



**T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ELEKTROSPİN METODU İLE HAZIRLANAN
POLİMER/MWCNT NANOFİBERLERİN
ÖZELLİKLERİNE MWCNT ÇAPININ VE
UZUNLUĞUNUN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Aylin ARICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı

**Haziran-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Aylin ARCI tarafından hazırlanan “Elektrospin Metodu ile Hazırlanan Polimer/MWCNT Nanofiberlerin Özelliklerine MWCNT Çapının ve Uzunluğunun Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 05/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ

Danışman
Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN

Üye
Prof. Dr. Haluk BİNGÖL

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARALI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 171310007 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Aylin ARICI

05/07/2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTROSPİN METODU İLE HAZIRLANAN POLİMER/MWCNT NANOFİBERLERİN ÖZELLİKLERİNE MWCNT ÇAPININ VE UZUNLUĞUNUN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Aylin ARICI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN

2018, 66 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN
Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ
Prof. Dr. Haluk BİNGÖL

Elektrospın 50 ile 500 nm çap aralığında ultra ince polimer lifleri üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Nanofiberler çok yüksek yüzey/ağırlık oranına sahip oldukları ve geniş bir yelpazede özel potansiyel uygulamalar açan özellikler sergilediğinden, nanofiberlere ilgi son birkaç yıl içinde büyük ölçüde artmıştır. Nanofiberler filtrasyon, bataryalar, güneş pilleri gibi enerji uygulamaları, nano-elektronik, fonksiyonel tekstil, nano-kompozitler, tıbbi doku mühendisliği, ilaç salınımı, yara pansumanı gibi tıbbi uygulamalar için kullanılmaktadır.

Karbon nanotüp (CNT), olağanüstü fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı bilim ve mühendislik alanlarının çoğunda büyük ilgi uyandırmıştır. Geliştirilmiş özelliklere sahip yüksek potansiyelli kompozitlerin üretilmesi için, mikro ve nanoölçekli partiküller, polimerler için dolgu malzemesi olarak düşünülmüştür. Kompozitlere dahil edilerek daha iyi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip ileri dolgu maddesi olarak kullanım potansiyeli, CNT'yi geniş bir uygulama yelpazesinde ideal bir aday yapmaktadır. Bilimsel ve teknik uygulamalar alanında nanopartikül takviyeli polimer kompozitler en yetenekli malzemelerden biridir. Geleneksel takviye ile birlikte nanoparçacıkların benzersiz özelliklerinin mükemmel özelliklere yol açtığı nanokompozit alanındaki araştırmalarla ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışmada, çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) ile matris polimeri olarak poliakrilonitril (PAN) içeren nanofiberler, farklı uzunluk ve çapa sahip MWCNT kullanılarak üretildi. PAN-esaslı kompozit nanofiberleri üretmek için elektrospın yöntemi kullanıldı. Homojen dağılımla elde edilen lifler taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazında farklı uzunluk ve çapa sahip MWCNT'nin lif üzerinde nasıl bir değişime sebebiyet verdiği gözlemlendi. Lifler fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), raman spektroskopisi gibi bazı yöntemlerle karakterize edildi. Ayrıca nanofiberlerin su akısı çalışmaları gerçekleştirildi.

Sonuç olarak MWCNT'nin çapının ve uzunluğun artması liflerin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmuştur. Su akısı analizinde ise kısa MWCNT'lerle elde edilen fiberlerin su akısının uzun olanlardan daha iyi olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Elektrospın, karbon nanotüp, nanofiber, poliakrilonitril, su akısı

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MWCNT DIAMETER AND LENGTH ON PROPERTIES OF POLYMER/MWCNT NANOFIBER PREPARED BY ELECTROSPINNING METHOD

Aylin ARICI

**The Graduate School of Natural And Applied Science of Necmettin Erbakan
University
Nano Science And Nano Engineering Department**

Advisor: Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN

2018, 66 Pages

Jury

**Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN
Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ
Prof. Dr. Haluk BİNGÖL**

Electrospinning is a method used to produce ultra-fine polymer fibers at an average diameter range of 50 to 500 nm. Interest in nanofibres has greatly increased over the last few years as nanofibers have a very high surface to weight ratio and exhibit special potential applications in a wide range of applications. Nanofibers is used for filtrasyon, energy applications such as batteries, solar batteries, nano-electronics, functional textiles, nano-composites, medical applications such as medical tissue engineering, drug delivery, wound dressing,.

Carbon nanotubes (CNT) have attracted a great deal of interest in the scientific and engineering fields due to their outstanding physical and chemical properties. For the production of high-potency composites with improved properties, micro- and nanoscale particles are considered as fillers for polymers. CNT is an ideal candidate for a wide range of applications, with potential for use as advanced filler material with better physical and chemical properties by including in composites. Nanoparticle reinforced polymer composites in the scientific and technical applications are among the most capable materials. With the traditional reinforcement, nanocomposite research has revealed that the unique properties of nanoparticles lead to excellent properties.

In this work, nanofibers containing multiwall carbon nanotubes (MWCNT) and polyacrylonitrile (PAN) as matrix polymer were produced using MWCNT with different length and diameter. Electrospinning method was used to produce PAN-based composite nanofibers. The fibers obtained by homogeneous distribution were observed to have a change in fiber on MWCNT with different length and diameter in the scanning electron microscope (SEM) device. The fibers were characterized by some methods such as fourier transformation infrared spectroscopy (FT-IR), and raman spectroscopy. In addition, water flow studies of the nanofibers were performed.

As a result, the increase in diameter and length of MWCNT has caused the fibers to be adversely affected. In the water flow analysis, it was determined that the fibers obtained with short MWCNTs had better water flow than long ones measurements.

Keywords: Electrospin, carbon nanotube, nanofiber, polyacrylonitrile, water flow

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Anabilim Dalı Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN danışmanlığında tamamlanarak Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Bilim insanı olma yolunda ilk adımımı atmamı sağlayan ve çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen, bu tez çalışmasının seçiminde, araştırılmasında her türlü bilgi, öneri ve deneyimleriyle bana yön veren değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım katkıda bulunan Prof. Dr. Haluk BİNGÖL'e, deneyimleriyle bana yön veren Dr. Öğr. Üyesi Erhan ZOR'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her türlü desteğini bir an olsun eksik etmeyen, beni sevgiyle yetiştiren anne ve babama, saygı ve sevgileriyle her zaman yanımda olan sevgili abim ve kardeşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

Aylin ARICI
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Nanobilim ve Nanoteknoloji	2
1.2. Nanobilim ve Nanoteknolojinin Tarihi	5
1.3. Günümüzde ve Gelecekte Nanobilim ve Nanoteknoloji.....	6
1.4. Nanoteknolojinin Potansiyel Araştırma ve Uygulama Alanları.....	8
1.4.1. Nanomalzemeler	8
1.4.2. Bilişim ve elektronik teknolojileri	11
1.4.3. Sağlık ve ilaç sektörü.....	13
1.4.4. Enerji ve çevre sektörü	13
1.4.5. Ulaşım sektörü	14
1.4.6. İnşaat sektörü	15
1.4.7. Gıda ve tarım sektörü	16
1.4.8. Havacılık ve uzay sektörü.....	17
1.4.9. Savunma sektörü.....	17
1.4.10. Tekstil sektörü	19
1.5. Nanofiber ve Nanofiberlerin Üretim Yöntemleri.....	20
1.5.1. Çizme yöntemi.....	20
1.5.2. Faz ayırma	21
1.5.3. Kendiliğinden tutunma yöntemi	22
1.5.4. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD).....	22
1.5.5. Nano-kalıp	23
1.5.6. Eriyik püskürtme	23
1.5.7. Lazer buharlaştırma	24
1.5.8. Elektrosplin (Elektro eğirme) yöntemi	25
1.6. Elektrosplinleme Yönteminin Tarihçesi.....	25
1.7. Elektrosplin Metodunda Nanofiberlerin Yapısını Etkileyen Parametreler	27
1.8. Nanofiberlerin Kullanım Alanları	31
1.8.1. Nanofiberlerin kompozit uygulamaları	31
1.8.2. Filtrasyon uygulamaları	32
1.8.3. Biyomedikal uygulamaları	33
1.8.4. Tıbbi protezler	34
1.8.5. İlaç salımı uygulamaları	34
1.8.6. Doku mühendisliği uygulamaları	35
1.8.7. Elektriksel ve optik uygulamalar	36
1.8.8. Savunma sanayi uygulamaları	36
1.8.9. Uzay uygulamaları.....	37

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	45
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler	45
3.2. Kullanılan Cihazlar	45
3.3. Elektrospin Çözeltilerinin Hazırlanması	47
3.3.1. Saf PAN çözeltisi.....	47
3.3.2. PAN/MWCNT çözeltileri.....	47
3.4. Elektrospin ile Nanofiberlerin Üretimi	48
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	50
4.1. Fiber Morfolojisi	50
4.2. FTIR Spektrum Analizi.....	54
4.3. Raman Spektrum Analizi	55
4.4. Su akısı.....	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

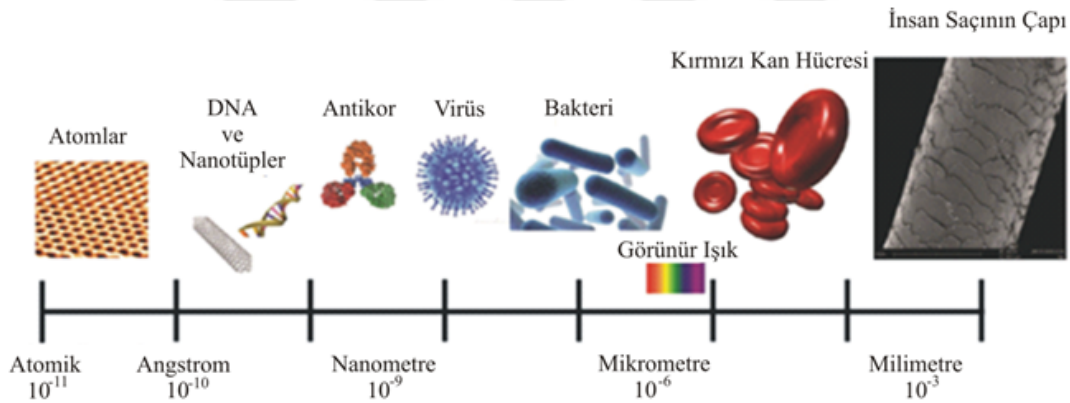
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
kg	Kilogram
g	Gram
kV	Kilovatt
ml	Mililitre
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
h	Saat
min	Dakika
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
J	akı
M	kütle
A	alan
Δt	ölçüm aralığı

Kısaltmalar

PAN	Poliakrilonitril
PVA	Polivinilalkol
CNT	Karbon Nanotüp
MWCNT	Multiwalled Karbon Nanotüp
DMF	<i>N,N</i> -dimetil formamit
STM	Taramalı Tünelleme Mikroskobunu
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

1. GİRİŞ

Yunanca *vánnos* (*nannos*) kelimesinden türetilmiş olan “nano” öneki “cüce” anlamına gelmektedir. Nano ile tanımlanan ifadeler, herhangi bir ölçünün milyarda birini gösterir. Nano kelimesi Uluslararası Birim Sistemi’ne (Fransızca: *Système international d’unités*, kısaca SI) göre “çok küçük” olarak tanımlanmaktadır. Bir atom boyutundan birkaç kat daha büyük olan metrenin milyarda biri (10^{-9} m) 1 nm olarak belirlenmiştir. Kullanıma elverişli nano yapıların büyüklüğü 1-100 nanometre arasında kabul edilmektedir. Basit bir karşılaştırma yapılacak olursa, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi tek bir insan saçı yaklaşık 80000 nm ve bir kırmızı kan hücresi yaklaşık 7000 nm çapa sahipken bir su molekülü neredeyse 0,3 nm çapa sahiptir (Fulekar, 2010; Ferris, 2014). Araştırmacıların nano boyuttaki maddelerle daha fazla ilgilenmesinin temel sebebi nano boyuttaki malzemelerin sahip oldukları özelliklerin makroskopik boyuttaki özelliklerden tamamıyla farklı olması ve nano boyuta ilerledikçe birçok farklı ve yararlı özelliklerle karşılaşılmasıdır.



Şekil 1.1 Makro boyuttan nano boyuta fiziksel bir karşılaştırma (Ferris, 2014)

Nanoteknoloji, boyuta bağlı özelliklerinden dolayı bilim dünyasında yeni kapılar aralanmasını sağlamıştır. Endüstriyel gelişmelerin ve yeniliklerin birbirinden oldukça farklı olmasının sebebi farklı bilimsel alanların farklı örnekleri olduğundandır. Fakat bu alanlar birbiri ile oldukça ilişkili olup birbirlerine sıkı bir şekilde bağlıdır. Bu yüzden nano dünyayı anlayabilmek için nano boyuttaki araştırmaların ve çalışmaların disiplinler arası gerçekleştirilmesi gerekir (Nouailhat, 2010). Nanoölçekli fen ve mühendislik araştırmaları, son zamanlarda teknolojik yeniliklerin ve bilimsel araştırmaların heyecan verici yeni bir alanı olarak ortaya çıkmıştır. Bu araştırmalar disiplinler arası alan olan nanobilim ve nanoteknolojinin temelini oluşturmuştur.

Nanoteknoloji, nanomalzemelerden, tekstil sektörüne kadar farklı sektörlerde uygulama alanı bulmuştur. Bu sektörlerde nano boyutta lif ve elyaf oluşturmak için çizme yöntemi, faz ayırma, kendiliğinden tutunma, eriyik püskürtme, lazer buharlaştırma, elektrospın gibi pek çok yöntem geliştirilmiştir. Elektrospın yöntemi ortalama 50-500 nm çapı aralığında ultra ince polimer lifleri üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Nanofiberler çok yüksek yüzey/ağırlık oranına sahip oldukları için, geniş bir yelpazede özel potansiyel uygulamalar açan özellikler sergilediğinden, nanofiberlere ilgi son birkaç yıl içinde büyük ölçüde artmıştır. Nanofiberler filtrasyon, ilaç salınımı, tıbbi doku mühendisliği, yara pansuman gibi tıbbi uygulamalar, fonksiyonel tekstil, nano-elektronik, nano-kompozitler, güneş pilleri ve bataryalar gibi enerji uygulamaları için kullanılmaktadır.

Geliştirilmiş özelliklere sahip yüksek potansiyelli kompozitlerin üretilmesi için, mikro ve nanoölçekli partiküller, polimerler için dolgu malzemesi olarak kullanılması düşünülmüştür. Geleneksel takviye ile birlikte nanopartiküllerin benzersiz özelliklerinin mükemmel özelliklere yol açtığı nanokompozit alanındaki araştırmalarla ortaya çıkarılmıştır. Bilimsel ve teknik uygulamalar alanında nanopartikül takviyeli polimer kompozitler en yetenekli malzemelerden biri olarak keşfedilmiştir. Nano boyutta elyaf oluşturmak için poliakrilonitril (PAN), polivinilalkol (PVA) gibi birçok polimer saf olarak kullanılmakla birlikte bu polimerlere karbon nanotüp (CNT), grafen gibi nanopartiküller katılarak nanofiberlerin özelliklerinin iyileştirmesi çalışmaları yapılmaktadır (Maitra ve ark., 2012).

CNT, olağanüstü fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı bilim ve mühendislik alanlarının çoğunda büyük ilgi uyandırmaktadır. Kompozitlere dahil edilerek daha iyi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip ileri dolgu maddesi olarak kullanımı, CNT'yi geniş bir uygulama yelpazesinde ideal bir aday yapmaktadır.

Bu çalışmada, farklı uzunluk ve çapa sahip MWCNT kullanılarak elektrospın yöntemi ile PAN-esaslı kompozit nanofiberlerin üretilmesi ve nanofiberlerin özelliklerine MWCNT'nin uzunluk çapının etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

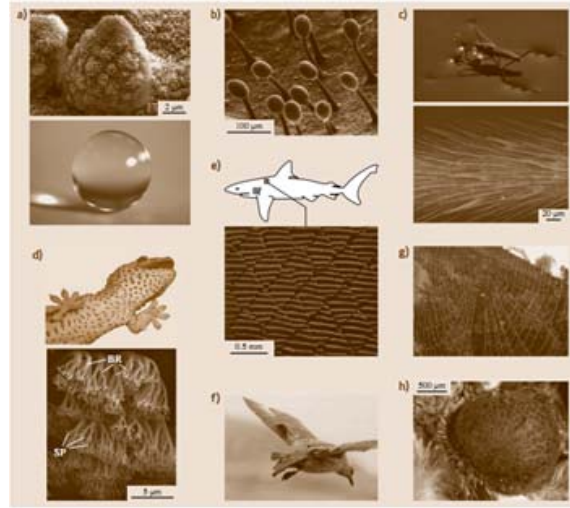
1.1. Nanobilim ve Nanoteknoloji

“Nanobilim ve nanoteknolojiyi nasıl tanımlarız ve bu iki terimi birbirinden nasıl ayırt ederiz?” sorusu nanobilim ve nanoteknoloji alanında çalışan araştırmacı ve yazarlar arasındaki en fazla sorulan soru olmuştur (Mulvaney, 2015). Nanobilim ve

nanoteknoloji kavramları, dünya çapındaki internet ağında genel olarak birbirinin yerine kullanılmasına rağmen, aslında bu kavramlar arasında göze çarpan bir fark vardır (Ng, 2009). The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004) tarafından nanobilim kavramı “Atomik, moleküler ve makromoleküler boyutlardan, daha büyük boyutlarda olduğu için farklı özellikler sergileyen materyallerin sergiledikleri davranış ve olayların incelendiği çalışma (bilim) alanı” şeklinde tanımlanmıştır. Nanoteknoloji kavramı ise “yapı, cihaz ve sistemlerin nanometre ölçeğinde şekil ve boyutunu kontrol ederek, karakterizasyon, üretim, uygulama ve tasarımları” olarak tanımlanmıştır. Nanoteknoloji özetle “en az bir boyutunun büyüklüğü 1’den 100 nanometreye kadar olan maddenin kontrolü” olarak tanımlanabilir. Bu tanımlara göre nanobilim, atomların boyutlarının belirlendiği tarihten beri yani yaklaşık 150 yıldır bilinmekteydi. Nanoteknoloji ise 1981 yılında nano boyutta görüntüleme yapabilen taramalı tünelleme mikroskobunun (STM) icat edilmesi ile ortaya çıkmıştır (Mulaney, 2015).

Nanoteknoloji kelimesi her ne kadar yeni bir kelime olarak görülse de tamamıyla yeni bir alan değildir. Yeryüzünde yaşamın oluşumu için doğa 3,8 milyar yıllık bir evrim geçirmiştir. Doğada makro boyuttan nano boyuta işlev gören birçok nesne, materyal ve süreç bulunmaktadır. Bilim insanlarının nano cihazlar ve yeni süreçler keşfetmelerinde yol gösterici birer unsur olarak bu nesnelerin ve olayların işleyişlerini öğrenmek, bilim insanının doğada var olan bu uygulamaları kullanarak yeni nanomateryaller oluşturmalarıdır. Şekil 1.2 birçok nanoteknolojik gelişmeye ilham kaynağı olan ve doğada var olan moleküler cihazlara güzel bir örnektir. Köpek balığı derisi, lotus (beyaz nilüfer) çiçeği ve geko kertenkelesi doğada nanoteknoloji uygulamalarının karşılaşılan örneklerinden sadece birkaçıdır. (Özer, 2008; Bhushan, 2010).

Lotus çiçeği çamurlu ve kirli ortamlarda yaşamasına rağmen yaprağının yüzeyinde mikro ve nano boyutlarındaki hidrofobik tüycük yapılar sayesinde yaprakları sürekli temiz olan bir bitkidir (Şekil 1.2a). Bu özellik yaprağın üzerindeki su damlalarının hidrofobik yüzey oluşturan tüyler üzerine tutunamadığı için, yaprağın üzerinden aşağı doğru kayarken toz, kir vb. maddeleri beraberinde götürmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Lotus çiçeğinin bu özelliği, nanobilim ile uğraşan araştırmacıları kumaşların, boyaların, camların ve diğer birçok yüzeyin kuru kalması, kendi kendini temizleyebilme yeteneğinin kazandırılmasına yönelik çalışmalar yapmaya yöneltmiştir.



Şekil 1.2 Doğada var olan ve birçok teknolojik gelişmeye ilham kaynağı olan bazı nanoteknolojik örnekler (Bhushan, 2010)

Aralarında kertenkele ve örümceklerin de bulunduğu birçok yaratığın (geko gibi) ayaklarındaki nano eklentiler (tüy gibi), bu canlıların hareket etmesini ve birçok yüzeye tutunmasını sağlamaktadır (Şekil 1.2d). Bu özellik bizlerin günlük hayatta kullandığı tutkalda ve bantlarda iki yüzeyi birbirine yapıştıran sıvı yapışkanların aksine kuru yapıştırıcılar için süper polimer yapışkanlara örnek olmuştur.

Suda yaşayan canlılar çok yüksek hızlarda çok az enerji harcayarak hareket edebilirler. Su içerisinde sürüklenmek hareket etmeyi en çok zorlaştıran etkenlerdendir. Birçok köpek balığı türü kaldırma kuvvetini dengeleyecek şekilde su içerisinde yüksek etkinlikle hareket edebilmektedir. Bu özellik köpek balığının derisindeki dişe benzeyen çok küçük pulların olmasına bağlıdır (Şekil 1.2e). Bu yapılar su içerisinde küçük girdaplar yaratarak balığın savrulmadan daha hızlı bir şekilde yüzmesini sağlamaktadır. *Speedo* markası köpek balıklarının bu özelliğini kullanarak “*fastswim*” isimli tüm-beden mayosu üretimi yapmıştır. Bunun yanında, birçok gemi, uçak ve bot üreticisi bu özelliği ürettikleri araçlara uygulamaya çalışmaktadırlar.

Kuşların tüyleri, vücutlarının ıslanmasını engellemektedir (Şekil 1.2f). Bu yüzden uçuş esnasında aerodinamik kaldırmayı sağlayarak kuyruk ve kanadın hareketini sağlamaktadır. Örümcek ağları çok kuvvetli lif yapılardan oluşmaktadır (Şekil 1.2g). Bundan dolayı örümcek ağı birçok alanda mekanik sağlamlık gerektiren nanofiberlerin yapılmasına örnek olmuştur. Güvelerin gözleri nano boyutta yansımayı azaltan çok yönlü yapılardan oluşmuştur (Şekil 1.2h). Bu özellik antiyansıtıcı yüzeylerin gelişimi için büyük bir rol oynamıştır.

1.2. Nanobilim ve Nanoteknolojinin Tarihi

Modern nanobilim ve nanoteknoloji hayatımızda oldukça yeni olmasına rağmen, nano malzemeler yüzyıllardır kullanılmaktadır. Örnek olarak, ortaçağ kiliselerinde alternatif ölçekli altın ve gümüş parçacıkları vitray pencerelere renk katmıştır. Başka bir örnek ise MS 4. yüzyıla ait olan Kral Lycurgus kupasıdır (Şekil 1.3a). 70 nm boyutlarında camdan yapılmış olan, altın ve gümüş partiküller içeren kupa ışığı geçirdiğinde kırmızı, ışığı yansıttığında ise yeşil renkli görünmektedir (USNNI). 6-17. yüzyıllar arasında altın klorür, diğer metallerin klorürleri, gümüş ve bakır nanopartiküller ile oksitlerinin nanopartikülleri kullanılarak cam ve seramik malzemeler üretilmiştir. Michael Faraday (1857) “yakut” renkli altın nanotaneçikler içeren kolloidal çözeltiyi keşfetmiştir (Şekil 1.3b). Bu çözelti belli ışıklandırma şartlarında farklı renkte çözeltilerdir.



Şekil 1.3 a) Kral Lycurgus kupası b) Altın nanotaneçikler içeren kolloidal çözelti

1959 yılında Amerikan Fizik Derneği’nin (American Physical Society) düzenlediği bir konferansta Richard P. Feynman “aşağıda daha çok yer var” (There is Plenty of Room at the Bottom) başlıklı bir konuşma yapmıştır. 1965 yılı fizik Nobel ödülüne layık görülen kuvvetli bir hayal gücüne sahip olan bir bilim insanı olan Richard P. Feynman bu konuşmasıyla nanoteknolojinin gelişme sürecini başlatmıştır. (Feynman, 1959, 1960; Nouailhat, 2010). Nanoteknoloji, 1970’li yılların sonunda geleceğin anahtar teknolojileri arasında görülmeye başlanmıştır. “Nanoteknolojinin Temel Konsepti Üzerine (On the Basic Concept of Nanotechnology)” adlı makalesinde nanoteknoloji ifadesini terim olarak ilk defa Japon bilim adamı Norio Taniguchi’ni kullanmıştır (Taniguchi, 1974). Atomları bireysel olarak ilk kez görüntüleyebilecek bir sistem olan taramalı tünelleme mikroskopunu (STM) IBM’in Zürih laboratuvarında çalışan Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer tarafından 1981 yılında keşfedilmiş ve bu keşifleriyle 1986 yılında Nobel ödülüne layık görülmüşlerdir (USNNI). Feynman’ın öngörü içeren

hipotezleri K. Eric Drexler'in 1986'da yayımlanan "Motorların Yaratılışı: Nanoteknolojinin Yaklaşan Çağı (Engines of Creation: The coming Era of Nanotechnology)" isimli kitabında daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır (Özer, 2008).

