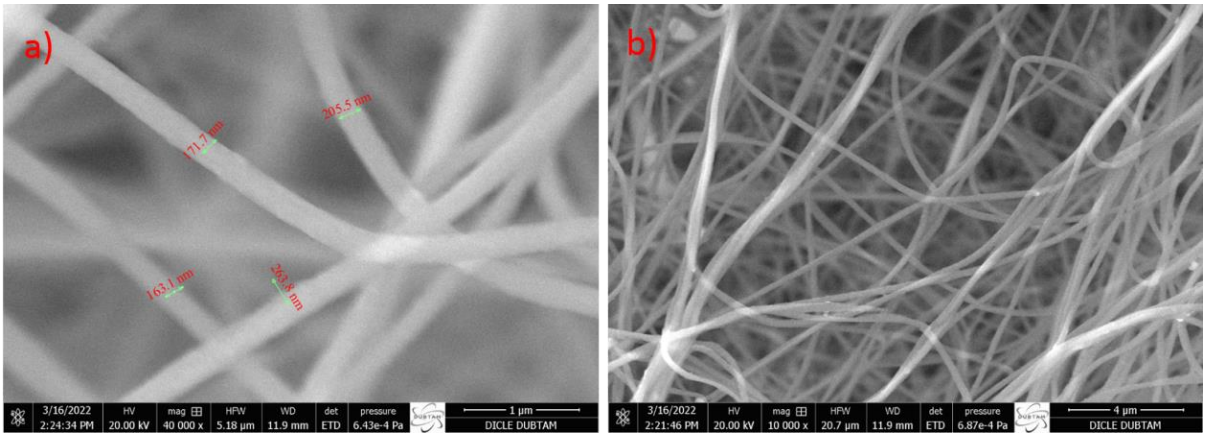
EK 2.A %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



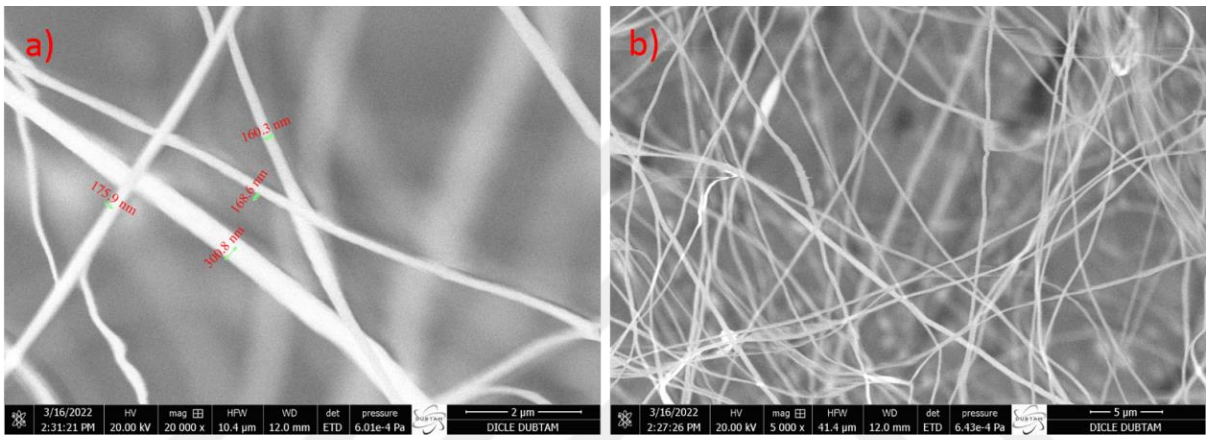
EK 2.B %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



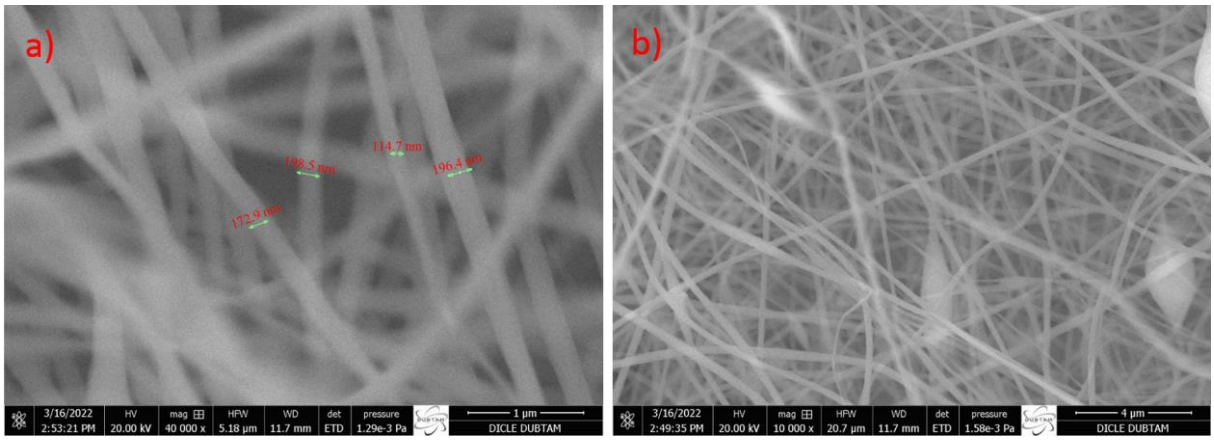
EK 2.C %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



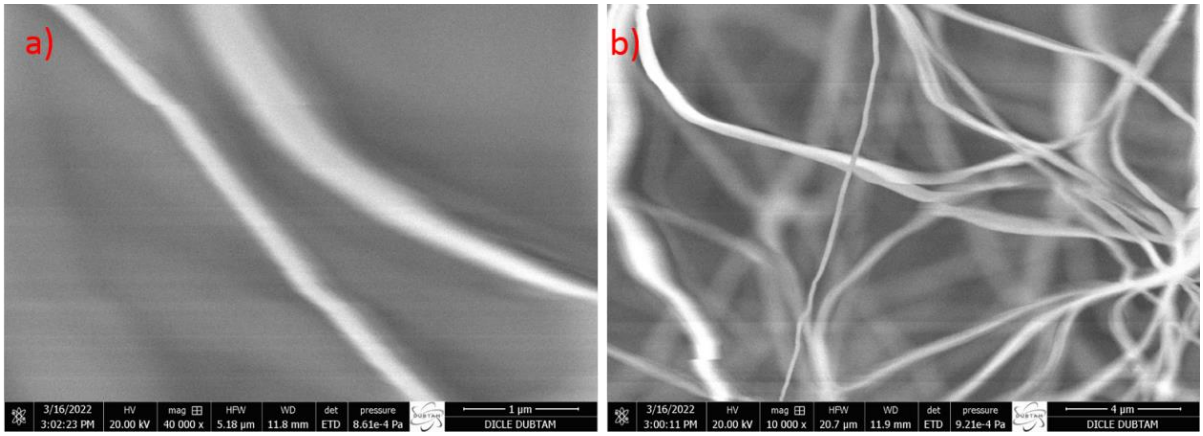
EK 2.Ç %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



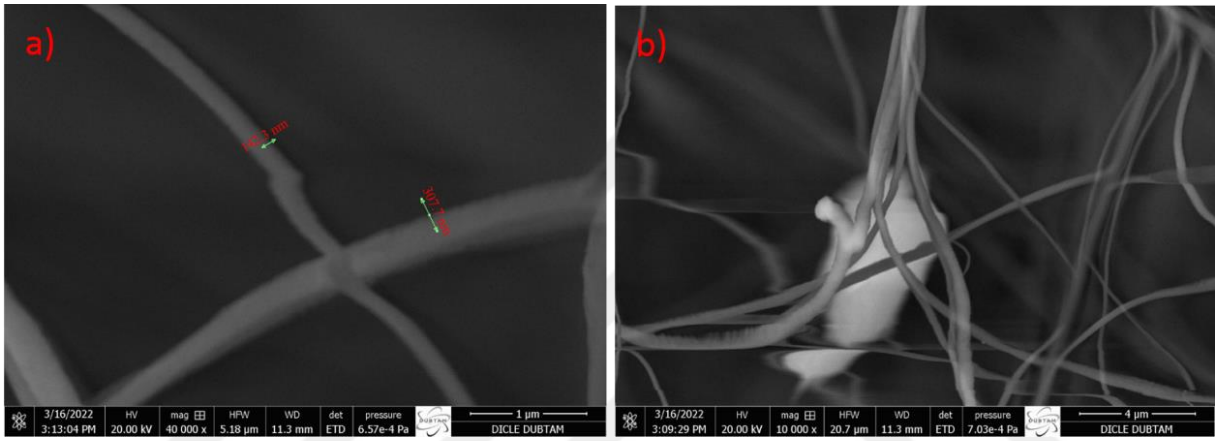
EK 2.D %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 20000 kez büyütme b) 5000 kez büyütme



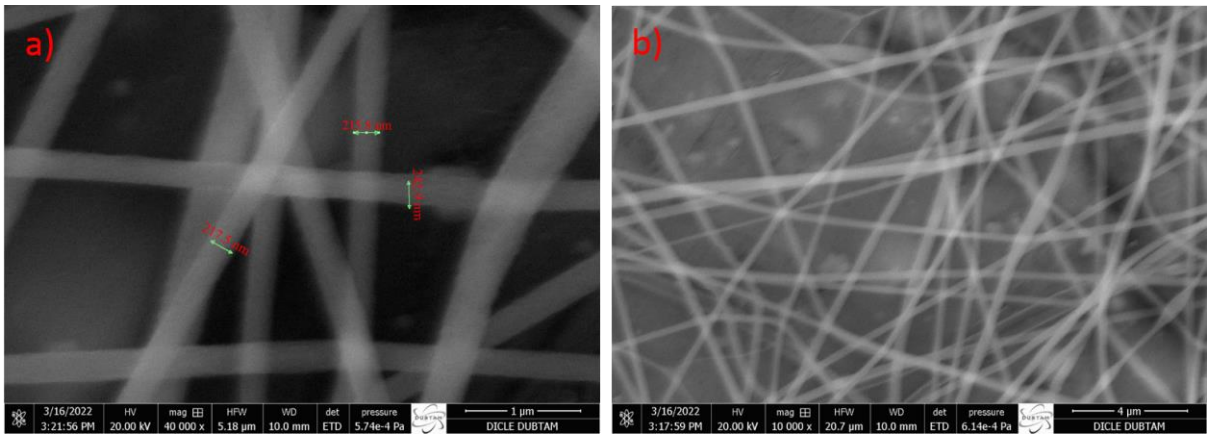
EK 2.E %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



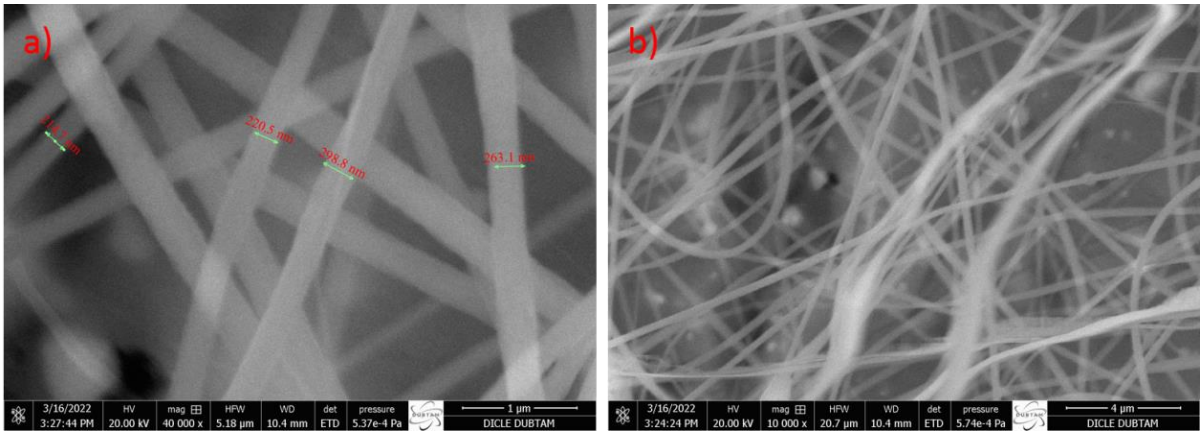
EK 2.F %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



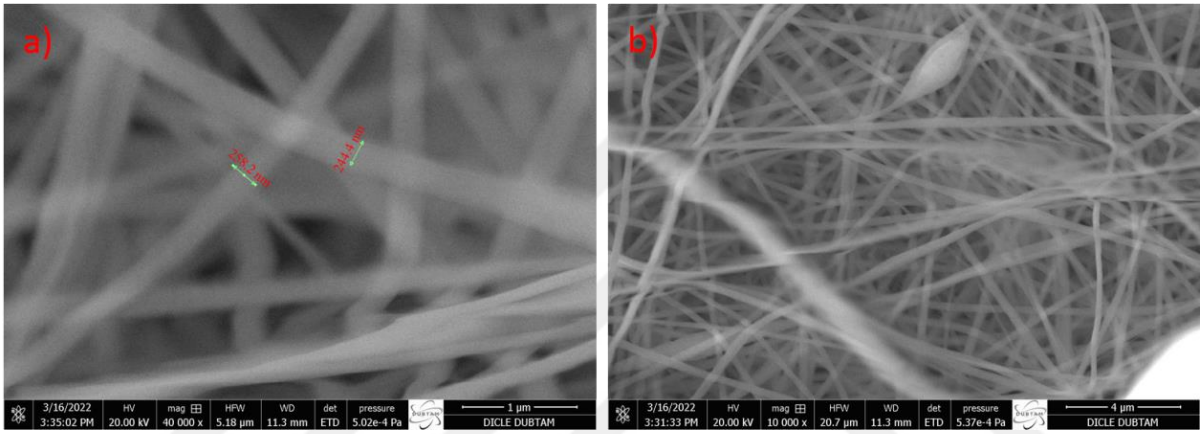
EK 2.G %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



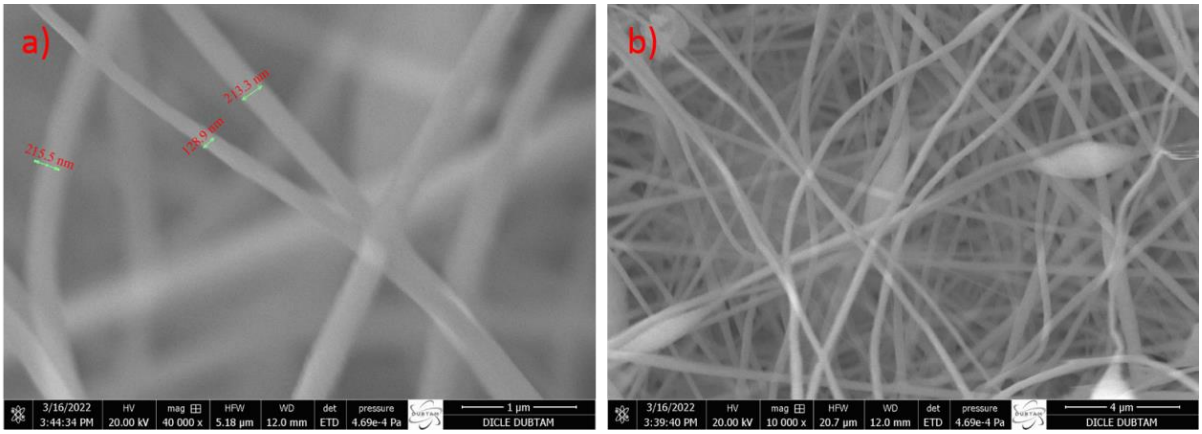
EK 2.Ğ %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



