

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyda CELEP

**NANOTEKNOLOJİ VE TEKSTİLDE
UYGULAMA ALANLARI**

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NANOTEKNOLOJİ VE TEKSTİLDE UYGULAMA ALANLARI

Şeyda CELEP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 28/09/2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....
Prof. Dr. Erdem KOÇ
DANIŞMAN

İmza.....
Prof. Dr. Beşir ŞAHİN
ÜYE

İmza.....
Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇELİK
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

- **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANOTEKNOLOJİ VE TEKSTİLDE UYGULAMA ALANLARI

Şeyda CELEP

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Erdem KOÇ

Yıl: 2007, **Sayfa:**171

Jüri: Prof. Dr. Erdem KOÇ

Prof. Dr. Beşir ŞAHİN

Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇELİK

Bu çalışma kapsamında; nanoteknolojinin araçları, alet ve yardımcıları tanıtılmıştır. Nanoteknolojinin uygulama alanları ve dünyadaki ve Türkiye'deki durumu hakkında bilgi verilmiştir. Nanoteknolojinin tekstildeki uygulamaları detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda; nanopartiküller, faz değiştiren materyaller, biçimsel hafızalı materyaller, kromik materyaller, elektriksel uygulamalar, nanoölçekli yüzey oluşturmak için kullanılan teknolojiler, nano boyuttaki bitim işlemleri izah edilmiştir. Ayrıca; nanolifleri, nanotüpleri, nanokompozitleri içeren yeni ürünler üzerinde durulmuştur. Bunun yanında; nanoteknoloji ve tekstildeki uygulamaları ile ilgili yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tekstil, Nanoteknoloji, Nanolif, Nanotüp

ABSTRACT

MSc THESIS

NANOTECHNOLOGY AND ITS APPLICATION AREAS IN TEXTILE

Şeyda CELEP

DEPARTMENT OF TEXTILE ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Prof. Dr. Erdem KOÇ

Year: 2007, **Pages:** 171

Jury: Prof. Dr. Erdem KOÇ

Prof. Dr. Beşir ŞAHİN

Assist. Prof. Dr. Nihat ÇELİK

In this study; instruments, apparatus and accessories of nanotechnology are introduced. The information about application areas of nanotechnology and its situation in the world and Turkey is given. The applications of nanotechnology in textile are investigated in detail. In this scope; nanoparticles, phase change materials, shape memory materials, chromic materials, electrical applications, the technologies used for forming nanoscale surface, nanosize finishes are explained. And also, the new products including nanofibers, nanotubes, nanocomposites are emphasized. Additionally; suggestions are given about nanotechnology and its applications in textile for the future studies.

Key Words: Textile, Nanotechnology, Nanofiber, Nanotube

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü desteği esirgemeyen, tezin hazırlanmasında değerli zamanını bana ayıran, engin bilgi birikiminden ve tecrübesinden yararlandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erdem KOÇ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezi hazırlamam esnasında bana yardımcı olan Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmakta olan; Arş. Gör. Onur BALCI'ya, Arş. Gör. Emel KAPLAN'a, Arş. Gör. Filiz ŞEKERDEN'e ve Arş. Gör. Belkıs ZERVENT ÜNAL'a, çalışmalarım sırasında değerli fikirlerinden yararlandığım canım dostum İlknur TÜRKMEN'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana maddi ve manevi yönden destek olan annem başta olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
3. MATERYAL VE METOD.....	20
3.1. Materyal.....	20
3.2. Metod.....	20
4. NANOTEKNOLOJİ.....	21
4.1. Nanoteknolojinin Tanımı ve Amaçları.....	21
4.2. Nanoteknolojinin Araçları, Alet ve Yardımcıları.....	28
4.3. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları.....	32
4.3.1. Malzeme ve İmalat Sektörü.....	34
4.3.2. Elektronik ve Bilgisayar Teknolojileri.....	37
4.3.3. Tıp ve Sağlık Sektörü.....	40
4.3.4. Havacılık ve Uzay Araştırmaları.....	41
4.3.5. Çevre ve Enerji.....	42
4.3.6. Biyoteknoloji ve Tarım.....	43
4.3.7. Savunma Sektörü.....	44
4.4. Nanoteknolojinin Dünya'daki Durumu.....	44
4.5. Nanoteknolojinin Türkiye'deki Durumu.....	53
5. NANOTEKNOLOJİNİN TEKSTİLDEKİ UYGULAMALARI.....	58
5.1. Nanolifler.....	69
5.1.1. Nanoliflerin Üretimi.....	72
5.1.1.1. Meltblowing Yöntemi ile Nanolif Üretimi.....	72
5.1.1.2. Bikomponent Lifler Yoluyla Nanolif Üretimi.....	75

5.1.1.3. Spunbond Yöntemi ile Nanolif Üretimi.....	77
5.1.1.4. Fibrilasyon ile Nanolif Üretimi.....	79
5.1.1.5. Elektrospinning (Elektro Lif Çekimi) Yöntemi ile Nanolif Üretimi.....	80
5.1.2. Nanoliflerin Uygulama Alanları.....	99
5.1.2.1. Filtrasyon Uygulaması.....	100
5.1.2.2. Biyomedikal Uygulamalar.....	102
5.1.2.3. Elektriksel ve Optik Uygulama.....	106
5.1.2.4. Savunma Uygulamaları.....	106
5.1.2.5. Diğer Uygulamalar.....	107
5.2. Nanotüpler.....	109
5.3. Nanokompozitler.....	120
5.4. Nanopartiküller.....	122
5.4.1. Kıl Nano Partikülleri.....	124
5.4.2. Metal Oksit Nano Partikülleri.....	125
5.5. Faz Değiştiren Materyaller (PCM'ler).....	126
5.6. Biçimsel Hafızalı Materyaller (SMM'ler).....	127
5.7. Kromik Materyaller.....	127
5.8. Elektriksel Uygulamalar.....	130
5.9. Nano Boyuttaki Bitim İşlemleri.....	132
5.10. Nano Ölçekli Yüzey Oluşturmak İçin Kullanılan Teknolojiler.....	138
5.10.1. Plazma İle Yüzey Modifikasyonu.....	138
5.10.2. Sol-Jel Teknolojisi.....	146
5.10.3. Mikrokapsülasyon Uygulaması.....	148
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	155
KAYNAKLAR.....	163
ÖZGEÇMİŞ.....	171

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	2015'te Dünyada nanoteknoloji için ayrılan paradan pay alacak sektörler	5
Çizelge 1.2.	Dünyada nanoteknoloji yatırımları.....	6
Çizelge 4.1.	Dünya nano materyal tüketimi (milyon \$) ve geleceğe yönelik tahminler.....	46
Çizelge 5.1.	Lif ölçülerini tanımlamak için kullanılan terimler.....	71
Çizelge 5.2.	Çeşitli dokusuz yüzey üretiminde kullanılan liflerin çaplarının kıyaslanması.....	87
Çizelge 5.3.	Çeşitli dokusuz yüzey üretiminde kullanılan liflerin birim kütledeki yüzey alanları.....	87
Çizelge 5.4.	Elektrospinning yönteminde kullanılan bazı polimerler ve çözücüler.....	89
Çizelge 5.5.	Elektrospinning yöntemi ile nanolif üretiminin çeşitli nanolif üretim yöntemleriyle mukayesesi.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Bilim ve teknolojiadaki temel gelişmeler.....	4
Şekil 4.1.	Nanometre boyutunu anlatan örnekler.....	22
Şekil 4.2.	Süspansiyon içerisindeki nanokristaller.....	23
Şekil 4.3.	Nanomanipulatör.....	32
Şekil 4.4.	Nanoteknolojinin kullanım alanları.....	33
Şekil 4.5.	2004 Yılı içerisinde nanoteknoloji tabanlı AR-GE yapan, üreten, satan ve kullanan şirketlerin alanlara göre dağılımı.....	34
Şekil 4.6.	Nanomalzemelerin geleneksel endüstrilerde uygulamaları.....	35
Şekil 4.7.	Dünya nanoteknoloji yatırımları.....	47
Şekil 5.1.	Nanoteknoloji ile üretilen tekstil ürünleri.....	64
Şekil 5.2.	Nanoliflerin farklı hücre ve liflerle karşılaştırılmaları.....	70
Şekil 5.3.	Meltblowing sistemi ile üretimin akış şeması.....	73
Şekil 5.4.	Meltblowing yöntemi ile üretilen lifler.....	74
Şekil 5.5.	Bikomponent lifler.....	76
Şekil 5.6.	Dilimli pasta yapısındaki bikomponent lif.....	76
Şekil 5.7.	Çekirdek-manto yapısındaki bikomponent lif.....	77
Şekil 5.8.	Spunbond yönteminde üretim akışı.....	78
Şekil 5.9.	Deniz içinde ada elyafından elde edilmiş spunbond kumaş.....	79
Şekil 5.10.	Elektrospinning düzeneğinde liflerin oluşumu.....	81
Şekil 5.11.	Polimer eriyiğinin elektrik alan tarafından çekilmeye başladığı andan lif çekimine kadarki görüntüsü.....	82
Şekil 5.12.	Taylor koni oluşumu ve sonuç olarak izleyen iyon fışkırması.....	82
Şekil 5.13.	Polimer jeti yüzeyindeki yük dağılımı.....	83
Şekil 5.14.	Eriyikten elektrospinning yönteminde kullanılan düzenek.....	84
Şekil 5.15.	Elektrospinning yöntemi ile üretilen lifler.....	85
Şekil 5.16.	Spunbond malzeme üzerindeki nanolif tülbentinin kesit görünüşü.....	86
Şekil 5.17.	Hava filtrasyonu için WETLAID selülozik malzeme üzerine uygulanan nanolifler.....	87

Şekil 5.18.	5,5 kV voltaj'daki jet başlangıç noktası (solda) ve aynı voltajda üretilen lifler (sağda).....	91
Şekil 5.19.	9,0 kV voltaj'daki jet başlangıç noktası (solda) ve aynı voltajda üretilen lifler (sağda).....	92
Şekil 5.20.	Uygulanan gerilimin nanoliflerin özelliklerine etkisi.....	92
Şekil 5.21.	Konsantrasyonun nanoliflerin özelliklerine etkisi.....	94
Şekil 5.22.	Kılcal uç-kollektör arasındaki mesafenin nanoliflerin özellikleri üzerine etkisi.....	95
Şekil 5.23.	Elektrospinning işlem parametrelerinin lif çapı üzerindeki etkisi.....	96
Şekil 5.24.	Nanoliflerin uygulama alanları.....	100
Şekil 5.25.	Filtre verimliliğinin lif çapı ile ilişkisi.....	101
Şekil 5.26.	Selüloz ortamında ve selüloz/nanoelyaf ortamında toz tutumu (soldan sağa doğru).....	102
Şekil 5.27.	Nanolif ağı içerisinde büyüyen kemik hücreleri.....	105
Şekil 5.28.	Güneş yelkeni.....	109
Şekil 5.29.	Bir karbon nanotüpün STM görüntüsü.....	109
Şekil 5.30.	Tek katmanlı (soldaki) ve çok katmanlı karbon nanotüp (sağdaki).....	111
Şekil 5.31.	Karbon atomu izotopları.....	113
Şekil 5.32.	Karbon nanotüpler içeren gaz detektörü.....	118
Şekil 5.33.	Nanokompozitlerin sınıflandırılması.....	121
Şekil 5.34.	Al_2O_3/SiC nanokompozitin TEM görüntüsü.....	122
Şekil 5.35.	Lotus yaprağının yüzey yapısı.....	133
Şekil 5.36.	NanoSphere mekanizması.....	134
Şekil 5.37.	Su, yağ ve kir iticilik bitim işlemlerinde kullanılan ürün örnekleri.....	136
Şekil 5.38.	Maddenin dört hali.....	139
Şekil 5.39.	Bir plazma sisteminin şematik görüntüsü.....	142
Şekil 5.40.	Plazma polimerizasyonu sonucunda oluşan polimerin monomer ve konvansiyonel polimerle karşılaştırılması.....	143

Şekil 5.41.	Nanosolün hazırlanmasının ve tekstil üzerine kaplanmasının işlem akışı.....	147
Şekil 5.42.	TiO ₂ ile kaplanmış polipropilen lifi.....	147
Şekil 5.43.	Sprey kurutma cihazının şematik gösterimi.....	149
Şekil 5.44.	Migrin yağı içeren melamin reçinesi mikrokapsüllerinin SEM görüntüleri.....	151
Şekil 5.45.	Sage yağı içeren maya hücreleri.....	152
Şekil 5.46.	Faz değiştiren materyal içeren mikrokapsüllerin lif içerisinde tekstil materyaline uygulanmaları.....	153

1. GİRİŞ

İnsanlar İlkçağ'dan beri, doğayı tanımaya çalışmışlardır. Hayatta kalmanın ve daha iyi yaşam koşullarının yollarını araştırmışlardır. Bu esnada ateşi keşfetmişler, kesici aletler bulmuşlardır. Günlük hayattaki mücadeleleri sonucu bilgi birikimine sahip olmuşlardır. Bu bilgi birikimleri sayesinde bilim oluşmuştur. Uygulamaya yönelik bilimsel çalışmalar sonucu, insan hayatını kolaylaştıran ürünler üretilmeye başlanmıştır. Yani “teknoloji” olarak adlandırılabilen kavram ortaya çıkmıştır.

“Bilim” ve “teknoloji” çeşitli şekillerde tanımlanabilmektedirler. Aşağıda “bilim”in çeşitli tanımları verilmiştir [Ayhan, 2002]:

- Bilim, neyin ne olduğunu tanımlamaktır.
- Bilim, özgür arayış ve eleştiri içeren bir etkinliktir.
- Bilim; bazı olgu veya olay kategorilerine ait iyi düzenlenmiş bilgiler bütünüdür.
- Bilim; yasalara uygun ve/ya da deneysel yöntemlerle doğrulanmış belirli olgu, konu ya da olay kategorilerine ilişkin bilgileri bir araya getiren tutarlı bütündür.
- Bilim, nesnel dünyayı ve bu dünyada yer alan olgulara ilişkin tarafsız gözlem ve sistematik deneye dayalı zihinsel etkinliklerin ortak adıdır.
- Bilim; bilinmeyenleri bilinir kılma çabasıdır.

Bilim iki şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki konu ve kullanılan yöntemlere göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre formel bilimler, doğal bilimler ve insan bilimleri olmak üzere üç tür bilim vardır. Formel bilimler; duyularla kavranılamayan, zihinsel olarak düşüncede var olduğu kabul edilen ilke ve semboller konu edinmektedirler. Genelleme ve tümdengelim yöntemlerini kullanmaktadır. Bu bilimlere; matematik, mantık gibi bilimler örnek olarak verilebilirler. Doğa bilimleri; doğayı, doğada yer alan varlıkları ve olayları incelerler ve tümevarım yöntemini kullanırlar ve doğa yasalarını bulmaya çalışırlar. Bu bilimlere; fizik, kimya, biyoloji, astronomi, jeoloji gibi bilimler örnek olarak verilebilir. İnsan bilimleri; insanı, insanın tarihsel, kültürel, toplumsal dünyasını konu edinirler. Hem tümevarımı hem de tümdengelimini kullanırlar. Bu bilimlere; tarih,

antropoloji, psikoloji, sosyoloji, siyaset bilim, dil bilim gibi bilimler örnek olarak verilebilir.

Bilimi sınıflandırmanın diğer bir yolu ise; konu, yöntem ve ulaşılan sonuçlara göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma kendi içerisinde; rasyonel bilimler, normatif bilimler ve pozitif bilimler olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Rasyonel bilimler; akla mantığa dayalı ideal varlığı konu alırlar. Bu bilimlere; matematik, mantık örnek olarak verilebilir. Normatif bilimler; sonuçlarında yönlendirici kurallara ulaşan bilimlerdir. Bu bilimlere; hukuk, mantık, siyaset gibi bilimler örnek olarak verilebilirler. Pozitif bilimler; konularını deney yöntemi ile araştıran bilimlerdir. Bu bilimlere; fizik, kimya, biyoloji, psikoloji, sosyoloji örnek olarak verilebilir [mselisesi.com, 2007].

“Teknoloji” kelimesi; *Technikos*; sistematik olarak işlem yapma ve *Logia*; sanat, bilim kelimelerinden türemiş ve bugünkü anlamını kazanmıştır. Aşağıda “teknoloji”nin çeşitli tanımları verilmiştir [Ayhan, 2002]:

- Teknoloji, yararlı ürünler üretmeye ve yeni ürünler tasarlamaya yarayan bilgiler bütünüdür.
- Teknoloji, girdileri çıktılara dönüştüren tüm fiziki süreçleri ve bu dönüşüme paralel gerçekleşen toplumsal düzenlemelerin ifadesidir.
- Üretim faaliyetlerinde kullanılan yol ve yöntemlerin tümü teknolojidir.
- Teknoloji, teknik bilgiler paketidir.
- Bilim ve pratik uygulamalarından doğan teknoloji; ürün, süreç, sistem ve servislerin geliştirilmesi, tasarımı, üretimi ve uygulamasında kullanılır.
- Ticari bir değer elde etmek için gerçekleştirilen bilimsel uygulamaların tümü, teknolojinin ta kendisidir.
- Teknoloji, sanayinin çeşitli dallarında kullanılan takımların, işleme usullerinin ve metotlarının incelenmesidir.
- Teknoloji, teknik bilgi (know how), bilgi (knowledge), buluş (invention) ve yenilik (innovation) gibi doğrudan insan faaliyetlerinin değişik tiplerini içeren bir kısaltma olup, verimlilik, büyüme, istihdam ve rekabet edebilirlik gibi ölçülebilir ekonomik değişkenlerin açıklanmasında önemli rol oynar.

- Bilimin, pratik hayatın gereksinimlerinin karşılanmasına, ya da insanın çevresini denetleme, biçimlendirme ve değiştirme çabalarına yönelik uygulamaları teknolojiyi ifade eder.
- Bir kişinin, toplum kesiminin, ya da toplumun sorun çözme kabiliyetini oluşturan öğelerin her biri; birer teknolojidir.

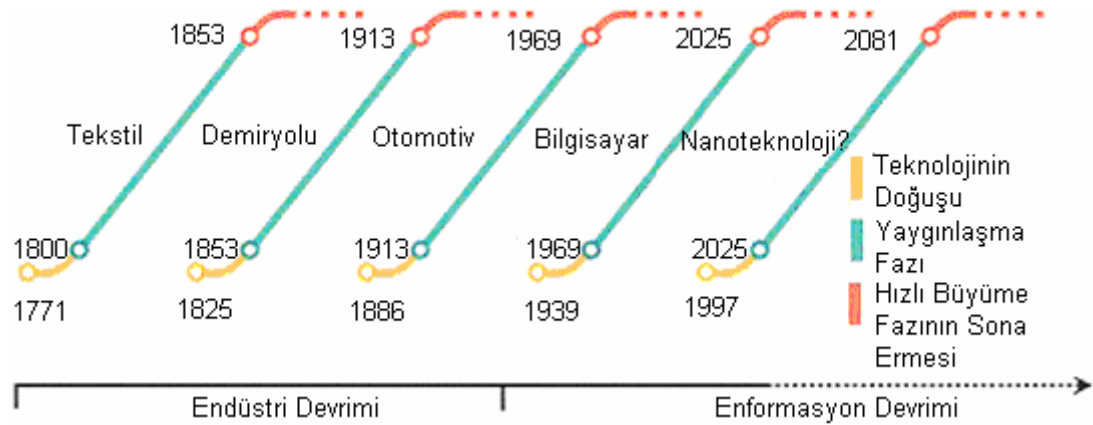
Bilim ve teknoloji karşılıklı etkileşim içerisindeyler. Bilimdeki gelişme teknolojideki gelişmeyi sağladığı gibi teknolojideki gelişme de bilimsel gelişmeyi sağlamaktadır. Bilim ve teknoloji, insanların ihtiyaçlarından dolayı doğmuştur. Bilimdeki ve teknolojideki gelişmeler de bu ihtiyaçlar sayesinde gerçekleşmiştir. Artık günümüzde ülkelerin refah seviyesini bilim ve teknolojide kat etmiş oldukları mesafe belirler hale gelmiştir. Teknoloji üreten ülkeler üretmeyen ülkelere daha zengin hale gelmişlerdir.

Rönesans ve reform sayesinde insanlar üzerindeki dini baskı ortadan kalkmış ve bilim ve teknolojideki gelişim hız kazanmıştır. Günümüze varıncaya kadar bilim ve teknolojideki gelişme sayesinde; matbaa, telefon, cep telefonu, uçak, televizyon, internet, kağıt, mikroskop, fotoğraf makinesi, çamaşır makinesi, buzdolabı vb birçok yararlı buluşlar insanların hizmetine sunulmuştur.

18. yüzyılın sonundan itibaren her yüzyılda iki kere bilim ve teknolojide yaşanan temel gelişmeler sayesinde insan hayatı derinden etkilenmiştir ve refah düzeyi artmıştır. Bunlardan ilk üç devrim, endüstri devrimi olarak nitelendirilmiştir ve tekstil, demiryolu ve otomotiv sanayisinde görülmüştür. 1970'li yıllarda otomotiv ve ilgili sanayiler hızla yayılma sürecini tamamlayıp rutin gelişme sürecine girmiştir. 2000'li yıllarda hala önemli bir sanayi olan otomotiv sanayisinde uluslararası rekabet nedeni ile ürünler çok gelişmiştir ve kullanılan teknolojiler en üst düzeye gelmiştir, fakat kar marjları taşıt başına ortalama 400-500 dolar düzeyine kadar düşmüştür, sektörün katma değeri azalmıştır. 1940'lı yıllarda katı hal transistörün keşfedilmesi ve II. Dünya Savaşı'ndan sonra mikroelektronik ve silisyum teknolojisinin hızla gelişmesi ile bilgisayar ve daha sonra internet hızla yayılmıştır. Böylece bilgi (enformasyon) devrimi başlamıştır. Bu devrim her şeyi etkilemiş, bilimsel ve teknolojik gelişmeleri inanılmazı güç şekilde hızlandırmıştır.

20. yüzyılın sonunda bilim adamları nanometre ölçülerinde bilime yönelmişlerdir. Atomların doğrudan görüntülerini veren taramalı tünelleme mikroskopunun ve bundan türetilen atomik kuvvet mikroskopunun keşfi, nanometre boyutlarında fiziğe ve kimyaya çok güçlü bir göz kazandırmıştır. Bu mikroskoplarla nanometre aleminde çeşitli süreçleri, etkileşimleri, kimyasal reaksiyonları gözlemek ve atomları teker teker kontrollü bir şekilde istenen yerlere taşıyıp yapay malzemeler oluşturmak mümkündür. Bilimde elde edilen gelişmeler ve varılan bu sonuç nanometre boyutlarında malzemelerin teknolojiye ne kadar büyük olanaklar kazandırabileceğini göstermiştir. Otomotiv ve benzeri imalat sanayilerinde kar marjlarının düşmüş olduğu ABD’de iktisatçılar bu olanakları herkesten önce görüp Başkan Clinton’ı etkileyerek nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak ilan ettirmişlerdir. Bundan sonra, 1997’den itibaren konu bütün dünyada hızla gelişmiştir. Şimdi nanoteknoloji bilgisayar devrimini izleyen ve 21. yüzyıla damgasını vuracak bir teknoloji devrimi olarak değerlendirilmektedir [Çıracı, 2007].

Şekil 1.1.’de her asırda iki kez insanoğlunun refahını arttıran bilim ve teknolojiye temel gelişmeler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Bilim ve teknolojiye temel gelişmeler [Çıracı, 2007]

Nanoteknolojinin sağlamış olduğu üstün özelliklerden yararlanarak çeşitli alanlarda (tıp, elektronik, savunma, tekstil vb) yeni ürünler elde edilebilmektedir. Hızlı bir şekilde gelişen nanoteknoloji pazarının 2015 yılında 1 trilyon dolarlık bir ciroya ulaşacağı tahmin edilmektedir. Nanoteknoloji malzemelerinin pazar

büyükliğünün 340 milyar doları aşacağı, elektronikteki nanoteknolojik ürünlerin ise 300 milyar doları bulacağı belirtilmektedir (Çizelge 1.1.) [Ersan, 2006].

Çizelge 1.1. 2015'te Dünyada nanoteknoloji için ayrılan paradan pay alacak sektörler [Ersan, 2006]

SEKTÖR	PAY (\$)
Malzeme Bilimi	340 Milyar
Elektronik	300 Milyar
Eczacılık	180 Milyar
Kimya&Petrol	100 Milyar
Uçak Sanayi	70 Milyar
Sağlık-Bakım-Kozmetik	30 Milyar
Cihaz-Aletler	20 Milyar
Üretim Teknikleri	45 Milyar
TOPLAM	~1 Trilyon Dolar

Yeni yüzyılda kritik bir teknoloji devrimi olarak görülen nanoteknoloji hala kuluçka dönemindedir. Bu kritik teknolojinin 2025 yılına kadar gelişmesini tamamlaması ve hayatın her alanına girmesi beklenmektedir [Bayındır, 2007c]. Birçok ülke nanoteknolojiye yatırım yapmış bulunmaktadır. Bu ülkelerin 2003 yılında nanoteknolojiye yapmış oldukları yatırımın miktarı ve devlet katkısı (%) Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. Dünyada nanoteknoloji yatırımları [www.nano.bilkent.edu.tr, 2007]

Nanoteknoloji Yatırımları	2003 Nanoteknoloji (Milyon \$)	Devlet Katkısı (%)
Japonya	1,610	50
ABD	1,524	51
Çin	480	58
Güney Kore	280	71
Almanya	218	54
Avustralya	193	48
İngiltere	160	56
Tayvan	115	35
Fransa	90	56
İsrail	50	40
Hindistan	45	44
Finlandiya	33	55
Kanada	31	52
Singapur	30	50
Diğerleri	685	50
Dünya Toplamı	5,544	52

Çizelge 1.2.'de görüldüğü gibi 2003 yılında nanoteknolojiye en fazla yatırımı Japonya yapmıştır. Japonya'yı, ABD ve Çin takip etmiştir. Yatırım yapan ülkeler arasından en çok devlet desteği gören ülke ise Güney Kore'dir. Buna rağmen Güney Kore; Çin, ABD ve Japonya'yı geçmeyi başaramamıştır. Çizelge 1.2.'de Türkiye'nin adının olmaması dikkat çekmektedir.

Yukarıda anlatılanlardan da görüleceği üzere her dönemde insan yaşamını derinden etkileyen devrim niteliğinde bilimsel ve teknolojik gelişmeler oluşmuştur ve bu gelişmelere öncülük eden ülkeler gelişmiş ülkeler olarak tanımlanabilmektedirler.

Türkiye bugüne kadar teknoloji tüketen bir ülke olmuştur ve teknoloji üretememenin cezasını teknoloji üreten ülkelere çok büyük miktarlarda para

ödeyerek çekmiştir. Nanoteknoloji, gelişmekte olan yeni bir teknolojidir. Bu teknolojiyi kullanarak üstün niteliklere sahip malzemeler elde etmek mümkündür. Üretim sırasında harcanan para az olmakla beraber, bu teknolojiyi kullanarak üretim yapamayan ülkelere yapılan satışlar neticesinde çok fazla miktarda kar elde edilmektedir. Yani nanoteknoloji sayesinde katma değeri yüksek ürünleri elde etmek mümkün olmaktadır.

Nanoteknolojinin birçok uygulama alanından biri de tekstildir. Tekstil, Türkiye'nin ihracatta en fazla kazanç sağlamakta olduğu sektörler arasında yer almaktadır. Fakat son yıllarda yaşanan ekonomik kriz, Uzakdoğu ülkelerinin pazara hakim olması vb problemler yüzünden tekstil sektörü kan kaybetmiştir. Nanoteknoloji, Türk tekstil sektörünün canlanmasına katkıda bulunabilir. Türkiye'de bazı firmalar nanoteknolojiyi kullanarak tekstil ürünleri üretmiş ve piyasaya sürmüşlerdir. Fakat bu firmaların sayısının yetersiz olduğunu belirtmek önemlidir. Ayrıca bu alanda kullanılan nanoteknoloji tabanlı malzemeler yurtdışından ithal edilmektedir. Dolayısıyla Türkiye'nin nanoteknoloji ile ilgili alması gereken çok yol vardır.

Bu çalışmada; nanoteknoloji çalışmalarında kullanılan araçlar, alet ve yardımcıları tanıtılmıştır. Nanoteknolojinin uygulama alanları ve dünyadaki ve Türkiye'deki durumu hakkında bilgi verilmiştir. Nanoteknolojinin tekstildeki uygulamaları detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda; nanoteknoloji sayesinde üretilen yeni malzemeler (nanolifler, nanotüpler, nanokompozitler) üzerinde durulmuştur. Nanopartiküller, faz değiştiren materyaller, biçimsel hafızalı materyaller, kromik materyaller, elektriksel uygulamalar, nano boyuttaki bitim işlemleri, nano ölçekli yüzey oluşturmak için kullanılan teknolojiler açıklanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Nanoteknoloji vizyonunun ortaya çıkışı, 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilecekler üzerine yapmış olduğu ünlü konuşmasına [“there is plenty of room at the bottom (küçük boyutlarda yapılabilecek çok şey ver)”] kadar dayandırılabilir. Bu konuşmasında Feynman minyatürize edilmiş enstrümanlar ile nano yapıların ölçülebileceğinin ve yeni amaçlar doğrultusunda kullanılabileceğinin altını çizmiştir.

Araştırmacıların daha küçük boyutlarda çalışmaya başlamasıyla birlikte birçok problem de ortaya çıkmaya başlamıştır. Boyutlar küçüldükçe, yapılan çalışmaları izlemek zorlaşmıştır. 1981 yılında IBM tarafından yeni bir mikroskop türü “Taramalı Tünelleme Mikroskobu” (Scanning Tunneling Microscope, STM) geliştirilmiştir. Bu önemli ilerlemede pay sahibi olan araştırmacılar, bu buluşları ile 1986'da Nobel Fizik Ödülü'nü almışlardır. Aynı zamanlarda STM mikroskobunun bir türevi olan “Atomik Kuvvet Mikroskobu” (Atomic Force Microscope, AFM) geliştirilmiştir. Feynman'ın bahsetmiş olduğu enstrümanların (SEM, AFM, yakın alan mikroskobu (near field microscope) vb.) 1980'lerde geliştirilmesi ve eş zamanlı olarak gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano skalasında ölçüm ve modelleme yapılması mümkün olmuştur.

1990'ların başında Rice Üniversitesi'nde Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacılar tarafından 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen futbol topu şeklindeki “fullerene” molekülleri geliştirilmiştir. Elde edilen molekül 1 nanometre büyüklüğünde ve çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen bir yapıya sahiptir. Bu araştırmacılar 1996 yılında Nobel Kimya Ödülü'nü almışlardır. 1991 yılında Japon NEC firması araştırmacılarından birinin, Sumio Iijima'nın, karbon nanotüpleri bulduğunu duyurmuştur. Karbon nanotüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş bir şekli olup benzer şekilde önemli özelliklere sahiptir; çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6'da biri kadardır. 90'larda ayrıca Feynman'ın fikirleri, Eric Drexler tarafından yazılan kitapta (“Engines of Creation”) geliştirilmiştir. Drexler'in fikirleri şüpheyile karşılanmasına karşın 1992 yılında yayınlamış olduğu kitabında (“Nanosystems:

Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation”) genel kavram ve düşüncelerini detaylı analiz ve tasarımlar ile ayrıntılı olarak anlatmıştır.

1999 yılında ABD’de Bill Clinton hükümeti nanoteknoloji alanında yürütülen araştırma, geliştirme ve ticarileştirme faaliyetlerinin hızını artırma amacını taşıyan ilk resmi hükümet programını, Ulusal Nanoteknoloji Adımını (National Nanotechnology Initiative) başlatmıştır. 2001 yılında Avrupa Birliği, Çerçeve Programı’na nanoteknoloji çalışmalarını öncelikli alan olarak dahil etmiştir. Japonya, Tayvan, Singapur, Çin, İsrail ve İsviçre benzer programlar başlatarak 21. yüzyılın ilk küresel teknoloji yarışında önlerde yer almak için çalışmalarına hız vermişlerdir [www.nano-teknoloji.info, 2007].

Elektro lif çekimi (elektrospinning); mikrondan küçük çaplara sahip kesiksiz polimer elyafları, dış elektrik sahasını polimer bir çözelti veya eriyiğe karşı yükleyerek üretmektir. **Deitzel ve ark (2001)**, en önemli proses parametreleri olan eğirme voltajı ve çözelti konsantrasyonunun elyaf morfolojisindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde; elektro lif çekimi voltajının, elyaf içindeki boncuk kusurlarının oluşumuyla sıkı bir şekilde bağlantılı olduğunu bulmuşlardır. Boncuk kusur yoğunluğunun ciddi bir şekilde arttığı işlem voltajının şu anki ölçümler kullanılarak anlaşılabileceği sonucuna varmışlardır. Çözelti konsantrasyonunun elyaf boyutunu etkilediğini ve bunun elyaf çapının ve çözelti konsantrasyonunun büyümesiyle güç kanunu ilişkisiyle gerçekleştiğini bulmuşlardır. Yüksek konsantrasyonlu çözeltilerden elektro lif çekiminin, elyaf boyutlarının iki modlu (biçimli) dağılımını ürettiğini saptamışlardır.

Başaran (2002), yapmış olduğu çalışmada nanoteknolojinin gelişimi, uygulamaları ve ekonomik boyutu hakkında bilgi vermiştir. Ayrıca dünyada ve Türkiye’de nanoteknolojiden bahsetmiştir.

Yüksek performanslı teknik ürünler için artan talep dünya çapında gözlenebilmektedir. Bu yüzden iyileştirme veya tamamıyla yeni özellikler elde etmek için sentetik elyaf yüzeylerinin işlevleştirilmesi veya spesifik değişikliği için yeni metotların gelişimi üzerine yoğun araştırma yapılmaktadır. **Textor ve ark (2003)** çalışmalarında bu metotların ikisini detaylı olarak anlatmışlardır. Bu metotlardan birincisinin, organik polimerler ve seramiklerin avantajlarını birleştiren,

organik olarak değiştirilmiş seramikler ile elyaf malzemesinin değişikliğini içeren apreleme için yenilikçi bir metot olduğunu ve bu malzemelerin nanoteknolojinin katkısı olduğunu belirtmişlerdir. Spesifik yüzey özellikleri yaratmak için diğer yaklaşımın ise; fotokimyasal ve/veya excimer-UV-ışık kaynakları kullanarak fiziksel değişiklikleri içerdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bu özel ışık kaynaklarının, iyi tanımlanmış değişiklik yöntemlerini mümkün kılan tek renkli radyasyonu yaydıklarını belirtmişlerdir.

Yıldırım ve ark (2004), yapmış oldukları çalışmada polimerik nanoliflerin üretim tekniklerini anlatmışlardır. Çalışmalarının sonucunda nanoliflerin büyük miktarlarda, ucuz fiyatlarla pazara girmesinin yakın zamanda mümkün gözüktüğü sonucuna varmışlardır. Bunun sebebi olarak da bir jet düzesinin saatlik üretiminin ancak miligramlarla ifade edilebilmesini göstermişlerdir. Gelecek 5 yıl içerisinde yapılacak gelişmelerle, elektrospinning lif üretim tekniğinin daha ekonomik bir yöntem haline getirileceği görüşüne varmışlardır. Ayrıca nanolifler hakkında hala sonuçlandırılması gereken birçok gelişmenin ve uygulama alanı bulması gereken kullanım alanlarının bulunmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Qian ve Hinestroza (2004), tekstil sektöründe tekstile şekil verme ve aprelemede yararlanılan nanoteknoloji alanında yaşanan son gelişmeleri ele almışlardır. Tekstil malzemeleri içerisinde nano boyutlarda bir yapı meydana getirmek amacıyla; nano boyutlarda maddelerin kullanılması ve özel tekniklerden faydalanılması gibi iki temel teknik yön hakkındaki ayrıntıları incelemişlerdir. Nano boyutlarda birkaç dolgu maddesi ve bunların sonrasında gösterdikleri performansları incelemişlerdir. Özellikle, tekstil yüzeyinin kaplanmasında nanotabaka yerleştirilmesi hakkında bilgi vermişlerdir. Çalışmalarında ayrıca; şık görünümlü ve akıllı tekstiller için kullanılan nanoteknolojide gelecekte yaşanılacak gelişmeler ile ilgili görüşlere yer vermişlerdir.

Breuer ve Sundararaj (2004), yapmış oldukları çalışmada; polimer/karbon nanotüp polimer kompozitler üzerine yakın zamanda yürütülen incelemeleri yeniden gözden geçirmişlerdir. Karbon nanotüpler; sıra dışı mekanik, elektrik, termal ve çok fonksiyonlu özellikleri olan düşük-ağırlıktaki nanokompozitleri elde etme potansiyeli olan yeni maddeleri polimerlerle harmanlama konusunda umut vermektedirler.

Eriyik karıştırma, çözelti işleme ve yerinde polimerizasyon gibi çeşitli işleme metotları hakkında bilgi vermişlerdir. Nanokompozitlerin mekanik, elektrik, termal, optik ve yüzey özellikleri ile alakalı bazı önemli sonuçlar üzerinde durmuşlardır. İşleme, nitelendirme, nanotüplerin elde edilebilirliği, nano-ölçekteki kompozitlerin davranışını yöneten mekanizmaları kapsayan sorunlar, gelecekte olabilecekler bazında tartışılmıştır.

Daoud ve Xin (2004), ortam basıncının altında düşük-sıcaklıkta sol-jel yöntemi kullanarak alkoksit çözeltilerinden pamuk kumaşlar üzerinde, anataz nanokristalli titanya kaplamalar üretmişlerdir. Anataz formun titanya kaplamaları, 180 dakikalık kaynar su muamelesi tarafından takip edilen titanyum izoprositin yoğunlaşma reaksiyonu ve klasik hidroliz yoluyla elde edilmiştirler. Titanya ince filmlerin spektroskopik ve mikroskopik nitelendirmeleri; kaynar su muamelesi sonrasında filmin başından sonuna anataz formun hakim olduğunu ve taneciklerin boyutunun yaklaşık 20 nm olduğunu göstermişlerdir. Çalışmanın sonucunda kumaşlar üzerindeki titanya kaplamanın, tekstil endüstrisinde antibakteriyel fotokatalizör olarak kullanmak için umut verici bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu (2005), yapmış oldukları çalışmada nanoelyaftan üretilmiş dokusuz yüzeylerin geçmişi, bugünü ve üretim metotlarını incelemişlerdir. Elektro-eğirme prensibinin 20. yüzyılın ilk yarısında bulunmuş olduğu, fakat nanoteknoloji ile buluşmasının son 10 yıl içerisinde olduğu ve bu prensibin yavaş üretim hızı ile sınırlı olmasına rağmen mendil üretiminde ve filtreleme ortamlarında geniş kullanım olanaklarının bulunmakta olduğu belirtilmiştir. Elektrik üretmenin birçok alternatifi bulunan Türkiye’de bu yöntemle çalışan dokusuz yüzey tesisleri kurmanın ve katma değeri yüksek üretmenin öncelikle düşünülmesi gereken bir konu olduğu sonucuna varılmıştır.

Geleceğin teknolojisi olarak görülen ve son yıllarda milyarlarca dolarlık araştırma fonu ayrılan nanoteknolojinin esasları ve tekstil sektöründeki uygulama alanları hakkında **Kut ve Güneşoğlu (2005)** tarafından yapılan çalışmada bilgi verilmiştir.

Doğan ve ark (2005), yapmış oldukları çalışmada karbon nanotüpleri anlatmışlar, nanotüplerin eşsiz kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine, sentezlerine değinmişler ve nanotüplerin uygulama alanları hakkında bilgi vermişlerdir. Tüm diğer nanoyapılar gibi karbon nanotüpler üzerinde yapılan çalışmalar sayesinde hem nanotüpler ve bugünkü kullanım alanının geliştirileceği, hem de yeni kullanım alanlarının ortaya çıkacağı sonucuna varmışlardır.

Subbiah ve ark (2005), nanoliflerin gelişmesi üzerine araştırma faaliyetlerini derinlemesine incelemişlerdir. Elektro lif çekimi işlemi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Nano yapılı lifli malzemelerin özellikleri ve uygulama alanları verilmiştir. Elektro lif çekimi yöntemiyle üretilen liflerin türleri ve karakteristikleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Cha ve ark (2005), sentezlenen şekil hafızalı poliüretan (PU) blok kopolimerleri elektro lif çekimi yöntemiyle nonwovenlar hazırlamak için kullanmışlardır. Karıştırılmış N,N dimetil formamit ve tetrahidrofuran çözücülerini PU çözeltileri hazırlanmıştır. Ağırlıkça %40 ve 50'lik sert kısım konsantrasyonlarına sahip, elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş PU nonwovenlar hazırlanmıştır. Elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş liflerin morfolojisi SEM ile incelenmiştir. Düşük viskoziteli (130-180 cPs), elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş liflerin ortalama çapları yaklaşık 800 nm olmuştur ve lif yapısı boncukludur. Buna karşılık, yüksek viskoziteli (530-570 cPs), elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş liflerin ortalama çapı 1300 nm olmuştur ve lif yüzeyi düzdür. Elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş PU nonwovenların mekanik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, aynı viskozite aralıklarında sert kısım derişikliği arttıkça gerilme direncinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca, elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş PU nonwovenların makine ile aynı yöndeki gerilme direncinin, silindir toplayıcının hızındaki farklılıktan dolayı makinenin çapraz yönündeki dirençten daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ağırlıkça %40 ve 50'lik sert kısım konsantrasyonuna sahip, elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş PU nonwovenların %80'den daha yüksek derecede şekil iyileşme oranına sahip oldukları tespit edilmiştir. Ağırlıkça %50'lik sert kısım konsantrasyonuna sahip elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş PU nonwovenların, ağırlıkça %40'lık sert kısım konsantrasyonu olan nonwovenlardan daha yüksek

gerilime sahip oldukları gözlenmiştir. Sonuç olarak PU'da sert kısım konsantrasyonunu kontrol altında tutmanın elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş şekil hafızalı nonwovenların üretiminde önemli bir parametre olarak göz önünde bulundurulduğu açık bir şekilde saptanmıştır.

Şenol ve ark (2005), yapmış oldukları çalışmada nanokapsüller, nanotüpler ve nanoliflerden oluşan nanoyapıları basitçe açıklamışlar ve bunların çeşitli kullanım alanlarına değinmişlerdir. Nanolif üretim teknikleri tanımlanmış ve bu tekniklerden biri olan elektrostatik eğirme (electrospinning) detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Nanoliflerin morfolojisini etkileyen proses ve sistem parametreleri açıklanmıştır. Son olarak da nanoliflerin uygulama alanlarından bahsedilmiştir.

Lee ve Jeong (2005), tekstil kumaşlarının antibakteriyel muamelesi için ajan olarak kullanılan bakteriyostaz ve cilde zararsız nanoboyuttaki gümüş koloidal çözelti ile ilgili araştırma yapmışlardır. Nanoboyutta gümüş koloidal çözeltileri ve aynı çözeltilerle muamele edilmiş tekstil kumaşları mikrop içeren agar plakalara yerleştirilmiş ve tekstil kumaşları ve koloidal çözeltilerdeki nanogümüşün antibakteriyel etkinliğini değerlendirmek için belirli temas süreleri sonrasında bakteriyel azalma (redüksiyon) hesaplanmıştır. Tekstil kumaşlarının antibakteriyel muamelesi, nanoboyutta gümüş koloidal çözelti kullanarak kolaylıkla gerçekleştirilmiştir. Nanogümüş koloidal çözeltinin cilt-tahriş testinin sonucu, hayvanlara karşı nanogümüşün cilde-zararsızlığını göstermiştir. Gümüş nanopartiküllerin TEM gözlemi, onların şekil ve boyut dağılımını göstermiştir. Muamele edilmiş kumaşın SEM görüntüsü, gümüş nanopartiküllerin kumaş yüzeyinde iyi dağıtılmış olduklarını göstermiştir.

Erkan ve ark (2005), tarafından yapılan çalışmada; tekstil sektöründeki nano-teknoloji uygulamalarının geçmişi, günümüzdeki durumu ve gelecekteki açılımları geniş kapsamlı olarak incelenmiştir.

Dersch ve ark (2005), çalışmalarında polimer merkezli nanolifler ve nanotüplerin; fotonlar, kataliz veya tıp ve eczacılık gibi alanlardaki uygulamaların geniş bir alanını sunduklarından bahsetmişlerdir. Böyle nesnelerdeki eşzamanlı özel fonksiyonları ortaya çıkarmayı sağlayan bir takım hazırlık tekniklerinin, her biri ayrı ayrı birkaç on nanometrenin altında çaplara sahip uzun nanolifler ve nanotüpleri

sağladıkları belirtilmiştir. Bu nanoliflerin ve nanotüplerin işlevselleştirilerek doku mühendisliği, kataliz, fotonlar için uygun hale gelebileceklerini belirtmişlerdir.

Chen ve ark (2005), sol-jel tekniği ile işleme tabi tutulan SiO₂-TiO₂-metil selüloz (MC) kompozit malzemeleri, optik dalga kılavuzu uygulamaları için incelemişlerdir. 2 µm kadar kalınlıktaki yoğun, çatlaksız ve homojen filmler; düşük sıcaklık muamelesi ile tek kat (basit) kaplama ve organik bağlayıcı MC-destekli sol-jel yöntemi yoluyla elde edilmişlerdir. Böyle melez filmde ışık dalga kılavuzluğu, 650 nm'lik dalga boyunda kanıtlanmıştır. SiO₂ (80 mol %)-TiO₂ (20 mol %)-MC (22 ağırlık %) film için yaklaşık 1.1 dB/cm veya daha düşük yayılma kaybının elde edilebilir olduğu belirlenmiştir. Jel filmlerin yapı ve özellikleri üzerinde termal muamelenin etkileri ayrıca incelenmiştir.

Özdoğan ve ark (2006b), yapmış oldukları çalışmada nanoteknolojinin tarihçesi, nanomateriyaller ve ölçüm yöntemleri, karbon nanotüpler ve nanoteknolojinin kullanım alanları hakkında bilgi vermişlerdir.

Isıl analiz; önceki geçmiş ve son-kullanımla ilgili durumların her ikisine bağlı izlenmiş olan; elyaf faz kararlılığı, boyutsal kararlılık, kimyasal kararlılık ve mekanik özellik kararlılığı bakımından elyaf performansını ölçmek için uygun bir platform sağlar. **Jaffe ve ark (2006)**, yapmış oldukları çalışmada bioerodable polimer elyaflar ve elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş elyafları ısı analiz yardımıyla nitelendirmişlerdir.

Özdoğan ve ark (2006c), çalışmalarında nanoliflerin tekstilde uygulamaları kapsamında nanolifler ve kullanım alanları, nanolif üretimi hakkında bilgi vermişlerdir. Gelecekte nanoteknoloji ile üretilen liflerin ve yeni fonksiyonel ürünlerin hayatı kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Pek çok avantaja sahip nano materyallerin, henüz insan sağlığı ve çevreye olan etkilerinin tam olarak bilinmemekte olduğu ve bu durumun detaylı bir şekilde incelenmesinin önem taşıdığı belirtilmiştir.

Fei ve ark (2006), daha iyi fotokatalitik performans başarmak amacı ile, anataz ve brokit fazlarda dağılmış rutil nanoçubukları, oda sıcaklığında (23 °C) konsantre HNO₃ çözeltisinde titanyum izoprosit (TIP)ten sentez yapmışlardır. X-ışını kırınımı sonuçları, artan koloidal eriyiğe dönüştürme işlemi süresinin

artmasıyla rutilin yüzde oranının arttığını göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu ve yüksek çözünürlükte transmisyon elektron mikroskobu ile inceleme ölçümleri, nanoboyuttaki titanya partiküllerin çoğunlukla tanecikli anataz ve brokitden oluşuklarını, ve çubuk-benzeri rutili göstermiştir. Artan nanopartikül konsantrasyonu ile koloidin kararlılığının artmış olması, ve üç kristalli titanyanın saf anatazından daha yüksek fotokatalitik etkinliği göstermiş olması ilgi çekici bulunmuştur. Bu nanokristaller, pamuk kumaşlar üzerine uygulanmışlardır, ve umut verici bakteri yok edici fotokatalitik etkinlik ve UV ışınına karşı mükemmel koruma elde edilmiştir.

Cengiz ve ark (2006), tek iğneli elektro lif çekim yöntemi ile poliakrilonitril (PAN) lifleri eğirerek; eğirme esnasında uygulanan voltaj, elektrotlar arasındaki mesafe ve polimer konsantrasyonu gibi proses parametrelerinin lif özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; voltaj, elektrotlar arasındaki mesafe ve polimer konsantrasyonu arttıkça lif çapının genellikle arttığı gözlenmiştir. %17 konsantrasyonlu polimerden, 10 cm mesafede üretilen nano liflerin, yüksek polimer konsantrasyonundan ve düşük mesafeden dolayı ıslak olduğu gözlenmiştir. Ayrıca %13 konsantrasyonlu polimerden, 10 kV'luk voltaj uygulanarak 25 cm mesafede ve %17 konsantrasyonlu polimerden, yine 10 kV'luk voltaj uygulanarak 15 cm mesafede nano lif üretimi gerçekleştirilememiştir. Bu durumun, uygulanan voltajın yetersiz olmasından ve elektrotlar arasındaki mesafenin fazla olmasından kaynaklanmakta olduğu sonucuna varılmıştır.

İlgaz (2006), yapmış olduğu çalışmada; nanoteknolojinin kullanım alanları, tekstilde nanoteknoloji ve Avrupa Birliği'nin nanoteknoloji ile ilgili çalışmaları hakkında bilgi vermiştir.

Dalton ve ark (2006), 7000 ve 26900 g/mol arasında moleküler ağırlıkları ile poli(etilen glikol) ve poli(ϵ -caprolacton) (PEG-*b*-PCL)'nin çeşitli blok kopolimerlerini sentezle birleştirmişlerdir ve 60 °C ve 90 °C arasındaki sıcaklıklarda eriyik elektro lif çekimi yöntemiyle üretmişlerdir. Toplanan elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş malzemenin bölgesel çeşitliliklerini tayin etmek için SEM görüntüleme metodu kullanılarak elyaf kalitesini büyük ölçüde etkileyen memecik pompa hızı bulunmuştur. En yüksek moleküler ağırlıklı kopolimer için; 0.05-0.1

mL/saat'lik optimum pompa hızı ile, polimerin memeciğe akış hızının ve PEG-*b*-PCL'nin moleküler ağırlığının, toplanan elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş elyaflarda en büyük etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Dubas ve ark (2006), antimikrobiyel gümüş nanopartiküllerin, naylon ve ipek elyaf üzerine tabakalı çöküntü metodu takip edilerek sabitlenmesini incelemişlerdir. Her iki elyaftaki SEM kullanma çalışmaları sonucunda; naylon elyaf üzerindeki tabakalı kaplamanın, ipek elyaf üzerindeki kadar düzenli (tek biçimli) olmadığı saptanmıştır. *Staphylococcus aureus* bakterisine karşı antimikrobiyel test yapılmış ve kaplanmış her iki elyaf için antimikrobiyel etki kanıtlanmıştır. Elyafar üstündeki tabaka miktarı; ipek elyaf için %80, naylon elyaf için %50 bakteri azalması ile sonuçlanmıştır. İpek elyaf üzerinde film gelişiminin daha etkili olmasına rağmen, bu sonuçların; bu yöntemin antimikrobiyel özelliklerin istendiği yeni sentetik veya doğal teknik elyaf tasarımında kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Naschie (2006), yapmış olduğu çalışmada; nanoteknolojinin öneminden bahsetmiştir. Çeşitli nanoteknoloji uygulamalarına örnekler vermiştir. Ayrıca çalışmasında; nanoteknoloji ile ilgili finansal önlemlere ve Clinton kişisel teşebbüsüne yer vermiştir.

Yadav ve ark (2006), öncüler olarak çinko nitrat ve sodyum hidroksit ve dengeleyici ajan olarak çözünür nişasta kullanarak ıslak kimyasal metot yoluyla çinko oksit nanopartiküller hazırlamışlardır. 40 nm ortalama boyuta sahip olan bu nanopartiküller, akrilik bağlayıcı (binder) kullanarak beyazlatılmış pamuk kumaşlar (bezayağı dokuma) üzerine kaplanmışlardır ve pamuk kumaşların işlevsel özellikleri incelenmişlerdir. %2 ZnO nanopartiküller ile muamele edilmiş pamuk kumaşlar için ortalama olarak %75 UV engelleme kaydedilmiştir. Nano-ZnO kaplı kumaşların hava geçirgenliği, kontrolden önemli şekilde daha yüksektir. Nano-ZnO kaplı kumaşın durumunda, nano-boyutu ve düzenli (uniform) dağılım yüzünden, sürtünme Instron® otomatikleştirilmiş malzemeler test sistemi ile incelendiği gibi esas-ZnO kaplı kumaştan önemli şekilde daha düşüktür. Böylece, nano-ZnO kaplı pamuk kumaşın; daha iyi mukavemet özelliklerine, hava geçirgenliğine ve UV-emme özelliğine sahip olduğu kanıtlanmıştır.

Lee ve Obendorf (2006), akışkan penetrasyonuna (içe girmesine) engeller olarak eriyik-elektro lif çekimi yöntemi kullanarak koruyucu tekstil malzemeleri geliştirme üzerine çalışma yapmışlardır. Elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş polipropilen tülbentler, iki düzeydeki kalınlıkta üretilmişlerdir. Koruma/termal konfor özelliklerine laminasyonun etkisini incelemek için, tülbentler, nonwoven kumaş substratları üzerine üst üste konulmuşlardır. İki tür böcek zehiri karışımı kullanılarak, elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş tülbentler ve lamine kumaşlar için engel performansına değer biçilmiştir. Hava geçirgenliği ve su buharı geçirme üzerine, tülbent kalınlığının ve laminasyonun etkileri, termal konfor performansının belirtileri olarak değerlendirilmiştir. Tülbent kalınlığı ve laminasyonun hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliğinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak; güncel olarak mevcut polipropilen malzemeleri ile karşılaştırıldıklarında, elektro lif çekimi yöntemiyle üretilmiş polipropilen tülbentlerin ve lamine kumaşların, hava/buhar taşıma özelliklerinin kabul edilebilir bir seviyesi ve yüksek koruma performansının kombinasyonunu sergiledikleri tespit edilmiştir.

Chen ve ark (2006), çok-duvarlı karbon nanotüpler (MWNTs) ile güçlendirilmiş poliüretan (PU) kompozit lifleri, çift-vidalı ekstrüzyon metodu yoluyla üretmişlerdir. Young modülü ve çekme dayanımındaki önemli gelişme, kırılma halinde PU elastomerinin yüksek uzamasını gözden çıkarmaksızın ağırlıkça %9.3'e kadar MWNTs dahil etmek yoluyla elde edilmiştir. Dispersiyonu ve çatlak yüzeyleri incelemek için elektron mikroskopuyla inceleme yapılmıştır. Sonuçlar; PU matrisi boyunca MWNTs'in homojen dispersiyonunun ve oksitlenmiş MWNTs ve matris arasındaki güçlü arayüz yapışmasının (adezyonunun) kompozit liflerin mekanik özelliklerinin önemli artışından sorumlu olduklarını göstermiştir.

Akbaş (2006), yapmış olduğu çalışmada nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalardan söz etmiş ve nanoteknolojinin tekstil uygulamaları olan nanolifler, nanotüpler ve nanoteknolojik yüzeylerin üretim yöntemlerine, tekstil materyalinin fonksiyonunun plazma, sol-jel ve mikrokapsülasyon yöntemleri ile geliştirilmesi konularına değinmiştir.

Cireli ve ark (2006) çalışmalarında; son yıllarda tekstil alanındaki uygulamalarıyla ilgili yoğun araştırmalar yapılan, konvansiyonel işlemlerde oluşan olumsuzlukların olmadığı ve onlarla elde edilmeyen özelliklerin elde edilebildiği yöntemler olan yeni/ileri teknolojiler (nanoteknoloji, plazma teknolojisi, sol-jel teknolojisi ve mikrokapsülasyon) hakkında bilgi vermişlerdir.

Wilson (2006), yapmış olduğu çalışmada; nanoboyutta partiküllerin teneffüsü tarafından ortaya çıkarılan risk ve nanoboyutta partiküller içeren ürünlerin güncel olarak kullanımı tarafından ortaya çıkan riski incelemiştir. Niçin güncel hukuki çerçevenin bu riskleri karşılamak için yetersiz olduğunu ve niçin düzenleyicilerin yeni yasa çıkarılana kadar ellerinin bağlı olduğuna inandıklarını inceler. Daha sonra bu düzenleyici hareketsizliğinin özel sigorta piyasası için önemli bir rol bıraktığını, fakat düzenleyicilerin maddi yönden bu piyasayı desteklemeleri gerektiğini tartışır.