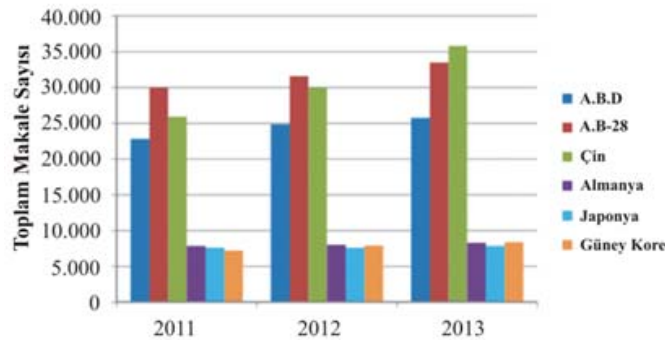
Drexler, atomlarla, mevcut makinalardan çok daha güçlü, hafif, kendi kendini kopyalayan ve canlı hücrelerden çok daha küçük nanoölçek seviyesinde makineler üretilbileceğini ileri sürmüştür (Drexler, 1986). 1989 yılında IBM'de moleküler elektronik ile ilgilenen ve teorik kimyacı olan Ari Aviram, moleküler elektronik ve mikro üretim alanlarında uzmanların bir araya geldiği yıllık konferansları başlatmıştır. Bu konferanslar sayesinde toplumda nanoteknoloji farkındalığı oluşmaya başlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak fulleren, karbon nanotüp ve kolloidal yarı iletken nanokristaller (kuantum nokta) gibi nanopartüküllerin keşfedilmesi ve bu nano yapıları görüntüleyecek, AFM gibi, mikroskop sistemlerin icat edilmesi ve geliştirilmesi de nanoteknolojinin gelişmesi için büyük adımlar olmuşlardır (USNNI).

1.3. Günümüzde ve Gelecekte Nanobilim ve Nanoteknoloji

2010 yılında yayınlanmış olan Amerika Ulusal Nanoteknoloji girişimi raporunda (PCAST, 2010), Amerika Bilim ve Teknoloji Danışmanları Başkanlık Konseyinin (The President's Council of Advisors on Science and Technology-PCAST) en büyük önerisi nano üretim üzerine gerçekleştirilen ticarileşme konusundadır. Bunun için verilen desteğin fen ve mühendisliğe ayrılan bütçe kadar olmaması fakat yüksek oranda artırılması öngörülmüştür. Ayrıca Amerikan şirketleri arasındaki koordinasyonun, nanobilim eğitime verilen önemin ve nanoteknolojinin sosyal etkileri üzerine anlayışın artırılması oluşturulmaktadır (Weiss, 2010). Nanotüp, çevresel temizlik, enerji depolama, nanoüretim, nanokompozitler, biyolojik ve kimyasal sensörler gibi alanlarda nanoteknolojinin kullanımı gündeme getirilmektedir. PCAST'ın 2014 yılında yapılan son toplantısındaki raporunda nanoteknoloji alanında ileri düzeyde sürdürülebilir teknolojik gelişmelerin olması gerektiği vurgulanmıştır (PCAST, 2014).

Parak ve ark. (2015) A.B.D. Başkanı Barack Obama'nın üzerine yoğunlaştığı nanobilimcilerin ve nanoteknoloji ile ilgilenen bilim insanlarının üzerinde çalıştığı "Beyin" girişimi projesinin (nanoboyutta gerçekleşen hücreler arası iletişim, beyindeki nöral devreler ve haritalama) büyük ilgi odağı olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, Amerika'nın yıllar öncesinde planladığı nanobilim ve nanoteknoloji vizyonuna Avrupa birliğinin yeni sahip olmasının sebebi nanoteknolojinin getirdiği sosyal

zorluklar, temiz, güvenli ve sürdürülebilir enerji, yiyecek güvenliği, sürdürülebilir tarım ve ormanlık arazi gibi etkenlerdir. Avrupa birliği “İnsan Beyni Projesi” (FutureNanoNeeds, 2015; H2020, 2015) ve grafen (ve diğer 2-boyutlu materyaller) adı altında 2 spesifik proje ile yeni çağrılara çıkarak nanobilim ve nanoteknoloji alanında Amerika ile aynı seviyeye gelmeyi planlamıştır (Parak ve ark. 2015). Türkiye’de ise nanobilim ve nanoteknoloji TÜBİTAK’ın 2023 Vizyon Programı’nda yer almış ve yol haritası oluşturulmuştur (TÜBİTAK, 2004). Ülkemizde en önemli ulusal gelişmelerden birisi Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından büyük bir yatırım ile kurulan Bilkent Üniversitesi’ndeki Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi’nin (UNAM) kurulmasıdır. Bunun yanında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM) gibi merkezler de nanoteknoloji alanında çalışmalar yürüten araştırma merkezlerimizdir. Son birkaç yıldır birçok üniversitede nanoteknoloji alanında lisansüstü eğitim programı açılmış olup bunun yanında Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği bölümü adı altında bazı üniversitelerde (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, KTO Karatay Üniversitesi gibi) lisans programları da popüler olmaya başlamıştır. Günümüzde dünyada ve ülkemizde nanobilim ve nanoteknoloji ile ilgili başarılı bir şekilde faaliyet gösteren çok fazla sayıda araştırma merkezi kurulmuş olup bu alanlar ile ilgili düzenlenen kongre ve konferansların, çalıştay ve toplantıların sayısı gün geçtikçe artmıştır.



Şekil 1.4 Çin Liderliğinde Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D), Avrupa Birliği (A.B), Çin, Almanya, Japonya ve Güney Kore gibi nanoteknoloji alanında önderlik yapan ülkelerde 2011-2013 yılları arasındaki nanoteknoloji alanında yayımlanan makale sayısı

Nanobilim ve nanoteknoloji alanında araştırmaları yayınlayan dergilerin sayısına yıllara göre bakıldığında zaman 2000 yılında 22 iken bu rakam 2014 yılında 4 katından fazla artarak 94’e yükselmiştir (SCImago, 2007). Nanoteknoloji alanında yayınlanan bilimsel makalelerin 2014 yılı değerlendirilmesi yapıldığında PCAST’ın 2014 yılındaki

raporuna (2014) göre, 2011-2013 yılları arasında en fazla bilimsel çıktıya sahip olan Çin, Avrupa birliği ülkeleri ve Amerika bu alanda öncü ülkeler olmuşlardır (Şekil 1.4). Bu alanda 60'tan fazla ülke ulusal nanoteknoloji alanında araştırmalarını sürdürmekte olup 2012 yılından itibaren bireysel olarak Amerika Birleşik Devletleri 2,1 milyar dolar (\$), Japonya 1,3 milyar \$, Rusya 974 milyon \$ ve Almanya 617 milyon \$ yatırım ile en fazla yatırım yapan ülkeler olmuşlardır (Zor, 2016).

Gelecekte nanobilim ve nanoteknolojinin en büyük vaatlerinden birisi “az şeyle çok şey” yapabilme gücümüzün olacağıdır. Örneğin, toplamda daha az materyal kullanarak doğal kaynakların daha az tüketileceği, daha az enerji kullanarak daha etkili aletlerin üretileceği ve bunların yanında daha az çevre kirliliği olacağı düşünülmektedir (Weiss ve Lewis, 2010).

1.4. Nanoteknolojinin Potansiyel Araştırma ve Uygulama Alanları

Uygulama alanı olarak fizik, biyoloji ve kimya gibi bilim alanlarından başlayarak sağlık, mühendislik ve elektronik uygulamalarına kadar uzanan nanobilim ve nanoteknoloji, 21'nci yüzyılda günlük yaşamının birçok alanında etkisini göstermesinin yanı sıra bu yüzyılın en önemli teknolojik gelişimi olarak adlandırılacaktır. Nanoteknolojinin farklı vadelerde etkisini göstereceği beklenen potansiyel araştırma ve uygulama alanları; Nanomalzemeler, Elektronik ve Bilişim Teknolojileri, Sağlık ve İlaç, Enerji ve Çevre, Ulaşım, İnşaat, Gıda ve Tarım, Havacılık ve Uzay, Savunma ve Tekstil sektörleri olmak üzere toplam 10 alanda incelenmiştir.

1.4.1. Nanomalzemeler

Nanomalzemeler, 1-100 nm arasındaki boyutlarda olan metal, seramik, organik moleküler topluluk, kompozit ve polimerik vb. malzemelere verilen genel bir isimdir. Bu malzemelerin tanecik yapılarının büyüklüğü diğer malzemelerden nanomalzemeleri ayıran en önemli parametredir. Nanomalzemelerin çapları 1-100 nanometre arasında değişirken, diğer malzemelerin çapları mikrondan milimetreye kadar uzanmaktadır.

Günlük yaşamda yer alan geniş ürün yelpazesinin geliştirilmesinde kullanılmaya başlanan nanomalzemelere su geçirmez nanofiberlerden yapılan kayak malzemeleri ve kil polimer nanokompozitler kullanılarak yapılan tenis toplarına kadar birçok örnek

verilebilir. Bu ürünler diğer ürünlere nazaran daha hafif, daha sağlam ve daha uzun ömürlüdür. Nanomalzemelerin küçük ölçeklerde kontrol edilmesi, daha sonra yapılacak olan malzemelerin gelişmelerine dayanmaktadır. Malzemelerin nanoölçek boyutlarında özelliklerinin kontrol edilmesi ve geliştirilmesi çeşitli özellik ve uygulama alanlarına sahip yeni malzemeler üretmeye olanak sağlayacaktır. Nanomalzemeler 3 boyutta incelenmektedir:

- Tek boyutlu nanomalzemeler
- İki boyutlu nanomalzemeler
- Üç boyutlu nanomalzemeler

Elektronik cihaz üretimi, kimya ve mühendislik gibi alanlar için tek boyutlu nanomalzemeler kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Kimya alanında düzenli olarak yapılan ve kullanılan katmanlar, tek atom veya molekülden oluşan tek katmanlardır. Bu katmanlar karmaşık yapı içermesine rağmen, atomik düzeyden yukarı doğru çıkıldıkça özellikleri ve nasıl meydana geldikleri daha iyi bir biçimde anlaşılmaktadır. Aynı zamanda artırılmış yüzey alanı ve kuantum etkileri, nanomalzemeleri diğer malzemelerden ayıran en önemli iki özelliktir. Reaktiflik, sertlik, direnç ve elektriksel özellikleri değiştirebilmekte ve artırabilmektedir. Yüzeydeki atom sayısı oranı, parçacıkların boyutları azaldıkça artmaktadır. Örneğin; parçacık için yüzeyindeki atom oranı 10 nm için %20 iken, 30 nm boyutundaki oranı %5'e inmektedir.

Genellikle nanomalzemeler, nanobiyoteknoloji, nanokimya ve nanoanalitik gibi bilim dallarında kullanılmaktadır. Ticari öneme sahip olan nanotaneli malzemelerin uygulama alanlarına göre beş ana grup altında toplandığı belirtilmiştir. (Ayhan, 2004).

- Basit Metal Oksitler: Titanya (TiO_2), Silika (SiO_2), Demir oksit (Fe_3O_4 , Fe_2O_3), Alümina (Al_2O_3), Çinko oksit (ZnO), Ceria (CeO_2), Zirkonya (ZrO_2),
- Karışık Oksitler: İndiumkalay oksitler ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$), Antimon-kalay oksitler,
- Titanatlar: Baryum titanat (BaTiO_3),
- Oksit Olmayan Seramikler: Metaller, Yarı iletkenler, Tungsten karbür
- Çeşitli Karışık Oksitler.

Bilimsel açıdan üzerinde çalışılan en önemli konulardan birisi olarak kabul edilen nanomalzemeler çift boyutlu nanomalzemelerdir. Söz konusu bu malzemeler üzerinde yoğun araştırmalar yapılmasının nedeni yeni elektriksel ve mekanik özellikleridir. Karbon nanotüplerin, nanoteknoloji ile ilgili yazılan birçok yazı ve makalelere bakıldığında zaman ön plana çıktığı söylenebilir. Houston Teksas'taki Rice Üniversitesi'nde kimyager olan Richard E. Smalley, 1985 yılında yapmış olduğu deneylerde 60 karbon atomundan meydana gelen bir molekülü tam olarak yuvarlaklaştırmış ve bunu “buckyballs” olarak adlandırmıştır.

Karbon ve karbon nanotüpleri kıyasladığımız zaman karbon, canlı metabolizmalar açısından temel yapı malzemesi olan önemli bir elementtir. Karbon atomları diğer elementlerin her birinden daha fazla bileşik oluşturabilmekte ve diğer atomlarla kolayca birleşebilmektedir. Karbon atomları, hafif ve çok güçlü bağlar oluşturabildikleri için çok dayanıklı malzemelerin yapımında kullanılmaktadır.

Karbon nanotüpler, single-walled olarak adlandırılan tek tüpten oluşan tek duvarlı veya multi-walled denilen birçok eşmerkezli tüpten meydana gelen çok duvarlı olarak üretilmektedir. Her ikisinin de nanometre çapa sahip olmakla birlikte mikrometreden başlayıp santimetreye kadar uzanan bir uzunluğa sahiptirler. Yeni fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı karbon nanotüpler, çok önemli rollere sahip malzemelerdir. Bunlardan bazıları esnek ve iletkenliklerinin fazla olmasının yanı sıra mekanik olarak oldukça sert ve dayanıklı olmalarıdır. Bu özellikleriyle karbon nanotüpler, sensör, güçlendirilmiş kompozit, görüntü cihazları ve nanoelektronik gibi çalışmalarda kullanılmaktadır (Lekas,2005).

Çizelge 1.1 Karbon nanotüp'ün diğer malzemelerle karşılaştırılması (Lekas,2005)

Malzeme	Elastik/Germe Modülü (GPa)	Gerilme (%)	Gerilme Direnci (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)	Güç-ağırlık oranı
Tek Duvarlı CNT	542/1,054	1,2	~150	1,4	462
Çok Duvarlı CNT	400/1,200	1,5	~150	1,8-2,6	15
Çelik	~208	9	0.4	7,8	1
Titanyum	103	15	0,05	4,5	2
Plastik	3,5			1,25	

Üç boyutlu nanomalzemelerin diğer bir tanesi de dendrimerlerdir. Dendrimerler, en küçüğü birkaç nanometre ölçeğinde olan ve nano aşamalı olarak kendi kendini düzenleme (self assembly) sürecinde oluşturulmak üzere birçok çeşide sahip polimerik moleküllerdir. Dendrimerler, şuanda mürekkep ve kaplama gibi geleneksel uygulamalarda kullanılmasına rağmen farklı özelliklere sahip oldukları için gelecekte birçok uygulama alanına sahip olacaklardır. Buna örnek olarak moleküler dendrimerin içine ilaç yüklenerek taşıyıcı olarak kullanımlarıdır.

1.4.2. Bilişim ve elektronik teknolojileri

Bilişim ve elektronik teknolojilerinde nanoteknoloji uygulanmasındaki amaç, yüksek performanslı, ekonomik malzeme ve cihazlar üretmektir. Nanoteknoloji, elektronikte uygulama alanı olarak en çok bilgisayar çiplerinde kendisini gösterecektir. Örneğin gelecekte silikon-tabanlı çiplerin yerine organik-tabanlı çiplerin üretilmesi mümkün olacaktır. Buna bağlı olarak bununla ilgili sanayi sektöründe ve çip üretim tekniklerinde birçok değişimin meydana gelmesi beklenmektedir.

Nanoelektronikler ise önemli gelişmelerle günlük yaşamı etkileyerek kendini göstermeye başlamıştır. Nanoelektronığe bir örnek olarak OLED (Organic Light Emitting Diode) teknolojisi, daha fazla ışık sağlayan, geniş bir görüş açısına sahip ve daha hafif cihazlar içerisinde düşük enerji kullanan teknoloji olarak göze çarpmaktadır. Günümüzde mevcut olan cep telefonlarında, GPS sistemlerinde, dijital kameralarda, dizüstü bilgisayarlarda ve otomobil gösterge panellerinde kullanılan OLED teknolojisi daha fazla görüntü kalitesi sunduğu için LCD (Liquid Crystal Display) ekranların yerini almaktadır.

Moleküler nanoelektronik aygıtları günümüzde silikon teknolojilerinde var olan aygıtlardan çok daha küçük olacak ve gelecekte elektronik alanında önemli bir yer teşkil edeceklerdir. Kimyasal yöntemlerle elde edilen moleküler nanoelektronik aygıtlarında yapay organik bileşenler kullanılarak bu aygıtlar akıllı dönüştürücü olarak görev yapacaklardır.

Günümüzde bilgisayar, telekomunikasyon, askeri ve ticari elektronik uygulamalar; mikroelektronik araştırmaları için temel girdiler olarak göze çarpmaktadır. ABD’de nanoelektronik alanında yapılan gelişmelerin önce ordu bünyesinde kullanılıp daha sonra ise sivil sektöre aktarılması tahmin edilmekte olup bunun sebebi ise askeri uygulamaların gizli ve stratejik olmasına bağlanmaktadır. Nanoelektronikler

günümüzde tek elektronlu transistörler ve tek molekülden oluşan devreler için özel kullanım amaçlı olarak uygulanacaktır (Arnall,2003) (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 Bilişim teknolojileri için öngörülen uygulama alanları (Arnall,2003).

Malzeme/Teknikler	Uygulamalar	Zaman-Ölçeği (Pazara Giriş)
2015 Yılı Öncesi		
Kuantum Kuyusu Yapıları	• Optik / Telekomunikasyon endüstrisi. • Bilgi iletişimi sektörü için lazer gelişiminde önemli uygulamalar. • Bilgisayarlar ve yapılarda güçlü fiberoptik kullanılmaktadır. • Çalışma durumları arasında maliyet ve yüksek sıcaklık problem olarak sayılmaktadır. • Bu problemleri kuantum nokta ve kuyu yapıları çözebilecek niteliktedir.	• Cd çalarlarda kuantum kuyu lazerleri kullanılmaktadır. Fakat iletişim pazarındaki uygulamaları henüz ortaya çıkmamıştır. • Kuantum noktalarla ilgili araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.
Fotonik kristal teknolojileri	• Optik iletişim sektörüne örnek olarak fiberoptik • Fotonik entegreli devreler elektronik devreler ile karşılaştırıldığı zaman yaklaşık milyon kez daha yoğundur.	• Henüz AR-GE safhasındadır.
Karbon nanotüpler (Karbon nanotüpler, yalıtkan, iletken ve yarı iletken gibi davranma özelliğine sahip olup nano elektroniklerin temel bileşenlerinden oluşmaktadır.)	• Depolama ve hafıza amaçlı kullanılmaktadır.	• Ticari tip nanotüp tabanlı RAM'ler • Düz ekran (Flat screen)
Dönüş tabanlı elektronik (Spintronics) (Elektrospininin, yeni cihaz fonksiyonları ve önemli gelişmeleri için kullanımı)	• Çok yüksek kapasiteli bilgisayar hafızaları ve disk sürücüler	
Polimerler	• Görüntü teknolojileri	• Bazı ticari ürünler piyasaya sürülmeye başlanmıştır. Örneğin Cambridge Görüntü Teknolojileri
2015 Yılı Sonrası		
Moleküler nanoelektronik	• Tek elektronlu transistörler ve tek molekülden oluşan devreler özel kullanım amaçlı olarak geliştirilecektir.	• Tek atomlu transistörler gelişim evresindedir.
Kuantum bilgi işleme	• Mevcut ve kuantum bilgisayarlar aracılığıyla, çözilemeyen problemler doğru ve hızlı bir biçimde çözülebilecektir.	• Kuramsal araştırma evresinde olmasına rağmen yüksek beklentiler mevcuttur.

1.4.3. Sağlık ve ilaç sektörü

Nanoteknoloji, insanların yaşamlarını daha kolay ve rahat devam ettirebilmesi için önemli katkılar sağlamaktadır. Sağlık alanında hastalıkların tespiti, teşhisi ve tedavisi gibi aşamalarda nanoteknolojinin kullanılması, ilerleyen süreçlerde karşılaştığımız en büyük yeniliklerden bir tanesi olacaktır. Nanosensörlerle hastalığın erken teşhisi ve tedavisinin yapılması mümkün olabilecektir. Bunun için nanoteknolojik olarak üretilecek nanoilaçların, akıllı nanorobotlarla birlikte hedefe gönderilmesi planlanmaktadır.

Nanobilim dalının tıp alanında araştırma yapmasındaki amacı, molekül seviyesindeki biyofizik ve biyokimyanın temellerini oluşturacak detaylı veriler elde etmek içindir. DNA, proteinler ve diğer biyo-polimerlerin yakın tarihte biyosensör uygulamalarında ve nano elektronikte uygulama alanı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Biyolojik varlıklar ile nanoölçekli cihazların nanobileşenlerini karşılaştırdığımız zaman ikisi de boyut olarak aynı büyüklüktedir. Örneğin; hemoglobin yaklaşık 3000 nm çapındadır. 20 nm'den daha küçük olan nanoölçekli cihazlar damarların dışında bile dolaşırken, 50 nm'den daha küçük olanlar ise birçok hücreye rahatlıkla girebilmektedir. Bu cihazlar, hücre içi ve yüzeyinin biyokimyasal ve biyomoleküler davranış ve karakteristikleriyle oynamadan kolaylıkla etkileşime geçebilmektedir. Bilim açısından bakıldığında zaman, bu cihazların kanserin anlaşılması ve kanser tanısında önemli katkılar sağlayacağı söylenmektedir (US Department of Health and Human Services Report, 2004).

1.4.4. Enerji ve çevre sektörü

Dünya çapında tüm ülkelerin hedeflediği en önemli unsur ucuz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olmaktır. Nanoenerji, gelişmiş güvenlik, tasarruf ve performans sağlayan uygulamalı teknolojiler tarafından bu kaynakların elde edilmesine katkı sağlayacaktır. Endüstriyel toplumlar soğutma, ısıtma, ulaşım ve aydınlatma gibi ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çok fazla enerji tüketmektedir. Daha hafif ve sağlam malzemeler kullanılarak tren, otomobil ve uçak üretmek bu gibi mobil alanlardaki enerji tüketimi azaltılabilecektir. İnsanoğlunun en büyük hedeflerinden biri düşük maliyetli ve bol enerjiye sahip olmaktır. Enerji tüketimine çare bulunmadığı sürece bu tüketim

gitgide gelişen endüstriyel ihtiyaçlar ve artan nüfus ile gelecekte büyük sorun yaratacaktır. Güneş, hidrojen ve jeotermal gücünün etkinliğini artıracak olan enerji nanoenerjidir. Gelecekte düşük maliyetli enerji hibrid enerji kaynakları vasıtasıyla üretebilecektir. Dünyanın petrol tabanlı enerjiye olan ihtiyacını azaltacak olan nanoenerji, sürdürülebilir, yenilenebilir ve temiz enerjiye dönüşümünü hızlandıracaktır. Böylece; yeterli enerjinin sağlanabilmesi için güneş pillerinin güç dönüşümünü geliştirecek ve tüm dünyanın enerji ihtiyacını karşılayabilecektir.

Günümüzde en kaliteli güneş pilleri, farklı enerjilerdeki ışığı emmek için kümelenmiş iki farklı yarı iletkenine sahiptir. Fakat bu piller güneş enerjisinin sadece %30'unu kullanabilmektedir. Ticari olarak kullanılabilen güneş pilleri ise %20'den daha az bir verimliliğe sahiptir. Mevcut güneş pillerinin pahalı olmasının sebebi silikon kullanılmasıdır. Aynı zamanda bu piller daha az verimliliğe sahip malzemelerdir. Nanoteknoloji ile üretilen güneş pilleri güneş enerjisini daha iyi absorbe eden kuantum noktaların nano yapılı yüzeylerinden geliştirilip daha verimli enerji elde edilmesini sağlayacaktır.

Ayrıca güneş pillerinin daha ucuz malzemelerden üretilmesine olanak sağlarken çevrenin bundan olumsuz yönde etkilenmesine engel olacaktır. Buna örnek olarak, nanokristaller ile üretilen ilk güneş pilleri oldukça verimli bir yapıya sahiptir. Gelecekte tüm enerji ihtiyacının güneş ışınları tarafından sağlanması ticari bina ve evlerin çatılarının bu pillerle kaplanması ile mümkün olabilecektir.

Birçok ülkenin birinci öncelikli araştırma alanı olan nanoenerji ile ilgili önemli AR-GE çalışmaları yapılmaktadır. ABD ise nanoenerji çalışmalarını, Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifi (National Nanotechnology Initiative) aracılığıyla yapmaktadır. Nanoenerjinin bir bütün olarak kavrayabilmek için AR-GE çalışmalarını geliştirmek, çevre üzerindeki bütün etkilerini gözlemlemek ve bu alanda yeni adımlar atacak insan kaynaklarını desteklemek, ABD'nin nanoenerji hedefleri arasındadır.