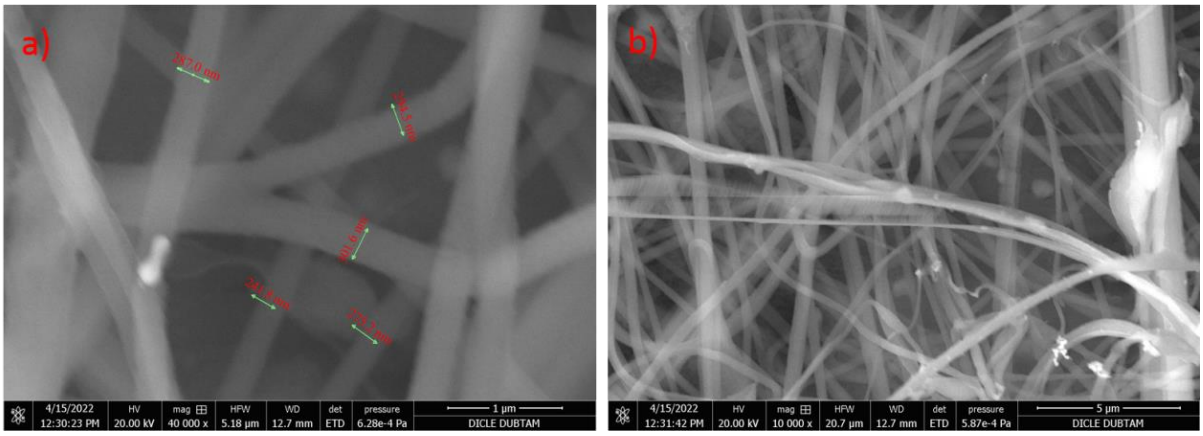
EK 2.H %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



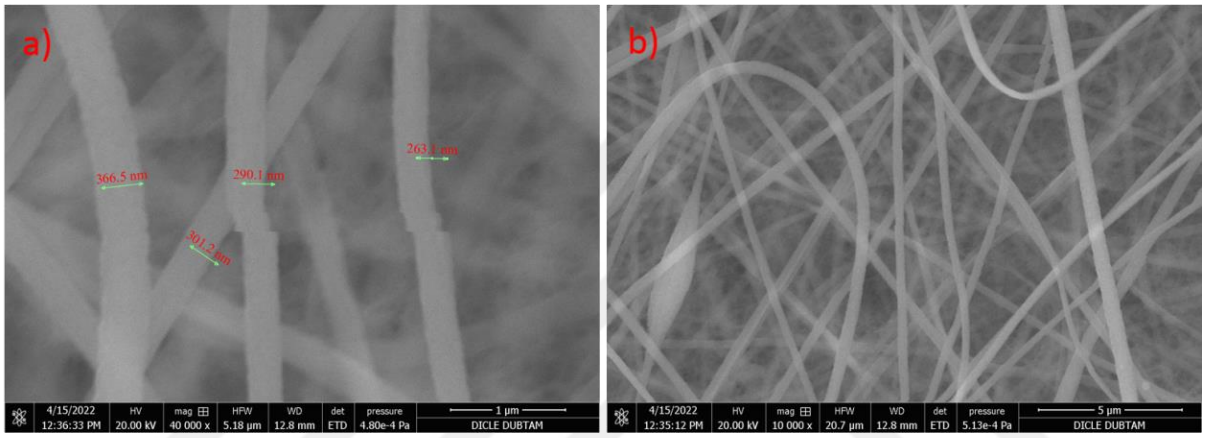
EK 2.I %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



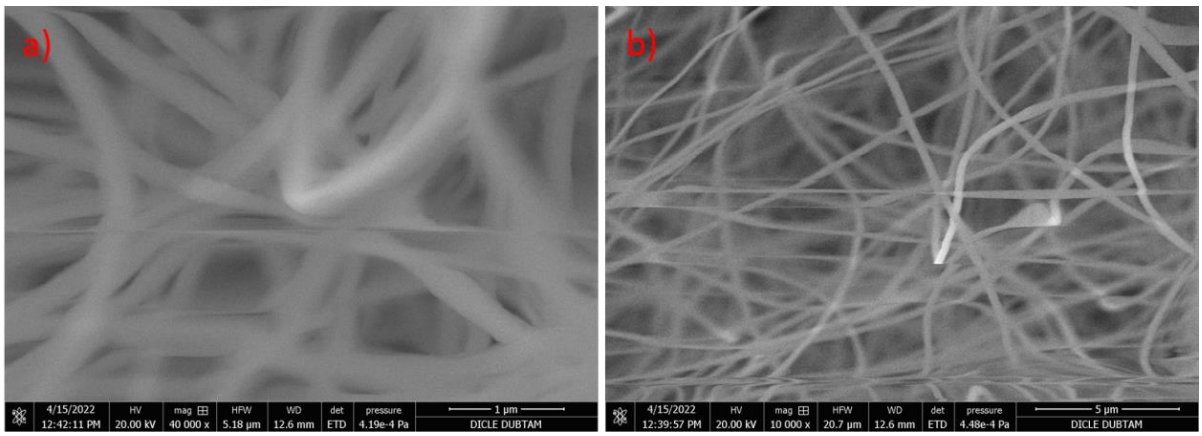
EK 2.İ %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



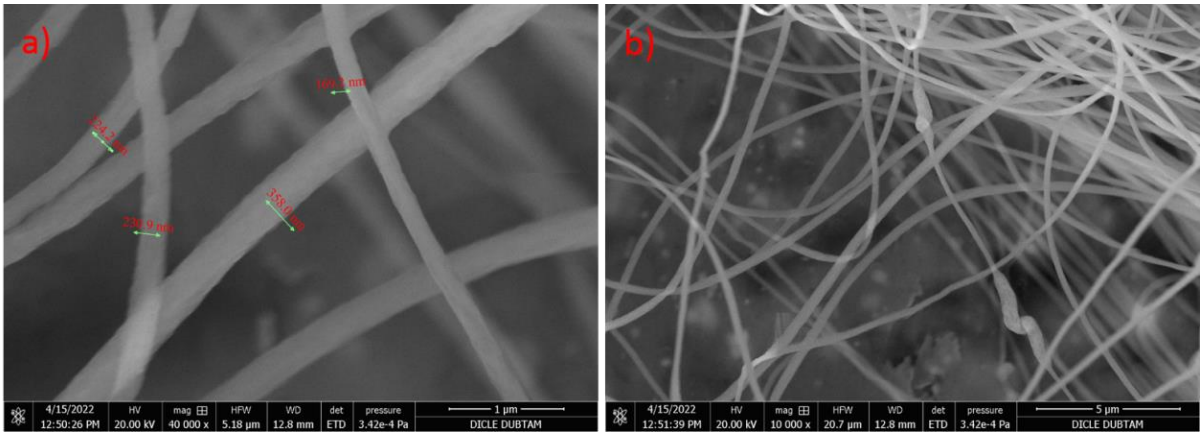
EK 2.J %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 2.K %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

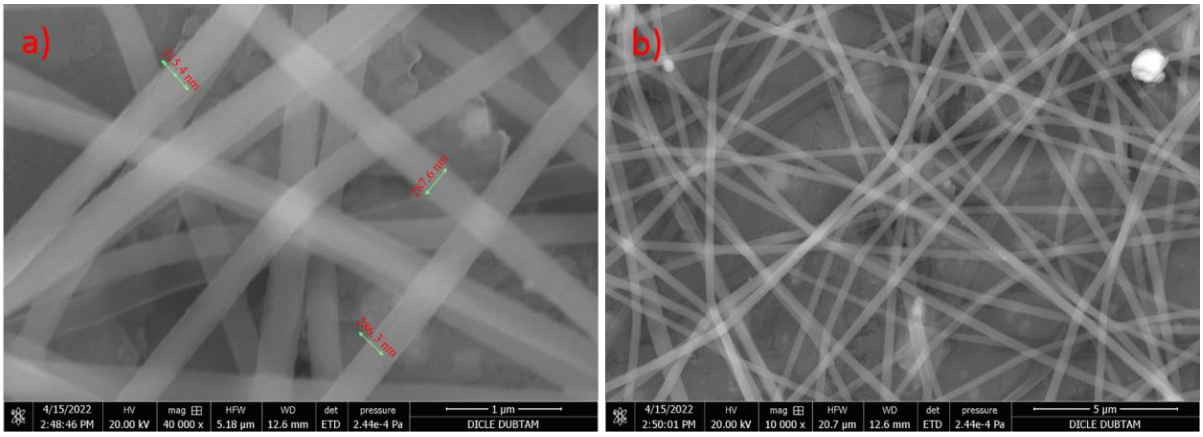


EK 2.L %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

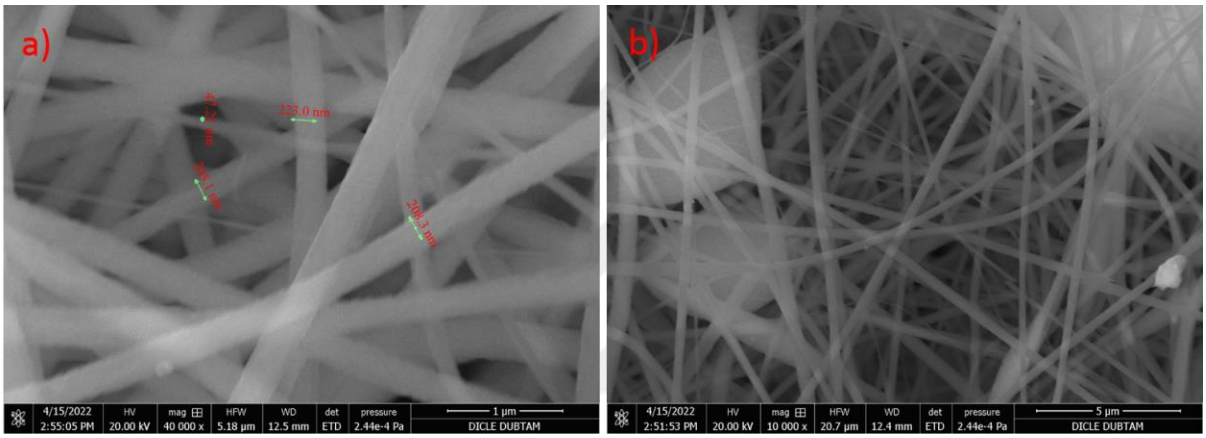


EK 2.M %7 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

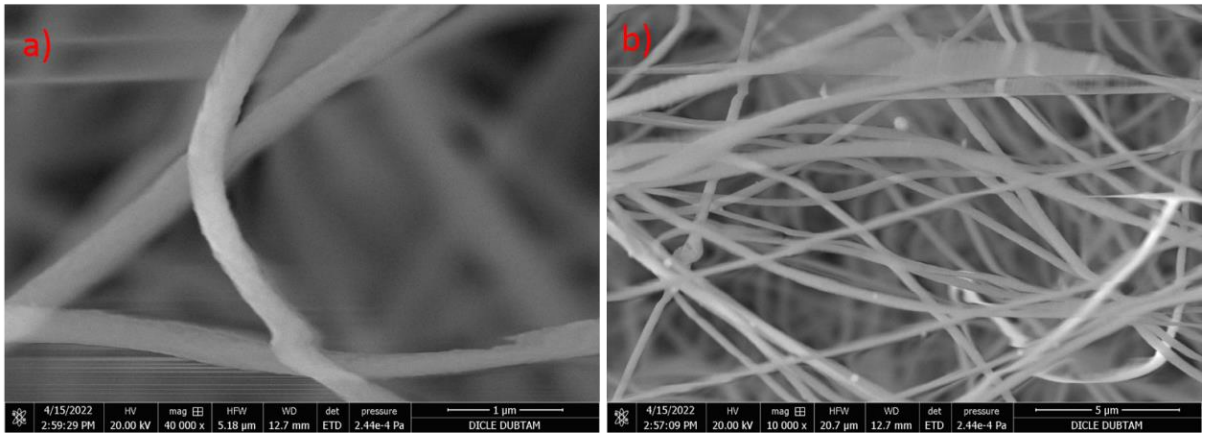
EK 3 % 8 PAN Nanoliflerin SEM Görüntüleri



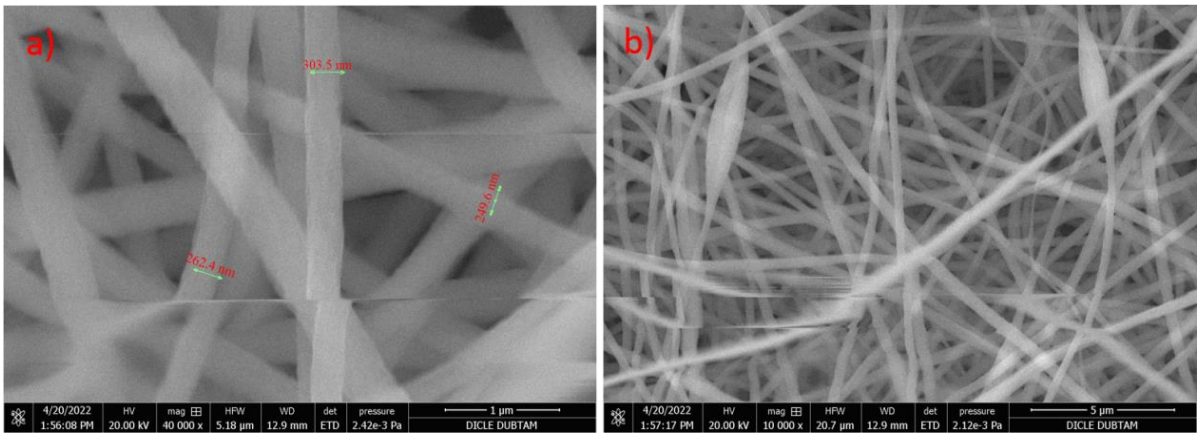
EK 3.A %8 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



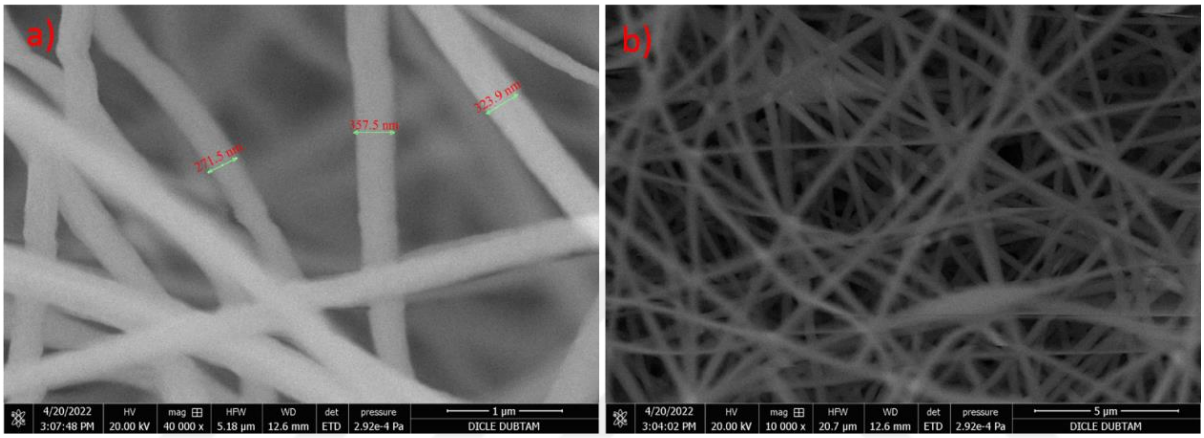
EK 3.B %8 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