Balcı (2006), yapmış olduğu çalışmada; akıllı (fonksiyonel) tekstiller hakkında geniş bilgi vermiştir ve antimikrobiyal apre üzerinde durmuştur. Antimikrobiyal aprenin farklı hammaddedeki kumaşların performans özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Çalışmanın deneysel kısmında kullanılmak üzere % 100 Pamuk, PES/VİS ve PES/VİS/EA karışımı dokuma kumaşlar temin etmiştir. Bu kumaşlara tez konusu çerçevesinde antibakteriyel apre çalışmalarını laboratuvar şartlarında uygulamıştır. Apresi yapılan kumaş numunelerindeki işlem etkisinin testlerle ortaya konulabilmesi için laboratuvarda kumaşların antimikrobiyal, fiziksel ve haslık özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonunda, 3 farklı kumaş tipinde, antibakteriyel özellik kazandırmada kullanılan hangi apre maddesi, apre yöntemi ve apre derişiminin kumaşın hangi özelliğine ne şekilde etki gösterdiğini belirlemeye çalışmış, belirli bir özellikteki kumaş üretimi için hangi proses parametrelerinin ve apre maddesinin daha uygun olabileceğini istatistiksel yöntemler (varyans analizi) kullanarak araştırmıştır. Antibakteriyel proses parametrelerinin tüm kumaş tiplerinde negatif etkilediği özellikler arasında su ve ter haslıkları ortak olarak görülmüştür. Antibakteriyel proses parametrelerinin en az etkilediği özelliklerin pillinglenme (boncuklanma) ve yıkama haslığı olduğu belirlenmiştir.

Özbayram (2007), yapmış olduğu çalışmada nanoteknolojinin tanımı, amaçları, gelişmesi ve kullanım alanlarından bahsetmiştir. Ayrıca nanoteknolojinin tekstilde uygulamalarından olan nanolifleri incelemiştir.

Bilgi (2007), çalışmasında nanoteknolojinin gelişmesini, nanoteknoloji yatırımlarını, nanoteknoloji uygulamalarını ve tekstilde nanoteknolojiyi incelemiştir.

Qin ve ark (2007), çalışmalarında poliakrilonitril (PAN) polimer çözeltisi içeren elektrospinningde farklı tuzların etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında; LiCl, NaNO₃, NaCl ve CaCl₂ içeren çeşitli inorganik tuzlar kullanmışlardır. Farklı konsantrasyonlardaki PAN çözeltisine, sırasıyla tuzlar eklendiğinde sonuçlar; iletkenliğin sırasıyla LiCl>NaNO₃>CaCl₂>NaCl>tuz eklenmemiş olduğunu göstermiştir. Elektrospinning çözeltilerinin kayma dayanımı ve viskozitesi, tuzların eklenmesinden çok az etkilenmiş ve esasen PAN elektrospinning çözeltilerinin konsantrasyonundaki değişikliklerden etkilenmiştir. Farklı tuz boyutlu çözeltilerden elektrospinning ile üretilmiş nanoliflerin çapı: LiCl>NaNO₃>CaCl₂>NaCl olarak elde edilmiştir.

Li ve Sun (2007), kendiliğinden dağılabilen karbon siyah nanopartiküllerle tekstillerin renklendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Karbon siyah (CB) partiküllerini kesin bir zamanda nitrik asit içerisinde geri çekme sonucu yüzeylerinde hidrofil karboksil grupları oluşarak kendiliğinden yayılabilen karbon siyah (SDCB) nanopartikülleri hazırlanmıştır. SDCB nanopartiküllerin; pamuk, akrilik ve naylon elyafları boyamada direkt veya asit boyalarla benzer şekilde davranış gösterdikleri tespit edilmiştir. SDCB ile boyanan kumaşların sürtünmeye karşı iyi renk haslığı gösterdikleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte SDCB nanopartiküllerin hidrofil özelliği yüzünden nanopartikülle boyanan pamuk kumaşların yıkama haslıklarının sürtünme haslıklarına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Nanoteknoloji; malzeme ve imalat sektörü, elektronik ve bilgisayar teknolojileri, tıp ve sağlık sektörü, havacılık ve uzay araştırmaları, çevre ve enerji, biyoteknoloji ve tarım, savunma sektörü, tekstil başta olmak üzere birçok uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada nanoteknolojinin özellikle tekstildeki uygulama alanları üzerinde durulduğu için tekstil materyalleri hakkında bilgi vermekte fayda görülmüştür. Tekstil materyallerinin temelini lifler oluşturmaktadır. Lifler; doğal ve sentetik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Liflerden iplikler ve nonwoven kumaşlar elde edilir. Elde edilen ipliklerden de dokuma ve örme kumaşlar elde edilir.

Tekstil materyalinin var olan fonksiyonları ile performanslarını nanoteknoloji yardımıyla geliştirmek mümkün olduğu gibi ayrıca nanoteknoloji sayesinde farklı fonksiyonlara sahip nano boyutlarda yeni tekstil malzemeleri (nanolifler, nanotüpler ve nanokompozitler) üretmek de mümkün olmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında materyal olarak; mevcut tekstil materyalleri ve nanoteknoloji sayesinde üretilen yeni tekstil malzemeleri belirtilmiştir.

3.2. Metod

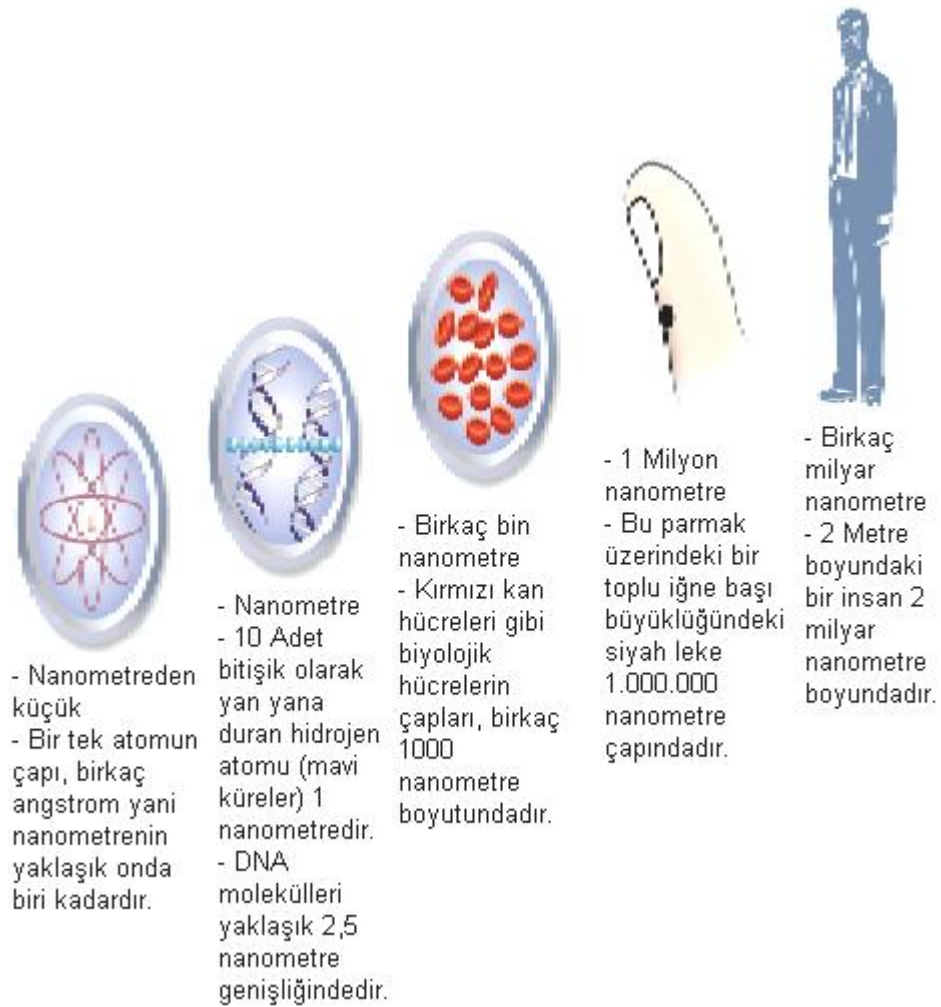
Bu çalışma kapsamında nanoteknoloji ve tekstildeki uygulamaları ile ilgili kaynak araştırması yapılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde elde edilen kaynakların detaylı bir şekilde incelenmesi sonucu elde edilen bilgiler sentezlenmeye çalışılmıştır. Nanoteknolojinin tanımı yapıldıktan sonra; nanoteknolojide kullanılan araç, alet ve yardımcı malzemeler hakkında bilgi verilmiş olup nanoteknolojinin dünyadaki ve Türkiye'deki durumundan söz edilmiştir. Nanoteknolojinin uygulama alanları genel olarak belirtilmiştir. Nanoteknolojinin özellikle tekstildeki uygulamaları üzerinde durulmuştur.

4. NANOTEKNOLOJİ

4.1. Nanoteknolojinin Tanımı ve Amaçları

“Nanoteknoloji” kavramı; nano ve teknoloji kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. “Teknoloji” kelimesinin anlamı, 1. bölümde detaylı olarak açıklandığı için bu bölümde tekrar açıklanmayacaktır. “Nanoteknoloji” tanımına geçmeden önce “nano” kelimesinin anlamını açıklamakta fayda görülmüştür. Nano, Yunanca “cüce” demektir. Nano ile tanımlanan ifadeler, herhangi bir ölçünün milyarda birini gösterir. Örneğin; nanometre, metrenin milyarda birini ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) ifade etmektedir. Nanoyapılar uzunluk olarak bakıldığında yaklaşık 10-100 atomluk sistemlere (10^{-9} metre) karşılık gelmektedirler. İnsan saç teli çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaşılmaktadır. Atomlar bakterilerin 1/10000, bakteriler ise bir sivrisineğin 1/10000 büyüklüğündedirler. Bir bakterinin içindeki ribozom 25 nm, bir DNA molekülü ise 2 nm çapındadır. Nanoteknoloji, atomlarla oynayan bir teknolojidir. Atom ve molekülleri tek tek manipüle ederek istenilen yapının oluşturulması ilkesine dayanır. Atomlar ayrı ayrı işleme tabii tutulur. Yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturmaktadır. Nanoteknoloji de bu bağlamda “çok küçük maddelerin teknolojisi” olmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006b; Balcı, 2006]. 1 nanometre, hidrojen atomunun çapının sadece 10 katıdır. Ne kadar küçük olduğunu canlandırmak zordur; boyutları giderek küçülen transistörler, cep telefonları vb aygıtlar nanoteknoloji dünyasında yeri olmayan dev yapılardır. Nanoteknoloji kapsamına giren malzemeler için 100 ile 1 nanometre (nm) ($1/10$ milyon metre ile $1/1$ milyar metre) arasındaki herhangi bir büyüklük (uzunluk, genişlik veya kalınlık) ifade edilmektedir. Sadece bir tek boyutu nanometre mertebesinde olsa da, ultra incelikteki kaplamalar da nanoteknoloji kapsamındadırlar. Örneğin bu durum, seramiklerde (kendi kendini temizleyen seramik taşları), duvar renklerinde (kendi kendini temizleyen ev cepheleri) veya camlarda kendini göstermektedir. ABD Ulusal Bilim Vakfı, “yaklaşık 1-100 nanometre uzunluk ölçeğinde yapılan araştırmalar ve kaydedilen teknolojik

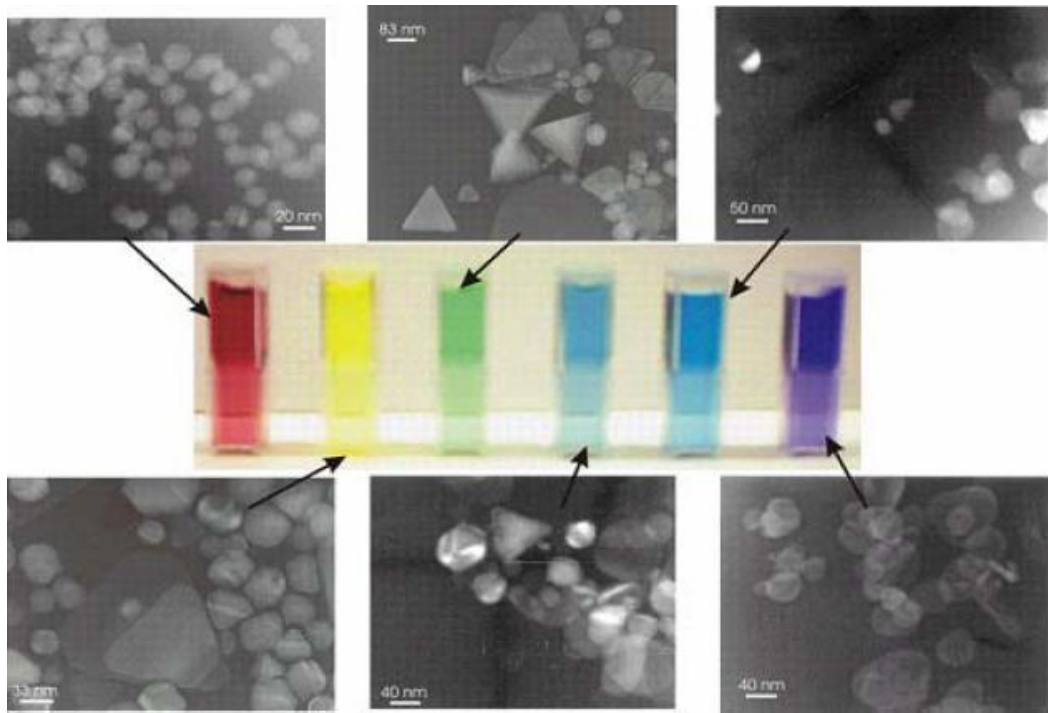
gelişmeler; bazı durumlarda kritik uzunluk ölçeği 1 nm'nin altında ya da 100 nm'nin üstünde olabilir" şeklinde bir tanımda bulunmuştur [Kut ve Güneşoğlu, 2005; Anonymous, 2004]. Şekil 4.1.'de nanometre boyutunu anlatan örnekler verilmiştir.



Şekil 4.1. Nanometre boyutunu anlatan örnekler [Cireli ve ark, 2006; Bozkaya, 2006b]

Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü üzere; nano parçacıklar virüslerden yüz defa daha küçüktürler, böylece insan gözü tarafından algılanamamaktadırlar. Aşırı derecede küçük boyutlara sahip bu yapılar için, çevremizdeki nesneler için geçerli olan fiziksel ve kimyasal yasalar geçerli değildir. Yani belli bir hacim kaplayan bir madde bir veya birden fazla boyutta (uzunluk, genişlik veya kalınlık) nanometre ebatlarında veya bundan daha küçük parçacıklara bölündüğünde, taneciklerin her biri

kendi başına en başta belli bir hacmi olan bu maddenin özelliklerinden çok farklı ve beklenmedik özelliklere sahip olmaktadır. Örneğin, nano ölçekteki malzemelerin iletim özellikleri (momentum, enerji ve kütle) artık sürekli olarak değil ancak kesikli olarak tarif edilmektedir. Benzer olarak, optik, elektronik, manyetik ve kimyasal davranışlar klasik değil kuantum olarak tanımlanmaktadır [Anonymous, 2004; Qian ve Hinestroza, 2004; Özdoğan ve ark, 2006b]. Normalde kırılğan bir malzeme olan seramik, tanecik büyüklüğü nanometre değerine indirildiğinde kolaylıkla deforme olup şekillendirilebilmektedir. 1 nm büyüklüğündeki altın tanesi kırmızı renk göstermektedir. Nano büyüklükteki tozlarla takviyelendirilen kompozit malzemeler çok daha yüksek performans değerlerine ulaşmaktadırlar [Kut ve Güneşoğlu, 2005]. Şekil 4.2.'de süspansiyon içerisindeki nanokristaller gösterilmiştir. Her kavanoz altın veya gümüş içermektedir, ve tanecik boyutları ve şekilleri renk farklılığına sebep olmaktadır [Xin, 2006].



Şekil 4.2. Süspansiyon içerisindeki nanokristaller [Xin, 2006]

Nano ölçeğin çok önemli olmasının sebepleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir [Xin, 2006]:

- Madde içerisindeki elektronların dalgalanma özellikleri nanometre ölçeğindeki değişimlerden etkilenir.
- Kimyasal bileşimi değiştirmeksizin, nanometre uzunluk ölçeğinde maddenin; erime sıcaklığı, mıknatıslanma, şarj kapasitesi vb. temel özelliklerini değiştirmek mümkündür.
- Biyolojik sistemler, örneğin DNA nanometre ölçeğinde düzenlenebilir veya yapay bileşenler DNA'ya yerleştirilebilir, yeni tür yaratılabilir.
- Nano ölçekli bileşenler çok yüksek yüzey alanına sahiptirler, bu da onları; kompozit malzemeler, çekirdek reaktörleri, ilaç dağıtımı ve enerji depolamada kullanmak için ideal yapar.
- Nano ölçekte, yüzey gerilimi ve lokal elektromanyetik etkiler nano yapıları malzemeleri daha sert ve daha az kırılğan yapıda daha önemli hale gelir.
- Çeşitli dış dalga olaylarının dalgaboyu ölçeğindeki etkileşimi malzemelerin öz boyutları için kıyaslanabilir hale gelir, malzemeleri çeşitli optoelektronik uygulamalar için uygun yapar.

Nanoteknoloji çeşitli şekillerde tanımlanabilmektedir: Nanoteknoloji; atomik ve moleküler boyutlardaki yapıların ticari bir amaca hizmet edebilecek şekilde düzenlenmesidir. Nanobilimden yola çıkarak da nanoteknolojinin tanımını yapmak mümkündür. Nanoölçeklerde yapılan bilimsel çalışmalara nanobilim denmektedir. Uygulamaya dönük nanobilime, nanoteknoloji denmektedir[Bozkaya, 2006a; Özbay, 2006].

Nanoteknoloji, maddenin atomik-moleküler boyutta mühendisliğinin yapılarak yepyeni özelliklerinin açığa çıkarılması; nanometre ölçeğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir. Bir başka ifade ile çeşitli araçların, malzemelerin ve yapıların moleküler düzeyde işlenmesi, oluşturulması ve manipüle edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bir başka tanımlamaya göre ise nanoteknoloji; nanometre ölçekli yapıların analizi, imalatı ve nano hassasiyette cihazların geliştirilmesi olarak özetlenebilir. Diğer bir tanımlamaya göre nanoteknoloji; en az bir boyutu nanometre ölçeğinde olan materyal ve aletlerin

tasarımı, sentezi, karakterize edilmesi ve uygulamasıyla ilgili mühendislik ve bilim dalıdır. [Kut ve Güneşoğlu, 2005; Erkan ve ark, 2005; Şenol ve ark, 2005].

Nanoteknoloji; klasik mekanik ve kuantum mekaniği arasında açıkça anlaşılmayan bir konuda uygulama yapan bir teknoloji olarak da tanımlanabilmektedir. Nanoteknolojide, kısmen doğa taklit edilmeye ve eşyalar atomlardan başlayarak inşa edilmeye çalışılır. Bu nedenle şimdi, savurgan ve büyük miktarda kirliliğin eşlik ettiği geleneksel seri endüstriden nanoteknoloji olarak adlandırılan atomik ölçek endüstriye hareket edilmiştir. Nanoteknoloji; oldukça ucuz, oldukça güvenilir, oldukça temiz ve finansal karşılığı oldukça yüksek olduğu için önemlidir [Naschie, 2006].

Yeni bir teknoloji olmamakla beraber, mevcut teknolojilere yeni bir bakışı tanımlamakta olan nanoteknoloji, bir taraftan bilinen ürün ve prosesler için teknik, ekonomik ve ekolojik parametrelerde bir performans artışını ifade ederken; diğer taraftan da mevcut teknolojilerin geliştirilmesiyle üretilen yeni ürünleri ve uygulama alanlarını ifade etmektedir [Süpüren ve ark, 2007b; Namlıgöz ve ark, 2007]. Günümüzde maddeyi nanometre seviyesinde işleyerek ve ortaya çıkan değişik özellikleri kullanarak, yeni teknolojik nano-ölçekte aygıtlar ve malzemeler yapmak mümkün olmaktadır. Örneğin, tarama ve atomik kuvvet mikroskoplarını kullanarak yüzey üzerinde atomları iterek birbirinden ayırmak ve istenilen şekilde dizmek mümkün olmaktadır. Nanoteknoloji, her alanda, daha dayanıklı, daha hafif ve doğaya daha az zarar vererek üretim yapılmasını sağlayacak bir teknolojidir [Özdoğan ve ark, 2006b].

Nanobilim ve nanoteknolojinin odak noktaları, kuantum etkileri gibi temel fizik araştırması içeren konuların yanında, atomik boyutlarda görüntülemeye deneysel yöntemlerin geliştirilmesi, Angstrom altı (10^{-10} metreden küçük) boyutlarda ölçüm yapabilme teknikleri, düşük boyutlarda eş tip malzeme üretebilme, malzeme yapısını atomik boyutlarda kontrol edebilme, kızılötesi ve morötesi radyasyonlara karşı tepkisi kontrol edilebilir malzeme ve özel amaca yönelik aygıt geliştirme yöntemleridir [Özdoğan ve ark, 2006b].

Nanoteknolojinin sağlayacağı imkanlar kısaca şöyle sıralanabilir [www.gelecekindunyasi.com, 2007]:

- Her atomu tam istenilen yere yerleştirme imkanı
- Fizik ve kimya kurallarının mümkün kıldığı hemen hemen her şeyi atom seviyesinde üretebilme imkanı
- Üretim maliyetlerinin hammadde maliyetlerini geçmediği ekonomik üretim imkanı

Nano büyüklük, ürüne yeni ve ilginç özellikler kazandırmaktadır. Ancak bunun yanında, güvenlik açısından da tehdit edici bir unsur olmaktadır. Nanobilim ve nanoteknolojinin sağlık ve çevre açısından tehlike unsuru olabileceği endişesi de mevcuttur. Bu endişelerin temel kaynağını, nano ürünlerin çok küçük boyutları nedeniyle beklenmeyen etkileşimlere neden olabilmeleri tehlikesi oluşturmaktadır [Süpüren ve ark, 2007b]. Büyük nesnelere bağlanan/bağlanan nano malzemeler çevreye yayılmadıkları için sağlık ve emniyet açısından bir risk oluşturmazlar. Ancak nano parçaların ve nano tüplerin üretimi esnasında oluşan malzeme, malzeme üzerine bağlanmadığından serbesttir ve etrafa yayılabilir; bu nedenle de zararlı olabilmektedir. Nano parçaların yenmesi, solunması veya deri yoluyla vücuda girmesi hücrelere zarar verebilir. Nano tüpler de yapısal olarak asbest liflere benzerler, bu nedenle uzun süre fazla miktarda solunduklarında solunum rahatsızlıklarına yol açabilirler [Köse ve ark, 2007].

Nanoteknoloji esaslı ürünlerin özelliklerinin tahmin edilmesi zordur, çünkü nanoteknoloji, klasik fizik bilgisi ve kuantum mekaniği etkileri dikkate alınarak incelenmesi gereken bir konudur. Nanoteknoloji ürünü bir malzemenin üretimi, yeni bir kimyasal maddenin üretimine benzemektedir. Nanoteknoloji ürünlerinin, sağlık açısından potansiyel riskleri sebebiyle, bu konudaki mevcut bilginin geliştirilmesine ve toksikoloji (zehir bilim) ve ekotoksikoloji hakkında, nanoteknolojiye özel bir veri tabanı oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır [Süpüren ve ark, 2007b].

Nanoteknoloji, içinde bulunduğumuz yüzyılda hayatın her alanında devrim niteliğinde değişikliklere sebep olacak önemli bir teknolojik alandır. Geçtiğimiz yüzyılda antibiyotik, plastik, televizyon, nükleer teknoloji ve bilgisayar teknolojisinin sebep olduğu köklü değişimlere benzer şekilde değişimler yaratacağı kabul edilmektedir.

Nanoteknolojide temel olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar [Üreyen, 2006a]:

- 1- Yukarıdan aşağıya (top down) yöntemi: Mikro elektronğin var olan metotlarının nanoteknolojiye uyarlanmış hali biçiminde ifade edilebilecek bu yöntemde küçük özelliklere ulaşmak için daha büyük malzemelerden başlanır (örneğin yarı iletkenler). Ağırlıklı olarak litografik yöntemler kullanılır. Oyma ve işleme yöntemi ile nano yapılar ve şekiller elde edilir.
- 2- Aşağıdan yukarıya (bottom-up) yöntemi: Bu yöntemin özü biyolojiden alınmıştır. Nanobilim, fiziksel bir bilim olarak düşünülür ancak hücre biyolojisi de nano ölçekte çalışmaktadır. Nano ölçekteki aletler yaşayan hücrelerin fonksiyonlarını taşımaktadırlar. Bottum-up yönteminin esası atomlar veya moleküller ile organik veya inorganik yapı inşa etmeye dayanır. Nano yapıları birleştirmek için doğadaki kuvvetlerden yararlanır. Örneğin DNA gibi biyolojik sistemlerin kendi kendine birleşme özelliğinden yararlanılarak karbon nanotüplerin kontrolü sağlanabilir. Kolloid ve sol-jel yöntemleri de bu yönteme dahildir.

Nanoteknoloji, aşağıdan-yukarıya yaklaşımına (bottom-up approach) göre; moleküler boyutta sistemler üreterek daha büyük sistemleri kontrol etmek olarak tanımlanmaktadır. Yukarıdan-aşağıya yaklaşımına (top-down approach) göre ise; moleküler boyutta çalışan çok yüksek oranda küçültülmüş makineler yaratma bilimi olarak tanımlanabilmektedir [Bozkaya, 2006a].

Nanoteknolojinin amaçları aşağıda verilmiştir [bloglar.drcetiner.com, 2007; Bozkaya, 2006b]:

- Nanometre ölçekli yapıların analizi,
- Nanometre boyutunda yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılması,
- Nanometre ölçekli yapıların imalatı,
- Nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesi,
- Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,
- Uygun yöntemler bulunarak nanoskopik ve makroskopik dünya arasındaki bağın kurulması,

- Alışıldandan farklı ve üstün malzeme özellikleri /üretim süreçlerinin elde edilmesi,
- Daha dayanıklı, daha hafif, daha hızlı yapılar,
- Daha az malzeme ve enerji kullanımı.

4.2. Nanoteknolojinin Araçları, Alet ve Yardımcıları

Teknolojideki yeni gelişmeler sonucu elektron- iyon spektroskopisi gibi yüzey analiz teknikleri, optik mikroskop yerine elektron mikroskopisi, tünel elektron mikroskopisi, atomik kuvvet ve iş fonksiyon spektroskopisi gibi moleküler büyüklüklerin görüntülenmesine imkan veren görüntüleme teknikleri, optik sensörler, laser ve fiber optik, nano ve hatta femto saniyede ölçüm yapan yarıiletken dedektörlü ölçü sistemleri ileri teknoloji laboratuvarlarının vazgeçilmez araçları olmuştur.

Çok değişik tür ve sayıda analitik mikroskop ortaya çıkmıştır. Bunlar [Doğan, 2005]:

- 1- Geçirgen ve yansımali optik mikroskop, faz kontrast ve UV mikroskop,
- 2-Geçirgen, yansımali, taramali, elektron emisyon, alan elektron emisyon mikroskopları (TEM, REM, SEM, EEM, FEM);
- 3-İyon mikroskopları: geçirgen iyon, taramali iyon, alan iyon mikroskopları (TIM, SIM,FIM) ;
- 4-Diğer mikroskoplar: Tünelleme, taramali tünelleme, atomik kuvvet, iş fonksiyon, manyetik kuvvet, yakın alan optik taramali, balistik elektron emisyon mikroskopları (TUEM-TM,STM, AFM, WFM, MFM, NSOM, BEEM) gibi onlarca mikroskopik teknik değişik amaçlarla nanoteknolojide kullanılmaktadır.

Elektronik ve bilgisayar endüstrisinde kullanılan kombine kütle spektroskopisi teknikleri (GF-ICP-MS, SS-MS, Laser-MS, ESCA-MS gibi) ile ESCA, SIMS, NPMS, TXRF ve değişik elektron mikroskopisi başta olmak üzere yüzey analiz ve derinliğine profil analizi teknikleri nanoteknolojide de en çok kullanılan analiz teknikleridir.

Nanoteknolojinin araştırılmasında, ürünlerin ve sistemlerin kontrolünde kullanılan en önemli araçlar; taramalı prob mikroskopları, özellikle atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobudur. Nanoteknolojideki gelişim, prob mikroskoplarının gelişimini hızlandırdığı, kullanımını yaygınlaştırdığı gibi, bu cihazları nanomaniplatör olarak (mikrorobot) kullanarak nanoteknolojinin uygulanmasını artırıcı etki yapmıştır. Bu yönde özellikle biyolojik ve bilimsel uygulamalar yaygınlaşmaktadır [Doğan, 2005].

Bu çalışma kapsamında taramalı tünelleme mikroskobunun (STM), atomik kuvvet mikroskobunun (AFM) ve taramalı hall aygıtı mikroskobunun (THAM) çalışma prensipleri anlatılacaktır.

Daha küçük boyutlarda araştırma çalışmalarına başlanmasıyla birlikte yapılan çalışmaları izlemek zorlaşmıştır. Önce taramalı tünelleme mikroskobunun (STM) daha sonra atomik kuvvet mikroskobunun (AFM) keşfi, yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesine, atomsal düzeyde tepkimelerin izlenmesine olanak tanımıştır [Özdoğan ve ark, 2006b].

Kuantum tünelleme teorisine göre, bir elektronun potansiyel enerjisi kendi toplam enerjisini aştığı zaman klasik fiziğe göre imkansız olan bölgeleri delip geçebilir (“tünelleme”). Tünelleme mikroskobunun çalışma ilkesi, çok önemli diğer buluşlar gibi aslında oldukça basittir. Görüntüleme amaçlı kullanılan bir STM sistemi Angstrom düzeyinde hareketler yapabilen mekanik, ve hareketleri kontrol eden ve verileri toplayıp işleyerek görüntü elde edilmesini sağlayan elektronik ve yazılım birimlerinden oluşur. Sistemde atomik boyutta sivri uca sahip bir iğne (örneğin Pt/Ir) taranacak yüzeye yaklaştırılır, (elektronları tünelleyebilmesi için bu uzaklığın 10 Å'dan küçük olması gerekir, ve iğneye gerilim uygulanır (gerilimin değeri genellikle mV-3V aralığındadır), ve elektron akımı (oluşan tünelleme akım şiddeti genellikle pA-nA aralığındadır) sağlanır. İğne yüzeye 0,3-0,4 nm kadar yaklaştığında iğneden elektronlar (iğne yüzeye değmediği halde) atlamaya başlamaktadırlar. Tünelleme denen bu olayda, geçen akım, yani birim zamanda iğneden yüzeye akan elektron sayısı, iğneyle yüzey arası uzaklığın üstel bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon o kadar hızlı değişir ki, iğne yüzeye 0,1 nm daha yaklaştırılırsa, tünelleme akımı on kat artar. Bir geri besleme devresi akımı sabit tutmak için sürekli olarak iğneyle yüzey

arasındaki mesafeyi korumaya çalışır. İğneyi 0,001 nm duyarlılıkla kontrol etmek için piezoelektrik kristaller kullanılır. Bu malzemeler voltaj uygulandığında çok az miktarda uzayıp kısılma özelliğine sahiplerdir. Bu geri besleme devresi çalışırken iğne yüzeyde yine piezo malzemelerle taranırsa, iğnenin aşağı yukarı hareketi yüzeydeki atomları izleyecektir. Çünkü atomların çevresinde elektron yoğunluğu genellikle daha fazladır. Bir bilgisayar denetiminde çalışan bu mikroskoplarda alınan atomların pozisyon bilgileri, bilgisayarda işlenip, 2 ve 3 boyutta gösterilerek atomlar görünür hale getirilirler [Özdoğan ve ark, 2006b; Pişkin ve ark, 2006; Oral, 2005].

Bu güçlü mikroskoplarla ilk defa atomları yüzeyde tek tek görüntülemek, daha sonra atomları, molekülleri yüzeyde istenildiği gibi tek tek dizmek, tek atom üzerinde deneyler yapmak mümkün olmuştur [Oral, 2005].

STM'lerin tek kusuru, yalnızca iletken ve yarıiletken yüzeylerde atomları görüntüleyebilmeleri olmuştur. Yalıtkanlarda çalışmamışlardır. 1986'da Binnig, ucunda tek atom olan iğneyle yüzey atomları arasındaki kuvveti ölçebilecek kadar duyarlı bir cihaz olan atomik kuvvet mikroskobunu (AFM) geliştirmiştir. AFM atomik boyutta sivri bir iğnenin yüzeyi taraması ilkesine dayanan bir görüntüleme yöntemidir. Angstrom düzeyinden 100 mikrona kadar yüzey topografisini görüntülemek mümkündür. STM'den farklı olarak, AFM'de yüzeyi tarayan iğne ile yüzeydeki atomların (moleküllerin) arasında oluşan kuvvetlerin ölçülmesi söz konusudur. AFM'de ölçülen kuvvetler piko-Newton ile nano-Newton düzeyindedirler. Sivri iğneler çok küçük silikon yaylar üzerine mikrofabrikasyon teknolojisiyle yerleştirilmektedirler ve iğneyle yüzey arasındaki kuvvet nedeniyle bükülen yayın sapması, yani kuvvet, genellikle yayın arkasına odaklanan lazer ışığının sapmasının, bir fotodetektör sayesinde çok duyarlı bir şekilde ölçülmesiyle belirlenmektedir. Bir geribesleme devresi yine STM'deki gibi iğneyle yüzey arasındaki kuvveti sabit tutar; iğne yüzeyde taranırken ölçülen iğne hareketi, yüzeyin fotoğrafını atomik çözünürlüğe kadar verebilmektedir. AFM ile atomik çözünürlük şu anda yalnızca ultra yüksek vakumda elde edilebilmektedir [Demir ve ark, 2006; Pişkin ve ark, 2006; Oral, 2005].

AFM'nin başarısı, başka mikroskop çeşitlerinin doğmasına yol açmıştır. Manyetik kuvvetleri ölçen manyetik kuvvet mikroskobu (MKM), sürtünme

kuvvetlerini ölçen sürtünme kuvveti mikroskobu (SKM), optik mikroskopların çözünürlüğünü 10 kat artıran yakın alan optik mikroskobu (YAOM), yüzey sıcaklık mikroskobu (YSM) ve yüzeyin manyetik alan haritasını çıkaran taramalı Hall aygıtı mikroskobu (THAM) benzer yöntemler kullanarak geliştirilmişlerdir. Bir uçla yüzey arasındaki fiziksel etkileşimi ölçtükleri için bu mikroskop ailesine “Taramalı Uç Mikroskopları (TUM)” adı verilmiştir.

TUM’dan olan taramalı Hall aygıtı mikroskobu (THAM), çok küçük bir nano-Hall algılayıcısı yüzeye yaklaştırılıp yüzeyde dolaştırıldığında yüzeyin manyetik alan haritasını, manyetik alanı etkilemeden ve manyetik alan şiddetini doğrudan ölçerek yapabilmektedir. THAM ile 50 nm’ye kadar çözünürlük elde edilebilmekte ve çok duyarlı manyetik alan ölçümleri yapılabilmektedir [Özdoğan ve ark, 2006b].

TUM’lar, büyük bir araştırma alanı oluşturup diğer bilim dallarına önemli katkılarda bulunmuşlardır. Nanoteknolojinin gelişmesinde büyük bir kilometre taşı olan TUM’ların potansiyeli hala tam olarak ortaya çıkmamış durumdadır. Bu alandaki önemli gelişmelerse, bilim ve teknolojinin ilerlemesine vazgeçilmez katkılar sağlayacaktır [Oral, 2005].

TUM’lar vakum, yüksek basınç, sıvı, hava, düşük ve yüksek sıcaklık gibi ortamlarda rahat çalışabilmekte ve TEM, SEM gibi mikroskoplara göre büyük avantajlar sağlamaktadırlar. Elektron mikroskobu, difraksiyon yöntemleri, spektroskopik araçlar, taramalı probe mikroskobu nanoyapıların incelenmesini mümkün kılmaktadırlar [Özdoğan ve ark, 2006b].

Prob mikroskopları, nanomanipulatör olarak kullanılabildikleri için bu tezde nanomanipulatör kavramından bahsetmenin gerekli olduğu düşünülmüştür. Şekil 4.3.’te nanomanipulatör gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Nanomanipulatör [yunus.hacettepe.edu.tr, 2007]

Nanomanipulatör (NM); bir insana molekülleri görme dokunma ve değiştirme imkanı tanıyan sanal gerçeklik arabirimidir. Virüs, DNA iplikleri ve nanotüpleri modifiye etmek amacıyla kullanılabilir. NM datayı almak için AFM kullanılmaktadır. Sanal gerçeklik eldivenleri ve gözlükleriyle kullanıcının örneğin yüzeyini görmesini ve hissetmesini sağlamaktadır. Böylelikle kullanıcı eliyle mikroskopik objeleri tutabilir, itebilir, hareket ettirebilir ve sonuçta çıkan kuvveti, etkileşimi hissedebilir. Böyle bir teknolojiyle gen transferi, enzim değişimi, jeller ve yüzeyler üzerinde lokal değişiklikler yapabilmek mümkün olmaktadır [yunus.hacettepe.edu.tr, 2007].

4.3. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

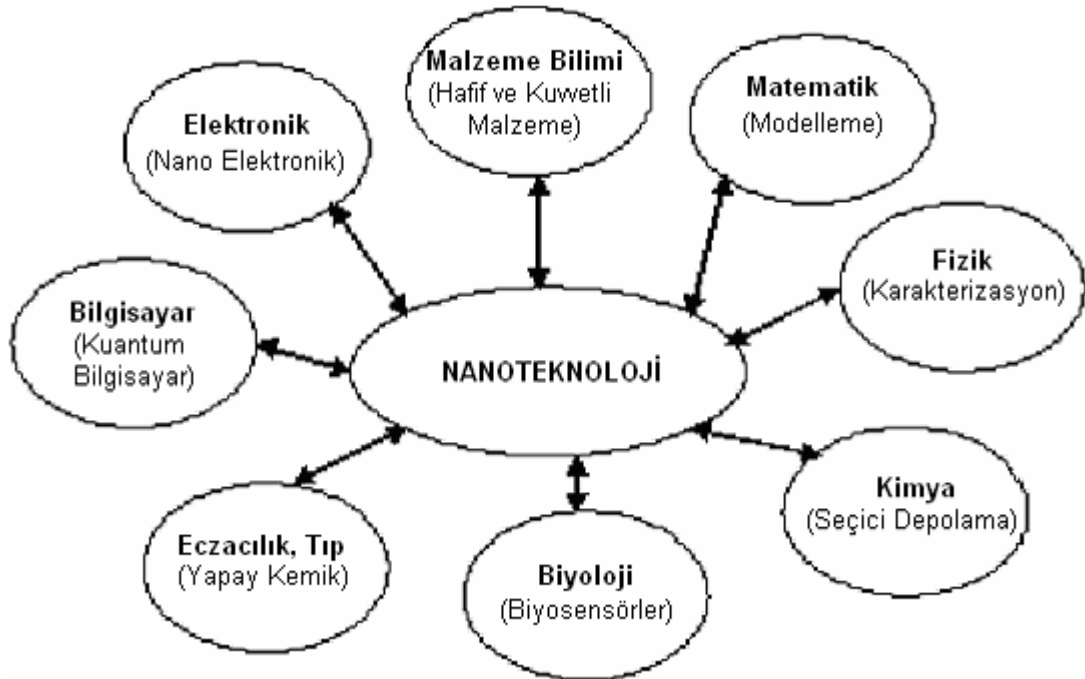
Nanometre ölçeklerinde malzemelerin sahip oldukları üstün fiziksel özellikleri kullanarak çeşitli alanlarda (bilgi ve iletişim, elektronik, biyoteknoloji, farmakoloji, tıp, savunma, tekstil, makine ve inşaat sanayileri vb) teknolojik devrim niteliğinde yeni ürünler elde edilebilmektedir ve bu ürünlerden ciddi gelirler elde edilmektedir. Örnek olarak otomobil sanayisinde kullanılan kompozit malzemelerdeki “nanokiller” ve telekomünikasyon alanında “kuantum kuyu lazerleri” gösterilebilir [Özdoğan ve ark, 2006b; Başaran; 2002].

Uygulama alanlarında nanoteknolojinin kapsamı şu iki konu ile ilişkilendirilir [Kut ve Güneşoğlu, 2005]:

1. Pozisyonel (moleküler) kontrol: Ürün ve yan ürünlerin moleküler düzeyde kontrolü esasına dayanır. Endüstriyel ya da doğal tüm ürünlerin özellikleri atomların nasıl düzenlendiklerine bağlıdır. Günümüzün makroskobik üretim yöntemleri ise moleküler düzeyde çalışmaya oldukça yetersiz kalmaktadırlar. Moleküler nanoteknoloji, moleküler kimya ve fizik ile mekaniksel dizayn, yapısal analiz, bilgisayar bilimi, elektrik mühendisliği ve sistem mühendisliğinin mühendislik temellerini birleştiren, yeni gelişen disiplinler arası bir sahadır. Moleküler üretim, istenen ürünlerin eldesi için atomların tertip ve dizimini amaçlayan bir metottur.

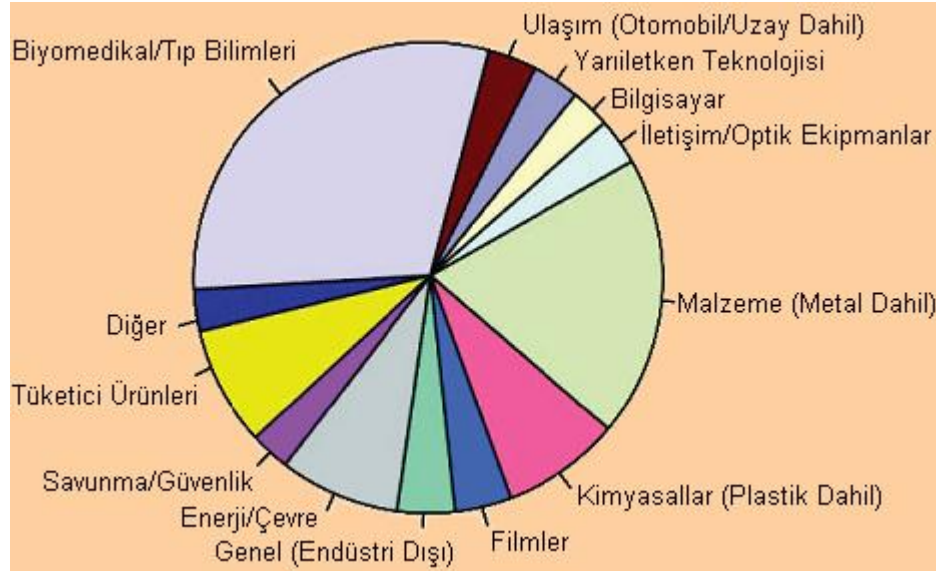
2. Kolay tekrarlanabilirlik: Nanoteknolojinin kritik bir diğer özelliği ürünlerin teminini ucuzlatması olmaktadır. Düşük maliyetli üretimin gerçekleşmesi için nanoteknoloji uygulamasının kolay dizayn edilmesi ve kolay tekrarlanırlı olması gerekmektedir. Atomik özellikli ürünler, mukavemet, sertlik, hız ve verimlilikte yüksek oranlar gösterirler, yüksek kaliteli ve düşük maliyetlidirler.

Nanoteknolojinin kullanım alanları Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Nanoteknolojinin kullanım alanları [Özdoğan ve ark, 2006b]

Şekil 4.5.'te 2004 yılı içerisinde nanoteknoloji tabanlı AR-GE yapan, üreten, satan ve kullanan şirketlerin alanlara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 4.5. 2004 Yılı içerisinde nanoteknoloji tabanlı AR-GE yapan, üreten, satan ve kullanan şirketlerin alanlara göre dağılımı [Bayındır, 2007b]

Şekil 4.5.'ten görüldüğü gibi, nanoteknoloji araştırmaları iki konuda, malzeme ve tıp, hızlı bir gelişme göstermiştir. Kısa vadede, insanlığın hizmetine sunulacak ürünlerin bu alanlarda olması beklenmektedir [Bayındır, 2007b]. Bölüm 4.3.'ün alt bölümlerinde nanoteknolojinin çeşitli kullanım alanları hakkında bilgiler verilecektir. Nanoteknolojinin tekstildeki uygulamaları 5. bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

4.3.1. Malzeme ve İmalat Sektörü

Malzemelerin atomik ve moleküler boyutlardan başlayarak inşa edilmesi, konvansiyonel metotlar ile elde edilen malzemelere oranla daha sağlam ve hafif maddelerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu malzemeler, daha düşük hata seviyeleri ve eşsiz dayanıklılık güçleri ile mevcut birçok endüstriyel süreç için devrimsel yenilikler getirmektedirler. Benzersiz ve alışılmamış özellikleri ile nano

tüpler ve kaplama malzemeleri imalat yöntem ve tekniklerinin gelişmesine olanak sağlayacaklardır [Özdoğan ve ark, 2006b].

Şekil 4.6.'da nanomalzemelerin geleneksel endüstrilerde uygulamaları verilmiştir.

Nanomalzemelerin Geleneksel Endüstrilerde Uygulamaları		
	Nanoteknoloji Katma Değeri	Nano Ürünler
Plastik Endüstrisi	— Nanoparçacık, yüzey modifikasyonu, dispersiyon teknolojisi	→ Termal insüstasyon, anti UV, anti bakteriyel, solmayan plastikler
Sentetik Elyaf Endüstrisi	— Nanofonksiyon formülasyon teknolojisi	→ Yüksek mukavemetli, anti bakteriyel, aşınma azaltıcı, iletken, gaz geçirgenliği düşük, çevreye duyarlı
Kaplama Endüstrisi	— Nanogözenekli yapı teknolojisi	→ Aşınma dayanımlı, anti bakteriyel, UV dayanımlı, yüksek ısıda kararlı, alev geciktirici ve yüksek ısısal iletkenlik özellikli
Yapı Endüstrisi	— Nano-arayüz muamele teknolojisi	→ Kendini temizleyen, ısı izolasyonlu, anti-sis malzemeler
Kağıt Endüstrisi	— Kendinden düzenlemeli proses	→ Gıda koruyucu, yüksek kaliteli baskı, yüksek mekanik özellikli filmler
Metal Endüstrisi	— Nanoparçacık kaplı katmanlar	→ Özel amaçlar için tasarlanmış metaller
Kimya Endüstrisi	— Nanokimyasal reaksiyon mekanizma kontrol teknolojisi	→ Nanokatalizörler, yüksek ısısal iletkenlik yüzey kaplamalar, sensörler

Şekil 4.6. Nanomalzemelerin geleneksel endüstrilerde uygulamaları [Menceloğlu, 2007]

Yakın bir gelecekte akıllı yüzeyler hemen her yerde insanların karşısına çıkacaklardır. Suyu ittiğinden dolayı silecekleri gerektirmeyen otomobil camları, buğulanmayan banyo aynaları ve araç iç camları, kendi kendini temizleyen bina dış cepheleri, tıkanmayan stent çeperleri, yosun ve deniz hayvanlarının yapışamadığı gemi dış yüzey boyaları, ve sürtünmesiz yüzeyler akla gelen ilk akıllı yüzey

uygulamalarından bazılarıdır. Bu uygulamaların ekonomiye katkısı milyarlarca dolar olacaktır.

Suyu seven (süperhidrofilik) ve suyu iten (süperhidrofobik) yüzeyler birçok kritik uygulamada kullanılmaktadırlar. İleride giysiler, camlar, betonlar, boyalar, elektronik aletler, iç ve dış cephe kaplamaları, dış etkenlere maruz kalacaklardır ve temiz kalması istenen her şey süperhidrofobik ve süperhidrofilik parçacıklar içerecek ya da tamamen bunlarla kaplanmış olacaklardır. Reaksiyonlar bu yüzeylerde gerçekleştirilerek daha yüksek verim sağlanabilir. Sürtünmeden dolayı kaybolan enerji minimuma indirilebilir ve böylelikle yakıttan da tasarruf sağlanabilir. Birçok ülke sürtünme ve aşınmanın neden olduğu kayıpların azaltılmasına yardımcı olacak yeni nano-malzemelerin araştırılmasına kaynak aktarmaktadır [Bayındır, 2007b].

İleri seramikler, boyalar ve renk maddeleri, ultra ince kaplamalar, astar (boya) ve katkıları, korozyon koruyucuları, katalizörler, yapışkanlar ve biyoygun malzemeler gibi nanomalzemelerin pek çok uygulamaları bugün tıp, telekom, inşaat, elektronik, uzay, otomobil ve savunma gibi sanayilerde bulunabilirler. Nanotaniciklerin daha iyi bilinen uygulamalarından birisi, halen piyasaya girmiş olan nanoölçekli UV soğurucuların kullanıldığı güneşliklerdedir. Bugün kullanılan diğer uygulamalar arasında araba ön camlarındaki çizilmeye dayanıklı kaplamalar ve sanayi işlemlerindeki katalizörler vardır [Başaran, 2002].

Gerek nanoteknoloji sayesinde yeni bir malzeme buluşuyla gerekse doğada var olan bazı malzemelerin (örneğin topraktaki nanopartiküller-kil, zeolit, imogolit) kullanılması suretiyle nano ölçekte farklı özellikler gösteren kompozit malzemelerin kullanımı mümkün olabilecektir. Bunlar arasında saydamlık, azalan ağırlık, artan dayanım özelliklerini gösteren malzemeler, giyenin sağlık ve fiziki durumu hakkında uyarılar veren akıllı kumaşlar örnek olarak verilebilir [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Malzemeleri atom atom tasarlama ve üretme kabiliyeti çelikten iki defa sert, iki defa elastik ve iki defa kuvvetli olan “Vitreloy” adındaki yeni malzemedeki gösterilmiştir. Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü’nün (ABD) 1993’teki keşfi, golf sopasından savunma aletine kadar bir dizi alanda piyasaya girmiş durumdadır [Başaran, 2002].

Binalara ve köprülere yüzyıllardır destek sağlayan teknikler, şimdi yeni bir vücut zırhının geliştirilmesine esin kaynağı oluşturmaktadırlar. Zırhı oluşturmakta kullanılan bu sert, ancak hafif malzeme, binaları ve köprüleri ayakta tutan, üçgenlerden oluşan takviye iskeletinin mikroskobik bir versiyonudur. Malzemenin üretildiği Massachusetts Institute of Technology'nin Institute for Soldier Nanotechnologies bölümünde görevli bilim adamları bununla askerler için zırh, insansız hava taşıtları ve uzay araçları için hafif iskeletler geliştireceklerini belirtmektedirler. Ekip, bu malzemeyi üretirken, organik bir eriyik içinde eritilmiş ışığa duyarlı epoksi reçinesinin moleküler yapı taşlarını kullanmıştır. Bu moleküller ışığa maruz kaldıkları zaman birbirlerine bağlanarak 0.2 ile 0.5 mikrometre genişliğinde ve 1.1 mikrometre uzunluğunda destekler oluşturmaktadırlar. Bilim adamları, birbirinin üzerine binen 4 adet lazer ışınından yararlanarak çok karmaşık üç boyutlu bir destek ağı kurmayı başarmışlardır. Birkaç mikrodestek katmanından oluşan zırhın, patlayan bombaların dalgalarından, mermilerden veya şarapnelden yansıyan enerjiyi emeyeceği düşünülmektedir [www.emo.org.tr, 2007].

NanoFilm Ltd tarafından üretilen Clarity Fog Eliminator, nanoteknolojiden yararlanılarak üretilmiş ultrince bir kaplama malzemesidir. Cam malzemenin üzerine uygulandığında koruyucu, görüntüyü netleştiren bir tabaka oluşturmaktadır. Optik merceklerin üzerinde kir ve tozu barındırmamaktadır, el ile temas sonucu yağlı bir iz oluşumunu engellemektedir. Özellikle gözlük camları ve fotoğraf makinesi mercekleri için önerilmektedir [www.emo.org.tr, 2007].

4.3.2. Elektronik ve Bilgisayar Teknolojileri

Başlangıçta nanoteknoloji araştırmaları özellikle elektronik sanayisinde yoğunlaşmıştır. Elektronik araçların nanometre ölçeklerinde elde edilmeleri ile halen kullanılan sistemlerin işlem güçleri ve kapasiteleri birkaç kat artacaktır. Elektronik sektöründeki başarılı uygulamalar ve elde edilen bilgiler pek çok farklı disiplin ve sektörün konu ile ilgili çalışmalarına önderlik etmiştir.

Nano ölçekte ortaya çıkan malzeme özellikleri çok küçük hacimlere bilgi işleme ve depolama konularında araştırmaları yoğunlaştırmışlardır. Nanoteknolojinin

kullanım alanlarından biri olarak önerilen quantum bilgisayarların geliştirilmesi ile günümüzün en modern bilgisayarları olan Pentium bilgisayarlar ile kıyaslanamayacak seviyelerde işlem gücü elde etmek mümkün olacaktır [Üreyen, 2006a; Özdoğan ve ark, 2006b].

Daha yüksek kapasiteli DVD'ler, yüksek çözünürlükte optik mikroskoplar veya daha hızlı işlemciler yapılmasının önünde engel oluşturan "kırınım sınırı (diffraction limit)" ancak laboratuarlarda kurulan oldukça hassas ve pratik kullanımı olanaksız kılan karmaşıklığındaki özel yapılarla aşılabilmekteydi. Kırınım sınırı, kullanılan ışığın merceklerle ancak kendi dalga boyunun yarısı kadar yarıçaplı bir alana odaklanabileceğini belirten bir sınırdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla bu sınırın aşılabildiği ticari uygulamaların geliştirilmesi olanaklı hale gelmiştir. Piyasadan bulunabilecek sıradan bir lazer önüne nano ölçülerde "optik anten" eklenerek kızıl ötesi ışığın 40 nanometrelik (dalga boyunun 1/20'si) bir alana odaklanması sağlanmıştır. Bu gelişme günümüzdeki DVD kapasitesini 750 katına çıkaracak (3.6 terabyte) yazılabilir DVD'lerin geliştirilmesinin önünü açmıştır. Aynı teknoloji çok yüksek çözünürlükte optik mikroskoplar yapılmasına da imkan sağlamış durumdadır.

Nanofabrikaları gerçekleştirmek için gereken bilgisayar destekli tasarım (CAD) araçları da ortaya çıkmaya başlamıştır. Bunlardan biri de NanoEngineer-1'dir. Alanında bir ilki temsil eden NanoEngineer-1 tasarımcılara moleküler düzeyde 3 boyutlu modelleme olanağı sunmaktadır. Programın 2007'de ilk sürümünün çıkması beklenmektedir. Aynı firmanın 2006 yılında satın alarak aileye katmış olduğu NanoHive-1 ise bir ileri düzey nanosistem simülasyon programıdır. Bu program "açık kaynak" yaklaşımıyla geliştirilmiştir ve firmanın sitesinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir [www.teknoport.com.tr, 2007].

100 nanometrenin altında kalan entegre devreler nanoelektronik olarak anılmaktadırlar. Nanoelektronik, bir çipteki transistör yoğunluğunu artırmak için bilinen yapıların veya cihazların sürekli minyatürleşmesi üzerine odaklanmış durumdadır. Son yıllarda elektronik ve iletişim pazarındaki büyümenin çoğu, bu sayede elde edilmiştir ve böylece daha küçük ve daha güçlü cihazlar ortaya çıkmıştır. Bu teknoloji ile üretilecek ve nanometre boyutlarında oluşan kuantum etkilerini

temel alan tek-elektron transistörler, tünel diyotlar ile moleküler elektronik aygıtların silikon sonrası teknolojilerin temel taşlarını oluşturacağı öngörülmektedir[Üreyen, 2006a; Başaran, 2002]. Elektronik talaşların minyatürleştirilmesi tamamen silikona bağlıdır, fakat sınıra ulaşılmıştır ve neredeyse silikon talaşlar biraz daha küçük yapılamayabilirler. Nanoteknoloji, nanotüp olarak adlandırılan yeni bir malzeme vermiştir, nanotüp silikonun yapabildiğinin hepsini ve daha fazlasını yapabilmektedir ve boyutu oldukça küçülebilmektedir [Naschie, 2006].

Nanoteknoloji, bilimsel disiplin almadan önce de bilgisayar teknolojisinin devamlı küçülen çiplerinde ve mikroeletromekanik sistemlerde (MEMS) kendini göstermiştir. MEMS aygıtları, mikroskobik elektronik ve mekanik bileşenleri bir araya getiren minik düzenekler olarak tanımlanabilirler. MEMS pazarı halen yılda 10 milyar dolar kazandırmaktadır ve bu sistemlerin mikro düzeyden (MEM) nano düzeye (NEM) geçişinde ve bunların biyolojik sistemlerle entegrasyonunda devrim niteliğinde bilimsel aşamalar beklenmektedir [Kut ve Güneşoğlu, 2005]. Oldukça küçük kuvvetleri ölçebilen nanoeletromekanik (NEMS) rezonatörler geliştirilmiştir. Rezonatörler, iki altın elektrot arasında 1.2 ile 1.5 mikron genişliğindedirler ve 500 nm derinliğinde bir hendek üzerinde asılmış tek bir nanotüpten oluşmaktadırlar. McEuen ve ekibi, yalnızca kapı potansiyelini (gate voltage) değiştirerek 3'ten 200 megahertze kadar çok geniş aralıkta nanotüp rezonans frekansını hem ayarlamayı hem de ölçmeyi başarmışlardır. 0.5 nm gibi çok küçük hareketlerin ölçülmesiyle kuvvet ölçümleri, bugüne kadar oda sıcaklığında ölçülen en iyi değerden 10 daha hassas biçimde yapılmış bulunmaktadır [www.emo.org.tr, 2007] .