1.4.5. Ulaşım sektörü

Ekonomik açıdan büyük rekabetlerin yaşandığı ve oldukça önemli bir yere sahip olan otomobil endüstrisi nanoteknoloji ile gelecekte geniş bir uygulama alanına sahip olacaktır. Nanoteknolojiye örnek olarak sol jel tekniği ile üretilen nanoparçacıklı kaplamaların, araç ön camlarını çizilmeye karşı oldukça sağlam hale getirmesidir (EC Report, 2004). Bunun yanı sıra nanokaplama ile kaplanacak araçlar leke ve su tutmaz

özelliklere sahip olacaklardır. Otomobil lastiklerinde siyah karbon yerine kullanılacak olan polimerler ve inorganik kil çevre dostu lastiklerin üretimini mümkün kılacaktır.

Bununla birlikte nanoteknolojiyle daha az maliyetli malzemelerin üretilmesi ekonomik açıdan olumlu bir gelişme olacaktır. Nanoteknoloji ile gerçekleştirilecek olan kontrol ve gözlemlene sistemlerindeki gelişmeler otomotiv endüstrisine önemli bir avantaj sağlayacaktır. Ayrıca araç üzerine yerleştirilecek olan nanosensörler ile birlikte malzemenin aşınma miktarları tespit edilebilerek araçların bakım ve onarım maliyetleri düşecektir.

1.4.6. İnşaat sektörü

Nanoteknolojinin inşaat sektöründeki amacı, akıllı, daha iyi ve daha yeni performansa sahip, malzemelerin üretilmesini sağlamaktadır. Nanoteknoloji ile gelecek yıllarda çok iyi ticari gelir sağlayacak ürünler olarak nano tabanlı kaplamalar, temizleyiciler ve boyalar gibi ürünler yer almaktadır.

Dünyada ekonomik alanda etkin bir sektör olmasına rağmen inşaat alanında yeterince AR-GE çalışmaları yapılmamaktadır. Bu yüzden inşaat sektöründe nanoteknolojinin günümüzdeki ve gelecekteki etkileri hakkında fazla bir araştırma yapılmamıştır.

Bu sektörde nanoteknolojinin gelecek yıllar içerisinde etkili olabileceği düşünülen uygulama alanları aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Zhu ve ark., 2004):

- Özel kaplamalar, boyalar ve ince filmler
- Entegre gözlemlene ve tanıma sistemleri
- Enerji tasarrufu yapan ışıklar, yakıt pilleri, iletişim ve bilgisayar cihazları
- Yeni üretim teknikleri, cihazlar ve kontrolleri
- Akıllı yapılar ve mikro/nano sensörlerin kullanımı
- Nano yapıları düzenlenmiş malzemeler
- Yüksek performanslı yapısal malzemeler
- Çok fonksiyonlu malzemeler ve bileşenler

Nanoteknolojinin uygulamaları inşaat sektöründe günümüzde çok sınırlı olsa bile bazı alanlarında uygulamalar başlatılmıştır.

1.4.7. Gıda ve tarım sektörü

Nanoteknoloji, gıda ve tarım sistemlerini kökten değiştirmeyi hedefleyerek bilişim teknolojileri ve biyoteknoloji sayesinde hızla ilerlemektedir. Nanoteknolojinin gıda sektörüne kazandırdığı ürünlerden birkaçı İsrail Shemen Industry tarafından üretilen Canola yağı, ABD RBC Life Science tarafından üretilen yapay tatlandırıcı barındırmayan yağ ve kalorisi düşük çikolata, Çin Shenzhen Become Industry tarafından üretilen nanoçaylardır (Nanotechproject, 2008).

Dünyada 200'e yakın uluslararası gıda şirketi nanoteknoloji üzerine araştırma ve yatırımlarına devam etmektedir. Gıda ve tarım sektöründe Japonya ve Çin'de bununla ilgili önemli yatırımlar ve araştırmalar yapılırken ABD bu alanda önde gelen ülke olarak gösterilmektedir (OECD-Allianz Report,2005).

Tarım ürünlerindeki DNA şifrelerinin analiz edilmesi ve çözülmesi yönündeki beklentiler, bu sektördeki şirketlerin yeni tarımsal ürünler üretmesine yardımcı olmuştur. Örnek olarak Tayvan'da Chiang Mai Üniversitesindeki bilim insanları, pirincin hücre zarları ve duvarları boyunca nano ölçek seviyesinde çukurlar açarak pirincin DNA'sını yeniden düzenlemişlerdir. Bu çukurlara Daha sonra hidrojen atomu yerleştirmişler ve günümüze kadar yapılan çalışmalarda tohumların rengini değiştirmeyi başarmışlardır.

Nanoparçacıklardan üretilmiş böcek zehirlerini geliştirmek bu konuda yapılan bir başka çalışma olmuştur. Bu zehirler, nanoparçacık halindeyken bitki tarafından daha kolay kabul edilmektedir. Proteinleri, zehir ve bakteriyi tespit ve teşhis etmek amacıyla kullanmak için ince biyoelektronik devreleri tasarlayan Winconsin Üniversitesinin bilim adamları tek bakteri hücrelerini başarıyla kullanmışlardır.

Paketleme malzemeleri gıda sektöründeki bir diğer uygulamadır. Yiyecekler tazeliğini uzun süre koruması ve son kullanma tarihlerinin normal süreden daha fazla olması için yapılan paketlemelerde nanoparçacıklarla üretilmiş polimerler kullanılacaktır. Ayrıca paketlenmiş malzemeler içine gaz ve biyosensörler entegre edilerek yiyeceklerin tazeliklerinin gözlemlenebilmesi daha kolay ve hassas hale getirilecektir. Sensörlerdeki renk değişimi bu gıdaların bozulduğu anlamına gelecektir. Bununla birlikte, polimer veya silikon ince film sensörlerine bağlı birçok uygulama araştırma ve geliştirme aşamasındadır.

1.4.8. Havacılık ve uzay sektörü

Günümüz teknolojileri ile uzay yolculuğu için ihtiyacımız olan yakıt hem hacim hem de ağırlık yönünden sınırlı miktarda bulunmaktadır. Bu alandaki sorunlara çözüm olabilecek nitelikte nanoteknoloji ürünü aygıtların ve malzemelerin gelecekte çoğalması beklenmektedir. Roket ve uzay istasyonlarının yapımında kullanılan nano yapılı malzemeler, daha hafif, daha sağlam ve sıcaklığa karşı daha dayanıklı olma özelliklerine sahip oldukları için sektörde büyük önem taşımaktadır.

Havacılık ve uzay sektöründe nanoteknoloji ile ilgili araştırma ve çalışmalar NASA'nın ilgi alanında bulunmaktadır. NASA Araştırma Merkezi, nanoteknolojinin sağlayacağı olanakları değerlendirmek ve kullanmak için inorganik nano kablolar, moleküler elektronik, karbon nanotüpler, protein nanotüpler ve nanoyapılı malzemeler konusunda AR-GE çalışmaları yapmaktadır. NASA'nın nanoteknoloji AR-GE araştırmaları konusunda çalışma yaptığı konular şu şekildedir (NASA, 2007).

- Uzay alanında nanoteknolojiyle; az enerji gerektiren, radyasyona karşı dayanıklı yüksek verimli bilgisayarlar, mikro ölçekteki uzay araçlarında kullanılabilecek nano ölçekli aletler, nano yapılı algılayıcılar, nano elektronik ile desteklenen uçuş sistemleri ve ısıya dayanıklı nano yapılı kaplama malzemelerin üretilmesi
- İleri yaşam desteği için nano malzemeler kullanılarak gaz soğurma depolama, kataliz ve atık dönüşüm işlemleri
- Nanomalzemelerin karakterizasyonu
- Karbon nanotüp tabanlı mikroskop ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme cihazları
- Nano-biyoteknoloji
- İnorganik nano kabloların gelişimi ve karakterizasyonu
- Bilgisayar, hafıza ve sensörlerin entegrasyonu
- Astrobiyoloji, biyomedikal ve güvenlik ihtiyaçları için biosensörlerin geliştirilmesi
- Sensör görüntüleme ve cihazlar için karbon nanotüplerin geliştirilmesi ve kontrolü

1.4.9. Savunma sektörü

Savunma sektöründeki uygulamalarında nanoteknolojiyi kullanan taraf avantaj sağlarken kullanmayan taraf için ölümcül etkiler bırakacak bir güç yaratacaktır. İkinci

Dünya savaşından sonra gelişmiş ülkeler, askeri alanda AR-GE için büyük merkezler oluşturarak savunma sektöründe gelişmek için önemli çalışmalar yapmaya başlamışlardır.

Bu çalışmaların birçoğu, ilk başlarda nükleer taşıyıcılar ve silahlar ile ilgiliyken zamanla savaşın diğer alanlarına doğru kaymaya başlamıştır. Bunun sebebi ise disiplin, moral, strateji ve teknoloji olmasıdır. Yeni teknolojik alanlar yaratılmaya başlanması teknolojilerin özellikle savaş alanında avantaj sağlamasıdır. Ayrıca bu teknolojiler ile karşı tarafı bertaraf etmenin olası yeni yollar geliştirilmeye yöneltmiştir. ABD Savunma sektörünün ileri teknolojiler konusunda tek lider haline gelmeye başlamasının sebebi soğuk savaşlardır. Bu yüzden askeri alanlar AR-GE için harcanan küresel sermayenin üçte ikisini savunma teknolojilerini geliştirmeye yönelik harcamaya başlamıştır.

Askeri ihtiyaçlara karşılık kimyasal-biyolojik savaş araçları ile nano yapılı zırh ve patlayıcı projeleri geliştirmek ve üretmek savunma sektörünün hedefleri arasındadır. ABD Savunma Bakanlığı tarafından, 2002 yılında Massachusetts Teknoloji Üniversitesi (MIT) içerisinde Askeri Nanoteknoloji Enstitüsünün (ISN) kurulmasındaki amaç, mermilere, kimyasal ve biyolojik saldırılara karşı koruyan, yaraları tedavi eden ve ilaç uygulayan, vücut fonksiyonlarını gözlemleyen, ısıtma ve soğutma yapan savaş kıyafetlerinin üretilmesidir. Kurulan bu enstitünün ilk beş yıllık çalışması için 50 milyon dolarlık bir kaynak ayrılmıştır (ISN, [web],2007).

Ulusal savunma ve güvenlik için nanoteknolojiyle ilgili birçok uygulama ve kullanım alanının bazıları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Beyin-makina ara yüzünü sağlayan sistemlerin yaratılması
- Eğitim için yapay sanal sistemler
- İnsan gücü performansının geliştirilmesi
- Askeri platformlarda yüksek performans
- İnsansız kara/deniz/hava araçları
- Geliştirilmiş kimyasal, biyolojik ve nükleer algılama sistemleri ve bakım araçları
- Nükleer serpintinin gözlemlenmesi ve önlenmesi için geliştirilmiş sistemler
- Minyatür sensörler, yüksek hızlı işlemci ve iletişim araçları

Nanoteknoloji, savunma sektöründe minyatür bilgisayarlar, güç kaynakları, hareket alanındaki askerin vücuduna; gözetleme, muhabere, algılama, tespit ve teşhis ile

ilaç dağıtımı, biyo-uyumlu malzemeler gibi uygulamalar için kullanılabilecektir. Bağışıklık ve antibiyotik sistemini yok edici kimyasal ve biyolojik ajanların tespitine yönelik olarak biyo-nanoteknoloji araştırmacıları ve genetik mühendisliği tarafından, çalışmalara başlanmıştır. Nanoteknoloji bu çalışmaları hızlandıracak yeni olanaklar geliştirecektir (Altmann,2005) .

1.4.10. Tekstil sektörü

Tekstil sektörü nanoteknolojideki gelişmelerden etkilenecek olan sektörlerin başındadır. Günümüzde nanobilim ile kırışıklık ve leke giderici kıyafetler üretilmiştir. Gelecekte ise akıllı tekstil ürünlerinin üretilmesi ve tekstil ürünlerinin şuanki özelliklerinin geliştirilmesi planlanmaktadır. Örneğin ABD’de Nano-Tex şirketi kırışıklık ve leke giderici ürünler ile sıvı dökülmelerine karşı dayanıklı ürünleri piyasaya sürmüştür (Nanotex, 2007).

Akıllı tekstil ürünlerinden, ürünün üzerindeki diğer organik malzemeleri ve kiri gidermek için güneş ışınlarıyla tepkimeye giren titanyum dioksit nano tabaka parçacıklarını, Hong Kong Politeknik Üniversitesindeki bilim adamları geliştirmişlerdir. Kumaşın temiz kalmasını pamuk üzerine kaplanan tabaka ile sağlanmaktadır.

Tekstil sektöründe, kumaşların iletkenlik, mekanik dirençlerini artırmak ve anti statik davranışlar gibi fiziksel özelliklerini geliştirmek için grafit nanofiberler ve karbon nanotüpler gibi nano ölçekli astarlar, kil, metal oksit ve siyah karbondan üretilen nanoparçacıklar kullanılmaktadır. Metal oksit, kil, ve siyah karbon gibi malzemeler önceden kompozit malzemeler içerisinde mikro astar olarak kullanılmış bile olsa, nano boyutlara indirgendiği zaman oluşan özellikleriyle daha iyi performans sergileyecekleri düşünülmektedir.

Nano ölçekli dolgu malzemeleri içinde en çok kullanılan malzemeler siyah karbon nanoparçacıkları ve karbon nanofiberlerdir. Siyah karbon nanoparçacıkları liflerin aşınma direnci ve dayanıklılığını arttırırken karbon nanofiberler ise kompozit liflerin gerilme direncini artırmaktadır. Bu malzemeler hem elektrik iletkenliğine hem de yüksek kimyasal dirence sahiptir. Mor ötesi direnç ve ışınları engelleme, elektrik, ısı ve kimyasal özelliklerine sahip olan kil nanoparçacıkları ise kompozit liflere alev geciktirici, anti-mor ötesi ve aşınmaya karşı direnç gibi özellikler kazandırmaktadır.

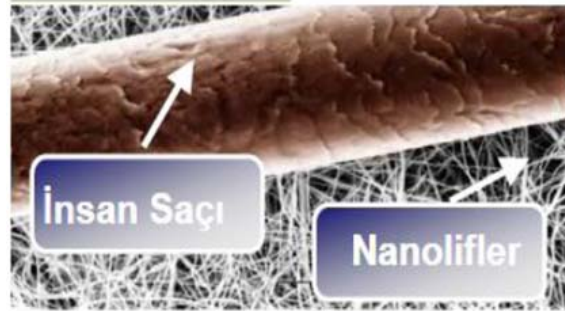
Günlük hayatımızda kullandığımız kumaşlara nano kristal piezoseramik parçacıklar entegre edilmesiyle birlikte, kumaştaki mekanik kuvvetler elektrik

sinyallerine dönüştürülecek ve bu sayede kalp atışındaki ve ritmindeki değişimleri ölçmek gibi vücut fonksiyonlarını gözlemleyen özellikler kazanacaklardır.

Nanoteknoloji kullanılarak üretilen tekstil ürünlerine örnek olarak ABD Dockers tarafından yapılan pantolonlar, ABD Sharper Image tarafından yapılan antibakteriyel gümüş çorapları, Çin Pekin Goflong Nanometer Technologies tarafından üretilen ayakkabı keçesi ve Alman Jack Wolfskin tarafından üretilen gömlekler verilebilir.

1.5. Nanofiber ve Nanofiberlerin Üretim Yöntemleri

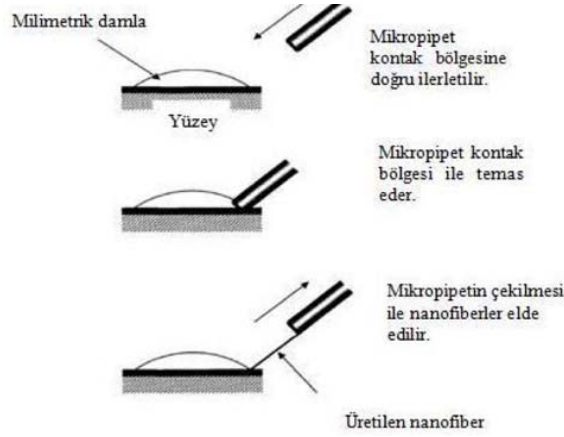
Nanofiberler günümüzde birçok seramik ve polimer malzemelerden çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak üretilmektedir. Polimer çözeltisi ve eriyiğinden çeşitli yöntemler kullanılarak mikro metre altındaki boyutlarda üretilen liflere nanofiber denilmektedir (Ramakrishna ve ark, 2005). Nanofiberlerin çapları için farklı görüşler vardır; bazı araştırmacılar nanofiber çapının bir mikronun altındaki liflere denildiğini söylerken, bazıları ise nanofiberi çapı 0,3 mikron veya daha az olan lifler için tanımlamışlardır. Hagewood'a (2004) göre nanofiber tanımı, çapı 100 nm'ye eşit ya da daha küçük lifler için kullanılmalıdır. Şekil 1.5'te, saç teli ve nanofiberlerin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 1.5 Nanofiber boyutu ile insan saçının karşılaştırılması

1.5.1. Çizme yöntemi

Çizme yöntemi mikrometre yarıçapında olan mikropipetler yardımıyla çalışır. Mikropipetler öncelikle mikro manipülatör yardımı ile polimer damlacığına daldırılır ve mikropipet damlacıktan yaklaşık 10^{-4} m/s hızla çekilir. Bu işlemin sonunda lifler bir yüzeyde toplanarak nanofiber elde edilir (Şekil 1.6) (Ramakrishna, 2005, Süslü, 2009).

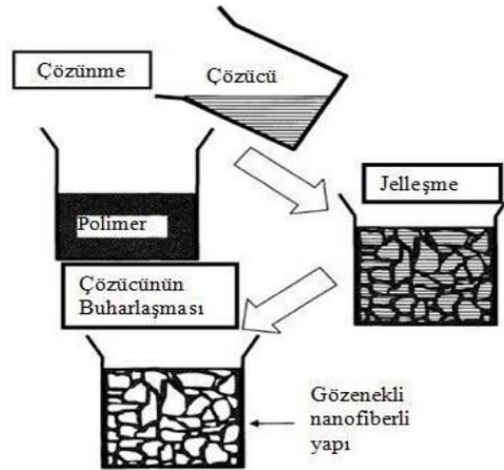


Şekil 1. 6 Çizme yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramarkrishra, 2005, Süslü, 2009)

1.5.2. Faz ayırma

Faz ayırma yöntemiyle nanofiber üretimi 5 aşamada gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.7) (Ramarkrishra, 2005, Süslü, 2009)

1. **Polimer çözme:** Öncelikle uygun bir çözücünde uygun polimer çözülür.
2. **Jelleşme:** Polimerin jelleşmesini sağlamak amacıyla uygun kimyasal maddeler eklenir ve bu maddeler eklendikten sonra jelleşme işleminin gerçekleşmesi için teflon şişeye konulan çözelti buzdolabında bekletilmeye alınır.
3. **Çözücü uzaklaştırma:** Çözücüyü uzaklaştırmak işlemi için buzdolabından çıkarılan teflon şişe saf su içerisine konup 2 gün bekletilir. Saf su bu iki gün içerisinde günde 3 kez değiştirilir.
4. **Dondurma:** Saf su içerisindeki teflon şişe çıkarılır ve içerisindeki jel kağıt süzgeç yardımıyla süzülerek donması için tekrardan buzdolabında -18°C 'de 2 saat bekletilir.

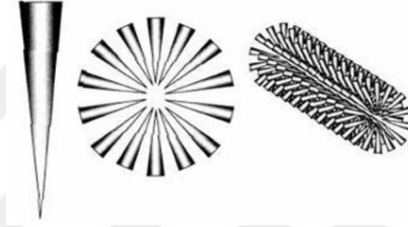


Şekil 1.7 Faz ayırma yöntemi ile lif üretimi (Ramarkrishra, 2005)

5. Soğuk kurutma: Donmuş olan jel buzdolabından çıkarılarak soğuk kurutma kanallarına boşaltılır ve kanallardaki jel -55°C 'de 1 hafta bekletilir. Bu işlemlerin sonunda nanofiber elde edilir.

1.5.3. Kendiliğinden tutunma yöntemi

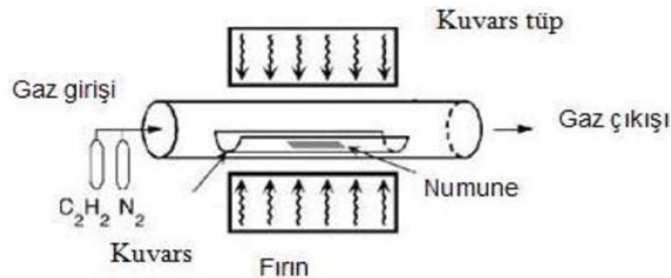
Bu yöntem ile nanofiber üretimi gerçekleştirebilmek için küçük moleküller yardımıyla bloklar inşa edilmektedir. Öncelikle küçük moleküller eşmerkezli bir şekilde aralarında bağ oluşturacak şekilde dizilir, dizilen bu moleküllerin büyük oranda birleşmesi ile nanofiberler oluşur (Şekil 1.8). Bu birleşmenin sonunda oluşan en küçük birim, makro moleküler liflerin şekillerini belirlemektedir (Ramarkrishra, 2005; Süslü, 2009).



Şekil 1.8 Kendiliğinden tutunma yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramarkrishra, 2005)

1.5.4. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD)

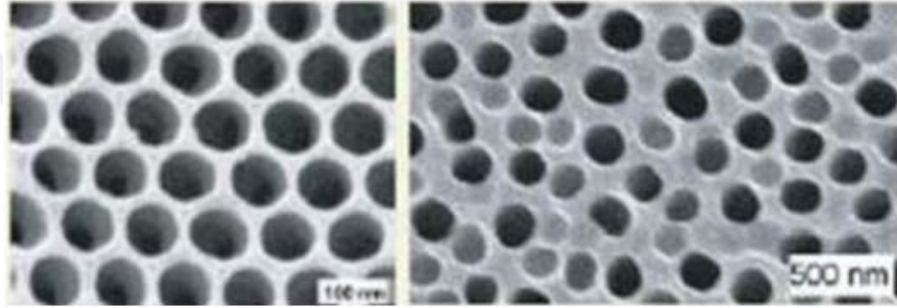
Kimyasal buhar biriktirme (Chemical Vapor Deposition, CVD) yöntemi yaygın olarak karbon nanofiberlerin üretiminde kullanılan yöntemlerden biridir. Kimyasal buhar biriktirme yönteminde, karbon kaynağı olarak karbon monoksit, asetilen ve metan gazları kullanılmaktadır. Bu gaz halindeki moleküllere enerji transfer etmek için ise belirli bir dirençle ısıtılan bobinler kullanılır. Burada oluşan enerji kaynağı karbon atomuna çarptıktan sonra karbon, genellikle Ni, Fe, Co gibi bir geçiş elementi katalizör ile kaplanmış ve ısıtılmış altlığa doğru yayılır ve nanofiber elde edilir (Rao, 2005; Süslü, 2009).



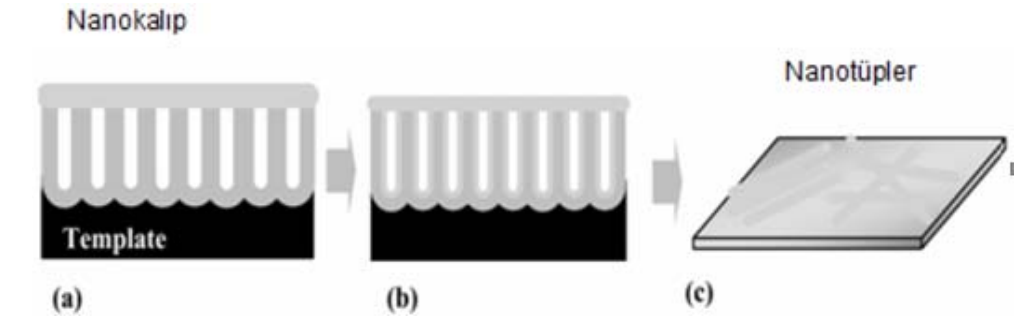
Şekil 1.9 CVD yönteminin şematik gösterimi (Süslü, 2009)

1.5.5. Nano-kalıp

Bu yöntemde gözenek çapları nano boyutta olan alumina ultra filtreler kullanılır (Şekil 1.10). Öncelikle sol-jel yöntemi ile polimer çözeltisi hazırlanır. Hazırlanan çözelti, vakum yardımıyla alumina filtreden geçirilir. Ardından alumina filtre yüzeyi kurumaya bırakılır. Kuruyan yüzeye argon gazı atmosferinde piroliz işlemi uygulanır. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra alumina kalıp asit içerisinde alınarak parçalanır. Saf su, metanol veya aseton ile nanofiberlerin yüzeyi temizlendikten sonra etüvde 80°C’de kurutmaya bırakılır (Şekil 1.11) (Shaislamov ve diğer., 2007, Ramarkrishna, 2005; Süslü,2009).