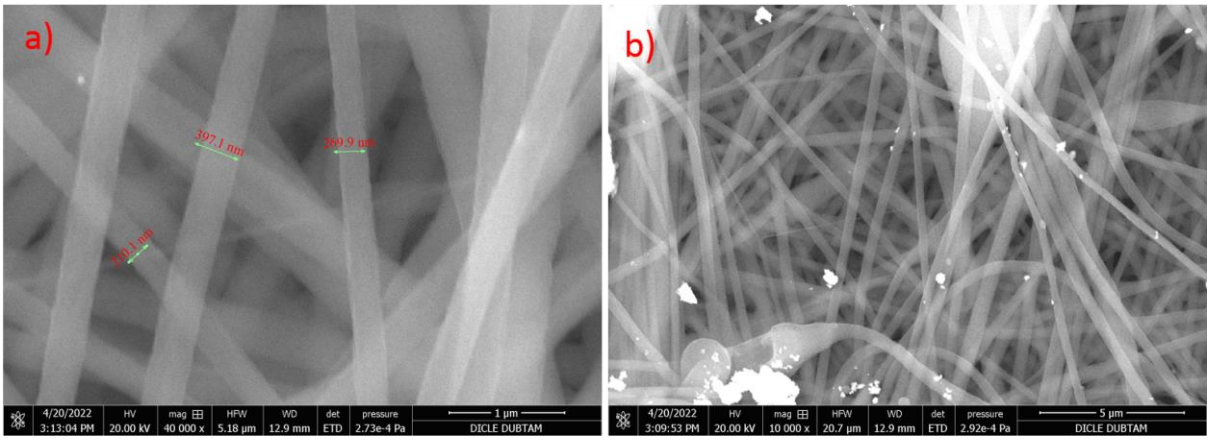
EK 3.C %8 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



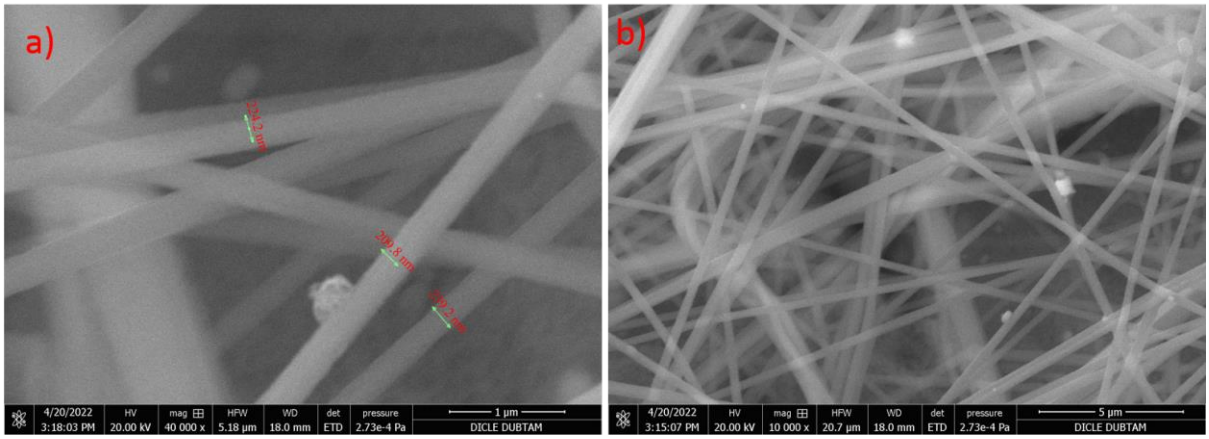
EK 3.Ç %8 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 3.D %8 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

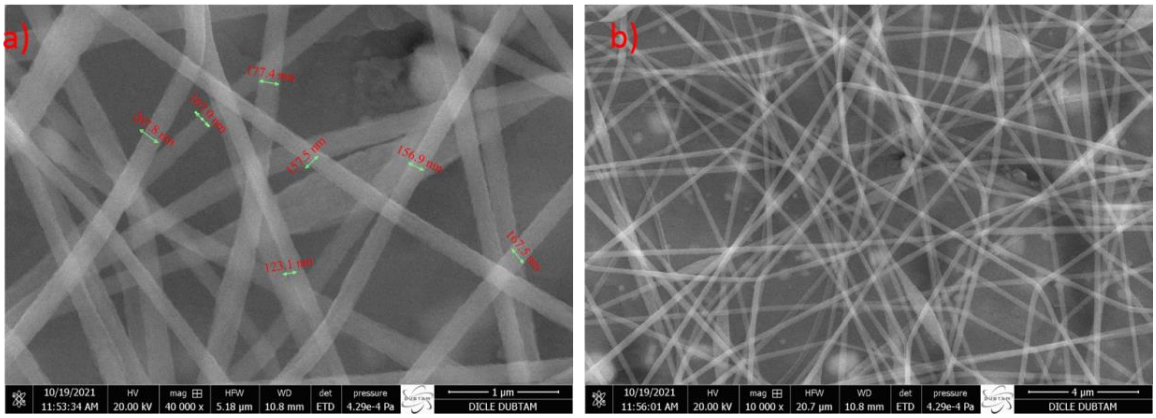


EK 3.E %8 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

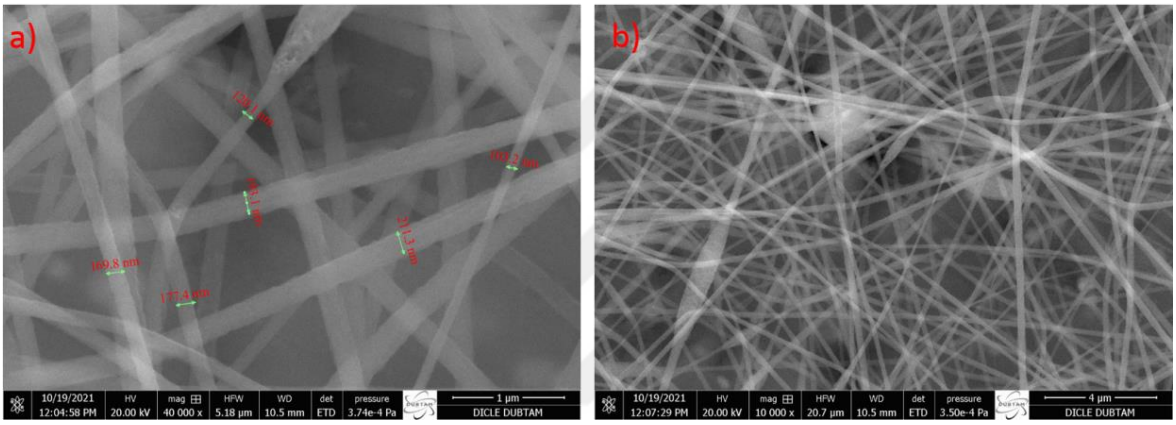


EK 3.F %8 PAN nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

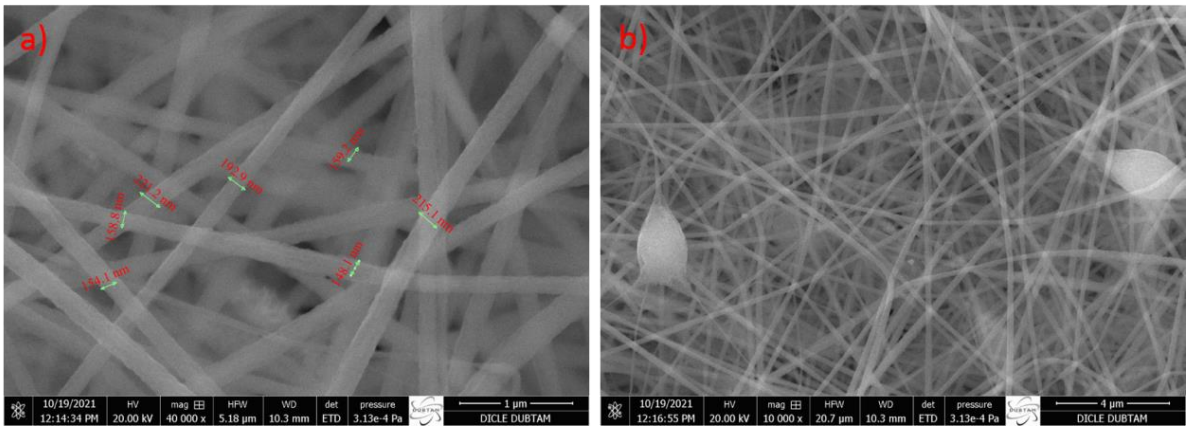
EK4 % 6 PAN+Kenevir Sapı Nanoliflerin SEM Görüntüleri



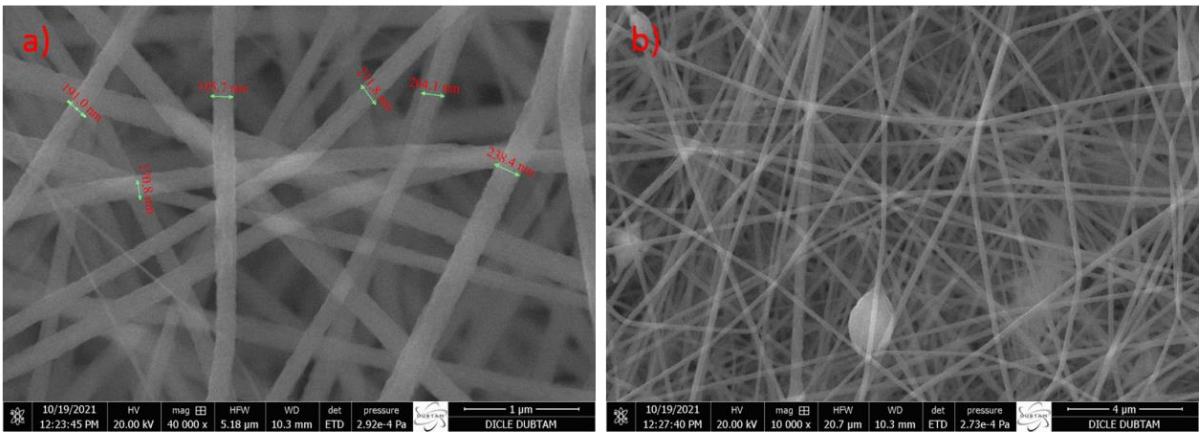
EK 4.A %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



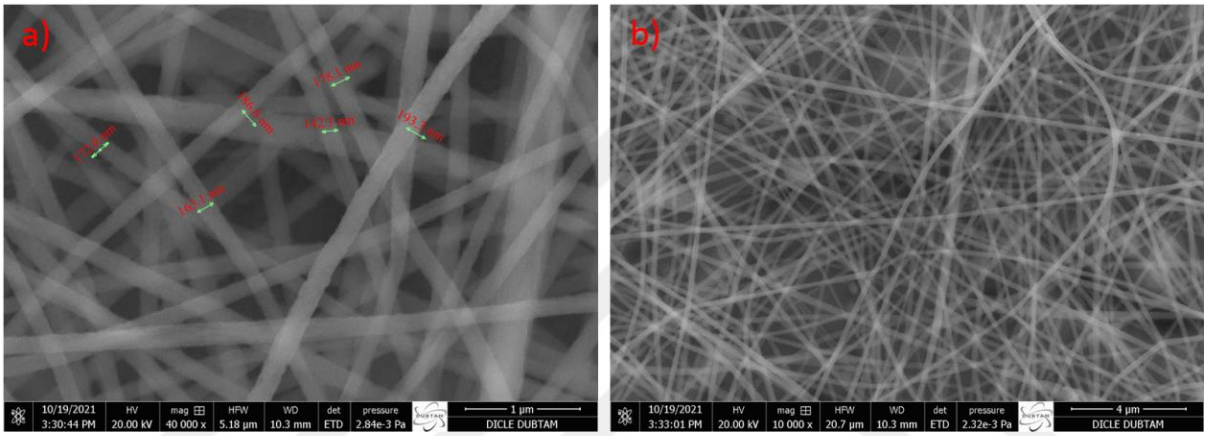
EK 4.B %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



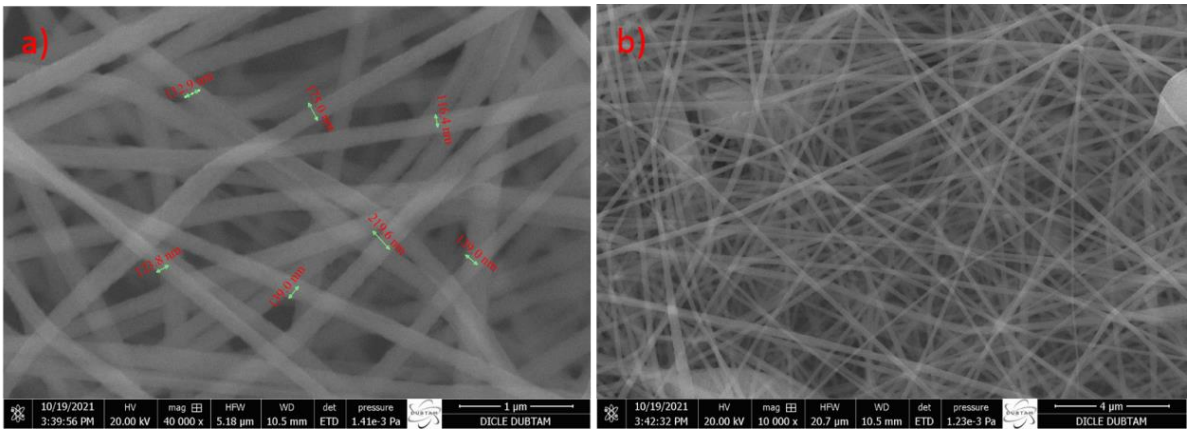
EK 4.C %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



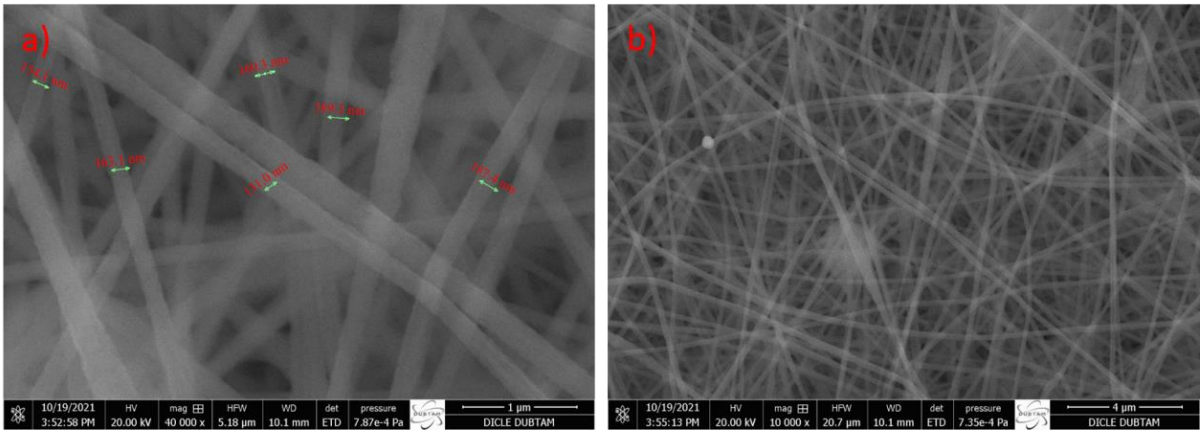
EK 4.Ç %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