Bunlara ek olarak elektronik araçlar için geliştirilen sensör, gösterge sistemleri ve sinyal iletimi alanlarında ciddi ilerlemelerin kaydedilmesi beklenmektedir [Özdoğan ve ark, 2006b]. Nanobuzdolaplarına benzer birçok nanoteknoloji uygulaması vardır, nanobuzdolapları koku üreten mikropları yok eder ve nano ve akıllı elbiseler de vardır. Nano buzdolapları ve nano akıllı elbiseler şimdiden piyasada olan uygulamalardan bazılarıdır. Akıllı elbiseler sensörlere bağlıdır, sensörler nanogüvenlik araştırmasında birçok diğer uygulamalara sahiplerdir [Naschie, 2006].

Nano-ölçekte gözlemek, ölçmek ve üretmek için uygun aletler olmadan nanoteknoloji kullanılamaz. Nanocihazları ve etkileri inceleme, ölçme ve karakterize etme yeteneğine ve üretim sırasında kalite kontrolünü izlemeye ihtiyaç vardır. Örnek olarak fiziksel, biyolojik ve kimyasal parametreleri izlemek için sensörler ve kontrollü nanoölçekte hareket gönderebilmek için dönüştürücüler verilebilir [Başaran, 2002].

4.3.3. Tıp ve Sağlık Sektörü

Nanoteknoloji, yaşayan sistemlere moleküler seviyelerde müdahale etme olanağı yaratabilecektir. Yaşayan organizmalar ile etkileşime geçebilecek boyutlarda araçlar üretilmesi ile birçok yeni teşhis ve tedavi yöntemlerinin gelişmesi olanaklı hale gelecektir. Sadece hastalığın bulunduğu ve/veya yayıldığı bölgelere saldırarak ilaç veren makineler, insan vücudu içinde hareket edilmesine olanak sağlayan teşhis araçları, nano-teknolojinin tıp ve sağlık sektörü üzerindeki potansiyel uygulamaları örneklerinden bazılarıdır [Özdoğan ve ark, 2006b]. Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen nanostent, kalp hastalarının iyileşme sürecine yardımcı olur ve kanın pıhtılaşmasını önler [Naschie, 2006].

Fareler üzerinde yapılan deneylerde son derece ciddi yaralanmalarda bile kanamayı anında durdurduğu belirlenen nano ölçekte protein parçalarından (peptitler) oluşan maddenin insanlarda kullanımına yönelik çalışmalardan olumlu sonuçlar alınması beklenmektedir. Ameliyatlar, trafik kazaları ya da savaş ortamındaki yaralanmalarda kanamayı hızla durdurarak hayat kurtaracağı öngörülen madde, kanama olan bölgenin üzerine sürüldüğünde dışarıdan şeffaf görünen, liflerden oluşan bir ağ tabakası oluşturmaktadır. Maddenin gözlemlenen diğer bir etkisi de beyin veya omurilik dokusundaki hasarlı bölgelerin/yaraların iyileşmesini hızlandıran bir ortam oluşturmaktır [www.teknoport.com.tr, 2007].

Harvard Üniversitesi'nden Prof. Charles Lieber, kötü huylu hücrelerle bağlantılı proteinlerin eser miktardaki izlerini saptayarak, prostat kanserinin yayıldığı yeri işaretleyen silikondan bir nanokablo yapmıştır. Bahsedilen nano kablo, 10 nanometre eninde, 1000 nanometre boyunda ve Prostat Spesifik Antijeni'ne (PSA)

bağlanan antikora kaplanmıştır. PSA, prostat kanserinin bir göstergesidir. Kanda PSA varsa kablodaki antikorlara bağlanacak, bu da kablonun iletkenliğini değiştirecek ve hastalık tanısı koyan bir sinyal yollayacaktır. Geliştirilen nanokablo, geleneksel testlerde belirlenen miktarın dörtte biri kadar PSA düzeylerini saptayabilmekte ve derhal sonuç vermektedir. Şimdiden bir prototip geliştiren Lieber'in ekibi, az sayıda bakteri hatta virüsü ortaya çıkaran nano kablolar üstünde çalışmaktadır. Antikorlar, virüslerde bulunan proteinlere, bakteri ya da patojenlere karşı üretildiklerinden, nano kablolar her çeşit kanser türünü ve şarbon gibi biyolojik silahları saptayabilirler [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Nanoteknoloji ürünleri özellikle yapay organ olarak, doku mühendisliğindeki pek çok uygulamada ve kontrollü ilaç salınım sistemlerinde uygulama alanı bulabilmektedirler [Süpüren ve ark, 2007b]. Nanoteknoloji, doğru ilacın doğru zamanda doğru yere gönderilmesi sözünü vermektedir. Böylece düşük doz verilmesi ve az yan etkiler gibi avantajlar sağlanacaktır, bu özellikle kanser ilaçları için arzu edilen bir durumdur. İlave olarak teşhis tekniklerindeki hız, doğruluk ve fiyatlardaki nanoteknolojinin kolaylaştırdığı ilerlemeler özellikle belli bir hasta ya da genetik profile ilaç verilmesini mümkün kılacaktır [Başaran, 2002].

4.3.4. Havacılık ve Uzay Araştırmaları

Havacılık ve uzay araçları çok maliyetli teknolojilerdir. Bu araçların imalatı sırasında kullanılan malzemelerin ağırlığı, maliyetlerin artışında çok önemli bir yer tutmaktadır. Nanoteknoloji bu malzemelerin ağırlığını önemli ölçüde azaltırken, maliyetlerin düşürülmesini de sağlayabilecektir. Ayrıca çekme direnci çelikten kat kat yüksek nano tüpler sayesinde dünya yüzeyinden atmosfere kadar yükselebilecek yapılar inşa edilmesi potansiyel uygulama alanları içinde yer alabilmektedir. Böylece uzay araştırma maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan fırlatma maliyetleri düşürülebileceklerdir [Özdoğan ve ark, 2006b].

4.3.5. Çevre ve Enerji

Nano malzemelerin ve nanokompozitlerin fosil yakıt endüstrilerinin verimliliğini geliştirme potansiyeli bulunmaktadır. Nanokompozitlerin yaygın olarak kullanılması ile daha yüksek verimliliğe sahip motorların ve dolayısı ile daha temiz, çevre dostu ulaşım sistemlerinin kurulması mümkün olacaktır [Özdoğan ve ark, 2006b].

Tarımsal materyalin faydalı ürünlere dönüştürülmesi ve bu sayede çevrenin korunumu nanoteknolojinin gelişiminde önemli ve heyecan verici bir potansiyel alan olarak görülmektedir. Günümüzde özellikle bitkisel yağların biyo-yakıtlara ve endüstriyel çözeltilere dönüştürülebilmesinde ihtiyaç duyulacak nano-katalizörlerin geliştirilmesi ve tasarımı konusunda ciddi çalışmalar yapılmaktadır [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Enerji üretimi ve depolanması alanında etkin hidrojen depolama için nanoteknoloji ayrıca yalıtım, nakil ve aydınlatma alanlarında ciddi enerji kazanımı sağlamaktadır [İlgaz, 2006].

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde kuramsal olarak en büyük potansiyele sahip olan enerji kaynağı hiç kuşkusuz güneştir. Ancak günümüzde güneş pili teknolojisinin maliyetinin yüksek olması “ucuz” ve “tükenmez” enerji hayallerinin gerçeğe dönüşmesini engellemektedir. Güneş pillerinde, üzerine düşen güneş ışığını elektrik akımına dönüştüren yarı-iletken (silikon) hücrelerin enerji dönüşüm verimi oldukça yüksektir. Ancak silikon hücrelerin üretim maliyetlerinin de yüksek olması nedeniyle güneş pilleri halen pahalı çözümler arasında yer almaktadırlar. Silikon yerine kullanılabilen üretimi daha ucuz diğer yarı-iletken malzemelerle ise silikonla elde edilen verime ulaşamamaktadır. “Kuantum noktaları” olarak adlandırılan birkaç nanometre genişliğinde yarı-iletken kristallerle oluşturulacak yeni bir çözüm ile, fosil yakıtların kullanımıyla elde edilen elektrik enerjisi maliyetine denk bir üretim maliyetine inilebileceğine inanılmaktadır [www.teknoport.com.tr, 2007].

4.3.6. Biyoteknoloji ve Tarım

Tıp ve sağlık sektörlerinde uygulanabilecek teknolojilerin genişletilmesi ile biyoteknoloji, ilaç ve tarım sektörleri de ürünlerinde bu teknolojileri uygulayacaklardır. Yeni ilaçlar, gübreler, daha besleyici ve hastalık direnci yüksek bitkiler veya hayvanlar birçok üniversite ve özel sektör kuruluşunun araştırma alanları içerisinde yer almaktadır. Bugün bile bitki ve hayvan genlerinin düzenlenmesi ile ortaya çıkartılmış olan bazı ticari ürünlere rastlamak mümkündür [Özdoğan ve ark, 2006b].

Nano-biyoteknoloji, doğanın kullandığı moleküler cihazları ve makineleri anlamaya, uyarlamaya ve uygulamaya odaklanmış durumdadır. Protein katlanması (folding) gibi biyolojik işlevler; cihazlar ve sistemler moleküler düzeyde nasıl bir araya getirilebilir amacıyla ipuçları aramaktadırlar. Nano-biyoteknoloji alanındaki diğer bir çalışma, yüzey özelliklerini işleyerek ve böylece onları biyouygun yaparak vücudun reddetme ihtimalini azaltmak için doku mühendisliği ile tıp ürünlerindeki gelişmeleri içermektedir [Başaran, 2002].

Nanoteknoloji, birkaç molekülü saptayabilen bir dedektör geliştirmek konusunda yardımcı olabilir. Böylece “hassas burunlu” cihazlar üretilebilir. Nano ölçekte duyargalar yardımıyla, tarım ve gıda sistemlerindeki çok düşük miktarlarda olsa dahi kimyasal kontaminasyonun, patojenlerin veya virüs partiküllerinin tespit edilmesi mümkün olacaktır. Gıda maddelerinin ambalajlanmalarında kullanılacak bu sistemler sayesinde gıda ürünlerinin mikrobiyal kontaminasyonunun önceden tespiti ve kendi kendini koruma mekanizmaları yardımıyla önlenmesi ve böylece gerek depolama gerekse dağıtımda oldukça önemli kolaylıklar ve tasarruflar sağlanabilecektir.

Gelecekte, akışkanların nano düzeydeki özelliklerine bağlı olarak hastalıkların teşhisi, ilaç etkileşimlerinin belirlenmesi, DNA manipulasyonu ve işlenmesi, vücuda alınan gıda maddeleri ve sıvıların izlenmesi, bitki ve hayvanlarda sağlık takibi, çevresel izleme ve denetleme vb uygulamalar mümkün olabilecektir. DNA moleküllerinin yapı blokları olarak kullanılması suretiyle nanokablolar ve

nanomembranlar benzeri yapıların geliştirilmesi ve özellikle tarım ve gıda mühendisliğinde sayısız uygulama alanlarının bulunacağı öngörülmektedir.

Biyolojik malzemeden doğal biyolojik proseslerin kullanımıyla istenilen birleşimlerin elde edilmesi olarak tanımlanan biyoproses, nanoteknoloji sayesinde çok daha yüksek bir etkinlikte gerçekleştirilebilecektir. Moleküler problemlerin kullanımı, biyolojik malzemedeki mikropların çok daha hızlı bir şekilde tanımlanabilmesini sağlayacak olan kitler örnek olarak verilebilir [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

4.3.7. Savunma Sektörü

Nanoteknoloji, güvenlik alanında biyolojik ve kimyasal etkenlere karşı ön uyarı amaçlı kullanılabilmektedir. Ayrıca askeri uygulamalar konusunda birçok alanda potansiyel vaat etmektedir. Geliştirilmiş elektronik savaş kapasitesi, daha iyi silah sistemleri, geliştirilmiş kamuflaj ve akıllı sistemler birçok Ar-Ge çalışmasının gerçekleştirildiği alanlardır [İlgaz, 2006; Özdoğan ve ark, 2006b]. Nanoteknoloji sayesinde üstün niteliklere sahip olan asker üniformaları geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu üniformalar ile ilgili detaylar tezin 5. bölümünde detaylı olarak verilecektir.

4.4. Nanoteknolojinin Dünyadaki Durumu

Nanoteknoloji, her geçen yıl daha fazla uygulama sahası bulmaktadır ve tüm dünya çapında daha fazla ilgi görmektedir. Pazar araştırma şirketi Lux Research'ün yayınlamış olduğu rapora göre, özel şirketler ve üniversitelerin 2004 yılı boyunca nanoteknoloji araştırmalarına ayırdıkları ödenek, 8.6 milyar doları bulmaktadır. Rapora göre, dünya ölçeğinde 1.500 şirket, giderek artan oranda nanoteknoloji alanına yatırım yapmaktadır [Kut ve Güneşoğlu, 2005]. Aşağıda nanoteknolojide öncü şirketlerden bazıları verilmiştir [Yetgin, 2007]:

-*IBM*: Nanoteknolojinin gelişmesinde en büyük katkısı sağlayan STM (Scanning Tunneling Microscope) ve AFM'yi (Atomic Force Microscope)

keşfetmiştir. Nanoteknoloji AR-GE'sine her yıl 5 milyar doların üstünde yatırım yapmaktadır. Yılda bu konuda 3 bin 500 civarında patent almaktadır. Şu anda karbon nanotüp transistörler, LCD ekranların yerine geçecek atomik ışınli bilgisayar ekranları, manyetik kayıt sistemleri, nano yapıli saklama cihazlarıyla ilgili çalışmalar yapmaktadır.

-*General Motors*: Nanoteknoloji ile üretilmiş kompozit malzemeler içeren kamyonetleri pazara sunmuştur. Bu nano kompozitler çok daha hafif ancak bir o kadar dayanıklıdır. Genel Motors, şu anda yakıt hücreleri, algılayıcılar ve seramik motorlar üzerine çalışmalar yapmaktadır.

-*Nanophase Nanophase Technologies Corporation*: Piyasaya sürdüğü nanogüneş kremiyle ismini duyurmuştur. Toz halde seramik ve metalik malzemeleri içeren Nanocrystalline malzemeler üretmektedir.

-*Nano-Tex*: Dayanıklı, leke ve koku tutmayan kumaşlar üretmektedir.

Nanoteknoloji konusunda en fazla literatür üretilen ülkeler; Amerika, Almanya ve Fransa olarak sıralanmaktadır. Ancak son on yılda Uzakdoğu ülkeleri nanoteknoloji konusundaki yayınlarını oldukça arttırmışlardır [Türkant ve Akalın, 2007]. Avrupa, Amerika ve Japonya ile kıyaslandığında nanoteknoloji konusunda basılı yayınlar anlamında önde görülmektedir. Bilginin her zaman sermayeleştirilemediğinden hareketle, patent başvurularına bakıldığında Avrupa'nın payının %36, Amerika'nın ise %42 olduğu görülmektedir [İlgaz, 2006].

Analistler nanoteknoloji ürünlerine ait pazarın şu anda 2.5 milyar avro olduğunu tahmin etmektedirler ve 2010 yılında pazarın büyüklüğünün yüz milyar avronun üzerine çıkacağı öngörüsünü dile getirmektedirler [İlgaz, 2006]. Nanoteknoloji pazar büyüklüğünün 2011 yılında 1 trilyon dolara ulaşacağı, 2015 yılında 1 trilyon doları aşacağı, 2016 yılında ise 3 trilyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir [www.kumasci.com, 2007; www.teknoport.com.tr, 2007].

“The World Nanotechnology Market (2006) [Dünya Nanoteknoloji Pazarı (2006)]” raporuna göre bazı nanoteknoloji dallarında dünya pazarlarının yıllık bazda aşağıdaki düzeye çıkması beklenmektedir [www.teknoport.com.tr, 2007]:

- Nanoelektronik: 2010 yılında 4,2 milyar dolar,
- Nanogıda: 2010 yılında 20,4 milyar dolar,

- Nanotekstil: 2012 yılında 115 milyar dolar.

Çizelge 4.1.'de dünyadaki nano materyal tüketimi ve geleceğe yönelik tahminler sunulmaktadır. Görüldüğü gibi dünya nano materyal tüketiminin, 2008 yılında 3,7 milyar dolarlık, 2020 yılında da 90 milyar dolarlık bir değere ulaşması beklenmektedir. Amerika, Japonya, İngiltere, Fransa ve Almanya en büyük nano materyal tüketicisi ülkelerdir. Ancak bu ülkelerin yanı sıra, özellikle elektronik cihazlardaki nano malzeme tüketimi açısından Çin'in de çok büyük bir pazar haline geleceği tahmin edilmektedir [Süpüren ve ark, 2007b].

Çizelge 4.1. Dünya nano materyal tüketimi (milyon \$) ve geleceğe yönelik tahminler [Süpüren ve ark, 2007b]

	2003	2008	2020	2003-2020 Arası Tahmini Artış (%)
Dünya Nano Materyal Tüketimi	720	3650	90000	33
ABD	276	1490	37900	34
Batı Avrupa	225	1067	23100	31
Asya-Pasifik	215	1035	26700	33
Diğer Bölgeler	4	58	2300	45

Nanoteknoloji tüm gelişmiş ülkelerin ve pek çok gelişmekte olan ülkenin öncelikli araştırma desteği verdiği alanların başında gelmektedir. Örneğin; ABD kadar büyük ve İsrail kadar küçük, Avrupa gibi yüksek yaşam standartlı ülkeler ve Hindistan gibi kişi başına gelirin en zayıf olduğu ülkeler, nanoteknolojinin gelecek olduğunu ve nanoteknolojiye yatırım yapmanın zorunlu olduğunu düşünmektedirler [Üreyen, 2006a; Naschie, 2006].

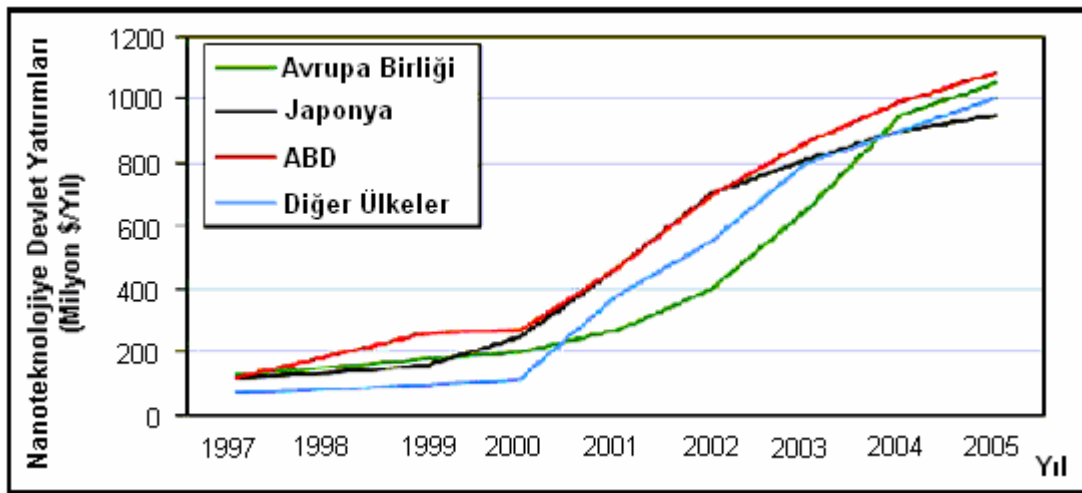
Pek çok ülke bilim kurumları (üniversiteler, araştırma laboratuvarları, teknoloji şirketleri ve vakıflar) ile bu sahaya yönelmiştir [www.kimyaevi.org, 2007]. ABD, Japonya, AB ülkeleri, Kore, İsrail, Güney Afrika Birliği, Kanada gibi ülkelerde her

biri 100 milyon doların üzerinde harcama yapılarak, çok sayıda ulusal araştırma merkezleri kurulmuştur [Çıracı, 2006].

1997’de ABD, Batı Avrupa, Japonya, Güney Kore, Çin ve Avustralya’nın nanoteknoloji çalışmalarına yıllık bazda ayırdıkları finansman 600 milyon ABD doları iken 2004 yılında 4 milyar doları geçmiştir [www.kimyaevi.org, 2007]. Avustralya, Kanada, Çin, Doğu Avrupa, Bağımsız Devletler Topluluğu, İsrail, Kore, Singapur ve Tayvan 1997 yılında hükümet destekli AR-GE için 70 milyon dolar harcarken bu rakam 2000 yılında 110 milyon dolar ve 2001 yılında 380 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir [Başaran, 2002].

Gelişmiş ülkelerde kamu sektörünün nanoteknoloji araştırmaları için 2005 yılında yapmış olduğu yatırımlar 5 milyar ABD dolarına erişmiştir ve aynı yıl itibariyle, devlet ve özel sektör tarafından nanobilim ve nanoteknolojiye aktarılan kaynakların yıllık miktarı 6 milyar ABD dolarını aşmıştır [Çıracı, 2007; Ersan, 2006]. Nanoteknoloji konusunda yapılacak yatırımların 2015 yılında 1 trilyon ABD doları seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir [Üreyen, 2006a].

Şekil 4.7., 1997-2005 yılları arasında yapılan nanoteknoloji yatırımlarını göstermektedir.



Şekil 4.7. Dünya nanoteknoloji yatırımları [www.nano.bilkent.edu.tr, 2007]

Yapılan yatırımlar Amerika’da “Ulusal Bilim Vakfı (National Science Foundation)” tarafından Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifi’nin (National

Nanotechnology Initiative) 2000 yılında duyurulması ile patlama göstermiştir ve pek çok ülkenin bu alanda araştırma ve geliştirmeye ayırdığı payın artmasına sebep olmuştur. Avrupa Birliği, ABD ve Japonya nanoteknolojiye en yoğun kaynağın ayrıldığı yerlerdir [Üreyen, 2006a]. ABD, Avrupa Birliği ve Japonya'nın, kamu kaynaklarından nanoteknolojiye aktardıkları kaynakların miktarı yıllık 1 milyar ABD dolarının üzerine çıkmıştır ve hızla artmaya devam etmektedir [Bayındır, 2007c].

Avrupa Birliği, Ekim 2000'de öncelikli araştırma alanı olarak belirlemiş olduğu nanoteknolojiye 1998-2002 arasında 82 milyon avro ayırmıştır [Başaran, 2002]. Avrupa Komisyonu, nanoteknoloji alanında 12 Mayıs 2004 tarihinde "Nanoteknoloji için Avrupa Stratejisine Doğru" tebliği ile temel çerçeveyi çizmiştir. Avrupa Birliği bu ilk adımla nanoteknoloji konusunda çevre, sağlık, güvenlik ve sosyal kaygıları da dikkate alan bir Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) planı öngörmüştür. Rekabet edebilirlik açısından nanoteknolojiyi öne çıkaran Komisyon, sanayi ve Ar-Ge kurumlarının uyumlu çalışmasını hedefleyen ve bu amaçla yenilik geliştirecek personelin de sanayinin ihtiyaçlarının farkında eğitilmesine önem veren bir strateji benimsemiştir. Komisyon, 7 Haziran 2005 tarihinde "Nanobilimler ve Nanoteknolojiler: Avrupa İçin Aksiyon Planı 2005-2009" isimli tebliği ile bu alandaki çalışmalara yeni ve düzenleyici bir yaklaşım getirmeyi amaçlamıştır. Bunu müteakiben Komisyon'un sağlık ve tüketicinin korunmasından sorumlu bölümü, nanoteknolojinin potansiyel zararlarını ve risklerini ele alan raporunu 28 Eylül 2005'te sunmuştur. Raporda 3 yaklaşıma yer verilmektedir. Bunlardan ilki etik prensipleri dikkate alan ve sosyal anlamda sorumlu Ar-Ge süreçleri başlatmak; ikincisi, nanoteknoloji temelli ürünlerin sağlık, çevre, güvenlik gibi alanlarda tüketici risklerini dikkate almak ve son olarak uluslararası alanda gerekli işbirliğinin teşvik edilmesi şeklinde sıralanmıştır. Doğada varoldukları halleriyle veya insan yapımı olarak nanopartiküllerin vücuda nüfuz etmeleri veya çevreye yayılarak sebep olabilecekleri riskler de bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bu konuda Avrupa Kimyasal Üreticileri Konseyi'nin üstünde durduğu bir husus da mevcut mevzuatın nanopartikülleri de kapsadığı ve bu nedenle yeni mevzuat hazırlanmasının yersiz olduğu yönündedir. Ayrıca Avrupa Birliği, bazı nano malzemelerin kullanımına

sınırlama getirilmesi üzerinde çalışmalarına devam etmektedir [İlgaz, 2006; Ersan, 2006].

Avrupa Birliği, Türkiye'nin de dahil olduğu, 6. Çerçeve Programı'na "nanoteknolojiler ve nanobilimler, bilgi tabanlı çok fonksiyonlu malzemeler ve yeni üretim prosesleri ve aletleri" konularını öncelikli alanlar içerisine almıştır. Avrupa Birliği'nin nanoteknolojiyi öncelikli alanlar arasına almasının sebebi, 2010 yılında ABD ve Japonya'yı yakalamak istemesidir [Üreyen, 2006a; www.kumasci.com, 2006]. İlgili projelere 2002-2006 arasında 1,3 milyar avro kaynak ayrılmıştır. Ancak, bu meblağın birlik ülkelerinin milli bütçelerinden ayırdıkları kaynakların toplamının çok küçük bir bölümü olduğu ifade edilmektedir. Ülke bazında özel kuruluşlar ve kamu kuruluşları ise bu miktarın belki toplam 7-8 katını bulabilecek harcamalar yapmayı planlamışlardır [Üreyen, 2006a; nano.bilkent.edu.tr, 2007].

Avrupa Birliği, 7. Çerçeve Programı'nda malzeme bilimi ve nanoteknolojiyi öncelikli alanları arasına alarak araştırmalar için 4.8 milyar avro kaynak ayırmıştır [Çıracı, 2007]. NanoRoadSME isimli projeye KOBİ'lerin çeşitli sektörlerde nanoteknoloji uygulamalarının başarı faktörleri analiz edilmektedir [İlgaz, 2006]. Avrupa Birliği birçok üniversitede birlik ülkelerine hizmet vermek üzere nanoteknoloji merkezleri kurmuştur [Çıracı, 2007].

Nanoteknolojide AR-GE yapan Avrupa'nın büyük çokuluslu şirketleri arasında; Philips, Siemens, Bayer, Henkel, Degussa, Thompson CSF ve Air Liquide yer almaktadır. Özellikle İngiltere, Almanya, Fransa, İsveç ve Hollanda'nın güçlü gözüktüğü Batı Avrupa'da İngiltere; Ulusal Fizik Laboratuvarı ve DTI tarafından 1986'da başlatılan Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (NION) ile nanoteknolojide erken bir başlangıç yapmıştır. Önce Nanoteknoloji Enstitüsü kurulmuştur ve "1998-2002" Öngörü Programı"; nanoteknolojiyi stratejik bir ilgi alan olarak ilan etmiştir [Başaran, 2002].

Avrupa Birliği içerisinde en erken çalışmalara başlayan ülke Almanya olmuştur. 2001 yılında 210 milyon dolar olan araştırma desteği 2004 yılında 290 milyon dolara çıkmıştır [Üreyen, 2006a]. Yunanistan'ın Girit Adası'nda kurulu, 500 doktoralı araştırmacının çalıştığı Heraklion Araştırma Merkezi'nde nanoteknoloji

geliştirme üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır ve bu araştırmalara Avrupa Birliği'nden milyonlarca avro destek verilmektedir [nano.bilkent.edu.tr, 2007].

Uzun yıllardır nanoteknolojiyi koordineli bir şekilde desteklemekte olan Japonya 2001 yılında nanoteknolojiyi öncelikli alanlarına dahil etmiştir. Japonya'da son yıllarda nanoteknolojiye olan mali destek ciddi olarak artmıştır, örneğin Bilim ve Teknoloji Bakanlığı (MITI) nanoteknoloji talebi nedeniyle 2002 bütçesini %49,3 artışla 31,8 milyar yene çıkarmıştır. Bu alana toplam devlet desteği 1997'de 120 milyon dolar iken 2000 yılında 245 ve 2001 yılında 465 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, şirketlerin bu konu ile daha fazla ilgilenmekte oldukları gözlenmektedir. Fuji, Hewlett-Packard, Japan, Hitachi, Mitsubishi, NEC ve Sony gibi şirketler nanoteknoloji ile ilgili AR-GE yapan Japon şirketlerinden bazılarıdır [Başaran, 2002; Üreyen, 2006a].

Nanoteknoloji alanında dünyada en büyük yatırımı ABD yapmaktadır. Ülkede şu anda 50'nin üzerinde nanoteknoloji araştırma merkezi vardır ve bunlara her geçen gün yenileri eklenmektedir. Ayrıca ABD'de yalnızca devlet ajanslarının (NSF, DoD, DoE, NIH, NASA, NIST, DoA, DoT, DoJ gibi) nanobilim ve nanoteknoloji için ayırdıkları araştırma bütçeleri milyon dolar olarak 270 (2000), 467 (2001), 604 (2002) ve 2003'te 710 milyon dolardır. ABD'de ulusal nanoteknoloji yatırımı 2005'in ilk yarısı için 850 milyon dolara çıkarılmıştır [Yetgin, 2007; nano.bilkent.edu.tr, 2007].

Amerika'da birçok şirket nanoteknoloji üzerinde çalışan Ar-Ge bölümüne sahiptir ve nanoteknolojide aktif büyük şirketler arasında; Dow Chemical, Mobil, Hewlett Packard, IBM, Chevron, Dupont yer almaktadır [Naschie, 2006; Başaran, 2002].

Nanoteknoloji ABD'de doğrudan başkana bağlı olan tek öncelikli alan olma ayrıcalığını sürdürürken, nanobilim-nanoteknoloji konularında eğitim faaliyetlerinin yaygınlaştırılarak orta eğitime kadar inmesi başkana tavsiye edilmiştir [Ersan, 2006]. ABD'de pek çok nanoteknoloji enstitüsü ve merkezi açılmış durumdadır ve bu merkezlerin sayısı hızla artmaktadır [Başaran, 2002]. Sadece 2006 yılında Argonne, ONR, Brookhaven, Sandia, Lawrence-Berkeley'de 5 ulusal nanoteknoloji merkezi kurmuş olan ABD Enerji Bakanlığı'nın desteklemiş olduğu 2006 yılında faaliyete

geçen 5 nanoteknoloji araştırma merkezinin her biri için 100 milyon ABD doları kaynak harcanmıştır. İşletme bütçeleri Enerji Bakanlığı'na karşılanan bu dev araştırma merkezleri ABD'nin ünlü üniversitelerince yönetilmektedir. Ayrıca ABD'de nanoteknoloji alanında çalışan, büyük araştırma merkezleri-üniversite-sanayi araştırma üçgenleri kurulmuştur [Çıracı, 2007; Bayındır, 2007c; Özbay, 2006]. ABD'de Cornell, Harvard, Pennsylvania, Stanford, California, North Carolina, Michigan, Minnesota, New Mexico, Texas, Washington ve Northwestern Üniversiteleri'nde bulunan nanoteknoloji merkezlerinde çalışmalar devam etmektedir [Özdoğan ve ark, 2006b]. Amerikan Silahlı Kuvvetleri meşhur MIT Üniversitesi'nde nanoteknolojinin askeri uygulamaları için çok kapsamlı bir araştırma enstitüsü kurmuştur. Bu enstitü MIT tarafından işletilmektedir ve burada Amerikan ordusunun 2020 yılı için teçhizatı geliştirilmektedir [Çıracı, 2007]. Bazı üniversiteler "nanoteknoloji derecesi" vermeye başlamışlardır. Sayıları gittikçe artan bu üniversitelerden bazıları Caltech, Harvard, NC State, Rice, USC ve UC-Berkley'dir [Başaran, 2002].

Nanoteknolojinin gelişmesine yönelik yatırımlar artarken, yeni teknolojinin beraberinde getireceği risklerin ortaya çıkarılmasına yönelik yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları da hızla devam etmektedir. ABD'de hükümetin, nanoteknolojide sağlık, çevre ve güvenlik konularını incelemesi için desteklediği, Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifi'nin (The National Nanotechnology Initiative'in) 2006 bütçesi 1 milyar doları aşmaktadır. Ayrıca ABD nanoteknolojiden 2015 yılında yaklaşık 3 trilyon dolar gelir elde etmeyi hedeflemektedir [Ersan, 2006; Özdoğan ve ark, 2006b].

Yukarıda bazı ülkelerde nanoteknolojinin durumundan bahsedilmiştir. Bu ülkelerin dışındaki diğer ülkelerde de konunun önemi yıllardır bilinmektedir ve ilgili araştırmalar desteklenmektedir. Avustralya'da Avustralya Araştırma Konseyi [The Australian Research Council (ARC)] tarafından nanoteknoloji ile ilgili 200 adet proje desteklenmektedir. 1998 yılından beri 322 projeye toplam 122 milyon Avustralya doları destek sağlanmıştır. Son yıllarda devlet ve özel sektör tarafından araştırma ve ticari amaçlar için yıllık 100 milyon Avustralya doları kaynak ayrılmaktadır [Üreyen, 2006a]. Dünyada ilk nanoteknoloji derecesi veren üniversite; biyosensörler ve

nanoyapılar ağırlıklı eğitimi ile Avustralya'daki Flinders Üniversitesi olmuştur [Başaran, 2002].

Güney Kore 2004 yılında 2014'e kadar 2 milyar dolar, Tayvan ise 2010 yılına kadar 600 milyon dolar kaynak ayıracağını bildirmiştir [Üreyen, 2006a]. İsviçre Ulusal Nanoteknoloji Merkezi'ne federal hükümet her yıl 10 milyon İsviçre frangı kaynak sağlamaktadır. Kanada'da Ulusal Nanoteknoloji Enstitüsü (National Institute for Nanotechnology) benzer şekilde kurulmuştur [Çıracı, 2007].

Yatırımlar neticesinde çeşitli konularda ellinin üzerinde nanoteknoloji şirketi kuran İsrail, katma değeri yüksek ürünlerle pazarda yerini almıştır [Aydın, 2007; Çıracı, 2006]. Almanya ile birlikte 1980 yılından beri nanoteknoloji faaliyetlerini sürdüren ve bu alana gelecek 5 yıl için 240 milyon dolar kaynak ayıran İsrail, Tel Aviv Üniversitesi'nde ulusal bir nanoteknoloji merkezi oluşturmuştur. 60'tan fazla bilim adamı kadrosuyla bu alanda hızlı ilerleyen merkeze finans toplayan isim ise eski başbakan, Nobel ödüllü siyasetçi Simon Peres'tir [Aydın, 2007; Uğur, 2006].

Güney Afrika 2006 sonunda açıklamış olduğu plana göre gelecek 3 yıl içerisinde nanoteknoloji araştırmalarına 170 milyon ABD doları kaynak ayıracaktır [Bayındır, 2007c].

İran'da Sharif Üniversitesi'nde 2005 yılında kurulan Ulusal Nanobilim ve Nanoteknoloji Enstitüsü'nde, disiplinler arası doktora programıyla birlikte bilimsel araştırmalar da yürütülmektedir [Çıracı, 2006].

Nanoteknoloji konusunda en yoğun araştırma ve yatırımların yapıldığı ülkelerden birisi de Çin'dir. Helmut Kaiser Consultancy tarafından hazırlanan "Nanotechnology in China State 2005 and Development 2006-2010-2015 (Çin devletinde 2005 yılında nanoteknoloji ve 2006-2010-2015 yıllarında nanoteknolojinin gelişimi)" isimli rapora göre Çin'de 600'den fazla nanoteknoloji şirketi bulunmaktadır. Çin, dünyada nanomateryaller için ilk ulusal standartları oluşturmak konusunda da önderlik etmektedir. Çin'de 60 üniversite nano bilimler ve nanoteknoloji konusunda kurslar düzenlemektedir. Çin'de lisans seviyesinde genel eğitim programları ve lisansüstü ileri kurs programları da bulunmaktadır. Nanoteknolojiye özel önem veren diğer ülkeler arasında Rusya Federasyonu, Latin

Amerika Ülkeleri, Malezya, Yeni Zelanda ve Filipinler bulunmaktadır. [Üreyen, 2006a].

4.5. Nanoteknolojinin Türkiye'deki Durumu

Yaklaşık on yıldır dünyanın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak görmektedirler ve önemli yatırımlar yapmaktadırlar. Ancak Türkiye'de durum pek iç açıcı değildir. Avrupa Birliği'nin 6. Çerçeve Programı sayesinde, nanoteknoloji araştırmalarının çoğu kuramsal ve bireysel düzeyde olan Türkiye'nin nanoteknoloji araştırmaları yeniden yapılanma ve ivme kazanmıştır. Bu arada nanoteknoloji, TÜBİTAK tarafından hazırlanan Vizyon 2023 Programı'na öncelikli alanlardan biri olarak alınmış bulunmaktadır. 2005 yılında Bilkent Üniversitesi'nde düzenlenen Nanoteknoloji Konferansı'na geniş bir katılım olmuştur ve nitelikli bilimsel bildiriler sunulmuştur. Dokuzuncu Kalkınma Planı'nda gelişmiş ülkeler açısından biyoteknoloji ve nanoteknoloji gibi alanların ön plana çıktıkları ifade edilmiştir ve bu alanlar, desteklenecek öncelikli alanlar içerisinde en başta gösterilmişlerdir. Ancak bu konuda herhangi bir ayrıntıya girilmemiştir ve bir planlama yapılmamıştır. Devlet Planlama Teşkilatı tarafından, desteklenecek araştırma projelerinde nanoteknoloji ile ilgili projelere öncelik verileceği ifade edilmiştir [Üreyen, 2006a; Köse ve ark, 2007].

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Müsteşarlığı Bilkent Üniversite'nden sunulan proje aracılığı ile ulusal nitelikte bir nanoteknoloji araştırma merkezi kurulması için 11 milyon YTL destek sağlamıştır. Bu proje, 5 Ekim 2005 tarihinde başlamıştır. DPT, nanoteknoloji araştırmaları için gerekli kaynağı önceleri dağıtmadan, gerekli sayıda araştırmacı ve uzmana sahip tek bir üniversitede toplayarak kısa zamanda sonuç almayı hedeflemiştir [Çıracı, 2007]. Türkiye'nin nanoteknoloji yarışında geri kalmaması için DPT tarafından Bilkent Üniversitesi'nde kurulmakta olan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) 2007 yazında ulusal bazda hizmet vermeye başlayacaktır [nano.bilkent.edu.tr, 2007].

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nin araştırma alanları: Sürtünmesiz yüzeyler, nanoteknoloji tabanlı tekstiller, nanosensörler, nanobioteknoloji,

nanoaygıtlar, fiber lazerler, nano yapılar için yeni malzemeler, atomsal seviyede görüntüleme, nano ölçekte modelleme, tıbbi lazerler ve fiberler, nanoparçacıklar, hidrojen depolama, nanotüplerdir [Bayındır, 2006b].

UNAM'ın başarı kazanarak büyümesi ve toplam yatırımının 100 milyon dolara erişmesi planlanmıştır. Bunun için gerekli olan kaynak merkezde yürütülmekte olan projelerden elde edilen gelirden sağlanacaktır [Çıracı, 2006]. UNAM, DPT ile 9, Sağlık Bakanlığı ile 8, MSB-ARGE ile 6 proje, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Tekstil İşverenleri Derneği ile birer projenin çalışmalarına başlamıştır [Uğur, 2006].

Bilkent Üniversitesi bünyesinde geçmişte Savunma Sanayii Müsteşarlığı'nın 3,5 milyon dolar katkısıyla bir ileri teknoloji laboratuvarı kurulmuştur. Bu laboratuvar da jetler füzelere karşı erken uyarı sistemi üretilmiştir. Söz konusu laboratuvar bundan sonraki çalışmalarını ulusal nanoteknoloji merkezi bünyesinde sürdürecektir. Bu laboratuvar da bugüne kadar yürütülen çalışmalar kapsamında, “insan saçının binde biri genişliğindeki bir alanda manyetik alan ölçümleri yapabilen” dünyanın en gelişmiş, optiksiz mikroskobu geliştirilmiştir, bu mikroskop yüz bin dolarlar düzeyinde fiyatla ABD, Japonya, Belçika, Norveç, Hindistan, İrlanda, Almanya'ya satılmıştır [arsiv.sabah.com.tr, 2007].

Yukarıda UNAM'dan bahsedilmiştir. Türkiye'de UNAM dışında da nanoteknoloji konusunda araştırma yapan merkezler vardır. Bu merkezlerden bazıları aşağıda verilmiştir [Bozkaya, 2006b]:

- Anadolu Üniversitesi
 - İleri Teknolojiler Araştırma Birimi
- Orta Doğu Teknik Üniversitesi
 - Nanoteknoloji ve Nanobiyoteknoloji Araştırma Merkezi
- Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
 - Nanoteknoloji Merkezi

Nanobilim ve nanoteknoloji alanında çalışan üniversite ve kuruluşlar arasında; Bilkent, ODTÜ, İTÜ, Koç, Sabancı, Ege, Üniversiteleri, TÜBİTAK, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü yer almaktadırlar. Kamu kuruluşlarından Roketsan, TAI çalışma yürütmektedirler. Bazı özel sektör kuruluşlarının da nanoteknoloji ile

ilgilendiği bilinmektedir. Ancak çalışmalar ile araştırma geliştirme faaliyetlerine yapılan yatırımlar dünyanın çok gerisinde seyretmektedir [Uğur, 2006; Üreyen 2006a].

Nanoteknolojiyi ticarete dönüştüren bazı Türk şirketleri aşağıda verilmiştir [Yetgin, 2007]:

Normtest: Ağırlıklı olarak fizik, elektrik-elektronik, metalurji ve malzeme mühendisliği, kimya, biyoloji ve biyoteknoloji alanlarındaki nanoteknoloji ürünlerini Türkiye pazarına sunmaktadır. Bunlar; ince filmler, malzemelerin optik özelliklerini ölçen spektrometrelerdir.

Arçelik: Nanoteknoloji konusunda yapılan çalışmalar özellikle “polimer” ve “yüzey işlemleri” konularına odaklanmıştır. İlk kez 2003’ün Eylül ayında koku filtreli hijyen uygulaması ile nanoteknoloji ürünü buzdolabını üretmiştir ve son olarak 2004 yılı Temmuz ayında yine nanoteknoloji ürünü olan tam koruma üçgenli multihijyen buzdolabını pazara sunmuştur. Şirket, yıllık cirosunun %1-1,5’ini (yaklaşık 35 milyon dolar) AR-GE çalışmalarına aktarmaktadır, nanoteknoloji çalışmaları da bunun içindedir.

Yaşar Holding: Yaşar Grubu’nun boya markası DYO, bir yıl süren nanoteknoloji araştırmalarının sonunda solmaya, kirlenmeye dirençli kendini temizleyen nanoteknolojiye sahip akıllı boya üretmiştir. Yaşar Holding, nanoteknoloji AR-GE’sine 200 bin avro ayırmaktadır.

Yeşim Tekstil: Ürettiği akıllı kumaşlar kolay ütülenmektedir, çabuk kurumaktadır ve leke tutmamaktadır.

Zorlu Enerji: Yakın zamanda nanoteknoloji alanında büyük bir atılım yapmıştır. Evlerde elektriğin üretilebileceği bir aletin prototipini geliştirmiştir.

Nanomanyetik ve Nanosis adlı şirketler %99 yerli imkanlarla geliştirdikleri mikroskopları, aralarında dünyaca meşhur üniversite ve şirketlerin de bulunduğu merkezlere ihraç etmektedirler [Ersan, 2006].

Ulusal Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü’nün kuruluşuna ve çalışmasına yönelik önemli stratejik politikalar benimsenmiş ve aşağıdaki amaçlar belirlenmiştir [Çıracı, 2007]:

- Teknolojik sonuçlara odaklı çok disiplini içeren bilimsel çalışmaları ön plana çıkarmak,
- Yüksek teknoloji malzemesi tasarımı, üretimi ve nanoteknoloji konusunda nitelikli araştırmacı ve bilim adamı yetiştirmek,
- Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarından nanoteknoloji ürün prototiplerini gerçekleştirmek,
- Kamu ve özel sektörün yüksek teknoloji AR-GE çalışmalarını yapmak, dış pazarlarda Türk sanayi ürünlerinin rekabet gücünün artırılmasına katkıda bulunmak,
- Malzeme bilimi ve nanoteknolojideki gelişmeleri izleyip, araştırma sonuçlarını ulusal ağlar yardımı ile üniversite ve kuruluşlara ulaştırmak,
- Başka üniversitelerde, kamu sektöründe ve özel sektörde ilgili araştırmalarla birlikte projeler yapmak, çözümler üretmek,
- Yurt dışına yerleşmiş Türk bilim adamlarıyla müşterek çalışma ortamı yaratmak, onların deneyimlerini kazanmak,
- Kazanılan deneyim ve yetişen uzman araştırmacılarla diğer üniversite ve kuruluşlarda benzeri araştırma laboratuvarlarının kurulmasına yardımcı olmaktır.

Ulusal Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü'nün çalışması şu şekilde olacaktır: Kamu ve özel sektörün gereksinimleri doğrultusunda enstitüde çalışan uzman araştırmacıların hazırladıkları projeler ilan edilecektir. Diğer üniversitelerden ve kuruluşlardan ilgilenen araştırmacıların bu projelere katılımları sağlanacaktır. Avrupa Birliği, DPT, çeşitli bakanlıklar, Milli Savunma Bakanlığı AR-GE Dairesi, Savunma Sanayi Müsteşarlığı ve TÜBİTAK'ın destekledikleri bu projelerde, misafir araştırmacıların enstitünün bütün imkanlarını kullanarak çalışmalara katılımları ve projedeki yükümlülüklerini yerine getirmeleri, bu sayede ulusal enstitü bünyesinde deneyim ve uzmanlık alanlarını genişletmeleri sağlanacaktır. Bu çalışma süreciyle, başka üniversitelerde etkileşecek meslektaş veya laboratuvar olanağı bulamayan çok sayıda genç bilim adamı aktif araştırma sistemi ve ağı içine alınmış ve bu bilim adamlarının yetenekleri ülke ekonomisine kazandırılmış olacaktır. Bu bağlamda diğer üniversitelerden, özel sektörden ve kamu sektöründen çok sayıda bilim adamı

ile ilişki kurarak onlarla çeşitli araştırma projelerinde ortaklıklar kurulmuştur [Çıracı, 2007].

5. NANOTEKNOLOJİNİN TEKSTİLDEKİ UYGULAMALARI

Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları, nano-tekstiller olarak adlandırılabilir. Nano-tekstil tanımı, nanoteknoloji uygulamaları sonucu elde edilen tüm tekstil yüzeylerini ifade etmektedir. Doğal ve sentetik tüm tekstil ürünlerinin yapıtaşları moleküllerdir. Bu moleküller, lif oluşturacak şekilde dizilirler, lifler de iplik eldesi için kullanılırlar. Bir kumaşın kullanım performansını geliştirmenin kalıcı yolu kumaşı meydana getiren liflerin, moleküler düzeyde takviyelendirilmeleriyle mümkündür. Moleküler nanoteknoloji felsefesi ile elde edilen tekstil yüzeyleri birer nanomalzemedirler [Kut ve Güneşoğlu, 2005]. Nano materyaller bir, iki veya üç boyutlu olabilmektedirler. Tek boyutlu nanomateriyaller, çok ince yüzey filmleri veya kaplamaları (2-3 nm-<100 nm arasında değişebilmektedir) alanında kullanılabilmektedirler. İki boyutlu nanomateriyaller, nanolif veya karbon nanotüpleri kapsamaktadırlar. Havacılık, uzay gemileri, otomobil endüstrisi ve balistik tekstillerde kullanımı için son derece yüksek mukavemete sahip nanokompozit üretiminde kullanılmaktadırlar. Üç boyutlu yapıdaki nano materyaller yumuşatma, antimikrobiyal, yağ ve kir iticilik bitim işlemleri, güç tutuşurluk gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadırlar. Ayrıca, polimer içinde mikrokapsül olarak da farklı uygulamalarda kullanılabilmektedirler [Özdoğan ve ark, 2006c].

Düşük kimyasal kullanımı; düşük enerji maliyetleri; tutum, mukavemet, hava geçirgenliği, ıslanma gibi fiziksel ve mekanik özellik kaybının az olması nanoteknolojinin tekstil ve giysi uygulamalarında kullanılmasının sebepleridirler [Göcek ve ark, 2006].

Nanoteknoloji ve nanomalzemeleri uygun koşul ve miktarlarda kullanarak tekstil ürünlerine aşağıda verilen işlevleri kazandırmak mümkündür [Dağ, 2006]:

- Mekanik, kimyasal, fotokimyasal veya termal bozunmalara karşı dayanıklılığın arttırılması,
- Su, yağ ve kirlenmeye karşı iticiliğin geliştirilmesi,
- Morötesinden kızılötesine elektromanyetik dalgayı soğurma ve ısıtma özelliğinin değiştirilebilmesi,

- Antistatik ve elektromanyetik koruyucu etkiler için elektrik iletkenliğinin geliştirilmesi,
- Aktif ajanların tutulabilmeleri (hareketsizleştirme) ve kontrollü salınımları,
- Buruşmazlık.

Yukarıda verilen işlevlerin yanı sıra nanoteknoloji ile tekstil ürünleri antifungisid olabilirler, ısı yalıtımı ve mekanik rezilyans performansları geliştirilebilir, kamuflaj amaçlı sensörler olarak kullanılabilirler. Ayrıca bu ürünler insan sağlığına faydalılardır. Masaj yapma, vücut ısısını dengede tutma ve havalandırma, ateşte yanmama gibi üstün özellikleri vardır. Bu ürünlerin en önemli özelliği ise nefes alıp teri dışarı verebilmeleridir. Ayrıca istenirse, sivrisinek ve zararlı böcekleri de uzaklaştırma özelliği sağlanabilir. Bu ürünler, havadaki sıcaklık değişikliklerine göre vücuda serinlik ve sıcaklık hissi verebilmektedirler. Yıkılırken çok az deterjan kullanılan, yumuşatıcı gerektirmeyen ve en kısa yıkama programında yıkanabilen bu ürünler, yıkama sırasında dahi ekonomi sağlamaktadırlar. Bazı giysiler 24 saat boyunca nabız, tansiyon, kalp atışı gibi yaklaşık 30 hayati göstergiyi doktora ve sağlık merkezine gitmeye gerek kalmadan ölçebilmektedirler. Bazı çarşaf lar kalp atışlarını dinlerlerken, bazıları da oda sıcaklığına göre renk değiştirmektedirler. Nanotekstil ürünleri (yastık, yorgan, battaniye gibi) özel, yumuşak ve hafif malzemelerden üretilmektedirler. Bunların masaj yapma, bakteri barındırmama, metabolizmayı canlandırma ve kan dolaşımını düzenleme gibi işlevleri vardır. Isı koruyucu özelliğe sahiplerdir. Yastık ve yorgan içindeki fotokatalitik malzemelerin koku giderici yararları vardır [Kut ve Güneşoğlu, 2005; www.nanolightray.com, 2007; www.emo.org.tr, 2007] .

Tekstil yüzeylerine uygulanan ekstra bazı kimyasal ve fiziksel işlemlerle veya yüzeydeki nanoince tabakaya yapılacak plazma muamelesi ile yepyeni özellikler elde edilebilir [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Nanoteknoloji tekstil sektörü için gelecek vaat eden bir alandır. Tekstil sektörü şimdiden nanoteknolojinin etkisi altına girmiştir. Performansı geliştirmek veya tekstil malzemelerinde daha önce emsali görülmemiş işlevler ortaya çıkarmak amacıyla yapılan araştırmalar giderek gelişmektedirler [Qian ve Hinestroza, 2004].

Her ne kadar şu an endüstriyel olarak kısıtlı olsa da nanoteknoloji çalışmalarının ve nanoteknoloji içeren tekstil ürünlerinin sektörde daha fazla yer alacaklarının aşikar oldukları düşünülmektedir [Erkan ve ark, 2005].

Son 10 yılda nanoteknolojinin gelmiş olduğu nokta, tekstil teknolojisi alanındaki hızlı gelişmeyi desteklemiştir. Önümüzdeki 25 yıl içinde tekstil sektöründe nanoteknolojinin sebep olacağı öngörülen gelişmeler beklenmektedir. Bu gelişimlerin öncüsü askeri giysiler olacaktır. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) 21. yy'ın askerleri için nanoteknolojiyi kullanarak “süper üniformalar” geliştirmeye çalışmaktadır. Bu üniformalar, kamuflajı desteklemek üzere renk değiştirme, faz değiştiren malzemeler ile kırık durumunda destek vazifesi göreceк biçimde sıkılaşma hatta yapay kas geliştirme ve enerji depolayabilme gibi spesifik özelliklere sahip kumaşlardan (morph fabrics) oluşacaktır. Bu kumaştaki lifler, ortam sıcaklığı veya hava sirkülasyonuna bağlı olarak daralacaklardır veya genişleyeceklerdir. Nanosensör iştirilmiş kumaşlar, askerin vücut sinyallerini tıp merkezine ileteceklerdir, kumaştaki entegre iletişim ve dolaşım ekipmanları ile yaralı bir askerin sağlık bilgilerini ve konumunu merkeze bildirerek müdahale hızını arttıracaklardır. Nanoteknoloji ile üretilmiş üniformalar günümüzde kullanılanlardan %80 daha hafif olacaklardır (kağıt ağırlığında ancak hafif ve esnek), ortamdaki biyolojik veya kimyasal tehlike durumuna moleküler düzeyde adapte olarak geçirgenliklerini kaybedeceklerdir. Bu üniformalar, ortamın sıcaklık, ışık, hava kalitesi vb değişikliklerini kolayca fark edeceklerdir, nanokaplamayla geliştirilmiş özel lifler karanlıkta dahi ayırt edilebilir olacaklardır, böylece askerler birbirlerini kilometrelerce uzaktan seçebileceklerdir, karanlık ortamlarda düşmanı ayırt edebileceklerdir [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Yakın bir gelecekte tekstil ürünleri bilgisayar, yol bilgisayarı, müzikçalar, cep telefonu, internet bağlantı elemanı gibi işlevlere sahip olacaklardır. Yine yakın bir gelecekte, giyilen tişört, üzerindeki nanosensörler sayesinde kalp atışlarını, vücut ısını ve kan şekerini düzenli kontrol ederek, istenmeyen bir durum olduğunda giyeni veya kablosuz bir hatla doktoru haberdar edebilecektir [Üreyen, 2006b; Bayındır, 2007b].

Gümüş iplikler ve kumaşlar ile antimikrobiyal özelliklerin artırılması, kuş gribi, koli basili gibi biyolojik zararlılara duyarlı renk değişimi, kendi kendini temizleyebilen tekstil uygulamaları, entegre ipod kontrolü yapabilen ceketler, elektro kardiyografi kaydı alabilen gömlekler, çok az kimyasal madde kullanılarak yapılabilen plazma uygulamaları halen üzerlerinde çalışılan projeler ve uygulamalardır.

Denkendorf Tekstil Araştırma Enstitüsü tarafından nano yapılandırılmış, kendi kendini temizleyen tekstiller konusunda yapılan bir çalışmada, genelde iplik yapısı ve doku türü dolayısıyla pürüzlü yüzeylere sahip tekstil materyallerine uygun tekstil terbiye işlemleri ile nano boyutta yüzey pütürü ve hidrofobik özellik kazandırılabilirdiği tespit edilmiştir. Hidrofobik tekstil yüzeyinden yuvarlanan damlacıkların yüzeye nüfuz etmeden etraftaki parçacıkları da kendisiyle birlikte götürerek yuvarlanması, kendi kendine temizlenmeyi sağlamaktadır. Araştırmalar, yağ ve boya ile kirlenmiş yüzey florokarbon ile terbiye işlemi görmüş ise bir miktar leke izleri kaldığını, nanoteknoloji ile terbiye işlemi görmüş ise hiç iz kalmadığını göstermiştir. Denkendorf Enstitüsü'nün kendi kendini temizleyen yüzeylere, belli test metotları çerçevesinde değerlendirme yaparak vermiş olduğu bir "Self Cleaning" uygunluk etiketi vardır.

Tekstil materyallerinde tıbbi ve hijyenik uygulamalar için nano kaplamalar ile nano gözenekli fonksiyonel kaplamalar da üzerinde araştırmalar yapılan diğer nanoteknoloji konuları olarak görülmektedir. Tıbbi ürünler pazarının büyüdüğünü ve çeşitliliğe ihtiyaç olduğunu dikkate alarak tıbbi ve hijyenik nano kaplamalar için makineler üreten Alman firması Coatema, 11-12 Ekim 2006'da Londra'da yapılmış olan Sanayi ve Moda İçin Nanoteknoloji ve Akıllı Tekstiller adlı konferansta; otuz sekiz farklı kaplama sistemi, modüler yayma, yüksek teknoloji kontrol sistemleri ve kurutma metotları ile nanoteknolojik kaplamalar yapılabildiğini; çevre ve insan sağlığına duyarlı, acil durumlarda renk değiştirebilen, şeklini muhafaza edebilen interaktif tekstil materyalleri üretmenin mümkün olduğunu belirtmiştir.