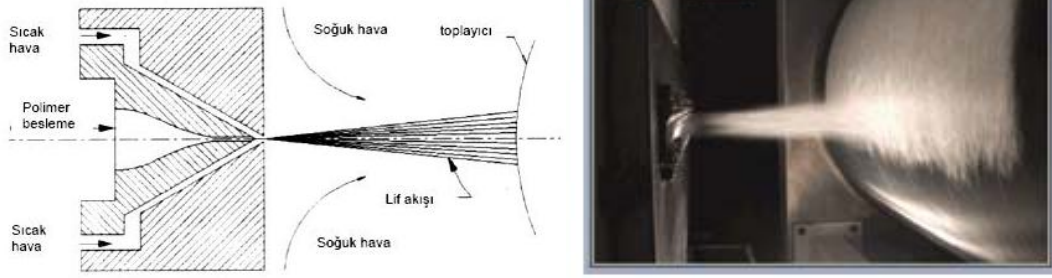
Şekil 1.10 Alumina ultra filtre (Shaislamov ve ark. 2007)



Şekil 1.11 Nanokalıp yönteminin şematik gösterimi a) çözelti kalıp içerisinden geçirilir. b) kalıp duvarlarını ıslatır. c) kalıp asitle parçalanarak nanotüpler elde edilir (Shaislamov ve ark. 2007)

1.5.6. Eriyik püskürtme

Eriyik püskürtme yönteminde lif haline getirilecek olan polimer besleme ünitesine yerleştirilir. Yerleştirilen polimer çözeltisi kalıptan çıkarken yüksek hızla üflenen sıcak hava sayesinde eritilir. Diğer taraftan aynı zamanda soğuk hava üflenerek nanofiber inceltir. (Şekil 1.12) (Balcı, 2006).

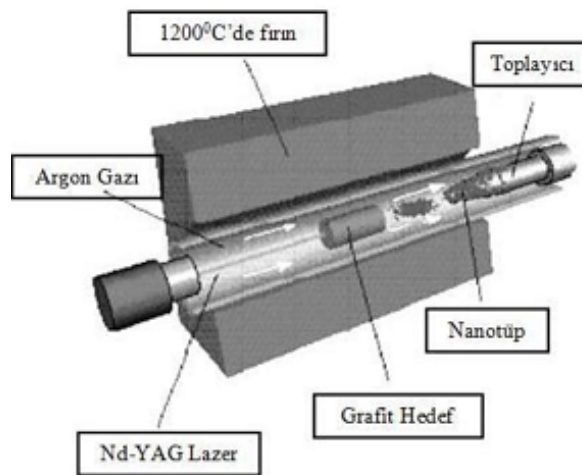


Şekil 1.12 Eriyik püskürtme yöntemi ile nanofiber üretimi (Balcı, 2006).

1.5.7. Lazer buharlaştırma

Genellikle karbon nanotüplerin üretimi için lazer buharlaştırma yöntemi kullanılmaktadır. Özellikle tek duvarlı karbon nanotüplerin üretimi için geliştirilmiştir. Bu süreç, yatay bir tüp içerisinde ve kontrollü bir atmosferde asal bir gaz akışı sağlayarak gerçekleştirilir. Lazer buharlaştırma yönteminde kullanılan yatay tüp içerisine lazer ışığı gönderilerek grafit, kobalt veya nikel gibi metal bir katalizör karışımı içeren bir hedefe çarptırılır. Bu çarpma sonucu lazer darbelerine maruz kalan hedeften küçük miktarlarda geçiş metali içeren karbon karışımı ayrılır.

Aynı zamanda fırın içinden sürekli geçmekte olan asal gaz nanotüplerin su ile soğutulan bakır toplayıcıda birikmesini sağlar. Bakır toplayıcıda biriken nanotüpler işlem sonunda fırının dışına alınır (Şekil 1.13) (Rao, 2005; Süslü, 2009).



Şekil 1.13 Lazer buharlaştırma yöntemi ile karbon nanotüp üretimi (Rao, 2005).

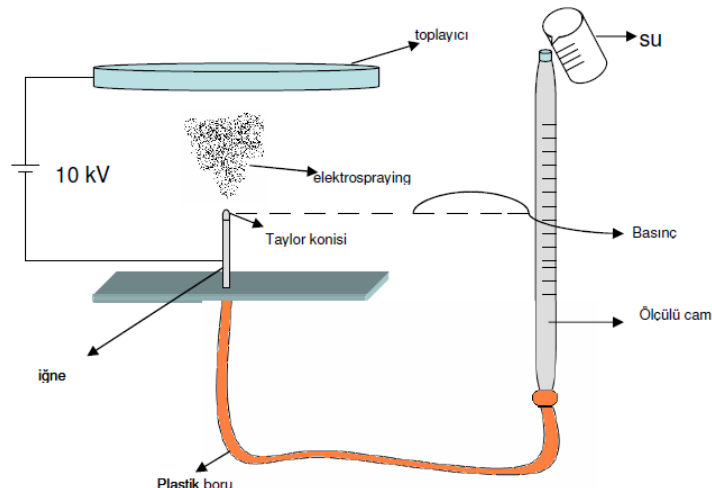
1.5.8. Elektrosprin (Elektro eğirme) yöntemi

Bu yöntemde elektrosprin yöntemiyle sol-jel yöntemi birleştirilerek, seramik veya polimer çözeltisine elektrikselsel alan uygulanarak sürekli nanofiber, nanotüp ve dolgulu nanofiber üretimi yapılmaktadır (Dan ve Xia, 2004). Bu yöntem tezde kullanıldığından aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

1.6. Elektrosprinleme Yönteminin Tarihçesi

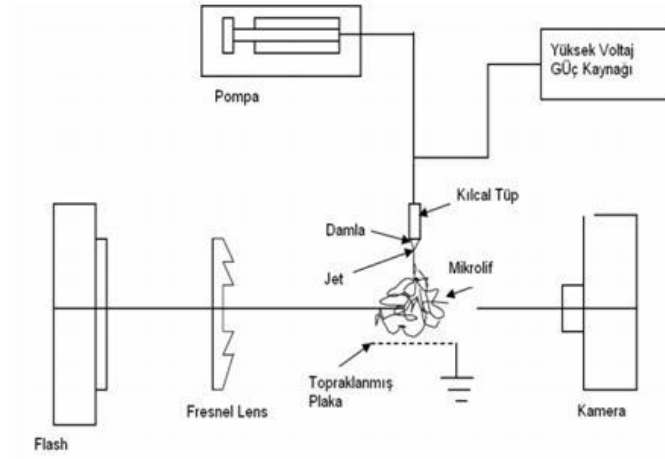
Elektrosprin yöntemi eski bir teknoloji olup 1600'lü yıllarda, manyetizma üzerine çalışmalar yapan ve tesadüfi bir şekilde elektro manyetizmanın sıvılar üzerine etkisini gözlemleyen William Gilbert tarafından ortaya çıkarılmıştır. William Gilbert daha sonra bunun üzerine yapmış olduğu çalışmalarında bir su damlasını belli bir aralıkta elektrikselsel olarak, kuru bir yüzeye koni biçiminde çekildiğini göstermiştir. Yapmış olduğu bu işlem elektrosprin yönteminin tarihinin başladığı noktadır.

1917 yılında ise ilk defa elektriklelenmiş sıvı yüzeylerinin hızlı elektro-hidrodinamik çarpışını Zeleny gözlemlemiştir (Şekil 1.14). Zeleny bu gözleminin neticesinde çözücünün yapısının, yüksek voltajın ve borunun ucundaki sıvı basıncının oluşan spreye etkisi olduğunu tespit etmiştir.

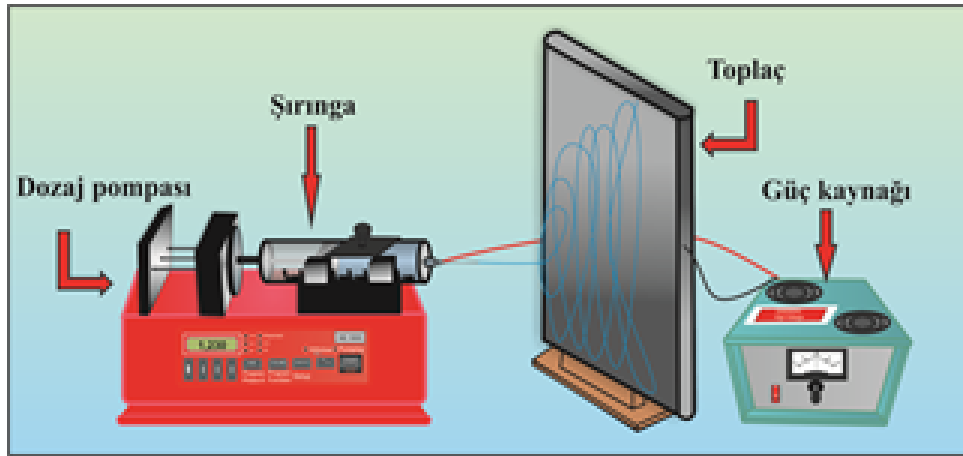


Şekil 1. 14 Zeleny deney düzeneği

1971 yılında elektrosprin yöntemi üzerine ilk yayınlardan biri Baumgarten tarafından yapılmıştır. Baumgarten ve ekibi 1971 yılında ilk defa boyutu bir mikronun altında olan lifler üretmiş ve bundan sonraki yıllarda da araştırmacılar nanofiberlerin morfolojisi ile ilgili çalışmalar yapmaya başlamıştır (Stanger, 2005).



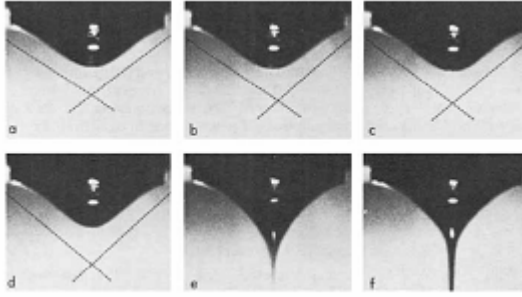
Şekil 1.15 Baumgarten deney düzeneği (Kozanoğlu, 2006)



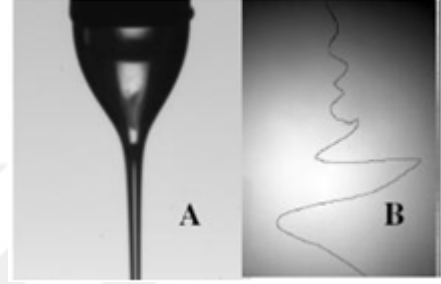
Şekil 1.16 Elektrospin yöntemiyle nanofiber üretiminde kullanılan düzeneğin şematik gösterimi

Elektrospin yöntemi, uzun boylarda, katı ve boşluklu iç yapılı, homojen çap ve çeşitli bileşimlerde nanofiber elde etmemizi sağlayan bir yöntemdir (Dan, ve ark 2004). Elektrospin sisteminin, metal malzemedan yapılmış bir toplaç, yüksek voltaj güç kaynağı, dozaj pompası ve şırıngadan oluşan 4 temel bileşeni vardır (Şekil 1.16). Bu yöntemde ilk olarak polimer uygun bir çözücünde çözülerek polimer çözeltisi hazırlanır. Hazırlanan çözelti şırıngalara alınır ve dozaj pompasına yerleştirilir. Dozaj pompası istenilen püskürtme hızına ayarlanır ve çalıştırılır. Yüksek voltaj güç kaynağı açılır ve uygulanan voltaj yavaş yavaş yükseltilir. Kullanılan metal toplaç ile dozaj pompası arasına uygulanan yüksek voltaj kritik değere ulaştığı zaman, şırınganın ucuna gelen ve asılı bir damlacık olarak duran çözelti, jet biçiminde ve elektriksel olarak yüklenmiş olarak toplaca doğru hareket eder. Hareket esnasında şırınganın ucunda asılı halde duran damlacık, voltajın kritik değere ulaşmasından hemen önce “Taylor konisi” adı

verilen bir şekil oluşturur (Şekil 1.17) (Yarin ve ark., 2001). Oluşan Taylor konisi sonrasında elektriksel alan biraz daha arttırılır ve çözeltinin yüzey gerilimi uygulanan elektrostatik kuvvete karşı gelemmez. Bunun sonucunda jet koni şeklini almış damlacıktan toplayıcıya doğru fırlar. Elektrostatik itme kuvvetlerinden dolayı şırınganın ucundan çıkan jette kıvrılma hareketi gözlemlenir. Daha sonra kıvrılma hareketi ve jet içindeki çözücünün buharlaşmasıyla birlikte incelen jet toplaç üzerinde nano boyutta rastgele olarak lifler halinde birikir (Şekil 1.18).



Şekil 1.17 Kılcal boru ucundaki damlanın ilerleyerek artan voltaj etkisiyle Taylor konisini oluşturması (Yarin ve ark., 2001)



Şekil 1.18 A)Taylor konisi, B)Spiral hareket yapan polimer çözeltisi

1.7. Elektrosprin Metodunda Nanofiberlerin Yapısını Etkileyen Parametreler

Elektrosprin metodunda, polimer çözeltisinin konsantrasyonu, polimerin moleküler kütlesi, çözeltinin iletkenliği, yüzey gerilimi, viskozite vb. nanofiberlerin yapısına etki eden parametrelerdir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Bu parametrelerin etkisi aşağıda açıklanmıştır.

a) Konsantrasyon

Elektrosprin yönteminde çözeltiden lif üretilip üretilmeyeceğini çözeltinin konsantrasyonu belirler. Elektriksel gerilimin uygulanacağı çözelti konsantrasyonu ne çok derişik ne çok seyreltik olacak şekilde ayarlanmalıdır. Örneğin konsantrasyonu yüksek olan çözeltelerde şırınga ucunda donmalar meydana gelmektedir meydana gelen bu donmalar lif oluşmasını engellemektedir. Konsantrasyon çok düşük olduğu zaman ise damlacık oluşabilir. Damlacık oluşması lif yapısının oluşmamasına veya bozulmasına neden olmaktadır. Genellikle diğer parametreler sabit tutulduğu zaman çözelti konsantrasyon artışı lif çapında artışa sebebiyet vermektedir (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

b) Polimerin moleküler kütlesi

Viskozite, iletkenlik, dielektrik sabiti ve yüzey gerilimi gibi elektriksel özellikleri önemli ölçüde etkileyen parametre çözeltideki polimerin moleküler kütlesi olarak tespit edilmiştir (Haghi ve Akbari, 2007). Elektrospin yönteminde lif morfolojisini etkileyen yüksek molekül kütleli polimerlerin lif üretimi için tercih edilmesinin nedeni istenen viskoziteyi sağlamasıdır. Molekül kütlesi çok düşük olan polimerler elektrospin yönteminde kullanıldığı zaman lif üretiminde boncuklanmaya neden olmaktadır. Molekül kütlesi yüksek olan polimerler ise ortalama çapı daha büyük lif üretiminde etkilidirler. Bir çözelti içindeki polimerin yüksek molekül kütlesi polimer zincirlerinin karmaşıklığını yani viskozitesini etkileyen bir faktördür. Bu nedenle molekül kütlesi elektrospin yönteminde önemli rol oynamaktadır.

c) Viskozite

Bir akışkanın yüzey gerilimi altında akmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüne viskozite denir. Çözeltinin viskozitesi spinleme esnasında lif çapını ve morfolojisini etkileyen bir parametredir. Elektrospin yönteminde çok yüksek viskoziteli çözeltilerde polimer çözeltisinin beslenmesi zor olmaktadır. Aynı zamanda çok düşük viskozitedeki çözeltilerde sürekli lif üretimi gerçekleşmemektedir. Bundan dolayı elektrospin yönteminde lif üretimi için en uygun olanı optimal viskozite olarak belirlenir. Yapılan araştırmalarda araştırmacılar en yüksek elektrospin viskozite değerinin 1 ile 215 μ arasında olduğunu söylemektedir (Baumgarten, 1971; Doshi ve Reneker, 1995; Buchko ve diğ., 1999). Viskozitenin belirlenmesinde, moleküler ağırlık ile polimer konsantrasyonu birbirleriyle ilişkilidir. Tekdüze ve büyük çapta lif üretimi çözelti viskozitesinde veya konsantrasyonundaki artış ile meydana gelmektedir (Deitzel ve diğ., 2001).

d) Yüzey gerilimi

Elektrospin yönteminde çözeltinin fonksiyonu nanofiber çözeltisinin yüzey geriliminin azaltılmasında önemli bir rol oynar. Çözeltinin yüksek olan yüzey gerilimi damlacık oluşumu ve jet düzensizliğine yol açtığı için elektrospin prosesini durdurur (Hohman ve diğ., 2001). Çözeltinin yüzey gerilimiyle lif, damlacık ve boncuk oluşumu birbirine bağlıdır. Bundan dolayı daha düşük yüzey gerilimli besleme çözeltisine daha düşük voltaj uygulanarak spinleme yapılmasına yardımcı olunur (Haghi ve Akbari, 2007).

e) Çözelti iletkenliği

Çözeltinin elektriği iletme yeteneğinin sayısal ifadesine çözelti iletkenliği denmektedir. Elektrospin yönteminin temeli elektrotlardan besleme çözeltisine elektriksel yüklerin iletimine dayanmaktadır. Bu sebeple elektriksel iletkenlik değeri “0” olan çözeltilerde elektrospin yöntemiyle nanofiber üretimi mümkün olmayacaktır.

Çözelti iletkenliğinin genelde polimer tipi, kullanılan çözücü ve iyonlaşabilen tuzlarla belirlenmesindeki sebep polimer çözeltisindeki yüklü iyonların jet oluşumunda etkili olmasından kaynaklanmaktadır. Daha ince nanofiber oluşumu sağlamak için çözelti iletkenliğini belirli bir seviyeye kadar arttırmak gerekmektedir. İletkenlik değeri 5 mS/cm den büyük olan çözeltilerle nanofiber üretimi mümkün değildir (Andrady, 2008).

f) Uygulanan voltaj

Elektrospin yönteminde besleme çözeltisine uygulanan voltaj lif oluşumunda en etkili parametrelerden birisidir. Elektrospin prosesi süresince voltaj uygulaması gereklidir. Elektrospin işlemi sırasında çözeltinin elektriksel yüklerle yüklenmesini uygulanan voltaj sağlamaktadır. Bu yöntemde voltajı her arttırışımızda çözelti daha fazla yüklenmekte, oluşan jet uzunluğu artmakta ve daha kararsız bir yapı sahip olmaktadır. Bu yüzden toplaçta toplanan nanofiberler daha düşük çaplara sahip olmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi daha ince yapıda nanofiber eldesi için uygulanan voltaj değerinin artırılması gerekmektedir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Bununla birlikte bazı literatürdeki çalışmalar uygulanan farklı voltaj değerleriyle sonucun her zaman aynı olmadığını göstermektedir. Örnek olarak PVA’nın sulu çözeltisiyle yapılmış olan bir çalışma uygulanan farklı voltaj değerlerinin lif çapına önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir (Ren ve ark., 2006). Uygulanan farklı bir çalışmada ise oluşan nanofiber çapının 0,31 μm boyutundan 1,72 μm boyutlarına kadar artış göstermesinin sebebi voltaj değerinin 5 V’den 25 V değerine yükseltilmesi olduğu gözlenmiştir (Baker ve ark., 2006).

g) Çözelti besleme debisi

Birim zamanda ne kadar polimer çözeltisinin nanofibere dönüştüğünü belirleyen parametre besleme debisidir. Besleme ucundan plakaya doğru hareket eden polimer çözeltisi miktarıyla çözelti besleme debisi eşdeğer olmalıdır. Diğer türlü orantılı ve sürekli nanofiber çap dağılımına sahip nanofiber oluşumu gerçekleşmemektedir. Taylor

konisi düşük debilerde meydana gelmemekte, yüksek debilerdeyse çap değeri büyük olan damlacıklı nanofiberler oluşmaktadır. Taylor konisinde elektriksel yüklenmeyi de azaltmak için yüksek debi gerekmektedir. Buna istinaden nanofiber çaplarında artış olmakta veya nanofiber oluşumu gerçekleşmemektedir (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

h) Toplayıcı plaka tipi

Nanofiber morfolojisini etkileyen iki önemli parametre toplayıcı plakanın geometrik şekli ve üretildiği materyaldir. Nanofiberlerin sahip oldukları elektriksel yükler sıfırlanması topraklanmış toplayıcı plakaya temas etmesiyle gerçekleşir. Bunlar nanofiber morfolojisindeki birim alandaki yoğunluğuna etki etmektedir. Bu sebeple toplayıcı plakanın üretildiği materyalin dielektriksel özelliği önemli bir yere sahiptir. Toplayıcı geometrisine bakıldığı zaman ise laboratuvar şartlarında kullanılan cihazlarda genellikle sabit metal plakalardan oluşan toplayıcılar kullanılmaktadır. Literatürlerde ise çeşitli geometrik şekillerde tel çerçeveler, karşılıklı koni şeklindeki toplayıcılar, döner plaka, halka şeklindeki elektrotlar ve döner silindir ile yapılan çalışmalar görülmektedir. Hareketli toplayıcılar birim alanda istenilen yoğunlukta nanofiber birikimini sağlarken toplayıcı geometrileri ise nanofiberlerin ne şekilde toplanacağını belirlemektedir. Lif ağının daha orantılı dağılımını ve gözenekli yapının daha kontrollü gelişmesini sağlanması istenilen yoğunlukta nanofiber toplanmasına bağlıdır. Bu nanofiber özellikle sensör uygulamalarında avantaj olarak görülmektedir. Nanofiber ağının morfolojisini etkileyen diğer bir parametre ise hareketli plakaların hızıdır (Andrady, 2008).

i) Toplayıcı plaka ile besleme ucu arasındaki mesafe

Çözeltideki çözücünün nanofiberlerden ne kadar sürede uzaklaşacağını ve elektriksel alanın ne kadar kuvvetli olacağını besleme ucu ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe belirlemektedir. Mesafenin artışı diğer şartlar sabit tutulduğu zaman genel olarak nanofiber çapında azalmalara sebep olmaktadır. Fakat bu artışın bazı durumlarda tam tersine sebep olduğu da gözlemlenmiştir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Kloroform içindeki %17'lik çözelti ile Baker ve ark.'nın (2006) yaptıkları çalışmada 15 kV gerilim uygulayarak besleme ucu ile toplayıcı plakaya arasındaki mesafeyi 5 cm'den 20 cm'ye çıkarmışlar ve nanofiber çapının 1 μm 'den 0,66 μm 'ye doğrusal bir düşüş gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Bu parametre lif çapını olduğu kadar lifin morfolojisini de etkilemektedir. Besleme ucu ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe çözücünün nanofiber jetinden

uzaklaşmasını sağlayacak değerde olması gerekmektedir. Eğer olmazsa toplaçta nanofiberler eriyik veya yaş şekilde toplanacak ve bu şekilde nanofiber ağları oluşacaktır. Aynı zamanda Taylor konisinin kararsızlığına ve bunun sonucunda kusurlu morfolojik yapılar oluşmasına aradaki mesafenin kısa oluşunun sebep olduğu gözlemlenmiştir (Andrady, 2008).

j) Çevresel faktörler

Çözültideki çözücünün buharlaşma süresini elektrospin işleminin gerçekleştiği ortamın gaz bileşimi ve sıcaklığı etkilemektedir. Bu koşulların kontrol edildiği zaman kuru lif elde edilebilmektedir. Jet oluşumunda çözücünün buharlaşması daha hızlı şekilde gerçekleşebilmesi için genel olarak 25–57°C sıcaklığında ısıtılmış havanın sirkülasyonu ile ekstra ısı kaynağına sahip cihazlar gerekmektedir. Fakat oluşan nanofiber jetindeki çözücünün buharlaşma hızı ile ısıtılmış havanın sirkülasyon hızının eşdeğer olması gerekmektedir (Andrady, 2008).