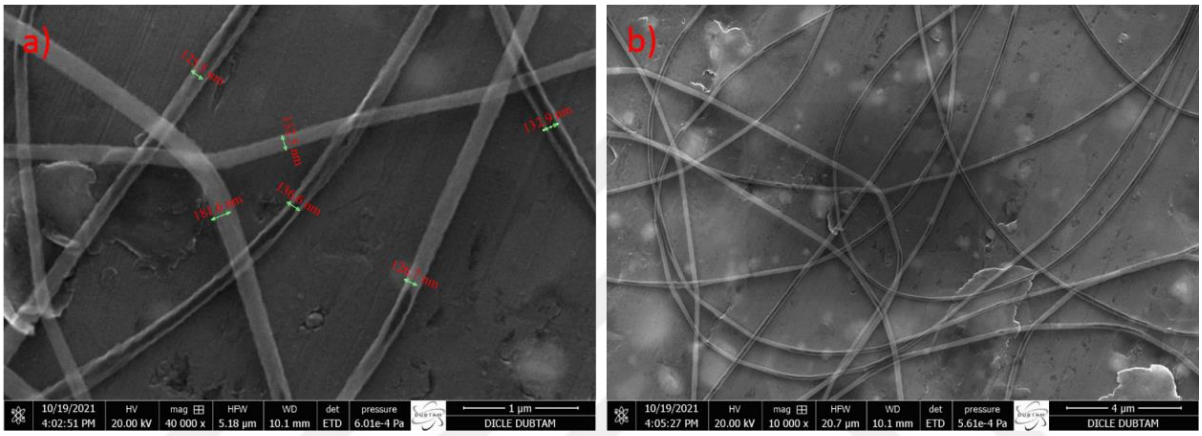
EK 4.D %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



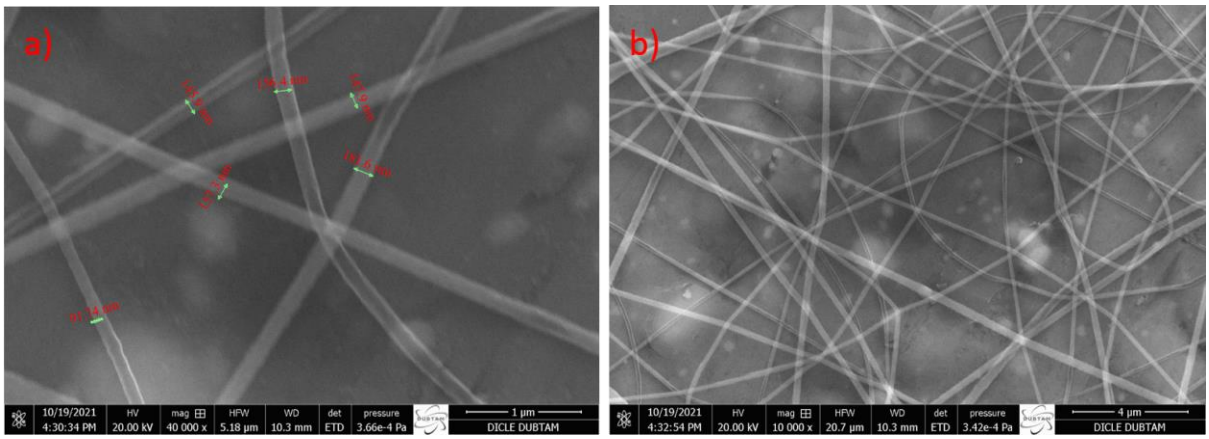
EK 4.E %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



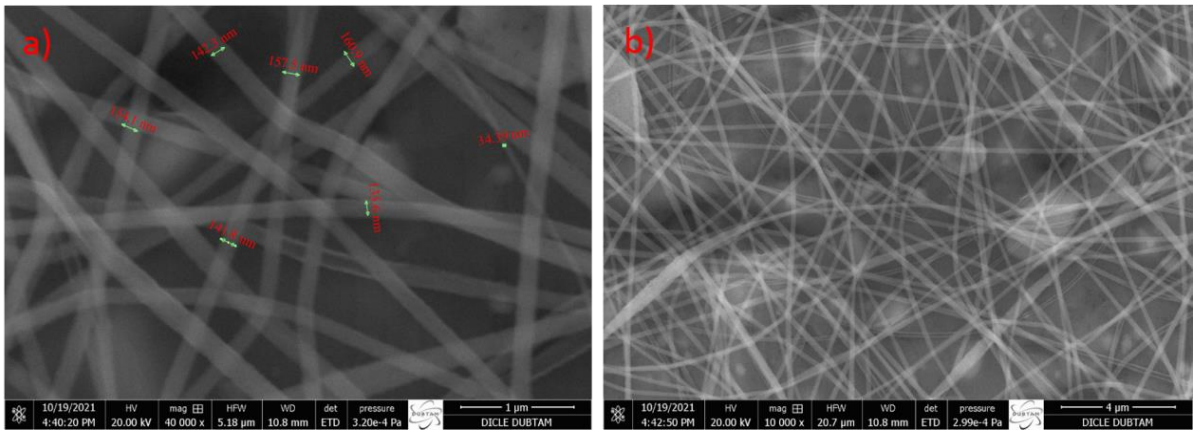
EK 4.F %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



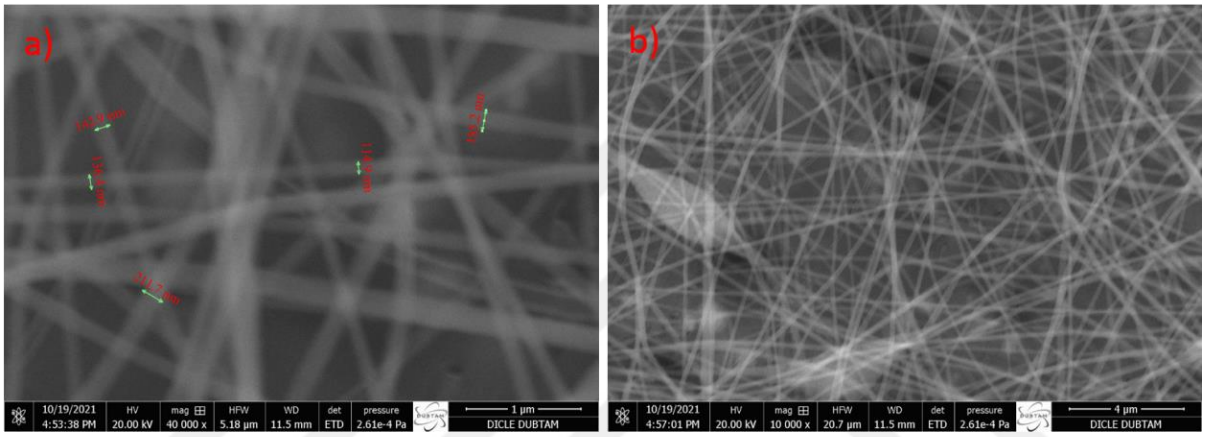
EK 4.G %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



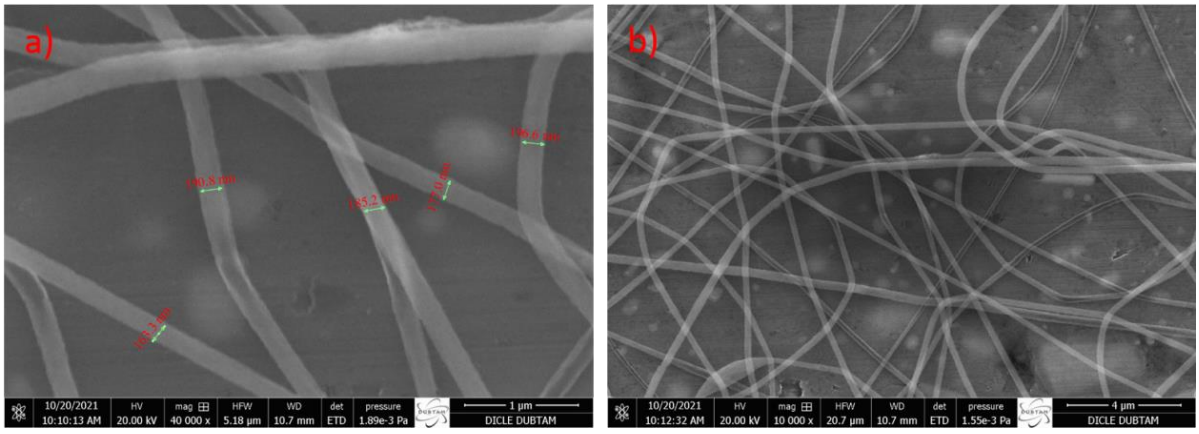
EK 4.Ğ %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



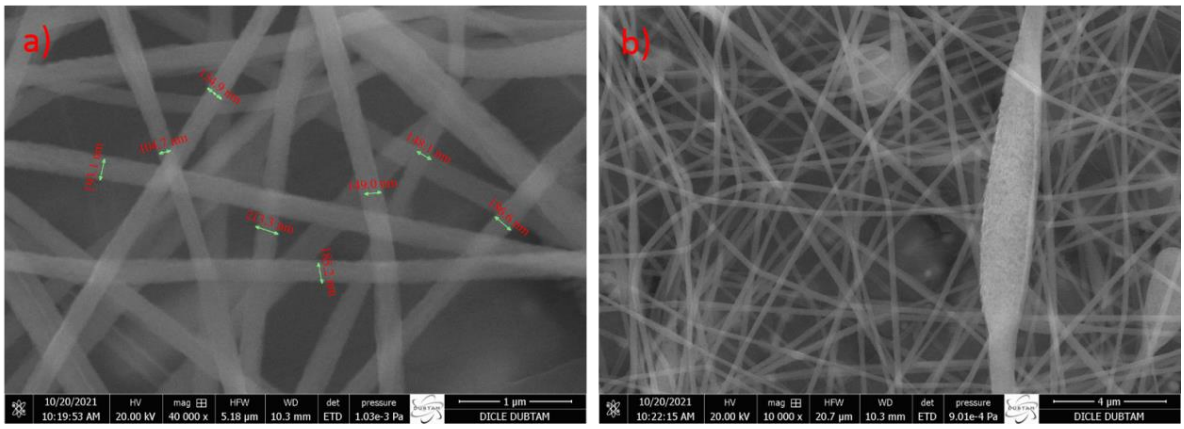
EK 4.H %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



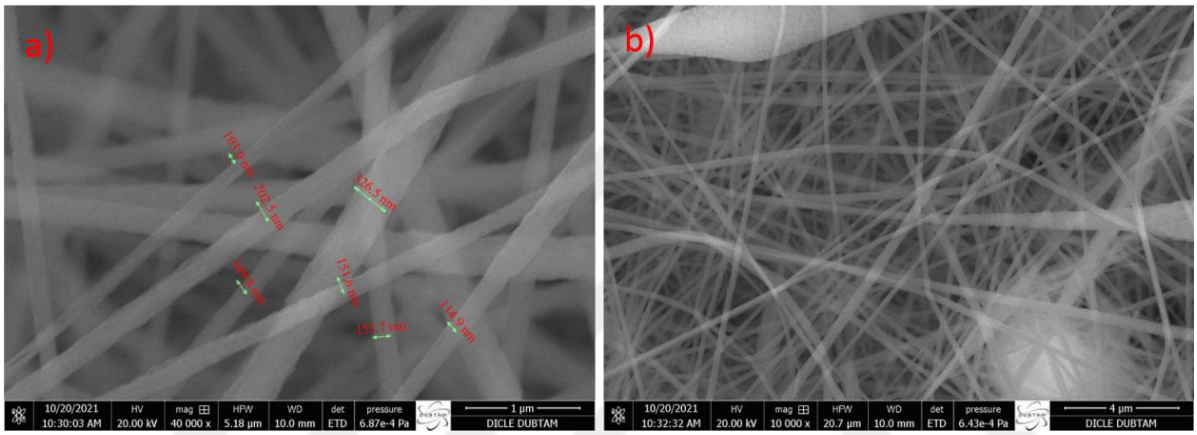
EK 4.I %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



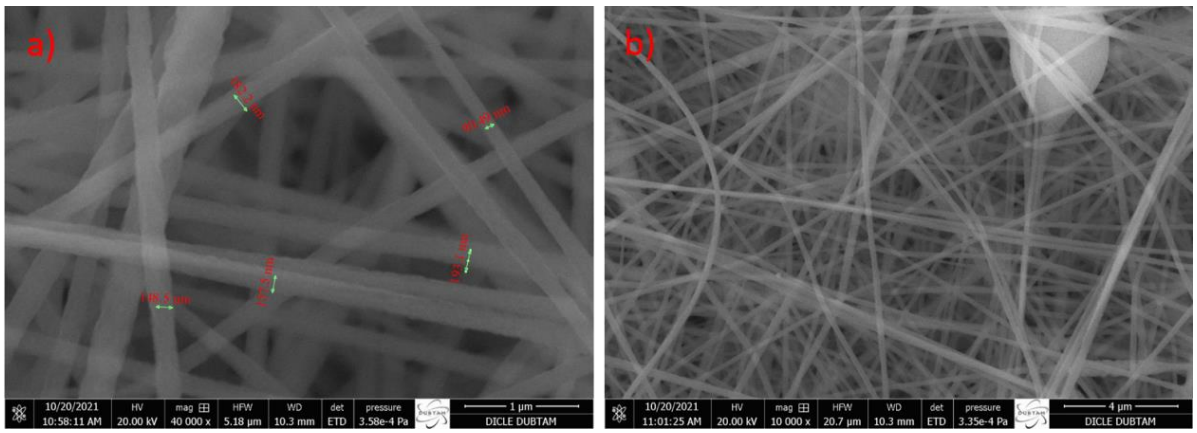
EK 4.İ %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



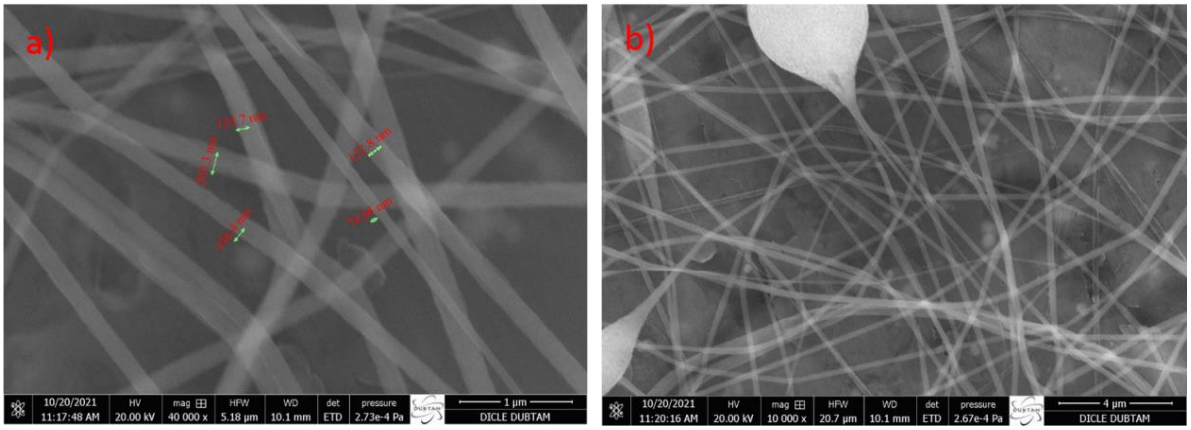
EK 4.J %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