İsviçre'de malzeme bilimi ve teknoloji konusunda faaliyet göstermekte olan Empa Enstitüsü, plazma teknolojisi ile modifiye edilmiş tekstil yüzeyleri konusunda çalışmalar yapmaktadır. Plazma polimerizasyonu ile 25 nm'den küçük nano

gözenekli yapılar elde edilerek kaplamalar yapılabildiği açıklanmıştır. Boyamalarda renk yoğunluğu, kaplanan film tabakasının kalınlığına göre değişen tekstil yüzeyleri, örneğin 70 nm’lik gümüş nanopartiküller ile kaplandığında bakterilere karşı etkin olabilmekte ve yaralanmalarda, çoraplarda, spor giysilerde kullanılabilmektedir [Türkant ve Akalın, 2007].

Belçika’nın Centexbel Teknoloji Parkı tarafından tekstil sanayisinde polipropilen ve poliamid 6’dan mamül nano kompozit ipliklerin kullanımı konusunda yapılmakta olan araştırmalar, nanoteknoloji kullanılarak antimikrobiyal, antistatik, kendi kendini temizleyen, aşınma dayanımı yüksek, mükemmel boyutsal stabiliteye sahip nihai ürünler elde edilebildiğini göstermektedir. Ancak nano katkı maddelerinin şu anda maliyet fiyatlarının yüksek olduğu da bilinmektedir.

Yüksek moda ürünü tekstillerde renklendirici olarak altın nanopartiküller kullanılması konusunda Yeni Zelanda’nın Victoria Üniversitesi’nde çalışmalar yapılmaktadır. Boyamada altın solüsyonunun oranının, partikül boyutunu ve dolayısıyla rengi etkilediği yapılan araştırmalarda ortaya konmuştur. Rengin kalıcılığı liften 1000 defa daha küçük olan nano partikül boyutuna bağlı olarak değişmektedir, ki bu da altın ile renklendirilmiş, renkleri bozulmaz yeni moda kumaşlar ve tekstil materyalleri geliştirilmesine imkan verecektir [Türkant ve Akalın, 2007].

Yakın zamanda yeni nanolif üretim tekniklerine işaret eden iki önemli gelişme olmuştur: Penn State kimya mühendislerinden olan Pratik Mankidy’nin süper yapıştırıcı ile muamele edilmiş özel bir araştırma ekipmanı üzerine kazara bırakmış olduğu parmak izleri sinoakrilat polimerizasyonu sonucu nanoliflere dönüşmüştür. Bu ipucunun peşinden giderek çalışmalarına başlayan ekibin liderliğini yapan Henry C. Foley, geliştirilmekte olan yeni “parmak izi” tekniğinin şu anda kullanılan “elektrospinning” ve benzeri teknikler kadar çok yönlü ve kolay uygulanabilir olduğunu ifade etmiştir. Bu gelişmelerin ikincisi ise; Stellenbosch Üniversitesi’nde doktora çalışmalarına devam etmekte olan Eugene Smith’in, araştırmalarıyla birbirine paralel hale getirilmiş elektrospun nanoliflerinden sürekli iplikler üretmenin mümkün olabileceğini göstermiştir. Liflerin karmaşık bir yüzey formatında elde edildiği nano lif üretim tekniklerinden oldukça farklı olan bu

teknğin tam anlamıyla uygulanabilir olmasıyla tekstilde pek çok yeni kapı da açılmış olacaktır. Smith, bu şekilde üretilen iplikler ile dokuma, örme gibi konvansiyonel tekstil üretim sistemlerinin nanotekstil yüzeylerinin imalatında kullanılabileceğine; nanolif iplikler ile spor ekipmanlarında kullanılan karbon-cam elyaf malzemelere benzer lifle güçlendirilmiş kompozit malzeme uygulamaları yanında çelikten daha güçlü ve hafif kompozitlerin imalatının da mümkün olacağına inandığını ifade etmiştir [Candan, 2006].

Japon Teijin Fibres Ltd parlak poliester üretimi için çalışmalarını sürdürmektedir. Poliester substratı farklı refraktif indekslere sahip yaklaşık 60 kat poliester ve naylon ile kaplanmıştır. Kalınlığı sadece 69 nm olan tabakalar, ışığı kırarak gözlemcinin bakış açısına ve ışığın kumaşa geliş açısına göre “mistik” bir yansıma oluşturmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006c].

Bir Japon lif üreticisi, patentli bir metot geliştirmiş olup, bununla polyester liflerine, süper ince merinos yününün vasıflarını verebilmektedir. Makine üretiminde de aşınmaya karşı dayanıklılık, korozyona karşı koruma ya da ısı dayanıklılığı hususunda, nanoteknoloji ile satıh kaplama suretiyle, makinelerin vasıfları daha da iyileştirilmektedir [Anonymous, 2007].

Nanoteknoloji, teknik tekstil ürünlerin performanslarını geliştirmekte bir başka araştırma sahası bulmuştur. Bir kumaşın mukavemet ve sertlik değerlerini arttırmak amacıyla kumaştaki liflerin moleküler düzeyde karbin molekülleriyle takviyelendirilmelerine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Karbin, karbonun sp-hibritlenmesiyle elde edilen lineer allotrobudur ve yapısında sırayla tek ve üç bağ yapan karbon atomları bulunur. Karbinin uzun molekül zincirli formda elde edilmesi ve yüksek elastikiyet sergilemesi nedeniyle lif takviyelendirmesinde kullanılması mümkün olmuştur [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Tekstil ve hazır giyim ürünlerine su geçirmezlik, leke tutmazlık, buruşmazlık, antimikrobiyalık, anti statiklik, UV koruyuculuk, yanmazlık veya güç tutuşurluk ve daha iyi boyanabilirlik gibi özellikler kazandıran nanoteknoloji tabanlı ürünler geliştirilmişlerdir ve bu ürünlerin kullanımları yaygınlaşmaya başlamış bulunmaktadır [Üreyen, 2006b]. Şekil 5.1.’de gösterilen tekstil ürünleri nanoteknoloji ile üretilmişlerdir.



Şekil 5.1. Nanoteknoloji ile üretilen tekstil ürünleri [Bayındır, 2007a]

Şekil 5.1.'deki antimikrobiyal çorap; kötü kokmama, mantarları öldürme, içerisinde milyonlarca görünmez gümüş nanoparçacıklar bulundurma, antimikrobiyal etkisini 50 yıkama sonunda bile %99.9 oranında koruma özelliklerine sahiptir. Şort; hızlı kuruma, su tutmama, zararlı UV ışınlarını geçirmeme özelliklerine sahiptir. Pantolon ise; kir tutmama ve kırışmama özelliklerine sahiptir [Bayındır, 2007a].

Isı, ışık, basınç, kimyasal gibi çeşitli dış etkilerdeki değişmelerle renk değiştiren ürünler geliştirilmiştir. Bu ürünler dekoratif amaçlı kullanılabilirler. Ayrıca bu ürünler nabız, sıcaklık, tansiyon gibi vücut fonksiyonlarındaki değişimleri belirleyip kullanıcıyı uyarmak amacıyla da kullanılabilirler. [Üreyen, 2006b].

Kısa süre önce geliştirilen yeni bir yöntemle kilometrelerce uzunlukta ve kumaş gibi dokunabilen ısı ve ışık sensörleri üreilmeye başlanmıştır. Yeni bir nanoüretim teknolojisi olarak görülen bu yöntem, makroskopik boyutlardaki aygıtın termal çekme yöntemiyle daha küçük boyutlara indirilmesi prensibine dayanmaktadır. Ayrıca çok ucuza mal edilmesi ve esnek olması, kumaşlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kısa bir süre önce, ısıyı hisseden fiberler, akıllı askeri üniformaların tasarımında kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojinin tekstil endüstrisinde yeni ufuklar açabilecek potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

Belirli dalga boyuna sahip ışığı, geliş yönünden bağımsız olarak tümüyle yansıtabilen iplikler, bu yeni yöntemle üretilmektedir. Bu ipliklerle dokunan kumaşlar, zararlı ışıklardan korunmak amacıyla kullanılabilirler. Örnek olarak,

ipliklerin yansıtma spektrumu 200 nm civarında seçilirse, morötesi ışığı yansıtan şapkalar üretmek mümkündür. Ayrıca, fiberlerin yansıtma katsayısı altından daha yüksek olduğundan, boya katkı maddesi olarak da kullanılabilirler [Bayındır, 2006a].

Vücut işlevlerini kontrol edebilen, gerektiğinde ilaç veren, mikroorganizmalardan ve zehirli gazlardan koruyan, güzel koku veren, yaraları tedavi etmeye yarayan, aromaterapik ürünlerle insanların kendilerini daha iyi hissetmelerini sağlayan tekstil ürünleri şimdiden piyasaya sürülmeye başlanmıştır [Üreyen, 2006b].

Özel polimerler sayesinde terin emilip vücudun kuru kalmasını sağlayan, su tutmayan giysiler şimdiden geliştirilmişlerdir [Çıracı, 2005]. Yeni yapılan fiberlerin elbise içine dokunmasıyla lazerli silahla nişan alındığında anında haber veren elbiseler yapılabilmektedir. Ayrıca bu teknoloji ile gerektiğinde sertleşerek zırha dönüşen elbiseler üretilebilmiştir [arsiv.sabah.com.tr, 2007].

Greenyarn LLC isimli şirketin geliştirmiş olduğu Ecofabric, bambukarbon nano parçacıklardan üretilmektedir. Bu dokuma malzemesi bakteri ve mantar tutmama gibi özelliklerinin yanı sıra, deodorant salgılamaktadır, kızılötesi radyasyonunu emmektedir ve yaymaktadır, ısıyı düzenlemektedir ve statik elektrik birikimini engellemektedir. Ayrıca kan dolaşımını düzenlemektedir ve metabolizmanın doğru çalışmasını sağlamaktadır. Ecofabric'ten üretilen ürünler vücut ile temasta havlu hissi uyandırmaktadırlar ve teri çok hızlı bir şekilde dağıtmaktadırlar. Bu malzemeden üretilen dirsek koruyucu, tenis dirseği gibi kemik hastalıklarında dirseği koruyucu ve tedavi edici bir özelliğe sahiptir [www.emo.org.tr, 2007].

Goodweave Textiles Co. Ltd. tarafından üretilen nanogümüş antibakteriyel ve deodorantlı ayakkabı tabanları, ayakları terleyen, aşırı koku çıkartan, mantar oluşumuna yatkın ayaklar için pratik bir çözüm getirmektedir. Gümüş parçacıkların bakteri ve mantar tutmama özelliklerinden yararlanılarak üretilen bu ayakkabı tabanlıkları, ayaktaki kan dolaşımını da düzenleyerek kaşıntı ve mantar oluşumu riskini de ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca içermiş olduğu deodorant, ayakkabı çıkartıldığında ayaktan hoş bir koku yayılmasını sağlamaktadır [www.emo.org.tr, 2007].

Japon Kanebo Spinning Corp Firması, normal poliesterden 30 kat daha fazla nem absorplama kapasitesine sahip poliestere ipliği üretmiştir. İplik özellikle iç çamaşırları yapımında kullanılmaktadır. PES iplik toplam 20 katmandan oluşmakta olup, tabakaların toplam kalınlığı 50 nm civarındadır. Yine Japon firması Toray Industries Inc, ultra tarafından üretilen nano incelikte naylon iplikleri de üstün nem absorplama özelliğine sahiptir [Özdoğan ve ark, 2006c].

Nanoteknoloji tekstil için gerçekten uzak gibi görünen birçok projeyi gerçekleştirebilecek potansiyele sahip gözükmemektedir. Örneğin yırtık, patlak vb hasarları mikrosensörlerle fark edip programlanmış mikro makineler vasıtasıyla kendi kendini onaran kumaşlar üretilebilir. Büyük kumaş parçaları, mikroskobik mekanik tutucularla dikişsiz birleştirilebilirler. Ultraesnek, ultraince kumaşlar astronotların uzayda daha kolay hareket etmelerini sağlamak için üretilebilirler. Başka bir fikir birbiriyle vidalar ile bağlanmış küçük hücresel birimlerden oluşan materyallerdir. Örneğin bu yapıdaki bir kumaş kullanan kişinin isteğine göre şekil değiştirebilir [Erkan ve ark, 2005; Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Nanoteknoloji, ürüne, kullanım süreci içerisinde anlaşılabilir yeni özellikler katması ve her tip kumaşa uygulanabilmesi açısından tekstil firmalarına cazip gelmektedir. Ayrıca insanların nanoteknoloji kullanılan ürünlerin dayanıklılığını bilmeleri de daha pahalı olmasına rağmen bu ürünleri tercih etmelerini ve dolayısıyla üreticilerin ciddi bir kar marjına sahip olmalarını sağlamaktadır [www.yalindanismanlık.com, 2007].

Cientifica/İspanyol kuruluşu tarafından yayınlanan bir raporda, nanoteknoloji tabanlı tekstil ürünlerinin 2007 yılında 13,6 milyar dolarlık bir büyüklüğe erişeceği ve çarpıcı biçimde gelişerek 2012 yılında 115 milyar dolara ulaşacağı bildirilmektedir. Büyümenin giyim ve ev tekstilleri dışında kalan ve performansın öne çıktığı teknik tekstillerde daha büyük oranda gerçekleşeceği, aynı raporda ifade edilmiş bulunmaktadır. Bu veriler, nanoteknoloji tabanlı tekstiller pazarının büyüklüğü ve potansiyeli hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları konusunda Avrupa Birliği ülkeleri, Amerika, Çin, Hindistan, Japonya, Güney Kore ve Avustralya başta olmak üzere yoğun çalışmaların yürütüldüğü görülmektedir. Çin'in 1 milyon nanoteknoloji

uzmanı yetiştirme hedefi bilinmektedir. Bu elemanların bir bölümünün de tekstil konusunda uzmanlaşacağı açıktır [Üreyen, 2006b]. AB ülkeleri, Çin ve Hindistan'ın teknik tekstiller ve nanoteknolojideki gelişmesini kendi ülkeleri açısından endişe verici bulmaktadırlar [Türkant ve Akalın, 2007].

Pek çok ülkede yeni merkezler ardı ardına açılmaktadırlar. Örneğin, Haziran 2003'te Hong Kong Politeknik Üniversitesi'nde tekstil ve hazır giyim bölümüne bağlı "Nanotechnology Centre For Functional and Intellegent Textiles and Apparel (İşlevsel ve Akıllı Tekstil Malzemeler ve Nanoteknoloji Merkezi)" isimli bir merkez kurulmuş bulunmaktadır. Yaklaşık 2 milyon Amerikan dolarlık bütçe ve yedi ticari firmanın desteğiyle kurulan bu merkezde, üç yıl içerisinde nanoteknoloji tabanlı antimikrobiyal malzemeler, UV koruyucu, su geçirmez ve kendi kendini temizleyebilen kumaş, elektronik tekstiller gibi pek çok ürün geliştirilerek piyasaya sürülmüştür. Son yıllarda konferans ve sempozyumlarda sunulan, uluslararası dergilerde yayımlanan makalelerin hızla artan sayısı, yapılan çalışmaların yoğunluğunu da açıkça göstermektedir [Üreyen, 2006b].

Türkiye tekstil sanayisinde nanoteknolojinin kullanımı bilhassa bitim/terbiye aşamasında yaygınlaşmaktadır. Önemli markalara üretim yapan firmalar, nano-bitim işlemi görmüş koleksiyonlar hazırlamaktadırlar [Kut ve Güneşoğlu, 2005]. UNAM'da kirlenmeyen, kırışmayan, su geçirmeyen, renk değiştiren ya da renk tutan kumaşlar başta olmak üzere tekstilin her alanında çalışmalar yürütülecektir. Türkiye'de Tekstil İşverenleri Sendikası, Korteks, Pamukkale Üniversitesi, UNAM'ın işbirliğini başlatmış olduğu taraflardır. Akıllı askeri elbiseler, ısı ve ışığa duyarlı fiber tabanlı akıllı sensörler gibi uygulamalar da araştırma grubunun öncelikleri arasındadır. Hedef Türkiye'nin tekstil alanındaki liderliğini sürdürmesi, kaliteli ve yüksek katma değerli tekstil üretimi için bilgi ve Ar-Ge altyapısı oluşturmaktır [Uğur, 2006].

UNAM'da çalışan Yardımcı Doçent Mehmet Bayındır, akıllı askeri uniformaların tasarımında kullanılacak ısıyı ve ışığı hisseden, güneş ışığını enerjiye çevirebilen yeni nesil kumaşlar, kızıl ötesi ışık sensörlerini kapsayan fibersensör projesi üstünde çalışmaktadır. Tekstilde nanolif ve kullanım alanları projesi üzerinde

çalışan Pamukkale Üniversitesi'nden Yardımcı Doçent Yüksel İkiz, elektrospinning yöntemiyle nanolif üretmeyi başarmıştır. [Uğur, 2006].

Bazı Türk firmaları, nanoteknolojiyle üretilmiş malzemeler kullanarak kumaşlara su ve yağ iticilik, leke tutmazlık, kolay ütülenme, nefes alabilirlik gibi özellikler kazandıran tekstil ve hazır giyim ürünleri üretmektedirler. Bunun yanında nanoyüzey kaplama ürünüyle boyama makinelerindeki ısı kaybını önlemeye yönelik çözümler üreten ve iplik makinelerinde kullanılan kopçalarda nano bor kullanarak dayanım arttırma konusunda çalışmalar yapan Türk firmaları da vardır. Tekstil kimyasalları üreten ve pazarlayan bazı firmalar tarafından çeşitli antimikrobiyal kimyasallar, Türkiye'ye ithal edilerek pazarlanmaktadır. Bunların içerisinde nanoteknoloji ürünü olanlar da bulunmaktadır. Bir yerli boya firması, nanoteknoloji kullanarak üretmiş olduğu boyaları tekstil sektörüne uyarlamak amacıyla TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi'nin danışmanlığında çalışmalar yürütmektedir [Üreyen, 2006b].

Zorlu Tekstil Grubu bünyesindeki Korteks İplik, nano malzemelerin polyester iplik üretiminde kullanılmak ve avantajlarından fayda sağlamak üzere teknolojik araştırma ve ürün geliştirme faaliyetlerinde bulunmaktadır. Nano gümüş kullanarak anti-mikrobiyel iplik, nano karbon tüpler kullanarak anti-statik özelliği olan ve tekstilde, kullanımında boya alma kabiliyeti olan anti-statik polyester iplik geliştirme çalışmalarına devam etmektedir. Ulusal Nanoteknoloji Merkezi ile yapılan protokol gereği merkezde geliştirilecek yeni nano malzemeler ve teknolojilerin Zorlu Tekstil Grubu bünyesinde sanayide uygulanmasına yönelik çalışmalar yapılacaktır. Örneğin kendi kendini temizleyebilen tekstiller, biyolojik fayda sağlayan malzemeler, nano sol-jel ve plazma kaplama teknikleri öncelikli uygulama alanları olacaktır [www.princeton.edu, 2007].

Leke ve su tutmama, çabuk kuruma, çabuk ütülenme özellikleri ile büyük miktarda enerji ve zaman tasarrufu sağlayan akıllı kumaşların üretim teknolojisi, Türkiye'de ilk kez örme ürünlerin üretiminde Yeşim Tekstil'de kullanılmaya başlanmıştır. En büyük müşterilerinden biri olan ABD'li GAP INC. için tesislerinde akıllı kumaş üretmeye başlayan Yeşim Tekstil, nanoteknoloji ürünü kumaşlarını laboratuvarlarında test etmiş ve deneme üretimine başlamıştır. Firma, GAP markası

altında üretmiş oldukları akıllı kumaşlar ile tişört dikmektedir [www.emo.org.tr, 2007].

Görüldüğü gibi nanoteknoloji konusu, Türk tekstil sektörünün de ilgisini çekmektedir. Ancak, bu alanda kullanılan nanoteknoloji tabanlı malzemelerin yurtdışından ithal edildikleri unutulmamalıdır [Üreyen, 2006b].

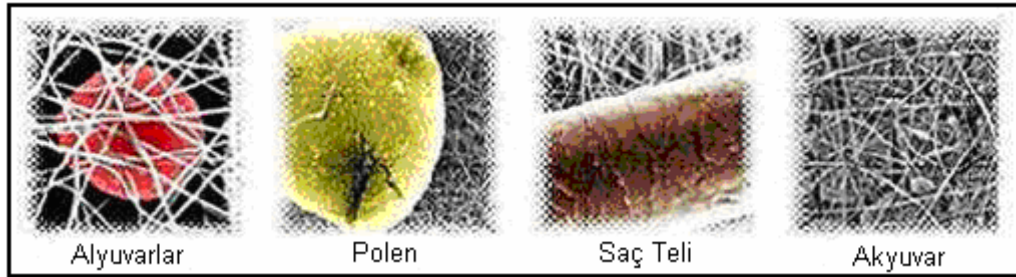
Tekstil malzemelerinde nano-teknoloji uygulamaları temelde iki başlıkta incelenebilir [Cireli ve ark, 2006]:

- Farklı fonksiyonlara sahip nano boyutlarda yeni tekstil malzemeleri üretmek: Bu ürünler; nanolifler, nanotüpler ve nanokompozitlerdir.
- Tekstil materyallerinin var olan fonksiyonları ile performanslarını nano-teknoloji yardımı ile geliştirmek: Bu iki şekilde gerçekleştirilebilir.
 - ❖ Lif, iplik veya kumaş yüzeyine farklı özellikler kazandıran nanopartiküller, nanokompozitler vb eklemek,
 - ❖ Atom ve moleküllerin yerleri ile oynayarak, ileri teknolojilerle (plazma, sol-jel vb) ile kaplama yaparak yeni/fonksiyonel yüzey tabakaları elde etmek.

5.1. Nanolifler

Kimyasal lif üreticilerinin daha ince lifler üretmek için yapmış oldukları çalışmalar mikro ve nano incelikteki liflerin geliştirilmesini sağlamıştır [Cireli ve ark, 2006]. Genel anlamda lifler söz konusu olduklarında, bir lifi nano diye tanımlarken lif çapı göz önünde bulundurulur. Yani nanolifler basit olarak, incelikleri nanometre boyutlarında olan lifler olarak tanımlanabilmektedirler. Ancak, farklı endüstri kolları birbirinden farklı tanımlamalar kullanmaktadırlar. Örneğin, bazı kaynaklar çapı 1 mikronun altındaki liflere nanolif derlerken, bazıları ise bu tanıımı çapı 0,3 mikron (=300 nanometre) veya daha az olan lifler için uygun görmektedirler. Bir başka tanımlamada nanolifler, çapları 0,5 mikrondan daha az olan lifler olarak ifade edilmektedirler. Halen bilinen tipik nanoliflerin çapları ise 50-300 nanometre arasındadır [Cireli ve ark, 2006; Süpüren ve ark, 2007b].

Bu konu ile ilgili bir başka yaklaşımda ise; lif çapı 0,1-1 nanometre arasında ise lifler angstrom seviyesinde, 1-10 nanometre arasında ise nano seviyesinde, 100-1000 nanometre arasında ise mikron altı seviyede ve 1000-10000 nanometre arasında ise mikron seviyesinde olarak ifade edilmektedirler. Şekil 5.2.'de, bazı hücre ve lifler boyutsal olarak nanoliflerle kıyaslanmaktadır [Süpüren ve ark, 2007b].



Şekil 5.2. Nanoliflerin farklı hücre ve liflerle karşılaştırılmaları
[Süpüren ve ark, 2007a]

Nanolifleri daha iyi tanımlayabilmek için mikrolifler gibi bazı terimleri açıklamak faydalı olacaktır. Çizelge 5.1.'de lif ölçülerini tanımlamak için en sık kullanılan terimler belirtilmişlerdir. Çizelge 5.1.'de lif ölçüsü 0,3 denye'nin altındaki durumlarda tanımlayacak terimler arasında karışıklık olduğu görülmektedir. Mikron terimi, çoğunlukla kabul görmemiştir, ancak mikrolif terimi bunun yerini almıştır [Yıldırım ve ark, 2004].

Çizelge 5.1. Lif Ölçülerini Tanımlamak İçin Kullanılan Terimler
[Yıldırım ve ark, 2004; Parlakyiğit ve ark, 2005]

Monofilament	Genellikle 14 denye'den daha büyük, lifin tek bir filamenti için kullanılır.
Denye	Birim uzunluk başına ağırlık ölçüsüdür. 9000 m'nin gram olarak ifadesidir. Tek bir filament ya da filament demeti için kullanılır.
Decitex	Lif veya ipliğin 10000 m'sinin gram olarak ağırlığıdır.
Mikrolif	0,3-0,9 denye aralığında ölçüye sahip liftir. Multifilament ipliklerde filamentleri 1 denye'den daha az olanlar için kullanılan bir terimdir. Tipik bir 1 denyelik PES lifi 10 mikron lif çapına sahiptir.
Micron	Lifin ölçüsü 0,3 denye'den daha düşük ise lifin çapını mikron (10^{-6} m) olarak tanımlamaktır.
Nanolifler	Çapları 0,5 mikrondan daha az olan lifler için kullanılır. Tipik nanoliflerin çapı 50-300 nanometre arasındadır.
Kullanılan diğer bazı terimler: mikro-denye, sub-micron, superfine	

Nanolifler yüksek moleküler oryantasyona sahiplerdir, küçük boyutları sayesinde daha az yapısal kusur taşırlar, bu sayede oldukça iyi mekanik özellikleri vardır, küçük çaplarından ötürü yüzey/hacim oranları veya yüzey/kütle oranları yüksektir, dolayısıyla yüksek spesifik yüzey alanlarına sahiplerdir[Kut ve Güneşoğlu, 2005]. Nano liflerin geniş yüzey alanına sahip yapılar oluşturmaları, fonksiyonel grupları, iyonları ve çok çeşitli nano seviyedeki partikülleri tutma veya yayma kapasitelerinin yüksek olmasını sağlamaktadır [Süpüren ve ark, 2007a].

Çeşitli kimyasal ve fiziksel yöntemlerle üretilen bir boyutlu nano yapılarla kıyaslandıklarında, oldukça uzun olan nanolifler genellikle lif çekimi sonrasında bir yüzey üzerinde toplanarak dokusuz yüzey haline getirilmektedirler. Alternatif olarak tek tek lif ya da bu liflerin oluşturdukları ipliklerin elde edilebilmesinin de mümkün olduğu belirtilmektedir. Sayısız nanoliften elde edilen bu ipliklerin çapları mikron seviyesindedir. Bu iplikler, nano liflerin dokuma ve örme yüzeylerde kullanılmasına olanak sağlamaktadırlar[Süpüren ve ark, 2007a]. Nanolifler; su geçirmezlik, leke

tutmazlık, kırılmazlık gibi kumaş performans özelliklerinde yüksek derecede artış sağlarlar [Demir ve ark, 2007].

Nanolifler tekstil dünyasına çok yeni girmiş bir gelişmedir ve özellikle son yıllarda AB ülkeleri nezdinde geniş araştırma sahaları bulmuştur [Yıldırım ve ark, 2004; Kut ve Güneşoğlu, 2005]. Nanolifler özel uygulamalara sahip materyallerin geliştirilmelerine olanak sağlayan mikro ve nano yapısal özellikleri nedeniyle, son yıllarda giderek önem kazanan bir araştırma konusu haline gelmişlerdir. Büyük yüzey alanları ve küçük gözenek boyutları, nanoliflerin önemini artırmaktadır [Süpüren ve ark, 2007a]. Nanoliflerin büyük miktarda, ucuz fiyatlarla pazara girmeleri yakın zamanda mümkün gözükmemektedir. Ayrıca nanolifler hakkında hala sonuçlandırılması gereken birçok gelişme ve uygulama alanı bulması gereken kullanım alanları bulunmaktadır [Yıldırım ve ark, 2004].

5.1.1. Nanoliflerin Üretimi

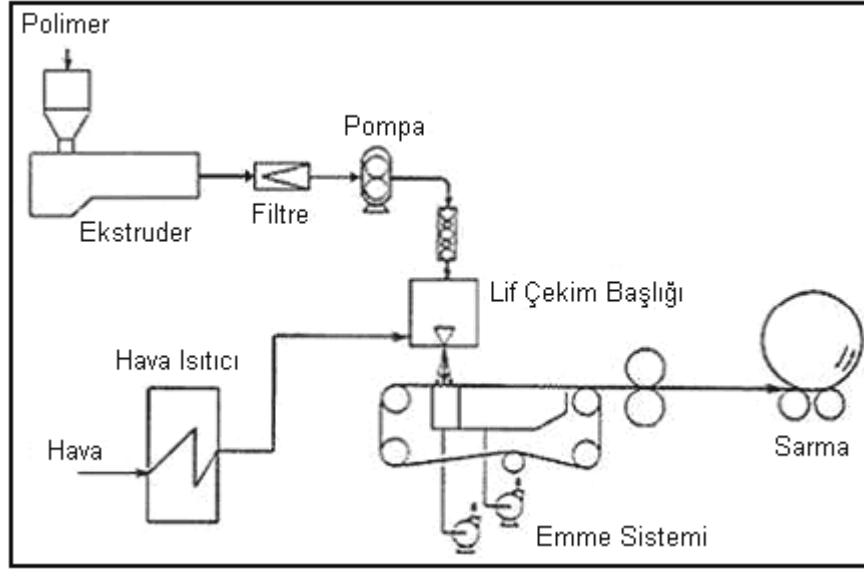
Konvansiyonel lif üretim teknikleri, eriyiğin ya da çözeltinin bir düzeden geçirilmesini sağlama ve üretilen lif ışınlarının katılaşmaları esasına dayanmaktadır. Her ne kadar lif üretiminde konvansiyonel teknikler en çok kullanılan ve bugün için en ekonomik yöntemler olsalar da, bu yöntemlerle nanoliflerin üretilmeleri mümkün olmamaktadır. Bunun sebebi ise konvansiyonel lif üretim metotlarında kullanılan düze çapının nanolifleri üretebilecek kadar küçültülmesinin olanaksız olmasıdır [Yıldırım ve ark, 2004].

Günümüzde nanolif üretimi: Meltblowing, spunbond, fibrilasyon, bikomponent ve elektrospinning yöntemleri kullanılmak suretiyle gerçekleştirilebilmektedir [Süpüren ve ark, 2007b].

5.1.1.1. Meltblowing Yöntemi ile Nanolif Üretimi

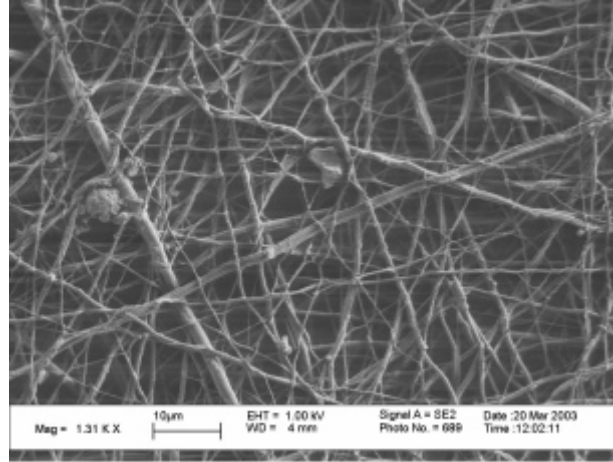
Günümüzde, çok miktarlarda küçük çaplı lif üretmek için kullanılan en yaygın üretim tekniği meltblowing tekniğidir. Ancak halen bu yöntem ile elde edilen

liflerin çaplarında ulaşılabilen sınır değer 1 mikrondur [Demir ve Oruç, 2007; Süpüren ve ark, 2007b]. Şekil 5.3.'te meltblowing yöntemi şematize edilmektedir.



Şekil 5.3. Meltblowing sistemi ile üretimin akış şeması
[Süpüren ve ark, 2007a]

Meltblowing teknolojisi ile termoplastik polimerlerden düşük maliyetle, büyük miktarlarda polimerik nanoliflerin üretimleri amaçlanmaktadır. Polimer, ekstruderde eritilmekte, filtrasyon adımıdan sonra bir pompa yardımı ile lif çekim başlıklarına gelmekte ve düzeden fişkırtılmakta, ardından hava üflemesi ile inceltilmektedir. Lifler kesikli elyaf halinde, aşağıda bulunan toplayıcı bant üzerine düşmektedir [Süpüren ve ark, 2007b]. Şekil 5.4.'te meltblowing yöntemi ile üretilen lifler gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Meltblowing yöntemi ile üretilen lifler [Demir ve Oruç, 2007]

Polimerden doğrudan tekstil yüzeyi oluşturma olanağı sağlayabilen bu yöntemin, üretim ekipmanı maliyetlerinin yüksek olması dezavantajı vardır. Ayrıca bu metotla üretilen liflerin mukavemetleri düşük olmakla birlikte, üretildikleri halleriyle, lif çapları lif boyunca ve lifler arasında büyük değişiklikler gösterirler.

Meltblowing yöntemi daha ziyade mikrolif üretiminde kullanılmakla birlikte, bu yöntemin nanolif üretiminde kullanılması üzerine araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmaların çoğunluğu sadece araştırmacıların bilgisi dahilinde olan “gizli” araştırmalardır ve bu yüzden de detaylar kapsamlı bir şekilde henüz açıklanmamıştır. Büyük bir olasılıkla Kore’deki Nano Tecnics’in nanolif filtre materyali, elektro üretimden daha ziyade değiştirilmiş bir meltblowing işlemiyle üretilmektedir [Süpüren ve ark, 2007b; Demir ve Oruç, 2007].

Değiştirilmiş bir meltblowing işlemi geliştirmek için çalışan şirketlerden bir diğeri de Aberdeen’deki Nanofibers Technology Inc.’dir. Bu şirketin projesine göre nanolifler, modüler bir düze kullanarak meltblowing işlemi ile oluşturulurlar. Üretilen lifler mikron ve mikrondan daha ince boyutlardaki liflerin bir karışımıdır. Bu teknik, termoplastik polimerlerin kullanımına imkan veren ucuz bir üretim yöntemidir. Söz konusu teknik, kilogram başına 10 \$’dan daha az bir maliyetle yüksek miktarlarda polimer esaslı nanolifleri üretebilme potansiyeline sahip gözükmektedir. Her ne kadar meltblowing işlemi olarak tanımlanmasa da, Neumag (Almanya) tarafından lisansı alınan teknik, eriyik haldeki polimer akıntısına hava-jeti ile çarparak bu akıntıyı küçük filamentlere ayırmak için geliştirilmiştir.

Hills Inc. ince dağıtım plakası teknolojisini kullanarak meltblowing işlemine başka bir yaklaşımda bulunmuştur. Kullandıkları yeni düzelerle inç başına düşen delik sayısı 100 ve üstüne çıkarken delik başına düşen polimer debisi azalmıştır. Ancak, düze paketlerinin birim uzunluğuna düşen toplam üretim miktarı standart meltblowing ile aynıdır.

Sonuç olarak lif boyutlarının değişim aralığı ile birlikte ortalama meltblown lif boyutu da büyük ölçüde azaltılmıştır. Bu teknikte düze delik çapları 0,10 ile 0,15 mm arasında değiştiği için polimer son derece temiz olmalıdır. Bu düzeyle uzun vadeli üretim işlemi halen geliştirme aşamasındadır [Demir ve Oruç, 2007].

5.1.1.2. Bikomponent Lifler Yoluyla Nanolif Üretimi

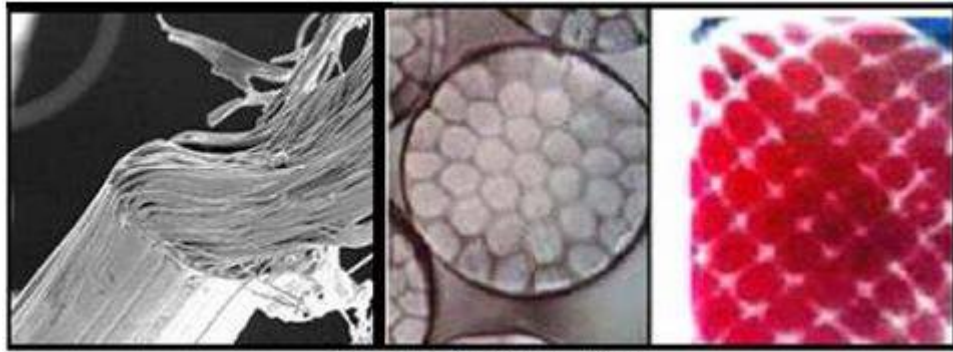
Nanoliflerin üretimi için, diğer bir yöntem, ayrıştırılabilen veya çözülebilen bikomponent lifleri kullanmaktır [Demir ve Oruç, 2007]. Konvansiyonel yöntemlerde düze içerisinde bikomponent liflerin geçirilmeleri ve bu lif karışımlarının daha sonra ayrılmaları mümkündür. Ancak oluşan liflerin incelikleri uniform olmamakta ve enine kesit görünimleri de bir homojenlik göstermemektedir. Bu yöntemlerde nanolif üretimi rasgele olmakta ve üretilen liflerden ancak bir kısmı istenen özellikleri taşımaktadır [Süpüren ve ark, 2007b].

Nanoliflerin üretiminde bu teknolojinin kullanımı için birçok yaklaşım ileri sürülmüştür. Üzerinde en çok çalışılan yaklaşım ise standart bir üretim-çekim işlemi ile deniz-adacık tipi bikomponent liflerin üretimleridir. Bu teknik kullanılarak elde edilen filament iplikler, özellikle Asya’da, yaklaşık 20 yılı aşkın süredir üretilmektedirler [Demir ve Oruç, 2007].

Nanolif üretiminde kullanılan bikomponent liflerin yapısında: Polipropilen, poliester ve poliamid gibi lifler ile daha sonra eriyerek bikomponentten uzaklaşan bir polimer madde bulunmaktadır. Bikomponent liflerde “ada-deniz” modeline göre, eriyerek ortamdan uzaklaşan polimer “deniz”, geriye kalan ve yaklaşık olarak 300 nm çapa sahip lifler de “ada” olarak adlandırılmaktadırlar [Süpüren ve ark, 2007b]. Tipik “adacık” polimerleri; poliamid, poliester, tipik deniz polimerleri ise; PVA

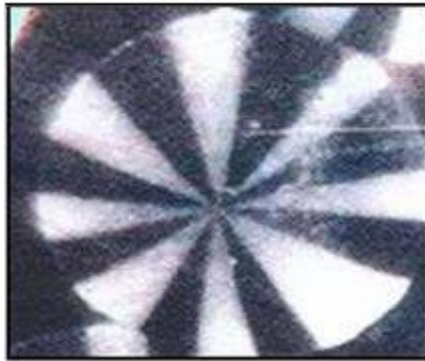
(polivinil alkol), EVOH (etilen vinil alkol) ve kolayca hidrolize olabilen poliesterdir [Demir ve Oruç, 2007].

Şekil 5.5.'te solda görülen, 600 adet “ada” lifinden oluşan yapı, bir denye inceliğindedir. Sağdaki şekilde ise deniz ada yapısındaki bikomponent liflerin kesit görünümüleri verilmektedir. Bu teknik ile üretilen nanolifler, ticari uygulamalar için ekonomiktirler. Elektrospinning ve meltblowingden farklı olarak, bu teknolojiyle üretilen nanolifler daha dar çap değişim aralıklarına sahiplerdir.

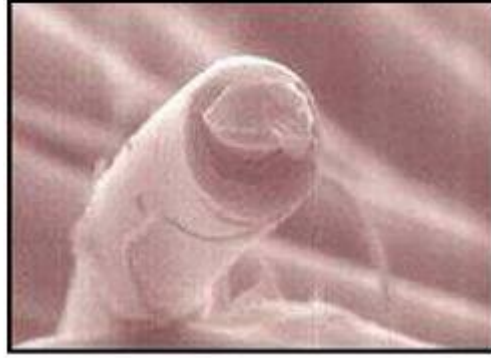


Şekil 5.5. Bikomponent lifler [Süpüren ve ark, 2007a]

Bikomponent liflerden küçük çaplı lif elde etme tekniklerinden bir diğeri de “dilimli pasta” (splittable pies) modelidir. Şekil 5.6.'da görülen dilimli pasta yapısındaki bikomponent lifler genelde poliester ve poliamidden üretilmektedirler. Diğer bir yapı da Şekil 5.7.'de görülen çekirdek/manto yerleşimidir [Süpüren ve ark, 2007b].



Şekil 5.6. Dilimli pasta yapısındaki bikomponent lif [Süpüren ve ark, 2007a]

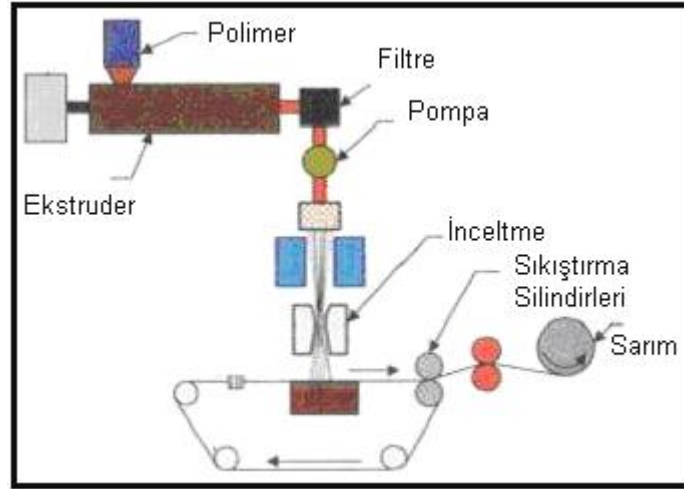


Şekil 5.7. Çekirdek-manto yapısındaki bikomponent lif
[Süpüren ve ark, 2007a]

5.1.1.3. Spunbond Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Spunbond yöntemi, meltblowing yöntemi ile teknik olarak çok benzemektedir. Ana farklılıklar, filamentleri inceltmek için kullanılan havanın hacmi ve sıcaklık ile ilgilidir. Bu farklılıklar, sonuçta oluşan liflerin fiziksel özelliklerini de doğrudan etkilemektedir.

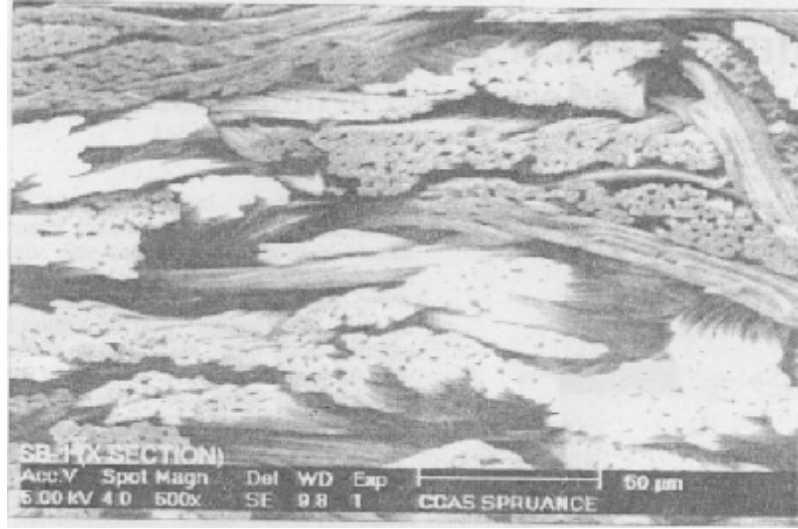
Meltblowing metodunda yüksek miktarda hava kullanılmaktadır. Böylece hava akımı ile lifler gerdirilmekte ve inceltilmektedirler. Spunbond yönteminde ise polimer soğuyup katılaştığında germe uygulanmaktadır. Yani üretimleri sırasında liflere bir germe etki etmemektedir. Bu sebeple üretilen lifler daha kalındır. Lif çapları spunbond prosesi ile elde edilen liflerde 20 mikrona kadar çıkabilirken, meltblown prosesi ile elde edilen liflerde bu değer 2 mikronu pek geçmemektedir [Süpüren ve ark, 2007b]. Şekil 5.8.'de spunbond yöntemi şematize edilmektedir.



Şekil 5.8. Spunbond yönteminde üretim akışı [Süpüren ve ark, 2007a]

Son zamanlarda Hills, deniz-adacık tipi bikomponent liflerin üretimi tekniğini spunbond işlemine uygulamıştır. Hills ve Kuzey Carolina Devlet Üniversitesi (North Carolina State University) laboratuvarlarında 0,5 m genişliğindeki spunbond kumaşında hem poliamid hem de PP “adacık” lifleri üretilmiştir.

EVOH ve Eastman AQ polimerleri “deniz” olarak kullanılmışlardır. 25 adet “adacık” kullanılarak üretilen kumaş yaklaşık 2 mikron gibi aşırı derecede küçük boyut değişim aralığına sahip liflerden oluşur. Lifler çözüldükten sonra incelendiklerinde, liflerin standart eriyikten üretilmiş liflerle aynı temel mukavemet özelliklerine sahip oldukları gözlemlenir [Demir ve Oruç, 2007]. Şekil 5.9.’da deniz içinde ada elyafından elde edilmiş spunbond kumaş görülmektedir.



Şekil 5.9. Deniz içinde ada elyafından elde edilmiş spunbond kumaş [Balcı, 2006]

Ayrıca 36 adet “adacık”lı kumaşlar da üretilmişlerdir ve 360 adet “adacık”a sahip olabilen spunbond kumaşlar üretmek için spunbond düze paketleri hazırlanmışlardır ve bu paketler çok yakında yaklaşık 500 nanometre boyutlu liflere sahip spunbond ürünleri elde etmek için kullanılacaklardır.

Benzer bir teknik, bir spunbond işleminde dilimli pasta şeklindeki lifleri elde etmek için de kullanılabilir. Spunbond kumaş, daha sonra liflerin ayrıştırıldığı ve sağlamlaştırıldığı su-jeti ile nonwoven üretim makinesine beslenir.

Bu teknikte, elde edilen lifler nanoliflere ait çap alanına girmezler, ancak, eğer buna benzer bir teknik meltblowing işlemi ile beraber kullanılmış olsaydı, ortaya çıkan kumaş esas itibarıyla nanolifleri de kapsamış olacaktı [Demir ve Oruç, 2007].

5.1.1.4. Fibrilasyon İle Nanolif Üretimi

Nanolif üretiminde oldukça ilginç bir başka yaklaşım da selülozik liflerin çok ince lifler şeklinde fibrilasyonu sonucu nanoliflerin elde edilmesidir. Fibrilasyona uğrayan selülozik liflerden, ince, hidrofil, mikro gözenekli yapıda yüzeyler elde edilmekte ve bunların özellikle mikrobiyolojik alandaki uygulamalara olanak sağlayan filtrelerin üretiminde kullanılmalarının uygun oldukları düşünülmektedir.

Esasında bu yöntemle selülozik lif, 1 mikrondan daha küçük çapa sahip olan lifçiklere bölünmekte, ancak tek tek lifler halinde değil, nanolif tülbendi formunda elde edilmektedir [Süpüren ve ark, 2007a].

KX Industries kolayca fibrile edilebilen lyocell liflerinin nanolif ağlarına dönüştürüldüğü işlemleri içeren pek çok çalışma sonuçlarını ortaya koymuştur. Bu teknikle üretilen lifler orta düzeyde mukavemet özelliklerine sahip olmalarına rağmen, boyut ve oluşumda büyük değişiklikler gösterirler. Lyocell liflerinin üretim koşullarının son derece kritik olmasından dolayı, bu teknikte başarılı olma olasılığı son derece azdır ve beklenildiği gibi başka uygulamalarda fibrile olmayacak iyi lyocell lifleri üretmek için gerekli üretim şartlarıyla zıtlık arz etmektedir [Demir ve Oruç, 2007].

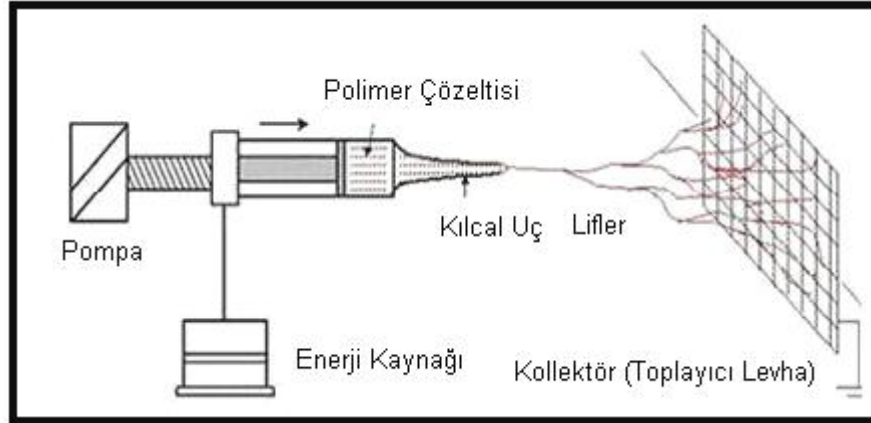
5.1.1.5. Elektrospinning (Elektro Lif Çekimi) Yöntemi İle Nanolif Üretimi

Nanolif üretim yöntemleri arasında elektrostatik yöntemle elde edilen lifler istenilen tüm özellikleri sağlayabilmektedirler, lif inceliği kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yöntemde, polimer çözeltisi veya lif eriyiğinden lif eldesi için elektrostatik kuvvet kullanılmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006c].

1934 yılında Formhals tarafından, elektrostatik kuvvetler kullanılmak suretiyle polimerlerden filament lif üretilmesi işleminin patenti alınmış ve kullanılan bu yöntem “elektrospinning” olarak tanımlanmıştır. Son dönemlerde, bu yöntem ile elde edilen polimer liflerin çaplarının mikrometre altında uzunluklarda olmaları ve bu ölçülerin filtreleme, kompozitleri güçlendirme ve biyomedikal cihazlar gibi önemli ölçüde geniş uygulama alanları için elverişli olmalarından dolayı bu yöntemle olan ilgi hızla artmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006c; Cha ve ark, 2005].

5 kV ve 30 kV arasındaki elektrik akımı bir polimerin yüzey gerilimini yok etmektedir. Herhangi bir yüzey gerilimine sahip olmayan polimer çözeltisi, özel tasarlanmış ve çok ince yapıdaki jet düzesinden geçirilerek düzenin karşısına yerleştirilmiş olan topraklanmış hedefe doğru akmaktadır. Lif ışıını şeklinde topraklanmış yüzeyde biriken lifler ise sürekli olarak çekilmektedirler. Böylece elektrospinning yöntemi, polimerlerin önce çok yüksek voltajlı elektrik akımı ile

yüklenmeleri daha sonra da bir düzeden topraklı bir plakaya doğru akmaları esnasında katılaşmaları ve lif halini almaları şeklinde özetlenebilmektedir [Özdoğan ve ark, 2006c]. Şekil 5.10.'da elektrospinning düzeneğinde liflerin oluşumu gösterilmektedir.

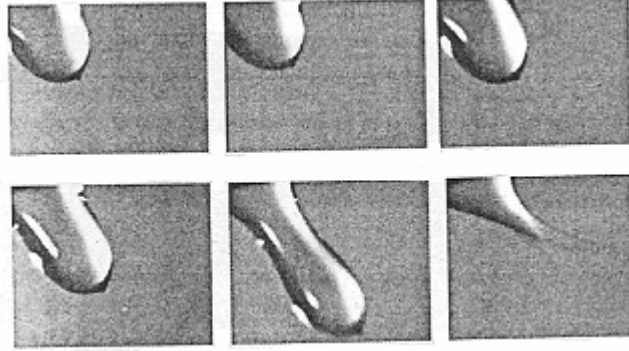


Şekil 5.10. Elektrospinning düzeneğinde liflerin oluşumu
[Süpüren ve ark, 2007a]

Elde edilecek life ait polimer sıvısı ile doldurulmuş kılcal boru sistemine bir elektrot yardımı ile yüksek voltaj uygulanmakta ve lifler bu yüksek voltajlı elektriksel alanda üretilmektedirler. Polimer çözeltisi veya eriyiği, içinde piston olan bir şırınga içerisine doldurulmaktadır. Şırınganın ucu paslanmaz çelikten yapılmıştır ve elektrot görevi görmektedir. Karşıt elektrot olan metal plaka bu kılcal borunun altına yerleştirilmiştir. Bu kılcal boru ucu ile elektrot arasına yüksek voltaj uygulanmaktadır. Kontrollü hız altında şırınga içindeki piston bir motor ile tahrik edilerek hareket ettirilmektedir.

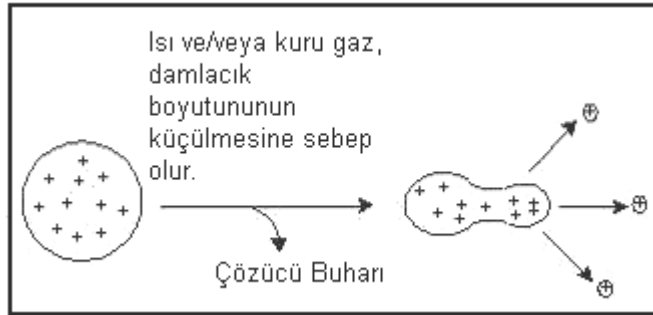
Polimer çözeltisinin veya eriyiğinin bir damlası şırınga ucundan çıkmakta ve sıvı yüzey gerilimi sayesinde damlamadan bir süre için asılı kalmaktadır. Eğer çözelti veya eriyik serbest yüzeyi bir elektrik alana maruz bırakılırsa, hava ile çözelti veya eriyik yüzeyi arasında yük oluşacaktır. Yük itici gücü yüzey gerilimine karşı koyan bir kuvvete neden olur. Eğer voltaj bir eşik değeri geçerse elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimini aşmakta ve çözeltiden veya eriyikten damlanın uzaklaşmasına neden olmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006c; Şenol ve ark, 2005;

Erkan ve ark, 2005]. Şekil 5.11.'de polimer eriyiğinin elektrik alan tarafından çekilmeye başladığı andan lif çekimine kadarki görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Polimer eriyiğinin elektrik alan tarafından çekilmeye başladığı andan lif çekimine kadarki görüntüsü [Cireli ve ark, 2006]

Elektriksel alanın kuvveti arttıkça sıvının yarım küre şeklindeki yüzeyi konik şekil oluşturacak şekilde uzamaktadır. Buna “Taylor koni” adı verilmektedir (Şekil 5.12.).



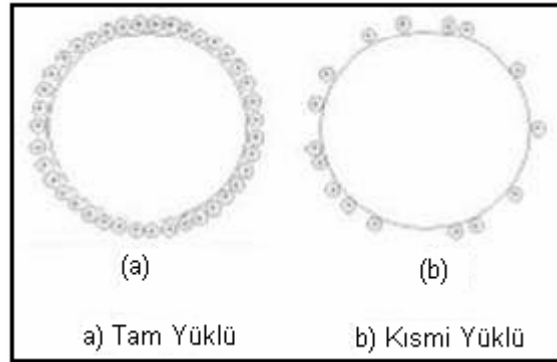
Şekil 5.12. Taylor koni oluşumu ve sonuç olarak izleyen iyon fişkırması [www. soton.ac.uk, 2007]

Böylece karşı elektroda doğru hareket başlamaktadır. Bu fişkırmakta olan damlaya “jet” denilmektedir. Bu jet içerisindeki çözgen karşı elektroda hareket esnasında buharlaşmakta veya eriyik katılaşmakta ve katı halde lifler oluşmaktadırlar. Bunlar yüksek oranda çekilmişler ve metal plaka üzerinde toplanmadan önce yapmış oldukları rasgele hareket sırasında incelmışlerdir. Lifler, karşı elektrotun üzerinde veya bu elektrot üstüne yerleştirilmiş olan bir materyal

üzerinde toplanmaktadırlar. Bu şekilde çapları 5 nm'den başlayan lifler elde edilebilmektedirler [Özdoğan ve ark, 2006c; Erkan ve ark, 2005].

Jet ile taşınan elektrik yüklerinden kaynaklanan radikal kuvvetlerin oldukları bölgede yayılma meydana gelir. Bu kuvvetler, jet içindeki kohezif kuvvetlerden daha büyük hale geldiklerinde ise tek bir jet birçok jete parçalanır. Bu olay: lifler kolektör üzerinde toplanmadan önce olur. Bu yayılma prosesi ile ilgili halen az şey biliniyor olmasına rağmen elektriksel kuvvetlerle jetin ivmelenmesine bağlı olan uzamanın bundan sorumlu olduğu düşünülmektedir [Şenol ve ark, 2005].

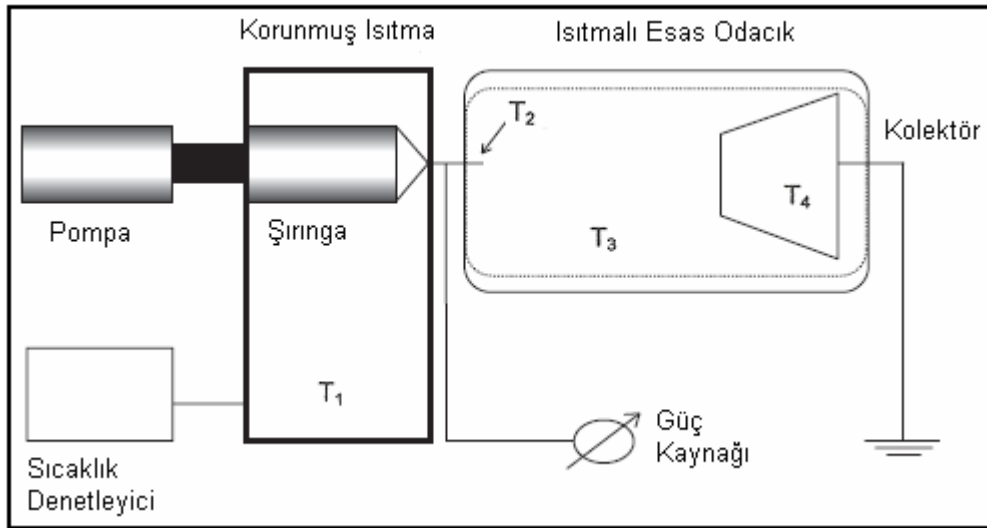
Elektrospinning işleminde polimer jeti tamamen yüklü ya da kısmi yüklü hale gelmiş olabilmektedir. Şekil 5.13.'te polimer jeti yüzeyindeki yük dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.13. Polimer jeti yüzeyindeki yük dağılımı [Süpüren ve ark, 2007a]

Son yıllarda, çözücü merkezli (solventbased) elektrospinning yöntemi ile, 40'dan fazla farklı türde polimer elyaf üretilmiştir. Bu yöntem, buharlaştırılmış çözücünün birikmemesini ve elektrospinning işleminin havadar alanlarda yapılmasını gerektirir. Ayrıca toplanmış malzemenin miktarını arttırmak için çeşitli memecik sistemleri ve çözücü buharlaşma hızlarını kontrol etmek için bir strateji gerektirmektedir. Nispeten, dar ve kapalı ortamlarda elyafların çözelti içeren elektrospinning yöntemi ile üretimleri kısıtlıdır. Henüz oldukça az çalışmada, polimer eriyiklerinden elektrospinning yöntemi ile üretim yapmak üzerine rapor verilmiştir. Bu; polimer eriyikleri ile ilişkili yüksek viskozite ve kontrollü termal ortam gibi, işlemedeki zorluklar yüzünden olabilir. Eriyik kullanılan elektrospinning

yöntemi ile üretim, araştırmacılara büyük ilgi kaynağı olan biyolojik olarak türetilmiş birçok polimerin kullanımını engelleyecektir. Fakat eriyik kullanılan elektrospinning yöntemi ile üretimin, direkt olarak üretim için uygulanabilir bir yaklaşım olduğu ve bakterilerle ayrışabilen polimerlerin, iyi çaplara ve mükemmel tek biçimliğe sahip yüksek kaliteli elyaflar oluşturabildikleri son zamanlarda kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, eriyikten elektrospinning yöntemi ile üretim, çözücü-merkezli elektrospinning yöntemi ile üretim üzerinde belirgin avantajlara sahiptir, çünkü; organik çözücülerin geri dönüşümlerini veya kaldırılmalarını gerektirmez; böylece, çevre dostu olmanın yanında, fiyat olarak en uygundur. Ayrıca, eriyikten elektrospinning yöntemi ile üretim; polietilen, polipropilen ve polyester gibi, oda sıcaklığında uygun bir çözücüye sahip olmayan polimerler için uygun olacaktır [Lee ve Obendorf, 2006; Dalton ve ark, 2006]. Şekil 5.14.'te eriyikten elektrospinning yönteminde kullanılan düzenek gösterilmektedir.



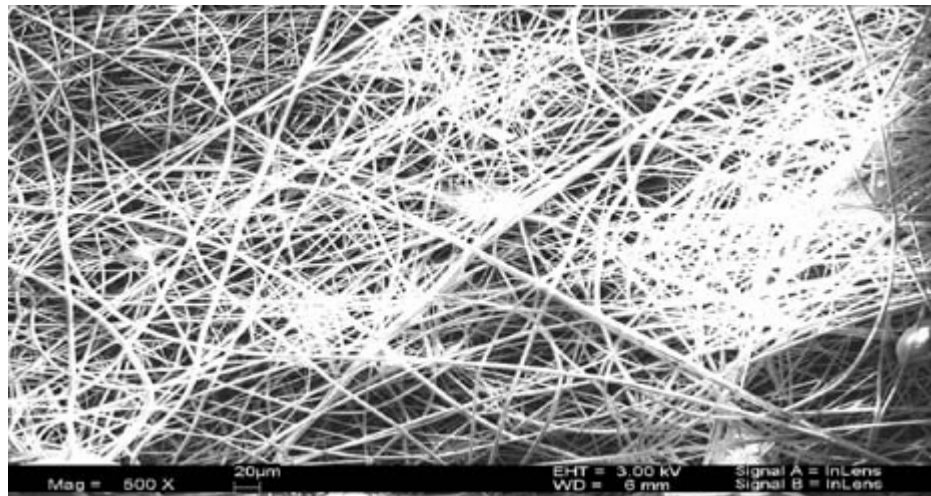
Şekil 5.14. Eriyikten elektrospinning yönteminde kullanılan düzenek
[Lee ve Obendorf, 2006]

Şekil 5.14.'te gösterilen düzenek; polimer eriyikli bir şırınga, tam olarak kontrol edilmiş şırınga pompası, 0-30 kV yapabilir bir yüksek voltaj güç kaynağı, toprak bağlantılı (toprak hattı çekilmiş) bir kolektör ve ısıtma birimlerinden meydana gelir. İğne sıcaklığı ayrı olarak ayarlanabilir, ısıtma aygıtlı bir esas odacık ve sıcaklık denetleyicili korunmuş bir ısıtma birimi, işlemdeki termal ortamı kontrol etmek için

kullanılırlar. Dizayn, dört farklı sıcaklık bölgesi ile sonuçlanır: şırınga sıcaklığı (T_1), iğne sıcaklığı (T_2), esas odacığındaki sıcaklık (T_3), ve kolektör sıcaklığı (T_4). Sistem, sıcaklıkları ayrı olarak kontrol etmek için tasarlanmıştır [Lee ve Obendorf, 2006].

Elektrospinning ile elde edilen nanoelyafın AFM nano-tanımlama, x-ışını difraksiyonu ve Raman spektroskopisi yöntemleri ile mikro yapıları ve mekaniksel davranışları incelenebilir. Ayrıca; taramalı elektron mikroskopi (SEM), transmisyon elektron mikroskopi (TEM), ve diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) kullanılarak da elektroçeğirilmiş nanolifleri nitelendirmek mümkündür [Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005; Subbiah ve ark, 2005].

Elektrospinning yöntemi ile üretilen liflerin mukavemetinin (gram/denye) çok düşük olduğu tahmin edilmekle beraber ölçülmesi de oldukça zordur. Ayrıca elektrospinning, kesintisiz bir proses olduğundan elde edilen lif birkaç kilometre uzunluğunda olabilmektedir. Bu uzunluk, geleneksel yöntemlerle üretilen kimyasal liflerinkine benzemektedir. Üretilen lifler doğrudan dokusuz yüzey haline getirilmektedirler ve bu gözenekli yüzeyler çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilmektedirler. Poliamid 6 nanoliflerinden üretilen dokusuz yüzeyler üzerine yapılan bir çalışmada, lif çapına bağlı olarak yüzey alanının 9-15 m²/g, gözenekliliğin %25-80 ve gözenek boyutunun 2,737-0,167 µm arasında değiştiği tespit edilmiştir [Demir ve Oruç, 2007; Süpüren ve ark, 2007a]. Şekil 5.15.'te elektrospinning yöntemi ile üretilen lifler gösterilmektedir.



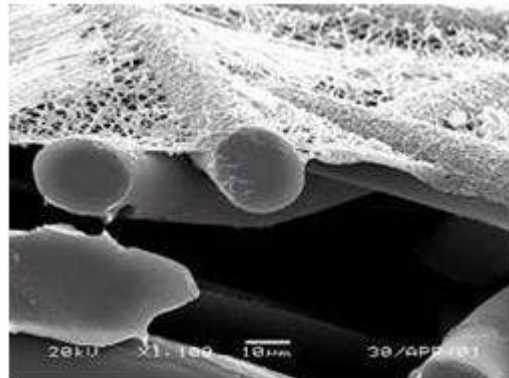
Şekil 5.15. Elektrospinning yöntemi ile üretilen lifler [Jaffe ve ark, 2006]

Elektrospinning yöntemi ile üretilen polimerik, karbon ve seramik nanolifleri; karbon ve diğer nanotüplerle karşılaştırıldıklarında, maliyet ve tek adımda üretimin gerçekleşmesi gibi konularda çeşitli avantajlara sahiptirler. Ayrıca boyutları itibarıyla tıbbi amaçlı kullanıma da uygundur [Süpüren ve ark, 2007a].

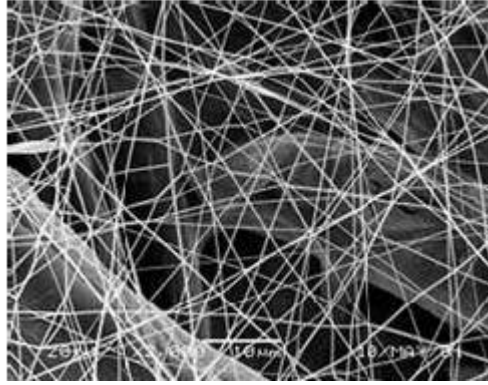
Çapı 3-5 nm olan liflerin üretilirliğinden bahsediliyorsa da, 50 nm çapından daha düşük çapa sahip lifler uniform olmayan bir yapıya sahip olmaktadır. İnce çapa sahip liflerde, çözgenin buharlaşması ve jet stabilitesinin sağlanamaması, üzerinde çalışılması gereken konulardır.

Elektrospinning yöntemi ile üretilen tülbentlerde, liflerin küçük çaplı olması sebebiyle, nanolif tülbentinin kalınlığı da oldukça küçüktür ve yaklaşık olarak 1 mikron civarındadır. Bu ince tülbentlerin düşük mekaniksel özellikleri, kullanımlarını sınırlamakta, bunun sonucu olarak da nanolif tülbentleri çeşitli materyaller üzerine uygulanmaktadır. Materyaller uygun mekanik özellikleri sağlayacak ve nanolif tülbentinin işlevselliğini arttıracak şekilde seçilmektedirler.

Nanolifler cam, poliester, poliamid ve selüloz gibi çok değişik materyallerin üzerine filtrasyon amacı ile uygulanabilmektedir [Özdoğan ve ark, 2006c]. Şekil 5.16.'da filtrasyon amaçlı kullanım için spunbond malzeme üzerindeki nanolif tülbentinin kesit görünüşü sunulmaktadır. Şekil 5.17.'de ise selülozik malzeme üzerine elektrospinning yöntemi ile çekilen nanoliflerden üretilmiş bir hava filtresi görülmektedir [Süpüren ve ark, 2007a].



Şekil 5.16. Spunbond malzeme üzerindeki nanolif tülbentinin kesit görünüşü [Süpüren ve ark, 2007a]



Şekil 5.17. Hava filtrasyonu için WETLAID selülozik malzeme üzerine uygulanan nanolifler [Süpüren ve ark, 2007a]

Çizelge 5.2.'de elektrospinning yöntemi ile üretilen nanolifler ile meltblowing ve spunbond dokusuz yüzey üretim yöntemleri ile elde edilen liflerin çapları kıyaslanmaktadır. Çizelge 5.3.'te ise, bu liflerin yüzey alanları verilmektedir [Süpüren ve ark, 2007a].

Çizelge 5.2. Çeşitli dokusuz yüzey üretiminde kullanılan liflerin çaplarının kıyaslanması [Süpüren ve ark, 2007a]

Lif Tipi	Lif Çapı (Mikron)	Lif Numarası (Denye)
Elektrospun Nanolifler	0,04-2	0,00002-0,06
Meltblown Lifler	2-10	0,03-1
Spunbonded Lifler	15-40	1,5-12

Çizelge 5.3. Çeşitli dokusuz yüzey üretiminde kullanılan liflerin birim kütledeki yüzey alanları [Süpüren ve ark, 2007a]

Lif Tipi	Lif Çapı (Mikron)	Yüzey Alanı/Kütle (m^2/g)
Electrospun Nanolif	0,05	80
Electrospun Nanolif	0,2	20
Meltblown Lif	2,0	2
Spunbonded Lif	20	0,2

Elektrospinning yöntemi ile nanolif tülbentlerinin üretimleri, polimer maddeden doğrudan tülbent üretimini mümkün kılan dokusuz yüzey üretim

teknikleri olan meltblown ve spunbond ile karşılaştırıldıklarında, her üç yöntemde de işlem: Sıvı fazdaki polimer ile başlamakta ve tek-adım yöntemiyle doğrudan lif ve tülbent elde edilmekte ve elde edilen ürün katkı maddesi, binder ya da reçine içermeyen polimerik liflerden oluşmaktadır. Elektrospinning yöntemi ile üretilen nanolifler, meltblowing yöntemi ile üretilen liflerden çap olarak çok daha küçüktürler ve bu liflerden üretilen tülbentler, meltblown ve spunbond tülbentlerine göre daha küçük mikro gözeneklere sahiptirler [Süpüren ve ark, 2007a].

Elektrospinning prosesi ile elde edilmiş lifler elektrostatik olarak yüklenmiş olabilirler veya yük üretebilirler. Dairesel liflerin yanında çeşitli enine kesitlere sahip lifler de üretilir. Bu lifler çeşitli şekillerde ve boyutlarda farklı polimer çözeltilerinden elde edilebilirler. Genel olarak konvansiyonel çekimde kullanılan pek çok polimer elektrospinning prosesi için uygundur [Şenol ve ark, 2005]. Elektrospinning yöntemi ile lif çekimi hem çözelti halindeki hem de eriyik halindeki polimerlere uygulanabilmekte olduğundan dolayı; selülozik karakterli polimerler, likit kristal polimerler, termoplastik polimerler gibi birçok çeşit polimer maddeyi elektrospinning yönteminde kullanarak nanolif elde etmek mümkündür [Erkan ve ark, 2005]. Çizelge 5.4.'te elektrospinning yönteminde kullanılan bazı polimerler ve çözücüler verilmektedir.

Çizelge 5.4. Elektrospinning yönteminde kullanılan bazı polimerler ve çözücüler
[Yıldırım ve ark, 2004]

Polimer Sınıfı	Polimer	Çözücü
Yüksek Performans Polimerleri	Polimidler Poliamik Asit	Fenol m-Kresol
Sıvı Kristalin Bölgeye Sahip Polimerler	Polietherimid Poli-gamma-benzil-glumat Poli (p-fenilen Tereftalat)	Metilen Klorid Dimetilformamid Sülfürik Asit
Kopolimerler	Poliamid 6-Polyimid	Formik Asit
Tekstil Lif Polimerleri	Poliakrilonitril Poliäten Tereftalat Poliamid	Dimetilformamid Vakumda Eritilmiş Trifluoroasetik ve Diklorometan Sülfürik Asit
İletken Polimerler	Polianilin	Sülfürik Asit
Bio-polimerler	DNA Polihidroksibütirat-valerat	Su Kloroform

Araştırmacılar son yıllarda elektrospinning prosesinin sonucunda elde edilen liflerin morfolojik özellikleri üzerinde yoğunlaşmaktadırlar. Özellikle lif yapısını etkileyen proses parametreleri ile ilgili çalışmalar yürütülmektedirler [Şenol ve ark, 2005]. Aşağıda elektrospinning yöntemine etki eden işlem parametreleri verilmiştir [Şenol ve ark, 2005; Erkan ve ark, 2005; Demir ve ark, 2007]:

- Çözelti veya eriyik değişkenleri,
 - Moleküler ağırlık,
 - Moleküler ağırlık dağılımı,
 - Polimerin yapısı (dallı, lineer, ağ),
 - Çözelti özellikleri (viskozite, iletkenlik, yüzey gerilimi, di-elektrik katsayısı, elastiklik, pH, konsantrasyon),
- İşlem değişkenleri,

- Kılcal boru ucundaki elektrik potansiyeli (uygulanan voltaj),
- Kılcal boru içindeki hidrostatik basınç,
- Akış hızı,
- Kılcal boru ile kolektör arasındaki mesafe (bu mesafe genellikle 5-30 cm civarındadır),
- Toplama plakasının hareketi,
- Çevresel değişkenler,
 - Sıcaklık,
 - ❖ Eriyik sıcaklığı,
 - ❖ Çözelti sıcaklığı,
 - ❖ Çevre sıcaklığı,
 - Bağıl nem,
 - Hava akış hızı,
 - Vakum.

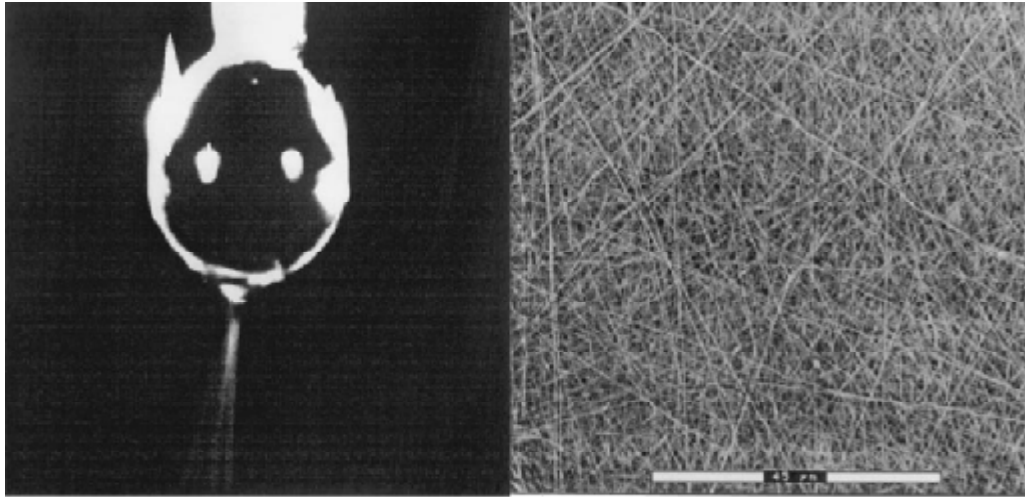
Ancak genel olarak en önemli parametreler: Polimer çözeltisinin viskozitesi (direkt olarak çözücü içindeki polimer konsantrasyonu ile ilgili) ve uygulanan voltajdır. Buna rağmen proses parametrelerinin kesin etkisi en çok polimer çözeltisinin özel kompozisyonuna bağlıdır [Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005].

Elektrospinning parametreleri arasından polimer konsantrasyonu, viskozite, yüzey gerilimi ve dielektrik iletkenliğini kapsayan çözelti özellikleri hem polimer hem de çözücüye bağlıdır [Cha ve ark, 2005]. Diğer parametreler sabit tutularak çözeltiye tuz katılması bazı durumlarda filament çapını azaltabilir [Erkan ve ark, 2005].

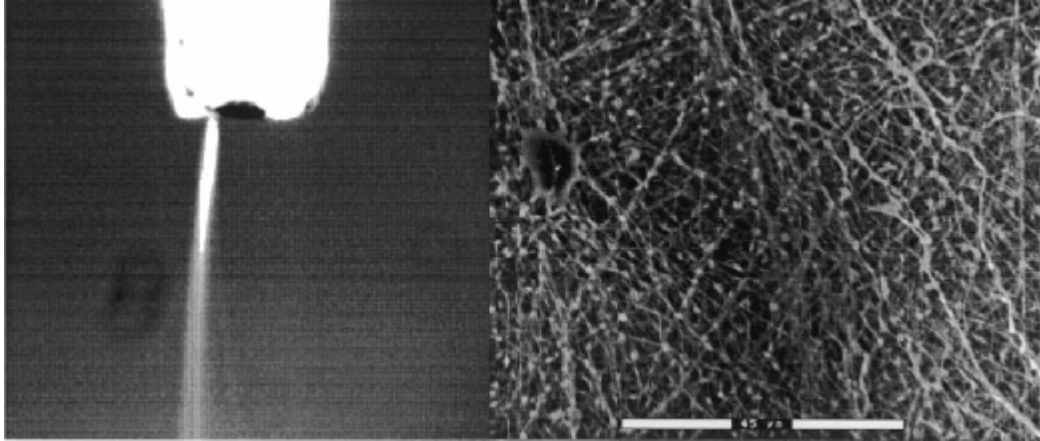
Çözelti viskozitesinin lif çapını, başlangıç damlacık şeklini ve jet (fışkırma) rotasını etkilediği keşfedilmiştir. Yani kılcal tüpten dışarı çıkan çözelti, polimer çözeltisinin viskozitesine bağlı olarak kesikli (damlalar halinde) veya kesiksiz (sonsuz elyaf) olabilir. Elektrospinning yönteminde viskozite, düzeden devamlı çözelti (jet) çıkışı olacak şekilde seçilmelidir [Deitzel ve ark, 2001; Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005]. Çözelti viskozitesini artırmak daha büyük çaplı liflerin oluşmasına neden olur. Fakat çözelti viskozitesinin artması her zaman filament çapını arttırmaz. Çözelti viskozitesi orta değerde iken filament çapı maksimum olur.

Hem yüksek hem de düşük viskozite değerleri filament çapını inceltir [Deitzel ve ark, 2001; Erkan ve ark, 2005].

Yüksek elektriksel alan ve daha düşük bir yüzey gerilim katsayısı daha ince filamentlerin elde edilmesine imkan verir [Erkan ve ark, 2005]. Uygulanan voltajdaki bir artış fışkırma başlayış noktasının şeklinde bir değişmeye yol açmakta, böylece elyafların yapı ve morfolojilerini de değiştirmektedir. Bir PEO/su sistemi üzerinde yapılan deneyler, voltajdaki artışla elektrospinning akımında bir artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca PEO/su sisteminde, 5,5 kV'lık bir başlangıç voltajında elyaf morfolojisi kusursuz iken, 9,0 kV'lık bir voltajla epey boncuklu bir yapıya dönüşmüştür (Şekil 5.18. ve Şekil 5.19.). Boncuklu yapı, nihayetinde nanoliflerin filtrasyon yeteneklerini etkileyen yüzey alanını azaltır [Subbiah ve ark, 2005].

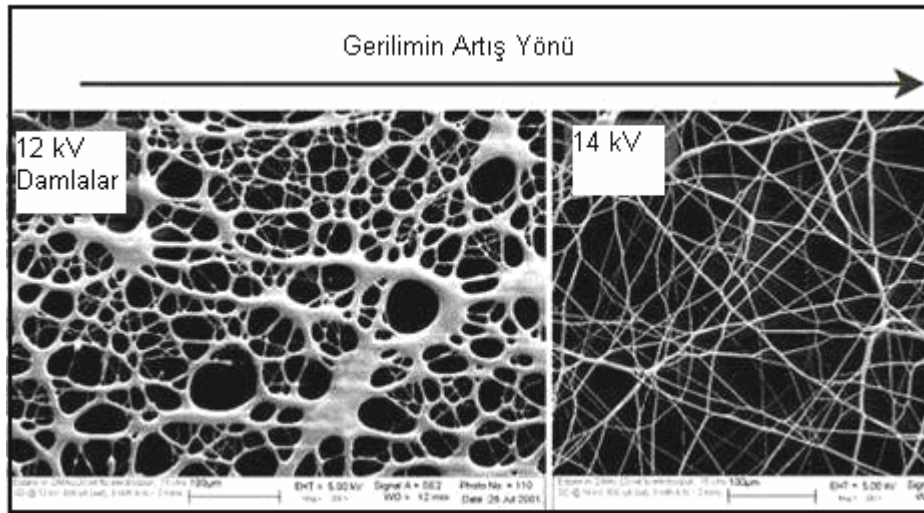


Şekil 5.18. 5,5 kV voltaj'daki jet başlangıç noktası (solda) ve aynı voltajda üretilen lifler (sağda) [Deitzel ve ark, 2001]



Şekil 5.19. 9,0 kV voltaj'daki jet başlangıç noktası (solda) ve aynı voltajda üretilen lifler (sağda) [Deitzel ve ark, 2001]

Sisteme yüklenen gerilimin artmasıyla, lif çapı küçülmektedir (Şekil 5.20.). Potansiyel gerilimin artmasıyla polimer jeti daha büyük bir elektrostatik itme kuvveti etkisi altında kalmaktadır ve bu kuvvet polimer jetinin maruz kaldığı çekim gerilmesinin de artmasını sağlamaktadır. Çekim değerinin artması ise lif çapının küçülmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte yüksek gerilim söz konusu olduğunda lif çapının varyasyonu da yüksek olmaktadır [Süpüren ve ark, 2007a].

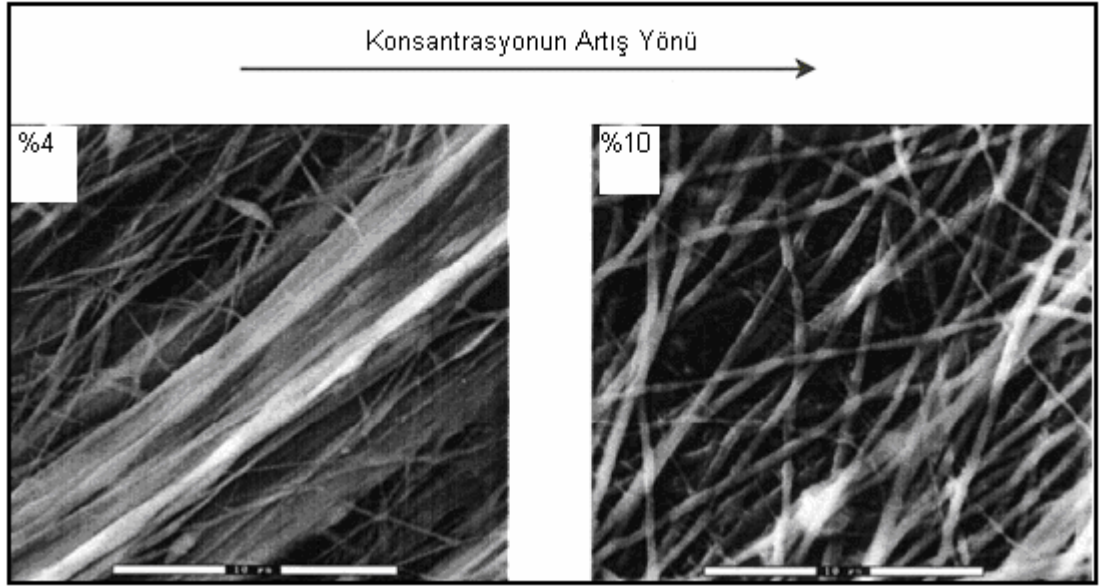


Şekil 5.20. Uygulanan gerilimin nanoliflerin özelliklerine etkisi [Süpüren ve ark, 2007a]

He ve arkadaşları tarafından 2004 yılında, ilk kez elektrospinning yönteminde vibrasyon tekniği kullanılmıştır. Konvansiyonel elektrospinning yöntemi ile karşılaştırıldığında daha düşük voltaj ile çok daha ince nanolifler elde edilebildiği ve voltaj miktarı azaldıkça lif mukavemetinin arttığı belirtilmiştir [Cengiz ve ark, 2006].

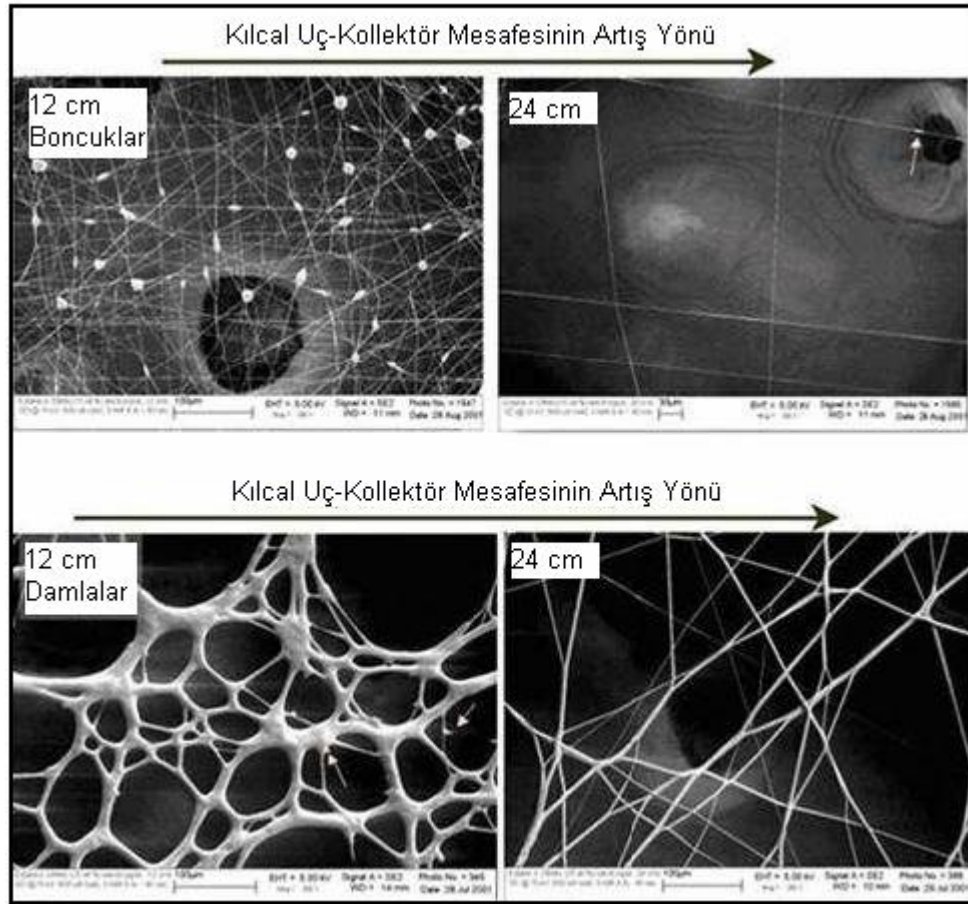
Lif çekim hızını genellikle sıvının akış hızı ve elektriksel alanın büyüklüğü etkiler [Erkan ve ark, 2005]. Diğer bütün değişkenler (iletkenlik, dielektrik sabiti ve kılcal uca çözeltinin akış hızı) sabit tutulduğunda, elektrospinning akımındaki artış genellikle, kılcal uçtan topraklanmış hedefe kütle akış hızındaki artışı yansıtır. Eğirme akımı görüntülenerek elektroegirilmiş liflerdeki boncuk hata yoğunluğu kontrol edilebilir [Deitzel ve ark, 2001].

Lifleri üreten konsantrasyonların aralığı, kullanılan polimer/çözücü sistemine göre açıkça değişmesine rağmen, eğer diğer bütün değişkenler sabit tutulursa, viskozite kuvvetleri ve yüzey gerilimi işlem penceresinin üst ve alt sınırlarını belirler. Elyaf işlem penceresinin içinde bile, çeşitli çözelti konsantrasyonları, oluşan nanoliflerin morfolojisini belirler (Şekil 5.21.). İşlem penceresinin düşük konsantrasyon ucunda, tek bir lif çapındaki büyük çeşitliliklerle beraber, lifler düzensiz, dalgalı bir morfolojiye sahiplerdir. Liflerde birçok birleşme yeri ve demet bulunur. İşlem penceresinin yüksek konsantrasyon ucunda nanolifler düzenli, silindirik bir morfolojiye ve ortalama olarak daha büyük ve daha düzgün çapa sahiplerdir. Yüksek konsantrasyonlarda liflerin, daha az lif birleşme yerleri ve demetleri olan düz ve silindirik bir morfoloji göstermeleri; liflerin toplama ekranına ulaştıklarında çoğunlukla kuru olduklarının işaretidir [Deitzel ve ark, 2001].



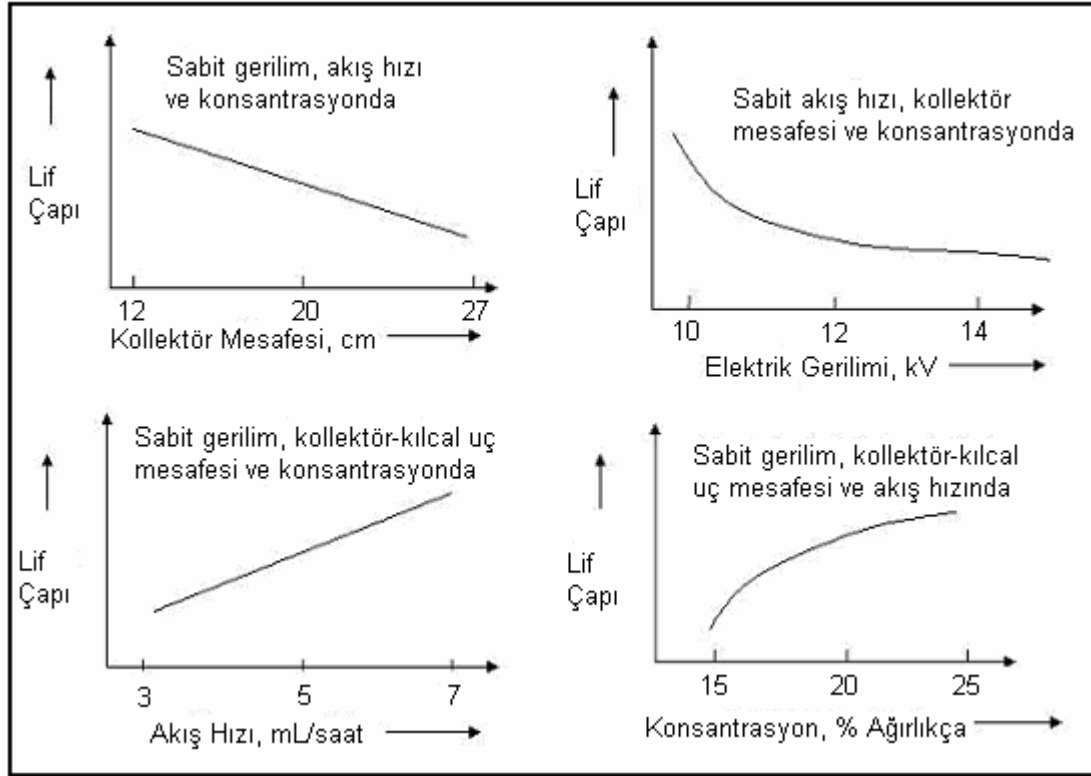
Şekil 5.21. Konsantrasyonun nanoliflerin özelliklerine etkisi [Deitzel ve ark, 2001]

Kılcal uç ile kolektör arasındaki mesafenin artmasıyla, ortalama lif çapı ve boncuk büyüklüğü azalmaktadır (Şekil 5.22.). Ayrıca mesafe azaldıkça lif çapının varyasyonu artmaktadır [Süpüren ve ark, 2007a].



Şekil 5.22. Kılcal uç-kollektör arasındaki mesafenin nanoliflerin özellikleri üzerine etkisi [Süpüren ve ark, 2007a]

Şekil 5.23.'te işlem parametrelerinin lif çapı üzerindeki etkisi görülmektedir. Genel olarak elektrospinning yöntemi ile 40-2000 nm (0,04-2 mikron) çapında lifler üretilabilmektedir [Süpüren ve ark, 2007a].



Şekil 5.23. Elektrospinning işlem parametrelerinin lif çapı üzerindeki etkisi
[www.che.vt.edu, 2007]

Demir ve arkadaşlarının 2002’de yapmış oldukları çalışmada; yüksek solüsyon sıcaklığında elde edilen liflerin oda sıcaklığında elde edilen nanoliflere nazaran daha üniform bir yapıya sahip oldukları gözlenmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda elektrospinning yönteminin daha hızlı çalıştığı ve bu durumun endüstriyel uygulamalarda bir avantaj olabileceği ifade edilmiştir [Cengiz ve ark, 2006].

Elektrospinning prosesinde üç ana kuvvet vardır [Şenol ve ark, 2005]:

1) Yüzey gerilimi: Polimer damlalarını küçültmek için mümkün olan en küçük jeti sağlamaktadır (buna bağlı proses parametresi; polimer çözeltisinin yüzey gerilimidir.).

2) Elektriksel olarak yüklenmiş polimer damlalarından elde edilen elektriksel uzaklaştırıcı kuvvet: Mümkün olan en çok jet parçalanma sayısını sağlayabilmek içindir (buna bağlı proses parametresi; polimer çözeltisinin iletkenliğidir.).

3) Polimerden gelen viskoelastik kuvvet: Polimer damlalarının deformasyonuna karşıdır (buna bağlı proses parametresi; çözelti viskozitesidir.).

Tüm bunlar polimer jetin hızlı bir şekilde hareketine yol açmaktadırlar. Bu da detaylı olarak sadece aşırı hızlı kameralarla (~1 şasi/milisaniye) gözlemlenebilir. Ayrıca bu üç parametre liflerin oluşumunda oldukça önemli rol oynar. Burada lif morfolojisini ve boyutlarını iyi bir şekilde kontrol edebilmek için elektrospinning prosesi ile üretilen lifleri en çok etkileyen parametreler bulunmaya çalışılmıştır [Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005; Şenol ve ark, 2005].

Elektrospinning üzerinde son zamanlarda yapılan çalışmaların çoğu prosesin temel görüşlerinin iyi bir şekilde anlaşılması üzerine yoğunlaşmaktadır. Nanolif morfolojisinin, yapısının ve yüzey fonksiyonlarının kontrolünün kazanılması gerekir. Çeşitli polimer ve biyopolimerler için elektrospinning koşullarının iyi bir şekilde belirlenmesi gerekir. Örneğin; polimer çözeltisi polimer karışımlarına neden olacak kadar yüksek konsantrasyona sahip olmalıdır ama çok yüksek viskozite elektrik alanının neden olduğu polimer hareketini önler. Çözeltinin yüzey gerilimi yeterince düşük olmalı, yük yoğunluğu yeterince yüksek olmalıdır [Şenol ve ark, 2005].

Aşağıda elektrospinning yönteminin avantajları verilmiştir [Erkan ve ark, 2005; Kut ve Güneşoğlu, 2005]:

- Elektrospinning yöntemiyle elde edilen birçok lifin çapı 0,05 μm (50 nm) ile 10 μm arasındadır. Bu da normal liflere göre çok düşük bir değerdir. Çözeltiden elde edilen liflerde lif çapı 10-100 nm arasında değişirken eriyikten elde edilen liflerde lif çapı genellikle 100 nm civarındadır.
- Küçük çapları kütle/hacim oranına göre geniş yüzey alanı sağlarlar. Bu da liflerin daha fazla sıvı emmesine yardımcı olur.
- Yöntem için gerekli ekipmanlar basittir ve sadece küçük miktarlarda polimerlere gereksinim vardır. Bu yüzden hızlı ve basit bir prosestir.
- Çözeltiden ve eriyikten lif elde edilebildiği için birçok farklı polimer ile çalışılabilir.
- Elektrospinning sistemiyle lif yüzeyi nanometre incelikte tabakayla kaplanabilir. Örnek olarak gümüş kaplamalı bir lif, yüksek elektrik

iletimine, oldukça düşük statik elektriklenmeye sahip olur. Ayrıca antibakteriyel ve antifungisid özellik kazanır.

Aşağıda elektrospinning yönteminin dezavantajları verilmiştir [Erkan ve ark, 2005]:

- İşlemin düşük verimi,
- Liflerdeki yetersiz ve düşük molekül oryantasyonu, elde edilen liflerin düzgün olmayan çap dağılımları,
- Zayıf mekanik özellikler.

Şu anda, birçok şirket elektrospinning tekniğini kullanarak filtreleme ürünleri imal etmektedirler. Diğerlerine nazaran daha çok tanınmış olan The Donaldson Co. Şirketi üretim ve ticari alanlarda halen lider konumundadır. Şirketin vermiş olduğu bilgilere göre ince bir nanolif tabakasının bir spunbond taşıyıcı veya meltblown kumaşının üzerine kaplandığı bir teknik kullanılarak, günde yaklaşık 10000 m²'lik filtre malzemesi üretilmektedir. Üretim ve kaplama tekniği tam olarak bilinmemesine rağmen, Kore'deki Nano Tecnicos firması da benzer bir kumaş üretmiştir. Ancak nanolif ağların taşıyıcı yüzeye bağlanma sorunu ve geniş yüzey alanı ve nanolif katmandan kaynaklanan elektrostatik kuvvetler, dışardan kuvvetlere maruz kaldığında kumaşın kolayca sıyrılabilen bir yapıya sahip olması ciddi endişeler olarak paylaşılmaktadırlar [Akbaş, 2006].

1998 senesinde Ulusal Tekstil Merkezi (National Textile Center) tarafından finanse edilmek üzere elektrospinning yönteminin tasarımı ve prototip elektrospinning makinesi yapımı MIT'in [Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology)] ve UMD'nin [Masachusetts Dartmouth Üniversitesi (University of Massachusetts Dartmouth)] ortaklaşa çalışmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu prototip elektrospinning cihazı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Gözlemler sonucunda, polimer çözelti viskozitesi, uygulanan elektrik akımı miktarı, düze çapı, düze ile topraklanmış plaka arasındaki mesafe gibi etkenlerin lif inceliğini etkiledikleri ve aralarında yüksek korelasyon bulunduğu saptanmıştır. Ancak düşük akış oranlarında ya da elektrik akımlarında damlama problemi meydana gelmektedir.

Elektrospinning yöntemi ile lif üretimi çeşitli prototiplerde ve çeşitli polimerlerle günümüze kadar denenmiş ve gelişmeler sonucunda henüz sanayi tipi

bir elektrospinning makinesi geliştirilememiş olsa bile, henüz çok yeni olan yöntem ile ilgili sorunlar büyük ölçüde giderilmiştir [Yıldırım ve ark, 2004].

Elektrospinning yönteminin diğer nanolif üretim yöntemlerine göre daha iyi olmasına rağmen bugüne kadar endüstriyel önem kazanmamış olmasının nedenleri aşağıda verilmiştir [Şenol ve ark, 2005]:

- Proses çıktısının düşük olması,
- Düşük moleküler oryantasyona sahip ürün eldesi,
- Düşük mekanik özellikler,
- Yüksek çap dağılımı,
- Prosese ait bilimsel ve teknik niceliklerin az oluşu,
- Ürün özelliklerinin oldukça sınırlı oluşu sayılabilir.

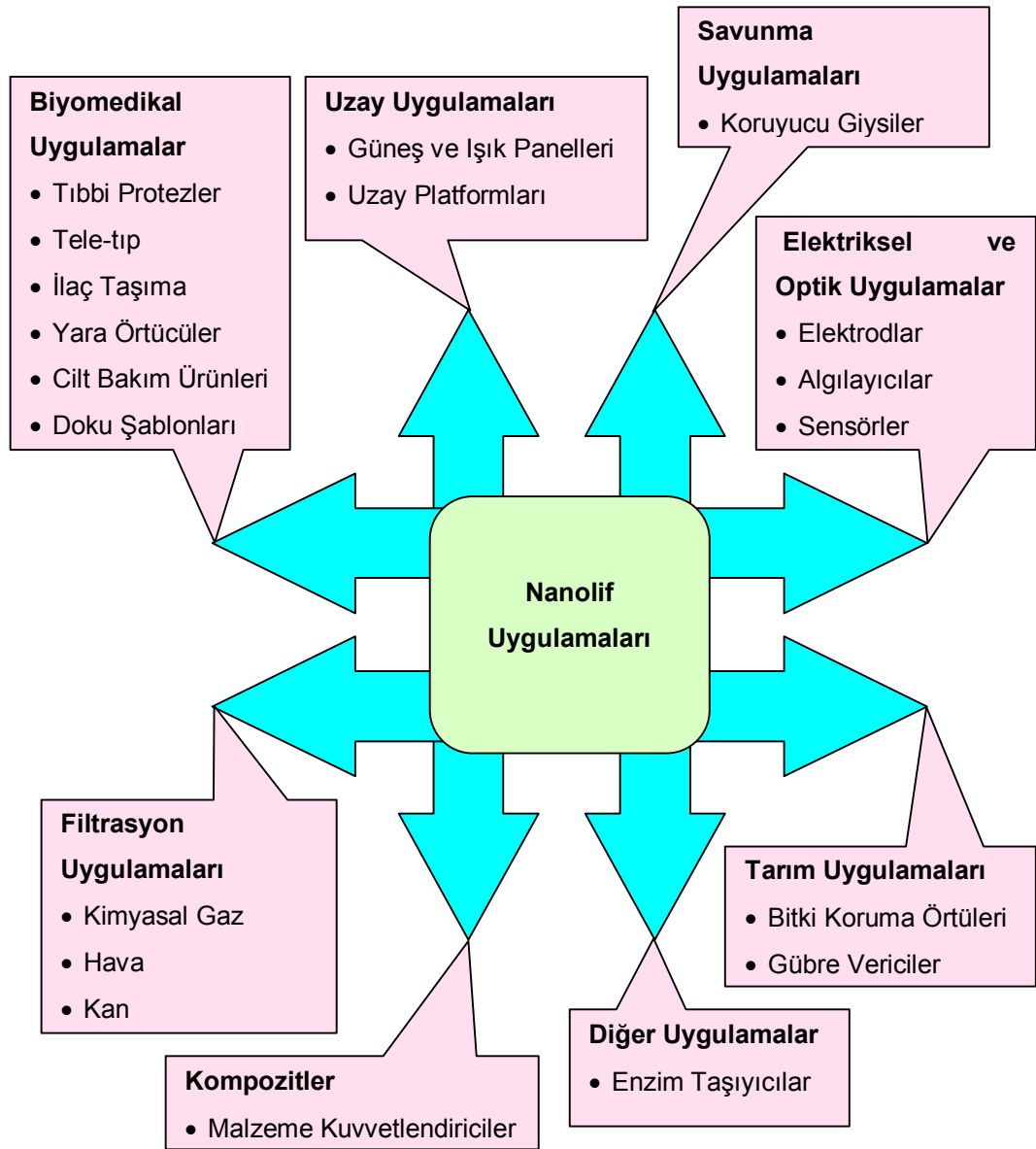
Çizelge 5.5.'te elektrospinning yöntemi ile nanolif üretiminin çeşitli nanolif üretim yöntemleriyle mukayesesi yapılmaktadır.

Çizelge 5.5. Elektrospinning yöntemi ile nanolif üretiminin çeşitli nanolif üretim yöntemleriyle mukayesesi [Demir ve ark, 2007]

	Elektrospinning	Fibrilasyon	Meltblowing	Bikomponent
Lif Çapı	50nm-300 nm	-	2000 nm ve üstü	500nm-2000 nm
Akış/Üretim Hızı	0.005 g/delik/dak	0.5 g/delik/dak	0.5 g/delik/dak	0.5 g/delik/dak
Lif Mukavemeti	-	Orta	Zayıf	2-4 g/denye

5.1.2. Nanoliflerin Uygulama Alanları

Nanolifler çeşitli uygulama alanlarına sahiptirler. Bu alanlar Şekil 5.24.'te verilmektedir.



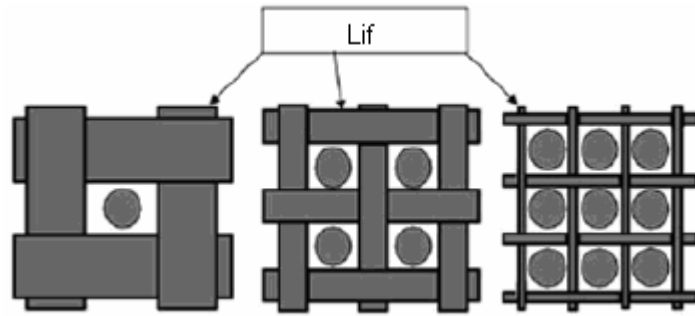
Şekil 5.24. Nanoliflerin uygulama alanları [Demir ve ark, 2007]

5.1.2.1. Filtrasyon Uygulaması

Nanolifler ile elde edilen kumaş yapısı 100 nm'den daha küçük parçacıkları veya damlacıkları sıvıdan veya gazlardan uzaklaştırabilir. Bu da nanoliflerin filtrasyon amaçlı kullanımını sağlar [Cireli ve ark, 2006]. Nanoelyaf dokusuz yüzeyler iyi filtreleme özelliğine ve ilave yapılara kenetlenebilmek için yüksek afiniteye sahiptirler. Bu yapılar karmaşık uygulamalar için elverişlidir (zehirli gazları aktif filtreleme, askeri ve sivil filtreleme ortamları gibi). Ayrıca nanoliflerden

elde edilen filtreler, bitkilere böcek zehiri uygulamalarında da kullanılabilirler [Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005; Özdoğan ve ark, 2006c].

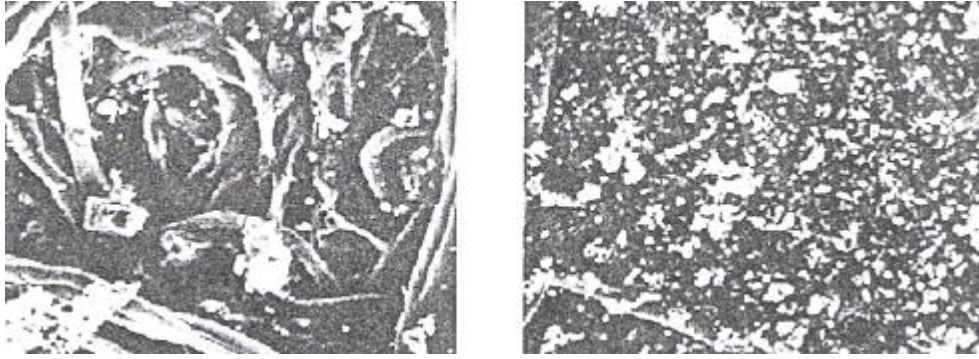
Filtrasyon verimliliği lif inceliği ile yakından alakalıdır ve filtre performansını belirleyen en önemli özelliktir (Şekil 5.25.). Endüstride bütün filtre yapıları temiz hava sağlamak için kullanılırlar. Bu filtre yapılarının yaklaşık 0,5 μ boyutunda yağ parçacıklarını tutmaları gerekmektedir. Elektrosinning prosesi ile mikrondan daha küçük çapa sahip olan lifler elde edildikleri için bu partiküllerin uzaklaşmaları kolaydır. Yine filtre yapısı ile partikül büyüklüğü birbirlerine uygun olmalıdır. Genelde oldukça yüksek yüzey alan/hacim oranı, yüksek yüzey kohezyonuna sebep olur. İnce partiküller (0,3 μ boyutunda olanlar) nanolif yapılarında kolaylıkla tutulabilirler ve filtrasyon verimliliğini geliştirebilirler [Şenol ve ark, 2005].



Şekil 5.25. Filtre verimliliğinin lif çapı ile ilişkisi [Demir ve ark, 2007]

Şekil 5.25.'te görüldüğü gibi lif çapı küçüldükçe filtrenin verimliliği artmaktadır. Nanoelyafların filtreleme özellikleri, SEM'in (taramalı elektron mikroskopunun) kirlenmeye maruz bırakılan nanoelyaf ortamını incelemesinde görsel olarak açıkça görülmektedirler. Şekil 5.26. selülozik bir ortam ve selülozik-nanoelyaf bileşimi kompozit bir yapıyı göstermektedir. Bu her iki ortam da aynı basınçta ISO ince test tozu damlalarıyla yüklenmişlerdir. ISO ince test tozu, genel olarak motor hava temizleyicilerinin testinde kullanılır ve 0,7-70 mikron aralığında partiküller içerir. Selüloz örneği, derin toz birikmesini göstermekteyken ve diğerine göre daha az partiküller içerirken; kompozit yapıda nanoelyaf yüzeyinde toz birikmesi ve önemli ölçüde partiküllerin hapsedildiği görülmektedir. Kompozit yapı,

selüloz yapıdan kütle olarak 2,5 kat daha fazla toz tutmaktadır. Bu toz tutma kapasitesindeki gelişim lif çapının azalmasına yani yüzey alan/birim ağırlık oranının artmasına bağlıdır [Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005; Şenol ve ark, 2005].



Şekil 5.26. Selüloz ortamında ve selüloz/nanoelyaf ortamında toz tutumu (soldan sağa doğru) [Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005]

5.1.2.2. Biyomedikal Uygulamalar

Biyolojik açıdan insan doku ve organları nanofibrilli yapıda bulunurlar. Kemik, diş, kollagen, deri ve kıkırdak doku örnek olarak verilebilir. Tümü nanometre ölçeğindeki fibrilli yapılardır. Bundan dolayı nanoliflerin şimdiki araştırmaları da onların biyomühendislik alanında uygulamaları yönündedir.

Aşağıda nanoliflerin biyomedikal uygulamalarda kullanımlarına örnekler verilmiştir [Şenol ve ark, 2005]:

a) Tıbbi Protezler: Kan damarları, göğüs gibi yumuşak doku uygulamalarının pek çoğu için elektrostatik çekim ile üretilen nanolifler önerilmektedirler. Yine biyolojik uyuma sahip nanolifler sert doku protezi üzerine ince gözenekli film şeklinde yerleştirilirler ve insan vücudu içine implante edilebilirler. Bu kaplama film insan dokusu ile protez aleti arasında bir ara faz olarak çalışır ve doku ile alet arasındaki katılık uyumunu sağlar. İmplantasyondan aletin yetersizliğini gidermesi istenir [Şenol ve ark, 2005].

b) Teletıp: Teletıpta tıbbi tekstiller sensörlere ve telekomünikasyon sistemlerine dayandırılmaktadırlar. Nanosensörler giysilerin içine entegre edilebilirler, hastanın tıbbi verilerini toplayabilirler, doktora veya hastaneye

ulaştırabilirler. Alınan veriler değerlendirilmektedirler. Yaşam gömleği olarak bilinen ve sağlık gözetimi için temel fonksiyonlara sahip olan giysi ile kalp sesi, solunum hızı, bedenin genel duruşu veya kasılması kaydedilebilmektedir. Tüm bilgi toplanır ve gönderilir. Sağlık durumunun değişiklikleri rapor edilebilmektedirler. Bu, elektrik iletkenliğine sahip olan liflerin elektrospinning prosesi ile eğirilmeleri sonucunda oluşturulan nanoliflerle sağlanabilmektedir [Şenol ve ark, 2005].

c) İlaç Dağılımı: Nanolifler, içerilerine ilaçlar veya diğer fonksiyonel maddelerin katılmasında kullanılabilirler. Böylece nanolifler, hem ilaç taşıyıcı, hem de ilaç salınım sistemi olarak görev yapmaktadırlar [Süpüren ve ark, 2007a]. Polimer nanoliflerle ilaç dağıtımının temeli, hem ilaç hem de ihtiyaç duyulduğunda taşıyıcı yüzey alanının çoğaltılması ile partiküllerin çözünme hızının artırılması prensibine dayanır [Şenol ve ark, 2005]. Kontrollü bir ilaç iletimi için, nanoliflerin geniş yüzey alanlarının yanı sıra başka avantajları da bulunmaktadır. Örneğin, kapsamlı hazırlık işlemleri içeren kapsülleme işleminden farklı olarak, maddeler direkt olarak elektrospinning esnasında verilmektedirler.

Genellikle elektrospinning öncesi ilaçlar ve taşıyıcı polimerler karıştırılmaktadırlar. Karışımdan elde edilen nanolifler, ilaç ve taşıyıcı polimer arasındaki etkileşime bağlı olarak değişik yapılar oluşturabilmektedirler. Çok küçük parçacıklardan oluşan ilaçlar nanoliflerin sadece yüzeyine tutunmaktadırlar. Hem ilaçlar hem de taşıyıcı polimerler ayrı ayrı elektrospinning yöntemiyle çekilebiliyorlarsa üretilen iki farklı nanolif birbirine karıştırılarak bir yüzey elde edilmektedir. Daha çok tercih edilen yöntem, çeşitli formlardaki ilaç ve taşıyıcı karışımlarından tek bir kompozit nanolif elde edilmesidir [Süpüren ve ark, 2007a].

d) Yara Örtücüler: Nanolifler, insanın derisindeki yara ve yanıkların tedavisinde kullanılabilirler. Belli özelliklerle hemostatik aletler için tasarlanabilirler. Elektrik alan yardımıyla biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin ince lifleri yaralı yüzey üzerine doğrudan spreylenebilirler veya eğirilirler. Yüzey üzerinde bir fibrilli tabaka oluştururlar. Bu da yaraların iyileşmesine yardımcı olur, normal cilt büyümesini geliştirir. Konvansiyonel yöntemle yapılan tedavi sonrasında iz kalırken, bu uygulamadan sonra iz kalmaz. Dokusuz yüzey nanolif yapılarından yara örtücü olarak kullanılanların gözenek boyutları 500 nm ve 1 µm arasındadır. Bunlar yarayı

bakteri nüfuziyetine karşı korurlar, partikül yerleşmesini engellerler. 5-100 m²/g civarında olan yüksek yüzey alanı değerleri de sıvı absorpsiyonu için oldukça verimlidirler [Şenol ve ark, 2005].

e) Cilt Bakım Ürünleri: Şu anki cilt bakım maskeleri kremler, merhemler veya losyonlar şeklinde uygulanmaktadırlar. Bunların uygulama sırasında, göz, burun gibi hassas bölgelere migrasyonu kullanıcıya zarar verir. Nanolifler; cilt iyileştirici, temizleyici olarak ve diğer tıbbi özellikleri sağlayacak şekilde hiçbir katkı maddesi içermeyen cilt bakım maskesi olarak uygulanırlar. Gerekli polimer, elektrospinning işlemi ile eğirilir ve nanolifler elde edilirler. Bu nanofibril yapılı cilt bakım maskesi, yüksek yüzey alanı sayesinde daha verimlidir, cilde maddenin transfer hızı yüksektir [Şenol ve ark, 2005].

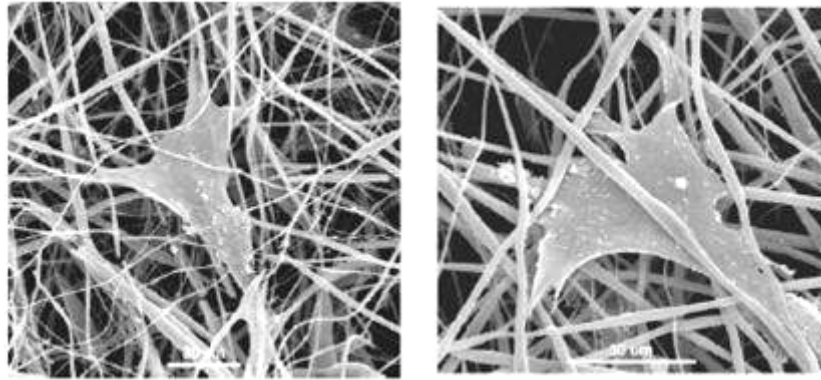
f) Doku Şablonu: İnsan vücudundaki doğal matrisin biyolojik fonksiyonlarını ve yapısını taklit edebilmek için sentetik matrislerin ve yapı malzemelerinin ideal tasarımı gereklidir. Bu da doku mühendisliği ve biyomateryallerin uygulama alanına girer. İnsan hücreleri çok küçük çaplarda lif şeklinde yerleşebilirler. Bu açıdan nano ölçekli fibrilli yapılar; hücrelerin tohumlanması, büyümesi ve migrasyona uğraması için optimum şablonlardır. Hücreler bu şablonlar üzerinde depolanırlar ve hızla çoğalırlar. Bu durumu sağlamak amacıyla Delaware Üniversitesi'ndeki (University of Delaware'deki) araştırmacılar, kollajen örümcek ipeği ve denature (doğal özellikleri değiştirilmiş) kollajen gibi doğal polimerlerden üretilen nanoliflerle ağlar üretmişlerdir [Şenol ve ark, 2005; Süpüren ve ark, 2007a].

Doku mühendisliğinde yeniden üretilebilir ve biyolojik olarak uyumlu üç boyutlu yapılar, hücre büyümesi için biyomatris kompozitlerinde çeşitli dokuların onarımı ve yer değiştirmesinde kullanılırlar. Son zamanlarda araştırmacılar bu yönde sentetik biyopolimerlerle biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerden nanolifler elde ederek, bu nanoliflerle biyolojik yapı malzemesi üretmeye başlamışlardır [Şenol ve ark, 2005].

Nanolifler; kırık kemik, atardamar, kalp ve sinir dokuları için yapay doku destek yapısı olarak kullanılabilirler. Kemik dokusu olarak kullanılacak materyalin vücut hücreleri ile biyolojik uyumu çok önemlidir. Nanoliflerin yüksek yüzey/hacim oranı, diğer liflerden daha fazla hücre eklenebilmesini sağlamaktadır.

Doku mühendisliği uygulamalarında: Poliglikolik asit, poli-ε-kaprolaktam, PLGA (polilaktik glikolik asit), kollajen tip II veya PLA (polilaktik asit) gibi birçok malzeme kullanılabilir.

Örneğin, diklormetan çözeltisinden elde edilen PLA nanolifleri, kemik hücreleri için kullanılmaktadırlar. Bulgular hücrelerin kuvvetli bir şekilde liflere tutunduklarını ve lifler içerisinde büyüdüklerini göstermiştir. Şekil 5.27.'de, lifler arasında büyüyen kemik hücreleri görülmektedir.



Şekil 5.27. Nanolif ağı içerisinde büyüyen kemik hücreleri [Süpüren ve ark, 2007a]

Virginia Commonwealth Üniversitesi'nin geliştirdiği teknoloji ile, kollajenden yapılmış 3 boyutlu yapı içerisine hücre ekilmektedir. Bu sayede by-pass ameliyatlarındaki klasik uygulama kaldırılmaktadır. Çünkü hastanın kol veya bacaklarından damar alınmamakta ve yeni teknikle klasik yama yönteminden 6 kat daha küçük kan damarları oluşturulup kullanılabilirler. Hücre 3-6 haftada gelişmekte ve geliştirilmiş damar dokusu aşılarmaya hazır hale gelmektedir. Kollajen vücudun doğal bir komponentidir. Yüzeyinde hücre gelişimine izin vermektedir. Kollajen elektrospinning teknolojisi: Deri, kemik, sinir, kas ve hatta omurga hasarlarının onarımında (tedavisinde) de kullanılabilir.

Doku destek yapılarında kullanılacak lifler için elektrospinning yönteminin tercih edilmesinin avantajları arasında: Bu yöntemle; doğal dokunun taklit edilmesini sağlayan oldukça ince liflerin elde edilebilmeleri, bu yöntemin; çeşitli polimerlerin, polimer karışımlarının ve inorganik maddelerin, çeşitli biyo-moleküller ve hatta canlı

hücreler gibi maddelerle karıştırılmaları sayesinde fonksiyonel olarak aktif nanolif yapılarının oluşturulmalarına izin vermesi sayılabilmektedir. Doku destek yapılarının konstrüksiyonu ve kullanılan materyal doku gelişimini ve yapı içerisindeki hücre kültürlerinin tepki davranışlarını oldukça etkilemektedir [Süpüren ve ark, 2007a].

5.1.2.3. Elektriksel ve Optik Uygulama

Elektrik iletkenliğine sahip polimerlerden nanolifler üretilebilmesi pek çok avantajı beraberinde getirmiştir. İletken nanoliflerin küçük elektronik aletlerin veya makinelerin imalatında kullanımları söz konusudur. Elektrodun yüzey alanı ile elektrokimyasal reaksiyon hızı orantılı olduğu için iletken nanoliflerden yapılmış membranların yüksek performanslı bir pil geliştirmede gözenekli elektrod olarak kullanılmaları oldukça uygundur. İletken membranlar; elektrostatik dağılma, korozyon koruması, elektromanyetik engelleme gibi çeşitli uygulama alanları için potansiyel teşkil ederler [Şenol ve ark, 2005].

5.1.2.4. Savunma Uygulamaları

Askeri uygulamalarda koruyucu giysilerden öncelikle hayatta kalabilme ihtimalini en yüksek seviyede tutması, uzun süre koruma sağlayabilmesi, güç verebilmesi ve zor hava koşullarına dayanıklı olması, nükleer, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı olması ve verimliliği arttırması beklenir. Koruyucu giysiler, sivillerin karşılaşabileceği kimyasal gaz saldırılarında efektif bir şekilde bireyi korumalıdır. Şu anda kullanımda olan koruyucu giysiler aşırı ağırlık katılmış kumaşlardan yapılmışlardır. Hafif ve nefes alabilen kumaşlar, hava ve su buharı geçirebilen kumaşlar tam çözücülerde kolaylıkla çözülürler ve gazlarla, diğer kimyasallarla yüksek reaktiviteye sahiptirler. Nanoliflerden yapılmış kumaşlar ise yüksek yüzey alanları sebebiyle kimyasal maddenin nötralizasyonunu gerçekleştirebilirler. Su buharı ve hava geçişine de izin verirler. Nanolifler, yüksek gözenekliliğe sahip ama gözenek boyutu çok küçük olan bir yüzey üzerine yatırılarak kimyasal maddenin kumaş içine nüfuziyetine karşı iyi bir direnç sağlamış olurlar

[Şenol ve ark, 2005]. Özellikle askeri alanda nanolifler tene yapışıp ikinci bir ten vazifesi yapacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu uygulama askerler için çok iyi bir koruma gerçekleştirmenin yanı sıra mikro gözenekleri sayesinde derinin nefes alabilmesi sağlandığından askerler için sağlık açısından da konfor sağlanmış olmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006c].

5.1.2.5. Diğer Uygulamalar

Membran ve hacimli yapılarda yüksek gözeneklilik ve büyük yüzey alanı oluşturmakta olan nanolifler; aşınma, biyolojik ve kimyasal dayanımlı dokusuz yüzeylerde kullanılabilmektedirler. [Özdoğan ve ark, 2006c; Süpüren ve ark, 2007a]. Nanolifler, dokusuz yüzey üretiminde önemli uygulama sahası bulmuşlardır. Çeşitli dokusuz kumaşların yüzeyindeki küçük miktardaki nanoliflerin dahi su tutma özelliklerini arttırdıkları ve su temas açısını düşürdükleri bulunmuştur. Hava direnci, nefes alabilirlik gibi diğer özellikler de dokusuz kumaşların yüzeylerinde nanolifler kullanıldıklarında büyük çapta iyileştirme göstermektedirler [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Elektrospinning ile üretilen dokusuz yüzeyler, küçük gözenek ölçüleri ve yüksek gözenek sayıları, geniş yüzey alanları, mekanik stabiliteleri açısından ıslak mendillerin oluşturulması için iskelet görevi görmektedirler. Dahası bu dokuların yapısı, hücrelerin yapışmasına, büyümesine, göç etmesine ve farklılaşmasına izin vermektedir. Bir önemli nokta ise, bakteri ile elemanlarına ayrılabilen dokuların üretimi için bakteri ile elemanlarına ayrılabilen elyafın elektroğıirme yolu ile elde edilebilmesidir. Bakteri ile elemanlarına ayrılabilen dokular ile kağıt mendil üretim tekniğı vücutun bağışıklık sisteminin ters tepkisini engellemektedir [Parlakyiğıt ve Topalbekiroğlu, 2005].

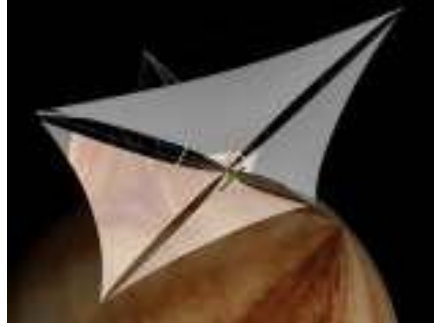
Nanolifler ayrıca ısıl izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılan bazı ürünlerde, bandaj ve çocuk bezinde, gübrelerin bitkilere zamanla salınmasını sağlayan kumaşlarda, temizlik bezlerinde, kişisel bakım için kullanılan tekstillerde de kullanılmaktadırlar [Süpüren ve ark, 2007a; Cireli ve ark, 2006].

Nanolif teknolojisinin oldukça küçük ve hafif ürünler oluşturabilmesi, kompozit endüstrisinde yaygın kullanımına olanak sağlamaktadır. Özellikle keklar, karbon, cam gibi mühendislik lifleri kompozitlerde güçlendirme olarak kullanılırlar. Bu güçlendirmelerle kompozitler; yüksek elastiklik modülü ve mukavemet/ağırlık oranı gibi önemli özellikler kazanırlar [Demir ve ark, 2007].

Karbon nanolifler, iletkenlik özelliklerinin de geliştirilmesiyle yeni enerji kaynakları uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Mekanik özellikleri, sentetik ve lastik endüstrilerinde uygulama alanı bulmalarını sağlamaktadırlar. Karbon nanolif takviyeli kompozitler, yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve düşük elektriksel direnç göstermektedirler.

Kimyasal reaksiyonlardaki katalizör enzimler, yüksek seçicilikleri ve ılımlı reaksiyon şartlarından dolayı kimyasal işlemlerde çok önemlilerdir. Nanolifli katalizörler, katalitik nanopartiküller ile yer değiştirerek, katalizör geri kazanımındaki sınırları aşmaktadırlar. Lifli katalizörler, sıvı ve gaz akışına düşük direnç göstermek gibi bazı avantajlara sahiplerdir. Katalizörün materyale sağladığı aktivite büyük aktif yüzey alanına bağlıdır. Gözeneksiz materyaller, nanolif gibi büyük yüzey alanı olan materyalle kaplanarak yüzey alanı artırılabilir.

Nanolifler uzay endüstrisinde ve yarı iletken uygulamalarında da kullanılmaktadırlar. Piezoelektrik polimerler elektrospinning yöntemi ile üretilmektedirler ve bu polimerlerin mikro hava araçlarının kanatlarında kullanımlarına yönelik araştırmalar sürmektedir. Latince “bastırmak-press” anlamına gelen “piezo” ön ekinden türetilen “piezoelektrik” kavramı basitçe, üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel gerilimin oluşması olarak tanımlanabilir. Nanoliflerden üretilen solarsail (güneş yelkeni) (Şekil 5.28.), üzerine büyük ve hafif bir ayna yerleştirilmiş bir uzay aracıdır. Aynanın ışığı yansıtması prensibi ile hareket eder. Işığın bir momentumu vardır, ışık bir cisme çarptığı zaman momentumunu bu cisme aktarır, yansıdığı zaman ise, cisim ile aralarında ikinci bir momentum değişimi gerçekleşmektedir. Cisim üzerindeki toplam kuvvet, çarpan ve yansıyan ışığın vektörel toplamına eşit olmakta ve cisim bu kuvvet doğrultusunda hareket etmektedir [Süpüren ve ark, 2007a].



Şekil 5.28. Güneş yelkeni [Süpüren ve ark, 2007a]

Washington Üniversitesi'nde geliştirilen bir maske, içerisinde bol miktarda hava tutabilen bir yapıda olup, nanoliflerden üretilmiştir. Böylece uzun süreli kullanımda doğabilecek rahatsızlık hissinin ortadan kaldırıldığı belirtilmektedir [Süpüren ve ark, 2007a].

5.2. Nanotüpler

Tekstil endüstrisindeki nanotüp uygulamaları dendiğinde akla ilk olarak karbon nanotüpler gelmektedir. Karbon nanotüpler; nanometre boyutlarında oluşturulmuş oldukça küçük karbon lifleridirler ve birkaç mikron veya milimetre uzunluğunda ve çapları nanometre boyutunda olan içi boş yapılarıdır (Şekil 5.29.). Nanotüplerin boyutları, genellikle 2-50 nm arasındadırlar ve en çok 1 mm'ye kadar değişmektedirler [Erkan ve ark, 2005; Şenol ve ark, 2005]. Bir karbon nanotüp, her bir ucu bir fulleren molekülünün yarısı ile örtülmüş, dikışsız boş bir silindir içine karbon atomlarının altıgen bir ağ şeklinde sarılmasıdır [Breuer ve Sundararaj, 2004].



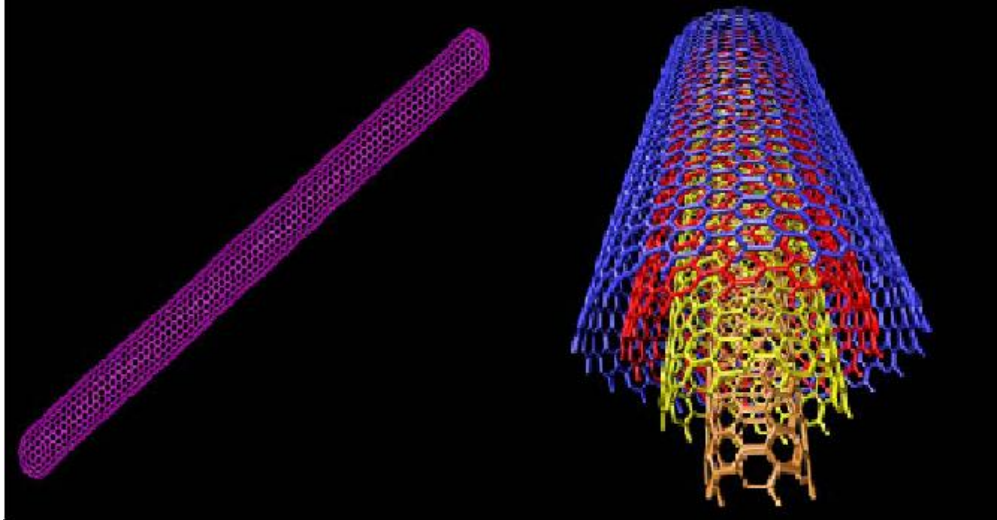
Şekil 5.29. Bir karbon nanotüpün STM görüntüsü [Çıracı, 2005]

Karbon; elmas, grafit, ve fulleren gibi kristalin, siyah karbon ve pirokarbon gibi amorf formlarıyla teknolojik materyaller arasında önemli bir yere sahiptir. Bir karbon nanotüpün yapısı grafitinkine benzer. Her ne kadar kimyasal bileşimleri grafit benzese de, karbon nanotüpler çok izotropiktirler ve nanotüpleri diğer karbon yapılardan ayırt eden ve onlara eşsiz özelliklerini veren bu topolojidir (ağ yapısıdır). Fulleren de karbonun üç doğal kristalin formundan biridir. Fullerenlerin grafit benzeyen yapıları vardır. Fullerenler bir küre, elips veya tüp şeklindedirler. Küresel fullerenler bazen “buckyball” olarak, silindirik fullerenler ise “buckytube” veya “nanotüp” olarak adlandırılırlar. Fullerenler altıgen halkalarla bağlanmışlardır [Doğan ve ark, 2005; Breuer ve Sundararaj, 2004].

Karbon nanotüpler genellikle küre şeklinde bir kafes yapısına sahiplerdir. Bu yapı karbon atomlarının beşgen ve altıgen yüzeyler oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. 20 atomdan başlayarak 1000’lerle ifade edilecek atom sayısına sahip karbon nanotüpler, bu atom sayısına bağlı olarak farklı büyüklükler göstermektedirler. Karbon nanotüplerden oluşmuş kristal yapılar da söz konusudurlar. Bunlar genellikle küp şeklindedirler. Özellikle C_{60} ve C_{70} ’den oluşturulmuş kristal yapıların fiziksel özellikleri iyi bilinmektedirler [Özdoğan ve ark, 2006b].

İdeal durumda bir karbon nanotüp bir (tek katmanlı karbon nanotüp) veya birkaç tane (çok katmanlı karbon nanotüp) silindirik grafit tabakasından oluşur (Şekil 5.30.). Bu yapılardan tek katmanlı olanların boyutları 1 nm iken, çok katmanlı olanların ise boyutları 5-10 nm’dir ve çok katmanlı karbon nanotüplerin kullanımı tek katmanlılara oranla daha yaygındır. İlk kez 1993’te sentezlenen tek katmanlı karbon nanotüp, bir atom kalınlığında bir grafit tabakasının sarılması ile oluşan silindir olarak tanımlanabilir. Tek katmanlı nanotüplerin çok katmanlı nanotüplerin yapı taşları oldukları söylenebilir. Tek katmanlı karbon nanotüpler, grafenden elde edilmiş dikişsiz silindirler olarak düşünülebilirler. Grafen sp^2 bağları ile bağlanmış karbon atomlarından ve diğer elementlerden oluşan düzlemsel bir tabakadır [Doğan ve ark, 2005; Erkan ve ark, 2005]. Çok katmanlı nanotüpler, birçok eşmerkezli grafen silindirlerin koleksiyonu olup “Rus Bebeği” yapısındadırlar, ki orada zayıf waals kuvvetleri tüpleri bir arada tutarlar [Breuer ve Sundararaj, 2004]. Çok katmanlı

karbon nanotüplerde katmanlar arası mesafe 0,34-0,36 nanometredir. Bu boyut grafitin tipik atomik boşluğuna yakındır. Karbon-karbon bağları 0,14 nanometre uzunluğundadırlar ve bunlar elmastaki bağlardan daha kısadırlar. Bu da nanotüpün elmastan daha güçlü bir materyal olduğunu gösterir [Doğan ve ark, 2005].



Şekil 5.30. Tek katmanlı (soldaki) ve çok katmanlı karbon nanotüp (sağdaki)
[Bozkaya, 2006b]

Karbon nanotüpler; yüksek mukavemet, yüksek elektriksel iletkenlik, yaklaşık tek boyutlu yapı, yüksek ısı iletkenlik, düşük ağırlık, çok yüksek termal ve kimyasal dayanım gibi özellikleri bünyelerinde barındırırlar [Cireli ve ark, 2006; Erkan ve ark, 2005].

Grafit plakasının kıvrılma yönüne göre nanotüpler değişik mekanik ve elektronik özellikler göstermektedirler [Özdoğan ve ark, 2006b]. Karbon-karbon ortak bağlar tabiattaki en güçlü bağlardan olduklarından nanotüplerin ekseni boyunca yönlü bu bağların mükemmel düzenlenmesine dayanan bir yapı, ağırlığa göre mukavemet oranı çok yüksek olan çok kuvvetli bir madde üretir [Breuer ve Sundararaj, 2004]. Küçük çaplı (yaklaşık 1-2 nm) tüplerden oluşturulmuş bir demeti koparabilmek için uygulanan çekme kuvvetinin büyüklüğü yaklaşık 36 gigapaskaldır. Buna göre, nanotüplerin gerilmeye karşı en sağlam malzeme özelliği taşıdığı açık bir şekilde görülmektedir. Hasarsız bir karbon nanotüp, kendi ağırlığının 300 milyon katı bir ağırlığa dayanabilecek sağlamlıkta olup bu sağlamlıkta başka bir

malzeme bulunmamaktadır [Özdoğan ve ark, 2006b]. Karbon nanotüpler, çelikten 100 kat daha güçlü ve 6 kat daha hafiftirler. Bu yüzden geleceğin yüksek performanslı liflerini oluşturabilirler [Şenol ve ark, 2005].

Karbon nanotüpler, şimdiye kadar yapılmış en katı (sert) yapılardan biridirler; tüp eksenini doğrultusunda yüksek Young's modülleri vardır. Örneğin; tipik olarak 750 Gpa'a kadar Young's modülüne sahip olan karbon liflerine göre, nanotüplerin modülü 1 ve 5 TPa arasındaki aralıktadır [Breuer ve Sundararaj, 2004; Doğan ve ark, 2005].

Nanotüpler; grafit elyaflarda olmayan bir özellik olan yüksek sertlik ile yüksek esneklik ve mukavemetin kombinasyonu özelliğine sahiptirler [Breuer ve Sundararaj, 2004]. Çok esnek ve sağlam olmaları nedeniyle, tüp eksenini yönünde çekilmeye karşı, hasar görmeksizin direnç gösterirler. Nanotüp boyu, enine göre çok büyük olduğu için çok esnektirler [Doğan ve ark, 2005]. Kırılma gerilimleri %0,1-%2 arasındaki değerlerde olan birçok karbon elyaflardan daha iyi olan karbon nanotüplerin kırılma gerilimleri %10-%30 arasındaki aralıktadırlar [Breuer ve Sundararaj, 2004].

Karbon nanotüpler, yüksek iletken metalik davranıştan yarıiletkenliğe kadar dağılan, eşsiz bir elektronik karaktere sahiptirler [Breuer ve Sundararaj, 2004]. Bakıra yakın elektrik iletkenlikleri vardır. Ancak bakırdan daha fazla akım geçirebilirler. Örnek vermek gerekirse; süper iletken kablolar için akım yoğunlukları onlarca kA/cm² iken, çok katmanlı karbon nanotüplerde 100 MA/cm²'den yüksektir [Qian ve Hinestroza, 2004; Breuer ve Sundararaj, 2004].

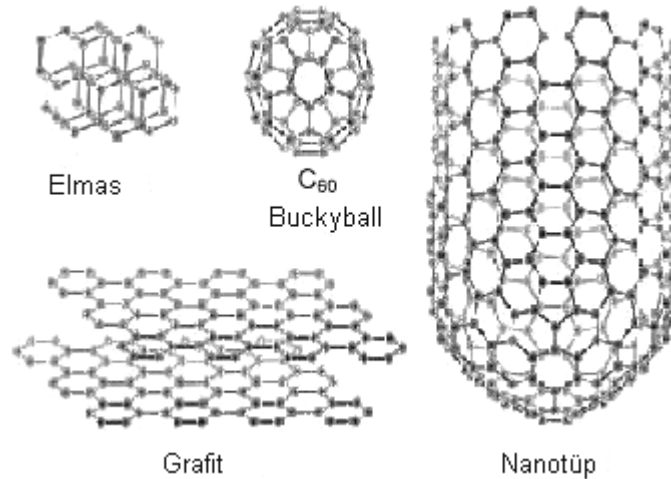
Tüpün geometrisine (çapına ve silindirik yüzeyinin kıvrılma yönüne) bağlı olarak nanotüpler metal veya yarıiletkenlik özelliği gösterebilmektedirler [Özdoğan ve ark, 2006b]. Çeşitli hesaplamalarla nanotüplerin iletkenlik özelliklerinin büyük ölçüde tüp çapına bağlı olduğu bulunmuştur. Örneğin helisin eğimindeki çok küçük bir değişim, tüpü bir metalden bir yarıiletkene dönüştürebilir. Yani molekül yapısına bağlı olarak iletkenlik özelliklerinde farklılıklar oluşur. İletkenlik nanotüp boyundan bağımsızdır [Doğan ve ark, 2005]. Nanotüp yapıda, grafit plakalarında olduğu gibi sadece altıgen şekiller bulunmaktadır. Yapı, eğer tüpün uç kısmına gelen kısım altıgenin kenarı ise "sandalye kolu", köşesi ise "zikzak" olarak adlandırılmaktadır.

Sandalye kolu modeli metal özelliği gösterirken, zikzak modeli yarıiletken özelliğindedir. Ancak zikzak model, tüpün çevresindeki altıgen sayısının 3'ün katları olması durumunda metal özelliği göstermektedir. Hiçbir katkı maddesi olmaksızın, nanotüpün geometrik parametrelerinin (çap, tüp yüzeyinin yönü vs) değiştirilmesi yoluyla elektronik özelliklerinin de değiştirilebilir olması, tüplere elektronik uygulamalarda önemli bir yer vermektedir [Özdoğan ve ark, 2006b].

Tüm nanotüplerin tüp boyunca çok iyi ısı iletkenliklerinin olduğu bilinmektedir. Ama tüp eksenine yana olarak iyi yalıtıcıdır [Doğan ve ark, 2005]. Saf elmastan daha iyi termal iletkenliğe sahip olan karbon nanotüplerin termal iletkenliklerinin deneysel değerleri 200 W/(m.K) civarında iken, teori; izole edilmiş bir tek katmanlı karbon nanotüp için oda sıcaklığında 6000 W/(m.K) termal iletkenlik öngörür [Qian ve Hinestroza, 2004; Breuer ve Sundararaj, 2004].

Nanotüplerin yoğunlukları yaklaşık $1,3 \text{ g/cm}^3$ olup, ticari karbon elyaflardan düşüktür ($1,8\text{-}1,9 \text{ g/cm}^3$) [Breuer ve Sundararaj, 2004]. Nanotüplerin optik özellikleri optik aletlerde çok önemli rol oynamalarını sağlar [Doğan ve ark, 2005].

Karbon atomu doğada grafit, elmas gibi değişik izotoplar biçiminde bulunmaktadır (Şekil 5.31.). Bu izotoplardan karbon nanotüpler üretilmektedir [Erkan ve ark, 2005].



Şekil 5.31. Karbon atomu izotopları [Yetgin, 2007]

Çok miktarda karbon nanotüp üretmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Ancak pahalı oluşları onların büyük ölçekli üretimlerini engellemektedir. Ayrıca üretilen bu tüplerin standart kalite ve boyutta elde edilememeleri, onları endüstri ve araştırmaların gereksinimlerini karşılamada yetersiz kılar. Genelde karbon nanotüplerin eldesinde üç metot kullanılır [Doğan ve ark, 2005]:

- Ark buharlaşması,
- Lazer aşındırması,
- Kimyasal buhar püskürtmesi.

Ark Buharlaşması: İlk nanotüpler bu yolla karbon elektrotlar arasında üretilmişlerdir. Soygaz ile çok katmanlı karbon nanotüplerin makroskopik miktarları, geliştirilmiş ark buharlaştırma metoduna göre yapılmışlardır. Bu proseste karbon elektrotları birbirlerinden birkaç milimetre uzaklıkta yerleştirilmektedirler ve 100 A civarında bir akım karbonu sıcak plazma içerisinde buharlaştırmaktadır. Karbonun bir kısmı nanotüp formunda yeniden yoğunlaşmaktadır. Nanotüpler sadece akımın geçtiği yerde oluşurlar. (daha büyük negatif elektrotta) voltaj 20 voltur ve 2000-3000 °C’de oluşur. 2-20 nanometre civarında tüp çapları vardır ve kısıdırlar (50 µm veya daha az). Rasgele boyutlarda ve doğrultularda depolanırlar. Tipik depolama oranı 1 mm/dak civarındadır. Az miktarda bir geçiş metali tozu ilavesi, (kobalt, nikel veya demir gibi) tek katmanlı karbon nanotüplerin büyümesini destekler. Metal açıkça katalizör gibi davranır. Tüp şeklinde yapıların etrafına sarılmasını engeller ve küçük bir fulleren olmasını da engeller. Katalizörlerin varlığı sıcaklığı düşürmeye yardımcı olur. Böyle bir soğutma olmadan ark çok sıcaktır ve nanotüpler birleşerek bir bütün haline gelirler ve düzensiz şekilde hızla birleşirler. Bu etkiyi minimize etmek için su ile soğutulmuş katot kullanılır [Doğan ve ark, 2005].

Lazer Aşındırması: Tek katmanlı karbon nanotüpler lazer aşındırması ile grafit çubuktan oldukça verimli bir şekilde üretilirler. Bu oldukça düzgün tüplerin ark buharlaştırmada hazırlanandan daha düzenli yığınlar oluşturmaya eğimli oldukları söylenebilir. Ark buharlaştırma metodundan daha az sıcaklık gerektirmektedir. Katalizörler nanotüplerin gelişimine grafit bloğunu aşındırarak yardım etmektedirler. Katalizörler platin, bakır, kobalt, nikel gibi elementleri veya bunların karışımlarını içerebilirler. Kompozit blok; grafit tozunun, karbon

çimentosunun veya metalin bir pastası yapılarak oluşturulur. Sonra pasta silindirik bir kalıp içerisine yerleştirilir ve üzerine lazer verilir. Argon gazı lazer noktası doğrultusunda pompalanır. Fırın sıcaklığı 1100-1200 °C civarındadır. Lazer hedefi aşındırdıkça karbon nanotüpler oluşurlar ve soğuk bir bakır kollektör üzerine gaz akışı ile taşınırlar. Düzenli gönderilen lazer ışınları sayesinde, büyüme koşulları daha geniş bir hacim üzerinde daha uzun bir süre için oluşturulabilir. Bu daha düzenli bir buharlaşmayı ve büyüme koşullarının daha iyi kontrolünü sağlar. Çap aralığı, reaksiyon sıcaklığı değiştirilerek kontrol edilebilir. Bu metodun dezavantajı pahalı lazerler gerektirmesidir [Doğan ve ark, 2005].

Kimyasal Buhar Püskürtmesi: Bu metotla hem daha düzenli nanotüpler elde edilebilmekte, hem de nanotüplerin çok miktarda üretimleri yapılabilmektedir. Diğer metotlara göre daha ucuzdur. Bu metot, çeşitli materyallerin ince filmlerini oluşturmak için kullanılan bir kimyasal prosestir. Tipik bir kimyasal buhar püskürtmesi prosesinde, istenen depolanmış materyali üretmek için malzeme yüzeyi üzerinde reaksiyon oluşturan ve/veya parçalanmış öncü maddeler oluşurlar. Bunlar reaksiyon kamarası içinde gaz akışı ile taşınırlar. Nanotüp sentezinde bu metot kullanılarak, 50 µ kalınlığında bir film oluşturmuşlardır. Film yüzeye dik olarak oldukça iyi düzenlenmiş şekilde oluşmuştur. Bu metot yüzey üzerinde büyüme doğrultusunu kontrol edebilme kabiliyetine sahiptir. Bu proseste hidrokarbon gaz karışımı, asetilen, metan veya etilen ve nitrojen reaksiyon odasına gönderilir. Bu reaksiyon sırasında nanotüpler bir malzeme üzerinde oluşturulurlar. Hidrokarbonun 700-900 °C’de atmosferik basınçta parçalanmasıyla nanotüpler oluşurlar. Bu prosesin iki temel avantajı vardır: Nanotüpler daha düşük sıcaklıkta elde edilirler. Bu düşük kaliteye neden olmasına rağmen katalizörler malzeme üzerine depolanabilirler. Bu da yeni yapıların oluşumuna izin verir. Kimyasal buhar püskürtmesi yarıiletken endüstrisinde kullanılır.

Kimyasal buhar püskürtmesi prosesinde kullanılan malzemenin hazırlanışı ve katalizör kullanımı özel ilgi gerektirir, çünkü nanotüp yapısını belirler. Malzeme genelde silikondur, cam ve alüminyum da kullanılabilir. Katalizörler metal nanopartiküllerdir. Demir, kobalt ve nikel, silikon malzeme üzerine depolanır. Nanotüp çapı katalizör madde boyutuna bağlıdır. Kendiliğinden oryante olmuş

nanotüplerin büyümesi için gözenekli silikon ideal bir malzemedir. Bu malzeme üzerinde nanotüplerin daha yüksek oranlarda (uzunluk/dakika) büyüdüğü kanıtlanmıştır. Düz silikon üzerinde değil de gözenekli yüzey üzerine nanotüpler daha iyi toplanırlar. Nanotüpler, malzeme yüzeyine dik olarak katalizör-yüzey etkileşiminden ve Van der Waals kuvvetlerinden dolayı birbirlerine daha paralel bir şekilde uzanırlar. Tüplerin büyüme doğrultusu gözeneklerin şablon etkilerinden dolayı gözenekler tarafından belirlenir. Malzemedeki gözenekler düzenli ve nanotüplerin düzenli bir şekilde büyümesi için yeterli küçüklükte olmak zorundadır [Doğan ve ark, 2005].

Her ne kadar düşük maliyetli, büyük ölçekli üretim metotları olmasa da, geleneksel metotlar daha iyi hale getirilmekte, ve akışkan haline getirilmiş temel reaktörler gibi yeni metotlar; düzenli, makul fiyatlı CNT temini yaratabilmek için araştırılmaktadırlar [Breuer ve Sundararaj, 2004].

Karbon nanotüplerin uygulama alanları; kompozitler, tıbbi tekstiller, balistik amaçlı tekstiller, filtrasyon materyalleri, kendi kendini temizleyen kaplamalar, nanoaygıt ve transistörlerden bütünleşik devre, kalıcı bilgisayar belleği, karbon nanotüp düz ekran televizyonlar, ortamda bulunan zehirli gazları algılayabilen gaz detektörü, hidrojen depolama ve yakıt hücresi, nanomıknatıs, yüksek yoğunluklu bilgi depolayan küçük ölçekli sabit disk ve deformasyon ölçmeye yönelik ölçü aletleri vb şeklindedirler [Erkan ve ark, 2005; Akbaş, 2006]. Nanotüplerin özellikleri, elektrostatik olarak yayıcı (dissipative) maddeler; havacılık ve uzay ve spor malları için katılık, mukavemet ve etkiyi birleştiren maddeler; kompozit aynalar; elektrostatik boyama gerektiren otomobil parçaları ve güçlendirilmiş mekanik özellikleri olan otomotiv parçaları gibi çok çeşitli uygulama alanlarında avantaj sağlamaktadırlar [Breuer ve Sundararaj, 2004]. Karbon nanotüplerin potansiyel kullanım alanları olarak, iletken ve yüksek mukavemette kompozit lifleri, enerji depolama ve enerji dönüşüm araçlarını, sensörleri, alan emisyon göstergelerini (field emission displays) ve moleküler elektronikleri saymak mümkündür [Cireli ve ark, 2006].

Karbon nanotüpler, polimer kompozit sistemlerde dolgu maddesi olarak kullanılarak, güçlü elektrik, termal ve optik karakteristikleri olan ultra-hafif yapılı

maddeleri elde etmek için ilgi uyandırmışlardır [Breuer ve Sundararaj, 2004]. Kompozit malzeme içine gömülü nanotüpler, büyük bir esneklik ve gerilme kuvvetine sahip olduklarından zıplayan arabaların, ya da depremde çökmek yerine ileri geri sallanan binaların yapımında kullanılabilirler [Doğan ve ark, 2005].

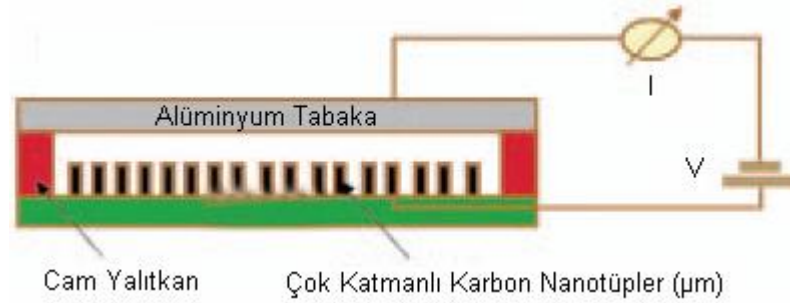
Karbon nanotüpler; elektrospinning yöntemi, kaplama veya nano-gözenekli membranlar kullanılarak tekstil materyalleri ile birleştirilirler [Erkan ve ark, 2005]. Çok katmanlı karbon nanotüpler kullanılarak, iplik prosesinde büküm esnasında belirgin mukavemete sahip çok katlı iplik oluşturulabilir. Karbon nanotüpler diğer doğal ve sentetik liflere göre daha sert yapıda olup gerilme dayanımı örümcek ağıyla eşdeğerdedir. Karbon nanotüp içeren kumaşlar; sensörler, elektronik iç bağlantılar, elektromanyetik dalgaları engelleyiciler, antenler ve elektrik depolayan baterileri içeren elektronik tekstil uygulamalarında kullanılırlar.

Nanotüp içerikli kompozit malzemeler, iplik eğirme işlemini ve son ürünü geliştirirler. Örneğin çok yaygın geleneksel bir polimer olan polipropilen karbon nanotüpler eklenmesiyle, elektrospinning esnasında kılcal tüpten çıkan polimerin düzensiz bir şekilde ayrılması olarak bilinen “düşme çıkışı şişme etkisi”nin ortadan kaldırıldığı kanıtlanmıştır. Bu gelişme liflerin yüksek gerilime karşı; kılcal tüp ile toplayıcı arasında kaldıkları andaki dayanıklılıklarını artırmıştır. Böylece kompozit polimerler yüksek hızla çekilebilirler [Göcek ve ark, 2006].

Karbon nanotüp ile polivinilalkol lifinin koagüle banyosunda çekim yöntemi ile, elde edilen kompozit lifin mukavemet ve rijitlik değerlerinin, aynı ağırlık ve uzunluktaki çelikten 20, kevlerden 17 kat daha büyük oldukları bulunmuştur. Böyle bir lif, savunma amaçlı tekstil yüzeylerinin üretiminde önemli bir potansiyel göstermektedir. Karbon nanotüplerin, polimetilakrilat ve poliakrilonitril gibi farklı liflerle kompozit lif eldelerine yönelik çalışmalar halen sürmektedir [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

MIT, ultra güçlü lifler için ve onu giyenin koşullarını monitörle görüntülemek için karbon nanotüpleri kullanarak bir savaş yeleği üretimi üzerinde çalışmaktadır. Nanotüpler açılıp biyolojik materyaller gibi materyallerle doldurulabilirler. Bu da nanotüplerin biyoteknolojideki uygulama alanlarını arttırır [Doğan ve ark, 2005].

Ortamda bulunan zehirli gazları algılayabilen nanotüp kullanarak yapılan bir gaz detektörü sayesinde, kilolarca ağırlığa sahip bir cihaz milimetre boyutlarına indirgenebilmiştir (Şekil 5.32.). Karbon nanotüplerin nanometre ölçeğindeki sivri uçlarında oluşan yüksek elektrik alanında kolaylıkla iyonize olabilen gaz atomlarının iyonizasyon enerjilerinden, gazın türü tayin edilmektedir. Böyle bir detektör pille çalışabilmektedir ve elbise yakasında taşınabilmektedir [Çıracı, 2005].



Şekil 5.32. Karbon nanotüpler içeren gaz detektörü [Çıracı, 2005]

Şekil 5.32.'de cam üzerine dikine dizilen karbon nanotüpler ve onların üstünde alüminyum plakadan oluşan gaz detektörü görülmektedir. Sivri karbon nanotüplerle plaka arasında normal gerilim farkında bile oluşan yüksek elektrik alanında, atomların iyonizasyon enerjilerinden gazların cinsi belirlenebilmektedir. Bu mikrodetektörün hareketli kullanımlarda büyük kolaylık sağlaması beklenmektedir [Çıracı, 2005].

Hidrojen gaz veya sıvı olarak saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, karbon nanotüplerin boş olan orta kısımlarında da depolanabilir. Nanotüpler depolanmış hidrojeni verimli ve ekonomik yakıt hücrelerinde kademeli olarak serbest bırakabilirler. Lityum iyonlarını da depolayabilmeleri durumunda, daha uzun ömürlü pillere kavuşulabilir [Doğan ve ark, 2005].

Karbon nanotüplerin elektronik malzeme olarak manyetik ve optik nanoaygıt yapımında, ayrıca hafıza elemanı, kapasitör, transistör, diyot, mantık devresi ve elektronik anahtar yapımında kullanım alanları bulunmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006b].

İki platin tel üzerine konulan bir nanotüp, platin telle arasında oluşan kontak potansiyeli aracılığıyla transistör işlevi görmektedir. Benzer yöntemlerle

nanotransistör yapılması değişik gruplar tarafından başarılmış olmasına karşın, bu transistörlerin birbirleriyle bağlanıp bütünleşik devre yapılmasında henüz sorunlar vardır. Bu probleme İsrail’den ilginç bir çözüm önerilmiştir: DNA’ya dayalı olarak yapılan transistörlerin kendi kendilerine yapılıp çoğalabilme yeteneklerinin, bir şekilde aygıt entegrasyonunu sağlayabilecekleri düşünülmektedir [Çıracı, 2005].

Nanotüplerin çapları şimdiye kadar üretilen en ileri yarıiletken aygıtlarından çok daha küçüklerdir. Karbon nanotüplerin yarıiletken teknolojisinde kullanılmaya başlamaları ile yarıiletken fiziğinde çok büyük bir atılım yaratacakları düşünülmektedir. Nanotüplerden yapılan kristallere başka atomlar ilave edilerek farklı özelliklerde yeni malzemeler (özellikle süper iletken malzemeler) üretilmektedirler. Örnek vermek gerekirse Ti atomları ve karbon nanotüp arasındaki güçlü bağ sayesinde, karbon nanotüp yüksek iletkenlik kazanmaktadır. Çapları nanometreden küçük olan bu iletken teller aygıtların birbirine bağlanmasında kullanılabilirlerdir. Ti kaplanmış iletken tüplerden 2 ya da 3 boyutlu örgüler ya da ızgaralar oluşturularak, bunların nanoaygıt ve transistörlerden bütünleşik (entegre) devre yapımında kullanılmaları önerilmektedir. Ayrıca tüpleri eklem yerlerinden Ti atomuyla birbirine kaynatarak taç geometrisinde aygıtlar da yapılabileceklerdir. Ayrıca Ti atomlarıyla kaplanan bir tüp, yüksek değerlerde manyetik momente sahip olmaktadır. Yüksek manyetik momente sahip olan Ti kaplanmış tüplerin, nanomiknatıs, yüksek yoğunluklu bilgi depolayan küçük ölçekli sabit disk ve deformasyon ölçmeye yönelik ölçü aletleri yapımında kullanılmaları beklenmektedir [Özdoğan ve ark, 2006b; Çıracı, 2005].

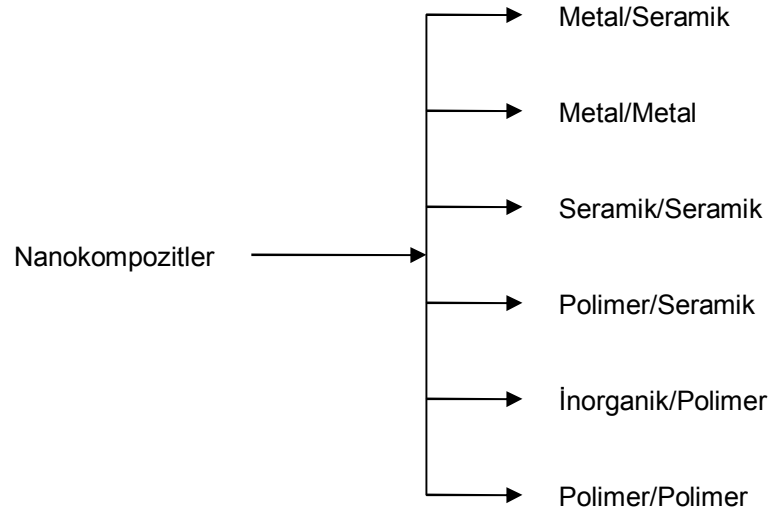
Küçük makineler için nanotüpler son derece yararlı gözükmektedirler. Çünkü MEMS aygıtlarını etkileyen sorunlardan biri, saniyede binlerce kez sürtünerek birbirini aşındıran minik parçacıklardır. Nanotüp yatakları ise hemen hiç sürtünüp aşınmazlar, çünkü bu yataklarda karbonun bütün kimyasal bağları kullanılmaktadırlar. Başka bir ifadeyle yabancı elektronların bağlanıp kopartarak aşındıracakları boş bağlar yoktur. UC Berkeley’den Prof. Alex Zettl’a göre, hem iletken hem de yalıtkan olarak yararlanılabilen nanotüpler, hemen her elektromekanik cihaza uymaktadırlar [Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Karbon nanotüplerin eşsiz özellikleri onları mikroelektronlar için mükemmel kılarlar. Katot ışını tüpü (CRT) kullanılarak oluşturulmuş bir renkli televizyon ekranında katot ışını tüpünde görüntü oluşturulurken, elektron tabancaları yüzey üzerine vuruş yapmak için ışık demeti üretirler. Mikroelektron yayıcıları olarak görev alan karbon nanotüpler ise herhangi bir boyuttaki elektrik şebekesi içinde süper ince düz ekranı oluşturacak şekilde düzenlenebilirler. Karbon nanotüp kullanımı daha geniş görüntü alanını ve daha yüksek görüntü kalitesini sağlar. Bugünkü katot ışını tüplerinin kullandıklarından daha az güç kullanır ve istenmeyen çok miktarda ısı üretimi de yoktur. Hafiftir ve çok kısa cevap zamanı vardır.

Nanotüpler ince bilgisayar çiplerinden ısıyı dağıtmak için kullanılabilirler. Uzay asansörleri, yapay kaslar, ultra yüksek hızlı uçan tekerlekler ve daha fazlasının üretimine izin verecek mukavemeti sağlayabilirler [Doğan ve ark, 2005].

5.3. Nanokompozitler

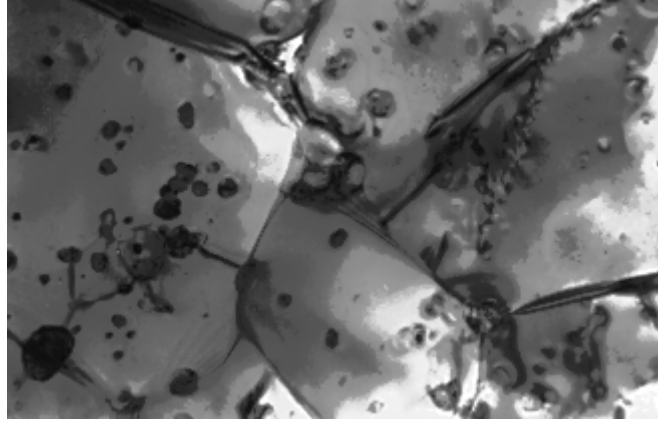
Nanokompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşan malzemelerdir [Yetgin, 2007]. Nanokompozitler boyutlarına göre sınıflandırılmak istenilirse; nano ebatla kaç boyutu olduklarına bakılır. Nanokompozit üç boyutta da nanometrik seviyede ise “isodimensional (eş boyutlu)” nanopartiküller olarak adlandırılır ve in-situ, sol-gel metodu ile elde edilen kübik silis nanopartikülleri buna bir örnek olarak verilebilir. Eğer nanokompozit 2 boyutta nanometrik ve diğer boyutta daha büyük boyda ise nanotüpler veya kil kristalleri (whiskers) olarak adlandırılır. Selülozik kil kristalleri ve karbon nanotüpler bu tip nanokompozitlere örnek olarak verilebilir ve bunlar malzemelerin güçlendirilmesinde nano dolgu malzemesi olarak kullanılırlar. Üçüncü çeşit nanokompozit ise sadece tek boyutta nanometrik seviyededir. Bu tür nanokompozitlerde dolgu malzemesi bir defter yaprağı gibi yalnızca tek bir boyutta nanometrik seviyededir, diğer boyutlarda ise yüzlerce ya da binlerce nanometre boyutundadır [Yetgin, 2007]. Kullanılan malzemelerin cinsine göre nanokompozitler Şekil 5.33.’teki gibi sınıflandırılabilirler.



Şekil 5.33. Nanokompozitlerin sınıflandırılması [Yetgin, 2007]

Nanokompozitlerin malzemeye getirdikleri üstünlükler; modülü arttırması, güçlendirmesi, ısı direncini arttırması, malzemeye gaz sızmasını engellemesi, malzemenin yanıcılığını azaltması olarak sıralanabilir [Yetgin, 2007]. Oldukça küçük tanecik boyutu, yüksek spesifik yüzey alanı oluşturarak kompozit yapının mekanik özelliklerini geliştirir, bu yüzeyler daha serttirler, oldukça iyi yıpranma dayanımına sahiptirler. Nanokompozit lif yapıları ile lifler modifiye edilebilirler. Polimer matris veya kaplamaya katılan nanopartiküller, yüksek sürtünme dayanımı, kolay temizlenebilme, farklı optik performans kazandırabilirler, boya alma kapasitelerini arttırabilirler. Nanokompozit teknolojisi, yapılarına katılan çevreci nanoparçacıklarla polimerik malzemelerin yanma/tutuşma davranışını zorlaştıracı yönde kullanılabilir. Polyester, naylon ve polietilen matrislerine, ağırlık oranı %5 ile %20 arasında karbon nanopartikül ekleyerek elde edilen kompozitlerin, adı geçen polimer matrislerin kimyasal dayanım ve elektrik iletkenliğini arttırdıkları bulunmuştur.

Şekil 5.34.'te tanecik büyüklüğü 20-200 nanometre arasında değişen SiC ile %5 hacimsel oranla takviyelendirilmiş alüminyum oksit yüzey görülmektedir. Elde edilen kompozitin, monolitik alüminyum okside göre %30 daha fazla mukavemete sahip olduğu, aşınma direncinin %65 büyüdüğü ve kırılma tokluğunun arttığı tespit edilmiştir [Kut ve Güneşoğlu, 2005].



Şekil 5.34. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ nanokompozitin TEM görüntüsü
[www.ocamac.ox.ac.uk, 2007]

Aşağıda nanokompozitlerin kullanıldığı tekstil ürünlerine örnekler verilmiştir [Kut ve Güneşoğlu, 2005]:

- PET/silis kompozitleri
- Güç tutuşur poliolefinler
- Asit ve dispers boyarmadde ile boyanabilen PP lifler
- Katalist binderler

5.4. Nanopartiküller

Nano boyuttaki partiküllerin daha geniş bir yüzey alanı vardır, dolayısıyla daha büyük ebatlardaki taneciklere nazaran daha yüksek verimlilik göstermektedirler [Qian ve Hinestroza, 2004]. Geleneksel tekstil yöntemleri kumaş özelliklerini geçici olarak şekillendirmekte; kullanım sırasında bu özellikler zamanla azalmakta veya kaybolmaktadır. Nanoteknoloji ile kumaşlara kazandırılan özellikler daha kalıcı olmaktadır. Bu da nanopartiküllerin yüzey alan/hacim oranının ve yüzey enerjilerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [Göcek ve ark, 2006].

Spesifik nanopartiküllerle tekstil yüzeylerinin kaplanması ile tekstil yüzeyleri günümüzde yüksek adhezyon, daha kolay geri dönüşüm gibi özelliklere sahip olmuşlardır. Ayrıca nanopartiküller, tekstiller üzerindeki koku, antifungal ve biyosidlerin kontrollü salınımı amacıyla da kullanılmaktadırlar. Ciba Specialty

Chemicals (CSC) bu amaçla antimikrobiyal nanokapsülleri ile lifleri modifiye ederek bakteri gelişimini önlediğini ifade etmektedir. Benzer teknoloji, kokuları absorplamada da kullanılmaktadır. Antimikrobiyal kaplamalı kıyafetler vücudun dermatolojik konforunun teminini mümkün kılar. Kore’de “Mipan Nano-Magic Silver” lifi adı altında üretilen yeni antibiyotik life, gümüş metali nanopartikül formunda polimerizasyon işlemi sırasında ilave edilmektedir. Bu lif antibiyotik açıdan son derece iyi sonuçlar vermektedir [Kut ve Güneşoğlu, 2005; Özdoğan ve ark, 2006c].

Polimerik tekstil malzemesine mikropartiküllere nazaran daha homojen ve tamamen dispers formda yerleşmiş nanopartiküller, tekstil yüzeyinin çeşitli mekanik, elektrik ve optik özelliğini geliştirirler. Örneğin nanoboyuttaki kristalin piezoseramik partiküller ile işleme tabi tutulan kumaşlar bir materyal sensör haline dönüştürülebilmektedirler. Piezoseramik partiküller mekaniki kuvvetleri elektriksel sinyallere dönüştürmektedirler. Eğer bu tür kumaşlar cilde yakın giysi yapımında kullanılırlarsa kullanıcının kalp ritmi ve atışları gibi vücut fonksiyonları rahatlıkla gözlemlenebilecektir. Tekstil yüzeylerinin nano-seramik partiküllerle kaplanması yanma eğilimini azaltır. Seramik indium-kalay oksit kaplanmış yüzeylerin kaplama kalınlığına bağlı olarak spektral özellikleri değiştirilebilir, etkili kamuflaj sağlanabilir [Kut ve Güneşoğlu, 2005; Özdoğan ve ark, 2006c].

Aşağıda nanopartiküllerin potansiyel tekstil uygulamaları verilmiştir [Anonymous, 2004]:

- Bir kelebeğin kanadına benzer parazit renkler,
- Aşınma dayanımını arttırmak,
- “Parazit” renklerin yanında optik özellikleri de değiştirmek,
- Süper hidrofobik apre,
- Koruyucu giysi,
- Köpüklerin ısı yalıtımı ve dayanımını artırmak,
- UV koruma, lif koruması, oksidatif kataliz,
- İletim, manyetik özellikler, uzaktan ısıtma.

Tekstil boyamada pigment nanopartikülleri direkt olarak kullanmak mümkün bir uygulamadır. Boya banyosunda nanopartiküllerin agregasyonunun önüne geçmek

için partiküller iyi bir şekilde disperse olursa ve nanopartiküller yeterince küçük boyuta küçültülebilirse böyle bir yaklaşım elde edilebilir [Li ve Sun, 2007].

Aşağıda nanopartiküllere örnekler verilmiştir [Anonymous, 2004]:

- Görünebilir ışığın dalga boyu aralığındaki boyutlarda Core-Shell partikülleri,
- Seramik nanopartiküller,
- Görünebilir ışığın dalga boyu aralığındaki boyutlarda kristalize olmuş nano dispersiyonlar,
- PP veya PE kaplamalı SiO veya AlO nanopartikülleri,
- İndiyum kalay oksit nanopartikülleri,
- Nanogözenekli köpükler,
- TiO₂ veya ZnO nanopartiküller,
- Fe nanopartiküller.

Bu tez kapsamında nanopartiküller; kil nanopartikülleri ve metal oksit nanopartikülleri olmak üzere 2 ana başlık altında incelenecektirler.

5.4.1. Kil Nanopartikülleri

Kil nanopartikülleri veya başka bir deyişle ince nanopartiküller hidro alüminyum silikatın birkaç türünden oluşmaktadırlar. Her bir türü kimyasal bileşimine ve kristal yapısına göre farklılık göstermektedir [Qian ve Hinestroza, 2004]. Kil nanopartikülleri elektrik, ısı ve kimyasal dayanıma sahiplerdir. Örneğin; ısı yardımıyla erime ve çözünme işlemi esnasında organik sorbent (emici madde) ve/veya mekanik olarak karıştırılmış nanokiller, polipropilen matrisine eklenerek polimer yapısının ısı ve kimyasal stabilitesini sağlarlar. Kil nanopartikülleri ayrıca UV ışığını bloke etme yeteneğine sahiptirler. Bu sayede içerisine kil nanopartikülleri yerleştirilmiş lifler güç tutuşurluk, anti UV ve anti korrozif davranışlar gösterirler. Güç tutuşurluk davranışına örnek vermek gerekirse; naylon 6.6 filmlerine fonksiyonel nanokil ilave edildiğinde, filmlerin ısı açığa çıkarma oranının düştüğü ve nanokilin, kömür oluşumunu desteklediği görülmüştür. Fosfor esaslı bileşiklerle kombinasyon halinde uygulandığında ise, yine kömür oluşumunun desteklendiği

görülmüştür. Anti UV davranışına örnek vermek gerekirse; monmorillonite nanopartikülleri UV engelleyici olarak naylon liflerine uygulanmaktadırlar [Erkan ve ark, 2005; Göcek ve ark, 2006; Özdoğan ve ark, 2006c].

Nanokil, tekstil malzemelerinin dayanım modülünü geliştirici fonksiyona sahiptir. Örneğin kütle kesiri sadece %5’lik bir kilin mekanik özellikleri; %40’lık daha yüksek gerilme mukavemeti, %68 daha yüksek gerilme modülü, %60 daha yüksek eğilme dayanımı ve %126’lık bir artışla elastiklik modülü göstermektedir. Buna ek olarak, yük altında eğilme sıcaklığının (HDT) 65 °C’den 152 °C’ye kadar arttığı görülmektedir. Nano boyuttaki kil parçacıkları, yoğun biçimde ve sıra ile düzenlenmişlerdir. Dolayısıyla, kompozit madde suya, kimyasallara veya diğer zararlı maddelere karşı bariyer görevi görmektedir [Göcek ve ark, 2006; Qian ve Hinestroza, 2004].

Nanopartiküller, çok küçük boyutlarda ve yüksek yüzey alanına sahip olduklarından dolayı nanokil, montmorillonite ve bazı modifiye edilmiş nanokiller; anyonik, katyonik ve nötr boyalar için emici madde olarak kullanılmaktadırlar. Boya emilimini geliştirmek için emici madde, kompozit oluşturması için polimer matrikse fiziksel olarak eklenir. Nanokilden yapılmış emici maddenin boya emme yeteneğinden dolayı bu kompozitten yapılmış olan tekstil yüzeyleri çok iyi bir boyanabilme, renk haslığı, boyamada daha az problem gibi özelliklere sahiptirler. Örneğin kil nanopartikülleri polipropilen boyanmasında kullanılmaktadırlar. Polipropilen lifi içerisinde boyayı çeken kısımlar ve boyayı tutan boşluklar oluşturarak asit ve dispers boyalar ile boyanmayı gerçekleştirirler. Kuantener amonyum tuzu ile modifiye edilmiş kil nanopartikülleri, lif çekilmeden önce polipropilen içerisine ilave edilirler [Göcek ve ark, 2006; Erkan ve ark, 2005].

5.4.2. Metal Oksit Nanopartikülleri

TiO₂, Al₂O₃, ZnO ve MgO gibi metal oksitler fotokatalitik, elektrik iletkenliği, UV absorpsiyonu ve fotooksidasyon özelliğine sahiptirler [Erkan ve ark, 2005]. Nanoölçekte metal oksitlerin fotokatalitik etkisi toksik ve zararlı etkiye sahip kimyasal ve biyolojik yapıları bozmaktadır. Bu sayede vücuttaki bakterilerin

oluşturduğu kötü kokular antibakteriyel işlem uygulanmış tekstil ürünleriyle önlenabilir, ya da kendi kendini temizleyen giysiler üretilebilir [İkiz, 2006]. Fotooksidasyon özelliği özellikle kimyasal veya biyolojik maddelere karşı koruyucu kumaşlarda dekontaminasyon amaçlı kullanım açısından son derece uygundur. Metal oksitlerin nanopartiküllerine ilişkin yapılan yoğun çalışmalar askeri alanda ve insan sağlığı alanında kullanımları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlar arasında antimikrobiyal özellik, kendi kendini temizleyebilme ve UV koruma sayılabilmektedir [Özdoğan ve ark, 2006c].

ZnO içeren naylon lifleri UV koruma sağlarlarken aynı zamanda lifin statik elektriğinin azalmasını da sağlamaktadırlar. TiO₂/MgO nanopartikülleri içeren kompozit bir lif kendi kendine sterilizasyon fonksiyonunu sağlamaktadır. Fotokatalitik özelliği ile koruyucu giysi yapımında da aktif karbon uygulamalarının yerini almaya başlamışlardır. UV koruma sağlayan ticari ürünlere BASF firmasının ultramid BS 416 N ürünü örnek verilebilir. Metal oksitlerin tekstillere aplikasyonu lif çekimi sırasında, elektrostatik yollarla veya sprey kaplama ile gerçekleştirilebilir [Erkan ve ark, 2005].

5.5. Faz Değiştiren Materyaller (PCM'ler)

Bir malzemenin ısınma ve soğuma davranışı incelendiğinde sıcaklık artışı ile birlikte malzemenin ısı absorbe ettiği, aksi durumda ise absorbe ettiği ısıyı dış ortama verdiği görülür. Faz değiştiren materyallerin (PCM'lerin) erime ile donma/kristalleşme sırasında sıcaklıkları sabittirler. Bu prensipten hareketle bir PCM, diğer malzemelere nazaran daha fazla ısı absorbe eder. Tekstil malzemelerine entegre edilen PCM'ler sadece birkaç mikrometrelik küreler (mikro-kapsüller) içine yerleştirilmişlerdir, PCM mikrokapsüller olarak adlandırılırlar. PCM'ler ısı düzenleme amaçlı olarak, yani ısının absorblanmasında ve gerektiğinde absorblanan ısının açığa çıkarılmasında kullanılırlar. Öncelikle giysi içerisine yerleştirilen PCM'ler vücuttan yayılan veya emilen ısı enerjisini aktif bir şekilde dengeleyerek dış ortam ile insan vücudu arasında yalıtkan bir tabaka oluştururlar [Erkan ve ark, 2005;

Cireli ve ark, 2006]. PCM'lerle, sınırlı süre de olsa kendi kendini ısıtan ve soğutan tekstil ürünleri yapılmaktadır [İkiz, 2006].

Faz değiştiren materyal olarak birçok maddeden faydalanılabilir. Fakat tekstil uygulamalarında faz değişim sıcaklığı vücut sıcaklığı civarında olan maddeler tercih edilirler. Tekstilde en çok kullanılan faz değiştiren materyaller polietilenglikol ve parafinlerdir. Literatürde inorganik tuzlar kullanılarak yapılan çalışmalar da mevcuttur. Polietilenglikolün moleküler ağırlığı ve parafinin karbon sayısı faz değiştirme sıcaklığını etkilemektedir [Cireli ve ark, 2006].

5.6. Biçimsel Hafızalı Materyaller (SMM'ler)

SMM'ler, o an bulundukları şekilden, daha önce belirlenmiş bir şekle, (genellikle ısı sebebiyle) form değiştirerek geçerler. Bu tür malzemeler, aşırı sıcak veya soğuk ortam şartları karşısında yalıtım ve koruma özelliğinin artırılması amacıyla kullanılmaktadırlar. Konfeksiyon ürünlerindeki SMM'lerin aktive olabilecekleri sıcaklık, insan vücudunun sıcaklığına yakındır. SMM'ler aktive edildiklerinde giysi katmanları içerisinde birbirine yakın olan tabakaların aralarındaki boşluklar artarlar. Böylece dış ortam ile vücut arasında sıcaklık kaybını önleme amacıyla bir bariyer tabaka oluşturulması amaçlanır. Hem PCM'ler, hem de SMM'ler kişinin fiziksel aktivitesi ve içinde bulunduğu ortam şartlarına (sıcaklık, nem vb) bağlı olarak tepki vermektedirler [Erkan ve ark, 2005].

5.7. Kromik Materyaller

Kromik malzemeler, aynı zamanda bukalemunsu liflerdir; yani çeşitli çevresel şartlar doğrultusunda renk değiştirebilme yeteneğine sahiplerdir [Erkan ve ark, 2005]. "Kromik materyaller" rengi yayan, rengi silen veya sadece değiştiren materyalleri ima eden genel terimdir. Çünkü neden olması dış uyarıcıdan kaynaklanır, "kromik (chromic)" de renk anlamına gelen son ektir. Bu yüzden kromik materyalleri, uyarıcının onları etkilemesine bağlı olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür [www.tut.fi, 2007]:

- Fotokromik: Dış uyarıcı enerji ışıktır.
- Termokromik: Dış uyarıcı enerji sıcaklıktır.
- Elektrokromik: Dış uyarıcı enerji elektriktir.
- Piezochromic: Dış uyarıcı enerji basınçtır.
- Solvatechromic: Dış uyarıcı enerji sıvıdır.
- Carsolchromic: Dış uyarıcı enerji elektron demetidir.

Bu sınıflandırmada piezochromic, solvatechromic, carsolchromic kelimelerinin Türkçe karşılıkları bulunamadığından dolayı bu kelimeler İngilizce olarak verilmişlerdir.

Fotokromik materyallerde neden olunan olay, gelen ışık yüzünden renkteki değişikliğin olduğu yerde fotokromizm olarak adlandırılır. Bununla birlikte, şimdiye kadar, fotokromizm; tekstil uygulamalarından ziyade optik devre veri ve görüntüleme sistemleri için en önemlidir. Fotokromik lifleri farklı gruplara sınıflandırmak mümkündür: Bu lifler; görünebilir ışık tarafından harekete geçirildiklerinde rengi yayanlar ve ultraviyole radyasyon tarafından harekete geçirildiklerinde rengi yayanlardır.

Her ne kadar ilk gruptakilerde hem organik hem de inorganik materyaller bulunabilseler de, en çok incelenenler organik materyallerdir. Çünkü onlar renklidirler, yüksek yoğunluğa ve geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Organik fotokromik materyaller genellikle bu olayı kristal halde göstermezler, fotokromizmlerini bazı çözücülerde erime sonrası gösterirler. Problem şudur; materyal davranışı (renk yayma, reaksiyon hızı, direnç, yoğunluk, vb gibi), çözücü türü tarafından çoğunlukla, olumlu veya olumsuz etkilenir. Bu sebepten, bu materyalleri liflere uygulamak amacıyla, hangi çözücünün kullanılmasının gerektiği üzerinde düşünmek önemlidir.

Floresan renk yayan lifler vardır. Örneğin; koyu bir yerde ultraviyole radyasyon altında kırmızı, yeşil veya mavi renk yayarlar. Buna rağmen doğal ışığa maruz kalınca orijinal renklerini korurlar. Bu amaç için kullanılan inorganik floresan boyalar, eğirme işlemi boyunca yaklaşık %10 oranında sıvı içerisinde karıştırılırlar. Çeşitli inorganik boyaları birlikte karıştırarak veya liflerin doğal rengine boyalar ekleyerek rengin serbestçe kontrol edilebildiğini belirtmek önemlidir.

Termokromik materyallerin sıcaklığa karşı reaksiyonun bir sonucu olarak renkleri değişir, özellikle termokromik boyaların kullanımı yoluyla belirli sıcaklıklarda renkleri değişir. Tekstillerde başarıyla kullanılan termokromik yapıların iki türü: Sıvı kristal türü ve moleküler yeniden düzenlenme türüdür. Her iki durumda, boyalar; giysi kumaşına uygulanan reçine binderdeki pigment benzeri mikrokapsüller içinde tuzağa düşürülürler (yakalanırlar). Termokromik sistemler için bitişik moleküllerin düzenlenmiş oldukları en önemli sıvı kristal türleri; sözde cholestoric (kolestrole ait olan veya kolestrolde elde edilen) türler oldukları için helezon oluştururlar. Termokromizm, sıvı kristal tarafından ışığın seçici yansımından meydana gelir. Yansıyan ışığın dalga boyu, sıvı kristalin kırılım indisi tarafından ve onun moleküllerinin helezoni düzenlenmesinin mesafesi tarafından yönetilir. Mesafenin uzunluğu sıcaklıkla değiştiğinden dolayı, yansıyan ışığın dalga boyu ayrıca değiştirilir ve renk, sonucu değiştirir.

Termokromizme neden olmanın diğer bir yöntemi; sıcaklıktaki değişimin bir sonucu olarak, bir boyanın moleküler yapısının yeniden düzenlenmesi vasıtasıyladır. Her ne kadar diğer türler tanımlanmışsa da, moleküler yeniden düzenlenme vasıtasıyla termokromizm gösteren boyanın en yaygın türleri “spiro-lactones”tur. Renksiz boya öncüsünün (belirtisinin) ve renk geliştiricinin her ikisi organik bir çözücüde çözülürler. Çözelti sonra mikrokapsüllenir ve daha düşük sıcaklıklarda güçlendirilir. Isıtma şartıyla, sistem renksiz hale gelir veya karışımın erime noktasında rengi kaybeder. Eğer karışım sonra soğutulursa, bu sıcaklıkta aksi değişiklik meydana gelir. Bununla birlikte, her ne kadar boyalardaki moleküler yeniden düzenlenme vasıtasıyla termokromizm, ticari ilginin bir derecesini harekete geçirmiş olsa da, renkteki değişikliklerin temelini teşkil eden tüm yöntem barizlikten uzaktır ve hala spekülasyona (üzerinde düşünmeye) çok fazla açıktır.

Işığa veya ısıya karşı reaksiyon yüzünden rengin değişimine ek olarak başka özellikler gösteren başka kromik lifler vardır. Bu lifler, şaşırtıcı ve ilgi çekici doğalarından dolayı insanların ilgisini uyandırmışlardır. Bu “hızlı ilerleme”nin yakında son noktaya geleceği düşünülmektedir. Çünkü bu liflerin sadece geçici moda materyali olmaları düşünülmüştür. Bu lifleri günlük hayatta kabul ettirmek

(tanıtmak) amacıyla; ışığa ve inceliklerine karşı dayanıklılıklarını geliştirmek özellikle zorunludur.

Sıvı ile, örneğin su ile temas halinde renklerini değiştiren bu liflerden bazıları “solvat kromizm” olarak adlandırılan olayı sergileyenlerdir. Bu materyaller normalde mayolar tasarlamak için kullanılırlar. Işığı depolayabilen diğer materyaller boyalara uygulanmışlardır ve bunlar kötü ışık durumlarında yol çalışmaları/onarımları için iş elbiselerinde veya elektrik kesilmesi süresince insanlara yol göstermek için halıların üzerindeki okları işaretlemek için kullanılırlar. Bundan başka, gelen ışığın şiddetine bağlı olarak rengini değiştiren fantezi tasarımlar yaratmak için, kromik materyaller için en önemli uygulama modadır [www.tut.fi, 2007]

5.8. Elektriksel Uygulamalar

Son yıllarda özellikle elektronik fonksiyonlara sahip akıllı giysiler, giyilebilir bilgisayarlar, giyilebilen elektronikler gibi ürünler giderek daha da popüler hale gelmişlerdir. Doğal kaynaklı tekstil malzemeleri, elektriği iletmemeleri, sentetik liflerin hammaddesi olan polimerlerin organik kombinasyonlarının da elektrik akımının iletilebilmesi için gerekli olan serbest elektronları sağlayamamaları sebebiyle bu tür elektriksel ürünlerin geliştirilmeleri amacıyla tekstil materyallerinin iletkenlik özellikleri konusunda nanoteknolojik çalışmalar yoğunlaşmıştır. Tekstil kumaşlarının iletkenliğini geliştirme konusunda yapılmış ilk yaklaşım metalik tellerin ve ince metalik bantların kullanılmalarıdır. Metalik teller kumaş yapısı içerisine bir ağ gibi örülürler ve kumaşa gerekli elektriksel iletim özelliğini kazandırır. Bu metot, esas olarak son derece sınırlı esnekliği, artan ağırlığı ve son ürünün formu ile ilgili problemler tarafından karakterize edilen kumaşların üretimiyle sonuçlanmaktadır. Tekstil malzemelerinin yalıtkan halden iletken hale dönüştürülmeleri için çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bazı çalışmalar doğrudan kumaş konstrüksiyonuna müdahale edilmeksizin, liflere herhangi bir ön modifikasyon yapılmaksızın elektriği ileten kumaş üretilmesi yönündedirler. Bunların en ilginçleri şu şekilde sıralanabilir [Erkan ve ark, 2005]:

Kumaşlara antistatik madde emdirilmesi: Üretim işleminin sonuna doğru kumaşlara antistatik malzemeler (çoğunlukla karbon dolgulu reçineler) emdirilirler. Sonuçta elektriği ileten malzemeler elde edilirler, ancak elektriksel özellikler kararlı değildirler ve iletkenlik yeterince yüksek değildir.

Kumaşların ve dokusuz yüzeylerin iletken malzemelerle kaplanmaları: Denemeler polimer ve çoğunlukla da polypirrol kullanılarak yapılmıştır. Bu metot tatmin edici sonuçlar vermekle birlikte bazı dezavantajları da ortaya çıkarmaktadır. Kumaşın kullanım esnasında maruz kaldığı deformasyonlar, yapının baştaki geometrisine zarar vermektedirler. Lif ve iplikler arasındaki hareket, kaplama malzemesinin sürekliliğinin koparak elektriksel direncin artmasına veya elektrik akım yolunun kesilmesine yol açabilir. Bu metotların dışında belirli elektrik özellik kazandırmak amacıyla alışılmış tekstil liflerinin modifikasyonunu hedefleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Literatürde geçen bazı çalışmalar şu şekilde özetlenebilirler [Erkan ve ark, 2005]:

Elektroiletken bileşiklerin tozuyla doldurulmuş polimerler: Liflerin içerisinde karbon ve metal tozu gibi dolgu maddeleri %25 veya daha fazla oranda dolgu malzemesi olarak kullanıldıklarında bazı olumlu sonuçlar elde edilmiştirler. Ancak ne yazık ki bu denli büyük partiküllerin kullanılması liflerin bazı mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve alışılmış tekstil uygulamalarında kullanımlarını sınırlayabilmektedir.

Vakumla Metal Serme: Bu metot, alüminyum gibi metal nanopartiküllerinin fiziksel işlemler ile liflere koyulmalarını hedefler. Partiküller lifin gövdesine kuvvetli bir şekilde bağlanmamışlardır. Düşük adhezyon, zayıf sonuçlar doğurur. Bu metot yalnızca çok ince bir metal tabakası istendiğinde uygulanır. Daha fazla elektrik iletkenliği gibi daha iyi elektriksel özellikler, kolayca elde edilemeyen daha kalın metal kaplamalar gerektirirler.

Galvanik kaplama: Lifler galvanik bir işleme tabi tutulurlar ve metal bir nano-film ile kaplanırlar. Teorik olarak kontrol edilebilir sonuçlar vermesine rağmen bu metodun zaten elektrik iletken liflere ihtiyaç duyması asıl dezavantajdır. Böylece esas uygulaması, karbon ve grafit lifleri ile sınırlıdır.

Kimyasal kaplama: İyi elektriksel özelliklerin elde edilebilmesi için en uygun metotlardan biridir. Bu işlem, liflerin metal tuzlarını aldıkları, daha sonra da indirgenmeleriyle metal tozlarının liflerin üzerinde kaldıkları bir banyo içerisinde liflerin işlenmelerini esas alır. Kimyasal kaplamadan sonra lifler gerekli elektriksel özelliğe ve homojen bir metal dağılımına sahip oldukları için bir adım sonra galvanik işleme tabi tutulabilirler. İleriki aşamalarda geleneksel tekstil lifleri gibi işlenebilirler. Teknik olarak karmaşıklık, bu metodun esas dezavantajıdır. Maliyetlerin yüksekliği de diğer bir olumsuzluktur.

5.9. Nano Boyuttaki Bitim İşlemleri

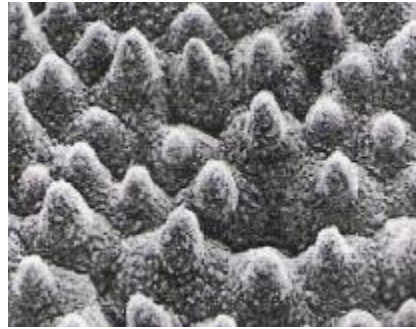
Hali hazırda uygulanan bitim işlemlerinin etkilerini geliştirmek için nanoteknolojiden faydalanılmaktadır. Bitim maddeleri nano boyutlarda emülsifiye edilerek (nano-misellerle, nano-sollarla veya nano-kapsüllerle) böylece daha düzgün aplikasyon gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda kumaşa kalıcı buruşma dayanımı, su-kir-yağ itici, yüksek boyutsal stabilite, hidrofilik, hidrofobik, güç tutuşur, UV dayanımı, koku giderici, yüksek iletkenlik, bio-parçalanma vb özellikleri kumaşlara kazandırılabilir. Nano ince kaplamalar, yüzeylerin optik özelliklerini değiştirerek kamuflej yeteneğini arttırlar [Erkan ve ark, 2005; Kut ve Güneşoğlu, 2005].

Nanoteknolojinin buruşmazlık bitim işlemlerinde kullanımı ile kumaşlar 10 nm boyutundaki küçük partiküllerle işleme sokulmaktadırlar, bu küçük partiküller selüloza bağlanmaktadırlar böylece sıvıların içeri girişine izin vermemektedirler [Özdoğan ve ark, 2006c]. Kumaşa kırışma dayanımı kazandırırken, selüloz molekülü ile karboksilik asit arası çapraz bağ reaksiyonunu katalize etmek için nano-titanyum dioksit katalizör olarak kullanılır. Buna ek olarak ipeğin kırışma dayanımını artırmak için ise “nano-silika ve maleikan hidrit” katalizör olarak uygulanır [Göcek ve ark, 2006].

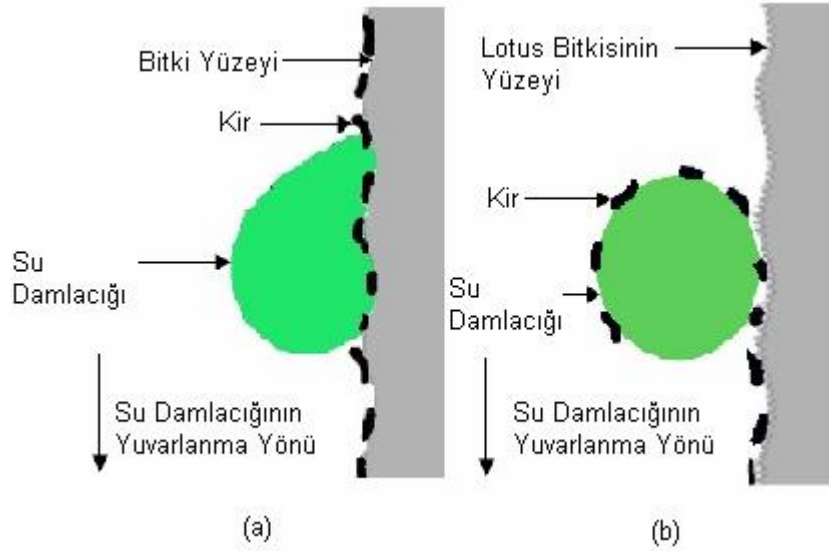
Olağanüstü su geçirmezlik özelliğine sahip doğadaki bitki yüzeylerine benzer şekilde kumaş yüzeyinde pürüzlülüğü sağlayan nanoteknoloji, su ve kir iticilik için en iyi çözümdür. Su ve leke itici bir yüzey elde etmek için film yüzeyi gibi kir itici bir bitim maddesi kullanmak gereklidir. Bu konuyla ilgili araştırmalar sonucu Nano-

Tex, kumaşın su iticiliğini geliştirmek amacıyla “nano-tüy” yapısı geliştirmiştir. Nano-tüy; kumaşa, pamuğun dayanımını düşürmeden şeftali yüzeyi etkisi veren hidrokarbonlardır. Nano-tüy arası boşluklar su moleküllerinden daha büyük olmalarına rağmen kumaş yüzeyinde su damlasından daha küçük olan boşluklara neden olurlar. Bu sayede su damlaları kumaş yüzeyinde kalırlar [Göcek ve ark, 2006].

Su ve kir iticilik üzerine yapılmış bir diğer çalışma ise NanoSphere’dir. Nano-Tex’ten ayrılmış, İsviçre merkezli tekstil şirketi Schoeller su itici kumaşlar yapmak için NanoSphere’i geliştirmiştir. NanoSphere emdirme, suyu iten ve kir partiküllerini kendilerine bağlayarak önleyen jel-halinde katkı maddelerine sahip üç boyutlu yüzey içerir. Mekanizma, doğada meydana gelen lotus (nilüfer çiçeği) efektine benzer ve bitkinin yaprak yüzeyinin tabi örneğine dayanmaktadır [Wong ve ark, 2006; Anonymus, 2004]. Şekil 5.35.’te lotus yaprağının yüzey yapısı, Şekil 5.36.’da ise NanoSphere teknolojisi uygulanan tekstillerde NanoSphere mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 5.35. Lotus yaprağının yüzey yapısı [Özdoğan ve ark, 2006a]



Şekil 5.36. NanoSphere mekanizması [Wong ve ark, 2006]

Şekil 5.36. (a)'da gösterilen su damlacığı bir bitkiden aşağıya yuvarlanmaktadır. Şekil 5.36. (b)'de gösterilen su damlacığı ise bir lotus bitkisinden aşağı yuvarlanmaktadır. Lotus efektinin prensibi şu şekildedir: Bir hidrofobik yüzey ve bir nano yapının kombinasyonu ile son derece anti adhezif özellikler başarılmaktadırlar. Nano pürüzlülük temas yüzeyini en aza indirmektedir ve böylece sıvıların kolay bir şekilde uzaklaştırılmaları mümkün olmaktadır. Tekstil yüzeyindeki kir partikülleri yuvarlanan sıvı damlasından efektif bir şekilde taşınmaktadır [Anonymous,2004]. Su iticilikte diğer bir teknik ise, pamuklu kumaşı ince “nanopartikül” plazma film ile kaplamaktır. Fakat bu tekniğe tezin 5.10.1. bölümünde değinilecektir.

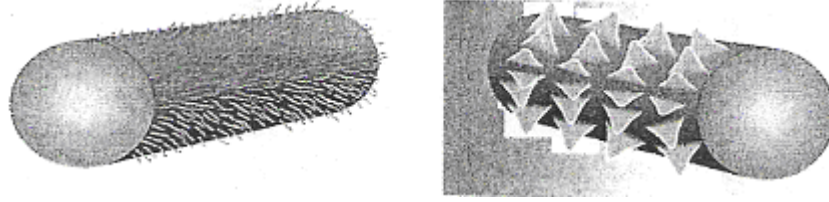
İnorganik-organik hibrit (IOH) nanopartiküller, ateşlendiklerinde kendilerini söndürebilme yeteneğine sahiptirler, alev oluşumunu sınırlayan, düşük duman ve toksik gaz emisyonları sağlayan alev itici polimerlerin gelişmesine olanak sağlamışlardır.

Ultraviyole ışınlarından korunma amacıyla nano boyutta titanyum dioksit ve zinkoksit çok tercih edilen kimyasallardır. Bilindiği üzere birim kütle ve hacim başına düşen yüzey alanı ne kadar büyük olursa UV ışınlarını bloke etme verimliliği de o kadar yüksek olur.

Sentetik liflerin düşük antistatik özelliklerini geliştirmek amacıyla nano boyuttaki titanyumdioksit, zinkoksit, nanoantimon-dopeditionoksid (ATO) ve silanenanosol gibi kimyasal maddeler kullanılırlar. Bu gelişmiş malzemeler, kötü hava şartlarına ve iş giysilerinde elektrostatik yük boşalmalarına karşı koruyucu giysi olarak kullanılırlar.

Kumaşa antibakteriyel özellik kazandırmanın bir yolu nano boyuttaki gümüş, titanyumdiokdit ve zinkoksit kullanmaktır. Su ve havadaki oksijen ile etkileşen metal iyonları ve metal bileşikleri sayesinde sterilizasyon sağlanır. Şöyle ki; çözünmüş organik madde, oksijenin aktif hale gelmesiyle sterilizasyon etkisi yaratır. Nanogümüş partiküllerinin proteinlerle birlikte yüksek reaktiflik göstermesi, bakteri ve mantarların hücresel metabolizmalarını ve gelişimlerini etkiler. Antibakteriyel özellikler sağlayan bu nanogümüş parçacıkların uygulama alanları; çoraplar, kişisel bakım ürünleri, yanık kaplama ürünleri gibi bakteri üremesine açık olan durumlardır. Kötü kokulara neden olan mikroorganizmaların kontrol edilmesindeki önemli yöntemlerden bir diğeri ise antimikrobiyal maddeler içeren mikrokapsüllerde bulunan nanotaşıyıcılardır [Göcek ve ark, 2006].

Günümüzde piyasada su, yağ ve kir iticilik işlemlerinde kullanılan farklı nano ürünler bulunmaktadır (Şekil 5.37.). Şekil 5.37.'deki soldaki ürün, monomoleküler yapıda florokarbon polimeri olup %100 selülozik ve selüloz/sentetik karışımlarına iyi yıkama ve kuru temizleme dayanıklılığına sahip su, kir ve yağ iticilik etkileri kazandırmaktadır. Lif üzerinde nano-kristaller oluşturduğundan yıkama ve kuru temizlemeye karşı dayanıklılığı yüksektir. Uygulamada emdirme yöntemine göre şu reçete kullanılmaktadır: 40-80 g/l nano ürün, alınan flotte oranı: %70-90, kurutma: Normal sıcaklıklarda, fiksaj: 150-170 °C'de 1-3 dk. Şekil 5.37.'de sağdaki ürün ise nano yapıda silis asidi olup kir tutmazlık işleminde kullanılmaktadır. Klasik silis asit dispersiyonlarına göre mamule daha yumuşak bir tutum vermektedir. Konfeksiyonda kumaş katlarının birbirine tutunmasını arttırmaktadır. Uygulamada emdirme yöntemine göre şu reçete kullanılmaktadır: 5-10 g/l nano ürün, alınan flotte oranı: %80-100, kurutma: Normal sıcaklıklarda. Bu ürün, püskürtme yöntemi ile de uygulanabilmektedir [Namlıgöz ve ark, 2007].



Şekil 5.37. Su, yağ ve kir iticilik bitim işlemlerinde kullanılan ürün örnekleri [Namlıgöz ve ark, 2007]

Yeni jenerasyon nanopartikül boyutundaki silikon yumuşatıcılar da günümüzde pazara sunulmuştur. Sandoperm SE1 maddesi (Clariant) kendi kendisini emülsiye etme özelliğindedir. Emülsiye edici madde yumuşatıcının polisiloksan zincirine kovalent bağla bağlanmaktadır. Ayrıca kumaşın iç kısımlarına kadar nüfuz edebilmekte ve çok daha iyi yumuşaklık hissi vermektedir [Özdoğan ve ark, 2006c].

Amerikan NanoTex LLC firması, değişik tip yüzey uygulamasında (nano-bitim) öncü firma durumundadır. Firma, spor giysisinde aranan kılcallık (teri vücuttan hızla uzaklaştıracak), zor temizlenir lekeler (kahve, şarap, vb) karşı bile zor kirlenme, yüksek buruşma ve çekme dayanımı, koku giderici, kullanım esnasında vücuda masaj yapma gibi fonksiyonel özelliklerin teminine yönelik nanoskalalı kimyasallar üretmiştir.

NanoTex patentli ticari ürünler şu uygulama sahalarına ve ticari isimlere sahiplerdir [Kut ve Güneşoğlu, 2005]:

Nano-Touch: Sentetik liflerin çevresinde pamuk benzeri selülozik bir tabakanın sarılmasını sağlar. Sentetik çekirdek ve selülozik kılıfın bir araya gelmesi sentetik liflerin higroskopik, statik elektriklenme, parlaklık gibi dezavantajlarına karşı çözüm getirmeye çalışmaktadır. İşlem yüksek yıkama dayanıklılığı gösterir ve sentetiklerin mukavemet, haslık, buruşmazlık açısından iyi mekanik özellikleriyle selülozik mamullerin tutum ve konfor özelliklerini kombine etmeyi amaçlamaktadır.

Nano-Pel: Doğal ve sentetik liflere etkili ve kalıcı su/yağ iticilik özellik kazandırmayı amaçlamaktadır. Kullanılan kimyasallar nano skalada oldukları için, bu kimyasalların kumaşların tutum, nefes alabilirlik, görünüş gibi özelliklerini değiştirmedikleri, lif çevresinde parmak gibi dizilerek sıvının penetrasyonuna izin vermeden kumaştan kaymasını sağladıkları ileri sürülmektedir.

Nano-Care: Kumaşlara kırışma dayanımı, çekmezlik, su ve kir iticilik özelliklerini bir arada kazandırmayı hedeflemektedir.

Nano-Dry: Polyester ve naylon gibi sentetiklere yönelik hidrofil bitim işlemidir. Sentetik liflerin çevresinde absorban bir kılıf sararak kumaşların kılcallık özelliğini arttırdığı, terin vücuttan hızla uzaklaşmasını sağladığı belirtilmektedir.

Nano-Press: İnce pamuklu kumaşların boyutsal ve eğilme stabilitesi özelliklerini geliştirmek üzere halen geliştirilen bir nano yüzey işlemidir.

Aşağıda Nano-Tex patentli ticari ürünlerin örnek tekstil uygulamaları verilmiştir [Kut ve Güneşoğlu, 2005]:

- Oto döşemelikleri (Nano-Dry),
- Vinil esaslı kaplamalar (Nano-Dry),
- Çadır, branda kaplamaları (Nano-Dry),
- UV dayanımlı günlük giysiler (Nano-Dry),
- Askeri amaçlı akıllı tekstiller (Nano-Dry),
- Anti-mikrobiyel kaplamalar (Nano-Dry),
- Hidrofilik PES ve naylon kumaşlar (Nano-Dry),
- Doğal lif tutumuna sahip, nefes alabilen, anti-statik sentetikler (Nano-Touch),
- Kalıcı (en az 30 yıkama) su-kir-yağ itici nefes alabilen kumaşlar (Nano-Pel),
- Yüksek buruşma dayanımı, çekmez, su-kir itici pamuklu, keten kumaşlar (Nano-Care).

Daha önce de bahsedilmiş olduğu gibi metal oksit ve seramik gibi nanopartiküller, yüzey özelliklerini değiştirmek ve tekstile işlev vermek amacıyla aprelemede kullanılabilmektedirler. Nanopartiküller transparan olmakla birlikte tekstil substratlarının parlaklığı ve renginde bulanıklık yapmamaktadırlar. Ancak, arzu edilen performansı elde etmek için nanopartiküllerin bir yerde kümelenmesini önlemek önemlidir. Nanopartiküller termodinamik, elektrostatik veya daha başka yöntemler vasıtası ile tekstil malzemesi üzerinde belirtilen bölgelere teker teker belli bir oryantasyon ve yörüngede getirilebilmektedirler [Qian ve Hinestroza, 2004].

Nanopartikülleri tekstil yüzeylerine uygulamanın en yaygın yolu kaplama yöntemidir. Tekstil yüzeyini modifiye eden nanopartiküller, yüzey aktif madde, bileşen ve taşıyıcı ortam kaplamanın yapıtaşlarıdır [Göcek ve ark, 2006]. Nanokaplamalar; klasik kaplama teknolojisinden tamamen farklı yeni bir teknolojidirler. Nanokaplamalar, kimyasal moleküllerin materyal üzerinde nanometre kalınlığında ve kendi kendine bir araya gelebilen mono tabakalardan oluşmaktadırlar. Her biri nanometre kalınlığında olan tabakaların sayısı istenildiği kadar arttırılabilmektedir. Kaplama kalınlığı yanında kaplamanın düzgünlüğü ve yoğunluğu da önem taşımaktadır. Sonsuz bir ince tabaka oluşturmak için teknik yaklaşımlardan birisi de kumaşı bir ön işleme tabi tutmaktır. Böylece yükler düzgün bir şekilde kumaş üzerinde dağılım gösterecekler ve zıt yükteki istenen kimyasal maddeler elektrostatik kuvvetlerle aplike edilebileceklerdir. Ön işlem olarak plazma, iyon implantasyonu ve kimyasal işlemler kullanılabilmektedirler. Polielektrolitler ve nanopartiküller, farklı fonksiyonel özellikler kazandırmada en üst tabakada kullanılmaktadırlar. Nanokaplamalar konusunda seramik indiyum kalay oksit kullanılarak multi spektral kamuflaj materyalleri kullanımı üzerine çalışmalar devam etmektedir [Özdoğan ve ark, 2006c].

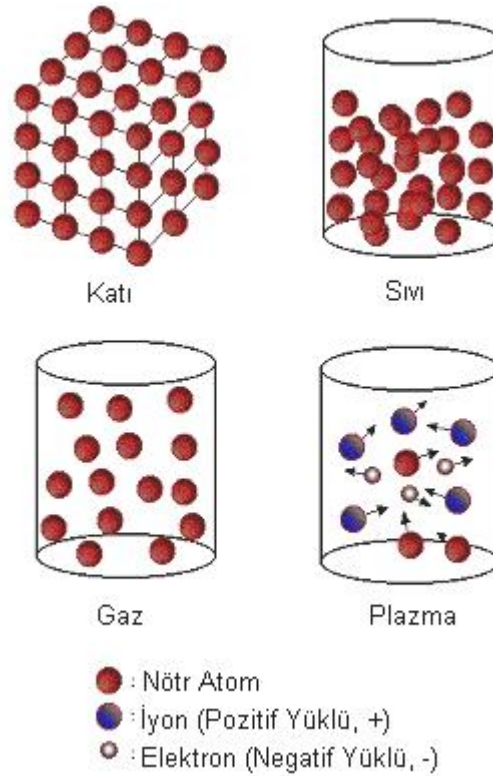
5.10. Nano Ölçekli Yüzey Oluşturmak İçin Kullanılan Teknolojiler

5.10.1. Plazma İle Yüzey Modifikasyonu

Plazma, maddenin dördüncü hali olup, temel veya uyarılmış halde bulunan elektronlardan, iyonlardan, gaz atomlarından ve moleküllerinden oluşan ve toplam yükü nötr olan iyonize gaz olarak tanımlanabilmektedir [Karahan ve ark, 2007].

Termal dengedeki katı bir madde, genellikle sabit basınçta sıcaklığın arttırılması ile sıvı hale geçmekte, sıcaklık arttırılmaya devam ederse, sıvı; gaz haline geçmektedir. Yeterince yüksek bir sıcaklıkta gaz içindeki moleküller, rasgele doğrultularda serbestçe hareket eden gaz atomlarını oluşturmak için ayrılmaktadırlar. Tüm bu üç halde de, atomlar ve moleküller elektriksel olarak nötrdürler (atomların proton sayısı=atomların elektron sayısı). Eğer sıcaklık daha

fazla arttırılırsa gaz atomlarından bir ya da birkaç elektron kopmakta ve serbestçe hareket eden yüklü parçacıklara (pozitif iyonlar ve elektronlar) ayrışarak maddenin dördüncü hali olan “plazma”yı oluşturmaktadır (Şekil 5.38.) [Karahan ve ark, 2006; Cireli ve ark, 2006].



Şekil 5.38. Maddenin dört hali [linux.ifp.cnr.it, 2007]

Plazma; iyonlar, elektronlar, serbest radikaller, fotonlar, uyarılmış atomlar/moleküller, nötr atomlar/moleküller ve UV ışınlarından oluşur. Plazma içerisinde dissosyasyon, iyonlaşma ve bu olayların tersi olan rekombinasyon olayları dinamik bir denge halinde sürekli meydana gelirler. Plazma, çok reaktiftir ve materyallerin yüzey modifikasyonları için uygun bir ortamdır [Cireli ve ark, 2006; Karahan ve ark, 2006].

Maddenin plazma hali, çok yüksek sıcaklıklarda veya güçlü elektrik ve/veya manyetik alanlarda yani, gazlara iyonlaşma için yeterli enerji sağlanması halinde meydana gelmektedir [Ayaz ve Duran, 2001]. Plazma elde etmek için gazlara enerji (iyonlaşma enerjisi) vermenin en yaygın yolu elektrik deşarjıdır. Plazma, düşük

basınçta ya da atmosfer basıncında, bir elektrot çifti üzerinden doğru akım, mikrodalga, düşük frekans ve radyo frekansı voltajı geçirilerek oluşturulabilir [Cireli ve ark, 2006].

Plazmalar üretim yöntemlerine göre sınıflandırılabilirler gibi, plazma elde edilen gazın sıcaklığına, basıncına, parçacık yoğunluğuna ve iyonlaşma derecelerine göre de sınıflandırılmaktadırlar.

Plazma, içindeki parçacıkların sıcaklığına göre yapılan sınıflandırmaya göre [Karahan ve ark, 2006]:

- Toplam termodinamik dengede olan plazmalar (TTD plazmaları),
- Lokal termodinamik dengede olan plazmalar (LTD plazmaları),
- Lokal termodinamik dengede olmayan plazmalar (Non-LTD plazmalar),

olarak üç gruba ayrılmaktadır.

“Düşük basınç plazmaları” olarak adlandırılan Non-LTD plazmalarında nötral atomların sıcaklığı (gazın sıcaklığı) çok düşük (oda sıcaklığı) olduğu için, bu plazmalar aynı zamanda “soğuk plazmalar” olarak da adlandırılmaktadırlar. Tekstil materyallerinin yüzey modifikasyonunda da yaygın olarak kullanılan plazma soğuk plazmadır [Karahan ve ark, 2006]. Soğuk plazmalar 0,1-0,2 torr basınç aralığında, genellikle atmosferik gazlardan ya da kimyasal maddelerin buharlarından, bir vakum odacığında oluşturulmaktadır. Düşük basınç, hızlanmış elektron ve iyonlara daha uzun serbest yol uzunluğu sağlamaktadır. Elektron dışındaki parçacıklar ortam sıcaklığında oldukları için ve yüksek sıcaklıktaki (ya da yüksek elektron volt düzeyindeki) elektronların uzun serbest yol uzunluğu nedeniyle bu basınçta diğer moleküllerle çarpışmaları çok az oldukları için reaksiyon düşük sıcaklıkta kalmaktadır. Enerjisi yüksek elektronların plazma ortamındaki hareketi, yüzeyde ya da yüzeye yakın yerlerde kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine neden olmaktadır. Böylece en kararlı kimyasal yapılarda bile modifikasyon gerçekleşmektedir [Cireli ve ark, 2006].

Basınca göre yapılan sınıflandırmada plazmalar; vakum ve atmosferik olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Vakum plazmanın tekstil materyallerinin yüzey modifikasyonlarında etkili olduğu birçok araştırmacı tarafından kanıtlanmıştır.

Atmosferik plazma ile ilgili çalışmalara ise yoğun bir şekilde devam edilmektedir [Karahan ve ark, 2006].

Plazma üretimi sırasında kullanılan donanımın ve meydana gelen plazmanın özelliklerine bağlı olarak; glow deşarj, korona deşarj, silent deşarj, dielektrik bariyer deşarj olarak sınıflandırma yapmak mümkündür [Karahan ve ark, 2007].

Plazma içinde bulunan uyarılmış parçacıkların materyal ile etkileşimleri sonunda yüzeyde çeşitli modifikasyonlar meydana gelirken, materyalin temel özellikleri değişmemektedir. Bunun sebebi plazmanın yüzeyde en çok 100 Å'a kadar etki etmesidir [Karahan ve ark, 2006; Cireli ve ark, 2006].

Plazma teknolojisi kullanılarak materyaller üzerinde çok farklı etkilere işlemler yapmak mümkündür [Cireli ve ark, 2006]:

Materyallerin substrat üzerinde birikmesini sağlayan polimerizasyon: Eğer gaz; metan, etan ve etanol gazları ile organo-silikon ve organo-metal buharları gibi çok miktarda C ve H atomları içeriyorsa gerçekleşmektedir.

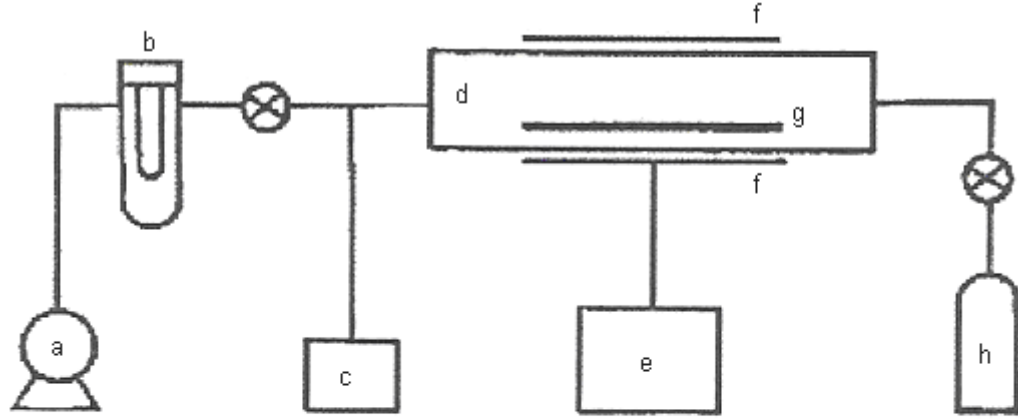
Materyallerin substrat üzerinden uzaklaşmasını sağlayan aşındırma: Eğer plazma inert gaz ya da kimyasal olarak reaktif ancak saf gaz plazmalarında polimerik birikme göstermeyen inorganik ve organik moleküler gazlardan oluşturulmuşsa gerçekleşmektedir.

Substratın sonraki işlemlerine hazırlık için yüzeyinin aktivasyonu: Yüzeyde oluşan radikaller sonraki işlemlerde kullanılacak kimyasalların tutunmasını artırmaktadırlar.

Kirliliklerin Temizlenmesi: Yüzeyde birikmiş olan kirlilik iyon bombardımanı ile fiziksel olarak ve kimyasal olarak uzaklaştırılabilmektedir.

Plazma odacığına hidrokarbon, florokarbon gazları, azot içeren monomerler ya da silikon monomerleri beslenir, ardından bunlar elektronik olarak indirgenerek reaktif türler haline dönüşürler. Plazma polimerizasyonu, plazma içerisindeki reaktif türlerin birbirleri ve substrat ile etkileşimleri sonucunda substrat yüzeyine birikmeleri ile gerçekleşmektedir. Plazma polimerizasyonu işleminin son ürünlerini belirlemede etkili olan çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bunlar; birikme oranı, plazma sisteminin konfigürasyonu, monomerin reaktivliği, gazın ya da monomer

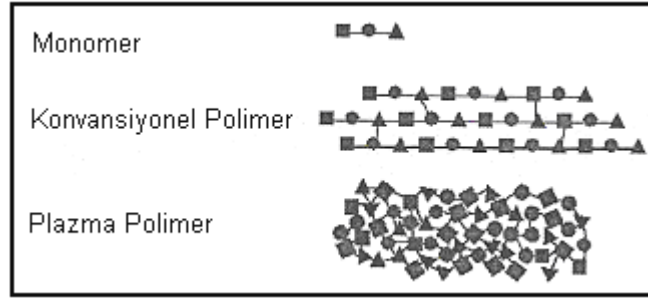
gazı/buharının akış hızı, plazma basıncı, güç ve plazma işleminin süresidir. Şekil 5.39.'da bir plazma sisteminin şematik görüntüsü görülmektedir.



- a. Vakum Pompası
- b. Soğutucu
- c. Basınç Ölçer
- d. Plazma Odacığı
- e. RF Jeneratörü
- f. Elektrodlar
- g. Örnek (Kumaş)
- h. Monomer Tankı yada GazTüpü

Şekil 5.39. Bir plazma sisteminin şematik görüntüsü [Cireli ve ark, 2006]

Plazma polimerizasyonu, çok farklı organik ve organometalik başlangıç materyallerinden ultra ince polimer filmler ($<1\mu\text{m}$) üretmek için tek yöntemdir. Oluşan filmler ayrıca, hiç boşluksuz, yüksek derecede çapraz bağlı (Şekil 5.40.) ve dolayısıyla kimyasal reaksiyon vermeyen, çözünmeye, ısıya ve mekanik etkilere dayanıklı filmlerdir. Plazmada her türlü substrat (polimer, seramik, metal) kullanılabilir ve substrat ve kaplanan film arasında iyi bir yapışma kolaylıkla elde edilebilir. Plazma polimerizasyonunda, konvansiyonel polimerizasyon yöntemleriyle polimerleştirilemeyen doymuş hidrokarbon ve florokarbon gazları bile polimer film oluşturmak için kullanılabilirler [Cireli ve ark, 2006].



Şekil 5.40. Plazma polimerizasyonu sonucunda oluşan polimerin monomer ve konvansiyonel polimerle karşılaştırılması [Cireli ve ark, 2006]

Plazma polimerizasyonunun endüstriyel işlemlerdeki en avantajlı yanı, kimyasal atıkların önlenmesidir. Diğer avantajları: Düşük maliyet, hızlı reaksiyon süreleri, kimyasal miktarının düşük olması ve suyun kullanılmamasıdır. Plazma işlemi kumaşta, ıslatma ve kurutma gibi ek işlemler gerektirmemektedir. Plazma polimerizasyonu, kumaşlara su-, kir-iticilik, ıslanabilirlik, güç tutuşurluk gibi fonksiyonel özellikler vermek için tekstillerin birçok bitim işleminde kullanılmaktadır.

Pamuk lifini plazma polimerizasyonu ile hidrofob yapmak için tetrametilsiklotetrasiloksan (TMCTS), octametilsiklotetrasiloksan (OMCTS) ve florokarbon sıvı başlatıcılar ile belirli florokarbon gazları kullanılabilir. Plazma polimerizasyonundan sonra tekstil materyali üzerine ince bir film tabakası kaplanır ve işlem görmemiş pamuk hızla ıslanırken siloksanlar ile plazma işlemi görmüş olan tekstil materyali oldukça yüksek bir temas açısına ($>135^\circ$) sahip olur. Florokarbon bileşikler için, işlem sonucunda kumaş 164° 'lik bir temas açısına sahip olur.

Poliakrilonitril tekstil materyallerinin plazma polimerizasyonu tekniği ile su iticiliği, 1,1,2,2-tetrahidroflorodesil akrilat (AC8) monomeri, florokarbon ve hidrokarbon içeren gazlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Monomerle yapılan işlem sonucunda 320 mm su sütunu, gazlarla yapılan işlem sonucu ise 370 mm su sütunu iticilik değerleri elde edilmiştir [Cireli ve ark, 2006].

PES lifleri ise, plazma polimerizasyonu yoluyla hidrofob karakter kazanmaktadır ki, bu şekilde PES ile kuvvetlendirilmiş bir PE matriksinin kompozit dayanımı büyük ölçüde artmaktadır [Ayaz ve Çoban, 2000].

Florokarbon bileşikleri, plazma polimerizasyonunda perfloralken başlatıcıların kullanımı ile tekstil materyallerine yağ iticilik özelliği de kazandırmaktadırlar. Yağ itici özellik kazandırmak için polipropilen film üzerine poli(heptadekaflorodesen), heptadekaflorodesen (HDFD) başlatıcı kullanılarak kaplanmaktadır. İşlem görmemiş polipropilenin yağ iticilik değeri (AATCC) 1 iken, işlem görmüş filmin yağ iticilik değeri (AATCC) 3'e yükselmiştir.

2-hidroksietil metakrilat (HEMA), akrilamid (AAM), N-isopropil akrilamid (NiPAAM), akrilik asit (AA), 2-metoksietilakrilat (MEA) ve 2-hidroksietil akrilatın (HEA), pamuk, selüloz asetat, rayon ve bakır ipeği üzerinde plazma polimerizasyonları gerçekleştirilmiştir. HEMA monomerinin pamuk lifinin ıslanabilirliğini artırmak için etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca HEMA'nın plazma polimerizasyonu, ipliklerin kopma mukavemetini artırmaktadır. Bunun nedeni, fibrillerin aşı polimerleri ile birbirlerine bağlanmalarıdır.

Olefin liflerinin hidrofilliği için, oksidatif plazma ortamında tetrametilsiklotetrasiloksan (TMCTS) ve oktametilsiklotetrasiloksan (OMTCS) ve oksidatif olmayan ortamda akrilik asit kullanılabilir. Plazma ile poli(akrilik asit) kaplaması polipropilene –COOH bakımından zengin bir yüzey kazandırır.

Poliester kumaşların, hekzametil disilan (HMDS) ve tris(trimetilsiloksi)vinilsan (TTMSVS) monomerleri kullanılarak atmosfer basıncında plazma polimerizasyon işlemleri, kumaşların renk yoğunluğunu artırmıştır.

Poliamid 6 plakalarının güç tutuşurluk özellikleri, oksijenle karıştırılmış 1,1,3,3-tetrametildisiloksanın (TMDSO) soğuk-uzak azot plazması (CRNP) polimerizasyonu ile geliştirilmektedir. Bu işlem için kullanılan reaktörün konfigürasyonu diğerlerinden farklıdır. Plazma polimerizasyonundan sonra, sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) %130 artış, ısı açığa çıkarma oranı %41 ve açığa çıkan toplam ısı miktarı %33 azalma göstermiştir.

Poliakrilonitril liflerinin güç tutuşurluğu için Akovalı&Gündoğan, etildiklorofosfat (EDCP), hekzametildisiloksan (HMDSO) ve tris(butoksietil)fosfat (TBEP) monomerlerinin plazma polimerizasyonu üzerine çalışmışlardır. TBEP'in kaynama noktası çok yüksek olduğu için, püskürtme yöntemi ile kimyasal madde uygulanmış ardından plazma işlemi yapılmıştır. En başarılı sonuçlar bu şekilde işlem

yapılmış TBEP ile elde edilmiştir. EDCP'nin plazma polimerizasyonunun ardından da, sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI), işlem görmemiş kumaşlarda 25 iken, işlem görmüş kumaşlarda 27'ye yükselmiştir. Akovalı&Takrouri, poliester liflerinin güç tutuşurluğu için HMDSO, 1,1,2-trikloretan, trikloretilen, tetrakloretilen ve alilamin monomerleri ile çalışmışlardır.

Sentetik liflerin hidrofob karakterlerinden kaynaklanan statik elektriklenme, istenmeyen bir özelliktir. Bağlı nem ve dolayısıyla lifin nem içeriği, lifin elektriksel direnci üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Bu istenmeyen özelliği kontrol etmek için pamuk ve poliester liflerine, akrilonitril ve akrilamid plazma ile aşılanmıştır. Pamuk için, nem içeriği yalnızca %70 bağlı nem içeren ortamda artmıştır ve özellikle poliakrilamidin plazma ile aşılanması ile yüzey direnci belirgin bir şekilde düşmüştür. Poliesterin ise poliakrilamid aşılanması sonucunda nem içeriği %3 artmıştır ve plazma polimerizasyonu ile poliakrilonitril kaplanmasının ardından da nem içeriği yaklaşık %2 yükselmiştir [Cireli ve ark, 2006].

Oksijen plazması kullanılarak yün lifine difüzyonu önleyen hidrofob tabaka uzaklaştırılmıştır. Aşındırma sonucunda, lifin banyodan boyarmadde alımı artmaktadır. Lifte boyamanın daha hızlı ve daha düzgün olduğu bulunmuştur. Buna bağlı olarak da atık sudaki zararlı madde yükü azalmaktadır. Ayrıca keçeleşmezlik özellikleri de gelişmiş olmaktadır. Yünde keçeleşmezlik bitim işlemi için ön işlem olarak klorlama ile karşılaştırıldığında, plazma ile işlem büyük oranda yüzeyde sınırlandırılmış olması ve protein materyalin büyük ölçüde daha az ekstrakte edilebilir olması şeklinde önemli avantajlar sunmaktadır. Plazma ile modifiye edilmiş yün esaslı örme mamuller, standart yüne göre açıkça daha yüksek bir sürtünme dayanımına sahiptirler. "Superwash" bir ürün eldesi için plazma işlemi ardından bir reçine işlemi yapılmaktadır. Örme ve dokuma kumaşlar için, bu işlemde kullanılan reçine miktarı yarı yarıya azaltılabilmektedir. Bunlar yanında bir dezavantaj olarak, plazma işlemi sonrasında sert bir tutum ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni de lif yüzeyinde kovalent bağlanmış yağ asitlerinin bir kısmının parçalanmasıdır. Ancak bu kötü etki tekstil materyalinin silikon esaslı bir yumuşatıcı ile muamele edilmesiyle ortadan kaldırılabilir [Cireli ve ark, 2006; Ayaz ve Çoban; 2000].

Keten liflerin plazma ile modifikasyonunda yüzeyde bulunan fibriller, oksijen plazması ile 40 dakikada, argon plazması ile de 60 dakikada uzaklaşmaktadır ve keten kumaşlarda oksijen plazmada özellikle yüksek güçlerde meydana gelen ağırlık kaybı argon plazmaya göre daha fazladır. Oksijen plazma, kimyasal bir parçalama sağlarken, argon plazma bir çeşit püskürtme işlemidir. Keten liflerinin yüzeyinde plazma uygulanmasıyla mikro büyüklükte yarıklar oluşmaktadır. Lif yüzeyinde, oksijen plazması ile oksijen içeren grupların artırılması sonucunda (-OH, C=O, -COOH) hidrofillik artmaktadır. Daha uzun süreli işlem liflerin zarar görmesine neden olabilmektedir [Cireli ve ark, 2006; Karahan ve ark, 2007].

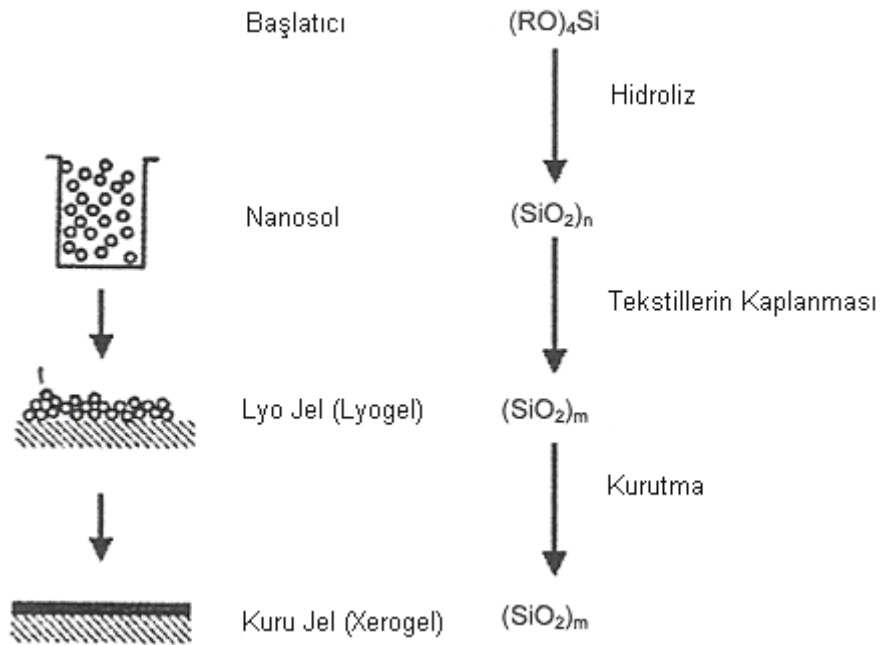
5.10.2. Sol-Jel Teknolojisi

Bir sıvı ile kolloidal katı partiküllerin stabil bir süspansiyonuna sol denir. Üç boyutlu olarak birbirine bağlanmış network (ağ) yapısı ise jeli oluşturur. Jel, sıvı ile katı arasında bir formdur. Polimerik yapıda veya sol partikülleri ile kolloidal yapıda jel üretmek mümkündür. Sol hazırlama reçetesini; başlatıcı madde (metal alkoksit veya metal tuzu), solvent ve şelatlama maddesi oluşturmaktadır. Sol-jel işleminde şelatlama maddeleri katalizör görevi görürler, metal atomuna birkaç bağla bağlanabilirler. Sol-jel proseslerinde saydam solüsyonun hazırlanması hidroliz reaksiyonu ve kondenzasyon reaksiyonları ile gerçekleştirilmektedir.

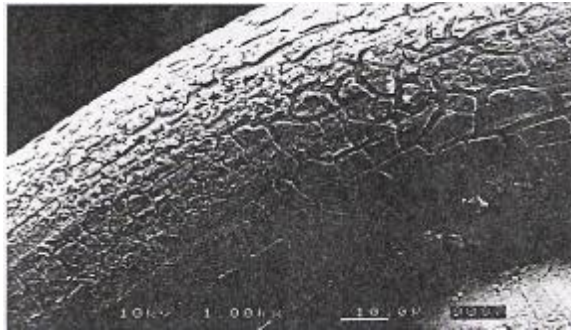
Sol-jel işlem adımları; saydam solüsyon hazırlanması, jelleşme, kurutma, ısıtma işlemi veya oksidasyon ve katılaşma (sintering) veya tavlama (annealing) prosesidir. Jelleşme bir solüsyonun jele dönüşmesi prosesidir. Sol-jel proseslerinde saydam solüsyon hazırlandıktan sonra kondenzasyon reaksiyonu ile polimerizasyon derecesi kritik bir değere ulaştığında sol partikülleri ile kolloidal yapıda jel oluşturulur. Jelleşme noktasında malzeme ansızın viskoz sıvıdan elastik özelliklerde bir materyale dönüşür. Jel, sıvı ile katı arasında bir formdur. Bir malzemenin jelleşme noktası viskozimetre ile ölçülebilir. Jelleşme sonrasında kurutma ile toz olarak veya ince film olarak üretilecek malzemenin yapısındaki solvent uzaklaştırılır. Yüksek sıcaklıkta ise oksidasyon ile homojen ve saf bir malzeme üretmek için yapıdaki organik içerikler yakılarak uzaklaştırılır. Böylelikle atomik boyutta karışmış

oksit filmi veya tozu üretilmiş olur. Katılaşma işlemi ile ise istenilen yüzey alanı, gözeneklilik ve kristal yapısında malzemeler üretmek mümkündür.

Tekstil endüstrisinde sol-jel teknolojisi ile kaplamalar yapılarak tekstil materyallerine çok farklı özellikler kazandırmak mümkündür. Bu amaçla son yıllarda geniş çaplı araştırmalar yapılmaktadır. Silisyum esaslı bir inorganik nanosolün hazırlanması ve tekstil üzerine kaplanmasının işlem akışı şematik olarak Şekil 5.41.'de, titanyum oksit (TiO_2) nanosolü ile kaplanmış polipropilen lifinin tarama elektron mikroskobu ile resmi Şekil 5.42.'de verilmiştir.



Şekil 5.41. Nanosolün hazırlanmasının ve tekstil üzerine kaplanmasının işlem akışı [Cireli ve ark, 2006]



Şekil 5.42. TiO_2 ile kaplanmış polipropilen lifi [Cireli ve ark, 2006]

Sol-jel teknolojisinin tekstilde kullanım alanları; su, yağ ve kir iticilik, kokuların kontrollü salınımı, biyokatalitik özellikler, biyouyumluluk özellikleri, elektrik iletkenliği, boyama dayanımı vb'dir. Ayrıca, sol-jel teknolojisinin tekstil endüstrisinde; fotokromik, elektrokromik ve termokromik tekstiller üretiminde, haslıkların geliştirilmesinde, bariyer özelliklerinin modifikasyonunda, tekstilin; filtrasyon, adsorpsiyon, seçici-geçirgenlik, buruşmazlık, UV-koruyucu ve güç tutuşurluk özelliklerinin iyileştirilmesinde, süper hidrofob (kendi kendini temizleyen) kumaşların üretiminde, antimikrobiyel kumaşların üretiminde kullanım potansiyeli bulunmaktadır [Cireli ve ark, 2006].

5.10.3. Mikroapsülasyon Uygulaması

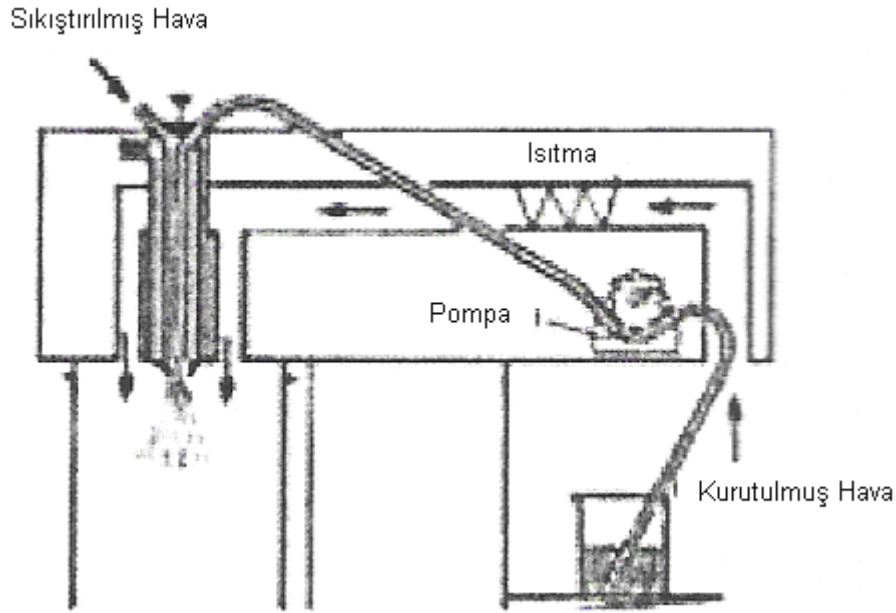
Mikroapsülasyon; fonksiyonel bitim işlemlerinde alternatif bir yol olarak gözükmetedir ve bir veya birden fazla ilaç, protein, boya veya kozmetikler gibi sıvı veya katı maddelerin çok küçük ölçeklerde bir polimer madde veya zar ile hapsedilmeleridir. Hapsedilen maddelere kabuk materyali denir. Bu sayede kabuk materyal reaktif, korozif ve zararlı çevreden korunur ve ayrıca salınışı kontrol altında tutulur.

Aşağıda belli başlı mikroapsülasyon teknikleri verilmiştir [Cireli ve ark, 2006]:

Arayüzey polimerizasyonu metodu: Arayüzey polimerizasyonu iki faz arasındaki yüzeyde meydana gelir. Bu işlemde monomerlerden biri ve kabuk materyali bir çözgen içerisinde çözölmektedir. Diğer monomer de ikinci bir çözgen içerisinde çözöölür. Karıştırma ile birinci ve ikinci çözgen emölsiyon haline getirilir. Emölsiyon stabilize olduktan sonra ortama bir başlatıcı ilave edilerek polimerizasyon reaksiyonu başlatılır. Karıştırma hızı mikroapsüllerin çaplarını belirlemede en önemli etmendir. Ara yüzey polimerizasyonu, birbirini ile karışmayan iki sıvı fazın ara yüzeyinde çeşitli monomerlerin birbirleri ile reaksiyona girerek dispers fazı hapsedecek şekilde film oluşturmalarıdır. Genellikle iki reaktif monomer bulunur. Bunlardan biri çekirdek materyalin çözeltisini veya dispersiyonunu içeren sulu fazda çözölmüştür, diğeri ise emölsifiye adımından sonra sulu olmayan fazda çözöölür. Su-

yağ (w/o) emülsiyonunun oluşması için uygun bir emülgatörün stabilizatör olarak ilavesi gerekmektedir. Monomerler birlikte difüze olup ara yüzeyde ince bir kaplama oluşturacak şekilde polimerleşirler. Ortalama polimerizasyon derecesi; monomerlerin reaktifliğine, konsantrasyonlarına, fazları oluşturanlara ve ortam sıcaklığına bağlıdır. Reaksiyon monomerler tükenince biter.

Sprey kurutma metodu: Sprey kurutmada 1-10 mikron büyüklüğünde, çekirdek materyal mikro kürecikler halinde polimer çözeltisi içerisinde hapsedilir. Bu çözelti çok ince memeciklerden sıkıştırılmış hava ile içinde sıcak hava bulunan bir kabine aerosol halinde fırlatılır. Çözgen uzaklaştırılır. Çekirdek-kabuk materyal oranı, viskozite, konsantrasyon ve başlangıç çözeltisinin sıcaklığı mikrokapsüllerin özelliklerini etkiler. Şekil 5.43.'te sprej kurutma cihazının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.43. Sprey kurutma cihazının şematik gösterimi [Cireli ve ark, 2006]

Sıcak eriyik mikrokapsülasyonu metodu: Sıcak eriyik mikrokapsülasyonu, çekirdek materyalinin eriyik halindeki polimerin içerisine karıştırılmasıyla oluşur. Eriyik polimer cam sıcaklığının altında soğumaya başlayarak kabuk materyalini oluşturur. Bu tip mikrokapsülasyonda şu hususlara dikkat edilmelidir: Kullanılan

polimer göreceli olarak düşük erime noktasına sahip olmalıdır; camlaşma noktası oda sıcaklığının üstünde olmalıdır; çekirdek materyal termo-stabil olmalıdır.

Faz Ayrımı Metodu: Bu metotta çekirdek materyali polimer çözeltisi içerisinde dispers haline getirilir. Polimer çözeltisinin çözülebilirliği karıştırılırken sıcaklığın düşürülmesi, pH'ın değiştirilmesi, iyon gradiyentinin yaratılması vb yöntemlerle faz ayrımı gerçekleştirilerek kabuk materyali oluşturulur. Bir çok doğal polimer bu metoda uygundur (örnek olarak alginat Ca^{+} iyonlarına karşı hassastır).

Çeşitli duvar (kabuk) tipleri kullanılmaktadır. Kullanılacak olan kabuk malzemesi uygulanacak olan prosese, istenilen etkilere ve çekirdek maddenin polarizasyonuna, iyon durumuna, reaksiyona girme eğilimine ve parçalanma sıcaklığına göre değişebilmektedir. Bu amaçla birçok kabuk malzemesi kullanılabilir [Cireli ve ark, 2006]:

- Sentetik polimerler: Polivinil alkol vb,
- Çeşitli monomerler: Akrilik asit, hekza etilen diamin vb,
- Doğal polimerler: Alginat vb,
- Hazır kapsüller: Siklodekstrinler vb.

Tekstildeki mikrokapsülasyon uygulamaları şu şekilde özetlenebilirler [Cireli ve ark, 2006]:

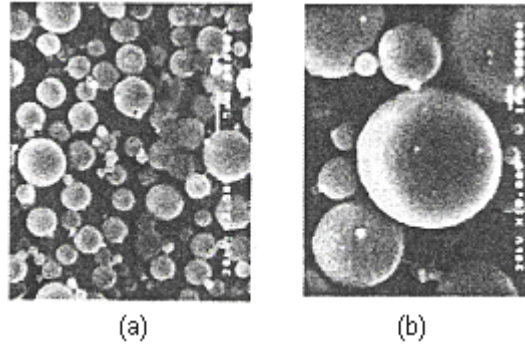
- Koku aplikasyonu,
- Kozmetik aplikasyonu (nemlendirici vb),
- Böcek kovucu maddelerin aplikasyonu,
- Güç tutuşurluk maddelerinin aplikasyonu,
- Vitamin ve ilaç aplikasyonları,
- Antimikrobiyel maddelerin uygulanması,
- Boyamalar,
- Faz değiştiren materyallerin uygulanması.

Aşağıda bu uygulamalar açıklanmışlardır [Cireli ve ark, 2006]:

Koku ve Kozmetikler: Kumaşa direk koku ilavesi kısa ömürlü olmaktadır. Fakat mikrokapsüllenmiş koku ilave edildiğinde kokunun kalıcılığı arttırılmış olmaktadır. Birçok firma (Welbeck Fabrics, RT Dodge, Celessence International, The Matsui Shikiso Chemical Co, LJ Specialities, Eldorado Int. Co., Speciality

Textile Products Ltd. (STP), Harko-Werke GmbH ve Euraceli) bu amaçla koku hapsedilmiş mikrokapsül içeren kumaşları piyasaya sürmüştür. Uygun mikrokapsül hazırlandıktan sonra binder kullanılarak kumaş yüzeyine basılır veya kaplanır. Bu amaçla akrilik veya poliüretan binderler kullanılır.

Hong ve Park, melamin-formaldehit reçinesi ile migrin yağını mikrokapsüllemişlerdir. Akrilik binder kullanarak pamuklu kumaş yüzeyine yapıştırmışlardır (Şekil 5.44.). Hong ve Park, başka bir çalışmada poly(L-laktit) mikrokapsülleri oluşturarak lif yüzeyine akrilik binder aracılığı ile yapıştırmışlardır.



Şekil 5.44. Migrin yağı içeren melamin reçinesi mikrokapsüllerinin SEM görüntüleri [Cireli ve ark, 2006]

Şekil 5.44. (a) 3500 kez Şekil 5.44. (b) ise 10000 kez büyütülmüş görüntüdür. Poliüretan, poliüre ve poly(bütlen sukkinat) gibi çeşitli kabuk materyalleri ile migrin yağı kapsüllenmiştir.

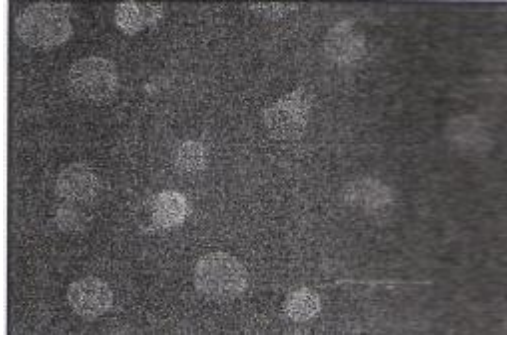
Hak ve arkadaşları, β -çiklodekstrinin kabuk materyal olarak kullanılması olanaklarını araştırmışlardır. β -çiklodekstrini selüloz liflerinin üstüne N-metilol-akrilamid kullanarak aşılamışlardır. Bu çalışmada benzoik asidi anti antibakteriyel ajan ve vanilin de koku olarak kapsüle edilmiştir. Antibakteriyel özelliğin 10 yıkama sonrasında da korunduğunu belirtmişlerdir.

Chao-Xia ve Shui-Lin, β -çiklodekstrin kullanarak kokulu kumaşların yapımında alternatif bir prosedür önermişlerdir. Koku içeren β -çiklodekstrin selüloz lifine heterobifonksiyonel reaktif boya kullanılarak fiksajı sağlanmıştır.

Son yıllarda nemlendirici, antiselülit, antiageing maddeleri gibi kozmetik ürünleri içeren tekstiller piyasada görünmeye başlamışlardır. Specialty Textile

Products Ltd. A, D, E vitaminleri ve Aloe Vera içeren Biocap ticari markalı mikrokapsülleri sunmaktadır. Cognis firması çeşitli kozmetik maddeler içeren SkinTex serisi ile pazarda yer almaktadır. SkinTex'in kabuk materyali çitosandan oluşmaktadır.

Nelson ve arkadaşları, maya hücrelerinin (*Saccharomyces cerevisiae*) (Şekil 5.45.) içini doldurarak mikrokapsülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra çekirdek materyali içeren hücreler çapraz bağlayıcı maddeler ve binderler kullanılarak selüloz ve yün lifine bağlanmışlardır.



Şekil 5.45. Sage yağı içeren maya hücreleri [Cireli ve ark, 2006]

Güç Tutuşurluk Uygulamaları: Fosfatın suda çözünürlüğü nedeniyle güç tutuşurluk bitim işlemi kalıcı olmaktadır. Giraud ve arkadaşları, Di-amonyum hidrojen fosfatı (DAHP) poliüretan (PUR) kabuk içerisine mikrokapsülleme yapmışlardır. DAHP içeren mikrokapsüllerin termal parçalanma davranışlarını incelemişlerdir. Poliüretan ile mikrokapsülenmiş fosfatın önemli güç tutuşurluk etkisi gösterdiğini belirtmişlerdir.

Boya, Baskı ve Ağartma Uygulamaları: Son yıllarda fotokromik ve termokromik boyalar içeren mikrokapsüller kullanılmaya başlanmıştır. Lipozomlar fosfolipid yapıdaki maddelerdir. Seçici geçirgen ve esnek bir zar özelliği gösterirler. Hem hidrofilik hem de lipofilik maddeler için taşıyıcı görevi üstlenirler. Marti, yün terbiyesinde lipozomları carrier (taşıyıcı) olarak kullanmıştır. Gerek yünün asit, 1:2 metal kompleks ve dispers boyalarla boyanmasında gerekse klorlama (ağartma) işlemlerinde kullanılmışlardır. Marti ve arkadaşları, lipozomların yün/PES

karışımlarının boyanmasında carrier (taşıyıcı) olarak kullanılmalarının olanaklarını araştırmışlardır.

Soane ve arkadaşları, selüloz liflerinin reaktif boyanmasında mikrokapsüller kullanarak reaktif olmayan boyaların kullanılabileceğini önermişlerdir. Leyko indigo ve indigo boyarmaddelerinin, maleik anhidrit veya stiren-maleik anhidrit ve polietilenimin kombinasyonlarıyla mikrokapsüle edilerek kumaşa aktarılabilceğini belirtmişlerdir. Fazla miktardaki maleik anhidrit grupları reaktif grup işlevi görerek selülozdaki –OH grupları ile reaksiyona girmektedirler. Tekstil mamullerinin ink-jet baskısı son yıllarda geniş uygulama alanı bulmaktadır. İnk-jet baskı sistemlerinde, mikrokapsüllenmiş boyalar da kullanılmaktadırlar.

Faz Değiştiren Materyaller: Faz değiştiren materyallerden 5.5. bölümde detaylı olarak bahsedilmiştir. Bu materyalleri içeren tekstil üretimi için ilk yol bu materyalleri lif içerisine hapsetmektir (Şekil 5.46.) (Outlast lifleri)



Şekil 5.46. Faz değiştiren materyal içeren mikrokapsüllerin lif içerisinde tekstil materyaline uygulanmaları [Cireli ve ark, 2006]

İkinci yol ise; faz değiştiren materyalin PUR içerisine mikrokapsülленerek, tekstil yüzeyine kaplanmasıdır. Faz değiştiren materyal çapraz bağlayıcı matriks arasında tutuklanarak bu materyalin hem mikrokapsülasyonu hem de tekstil yüzeyine fiksajı gerçekleştirilir.

Diğer Uygulamalar: Fransa’da gliserol setearat ve ipek protein nemlendiricileri kumaş içerisinde hapsedilmişlerdir. Mitsubishi Firması, temizleme çözgeni olarak mikrokapsüllü parafin, tunç yağı ve oktan içeren polipropilen dokusuz yüzeyden oluşan temizleme bezi üretmiştir.

Böcekler ve toz miteleri ile mücadele için akar ve böcek ilaçlarının mikrokapsülasyon tekniği ile tekstillere uygulanmaları araştırılmıştır. Mikrokapsülasyon sayesinde zararlı kimyasalların kullanıcıya zarar vermeyecek dozlarda ve uzun süre zarfında ortama kontrollü bir şekilde salınması hedeflenmiştir. Soane ve arkadaşları, 3-(trimetoksisilil)-propiloktadesildimetil, gümüş nitrat ve 2-bromo-2-nitropropan-1,3-diol gibi antifungal ve antibakteriyel maddelerin mikrokapsüllenebileceğini belirtmişlerdir. Thor Chemicals firması permethrini mikrokapsülleyerek böcek kovucu uygulamalar yapmıştır. Speciality Textile Products Ltd., Silver Cap olarak isimlendirdiği mikrokapsülün duvarına gümüş nano partiküller yerleştirmiştir. Bu sayede etkili antimikrobiyal etki sağlanmıştır. Silver Cap 650 farklı virüse karşı etkilidir.

Koruyucu giysiler için mikrokapsüllenmiş biyosensörler ve kimyasal sensörler içeren uygulamalar bulunmaktadır. Soane ve arkadaşları, manyetik parçacıklar içeren nanopartiküllü tekstillerin; giysilerin çalınmasını önleyeceklerini, günümüzde kullanılan kartuşların yerini alacaklarını iddia etmektedirler.

Gundjian ve Kuruvilla, giysi-marka taklitçiliğinin önlenmesinde mikrokapsülasyon teknolojisinden faydalanılabileceğini belirtmişler ve bununla ilgili olarak patent geliştirmişlerdir. Bu patentte mikrokapsüllenmiş boyarmaddeler tekstil yüzeyine marka veya firma ismi olarak aplane edilirler. Daha sonra aktivatör sayesinde mikrokapsüller parçalanarak boyarmaddelerin ya UV ışık altında ya da görünen bölgede belirginleşmesi sağlanır [Cireli ve ark, 2006].

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; nanoteknolojide kullanılan araçlar, alet ve yardımcıları tanıtılmıştır. Nanoteknolojinin Türkiye'deki ve dünyadaki durumu ve uygulama alanları hakkında bilgi verilmiştir. Bu uygulama alanlarından tekstildeki uygulamalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda; nanoteknoloji ile üretilmiş yeni ürünler olan; nanolifler, nanotüpler ve nanokompozitler üzerinde durulmuştur. Ayrıca; nanopartiküller, faz değiştiren materyaller, biçimsel hafızalı materyaller, kromik materyaller, elektriksel uygulamalar, nano boyuttaki bitim işlemleri ve nano ölçekli yüzey oluşturmak için kullanılan teknolojiler açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak verilmiştir:

- Nanoteknoloji kapsamına giren malzemeler; 1-100 nm (10^{-9} - 10^{-7} nm) arasındaki herhangi bir büyüklüğe (uzunluk, en,boy) sahiptirler ve bu malzemeler makro ölçekteki malzemelerden farklı ve üstün özelliklere sahiptirler.
- Nanoteknoloji ile yapılan üretim ucuz ve temiz olmakla birlikte elde edilen ürünlerin finansal karşılığı oldukça yüksektir.
- Nano ürünler çok küçük boyutlarından ötürü beklenmeyen etkileşimlere neden olabilirler. Dolayısıyla sağlık açısından gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.
- Taramalı prob mikroskopları, özellikle atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobu; nanoteknoloji araştırmalarında kullanılan en önemli araçlardır.
- Elektronik, malzeme bilimi, matematik, fizik, kimya, biyoloji, eczacılık, tıp, bilgisayar, tekstil vb birçok alanda kullanılmakta olan nanoteknoloji araştırmalarının özellikle malzeme ve tıp alanında hızlı bir gelişme göstermiş olduğu tespit edilmiştir.
- ABD başta olmak üzere, Japonya ve AB nanoteknolojiye en çok yatırımı yapmakta olan ülkelerdir.
- Pek çok ülke ulusal nanoteknoloji merkezleri ve nanoteknoloji enstitüleri kurmuştur.

- Türkiye’de Bilkent Üniversitesi’ndeki UNAM, nanoteknoloji konusunda araştırma yapan ana merkez olmakla beraber; ODTÜ, Anadolu Üniversitesi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü de bu konuda araştırma yapan merkezlere sahiptirler.
- Türkiye’de bazı kamu kuruluşları ve özel sektör kuruluşları da nanoteknoloji konusunda çalışmalar yapmaktadırlar. Fakat bu kuruluşların yapmış oldukları yatırım dünyanın çok gerisindedir.
- Nanoteknoloji ile ilgili eğitimin Türkiye’deki tüm üniversitelerde yaygınlaşması hatta ilk ve ortaöğretimde dahi nanoteknoloji eğitiminin verilmesi Türkiye’nin nanoteknolojide büyük yollar kat ederek gelişmiş ülkeler arasına girmesinde etkili olabilir. Bu konuyla ilgili devlet yatırımının artması ve bu konuyla ilgilenen özel sektör kuruluşlarının sayısının artması da ayrıca önemlidir.
- Nanoteknoloji, tekstil ürününe yeni özellikler katmanın yanında her türlü kumaşa uygulanabilme özelliğine sahiptir. Dolayısıyla bu ürünler tekstil firmalarına cazip gelmekte ve tüketicinin de ilgisini çekmektedir.
- Nanoteknoloji ile üretilen tekstil ürünleri pahalıdır, fakat bu ürünler dayanıklı oldukları için tüketici tarafından tercih edilirler. Dolayısıyla üretici bu tür ürünlerden ciddi karlar elde eder.
- Türk tekstil sanayisinde nanoteknoloji özellikle bitim/terbiye aşamasında kullanılmaktadır ve kullanılan nanoteknoloji tabanlı malzemeler yurtdışından ithal edilmektedir. Türk tekstil sanayisinin nanoteknolojiye daha fazla önem vermesi oldukça önemlidir. Bu sayede yüksek katma değerli tekstil ürünleri elde edilebilir. Dolayısıyla Türk tekstil sektörü gelişme kaydederek ciddi karlar elde edebilir. Bu amaçla;
 - Tekstil üretimi yapan işletmeler nanoteknoloji ile ilgili AR-GE çalışmalarına daha fazla kaynak ayırabilirler.
 - Üniversitelerin tekstil mühendisliği başta olmak üzere diğer bölümlerdeki öğretim elemanlarının nanoteknolojinin tekstilde uygulamaları konusunda uzmanlaşmaları, hatta lisans, yüksek

lisans ve doktora programlarında nanoteknoloji ile ilgili derslerin verilmesi sağlanabilir.

- Nanoteknolojinin tekstilde uygulamaları ile ilgili çalışma yapan üniversite sayıları arttırılabilir ve nanoteknoloji tabanlı tekstiller üreten işletmeler bu üniversiteler ile ortaklaşa çalışmalarda bulunabilirler.
 - TÜBİTAK, nanoteknolojinin tekstilde uygulamaları konusunda uzmanlaşmış insan yetiştirmek için yurtdışında bu konu ile ilgili araştırma yapan üniversitelere burslu öğrenci gönderebilir.
- Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları ile nano boyutlu yeni tekstil malzemeleri üretilebilir. Bu malzemeler; nanolifler, nanotüpler ve nanokompozitlerdir. Ayrıca tekstil materyallerinin var olan fonksiyonları ile performansları nanoteknoloji yardımıyla geliştirilebilir. Bu durum; lif, iplik veya kumaş yüzeyine farklı özellikler kazandıran nanopartiküller, nanokompozitler vb ekleyerek veya ileri teknolojiler olan; plazma, sol-jel ve mikrokapsülasyon teknolojileri ile kaplama yaparak yeni/fonksiyonel yüzey tabakaları elde etmekle mümkündür.
 - Nanolifler, küçük gözenekleri ve büyük yüzey alanlarından ötürü önemlidirler. Bu lifler, toplandıkları yüzeyde dokusuz yüzey oluştururlar. Bu liflerin tek tek üretimleri veya iplik içerisinde kullanımları da mümkün olabilir.
 - Nanolifler kullanılmış oldukları tekstil ürünlerinde kırılmazlık, su geçirmezlik ve leke tutmazlık özelliklerinde artışa sebep olurlar.
 - Nanoliflerin; filtrasyon, biyomedikal, elektriksel ve optik, savunma, uzay, tarım, kompozit vb birçok uygulama alanları mevcuttur ve yakın zamanda büyük miktarda ve ucuz fiyatlarla pazara girmeleri beklenmektedir.
 - Nanoliflerin üretimi, konvansiyonel lif üretim sistemleriyle gerçekleştirilememektedir. Çünkü nanolif üretebilecek kadar küçük çapa sahip düzeler mevcut değildir.
 - Meltblowing yöntemi ile üretilebilen en ince lif çapı 1 mikrondur. Ayrıca bu yöntemin üretim ekipmanı maliyetleri yüksektir. Ayrıca üretilen

liflerin mukavemetleri düşük olmakla beraber, lif çapı uzunluk boyunca değişkendir ve elde edilen liflerin çapları birbirlerinden farklı olmaktadır. Bu yöntem daha ziyade mikrolif üretiminde kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemin nanolif üretiminde kullanımı üzerinde araştırmalar devam etmektedir.

- Bikomponent lifler yoluyla nanolif üretimi rasgele olmaktadır ve üretilen liflerden sadece bir kısmı istenilen özellikleri taşımaktadır. Bu yöntemle üretilen lifler, ticari uygulamalar için ekonomiktirler. Ayrıca meltblowing ve elektrospinningden farklı olarak, daha dar çap değişim aralıklarına sahiptirler.
- Spunbond yöntemi, meltblowing yöntemine çok benzemektedir. Aradaki fark; spunbond yönteminde liflere germe işleminin üretim sonrası uygulanmasıdır. Dolayısıyla elde edilen lifler daha kalındır.
- Elektrospinning yöntemi ile üretilen liflerin mukavemeti düşüktür. Bu yöntem ile üretilen 50 nm'den düşük çapa sahip lifler uniform olmayan bir yapıya sahiptirler. Bu yöntemde işlem verimi düşüktür. Elde edilen lifler yetersiz ve düşük molekül oryantasyonu ve düzgün olmayan çap dağılımına sahiptirler.
- Elektrospinning yöntemi ile elde edilen nanoliflerin inceliklerini kontrol altında tutmak mümkündür. Bu yöntem ile lif çekimi, hem çözelti halindeki hem de eriyik halindeki polimerlere uygulanabilmekte olduğundan dolayı, birçok çeşit polimer maddeyi kullanmak mümkündür. Bu yöntem için gerekli ekipmanlar basittir ve sadece küçük miktarlarda polimerlere gereksinim vardır.
- Elektrospinning yöntemi ile nanolif üretimi diğer yöntemlerden daha avantajlı görülmektedir. Çünkü elde edilen lifler diğer yöntemlerle elde edilenlerden daha incedirler. Dolayısıyla daha geniş yüzey alanına sahiptirler.
- Günümüzde, birçok şirket elektrospinning tekniğini kullanarak filtreleme ürünleri imal etmektedirler. Elektrospinning yöntemi ile lif üretimi çeşitli prototiplerde ve çeşitli polimerlerle günümüze kadar denenmiş ve

gelişmeler sonucunda sanayi tipi bir elektrospinning makinesi geliştirilememiştir. Ancak, henüz çok yeni olan yöntem ile ilgili sorunlar büyük ölçüde giderilmiştir. Türkiye’de elektrospinning yöntemi ile çalışan tesisler kurarak katma değeri yüksek ürünler elde edilebilir.

- Tekstilde nanotüp uygulamaları denince akla ilk olarak karbon nanotüpler gelir. Karbon nanotüpler; yüksek mukavemet, yüksek elektriksel iletkenlik, yaklaşık tek boyutlu yapı, yüksek ısı iletkenlik, düşük ağırlık, çok yüksek termal ve kimyasal dayanım gibi özellikleri bünyelerinde barındırırlar.
- Çok miktarlarda karbon nanotüp üretmek için çeşitli teknikler geliştirilmiş olmakla beraber bu tekniklerin pahalı oluşları büyük ölçekli üretimi engeller. Ayrıca üretilen tüplerin standart kalite ve boyutta elde edilememeleri, onları endüstri ve araştırmaların gereksinimlerini karşılamada yetersiz kılar.
- Karbon nanotüplerin elde edilmelerinde kullanılan lazer aşındırması metodu, ark buharlaştırma metodundan daha az sıcaklık gerektirmektedir ve elde edilen tüpler daha düzenli yığınlar oluşturmaya eğilimlidirler. Lazer aşındırması metodu, pahalı lazerler gerektirme dezavantajına sahiptir.
- Kimyasal buhar püskürtmesi metodu ile hem daha düzenli nanotüpler elde edilebilmekte, hem de nanotüplerin çok miktarda üretimleri yapılabilmektedir ve bu metot ile daha düşük sıcaklıkta elde edilirler. Bu durumun düşük kaliteye neden olmasına rağmen katalizörler malzeme üzerinde depolanabilirler. Bu da yeni yapıların oluşumuna izin verir.
- Karbon nanotüplerin uygulama alanları; kompozitler, tıbbi tekstiller, balistik amaçlı tekstiller, filtrasyon materyalleri, kendi kendini temizleyen kaplamalar vb’dir.
- Karbon nanotüpler; elektrospinning yöntemi, kaplama veya nano-gözenekli membranlar kullanılarak tekstil materyalleri ile birleştirilirler.
- Nanokompozitlerin malzemeye getirdikleri üstünlükler; malzemeyi güçlendirmesi, malzemenin ısı direncini arttırması, malzemeye gaz

sızmasını engellemesi, malzemenin yanıcılığını azaltması olarak sıralanabilir.

- Nanopartiküller tekstillere; yüksek adhezyon; koku, antifungal ve biyosidlerin kontrollü salınımı vb özellikler kazandırmaktadırlar. Ayrıca nanopartiküller tekstil yüzeyinin çeşitli mekanik, elektrik ve optik özelliğini geliştirirler. Tekstil boyamada pigment nanopartikülleri direkt olarak kullanmak mümkündür.
- Kil nanopartikülleri elektrik, ısı ve kimyasal dayanıma sahiptirler. Ayrıca UV ışığını bloke etme özelliğine sahiptirler. Bu sayede içerisine kil nanopartikülleri yerleştirilmiş lifler güç tutuşurluk, anti UV ve anti korozyon davranışlar gösterirler. Nanokil ayrıca tekstil malzemelerinin dayanım modülünü geliştirir. Nanokiller, anyonik, katyonik ve nötr boyalar için emici madde olarak kullanılmaktadırlar. Nanokilden yapılmış emici maddenin boya emme yeteneğinden dolayı nanokil içeren kompozitten yapılmış olan tekstil yüzeyleri çok iyi bir boyanabilme, renk haslığı, boyamada daha az problem gibi özelliklere sahiptirler.
- Metal oksit nanopartiküller; fotokatalitik, elektrik iletkenliği, UV absorpsiyonu ve fotooksidasyon özelliğine sahiptirler. Metal oksitlerin tekstillere aplikasyonu lif çekimi sırasında, elektrostatik yollarla veya spreyle kaplama ile gerçekleştirilebilir.
- Tekstil malzemelerinde kullanılan faz değiştiren materyaller mikrokapsüller içerisine yerleştirilirler. Bu materyaller (PCM) ile kendi kendini ısıtan ve soğutan tekstil ürünleri yapılabilmeyle beraber bu etki kısa süreli olmaktadır.
- Biyomimetik hafızalı materyaller (SMM), aşırı sıcak veya soğuk ortam şartlarına karşı yalıtım ve koruma özelliğinin artırılması amacıyla kullanılırlar.
- PCM ve SMM'lerin her ikisi de kişinin fiziksel aktivitesi ve içinde bulunduğu ortam şartlarına (sıcaklık, nem, vb) bağlı olarak tepki vermektedirler.

- Kromik malzemeler çeşitli çevresel şartlar doğrultusunda renk değiştirebilme yeteneğine sahiplerdir. Bu çevresel şartlar; ışık, sıcaklık, elektrik, basınç, sıvı ve elektron demeti enerjisi olabilmektedir.
- Tekstil malzemelerinin iletkenlik özellikleriyle ilgili nanoteknoloji çalışmaları yapılmaktadır. Kumaşa iletkenliğini geliştirmek amacıyla metalik teller ve ince metalik bantlar kullanılmıştır. Metalik teller kumaş içerisinde ağ gibi örülerek elektrik iletkenliği sağlanır. Fakat sınırlı esneklik, artan ağırlık ve son ürün formu ile ilgili problemler oluşmuştur. Bu metot dışında geliştirilen metotlar vasıtasıyla kumaş konstrüksiyonuna müdahale edilmeksizin, liflere herhangi bir ön modifikasyon yapılmaksızın elektriği ileten kumaş üretilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Bu metotlardan en ilginçleri; kumaşlara antistatik madde emdirilmesi ve kumaşların ve dokusuz yüzeylerin iletken malzemelerle kaplanmasıdır. Tekstil liflerinin modifikasyonu yoluyla da elektrik özellik kazandırılabilir.
- Nanoteknoloji yardımıyla, uygulanmakta olan bitim işlemlerinin etkileri geliştirilir. Bu amaçla bitim maddeleri nano boyutlarda emülsifiye edilerek (nano-misellerle, nano-sollarla veya nano-kapsüllerle) daha düzgün aplikasyon sağlanır. Sonuç olarak kumaşa kalıcı buruşma dayanımı, su-kir-yağ itici, yüksek boyutsal stabilite, hidrofilik, hidrofobik, güç tutuşur, UV dayanımı, koku giderici, yüksek iletkenlik vb özellikler kazandırılabilir.
- Plazma polimerizasyonu kumaşlara su-kir-iticilik, ıslanabilirlik, güç tutuşurluk gibi fonksiyonel özellikler vermek için tekstillerin birçok bitim işleminde kullanılmaktadır. Plazma işlemi; kimyasal madde ve enerji tüketimi bakımından avantajlı bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntem ekolojik bir yöntemdir.
- Tekstil endüstrisinde sol-jel teknolojisiyle kaplamalar yapılarak tekstil materyallerine çok farklı özellikler kazandırılabilir. Bu teknolojinin tekstilde kullanım alanları; su, yağ ve kir iticilik, kokuların kontrollü salınımı, elektrik iletkenliği, boyama dayanımı vb'dir.

- Tekstilde mikrokapsülasyon uygulamaları; koku, kozmetik, böcek kovucu maddeler, güç tutuşurluk maddeleri, vitamin ve ilaç aplikasyonları, antimikrobiyal maddelerin ve faz değıştiren materyallerin uygulanması, boyamalar vb'dir.

Bu tez; birçok literatür incelenerek yapılmış bir çalışmadır. Deneysel çalışmalara yer verilmemiştir. Bu konu ile ilgili yapılacak daha sonraki çalışmalarda, nanoteknoloji ile üretilmiş elyafların performans özellikleri ve/veya üretim parametreleri deneysel çalışmalar yapılarak incelenebilir. Türkiye'de nanoteknoloji ile apre işlemi yapan çeşitli tekstil işletmelerinden örnekler alınarak yapılan bir veya birden fazla apre işleminin (su iticilik, buruşmazlık, antibakteriyel vb) elde edilen tekstil ürünün son kullanım özelliklerini nasıl etkilediğini, hangi apre malzemesinin hangi kumaş türü için uygun olduğunu tespit etmek amacıyla deneysel içerikli çalışmalar da yapılabilir.

KAYNAKLAR

- AKBAŞ, İ., 2006. Nanoteknoloji ve Tekstilde Uygulamaları. Ç.Ü. Tekstil Mühendisliği Projesi, Adana, 54s.
- ANONYMOUS, 2004. Trend Belirleyici Yeni Bir Yaklaşım Nano Teknoloji. Tekstil Teknoloji, 9(102):186-187.
- ANONYMOUS, 2007. Her Alanda Nano Teknolojisi. Tekstil&Teknik, 23(264):138.
- AYAZ, Ö.Y., ÇOBAN, S., 2000. Tekstil Terbiyesinde Doğal Lifler için Ekolojik Bir İşlem: Plazma Teknolojisi ile İşlemin Avantajları, Uygulama Alanları ve Sınırları. Tekstil ve Konfeksiyon, 10(6):240-247.
- AYAZ, Ö.Y., DURAN, K., 2001. Tekstil Terbiyesinde Fiziksel ve Kimyasal Modifikasyonlar İçin Yenilikçi Bir Proses: Plazma ile İşlem. Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, 11(2):102-109.
- AYDIN, M., 2007. Tek Yol Nanoteknoloji Devrimi. Gözlem Gazetesi, <http://nano.bilkent.edu.tr/Basin/GozlemGazetesi.pdf>
- AYHAN, A., 2002. Dünden Bugüne Türkiye’de Bilim-Teknoloji ve Geleceğin Teknolojileri. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 455s.
- BALCI, H., 2006. Akıllı (Fonksiyonel) Tekstiller, Seçilmiş Kumaşlarda Antibakteriyel Apre ve Performans Özellikleri. Ç.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 251s.
- BAŞARAN, E., 2002. Nanoteknoloji (A. AYHAN editör). Dünden Bugüne Türkiye’de Bilim-Teknoloji ve Geleceğin Teknolojileri, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, s.379-388.
- BAYINDIR, M., 2006a. Akıllı Kumaşlar Hayatımızda. Bilim ve Teknik, Aralık, 1-2, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/Basin/NanoTekstil.pdf>
- _____, 2006b. UNAM: Araştırma Alanları. UNAM: Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi, http://nano.bilkent.edu.tr/docs/NanoTeknoloji_UNAM3.pdf
- _____, 2007a. Nanoteknoloji. Fizik Bölümü ve Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi, http://nano.bilkent.edu.tr/docs/NanoTeknoloji_UNAM1.pdf

- _____, 2007b. Nanoteknoloji Hayatımızda. Bilim ve Ütopya, 12-18, http://www.fen.bilkent.edu.tr/~mb/GuncelYazilar/Nanoteknoloji_Hayatimizda.pdf
- _____, 2007c. Türkiye’de Nanoteknoloji, Bilim ve Ütopya, 19-20, http://www.fen.bilkent.edu.tr/~mb/GuncelYazilar/Turkiyede_Nanoteknoloji.pdf
- BİLGİ, A.B., 2007. Tekstilde Nanoteknoloji ve Uygulamaları. Ç.Ü. Tekstil Mühendisliği Projesi, Adana, 39s.
- BOZKAYA, Y., 2006a. Nanoteknoloji ve Uygulamaları. Anadolu Üniversitesi, İleri Teknolojiler Araştırma Birimi, http://www.robotlar.com/NANOTEKNOLOJI_VEUYGULAMALARI.pdf
- _____, 2006b. Nanoteknoloji Yüksek Lisans Programı. Anadolu Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Nanoteknoloji Bilim Dalı, <http://www.itab.anadolu.edu.tr/itab/pdf/nylp.pdf>
- BREUER, O., SUNDARARAJ, U., 2004. Big Returns from Small Fibers: A Review of Polymer/Carbon Nanotube Composites. Polymer Composites, 25(6):630-645.
- CANDAN, C., 2006. Nano’dan Mega Haberler. Tekstil&Teknik, 22(254):8-9.
- CENGİZ, F., KRUCİNSKA, I., GÖKTEPE, F., GLİSCİNSKA, E., CHRZANOWSKI, M., 2006. Elektro Lif Çekim (Electrospinning) Yönteminde Proses Parametrelerinin Nano Lif Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Tekstil Maraton, 16(85):20-25.
- CHA, D.I., KİM, H.Y., LEE, K.H., JUNG, Y.C., CHO, J.W., CHUN, B.C., 2005. Electrospun Nonwovens of Shape-Memory Polyurethane Block Copolymers. Journal of Applied Polymer Science, 96(2):460-465.
- CHEN, W., TAO, X., LİU, Y., 2006. Carbon Nanotube-Reinforced Polyurethane Composite Fibers. Composites Science and Technology, 66(15):3029-3034.
- CHEN, W., TAO, X., ZHANG, J., FANG, Q., YANG, J., 2005. Sol-Gel Processed SiO₂/TiO₂/Methycellulose Composite Materials for Optical Waveguides. Journal of the American Ceramic Society, 88(11):2998-3002.
- CİRELİ, A., KUTLU, B., ONAR, N., ERKAN, G., 2006. Tekstilde İleri Teknolojiler. Tekstil ve Mühendis, 13(61):7-20.

- ÇIRACI, S., 2005. Metrenin Bir Milyarda Birinde Bilim ve Teknoloji. Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara, Ağustos, 6-10, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/docs/BT-Yeni-Ufuklar.pdf>
- _____, 2006. Nanobilim ve Nanoteknolojide Türkiye'nin Bir Mükemmeliyet Merkezi. Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara, Aralık, 2-4, http://www.nano.bilkent.edu.tr/Basin/BilimTeknik_Nanoteknoloji.pdf
- _____, 2007. 21. Yüzyılda Yeni Bir Sanayi Devrimi: Nanoteknoloji. Bilim ve Ütopya, 4-11, http://nano.bilkent.edu.tr/docs/Nanoteknoloji_Devrimi.pdf
- DAĞ, Ö., 2006. Çok Fonksiyonlu Nanomalzemeler. Bilim ve Teknik, Aralık, 1-4, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/Basin/NanoTekstil.pdf>
- DALTON, P.D., CALVET, J.L., MOURRAN, A., KLEE, D., MÖLLER, M., 2006. Melt Electrospinning of Poly-(Ethylene Glycol-Block-ε-Caprolactone). Biotechnology Journal, 1(9):998-1006.
- DAOUD, W.A., XİN, J.H., 2004. Nucleation and Growth of Anatase Crystallites on Cotton Fabrics at Low Temperatures. Journal of the American Ceramic Society, 87(5):953-955.
- DEİTZEL, J.M., KLEİNMEYER, J., HARİS, D., TAN, N.C.B., 2001. The Effect of Processing Variables on the Morphology of Electrospun Nanofibers and Textiles. Polymer, 42(1):261-272.
- DEMİR, A., KOZANOĞLU, G.S., DAŞDEMİR, M., 2007. Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi. İ.T.Ü.&Tubitak Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, <http://www20.uludag.edu.tr/~tekstil/alidemir.pdf>
- DEMİR, A., ORUÇ, F., 2007. Polimer Esaslı Nanoliflerin Üretimi. Tad, <http://www.tad.com.tr/makale.aspx?id=126>
- DERSCH, R., STEİNHART, M, BOUDRIOT, U., GREİNER, A., WENDORFF, J.H., 2005. Nanoprocessing of Polymers: Applications in Medicine, Sensors, Catalysis, Photonics. Polymer for Advanced Technologies, 16(2-3):276-282.
- DOĞAN, M., 2005. Kimyada Nanoteknoloji Devri. Kimya Teknolojileri Dergisi, Eylül, 20-24, <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~dogan/42.html>

- DOĞAN, G., ŞENOL, F., TAYYAR, A.E., YAMAN, N., 2005. Karbon Nanotüpler. Tekstil ve Konfeksiyon, 15(3):135-138.
- DUBAS, S.T., KUMLANGDUDSANA, P., 2006. Layer-by-Layer Deposition of Antimicrobial Silver Nanoparticles on Textile Fibers. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 289(1-3):105-109.
- ERKAN, G., ERDOĞAN, Ü.H., KAYACAN, O., 2005. Tekstil Sektöründe Nano-Teknoloji Uygulamaları, Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makinaları Kongresi, Gaziantep, 19-27.
- ERSAN, I., 2006. Sigorta Sektörü Nanoteknoloji Devrimine Hazır mı?. Best, Sayı:32, Eylül, 11-14, http://nano.bilkent.edu.tr/docs/Best_dergisi.pdf
- FEI, B., DENG, Z., XIN, J.H., ZHANG, Y., PANG, G., 2006. Room Temperature Synthesis of Rutile Nanorods and Their Applications on Cloth. Nanotechnology, 17(8):1927-1931.
- GÖCEK, İ., KURŞUN, S., KÜÇÜK, G., 2006. Tekstil Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları. Tekstil Teknoloji, 54-65, http://www.tekstilteknoloji.com.tr/KasimHaberler/Tekstil_Endustrisinde.pdf
- ILGAZ, T., 2006. Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Yeri. Tekstil İşveren, Ağustos, 3-4.
- İKİZ, Y., 2006. Tekstilde Nanoteknoloji. Bilim ve Teknik, Aralık, 1, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/Basin/NanoTekstil.pdf>
- JAFFE, M., COLLINS, G., MENCZEL, J., 2006. The Thermal Analysis of Fibers in the Twenty First Century: From Textile, Industrial and Composite to Nano, Bio and Multi-Functional. Thermochimica Acta, 442(1-2):95-99.
- KARAHAN, H.A., YAMAN, N., DEMİR, A., ÖZDOĞAN, E., ÖKTEM, T., SEVENTEKİN, N., 2006. Tekstilde Plazma Teknolojisinin Kullanım Olanakları: Plazma Nedir?. Tekstil ve Konfeksiyon, 16(1):302-309.
- _____, 2007. Tekstilde Plazma Teknolojisinin Kullanım Olanakları: Plazma Teknolojisinin Doğal Liflerde Kullanımı. Tekstil ve Konfeksiyon, 17(1):18-23.
- KÖSE, S., ERDOĞAN, M., GÜNEŞ, İ., 2007. 21. Yüzyılda Nanoteknoloji Dünyası. Makine İhtisas, <http://www.makineihtisas.com/detay.asp?y=393>

- KUT, D., GÜNEŞOĞLU, C., 2005. Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları. Tekstil&Teknik, Şubat, 224-230.
- LEE, H.J., JEONG, S.H., 2005. Bacteriostasis and Skin Innoxiousness of Nanosize Silver Colloids on Textile Fabrics. Textile Research Journal, 75(7):551-556.
- LEE, S., OBENDORF, S.K., 2006. Developing Protective Textile Materials as Barriers to Liquid Penetration Using Melt-Electrospinning. Journal of Applied Polymer Science, 102(4):3430-3437.
- Lİ, D., SUN, G., 2007. Coloration of Textiles with Self-Dispersible Carbon Black Nanoparticles. Dyes and Pigments, 72(2):144-149.
- MENCELOĞLU, Y., 2007. Türkiye’de ve Sabancı Üniversitesinde Birikim. Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, <http://www.robotlar.com/NANO-SmartKids%20for%20web.pdf>
- NAMLIGÖZ, E.S., HOŞAF, E., ÇOBAN, S., GÜLÜMSER, T., TARAKÇIOĞLU, I., 2007. Su, Yağ ve Kir İticilik Bitim İşlemlerindeki Son Gelişmeler (Bölüm 2). Tekstil ve Konfeksiyon, 17(1):59-64.
- NASCHİE, M.S.E., 2006. Nanotechnology for the Developing World. Chaos Solitons&Fractals, 30(4):769-773.
- ORAL, A., 2005. Taramalı Uç Mikroskobu: Atomlardan Manyetik Girdaplara Görüntüleme. Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara, Ağustos, 18-19, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/docs/BT-Yeni-Ufuklar.pdf>
- ÖZBAY, E., 2006. Nanoteknoloji. Dergi Bilkent, Sayı:5, Hazan, 12-15, http://www.bilkent.edu.tr/bilkent_dergisi/no5/1-21.pdf
- ÖZBAYRAM, M., 2007. Nanoteknoloji ve Tekstildeki Uygulamaları. Ç.Ü. Tekstil Mühendisliği Projesi, Adana, 69s.
- ÖZDOĞAN, E., DEMİR, A., SEVENTEKİN, N., 2006a. Lotus Etkili Yüzeyler. Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, 16(1):287-290.
- _____, 2006b. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları. Tekstil ve Konfeksiyon, 16(3):159-163.
- _____, 2006c. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları (Bölüm 2). Tekstil ve Konfeksiyon, 16(4):225-229.

- PARLAKYİĞİT, P., TOPALBEKİROĞLU, M., 2005. Nanoteknoloji Yöntemi ile Dokusuz Yüzey Eldesi. Tekstil Maraton, 15(76):78-80.
- PİŞKİN, E., KOÇUM, C., ÇUBUKÇU, E., ÜLGİN, D., 2006. Nanoteknoloji ve Görüntüleme Sistemleri. Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü ve Biyomühendislik ABD, <http://www.biyomedtek.com/bmt-konular-no6.htm>
- QIAN, L., HINESTROZA, J.P., 2004. Application of Nanotechnology for High Performance Textiles. Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, 4(1):1-7.
- QIN, X.-H., YANG, E.-L., LI, N., WANG, S.-Y., 2007. Effect of Different Salts on Electrospinning of Polyacrylonitrile (PAN) Polymer Solution. Journal of Applied Polymer Science, 103(6):3865-3870.
- SUBBIAH, T., BHAT, G.S., TOCK, R.W., PARAMESWARAN, S., RAMKUMAR, S.S., 2005. Electrospinning of Nanofibers. Journal of Applied Polymer Science, 96(2):557-569.
- SÜPÜREN, G., KANAT, Z.E., ÇAY, A., KIRCI, T., GÜLÜMSER, T., TARAKÇIOĞLU, I., 2007a. Nano Lifler, http://tubitaktam.ege.edu.tr/dosyalar/nano_lifler.pdf
- _____, 2007b. Nano Lifler (Bölüm 1). Tekstil ve Konfeksiyon, 17(1):15-17.
- ŞENOL, F., TAYYAR, A.E., DOĞAN, G., YAMAN, N., 2005. Nanolifler ve Uygulama Alanları. Tekstil Maraton, 15(78):20-25.
- TEXTOR, T., BAHNERS, T., SCHOLLMAYER, E., 2003. Modern Approaches for Intelligent Surface Modification. Journal of Industrial Textiles, 32(4):279-289.
- TÜRKANT, B., AKALIN, M., 2007. Sanayi ve Moda İçin Nanoteknolojiler ve Akıllı Tekstiller, 11-12 Ekim 2006/LONDRA Konferans Notu, http://www.itkib.org.tr/ihracat/DisTicaretBilgileri/raporlar/dosyalar/NANOTEKNO_KO NF_NOTU_RESIMLI.WEBdoc.pdf
- UĞUR, F., 2006. Süper Beyinler Nanoteknoloji İçin Dönüyor. Aksiyon, Eylül, 40-47, http://www.nano.bilkent.edu.tr/docs/Aksiyon_NanoDosya.pdf

- ÜREYEN, M.E., 2006a. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları. Gemsan Teknik Bülten, Mayıs-Ağustos, 2-7.
- _____, 2006b. Nanoteknoloji ve Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sektörleri. Bilim ve Teknik, Aralık, 1-2, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/Basin/NanoTekstil.pdf>
- WILSON, R.F., 2006. Nanotechnology: The Challenge of Regulating Known Unknowns. The Journal of Law, Medicine&Ethics, 34(4):704-713.
- WONG, Y.W.H., YUEN, C.W.M., LEUNG, M.Y.S., KU, S.K.A., LAM, H.L.I., 2006. Selected Applications of Nanotechnology in Textiles. Autex Research Journal, 6(1):1-8.
- XİN, J.H., 2006. Nanotechnology for Textiles and Apparel. The Hong Kong Polytechnic University, Institute of Textiles&Clothing, [www.itc.gov.hk/innotech/IFT R&D Center Conference.pdf](http://www.itc.gov.hk/innotech/IFT_R&D_Center_Conference.pdf)
- YADAV, A., PRASAD, V., KATHE, A.A., RAJ, S., YADAV, D., SUNDARAMOORTHY, C., VIGNESHWARAN, N., 2006. Functional Finishing in Cotton Fabrics Using Zinc Oxide Nanoparticles. Bulletin of Materials Science, 29(6):641-645.
- YETGİN, S.H., 2007. Nanoteknoloji ve Nano Kompozitler. Sakarya Üniversitesi, Metal Eğitimi Bölümü, <http://web.sakarya.edu.tr/~hyetgin/Nano%20kompozitler.ppt#4>
- YILDIRIM, D., ÖKTEM, T., SEVENTEKİN, N., 2004. Nano Lifler. Tekstil ve Konfeksiyon, 14(1):7-10.
- www.mselisesi.com, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- www.nano.bilkent.edu.tr, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- www.nano-teknoloji.info, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- www.geleceginidunyasi.com, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- bloglar.drcetiner.com, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- yunus.hacettepe.edu.tr, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- www.emo.org.tr, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- www.teknoport.com.tr, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- www.kumasci.com, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
- www.kimyaevi.org, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.

nano.bilkent.edu.tr, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
arsiv.sabah.com.tr, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
www.nanolightray.com, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
www.yalindanismanlik.com, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
www.princeton.edu, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
www.soton.ac.uk, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
www.che.vt.edu, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
www.ocamac.ox.ac.uk, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
www.tut.fi, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.
linux.ifp.cnr.it, internet web sitesi, erişim tarihi:2007.

ÖZGEÇMİŞ

Şeyda Celep 1983 yılında Erzincan’da doğdu. Balıkesir’in Burhaniye ilçesinde bulunan Faruk Kızıklı İlkokulu’ndan 1994 yılında mezun oldu. Balıkesir’in Ayvalık ilçesinde bulunan Ayvalık Anadolu Lisesi’nin orta okul bölümünden 1998 yılında mezun oldu. Adana’da bulunan Kurttepe Anadolu Lisesi’nden 2001 yılında mezun oldu. Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümündeki eğitimine 2001 yılında başladı. Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Makineleri Anabilim Dalındaki yüksek lisans eğitimine 2005 yılında başladı.