1.8. Nanofiberlerin Kullanım Alanları

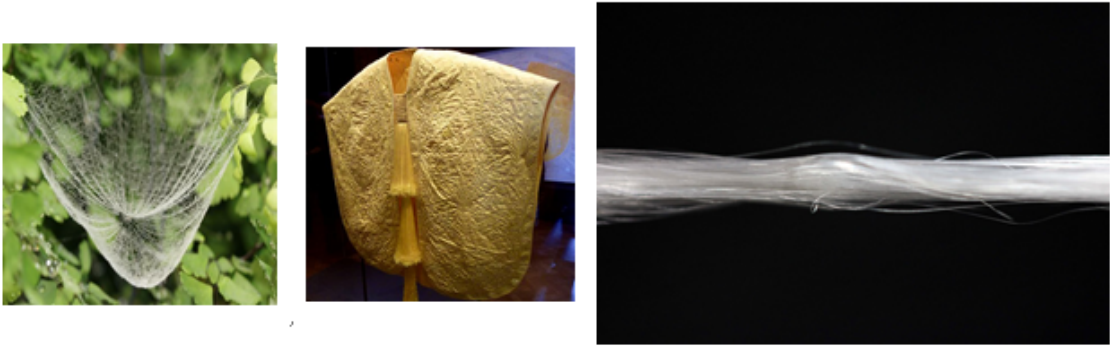
Çok çeşitli malzeme üretimini elektrospin yöntemiyle sağlayabilmekteyiz. Bu yöntemde kullanılan polimer çeşidinin fazla olması bunun en önemli nedenlerinden biridir. Bu yöntem ile üretilmiş nanofiberlerin kullanım alanının oldukça geniş olması bunun sonucundan kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda, nanofiberlerden oluşan elyafların, iyi mukavemet/birim ağırlık özelliği ve birim ağırlıkta sağlanan yüksek alan gibi özellikleri, nanofiberlerin doku mühendisliği, filtrasyon membranı yapımında, kompozit uygulamaları, savunma sanayii, biyomedikal malzemeler gibi birçok alanda kullanılmasının başlıca nedenleridir (Çakmak, 2011).

1.8.1. Nanofiberlerin kompozit uygulamaları

Kompozit endüstrisinde nanofiber teknolojisinin yaygın olarak kullanılmasının sebebi oldukça küçük ve hafif ürünler oluşturabilmesidir. Kompozitler bu sayede mukavemet/ağırlık oranı ve yüksek elastiklik modülü gibi önemli özelliklere sahip malzemeler üretilbilmesine imkan sağlamaktadır.

Kompozitler malzemenin yapısal özelliklerini artırırken, nanofiberler ise bazı malzemelerin mikro liflerine kıyasla daha iyi mekanik özellikler sergilerler. Aynı

zamanda kompozitler normal mikrolifli kompozitlerde görülmeyen bazı artı niteliklere nanofiberle güçlendirilerek sahip olmaktadır (Huang ve ark., 2003, Çakmak, 2011). Örnek olarak 2009 yılında Madagaskar’da doğal yollar ile elde edilen örümcek ağından dokunduğu bilinen en büyük kumaş üretilmiştir. Bu kumaş 82 kişinin 4 yıllık gayreti sonucu 1 milyon örümcekten toplanan ağ ile yapılmıştır. Teknik açıdan ipekle aynı olan bu kumaş, maliyet açısından biraz daha pahalıya mal edilmiştir. Bundan yola çıkan bilim insanları ipek böceklerinin genetiği ile oynayarak örümcek ağı üretilbilecek duruma getirmişler ve “doğal” yollardan “yapay” ağ üretmeyi başarmışlardır (Şekil 1.19).



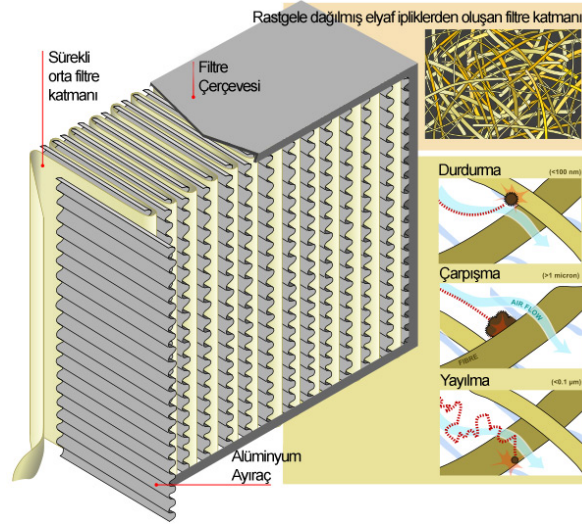
Şekil 1.19 Açık bilim doğadan bilime yeni bir ilham kaynağı örümcek ağları

1.8.2. Filtrasyon uygulamaları

Filtrasyonun öneminin artırmasındaki sebep endüstri kaynaklı kirlenme ve buna bağlı olarak doğal su kaynaklarının azalması gibi etkenlerdir. Düşük hava dirençleri ve yüksek filtrasyon verimliliği, filtrasyon için kullanılan fibrilli materyallerin avantajlarındadır. Lif inceliği ile yakından alakalı olan filtrasyon verimliliği bu özelliğinden dolayı filtrasyon performansını belirleyen en önemli özellik arasındadır.

Nanofiberlerden oluşan dokusuz yüzeylerin filtrasyon için kullanılması yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapısı sayesinde birçok avantaj ve yenilik sağlamaktadır. Bu yüzeyler 1 mikrondan küçük parçacıkların hava, su, kan gibi akışkanlardan filtrelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede ince partiküller ($<0,5 \mu\text{m}$) filtrasyon verimliliğini geliştirmekte ve nanofiber yapılarında kolaylıkla tutunabilmektedir.

Hepa filtreler ameliyathaneler, elektronik ve ilaç endüstrisi gibi kirliliğin önemli olduğu alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmış ve yapımında da nanofiberler kullanılmıştır. Şekil 1.20’de bir hepa filtrenin tabakaları gösterilmiştir (Huang ve ark., 2003).



Şekil 1.20 Hepa filtre tabakaları

Boyutu 100 nm'den daha küçük parçacık veya damlacıkları nanofiberler ile elde edilen kumaşlar sayesinde sıvıdan veya gazlardan uzaklaştırmak mümkündür. Bu da nanofiberlerin filtrasyon amaçlı kullanımını sağlamaktadır. Bu lifler yüksek tutuş kapasitesi ve uzun filtre ömrü sebebiyle tercih edilmektedir (Huang ve ark., 2003).

1.8.3. Biyomedikal uygulamaları

İnsan doku ve organları, kıkırdak doku, diş, deri ve kemik örneklerinde olduğu gibi nanometre ölçeğinde lifli yapılardan oluşmuştur. Bu yüzden nanofiberlerin günümüzdeki araştırma çalışmaları onların biyomühendislik alanındaki uygulamaları yönünde olmaktadır (Çakmak, 2011).

Yıllardır antimikrobiyal olarak tıpta kullanılmakta olan gümüş iyonu ve gümüş kristallerinin medikal uygulamalarda kullanılmasının nedenlerinden bir diğeri de gümüş metalinin insan derisi ile tepkimeye girmemesi ve kararlı olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat yara sargısı içerisinde nem oluşursa veya yara kanamaya başlarsa gümüş iyonları serbest kalacaktır. Bu da sadece bakteri DNA'larını yok etmekle kalmayacak bununla birlikte yararlı deri hücrelerinin de ölmesine sebebiyet verecektir.

İnsanın derisindeki yara ve yanıkların tedavisinde son yıllarda nanofiberler kullanılmaktadır (Şekil 1.21). Bunun sebebi insan yarası akıntı üreten bir yapıya sahip olduğu için nanofiberlerin gözenekli yapıları yaranın iyileşmesine büyük avantaj sağlamasıdır. Nanofiberlerin gözenekli yapıları yaranın kurummasını önlerken, yaradan

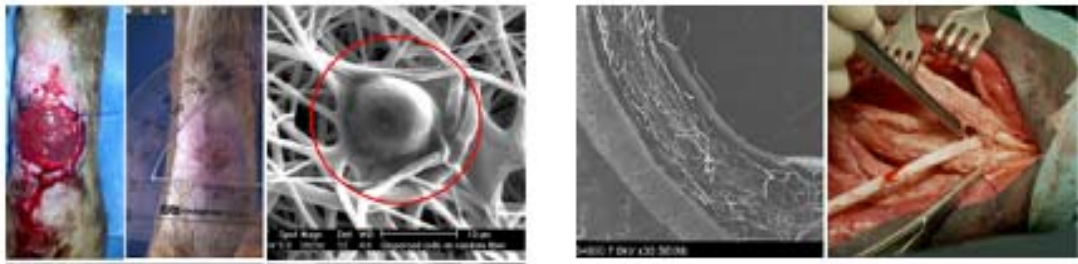
akan sıvının dışarı alınmasını ve tabaka altında birikmemesini de sağlayacaktır. Bütün bunlara ilave olarak, enfeksiyon yapıcı bakterileri engellemesi, mükemmel oksijen ve hava iletimi gibi önemli özelliklere de sahiptir (Huang ve ark., 2003) .



Şekil 1.21 Yara örtüsü olarak kullanılan nanofiberlerin uygulanması (Çakmak, 2011)

1.8.4. Tıbbi protezler

Elektrospın yöntemiyle üretilen nanofiberler kan damarları gibi yumuşak doku uygulamalarının pek çoğu için önerilmektedir (Şekil 1.22). Bunun sebebi biyo uyumlu olan nanofiberler sert doku protezi üzerine ince gözenekli film şeklinde yerleştirilerek vücut içerisine implant edilebilirler. Film insan dokusu ile protez aleti arasında bir ara faz olarak çalışan bu kaplama doku ile alet arasındaki katılık uyumunu sağlamaktadır (Huang ve ark., 2003, Çakmak, 2011).

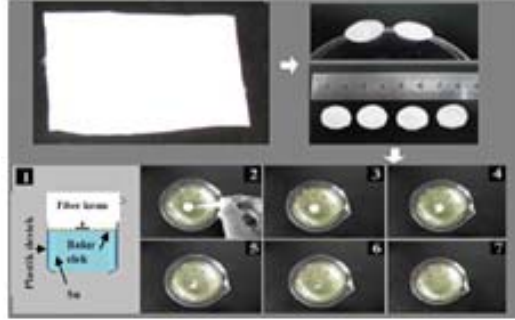


Şekil 1.22 Eski olimpiyat şampiyonunun diz kapağına yerleştirilen osteoartrit nanofiber

1.8.5. İlaç salımı uygulamaları

Nanolifler, yüksek yüzey/hacim oranına sahip olduklarından doku mühendisliği ve ilaç taşıyıcı sistemler gibi birçok alanda kullanılma potansiyeline sahiptirler. Sisteme salımı yapılacak olan etkin maddenin yeter miktardan az olmaması veya toksik etki yapacak kadar çok olması gibi istenmeyen durumlarla karşılaşmamak için etkin maddenin hedef bölgeye ulaşması ve verilecek dozunun ayarlanması ilaç taşıma ve

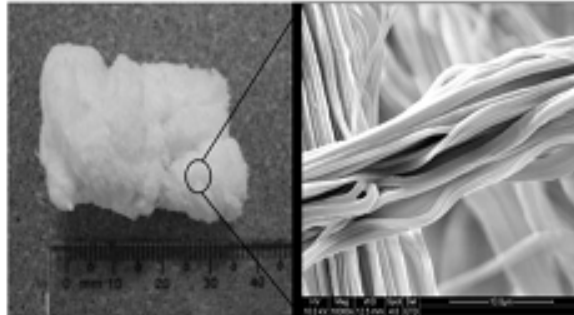
salım sistemleri sayesinde mümkün olmaktadır (Şekil 1.23). Hem ilaç hem de ihtiyaç duyulduğunda taşıyıcı yüzey alanının çoğaltılması ile parçacıkların çözünme hızının artırılması prensibi polimerik nanofiberlerle ilaç salımı uygulamalarının esasını oluşturmaktadır (Yu ve ark., 2009; Çakmak, 2011).



Şekil 1.23 Elektrospın yöntemiyle üretilmiş hızlı çözünen ilaç salım membranı (Yu ve ark., 2009)

1.8.6. Doku mühendisliği uygulamaları

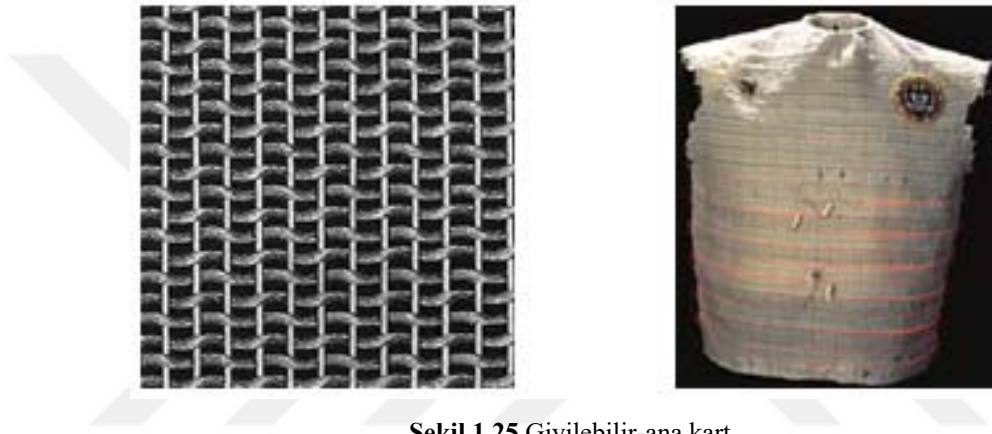
Nanofiberlerden meydana gelen yüksek gözenekliliğe sahip örülmemiş matrisleri elektrospın tekniği ile üretmek mümkün hale gelmiştir. Gözenek ebatlarının 100 ile 350 nm arasında olması ve gözenekliliğin % 80-90 seviyelerinde bulunması yeni bir kemik dokusunun gelişimi için gerekmektedir (Şekil 1.24). Sentetik matrislerin ve yapı malzemelerinin ideal tasarımı insan vücudundaki doğal matrisin biyolojik yapısını ve fonksiyonlarını taklit edebilmesi için gereklidir. Bu uygulama biyo malzemelerin ve doku mühendisliği uygulama alanına girmektedir. Hücrelerin çoğalması, büyümesi için nano ölçekli fibröz yapılar ideal yapılar olarak görülmektedir. Doku mühendisliğinde biyolojik olarak uyumlu üç boyutlu yapılar yeniden üretilebilmekte ve hücre büyümesi için biyomatris kompozitleri çeşitli dokuların onarımında kullanılmaktadır (Teo and Ramakrishna,2009).



Şekil 1.24 Kemik doku onarımı için üretilmiş nanofiber doku iskelesi (Teo and Ramakrishna,2009).

1.8.7. Elektriksel ve optik uygulamalar

Kumaşa gerekli elektriksel iletkenlik özelliğini kazandıran metalik teller kumaş yapısı içerisine bir ağ gibi örülürler (Şekil 1.25). Elektrik iletkenliğine sahip polimerlerden nanofiberler üretilmesi pek çok avantajı beraberinde getirmiştir. İletken nanofiberlerden yapılmış membranların yüksek performanslı bir pil geliştirmede gözenekli elektrot olarak kullanılması elektrotun yüzey alanı ile elektrokimyasal reaksiyon hızı orantılı olduğu için oldukça uygundur. Elektromanyetik engelleme, elektrostatik dağılma, korozyon koruması gibi çeşitli uygulama alanları için iletken membranlar potansiyel teşkil ederler (Huang ve ark., 2003, Çakmak, 2011).



Şekil 1.25 Giyilebilir-ana kart

1.8.8. Savunma sanayi uygulamaları

Savunma sanayi uygulamalarında koruyucu giysilerden öncelikle hayatta kalabilme ihtimalini en yüksek seviyede tutması, zor hava koşullarına dayanıklı olması, uzun süre koruma sağlayabilmesi, güç üretebilmesi, hafif olması, nükleer, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı olması ve verimliliği arttırması beklenmektedir. Günümüzde koruyucu giysiler aşırı ağır kumaşlardan yapılmışlardır. Nanofiber yöntemiyle üretilen kumaşlar ise hava ve su buharı geçirebilen, hafif ve nefes alabilen kumaşlardır (Şekil 1.25). Yüksek gözenekliliğe sahip olan nanofiberler üzerine gözenek boyutu çok küçük olan bir yüzey kaplandığı zaman kimyasal maddenin kumaş içine nüfuzuna karşı iyi bir direnç sağlamaktadırlar (Huang ve ark., 2003).



Şekil 1.26 Biyolojik saldırılara karşı koruma amaçlı kullanıma örnek

1.8.9. Uzay uygulamaları

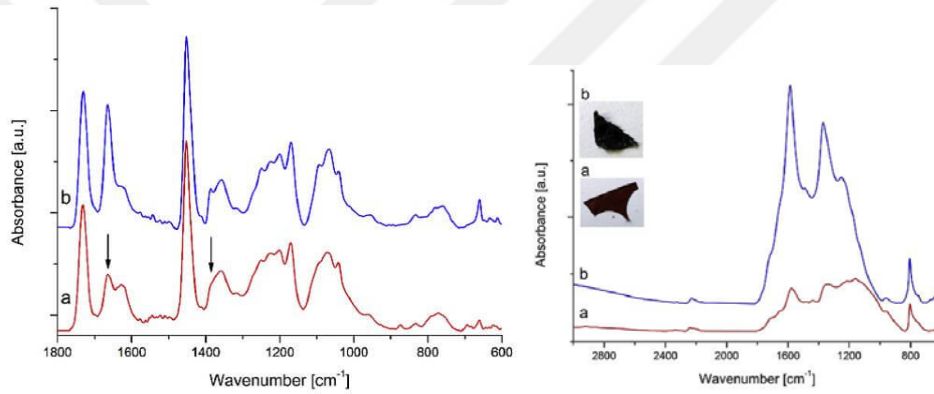
Karbon tabanlı nanofiberlerin uzay araç ve gereçlerinde yoğun bir şekilde kullanılmalarının sebebi çelikten yüzlerce kez daha sağlam olması, yüksek mukavemette olmaları ve düşük ağırlıkları gibi muhteşem özellikleri sayesinde. Aynı zamanda gelecekte cam, seramik ve karbon benzeri nanofiberlerden uzay yapıları inşa edilebilecektir. Günümüzde uzayda kurulan ışık ve güneş panellerinde nanofiberlerden yapılmış yüzeyler kullanılmaktadır (Çakmak, 2011). Şekil 1.26'da nanofiberden yapılmış güneş yelkeni görülmektedir. Güneş yelkeni üzerine büyük ve hafif bir ayna yerleştirilmiş bir uzay aracıdır. Aynanın ışığı yansıtması prensibi ile hareket eder. Işığın yansıtması prensibi; ışığın bir momentumu vardır ve ışık bir cisme çarptığı zaman momentumunu bu cisme aktarır. Aktarılan momentum yansıma işlemini gerçekleştirmektedir. Yansıma işlemi ise cisim ile aralarında ikinci bir momentum değişimi gerçekleştirmektedir. Cisimin hareketi üzerindeki toplam kuvvet, yansıyan ve çarpan ışığın vektörel toplamına eşit olmakta ve bu kuvvet doğrultusunda sağlanmaktadır (Süpüren ve ark. 2007).



Şekil 1.27 Nanofiberlerden üretilen güneş yelkeninin görünümü (Süpüren ve ark., 2007)

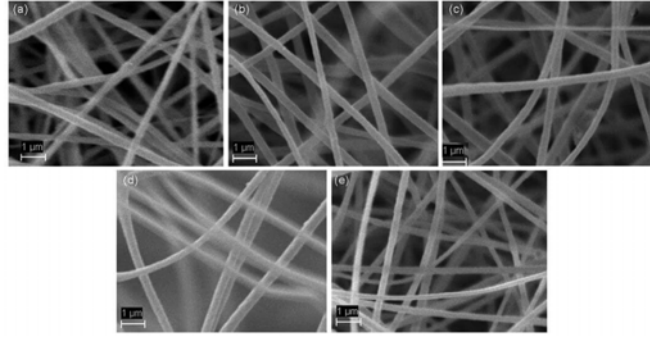
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Stodolak-Zych ve ark. (2016) iki tür poliakrilonitril (PAN) nanofiber başlangıç maddelerinin (karbon nanotüpler ile saf PAN ve PAN) stabilizasyon ve karbonizasyon süreçlerine eşlik eden yapısal değişiklikleri, kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile incelenmişler. IR absorpsiyon spektrumları, PAN öncüsüne küçük miktarda fonksiyonlandırılmış çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT) katılmasının stabilizasyon süreci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişler (Şekil 2.1). Raman spektroskopisi çalışmasıyla, MWCNT içeren karbon nanofiberlerin yapısının, saf karbon nanofiberlere kıyasla daha düzenli olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 2.1 a) PAN ve b) PAN/CNT nanofiber membranların FTIR-ATR spektrumları.

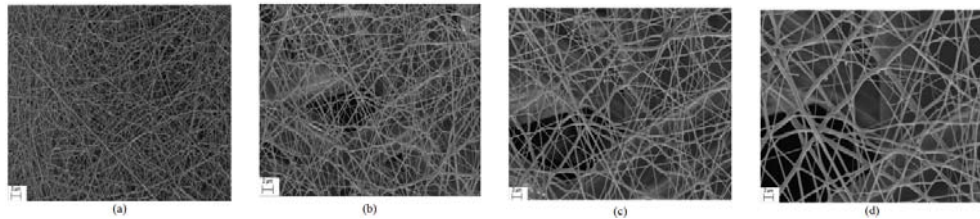
Eren ve ark. (2016a), tarafından elektrospinn ile üretilen kompozit poliakrilonitril nanofiberlerin yapısı ve özellikleri üzerine farklı gruplarla (karboksil, amin ve hidroksil) fonksiyonlandırılmış (MWCNTs) etkisi incelemişler. Kompozit poliakrilonitril nanofiberleri karakterize etmek için mekanik test, elektriksel iletkenlik, taramalı elektron mikroskobu (Şekil 2.2), diferansiyel taramalı kalorimetri ve X-ışını kırınımı analizi kullanılmıştır. Yalın veya fonksiyonel hale getirilmiş MWCNT'lerin eklenmesi, nano elyafların çaplarında hafif artışlara neden olmuştur. Nanofiberlerin iletkenliklerinin farklı fonksiyonel grup içeren karbon nanotüplerle hemen hemen aynı olmasına rağmen, gerilme mukavemetin, kristalliğin ve termal özelliklerin karbon nanotüplerin fonksiyonel gruplarından etkilendiği bulmuşlar.



Şekil 2.2 a) Saf PAN, b) PAN/p-MWCNT, c) PAN/ MWCNT-COOH, d) PAN/ MWCNT-OH ve e) PAN/ MWCNT-NH₂ nanofiberlerin SEM görüntüleri.

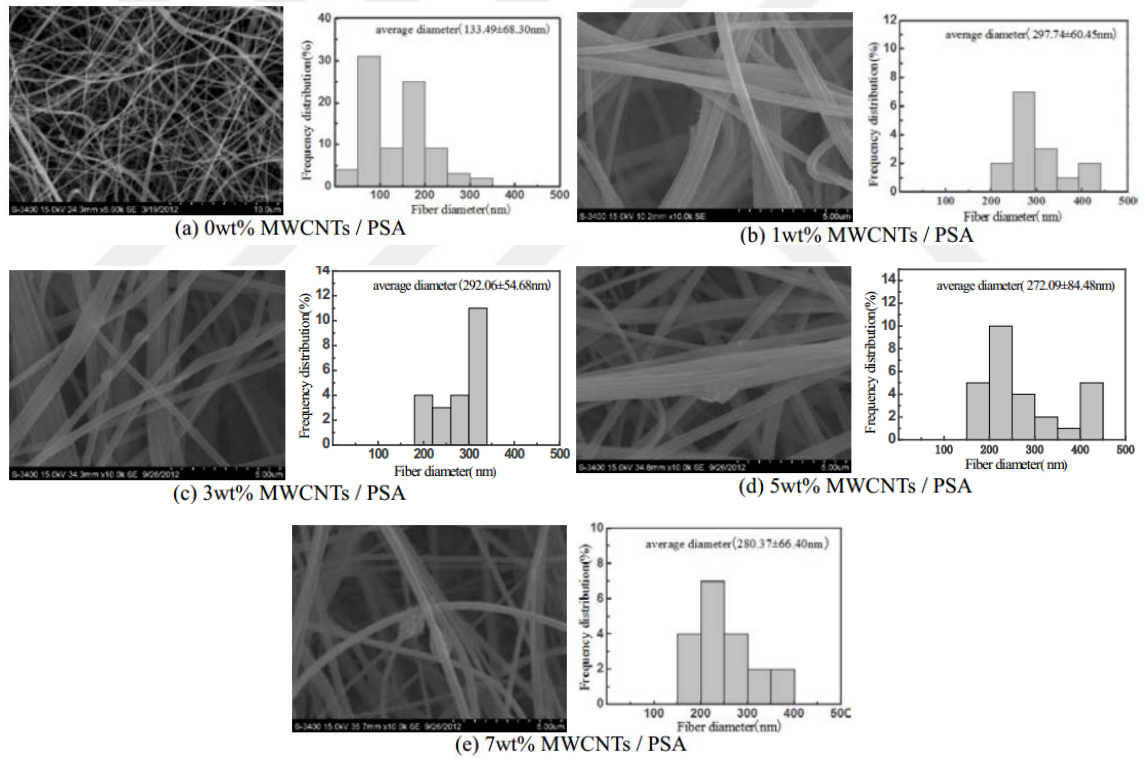
Eren ve ark. (2016b), elektrospin ile üretilen poliakrilonitril (PAN) üzerine katkı maddelerinin sinerjik etkisini görmek amacıyla çeşitli miktarlarda karbon nanotüpler (CNT'ler), gümüş nano parçacık (AgNP) ve polyaniline (PANI) malzemelerini ekleyerek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Bu kompozit nanofiberlerin mukavemet test analizi, elektrik iletkenlik, FTIR, DSC, X-ray, SEM ve antibiyotik etkinliği testi ile performans ve karakteristik özelliklerini belirlemişlerdir. AgNP katkılı nanofiberlerin CNT katkılı olanlardan daha zor kırıldığını ve elektrik iletkenliğinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak PAN kompozit nanofiberler ile %3'lük PANI ve %1'lik AgNO₃ genellikle elektrik iletkenliği, antibiyotik aktivite, mekanik gücü, kristalleşme ve termal kararlılık açısından diğer örneklerden daha iyi performans sunduğunu belirlemişler.