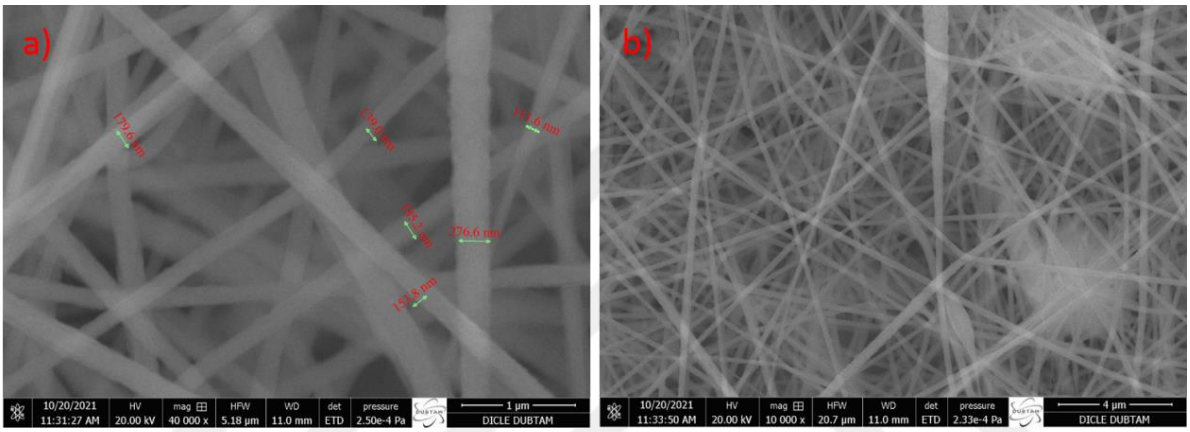
EK 4.K %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



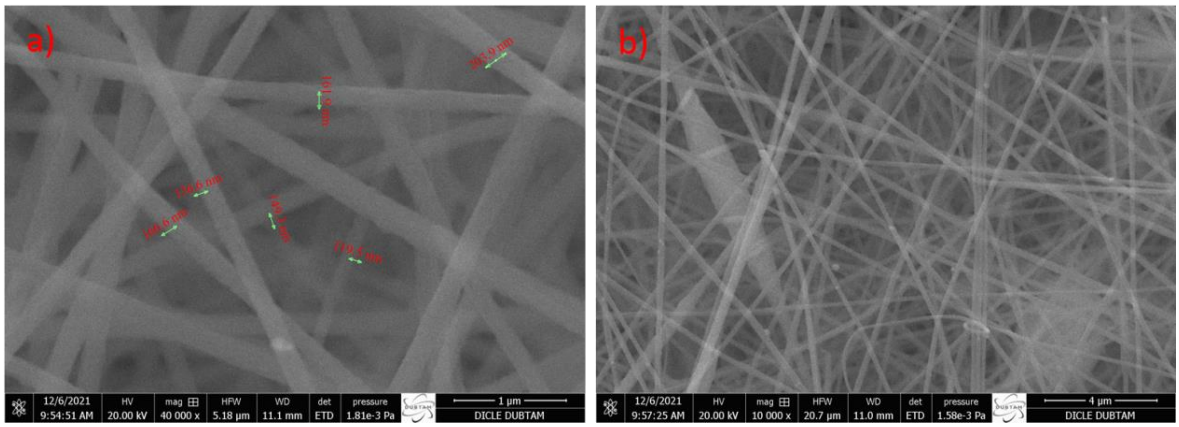
EK 4.L %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



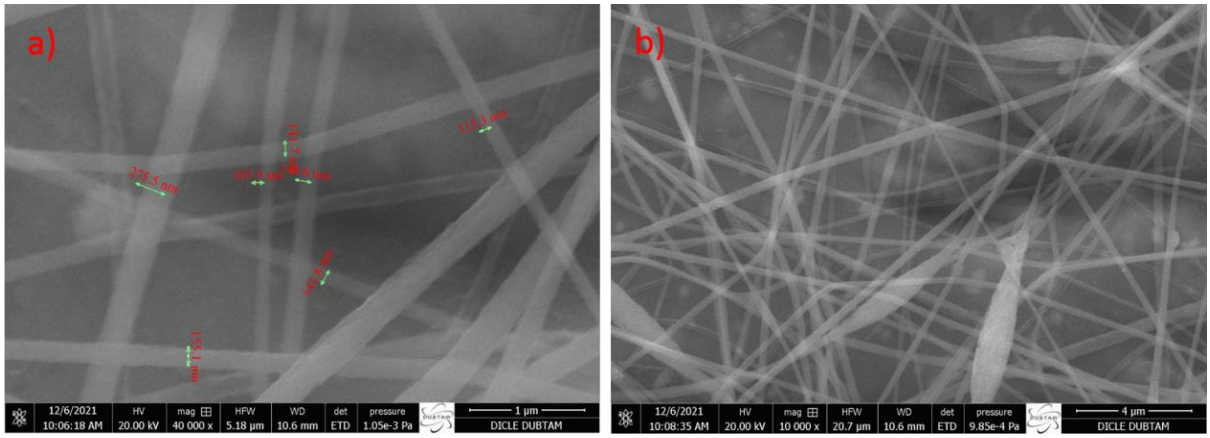
EK 4.M %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



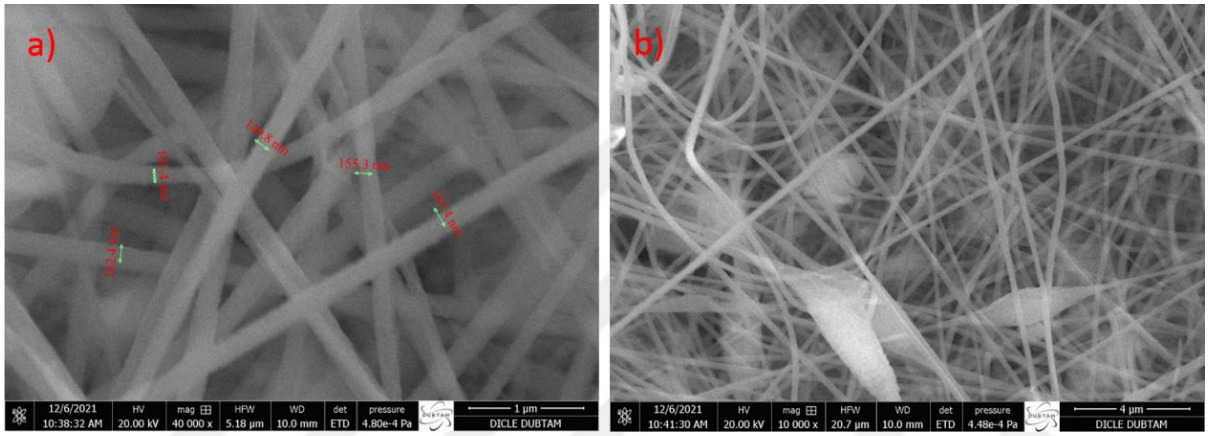
EK 4.N %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



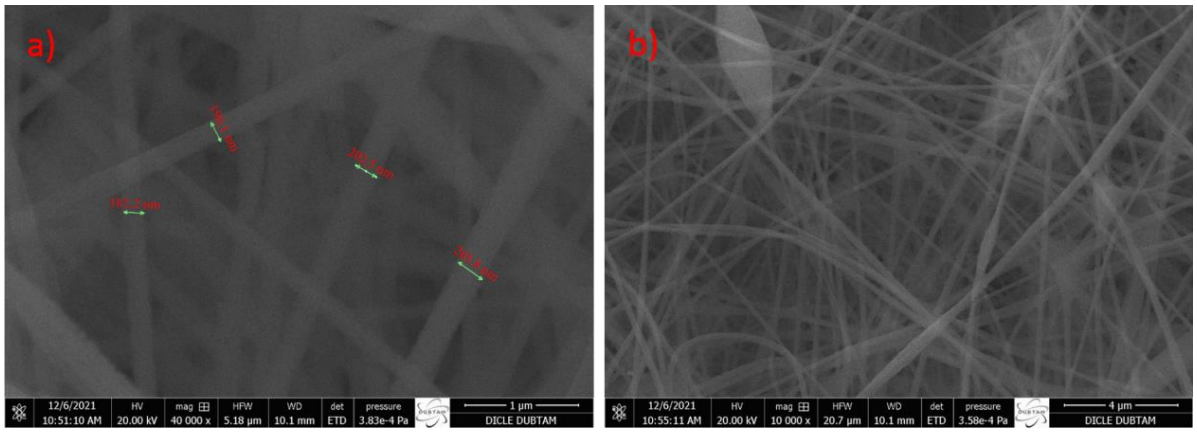
EK 4.O %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



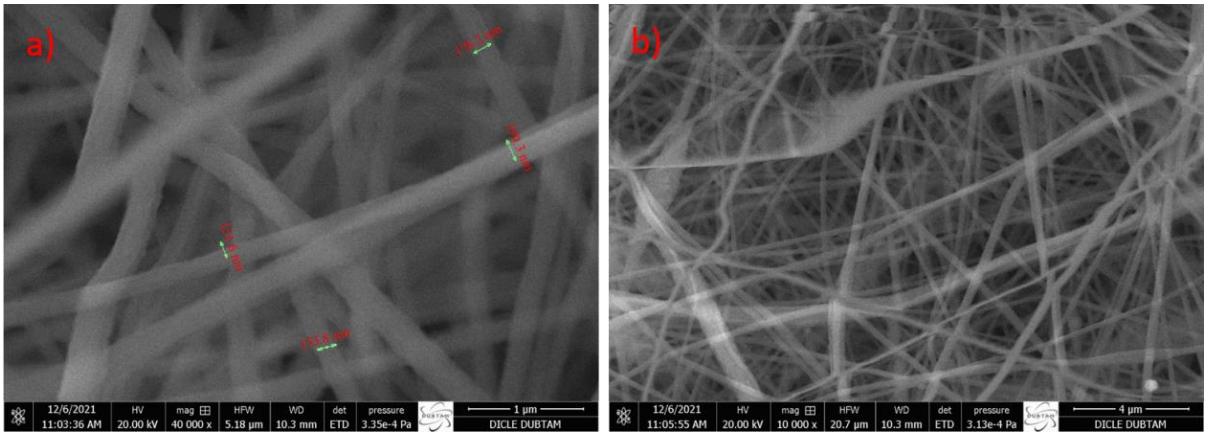
EK 4.Ö %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



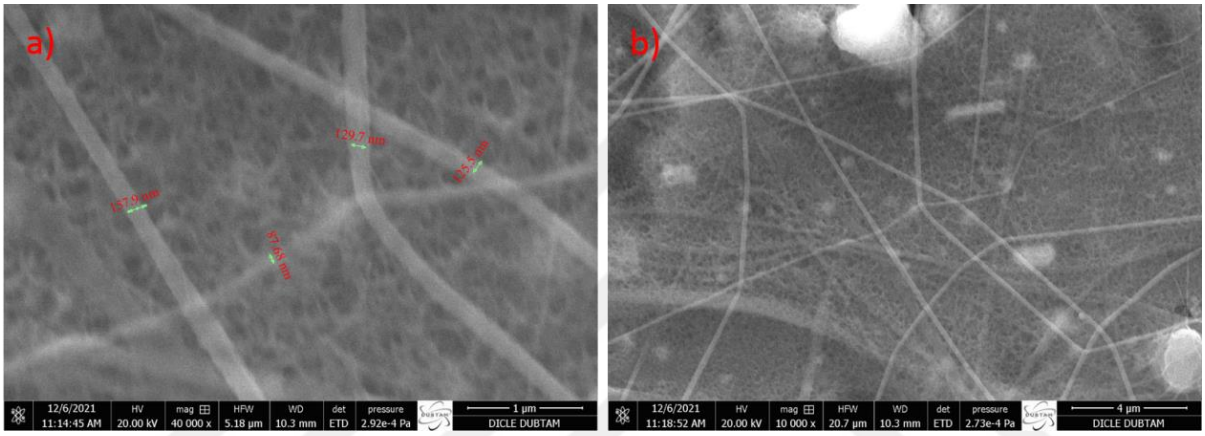
EK 4.P %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 4.R %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

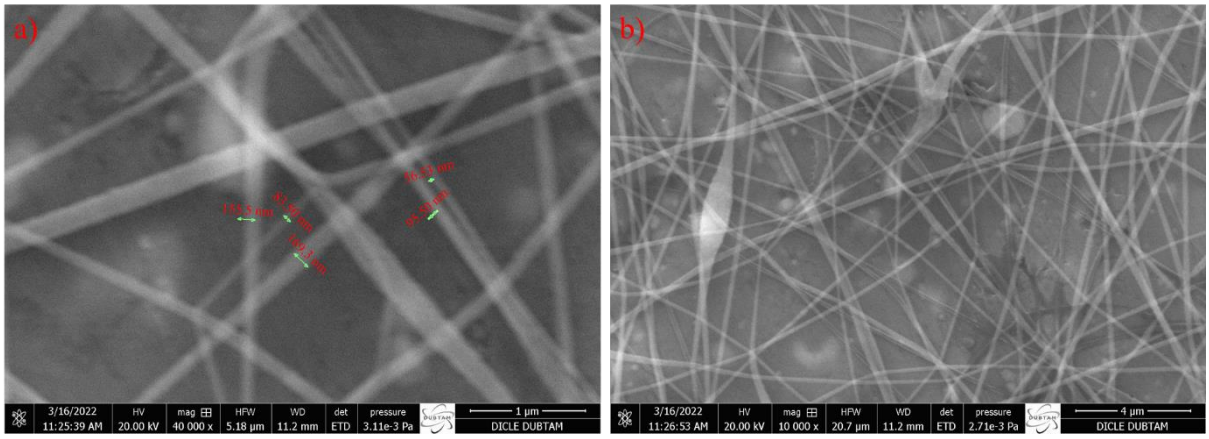


EK 4.S %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

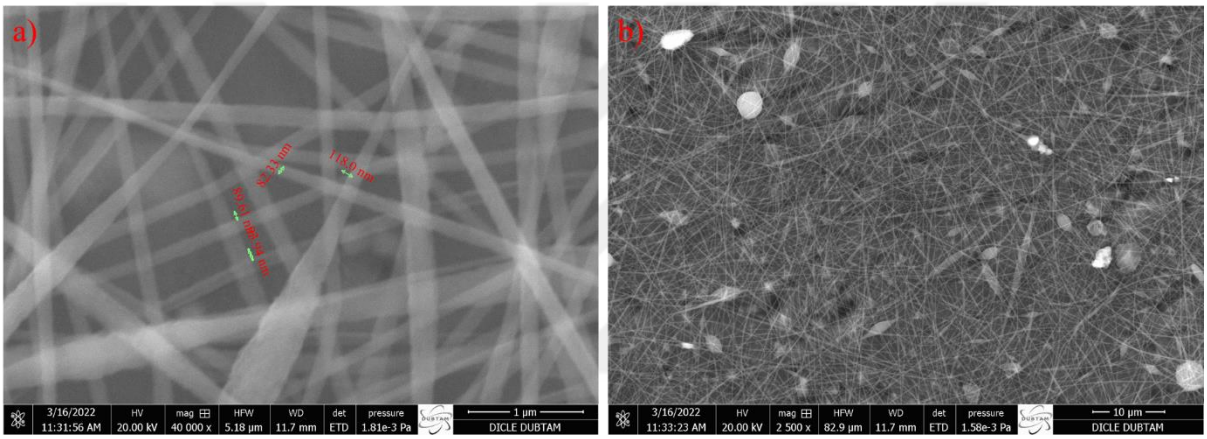


EK 4.Ş %6 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

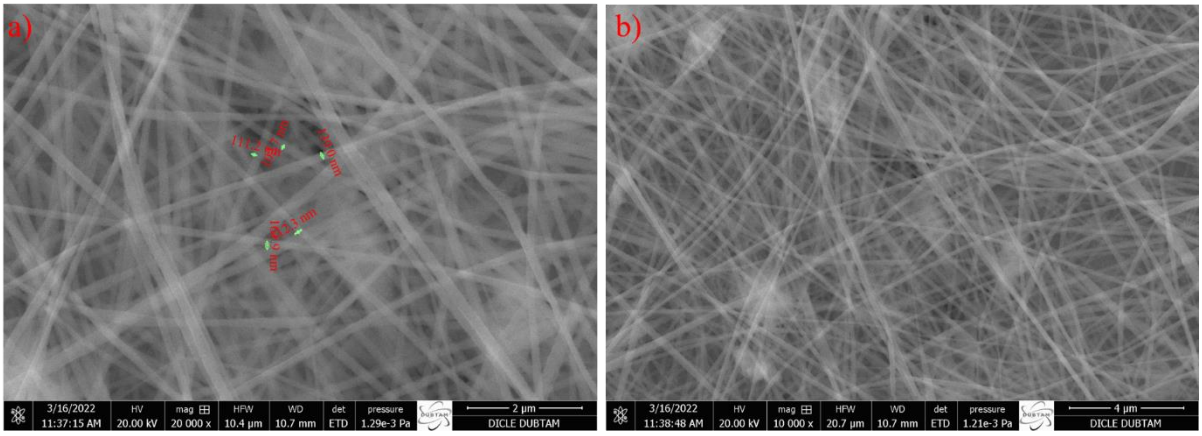
EK 5 %6 PAN+Kenevir Tohumu Nanoliflerin SEM Görüntüleri



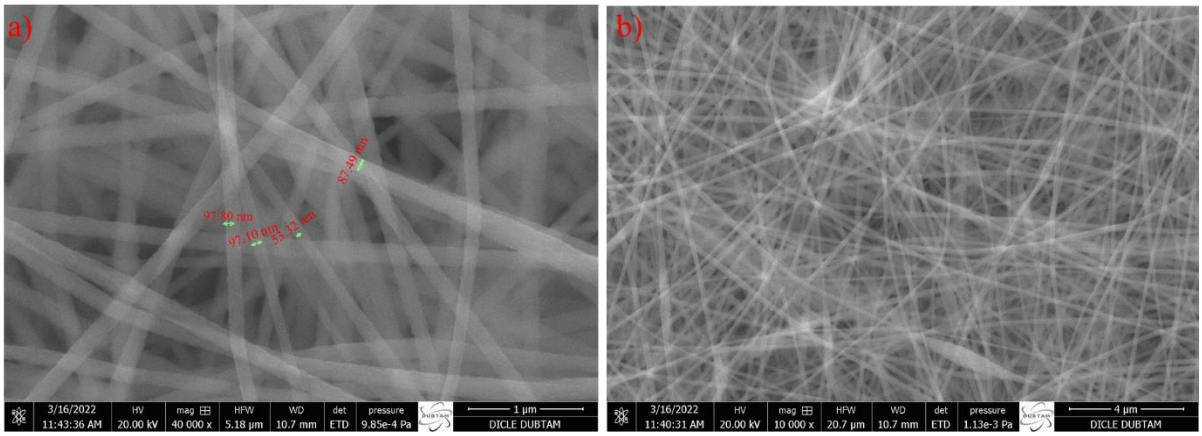
EK 5.A % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



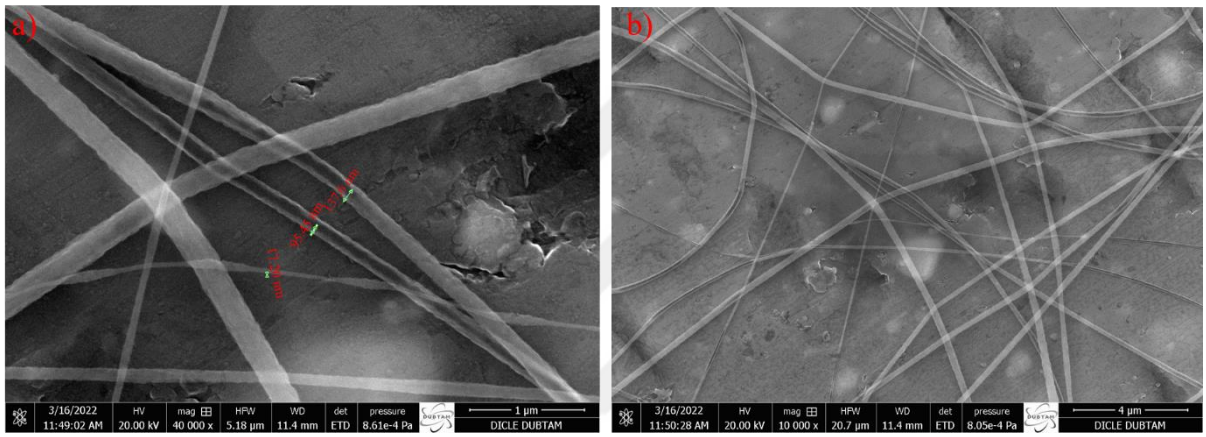
EK 5.B % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 2500 kez büyütme



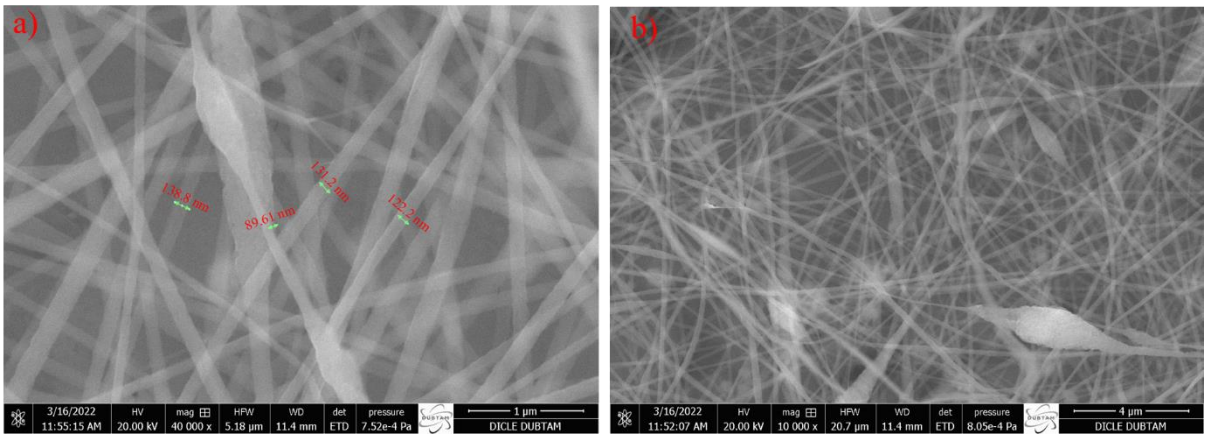
EK 5.C % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 20000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



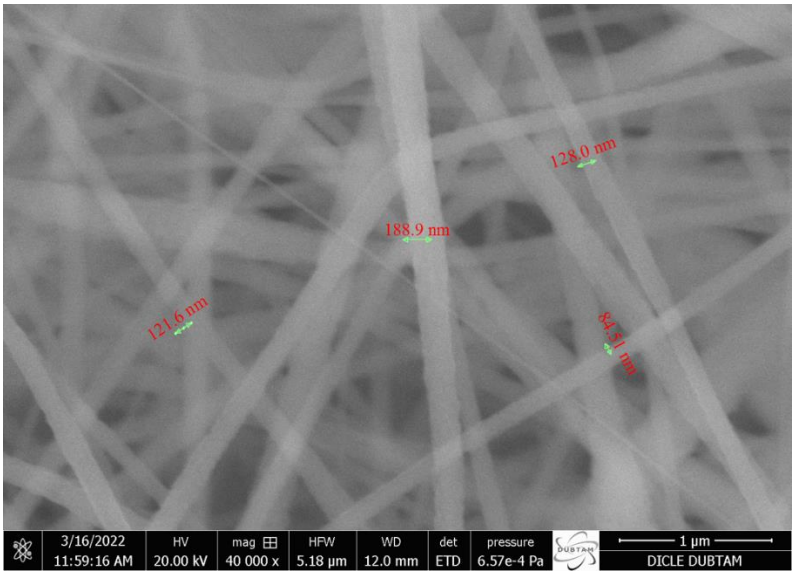
EK 5.Ç % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



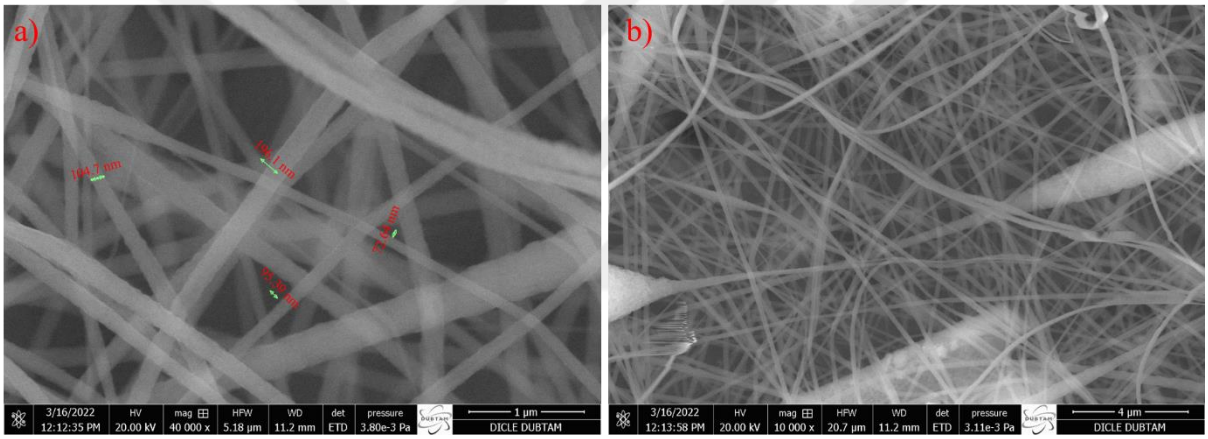
EK 5.D % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



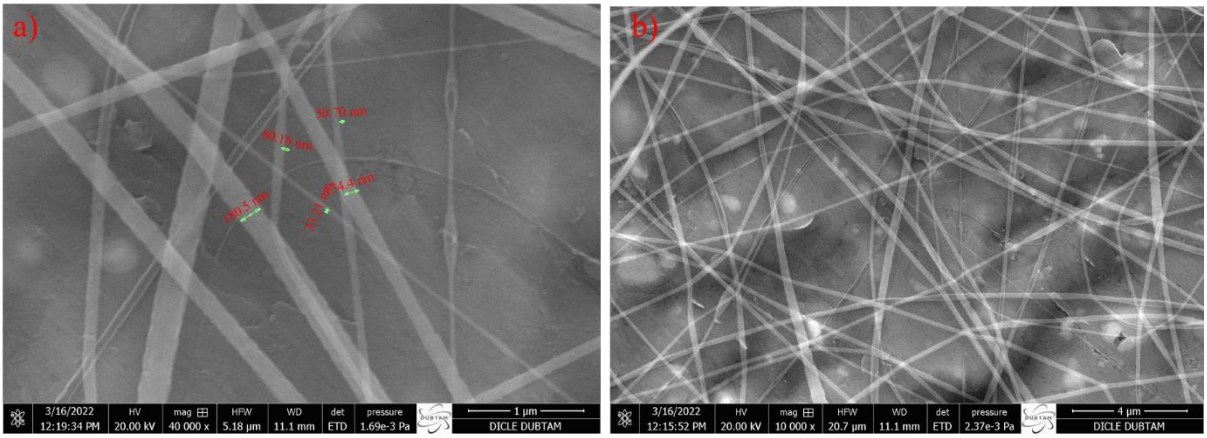
EK 5.E % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



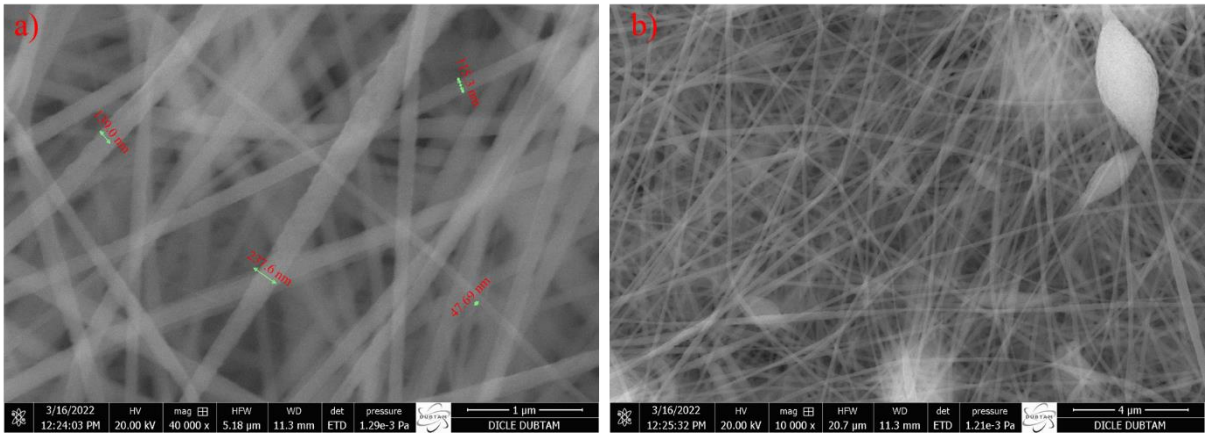
EK 5.F % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi 40000 kez büyütme



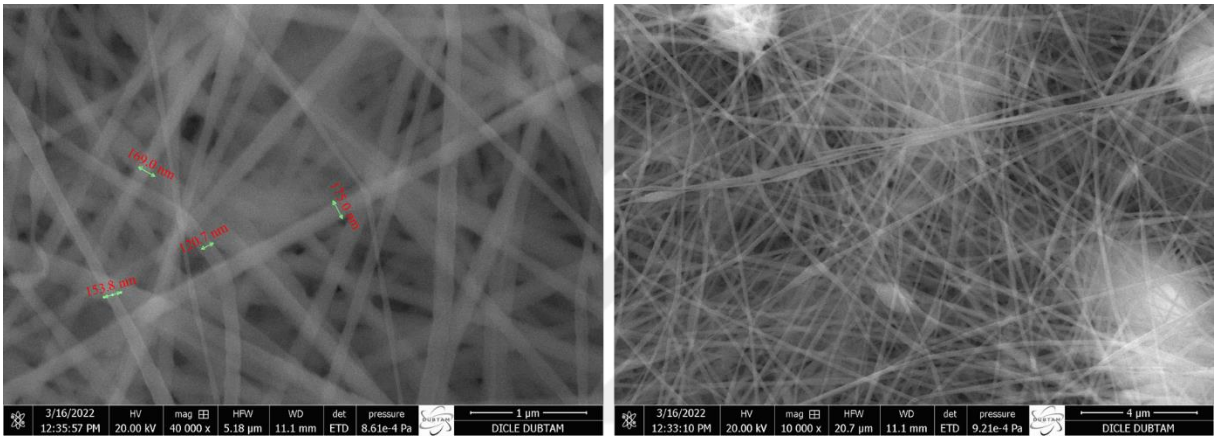
EK 5.G % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