Sinha ve ark. (2015), elektrospin ile PAN ve PAN/CNT kompozit örümcek ağ örgüsü yapmışlardır. Bu araştırmada (MWCNT) karbon nanotüpün PAN'ın, çekme özelliklerine, iletkenliğine, termal, kimyasal ve kristal yapısına etki ettiğini belirlemişlerdir. FESEM görüntülerinden nanofiber çapı ve ağ yoğunluğunu belirlemişlerdir (Şekil 2.3). CNT'nin büyük ölçüde ağ morfolojisini ve yoğunluğunu etkilediğini, fiber çapını artırdığını ve ağ yüzeyinin pürüzlülüğünün azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca CNT'nin kompozit ağların mekanik özelliklerini etkilediğini bulmuşlardır.



Şekil 2.3 MWCNT miktarının nanofiber morfolojisine etkisini gösteren FESEM görüntüleri: a) Saf PAN, b) %1 CNT, c) %2CNT ve d) %3 CNT içeren nanofiberler.

Xin ve Chen (2015), elektrospın ile elde edilen polisülfonamid/çok duvarlı karbon nanotüplü (PSA/MWCNTs) liflerin yapısı ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. PSA/MWCNT nanofiber karışımının kristallliği azalırken çapının arttığını gözlemlemişlerdir. Farklı MWCNT konsantrasyonlarına sahip PSA/MWCNTs nanokompozit fiberlerin SEM görüntüleri Şekil 2.4'te verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, MWCNT'lerin katılması ortalama fiber çapının artmasına ve fiber yüzeyinin pürüzlülüğünün artmasına yol açtığı belirlenmiştir. Bunun nedeni ise MWCNT'lerin katılmasının PSA çözeltisinin viskozitesini arttırmasıyla fiber matrisinden elyaf çekme direncinin artması şeklinde yorumlanmıştır. %5'lik MWCNT içeren PSA/MWCNT nanofiberlerde hem iletkenlik hem mekanik özelliklerinde artma olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak PSA/MWCNT kompozit nanofiberlerinde mükemmel ısıl kararlılık ve mekanik özellikleri olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.4 %12 PSA ve farklı konsantrasyonlarda MWCNT içeren fiberlerin SEM görüntüleri ve çap dağılımı.

Bara ve ark. (2015), çalışmalarında, poliakrilonitril (PAN) ve (PAN)/ MWCNT kompozit fiberleri elektrospın ile üreterek, işlem parametrelerinin (polimer konsantrasyonu, uygulanan gerilim, akış oranı, toplaç mesafesi gibi) nanofiber üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Süspansiyonda düşük konsantrasyonlarda PAN (ağırlıkça %3 ve % 5) damlacıklara ve sürekli olmayan nanofiberlerin oluşumuna yol

açarken, %10'luk bir süspansiyonda ise, benzer çaplara ve homojen dağılımlı fiberlerin üretilmediği belirtilmiştir. Uygulanan gerilimin 15 kV'dan 18 kV'a yükseltilmesi, fiber çapının homojenliğine yol açtığı belirtilmiştir. MWCNT konsantrasyonunun artması, nanofiber çapının artmasına neden olmuştur. MWCNT'nin düşük konsantrasyonda (ağırlıkça %0,5 ve %1) nanofiber yapısındaki lokal düzensizlikler gözlenmiştir. MWCNT konsantrasyonunun ağırlıkça %10 oranında artması, ortalama gerilme mukavemetinin 2,37 MPa'ya yükselmesine yol açtığı ifade edilmiştir. Elektrospin ile üretilen nanofiberlerin, yüksek yüzey alanı/hacim oranı, yüksek gözeneklilik ve gözenek boyutu gibi çeşitli özelliklere sahip olduğunu söylemişlerdir.

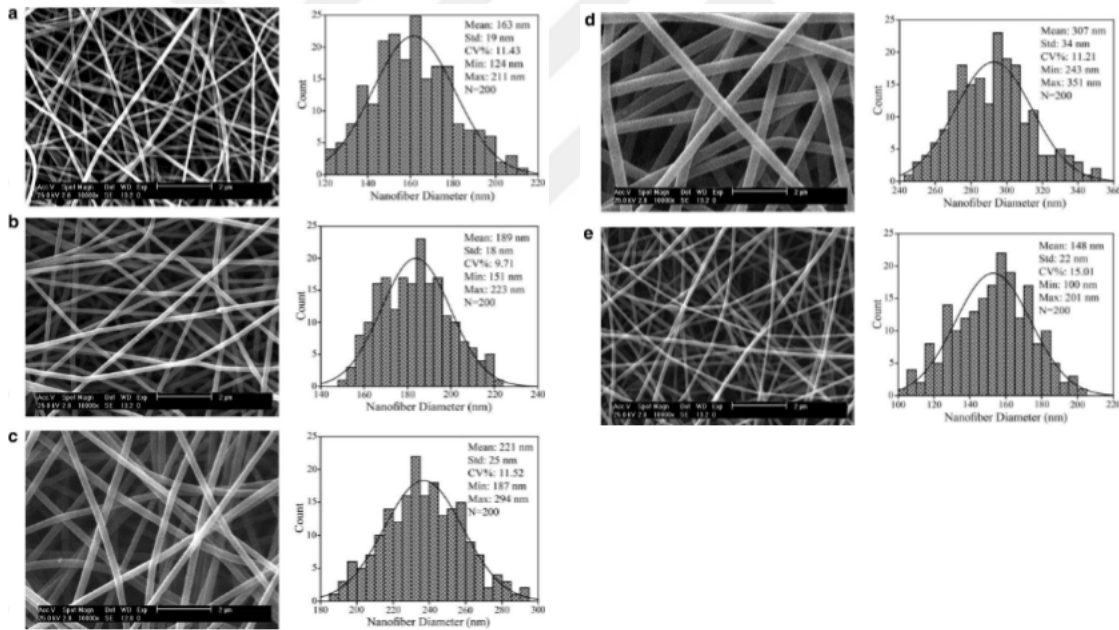
Rubai ve ark. (2015), elektrospin tekniğiyle, karbon nanotüplerle güçlendirilmiş PAN nanofiberleri üretmişler. Elektrospin işleminde, PAN/CNT, PAN/CNF çözeltileri sırasıyla ağırlıkça %6 ve %10 oranında uygulanmıştır. 10,0 kV voltaj uygulamışlar ve stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitleştirme olmak üzere üç aşamalı ısıtma işlemi tabii tutulmuşlar. Çalışmalarında PAN çözeltisindeki nanofiber çapı, termal kararlılık ve elektrik iletkenlik özelliklerinin nanoparçacıkların oranları değiştikçe büyük ölçüde etkilendiğini göstermişlerdir. Morfolojik çalışmalarında, PAN/CNT liflerinin çaplarının 0,62 ve 0,70 μm ve PAN/CNF lif çaplarının sırasıyla 1,03 ve 1,20 μm arasında olduğunu ortaya koymuşlardır. Termal kararlılık çalışmasında ise CNT ve CNF oranları arttıkça PAN polimerinin termal bozunumunun arttığını gözlemlemişlerdir. İletkenlik çalışmasında CNT ilavesinin PAN polimerinin iletkenliğini $5,4 \times 10^{-4} \text{ Scm}^{-1}$ 'e kadar arttırdığını belirlemişler. Ayrıca CNF'nin, PAN'ın elektrik direncini $2,49 \times 10^{-5}$ 'ten $1690,2 \Omega \text{ cm}^{-1}$ 'e yükselttiğini tespit etmişlerdir.

Fang ve ark. (2014), UTLC için sabit faz olarak karbon nanotüp ve nanorod/poliakrilonitril kompozit nanofiberlerini elektrospin ile üretmişlerdir. MWCNT-PAN plakaları, EPC-PAN plakaları ve saf PAN plakalar arasındaki kromatografik davranışları karşılaştırılarak incelemişlerdir. Beş farklı polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) ayrılmasını sağlayarak MWCNT katkılı sabit fazın kromatografik performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir. MWCNT veya EPC katkılı UTLC sabit fazlar için bant genişlemesini de araştırmışlar ve saf PAN ile karşılaştırmışlardır. UTLC plakaları kullanılarak MWCNT bazlı kompozit nanofiberlerin bant dağılımında %50 iyileştirme yaptığını tespit etmişlerdir.

Maitra ve ark. (2012), karbon nanotüp/poliakrilonitril (CNT/PAN) nanofiberleri elektrospin yöntemi ile hazırlamışlar ve daha sonra 900°C'de karbonizasyon işlemi ile karbon nanofiberleri elde etmişlerdir. Bu nanofiberlerin içerisine %0,5 CNT

eklendiğinde elektrik iletkenliğinde neredeyse iki katı artış tespit edilmiştir. Kompozit nanofiberlerin elektriksel özellikleri yanında grafitleşme ve kompozit nanofiberlerin arasındaki yapısal ilişkiyi çeşitli karakterizasyon teknikleri ile incelemişlerdir. Piroliz edilen CNT/PAN nanofiberler içinde saf PAN'da bulunmayan karbon grafitli bölgelerin varlığını gözlemlemişlerdir.

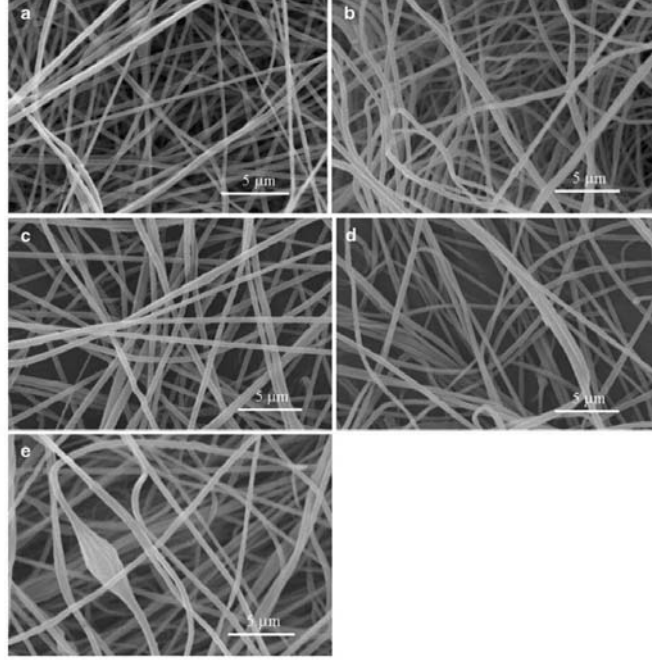
Nasouri ve ark. (2012), SWCNT/PAN/PVP karma nanofiberlerin dağılma koşullarının morfolojik ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Tek duvarlı karbon nanotüpün (SWCNT) dağılma davranışının SWCNT/PAN kompozit nanofiberlerin morfolojik ve mekanik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Nanofiberlerin yapılarındaki deformasyonun SWCNTs miktarının artması ile arttığını SEM (Şekil 2.5) ve TEM görüntülerinden tespit etmişlerdir. Kütlece %2'lik SWCNT kompozit nanofiberlerin çekme mukavemetinde 3 kat ve çekme modülünde 10 kat artış olduğunu belirlemişlerdir.



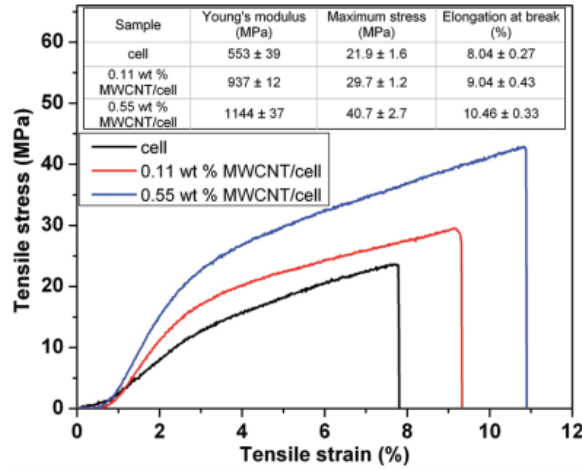
Şekil 2.5 Elektrospın nanofiberlerin SEM görüntüleri (solda) ve fiber çap dağılımı (sağda): a) SNF-0, b) SNF-0,5, c) SNF-1, d) SNF-2 ve e) SNF-10.

Saeed ve ark. (2010), fonksiyonlandırılmamış ve fonksiyonlandırılmış MWCNT ile MWCNT/PAN kompozit nanofiberleri elektrosin tekniği ile üretmişlerdir. MWCNT yan duvarı üzerine, aromatik amin ($\text{COC}_6\text{H}_4\text{-NH}_2$) grubunu bağlayarak fonksiyonlandırılmıştır. Nanofiberlerin çap aralığını $400\text{-}100\pm 50$ nm olarak belirlenmiştir. MWCNT miktarları PAN çözeltisinde arttığı zaman boncuk oluşumu gözlemlemişlerdir. Üretilen nanofiberler karşılaştırıldığında fonksiyonlandırılmış

MWCNT ile üretilen kompozit nanofiberlerde boncuk oluşumu daha az olduğunu gözlemlemişlerdir (Şekil 2.6). PAN nanofiberlerin mekanik ve termal özellikleri MWCNT katılmasıyla iyileştiğini belirlemişlerdir.



Şekil 2.6 a) Saf PAN, b) ve c) F-MWNT/PAN, d) ve e) P-MWNT/PAN: b) ve c) %1 MWCNT ve c) ve e) %1 MWCNT içeren nanofiberlerin SEM görüntüleri.



Şekil 2.7 Ağırlıkça% 0.11 ve 0.55 MWCNT içeren elyafların mekanik özellikleri.

Lu ve Hsieh (2010), çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWCNT) içeren selüloz asetat (CA) karışımından elektrospin ile MWCNT/CA ultra ince selüloz lifleri başarıyla elde etmişlerdir. Ortalama lif çapı 321 nm olan elyafların, MWCNT'nin miktarı %0,11 ve %0,55 olarak alındığında sırasıyla 257 ve 228 nm olan daha muntazam lifler elde

etmişlerdir. MWCNT liflerin mekanik özelliklerinde, MWCNT miktarının artmasıyla büyük bir artış olduğunu belirlemişlerdir. % 0,55 MWCNT kullanıldığı zaman önemli ölçüde gerilme mukavemetinde artış elde edilebildiğini göstermişlerdir (Şekil 2.7).

Xiao ve ark. (2010), çevresel uygulamalar için geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip elektrospin polimer nanofiberlerin içine sıfır değerlikli demir nanopartiküllerin (ZVI NPS) sabitlenmesi için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda, düzgün nanofiberler oluşturmak için çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWCNTs)/poliakrilik asit (PAA) karışımını polivinil alkol (PVA) polimer çözeltisi ile karıştırıp daha sonra elektrospin ile püskürtmüşlerdir. MWCNT katkılı PAA/PVA nanofiberler çapraz bağlanmış ve ZVI NPSN'nin oluşumu için PAA karboksil grupları ile bağlanarak Fe(III) iyonları kompleksi oluşumu için bir nanoreaktör olarak kullanılmıştır. MWCNT katkılı PAA/PVA nanofiberler SEM, EDS, TEM, FTIR, TGA kullanılarak karakterize etmişlerdir. ZVI NP içeren ve içermeyen nanofiberlerin sadece %1'lik MWCNTs ile mekanik özelliklerinin önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. MWCNT takviyeli PAA/PVA nanofiberler çevresel iyileştirme, kataliz, algılama ve biyomedikal uygulamalar için gelişmiş mekanik özelliklere sahip, nanofiber esaslı kompleks malzemelerin üretilmesi için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kim ve ark. (2010), MWCNT'ye polietilen glikol (PEG) kovalent bağlarla bağlanarak PEG'le fonksiyonlandırılmış MWCNT'yi PVA içerisine katkılıyarak elektrospin ile nanofiber elde etmişlerdir. Bunu yapmak için, ilk olarak MWCNT ve etanolü kimyasal karboksil grupları taşıyan moleküllerle okside etmişler daha sonra PEG ile reaksiyona sokmuşlardır. PEG'lenmiş MWCNT'yi sulu PVA çözeltisi ile karıştırılıp elektrospin ile PVA/PEG-MWCNT nanofiberleri üretmişler ve yüzey modifikasyon derecesi FT-IR, XPS ve TGA ile araştırılmıştır. MWCNT ile karşılaştırıldığında, PEG'lenmiş MWCNT ile üretilen nanofiberlerin topaklanma olmadan dağıldığını gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Çalışmada kullanılan poliakrilonitril (PAN) (150.000 g/mol), *N,N*-dimetil formamit (DMF) (%99), COOH ile fonksiyonlandırılmış MWCNT (Çizelge 3.1) global kimyasal ürün dağıtıcılarından (Sigma Aldrich, US Research Manomaterials, Inc ve Merck) tedarik edilmiş olup herhangi ek bir işleme tabi tutulmadan kullanılmıştır (Şekil 3.1).

Çizelge 3.1 Çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT) boyutları.

MWCNT	Uzunluk (µm)	Dış Çap (nm)	İç Çap (nm)
MWCNT(S0515)	0,5-2	5-15	3-5
MWCNT(S2030)	0,5-2	20-30	5-10
MWCNT(S5080)	0,5-2	50-80	5-15
MWCNT(L0515)	~50	5-15	3-5
MWCNT(L2030)	10-30	20-30	5-10
MWCNT(L5080)	10-20	50-80	5-15



MWCNT



PAN



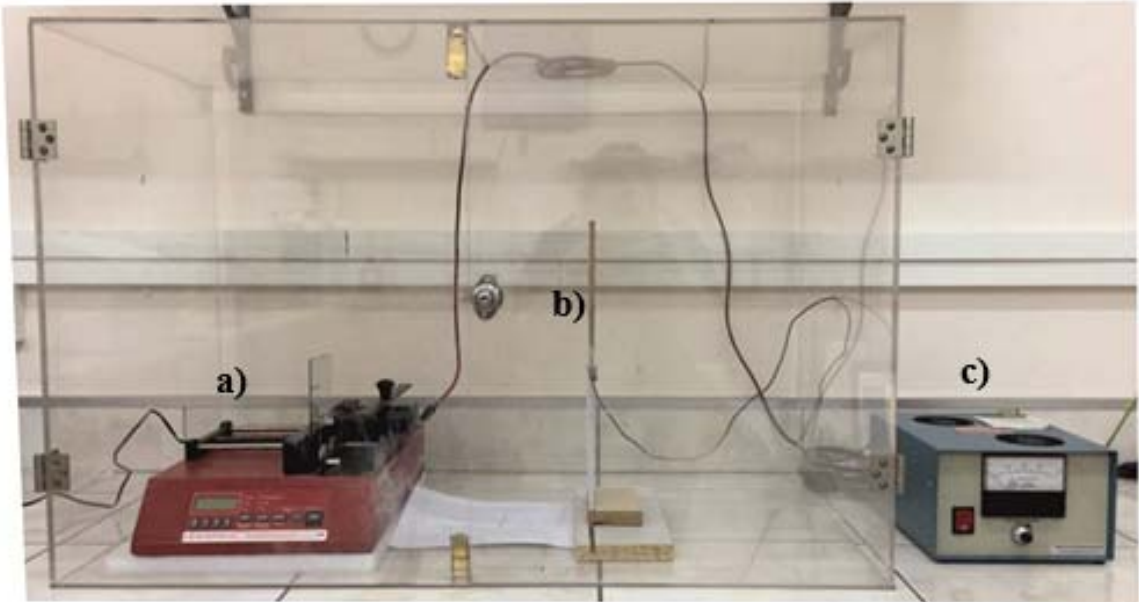
DMF

Şekil 3.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler

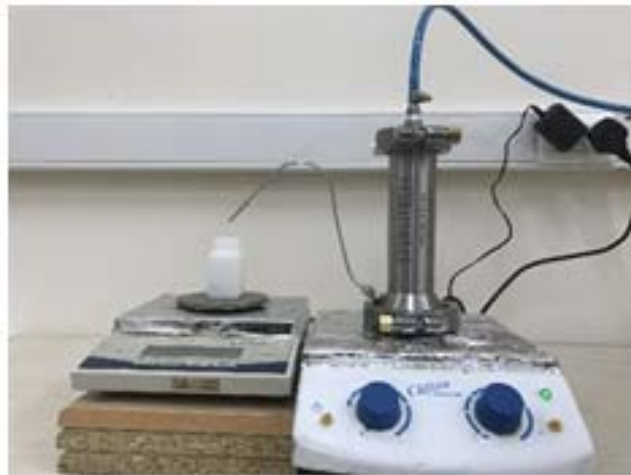
3.2. Kullanılan Cihazlar

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri için ZEISS EVO LS 10, FT-IR analizleri için Nicolet IS5 FT-IR, Raman analizleri için Renishaw-inVia Raman spektrometresi kullanılmıştır. Çözeltilerin karıştırılması, MWCNT tabanlı materyallerin

DMF içerisinde dağıtılarak homojen hale getirilmesi için Bandelin marka ultrasonik banyo ile homojenizatör kullanılmıştır. PAN ve PAN/MWCNT çözeltisinin hazırlanmasında WiseStir marka karıştırıcı ısıtıcı, buna bağlı sıcaklık kontrollü kontak termometre ve manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Püskürtme işlemi için 10 mL'lik şırınga, 0,8 mL'lik şırınga ucu, toplayıcı olarak iletkenliği sağlamak için ahşap levhanın üzerine alüminyum folyo, elektrospin cihazı olarak dozaj pompası New Era NE 1600 (Şekil 3.2a) ve voltaj cihazı olarak Gamma High Voltage Research Ormond Beach, FL 32174 (Şekil 3.2c), Saf su akısı ölçümleri çalışmalarında aktif membran alanı 0,00146 m² olan Sterlitec HP4750 markalı dead-end filtrasyon hücresi (Şekil 3.3) kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Elektrospin cihazı: a) Dozaj pompası, b) Toplaç, c) Voltaj cihazı



Şekil 3.3 Su akısı hesaplarında kullanılan dead-end filtrasyon hücresi

3.3. Elektrospon Çözeltilerinin Hazırlanması

3.3.1. Saf PAN çözeltisi

Kütlece %8'lik 10 g PAN çözeltisi için 9,2 g DMF içerisine 0,8 g PAN eklenerek 4 saat boyunca 60°C'de yağ banyosunda karıştırıldı. Daha sonra homojen bir çözelti elde etmek için 300 rpm'de 24 saat boyunca karıştırılmaya bırakıldı. Karıştırma işlemi esnasında çözeltide meydana gelen hava kabarcıklarının giderilmesi için yaklaşık 1 saat boyunca dinlenmeye bırakıldı.

3.3.2. PAN/MWCNT çözeltileri

Kütlece %8 PAN ve PAN miktarına göre %0,5 MWCNT içeren 10 g PAN/MWCNT çözeltilerinin hazırlamak için öncelikle 0,0040 g MWCNT 9,2 g DMF ile birlikte buzlu su banyosunda homojenizatör ile 30 dk boyunca homojenize edildi. Daha sonra üzerine 0,8 g PAN eklendi ve 4 saat 60°C'de yağ banyosunda karıştırıldı. Homojen bir çözelti elde etmek için 300 rpm'de 24 saat karıştırmaya bırakıldı. Karıştırma işlemi esnasında çözeltide meydana gelen hava kabarcıklarının giderilmesi için yaklaşık 1 saat boyunca dinlenmeye bırakıldı. Bu çözelti Çizelge 3.1 de verilen farklı uzunluk ve çaptaki 6 farklı MWCNT kullanılarak ayrı ayrı hazırlanmıştır.

Neden kütlece %8' lik PAN çözeltisi: Çalışmalarımızın ilk aşamalarında DMF'de %6, %8 ve %10 PAN polimer çözeltileri hazırlandı. Bu çözeltiler elektrosponlendiğinde en ideal lifler %6'lık ve %8'lik PAN polimer çözeltilerinde elde edildi. %10'luk PAN çözeltisinin vizkozitesi çok yüksek olduğundan dolayı şırınganın uç kısmında donmalar meydana geldiğinden düzgün bir püskürtme işlemi gerçekleşmedi. Çalışmanın ileriki aşamalarında PAN çözeltisine MWCNT ilave edildiği zaman %8'lik çözelti ile %6'lık olandan daha düzgün bir elyaf yapısı elde edildiği için kütlece %8'lik PAN çözeltisi kullanılmıştır.

3.4. Elektrospın ile Nanofiberlerin Üretimi

Çalışmada incelenecek nanofiberler için öncelikle en uygun sistem parametreleri (uygulanacak gerilim, çözeltinin akış hızı, şırınga ucunun tasarımı ve şırınganın yerleşimi, şırınga ucu ile levha arasındaki mesafe, toplayıcı tipi ve geometrisi) belirlenmiştir.

1. **Uygulanacak gerilim:** Elektrospın cihazında püskürtme işlemi ve elyaf oluşması için dozaj pompası ve levha arasına uygulanan gerilim güç motoru yardımıyla sağlanmaktadır. Güç motoru sayesinde verilen voltaj düzgün bir elyaf oluşmasını sağlamaktadır ve bu yüzden çok önemlidir. Uygulanacak gerilim polimer çözeltisi ve içerisindeki kompozit malzemenin viskozitesi, ortam koşulları, toplayıcı levha ve çözeltinin akış hızına göre ayarlanmaktadır.
2. **Çözeltinin akış hızı:** Çözeltinin akış hızı dozaj pompası sayesinde gerçekleşir. Dozaj pompasında mL- μ L-mm (min-h) şeklinde üç parametre bulunur. Kullanmış olduğumuz çözeltinin yoğunluğuna göre dozaj pompasında bulunan parametreler girilir. Çözeltinin akış hızı uygulanacak gerilimle doğru orantılıdır.
3. **Şırınga ucunun tasarımı ve yerleşimi:** Püskürtme işleminin gerçekleşmesi ve Taylor konisinin oluşması için şırınga ucunun küt olması ve levha ile arasında elektrik akımının olması içinse şırınga ucunun elektriği iletiyor olabilmesi gerekmektedir. Şırınganın yerleşimi dozaj pompası, şırınga ucu ve toplayıcı levhanın arasındaki mesafeye göre belirlenir.
4. **Şırınga ucu ile levha arasındaki mesafe:** Şırınga ucu ve levha arasındaki mesafe birçok literatüre göre 20 cm olarak ayarlanmaktadır. Bunun sebebi çözelti şırınga ucundan karşı taraftaki levhaya püskürtülürken çözeltinin buharlaşması, damlacıklar meydana gelmemesi ve elyafın levha üzerindeki dağılımın düzgün gerçekleşmesini sağlamak içindir. Aynı zamanda aradaki mesafe toplayıcı tipi ve geometrisine göre ayarlanmaktadır.

5. Toplayıcı tipi ve geometrisi: Toplayıcı tipi elde edeceğimiz elyafa göre belirlenmektedir. Örneğin düz elyaf şeklinde elde etmek istiyorsak düz bir levha kullanılır. Şeritler halinde elde etmek istiyorsak silindir levha kullanılmaktadır. Aynı zamanda toplayıcının elektriği iyi iletmesi gerekir eğer ahşap levha kullanılıyorsa iletken bir malzeme ile kaplanması gerekmektedir.

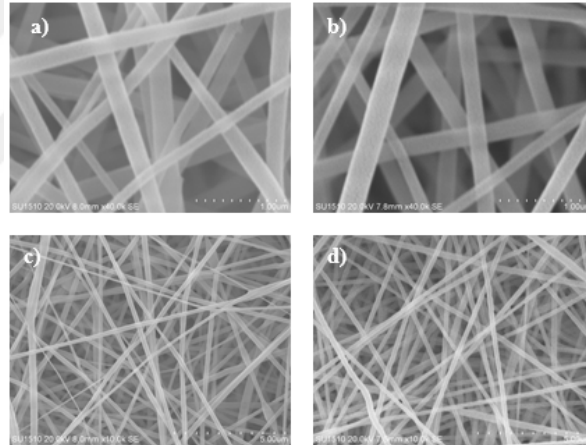
Bizim çalışmamızda ilk olarak hazırlanışı anlatılan saf PAN çözeltisi 10 mL’lik plastik şırıngaya alındı. Şiringanın ağzına ucu küt hale getirilmiş 0,8 mm çapındaki metal iğne takılıp dozaj pompasına bağlandı. Diğer bir yandan iletkenliği sağlaması için ahşap levhanın üzerine alüminyum folyo kaplandı. Elyafın yapışmaması için elde etmek istediğimiz elyaf genişliğine göre alüminyum folyo üzerine yağlı kağıt kaplandı. İğne ucu ile levha arasındaki akım için güç motoruna bağlanan ucu metal olan kıskaçlar iğne ucu ve levhaya takıldı. Aradaki mesafe 20 cm olarak ayarlandı. 20 cm olarak ayarlanmasındaki sebep yapılan denemelerde başlangıçta mesafe 10 cm olarak ayarlandı ve püskürtme işleminde elyaf oluşmadı. Toplayıcı plaka üzerine çözelti damla halinde sıçradı. Aradaki mesafe yükseltilerek en uygun olanın 20 cm olduğu tespit edildi. Dozaj pompasındaki çözeltinin akış hızı öncelikle literatürde olan hızlar denendi. 0,5 - 1 mL/h aralığında ayarlanığı zaman püskürme işlemi gerçekleşmedi ve donmalar meydana geldi 1mL/h üzerinde denemeler yapıldığı zaman ise şırınga ucunda çözelti birikip damlamaya başladı. Bu yüzden yapılan birkaç farklı denemeden sonra en uygun olan 1 mL/h olarak ayarlandı. Uygulanacak gerilim için güç motorunun voltajına, saatte 1 mL püskürten dozaj pompası için ilk olarak 9 kV ile başlandı. Fakat çözelti karşı toplaca gitmedi ve damlamalar meydana geldi. Güç motoru voltajı yavaş yavaş yükseltilerek en uygun olan 13 kV’a getirildi. 13 kV’tan sonrası denendiği zaman ise çözelti akış hızı yavaş kaldı ve şırınga ucunda donmalar meydana geldi. Gerekli değerler ayarlandıktan sonra sistem çalıştırıldı ve iğnenin ucunda Taylor konisi oluşmaya başladı. Püskürme işlemi elyaf oluşumunu sağladı. İkişer gün arayla hazırlanan bir adet PAN ve 6 adet PAN/MWCNT kompozit çözeltileri aynı sistemle püskürtme işlemine tabi tutuldu.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Fiber Morfolojisi

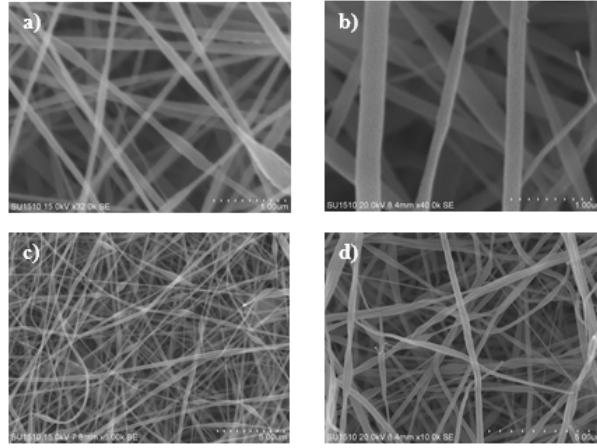
Çalışma kapsamında üretilen elyafların SEM cihazı ile alınan görüntülerinden fiberlerin yapısına, kalınlığına, fiber dağılımının homojenliğine ve fiberlerdeki bozulmaya bakılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Öncelikle elyaflardan 1x1 cm kesildikten sonra SEM cihazının aparatına yerleştirildi. SEM cihazından gelen elektronların elyafı yakmaması için elyaf palladium ile kaplandı.

PAN/MWCNT(L0515) ile PAN/MWCNT(S0515) fiberleri karşılaştırdığımız zaman her ikisindeki MWCNT'lerin iç ve dış çapları aynı olmasına rağmen L0515'te fiber sayısının fazla olduğu ve fiberlerin kalınlaştığı görülmektedir (Şekil 4.1). Aynı zamanda S0515'te fiberin yer yer boncuklaşmaya başladığı gözlemlenmiştir.



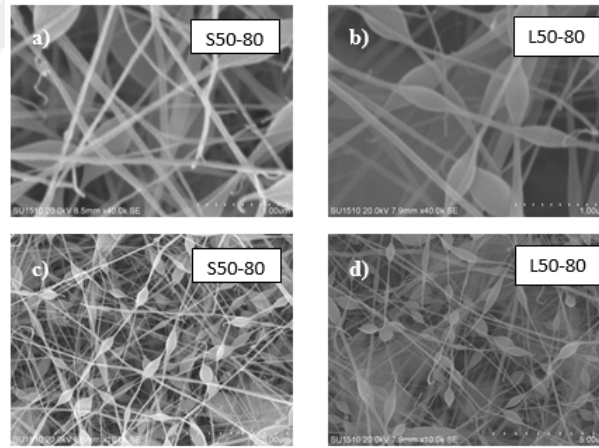
Şekil 4.1 Farklı büyütme oranlarında PAN/MWCNT(S0515) (a ve c) ve PAN/MWCNT(L0515) (b ve d) fiberlerinin SEM görüntüleri.

PAN/MWCNT(L2030) ile PAN/MWCNT(S2030) fiberleri karşılaştırdığımız zaman kalınlık ve sıklık açısından L2030 daha kalın ve sık bir yapıya sahiptir (Şekil 4.2). Ayrıca S2030'da çok sayıda boncuklaşmalar meydana gelirken L2030'da boncuklaşma daha az olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 2 Farklı büyütme oranlarında PAN/MWCNT(S2030) (a ve c) ve PAN/MWCNT(L2030) (b ve d) fiberlerinin SEM görüntüleri.

PAN/MWCNT(L5080) ile PAN/MWCNT(S5080) fiberleri karşılaştırdığımız zaman L5080 de boncuklaşmalar artmasına rağmen kopmalar daha az iken S5080 de kopmalar daha fazladır (Şekil 4.3). Fakat her ikisinde de ciddi anlamda bozunma meydana gelmiştir.

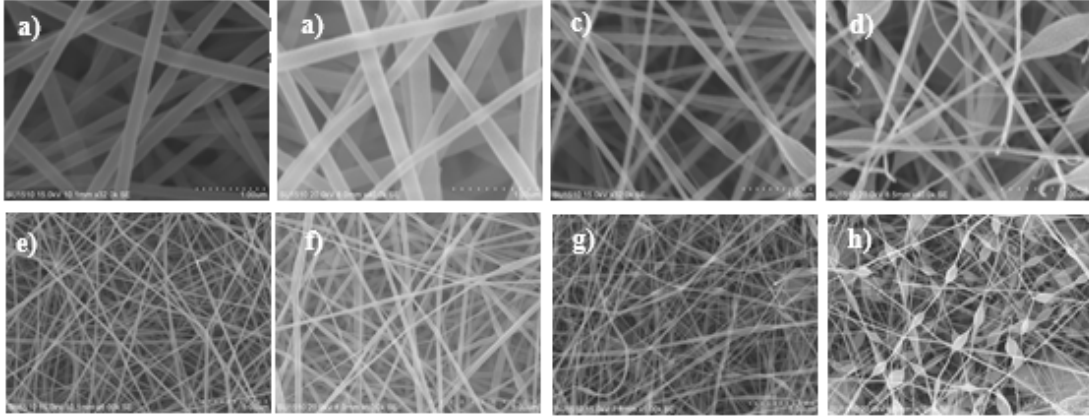


Şekil 4. 3 Farklı büyütme oranlarında PAN/MWCNT(S5080) (a ve c) ve PAN/MWCNT(L5080) (b ve d) fiberlerinin SEM görüntüleri.

Fiberlerin morfolojisine MWCNT'nin uzunluğunun etkisinin incelendiği bu çalışmalardan uzun MWCNT ile hazırlanan fiberlerin yapısının daha düzgün olduğunu sonucu ortaya çıkmaktadır.

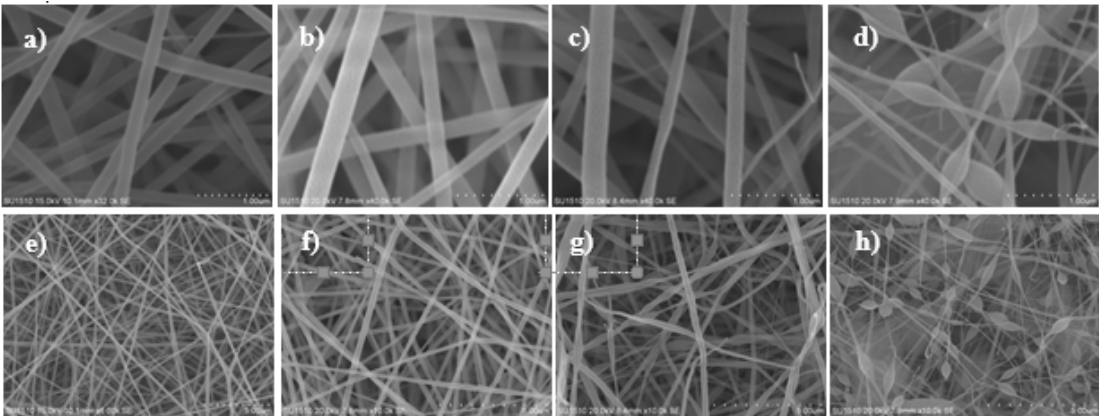
Saf PAN ile PAN/MWCNT(S0515), PAN/MWCNT(S2030) ve PAN/MWCNT(S5080) fiberleri karşılaştırdığımız zaman PAN/MWCNT(S0515)'nin

çapı ile fiber kalınlığında çok fazla bir değişiklik olmadığı fakat MWCNT'nin çapı arttıkça boncuklaşmanın ve incelmenin arttığı ve fiberlerin yapısının bozulduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.4).



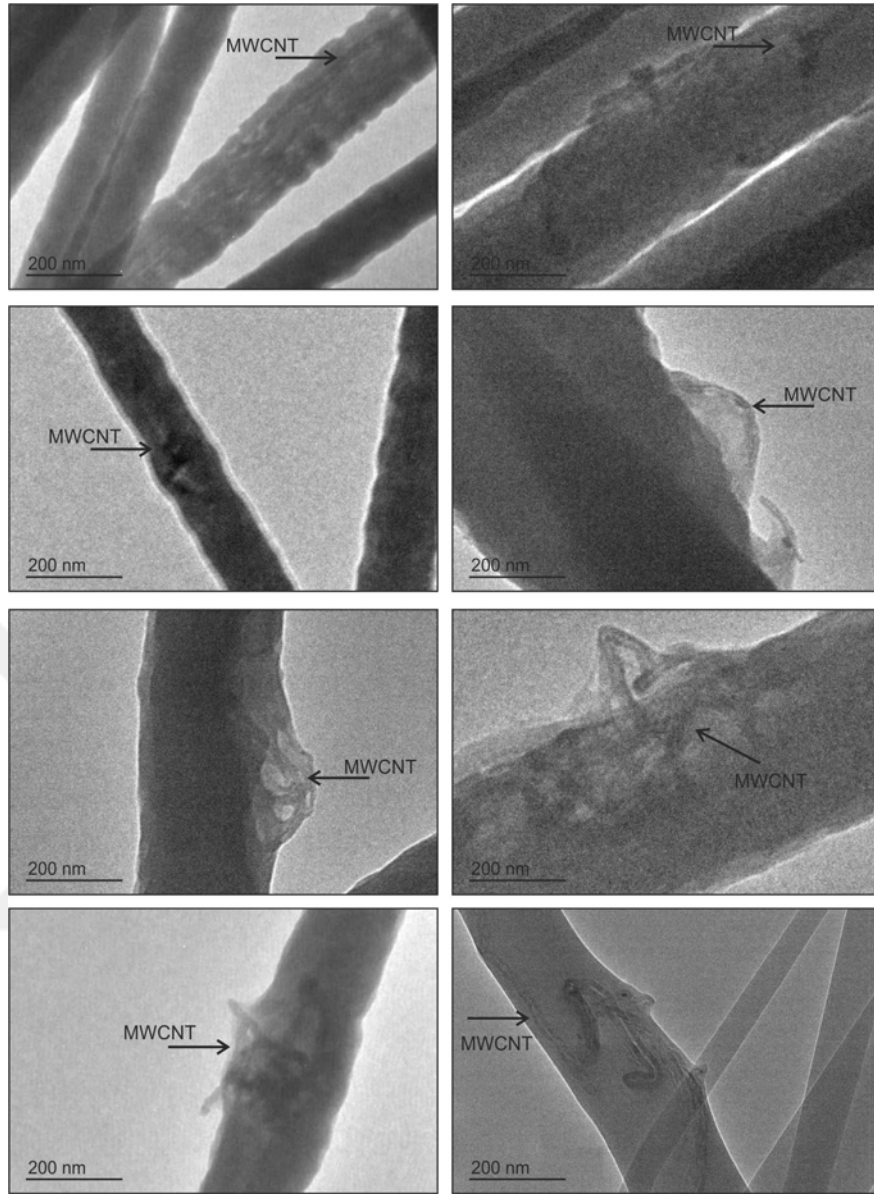
Şekil 4. 4 Farklı büyütme oranlarında Saf PAN (a ve e), PAN/MWCNT(S0515) (b ve f), PAN/MWCNT(S2030) (c ve g) ve PAN/MWCNT(S5080) (d ve h) fiberlerinin SEM görüntüleri.

Saf PAN ile PAN/MWCNT(L0515), PAN/MWCNT(L2030) ve PAN/MWCNT(L5080) fiberleri karşılaştırdığımız zaman MWCNT'nin çapının azalması ile liflerin sıklaştığı ve kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.5). Ayrıca MWCNT'nin çapı arttıkça boncuklaşmanın arttığı ve fiberin yapısının bozulduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 5 Farklı büyütme oranlarında Saf PAN (a ve e), PAN/MWCNT(L0515) (b ve f), PAN/MWCNT(L2030) (c ve g) ve PAN/MWCNT(L5080) (d ve h) fiberlerinin SEM görüntüleri.

Bu sonuçlar, MWCNT'lerin hepsinin kendi aralarında iç ve dış çaplarının aynı olmasına rağmen uzunluklarının farklı olmasından dolayı polimerin içerisindeki dağılımlarının ve topaklanmalarının farklılığına atfedilebilir.



Şekil 4. 6 Fiberlerin içerisinde MWCNT'lerin varlığını göstermek için alınan TEM görüntüleri

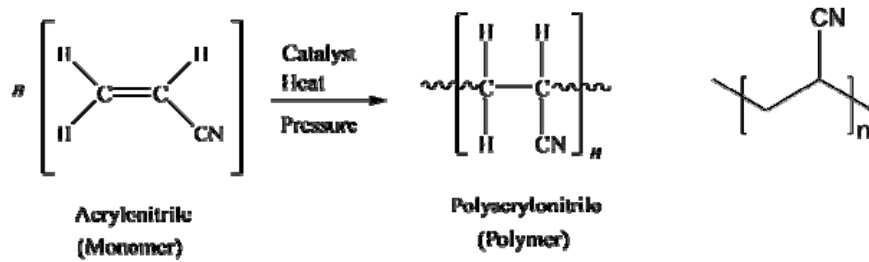
Sonuç olarak bu karşılaştırmadan sonra anlaşıldığı üzere PAN/MWCNT(L0515) fiberlerinin daha kalın ve sık yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. PAN/MWCNT(L0515) fiberlerinde kalınlık ve sıklık artmasına rağmen fiberlerin yapısında bir bozunma meydana gelmemiştir. İplik mukavemetine etki eden fiber mukavemeti önemli bir özelliktir. Sağlam fiberler normal olarak daha mukavemetli ipliklerin üretimini sağlarlar. Bu da kullanım sırasında kopmaların azalmasına ve yüksek hızlı eğirmeye olanak sağlamaktadır. Kesitteki fiber sayısının azalmasına bağlı olarak fiber mukavemetinden yararlanma oranının da düşmesi ipliğin incelmelerinden

kaynaklanmaktadır (Tekstil Okulu 2010). Bu yüzden fiber sayısının artması ve kalınlaşması mukavemetin artmasını sağlayacaktır. Bu da bize PAN/MWCNT(L0515) fiberlerinin diğer fiberlere nazaran daha kullanışlı olduğunu göstermektedir.

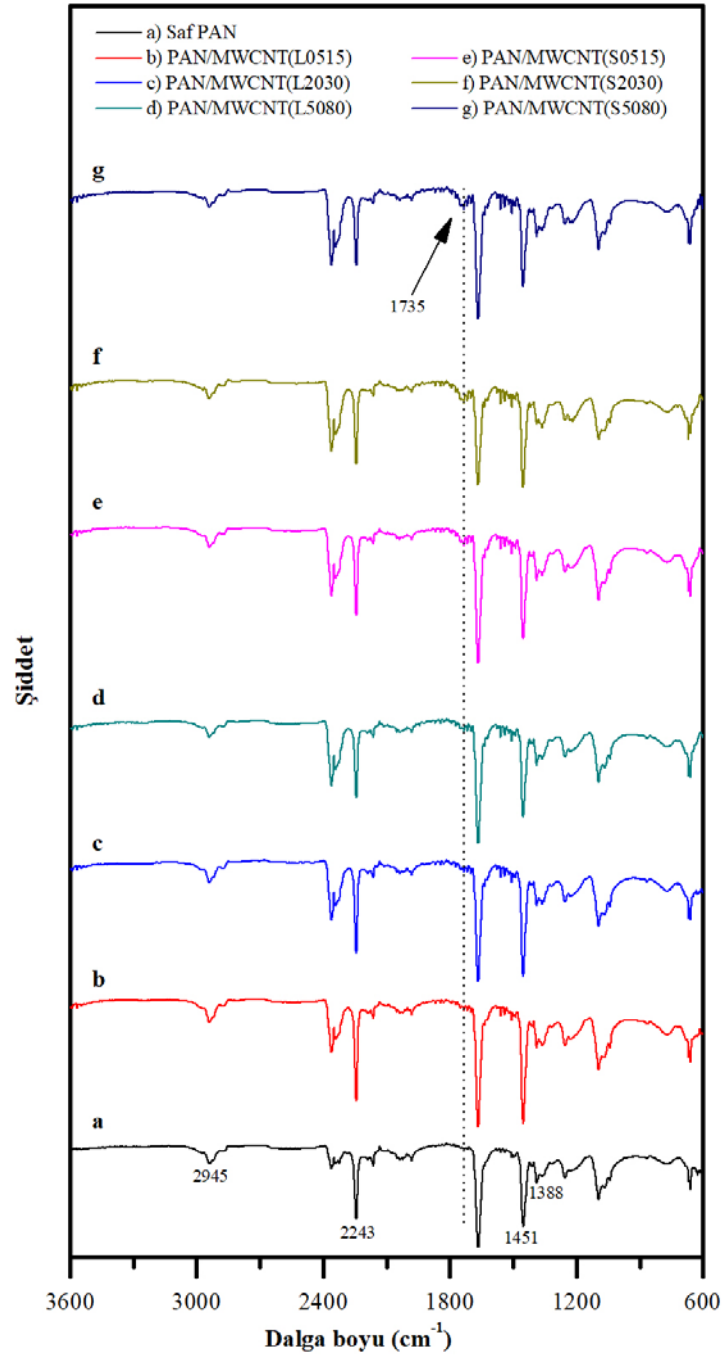
Elektrospın ile elde edilen liflerin içerisinde MWCNT'lerin varlığını göstermek için alınan TEM görüntüleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekillerden lifler içerisinde ve yüzeylerinde MWCNT'lerin varlığı açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca bazı yerlerde MWCNT'lerde topaklanmaların olduğu da şekillerden görülmektedir. Bu topaklanmaların liflerin yapısında bozulmalara neden olduğu söylenebilir.

4.2. FTIR Spektrum Analizi

Bu çalışmada, fiberler içinde PAN ve MWCNT'nin varlığını kanıtlamak için FTIR spektroskopisi kullanıldı. Bu, PAN yapısındaki fonksiyonel grupların MWCNT katılmadan önce ve sonra FTIR spektrumlarının karşılaştırılmasıyla yapıldı. Şekil 4.8'da FTIR spektrumu fiberdeki PAN ve MWCNT arasındaki etkileşimleri ve fonksiyonel grupların varlığını göstermektedir. Saf PAN ile üretilen fiberlerin spektrumunda 1451 ve 2243 cm^{-1} 'de görünen pikler sırasıyla PAN'ın CH_2 zincirlerine ve $-\text{C}\equiv\text{N}$ gruplarına ait piklerdir. Spektrumdaki 1388 ve 2945 cm^{-1} 'de görünen pikler sırasıyla PAN'ın $\text{C}-\text{CH}$ ve $\text{C}-\text{H}$ gruplarının gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir (Şekil 4.7). Bununla birlikte, PAN/MWCNT fiberlerinin spektrumlarında, MWCNT'lerin karboksil grubundan kaynaklanan tipik karbonil ($\text{C}=\text{O}$) grubuna karşılık gelen pik 1735 cm^{-1} 'de görülmektedir (Akhtar ve ark., 2011). PAN/MWCNT fiberlerinin spektrumunda PAN'a ait karakteristik piklerin korunması yanında MWCNT'ye ait karbonil pikinin de bulunması fiberlerin yapısında MWCNT'nin başarılı bir şekilde katkılındığını ispatlamaktadır.



Şekil 4. 7 Polyakrilonitril (PAN)

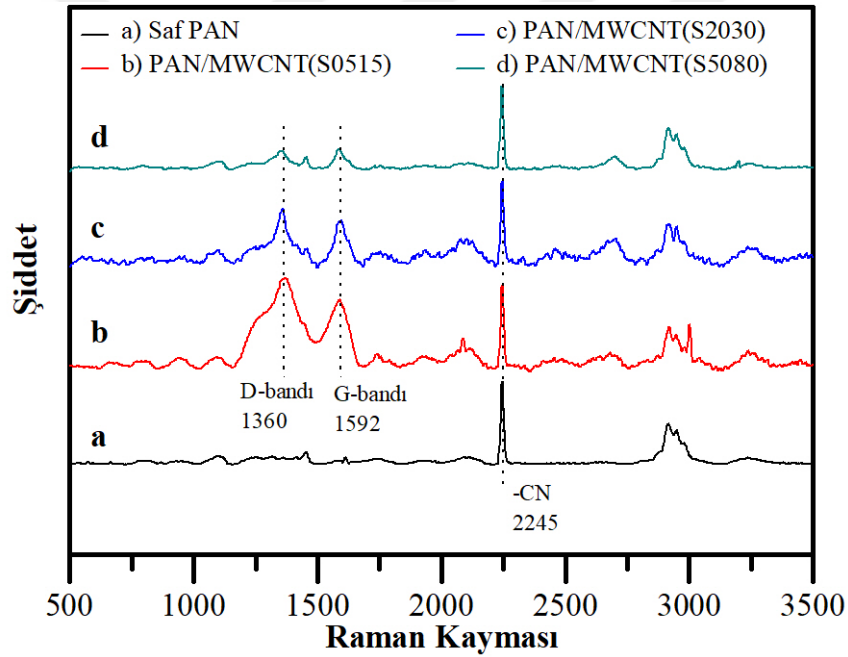


Şekil 4. 8 Çalışmada üretilen fiberlerin FTIR spektrumları

4.3. Raman Spektrum Analizi

MWCNT'lerin Raman spektrumlarında yaklaşık 1350 cm^{-1} 'de (D-bandı) görünen pik, nanotüplerdeki sp^3 hibritleşmesi yapan grafitik karbon atomlarına veya düzensiz grafit yapısına atfedilebilir. Diğer bir pik ise yaklaşık 1600 cm^{-1} 'de (G-bandı) görünen pik, zıt yönlerde iki komşu karbon atomunun hareketine (yüksek oranda yönlendirilmiş pirolitik grafitin karakteristiği) atfedilebilir. Şekil 4.9' da verilen Raman

saçılım spektrumları fiberler içerisinde MWCNT'lerin varlığını kanıtlamak için kullanılmıştır. Saf PAN'ın spektrumunda nitril grubunun ($-C\equiv N$) Raman saçılma piki 2245 cm^{-1} 'de ortaya çıkmıştır. Spektrumdan görüldüğü gibi PAN/MWCNT fiberlerinde PAN matrisi içindeki MWCNT'ler güçlü Raman saçılımı göstermiştir (Şekil 4.10). 1592 cm^{-1} 'deki (G-bandı) güçlü ve keskin pik MWCNT'deki grafitin yüksek frekanslı E_{2g} germe modunun yarılmasına karşılık gelirken, 1360 cm^{-1} 'deki (D-bandı) güçlü ve keskin pik MWCNT'deki nanotüplerdeki sp^3 hibritleşmesi yapan grafitik karbon atomlarına karşılı gelmektedir (Hou ve ark., 2005). Sonuç olarak PAN/MWCNT fiberlerinde 2245 cm^{-1} 'deki PAN'a ait nitril grubunun pikinin şiddeti ve yeri korunurken MWCNT'lerin D- ve G-bantlarına ait piklerin bulunması PAN/MWCNT fiberlerinin yapısına MWCNT'lerin başarılı bir şekilde katkılındığını ortaya koymaktadır.



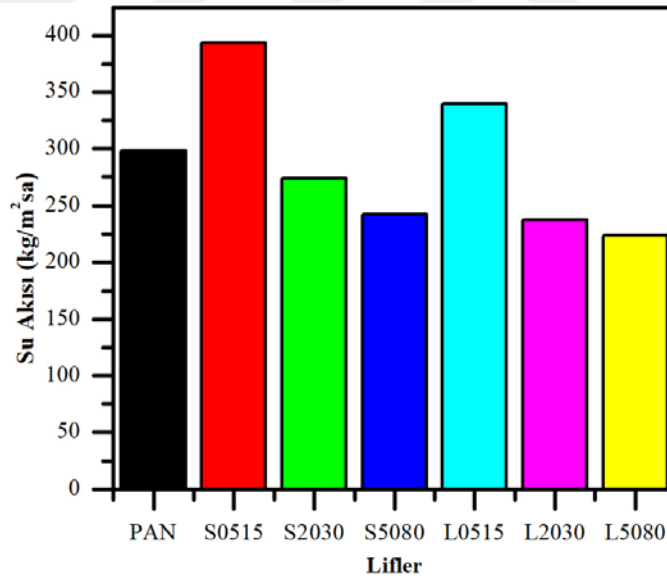
Şekil 4. 9 PAN/MWCNT liflerinde PAN matrisi içindeki MWCNT'lerin Raman saçılım spektrumu

4.4. Su akısı

Çalışma kapsamında üretilen fiberlerin su akısı performansını belirlemek için saf su akısı ölçümleri 1 bar basınçla 150 g su geçişi için geçen zaman belirlenerek aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Zinadini ve ark., 2014). Bu formülde; J su akısını ($\text{kg/m}^2\text{sa}$), M suyun kütlesini (kg), A aktif membran alanını (m^2) ve Δt ise ölçüm zamanını (sa) ifade etmektedir.

$$J = \frac{M}{A\Delta t}$$

Su akısı çalışmaları Şekil 4.10' da görüldüğü gibi kısa MWCNT'lerle elde edilen fiberlerin su akısının uzun olanlardan daha iyi olduğu belirlenmiştir. Uzun MWCNT'ler topaklanmaya daha eğilimli olduklarından fiber içindeki dağılımları homojen olmamakta ve uzunluğunun artması su akısının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca SEM görüntülerinden de görüldüğü gibi MWCNT'lerin çaplarının artması boncuklanmaların artmasına neden olmuş ve bu da su akısını olumsuz yönde etkilemiştir. Sonuç olarak MWCNT'lerin çapının ve uzunluğun artması su akısını olumsuz yönde etkilemiştir. Çapı 05-15 nm olan uzun ve kısa MWCNT katkılı fiberlerin su akısı saf PAN'a nazaran daha iyi olmakla birlikte çapın artmasıyla su akısı saf PAN'a göre daha düşük elde edilmiştir. Bu sonuç MWCNT'lerin topaklanma eğilimlerine ve bunun sonucu olarak fiber yapısında boncuklanmaların oluşuna atfedilebilir.



Şekil 4. 10 Saf PAN ve MWCNT katkılı liflerin su akıları.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

PAN nanofiberlerin özelliklerine MWCNT'nin çapı ve uzunluğunun etkisinin araştırılması amaçlanan bu çalışmada saf PAN ve farklı çap ve uzunluktaki MWCNT kullanılarak PAN/MWCNT nanofiberleri elektrosprin yöntemi ile üretilmiştir. TEM görüntüleri, FTIR ve Raman saçılım spektrumları nanofiberler içerisine MWCNT'lerin başarılı bir şekilde katkıldığını ortaya koymuştur. Çalışmadan elde edilen diğer sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

SEM karakterizasyonundan;

- Aynı çapta olan MWCNT ile üretilen nanofiberler uzunluklarına bağlı olarak karşılaştırıldığında;
 - L0515 ile üretilen fiberlerin S0515'e göre sık ve kalın fiberlere sahip olduğu
 - L2030 ile üretilen fiberlerin S2030'dan daha kalın ve sık bir yapıya sahip iken S2030'da daha çok boncuklaşmalar meydana geldiği
 - L5080 ile üretilen fiberlerde S5080'e göre boncuklaşmaların artmasına rağmen kopmaların daha az olduğu fakat her ikisinde de ciddi anlamda bozunma meydana geldiği
- Aynı uzunlukta olan MWCNT ile üretilen nanofiberler çaplarına bağlı olarak karşılaştırıldığında ise;
 - Saf PAN ve aynı uzunlukta olan S0515, S2030 ve S5080 ile üretilen fiberlerin SEM görüntülerinden çap ile fiber kalınlığında çok fazla bir değişiklik olmadığı ve çap arttıkça boncuklaşma ve incelmenin arttığı ve fiberin yapısının bozulduğu
 - Saf PAN ve aynı uzunlukta olan L0515, L2030 ve L5080 ile üretilen fiberlerin SEM görüntülerinden çap arttıkça liflerin sıklığının ve kalınlığının artması yanında boncuklaşmanın arttığı ve fiberin yapısının bozulduğu

belirlenmiştir. SEM karakterizasyonunun sonucu olarak, uzunluğu fazla ve çapı küçük olan MWCNT(L0515) ile üretilen nanofiberlerin, elyaf olarak daha kalın ve sık yapıya sahip olduğu, kalınlık ve sıklığın artmasına rağmen fiberlerin yapısında bir bozunma meydana gelmediği gözlemlendiği için diğer elyaflara göre daha kullanılabilir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Sağlam elyaflar normal olarak daha mukavemetli ipliklerin üretimini sağlarlar. Bu da kullanım sırasında kopmaların azalmasına ve yüksek hızlı eğirmeye olanak sağlar. Kesitteki lif sayısının azalmasına bağlı olarak lif mukavemetinden yararlanma oranının da düşmesi ipliğin incelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden lif sayısının artması ve kalınlaşması mukavemetin artmasını sağlayacaktır. Bu da bize L0515 ile üretilen fiberin diğerlerine oranla daha kullanışlı olduğunu göstermektedir.

Su akısı çalışmalarından;

- Kısa MWCNT'lerle elde edilen nanofiberlerin su akısının uzun olanlardan daha iyi olduğu belirlendi.

Sonuç olarak; MWCNT'lerin çapının ve uzunluğun artması liflerin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmuştur. Çapı 05-15 olan uzun ve kısa MWCNT katkılı liflerin PAN'a nazaran daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Nanofiberler çok yüksek yüzey/ağırlık oranına sahip oldukları ve geniş bir yelpazede özel potansiyel uygulamalar açan özellikler sergilediğinden, nanofiberlere ilgi son yıllarda büyük ölçüde artmıştır. Literatürde karbon nanotüpler kullanılarak çeşitli polimerlerle nanofiberlerin üretildiği ve özelliklerinin incelendiği çalışmalar olmasına rağmen kullanılan karbon nanotüpün çapı ve uzunluğuna bağlı olarak yapılan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle ilk kez yapılan bu çalışmanın literatüre katkıda bulunacağını ve ileriki çalışmalarda yol gösterici olacağını düşünmekteyiz.

KAYNAKLAR

- Akhtar M. S., Yu Li Z., Min Park D., Woong Oha D., Kwak Do-H., Yang O-B., 2011. A New Carbon Nanotubes (CNTs)–Polyacrylonitrile (PAN) Composite Electrolyte for Solid State Dye Sensitized Solar Cells. *Electrochimica Acta*, 56, 9973– 9979.
- Altmann J., 2008. Limiting Military Uses of Nanotechnology and Converging Technologies. Erişim adresi, http://cgi-host.unimarburg.de/nano/mr/downloads/s3/altmann_paper_final.pdf.
- Andrady A.L., 2008. *Science and Technology of Polymer Nanofibers*. Wiley Pres., New Jersey, p 404.
- Arnall A.H., 2003. *Future Technologies, Today's Choices*, Greenpeace Environmental Trust Report, London.
- Ayhan, A., 2004. Yeni Bir Teknolojik Çağın Kapısı Aralanırken: Nanoteknoloji. Konya Ticaret Odası, Sayı:194, Sayfa:14-20.
- Baker D.P., Day R., Salas E., 2006. Teamwork as an Essential Component of High-Reliability Organizations Health. *Serv Res.* 41,4 Pt 2: 1576–1598.
- Balcı H., 2006. Akıllı (fonksiyonel) Tekstiller, Seçilmiş Kumaşlarda Antibakteriyel Apre ve Performans Özellikleri.Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Bara A., Chitanu E., Banciu C., Marinescu V., Tsakiris V., 2015. Polyacrylonitrile-based Electrospun Fibers. Bucharest, Romania.
- Baumgarten P.K., 1971. Electrostatic Spinning of Acrylic Microfibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 36,1,71-79.
- Bhardwaj N., Kundu S. C., 2010. Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique. *Biotechnology Advances*, 28, 3, 325-347.
- Bhushan B., 2010. Introduction to Nanotechnology In: *Springer Handbook of Nanotechnology*. 3. Springer Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 1-13.
- Buchko G.W., Lakoucheva L.M., Kennedy M.A., Ackerman E.J., Hess N.J., 1999. Extended X-ray Absorption Fine Structure Evidence for a Single Metal Binding Domain in *Xenopus Laevis* Nucleotide Excision Repair Protein XPA. *Biochem Biophys Res Commun*, 254,1:109-13.
- Çakmak S., 2011. Nanobülten Aylık Nanoteknoloji ve Nanotıp Bilim Dergisi Sayı:14 Sayfa: 12-20.
- Çakmakçı E., 2009. Elektrosinning Yöntemiyle Yeni Polimerik Malzemelerin Sentezi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

- Dan L., Xia Y. 2004. Electrospinning of Nanofibers Reinventing the Wheel. *Advanced Materials*, 16, 14, 1151-1170.
- Deitzel J.M., Kleinmeyer J., Harris D., Beck Tan N.C., 2001. The Effect of Processing Variables on the Morphology of Electrospun Nanofibers and Textiles. *Polymer* 42 261–272.
- Doshi J., Reneker D.H., 1995. Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. *Journal of Electrostatics*, 35, 2–3, 151-160.
- EC Report, 2004. Towards a European Strategy for Nanotechnology. Luxembourg, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 53, 4, 385-394.
- Eren O., Ucar N., Onen A., Kizildag N., Karacan I., 2016a. Synergistic Effect of Polyaniline, Nanosilver, and Carbon Nanotube Mixtures on the Structure and Properties of Polyacrylonitrile Composite Nanofiber. *Journal of Composite Materials*, 50,15 2073–2086.
- Eren O., Ucar N., Onen A., Kizildag N., Karacan I., Demirsoy N., Vurur Omer F., Borazan I., 2016b. Effect of Differently Functionalized Carbon Nanotubes on the Properties of Composite Nanofibres. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 41, 138-44.
- Fang X., Olesik S.V., 2014. Carbon Nanotube and Carbon Nanorod-filled Polyacrylonitrile Electrospun Stationary Phase for Ultrathin Layer Chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 830, 1–10.
- Ferris P., 2014. Process Engineering of Nanotechnology [online], Erişim tarihi 5 Ekim 2015, Erişim adresi, <http://www.emersonprocessxperts.com/2014/01/process-engineering-of-nanotechnology/>.
- Feynman R.P., 1959. Plenty of Room at the Bottom, American Physical Society Annual Meeting. California Institute of Technology (Caltech).
- Feynman R.P., 1960. There is Plenty of Room at the Bottom. *Engineering and Science*, 23, 5, 22-36.
- Fulekar M.H., 2010. Nanotechnology in Agriculture and Food Industry. In: *Nanotechnology: Importance and Applications*. New Delhi: I K International Publishing House Pvt. Ltd, p. 139-57.
- Future Nano Needs, 2015. Erişim tarihi 09 Eylül 2015. Erişim adresi, <http://www.futurenanoneeds.eu/>.
- Haghi A.K., Akbari M., 2007. Trends in Electrospinning of Natural Nanofibers. *Phys Status Solidi.*, 204, 1830–1834.
- He J.-H., Liu Y., Mo L.F., Wan Y.Q., Xu L., 2008. Electrospun Nanofibres and Their Applications. Smithers Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK.

- Hohman M.M., Shin M., Rutledge G., Brenner M.P., 2001. Electrospinning and Electrically Forced Jets I. Stability Theory. *Physics of Fluids* 13, 2201.
- Hou H., Ge J. J., Zeng J., Li Q., Reneker D. H., Greiner A., Cheng S. Z. D., 2005. Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers Containing a High Concentration of Well-Aligned Multiwall Carbon Nanotubes. *Chem. Mater.*, 17, 967-973.
- Huang Z.M., Zhang Y.Z., Kotaki M., Ramakrishna S., 2003. *Composites Science and Technology*, 63, 2223-2253,
- ISN İnternet Sitesi, 2007. Erişim adresi, <http://web.mit.edu/ISN/index.html>.
- Karaman M., Sezgi N.A., Özbelge H.Ö., 2009. Production of B4C Coatings by CVD Method in a Dual Impinging-Jet Reactor: Chemical Yield, Morphology & Hardness Analysis. *AIChE Journal*, 55, 2914-2919.
- Kima M.J., Leea J., Jung D., Shima S.E., 2010. Electrospun Poly(vinyl alcohol) Nanofibers Incorporating PEGylated Multi-wall Carbon Nanotube. *Synthetic Metals*, 160, 13–14, 1410-1414.
- Kowalewski T.A., Blonski S., Barral S., 2005. Experiments and Modelling of Electrospinning Process. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 53, 4.
- Kozanoğlu G.S., 2006. Elektrosinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 35-37.
- Lekas D. 2005. Analysis of nanotechnology from an industrial ecology perspective. Part II: Substance flow analysis of carbon nanotubes.
- Lu P., Hsieh You-L., 2010. Multiwalled Carbon Nanotube (MWCNT) Reinforced Cellulose Fibers by Electrospinning. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2, 8, 2413–2420.
- Maitra T., Sharma S., Srivastava A., Cho Y.-K. , Madou M., Sharma A., 2012. Improved Graphitization and Electrical Conductivity of Suspended Carbon Nanofibers Derived from Carbonnanotube/Polyacrylonitrile Composites by Directed Electrospinning. *Carbon* 50,1753 – 1761.
- Mulvaney P, 2015. Nanoscience vs Nanotechnology Defining the Field. *ACS Nano*, 9, 3, 2215-7.
- Nanotechproject İnternet Sitesi, 2008. Nanotechnology Consumer Products Inventory. Erişim adresi, <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis/>.
- Nanotex İnternet Sitesi, 2008. Erişim adresi, http://www.nano-tex.com/products/resists_spills.html.
- NASA İnternet Sitesi, 2008. Nanotechnology. Erişim adresi, <http://ipt.arc.nasa.gov/nanotechnology.html>.

- Nasouri K, Shoushtari A. M., Kafrou A., Bahrambeygi H., Rabbi A., 2012. Single-Wall Carbon Nanotubes Dispersion Behavior and Its Effects on the Morphological and Mechanical Properties of the Electrospun Nanofibers. *Polymer Composites*, 33, 11, 1951-1959.
- Ng W., 2009. Nanoscience and Nanotechnology for the Middle Years. *Teaching Science*, 55, 2, 16-24.
- Nouailhat A., 2010. Frontmatter. In: *An Introduction to Nanoscience and Nanotechnology*. Eds: ISTE, p. i-xix.
- Nouailhat A., 2010. What are Nanos?: Putting Things into Perspective. In: *An Introduction to Nanoscience and Nanotechnology*. Eds: ISTE, p. 1-14.
- Özer Y., 2008. Nanobilim ve Nanoteknoloji: Ülke Güvenliği / Etkinliği Açısından Doğru Modelin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Ankara.
- Parak W.J., Nel A.E., Weiss P.S., 2015. Grand Challenges for Nanoscience and Nanotechnology. *ACS Nano*, 9, 7, 6637-40.
- PCAST, 2010. President's Council of Advisors on Science and Technology, Executive Office of the President: Report to the President and Congress of the Third Assessment of the National Nanotechnology Initiative [online], Erişim tarihi 08 Eylül 2015.
- Ramarkrishna S., Fujihara K., Teo W., Lim T., Ma Z., 2005. *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*. Singapore: World Scientific 90-154.
- Rao C.N.R., Govindaraj A., 2005. *Nanotubes and Nanowires (2)*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Rubia I., Puvaneswaren K., Sazmal E.A, Moh P.Y, Noraini A., Shaheen M.K., Jahimin A.A., 2015. Comparative Study of the Electrospun PAN Nanofiber Reinforced with CNT and CNF: Effect on Morphology. Thermal Stability and Electro Conductivity Properties *Advanced Materials Research*, 1107, 295-300.
- Saeed K., Park Soo-Y., 2010. Preparation and Characterization of Multiwalled Carbon Nanotubes/Polyacrylonitrile Nanofibers. *J Polym Res.*, 17:535–540.
- Shaislamov, U.A., Hong, S.K., Yang, B. 2007. Fabrication of PZT Tubular Structures by a Template-wetting Process. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 44, 5, 141-143.
- Sinha M. K., Das B. R., Srivastava A., Saxena A. K., 2015. Study of Electrospun Polyacrylonitrile (PAN) and PAN/CNT Composite Nanofibrous, *Webs. Research Journal of Textile and Apparel*, 19,1, 36 – 45.
- Stanger J., Tucker N., Staiger M., 2005. Electrospinning. *Rapra Review Reports* , 3-5

- Stodolak-Zych E., Benko A., Szatkowski P., Długon E., Nocun M., Paluszkiewicz C., Błazewicz M., 2016. Spectroscopic Studies of the Influence of CNTs on the Thermal Conversion of PAN Fibrous Membranes to Carbon Nanofibers. *Journal of Molecular Structure*, 1126, 94-102.
- Süpüren G., Kanat E., Çay A., Kırıcı T., Gülümser T., Tarakçıoğlu I., 2007. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi* Sayı 1, 83-89.
- Süslü A., 2009. Elektro-eğirme Yöntemi ile Nanofiber ve Nanotüp Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Taniguchi N., 1974. On the Basic Concept of 'Nano-Technology' Proceedings of The International Conference On Production Engineering. Tokyo, Japan Society of Precision Engineering.
- Teo W.-E., Ramakrishna S., 2009. Electrospun Nanofibers as a Platform for Multifunctional, Hierarchically Organized Nanocomposite. *Composites Science and Technology* 69,11-12 : 1804-1817.
- TÜBİTAK, Ulusal bilim ve teknoloji politikaları 2003-2023 strateji belgesi [online], 2004. Erişim tarihi 11 Eylül 2015. Erişim adresi, http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files//vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf.
- USNNI, Nanotechnology Timeline [online]. Erişim tarihi 11 Eylül 2015. Erişim adresi, <http://www.nano.gov/timeline>.
- Weiss P.S., Lewis P.A., 2010. Sustainability Through Nanotechnology. *ACS Nano*, 4, 3, 1249-50.
- Xiao S., Shen M., Guo R., Huang Q., Wangb S., Shi X., 2010. Fabrication of Multiwalled Carbon Nanotube-reinforced Electrospun Polymer Nanofibers Containing Zero-valent Iron Nanoparticles for Environmental Applications. *Journal of Materials Chemistry*, 27.
- Xin Bin-J., Chen W., 2015. Morphology, Structure and Properties of Electrospun Multi-Walled Carbon Nanotube/Polysulfonamide Composite Nanofibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10.
- Yarin A.L., Koombhongse S., Reneker D.H., 2001. Taylor Cone and Jetting From Liquid Droplets in Electrospinning of Nanofibers. *Journal of Applied Physics*, 90 (9), 4836-4846.
- Yu, D-G., Zhy, L-M., White, K., Branford-White, C., 2009. Electrospun Nanofiber-Based Drug Delivery Systems, 67-75.
- Zeleny J., 1914. The Electrical Discharge from Liquid Points, and A Hydrostatic Method of Measuring the Electric Intensity at their Surfaces. *Physical Review*, 3,2,69.

- Zhu W., Gibbs J.C., Bartos P. JM., 2004. Application of Nanotechnology in Construction Current Status and Future Potantial, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Zor E., 2016. Grafen Tabanlı Modifiye Elektrotların Kiral Yapıları Ayırt Etme Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aylin ARICI
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya 1986
Telefon : 05347145410
Faks :
e-mail : arcaylin@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram Muhittin Güzelkılınç Y.D.A Lisesi, Konya	2005
Üniversite	: Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Uşak	2015
Yüksek Lisans	: NecmettinErbakanÜniversitesi, Meram, Konya	Devam Ediyor
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2009	MİNK Tekstil	Makimacı
2012-2013	VELA Tekstil	Vardiya Amiri
2017-2018	INNOPARK	Uzman Yrd.

UZMANLIK ALANI

Nanobilim Nanomühendislik, Fikri Sınai Mülkiyet Hakları

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Aylin Arıcı, Sabri Alpaydın, Elektrospin Metoduyla Hazırlanan Polimer/ MWCNT Nanoliflerin Özelliklerine MWCNT Çapının ve Uzunluğunun Etkisinin Araştırılması, 29. Ulusal Kimya Kongresi, 10-14 Eylül 2017, Ankara, Türkiye.