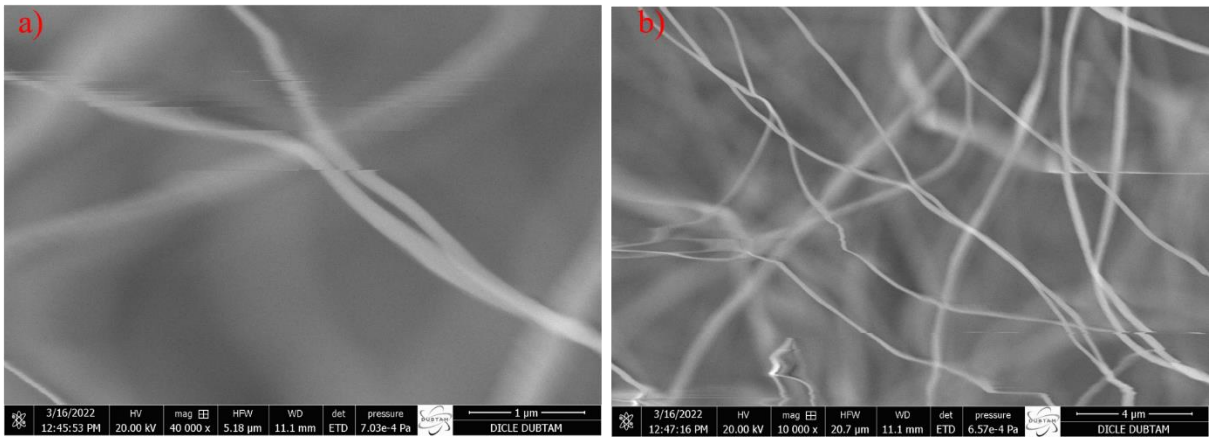
EK 5.Ğ % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 1 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



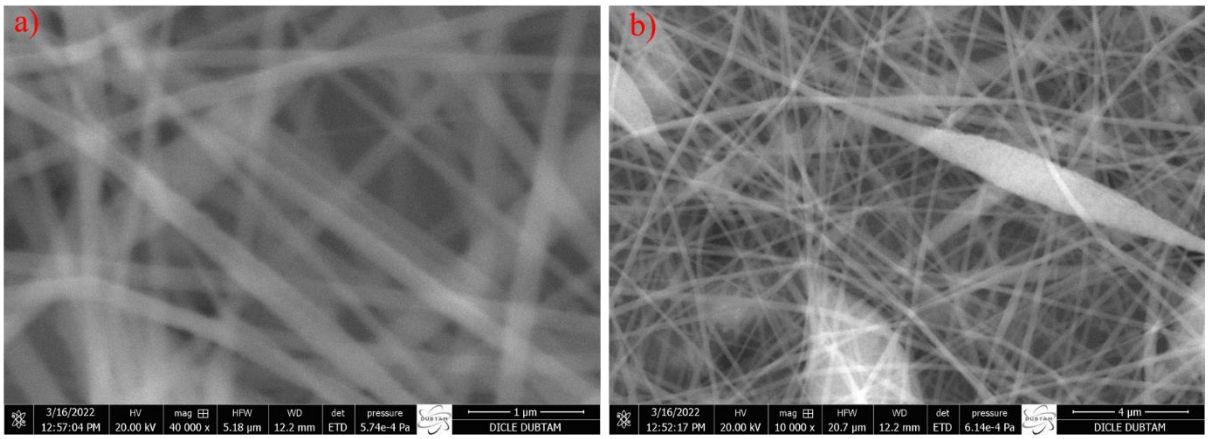
EK 5.H % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 5 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 5.I % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 15 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

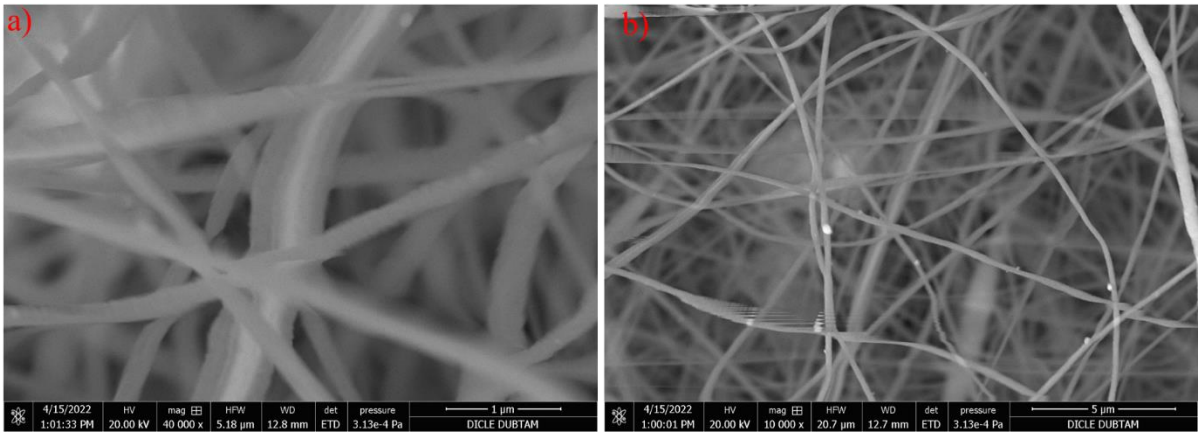


EK 5.İ % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

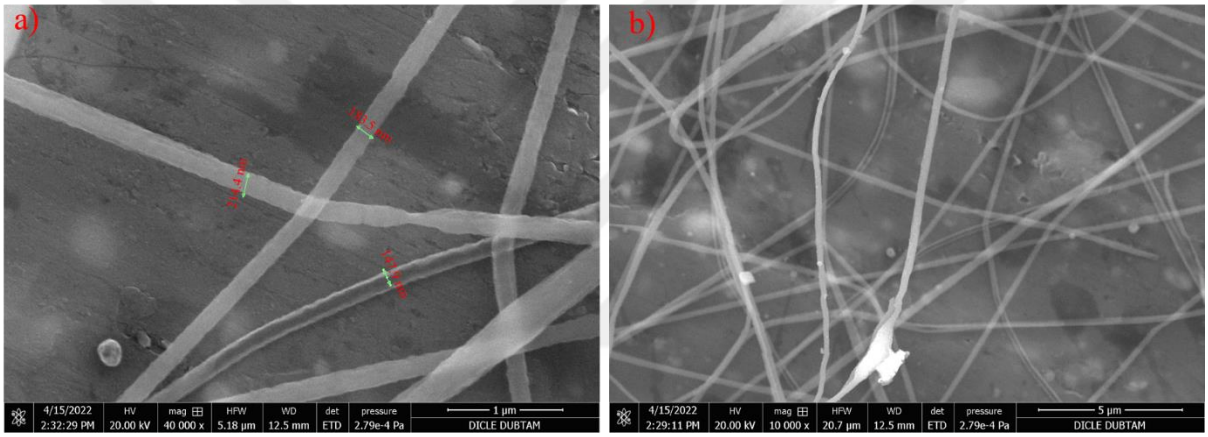


EK 5.J % 6 PAN+kenevir tohumu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

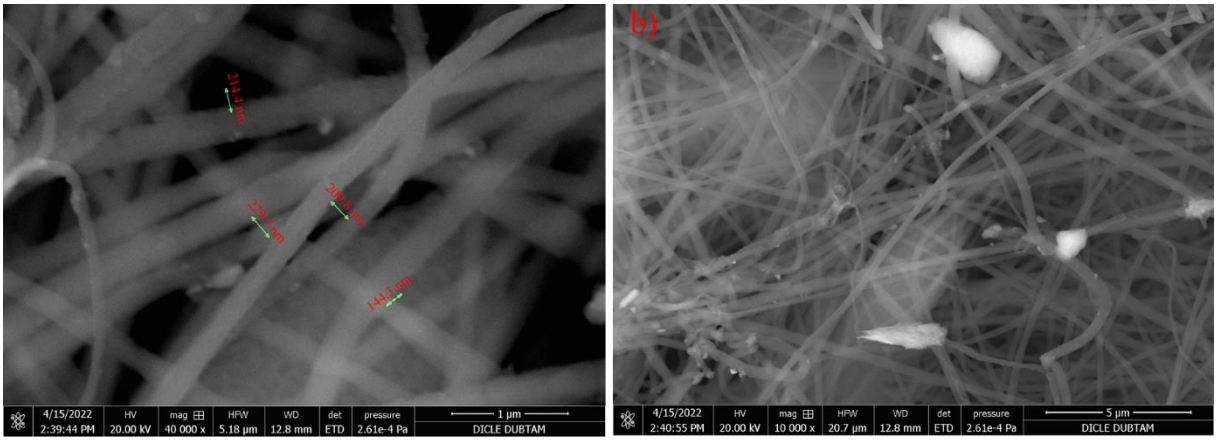
EK 6 %6 PAN+Kenevir Lif Tozu Nanoliflerin SEM Görüntüleri



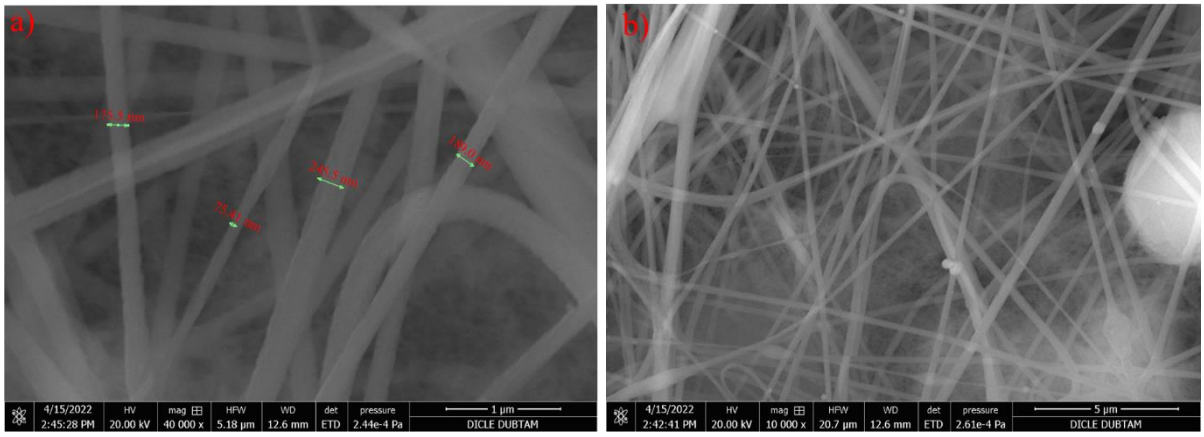
EK 6.A % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 6.B % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 15 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

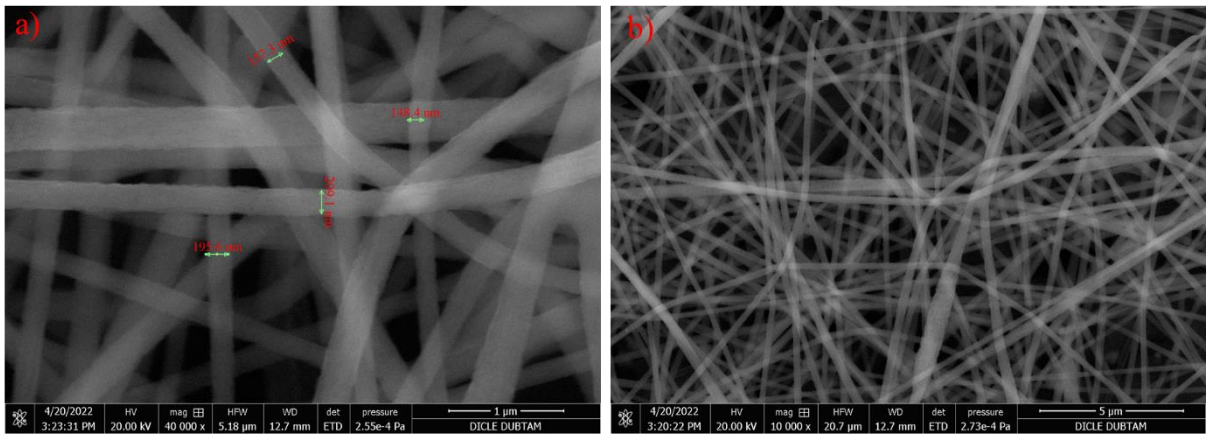


EK 6.C % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

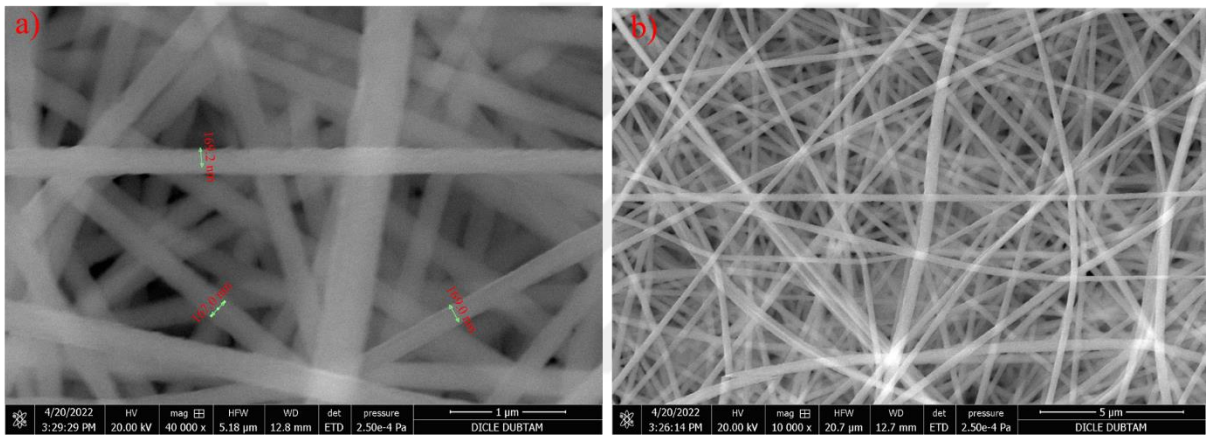


EK 6.Ç % 6 PAN+kenevir lif tozu nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

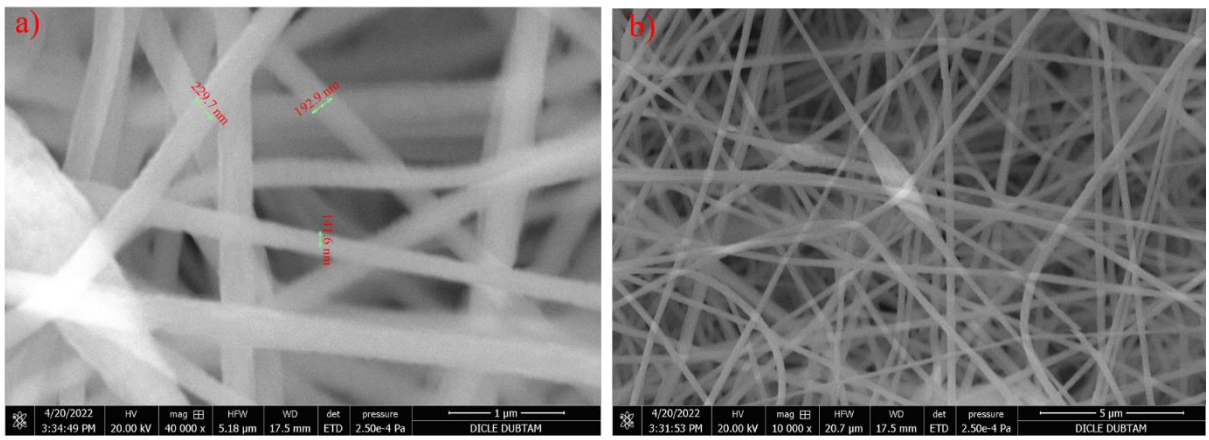
EK 7 % 7 PAN+Kenevir Sapı Nanoliflerin SEM Görüntüleri



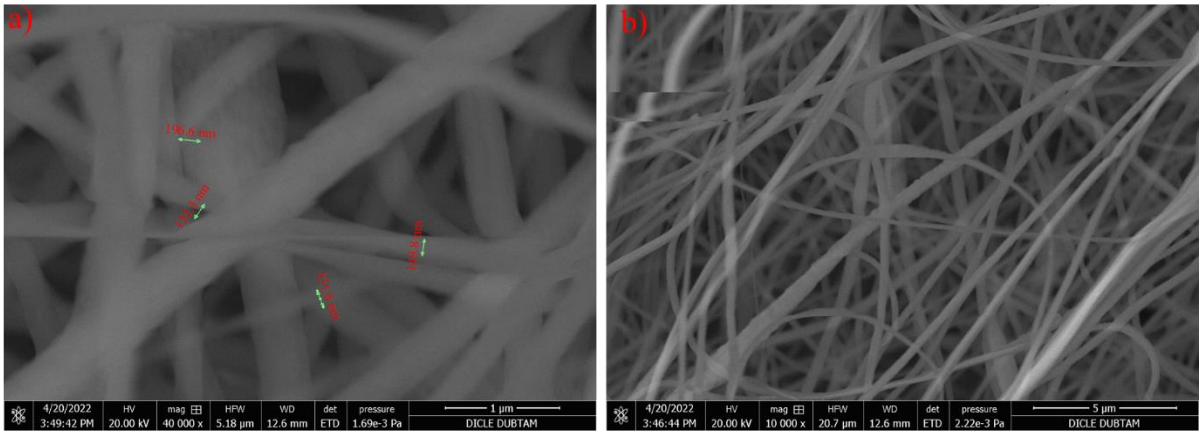
EK 7.A % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



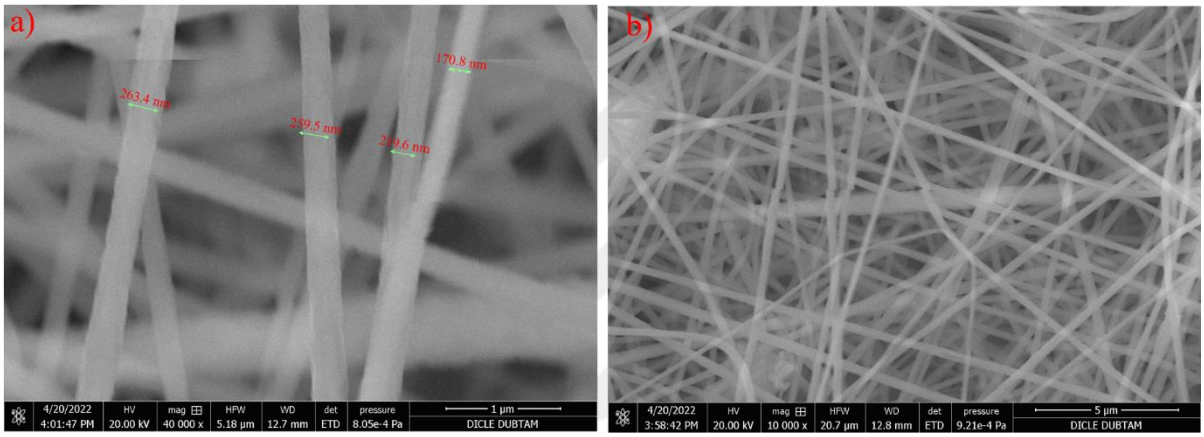
EK 7.B % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



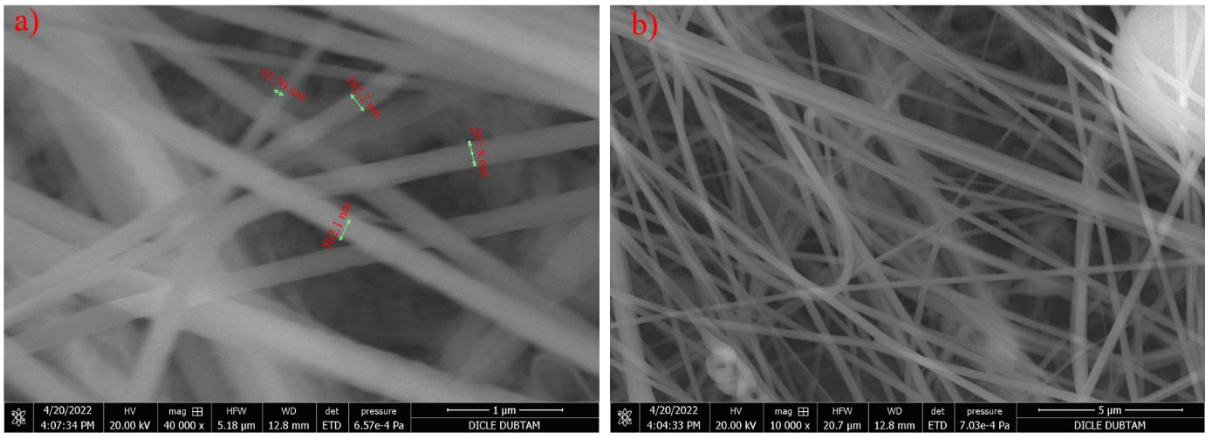
EK 7.C % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 7.Ç % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

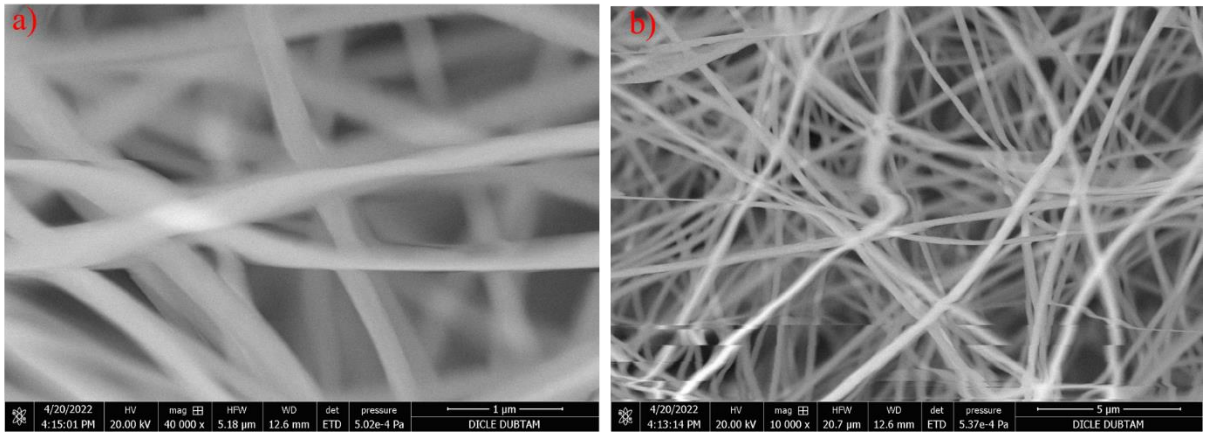


EK 7.D % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

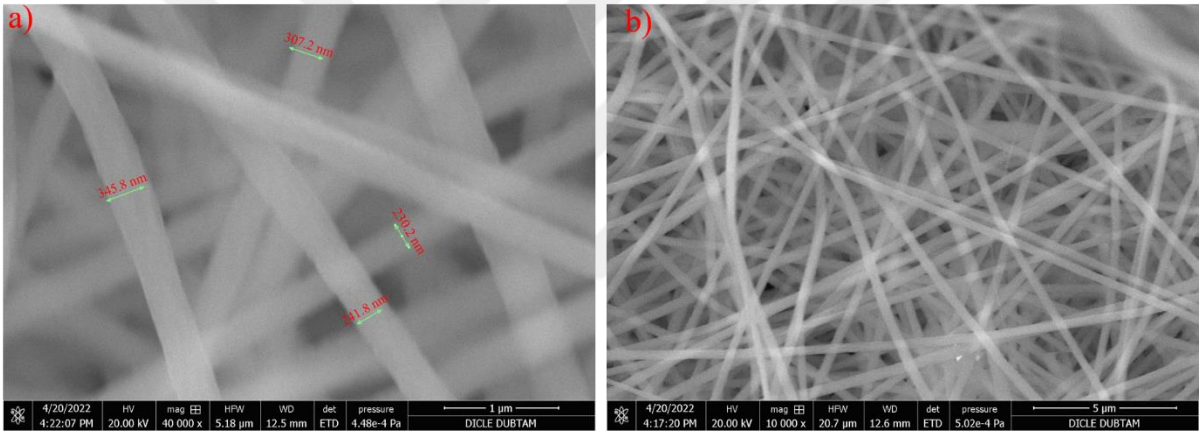


EK 7.E % 7 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 5 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

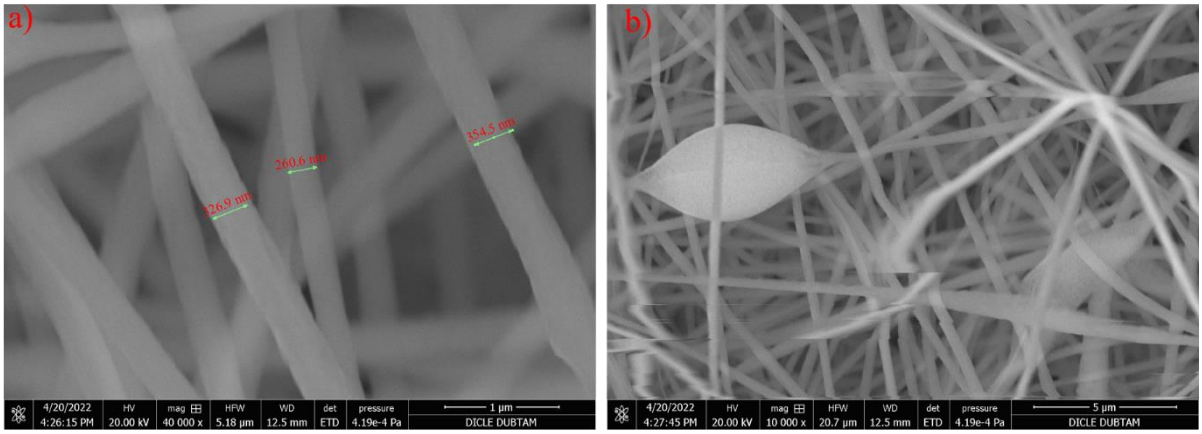
EK 8 % 8 PAN+Kenevir Sapı Nanoliflerin SEM Görüntüleri



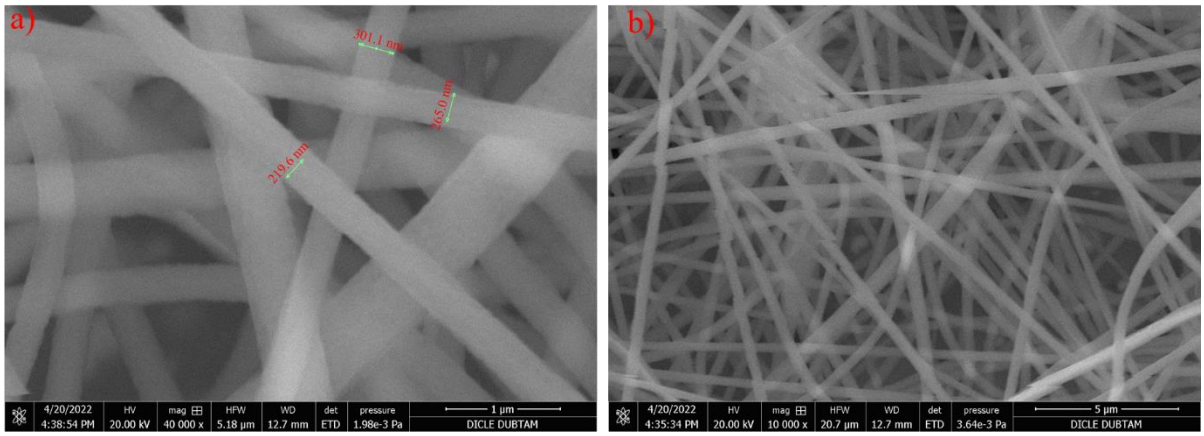
EK 8.A % 8 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 10 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



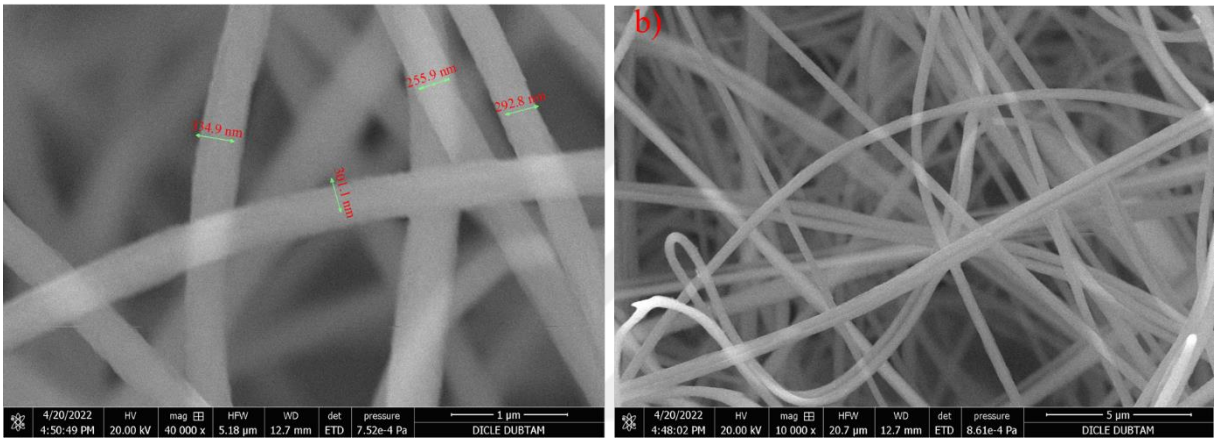
EK 8.B % 8 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 15 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 8.C % 8 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 8.Ç % 8 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 20 cm mesafe, 25 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme



EK 8.D % 8 PAN+kenevir sapı nanoliflerin SEM görüntüleri; 10 cm mesafe, 20 kV voltaj ve 10 dakikalık biriktirme süresi a) 40000 kez büyütme b) 10000 kez büyütme

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Soyad, Ad		Ülker YALÇIN ERBASTI
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)		
Eğitim Bilgileri		
Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi	2007
Lisans	Atatürk Üniversitesi	2003
İş Deneyimi		
Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2005-Halen	EGM	
Yabancı Dil		
İngilizce, orta düzey		
Yayınlar		
Yalçın Erbastı Ülker, Candan İlhan, Gündoğdu Yasemin, Budak Gümgüm Hadice, Kılıç Hamdi Şükür (2022). Investigation of PAN:Hemp Stems Nanofibers Produced by Electrospinning Method (Kabul edildi, karar tarihi 27.05.2022) Yalçın Ülker (2007). A ≅ 140 Civarında Bazı Çift-Çift Çekirdeklerin Elektromanyetik Geçişlerinin Çokkutupluluklarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.		
Özel İlgiler		
Kitap okumak, tarihi yerleri gezmek.		

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Ülker YALÇIN ERBASTI		
Öğrenci No	17802503		
Ana Bilim Dalı	Fizik		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☐	Doktora ☒
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Hadice BUDAK GÜMGÜM		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Hamdi Şükür KILIÇ		
Tez Başlığı	Elektrospinning Yöntemi ile Kenevirden Nanolif Üretimi ve Analiz Çalışmaları		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	106		
Raporlama Tarihi	21.07.2022		
Benzerlik Oranı (%)	16		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 106 sayfalık kısmına ilişkin, 21/07/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 16 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☒Diğer (Kaynaklar dâhil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,

Gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Ülker YALÇIN ERBASTI

Tarih: 21.07.2022

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Hadice BUDAK GÜMGÜM Tarih: 21.07.2022	İmza:
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Hadice BUDAK GÜMGÜM Tarih: 21.07.2022	İmza: