

NANOTEKNOLOJİ VE TEKSTİL UYGULAMALARI

NANOTECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS IN TEXTILE INDUSTRY

Yrd. Doç. Dr. Esen ÖZDOĞAN
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Ar. Gör. Aslı DEMİR
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Necdet SEVENTEKİN
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Nanoteknoloji, cihazların ve sistemlerin şeklini ve boyutunu nano düzeyde tutarak yapıların tasarımı üretimi ve uygulaması şeklinde tanımlanabilmektedir. Nanoteknoloji, tekstil endüstrisi için de fırsat sunmaktadır. Tekstil sektöründe nanoteknolojinin mevcut uygulamaları arasında lifler, iplikler, kumaşlar, terbiye, elektronik tekstiller, lif modifikasyonu sayılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nano, nanoteknoloji, tekstil

ABSTRACT

Nanotechnology is the design, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at the nanoscale. Nanotechnology is an opportunity for the textile industry. Current Applications of nanotechnology in the textile industry include fibres, yarns, fabrics, finishing; dyeing and coating, electronic textiles, fibre modification.

Key Words: Nano, nanotechnology, textile

1. GİRİŞ

Nano kelimesi, Yunanca "cüce" anlamındaki "nanos" tan gelmekte olup, herhangi bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamındadır. Nanoyapılar uzunluk olarak bakıldığında yaklaşık 10-100 atomluk sistemlere (10^{-9} metre) karşılık gelmektedir.

İnsan saç teli çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaşılmaktadır. Bir başka deyişle, bir nanometre içine yan yana ancak 2-3 atom dizilebilmektedir; yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nanoölçeklerde bir nesneyi oluşturmaktadır. Nanoteknoloji de bu bağlamda 'çok küçük maddelerin teknolojisi' olmaktadır.

Bu boyutlarda sistemlerin fiziksel davranışlarında normal sistemlere kıyasla farklı özellikler gözlenmektedir. Nanobilim ve nanoteknoloji olarak nitelendirilen bu farklılıklar yaklaşık 10 yıldan beri sivil-askeri bilim ve teknoloji stratejilerini belirler hale gelmiştir. Nano teknoloji; maddenin atomik-moleküler boyutta mühendisliğinin yapılarak yepyeni özelliklerinin açığa çıkarılarak, na-

no boyuttaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir.

Nano teknoloji, her türlü nesnenin yapıtaşısı olan atomları, istenilen şekilde düzenleme şansına sahip olmayı ve her alanda, daha dayanıklı, daha hafif ve doğaya daha az zarar vererek üretim yapılmasını sağlayacak bir teknolojidir.

Malzemelerin özellikleri nano ölçekte, makroskopik ölçekten tamamen farklı olup nano-ölçeğe yaklaştıkça birçok yeni özellikler ortaya çıkmaktadır. Örneğin, 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.

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 mikroskop-

larını kullanarak yüzey üzerinde atomları iterek birbirlerinden ayırmak ve istenilen şekilde dizmek mümkün olmaktadır.

Bütün bu gelişmeler, 19. yüzyılda dünyayı yeniden şekillendiren sanayi devrimine eşdeğer bir bilimsel ve teknolojik devrim başlatmıştır. Bu şekilde atom ve moleküller ile oynayarak tek molekülden oluşan transistör ve elektronik aygıtlar gerçekleştirilmiştir. Dünyada birçok grubun aktif çalışmaları ile geliştirme çabaları sürmektedir. Tüm bu çalışmalar ve gelişmeler elektronik, kimya, fizik, malzeme bilimi, uzay ve sağlık bilimlerini ortak noktada buluşturmuştur. Önümüzdeki birkaç on yıl içerisinde nanoteknoloji sayesinde süper bilgisayarlara mikroskop altında bakılabileceği, insan vücudunun içinde hastalıklı dokuyu bulup iyileştiren, ameliyat yapan nanorobotlar bulunabileceği, insan beyninin kapasitesinin ek nanohafızalarla güçlendirilebileceği, kirliliği önleyen nanoparçacıklar sayesinde fabrikaların çevreyi çok daha az kirleteceği ifade edilmektedir. Ulusal güvenliği ilgilendiren konularda nano malzeme bilimi, yeni savunma sistemlerinin geliştirilmesinde, haber alma/gizlilik konula-

rina yönelik çok küçük boyutlarda aygıtların yapılmasında da kullanılabilir. Nanobilim ve nanoteknolojinin odak noktaları, kuantum etkileri gibi temel fizik araştırması içeren konuların yanında, atomik boyutlarda görüntüleme de deneysel yöntemlerin geliştirilmesi, Angstrom altı (10^{-10} metreden küçük) boyutlarda ölçüm yapabilme teknikleri, düşük boyutlarda eş tip malzeme üretilebilme, malzeme yapısını atomik boyutlarda kontrol edebilme, kızılötesi ve morötesi radyasyonlara karşı tepkisi kontrol edilebilir malzeme ve özel amaçla yönelik aygıt geliştirme yöntemleridir (1,2).

2. TARİHÇE

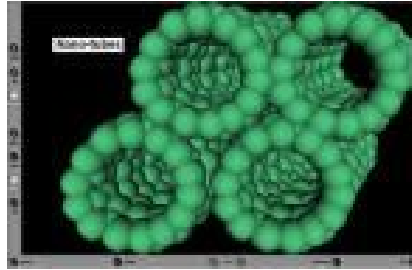
Nanoyapıların olağanüstü özellikleri çok öncelerden tahmin edilmekteydi. 1960'lı yıllarda, **Feynman** nanoyapıların bu yönünü vurgulayarak bilim adamlarının dikkatlerini nanometre boyutlarına çekmek için çaba göstermiştir. Aynı tarihlerde, kimyacılar da mikroelektronik sanayiine seçenek oluşturmak üzere moleküllerden transistör yapmayı önermişlerdir. Moleküler transistör yapımının başarılması, Bell Laboratuvarları'nda 1940'lı yıllarda Shockley, Bardeen ve Brattain tarafından yapılan ve bir yumruk büyüklüğünde olan katı hal transistörün boyutunun, yaklaşık yüzmilyonda bir küçülmesi anlamına gelmekteydi. Ancak, moleküler transistörlerin birbirlerine iletken tellerle bağlanmaları ve bu transistörlerden bütünlük devre yapılması, çözümü zor problemleri de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle silisyum mikroelektronik teknolojisi hâlâ egemenliğini sürdürebilmektedir.

1980'li yıllarda peşpeşe gelen Nobel Fizik Ödüllerine konu olan çeşitli bilimsel çalışmalar hem nanometre ölçeklerinde saklı yeni davranışları ortaya çıkarmış, hem de atomu görüp onu istediğimiz yere taşıyabilmemize olanak sağlamıştır.

1981 yılında IBM tarafından yeni bir mikroskop türü "**Scanning Tunneling Microscope**" (STM) geliştirilmiş ve geliştirmede pay sahibi olan araştırmacılar bu buluşları ile 1986'da Nobel Fizik ödülünü almışlardır. Aynı zaman-

larda STM mikroskopunun bir türevi olan "**Atomic Force Microscope**" (AFM) geliştirilmiştir. **Feynman**'ın bahsetmiş olduğu scanning electron microscope, atomic force microscope, near field microscope vb. gibi cihazların 1980'lerde geliştirilmesi ve eşzamanlı olarak gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano ölçeğinde ölçüm ve modelleme yapılması da mümkün olmuştur.

1990'ların başında Rice Üniversitesinde **Richard Smalley** öncülüğündeki araştırmacılar 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen futbol topu şeklindeki "**fullerene**" molekülleri geliştirmişlerdir. 1 nanometre büyüklüğünde ve çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen bu molekül yapısı ile 1996 yılında Nobel Kimya ödülünü almışlardır. 1991 yılında Japon NEC firması araştırmacılarından **Sumio Iijima**'nın, karbon nano tüpleri bulduğu belirtilmiştir. Karbon nano tüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş bir şekli olup, çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6'da 1'i kadardır.



Şekil 1. Karbon nano tüp

90'larda Feynman'in fikirleri **Eric Drexler** tarafından yazılan "Engines of Creation" adlı kitapta geliştirilmiştir. Drexler'in fikirleri şüpheyle karşılan-

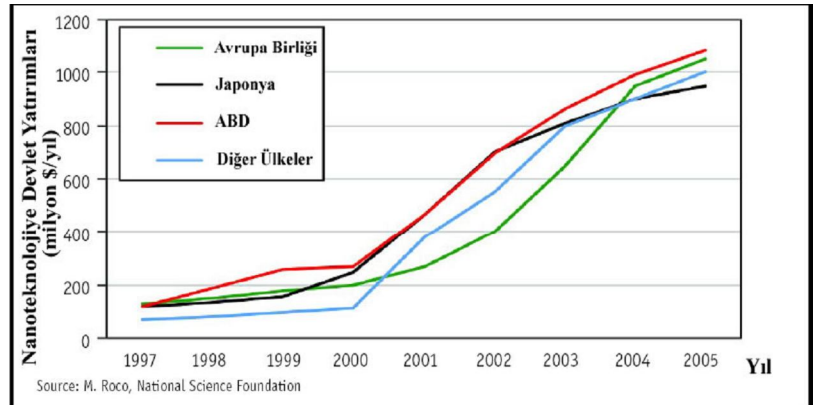
masına karşın, 1992 yılında yayınlanmış olduğu "Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation" kitabında genel kavram ve düşüncelerini detaylı analiz ve tasarımlar ile ayrıntılı olarak anlatmıştır.

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 Programına nanoteknoloji çalışmalarını öncelikli alan olarak dahil etmiştir. Japonya, Tayvan, Singapur, Çin, İsrail, İsviçre, Norveç, İrlanda ve Rusya benzer programlar başlatarak 21. yüzyılın ilk küresel teknoloji yarışında önlere yer almak için çalışmalarına hız vermişlerdir.

Dünyada nanoteknoloji alanında büyük yatırımlar bulunmaktadır. Amerika Bileşik Devletleri'nde Cornell, Harvard, Pennsylvania, Stanford, California, North Carolina, Michigan, Minnesota, New Mexico, Texas, Washington ve Northwestern Üniversitelerinde bulunan nanoteknoloji merkezlerinde çalışmalar devam etmektedir. ABD nanoteknolojiden 2015 yılında yaklaşık 3 trilyon dolar gelir elde etmeyi hedeflemektedir.

Dünyada IBM, Fujitsu, Intel gibi şirketler nano teknolojinin araştırma ve geliştirmesi üzerinde milyonlarca dolar harcamaktadır.

Şekil 3'de, Dünyada nanoteknoloji alanında yapılan devlet yatırımlarının özel-



Şekil 2. Nanoteknoloji Devlet Yatırımları (1)

likle gelişmiş ülkelerde artarak devam ettiği görülmektedir. Türkiye'de ise şu anki bütçe 30 milyon YTL'dir. (4 milyon YTL'si Bilkent Üniversitesi, 11 milyon YTL si Devlet Planlama Teşkilatı geriye kalan 15 milyon YTL'de proje karşılığı olarak dağılmaktadır.) Bilkent Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı bu konuda oldukça önemli çalışmalar yürütmektedir.

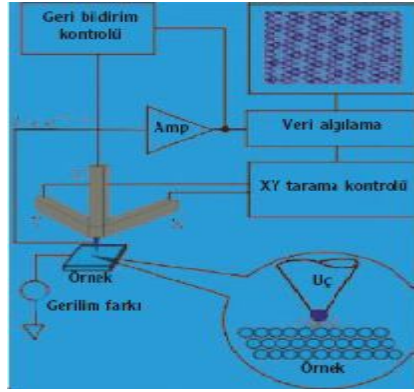
Tablo 1. Dünya Nanoteknoloji Yatırımları

Ülkeler	2003 nanoteknoloji destekleri (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

3. NANOMATERYALLER VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Daha küçük boyutlarda araştırma çalışmalarına başlanmasıyla birlikte yapı-

lan çalışmaları izlemek zorlaşmıştır. Önce taramalı tünelleme mikroskopunun (STM) daha sonra atomik kuvvet mikroskopunun (AFM) keşfi, yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesine, atomsal düzeyde tepkimelerin izlenmesine olanak tanımıştır. **Dr. Eigler** yüzeyde bulunan bir atomun STM ucuyla başka bir yere nasıl taşınabileceğini, yüzeyle uç arasında atomun isteğe bağlı olarak hareket ettirilerek nasıl akım şiddetini ayarlayan atom-anahtar yapılabileceğini göstermiştir. Böylece 20. yüzyılın son çeyreğinde, doğada bulunmayan yeni nanoyapıların atomsal düzeyde tasarlanarak sentezlenmesi devri başlamıştır.



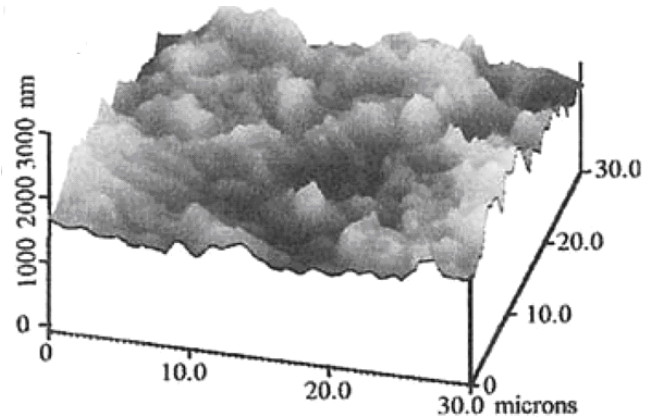
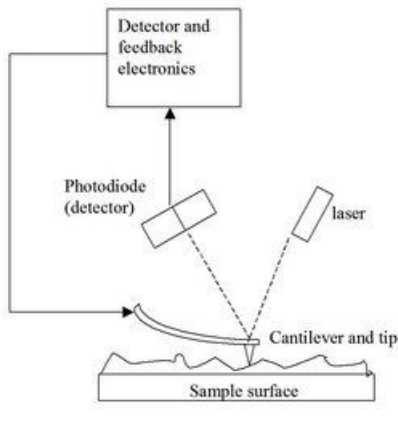
Şekil 3. Scanning Tunneling Microscope (STM) mikroskopunun çalışma prensibi ve incelenen yüzey görünümü (3)

Tünelleme mikroskopunun çalışma ilkesi, çok önemli diğer buluşlar gibi aslında oldukça basittir. En uç kısmında tek atom kalacak kadar sivriltilmiş bir

metal iğne yüzeye yaklaşmakta, iğne yüzeye 0,3-0,4 nm kadar yaklaştığında iğneden elektronlar (iğne yüzeye değmediği halde) atlamaya başlamaktadır. Tünelleme denen bu olayda, geçen akım, yani birim zamanda iğneden yüzeye akan elektron sayısı, iğneyle yüzey arası uzaklığın üstel bir fonksiyonudur.

STM'lerin tek kusuru, yalnızca iletken ve yarıiletken yüzeylerde atomları görüntüleyebilmesi idi. Yalıtkanlarda çalışmıyordu. 1986'da **Binnig** ucunda tek atom olan iğneyle yüzey atomları arasındaki kuvveti ölçebilecek kadar duyarlı bir cihaz olan atomik kuvvet mikroskopunu (AFM) geliştirmiştir. Atomlar arası kuvvetler, kimyasal bağların oluşmasını sağlamaktadır. Eğer iki atomu birbirine yaklaştırırsak (örneğin iki oksijen atomu) birbirleri arasında bir çekim kuvveti oluşmakta ve bir süre sonra oksijen molekülü ortaya çıkmaktadır. Atomlararası kuvvetler hep çekici değildir. Eğer aynı oksijen molekülünü alıp, oksijen atomlarını birbirine doğru yaklaştırmaya çalışılırsa, bu defa birbirlerini itmeye başlayacaklardır. AFM'de ölçülen kuvvetler pico-Newton ile nano-Newton düzeyindedir.

AFM'nin başarısı, başka mikroskop çeşitlerinin doğmasına yol açmıştır. Manyetik kuvvetleri ölçen manyetik kuvvet mikroskopu (MKM), sürtünme kuvvetlerini ölçen sürtünme kuvveti mikroskopu (SKM), optik mikroskopların çözünürlüğünü 10 kat artıran yakın alan optik mikroskopu (YAOM), yüzey sı-



Şekil 4. Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM) ve AFM altındaki yüzey görünümü (4)

caklık mikroskopu (YSM) ve yüzeyin manyetik alan haritasını çıkaran taramalı Hall aygıtı mikroskobu (THAM) benzer yöntemler kullanılarak geliştirilmişlerdir. Bir uçla yüzey arasındaki fiziksel etkileşimi ölçtükleri için bu mikroskop ailesine "Taramalı Uç Mikroskopları (TUM)" adı verilmiştir.

TUM ailesinin üyelerinden birisi olan taramalı Hall aygıtı mikroskopu (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.

TUM mikroskoplar 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 kılmaktadır (5, 1, 6).

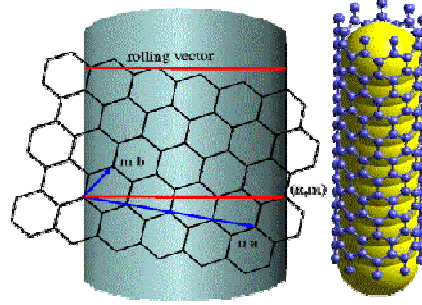
4. KARBON NANOTÜPLER

Karbonun tüp şeklinde yapı oluşturabileceği ilk defa 1991 yılında Iijima tarafından deneysel olarak farkedilmiştir. Grafitten "arc discharge" buharlaştırma yöntemiyle elde edilen tüpler, grafit plakasının kıvrılarak silindirik şekline gelmesiyle içi boş boru halini almaktadır. Farklı çap ve boyda olabilen bu yapıların uçları da açık veya kapalı, duvarları tek ya da iç içe geçmiş silindirik halinde idi. Grafit plakasının kıvrılma yönüne göre nanotüpler değişik mekanik ve elektronik özellikler göstermektedir. 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 özelliğini taşıdığı açık bir şekilde görülebilmektedir. Hasarsız bir karbon nanotüp, kendi ağırlığının 300 milyon katı

bir ağırlığa dayanabilecek sağlamlıkta olup bu sağlamlıkta başka bir malzeme bulunmamaktadır.

Nanotüp yapıda, grafit plakalarında olduğu gibi sadece altıgen şekiller bulunmaktadır. Yapı, eğer tüpün uç kısmına gelen kısım altıgenin kenarı ise "sandalye kolu", köşesi ise "zikkaz" olarak adlandırılmaktadır. Sandalye kolu modeli metal özelliği gösterirken, zikkaz modeli yarı iletken özelliğindedir. Ancak zikkaz model, tüpün çevresindeki altıgen sayısının 3'ün katları olması durumunda metal özelliği göstermektedir.

Karbon nanotüplerin çapları nanometre, boyları mikrometre düzeyinde olabilmektedir. Nanotüplerin çapları şimdiye kadar üretilebilen en ileri yarı iletken aygıtlarınkinden çok daha küçüktür. Karbon nanotüplerin yarı iletken teknolojisinde kullanılmaya başlaması ile yarı iletken fiziğinde çok büyük bir atılım yaratacağı düşünülmektedir. Tüpün geometrisine (çapına ve silindirik yüzeyinin kıvrılma yönüne) bağlı olarak nanotüpler metal veya yarı iletkenlik özelliği gösterebilmektedir. Yarı iletken nanotüplerin yasak enerji aralığı ("band gap") 1 ile 0 eV arasında değiştirilebilmektedir.



Şekil 5. Karbon nano tüpler (8)

Karbon nanotüplerin yapısı grafitte benzerdir. İdeal durumda, bir karbon nanotüp tek katmandan oluşabileceği gibi çok katmanlı silindirik grafit tabakasından da oluşabilmektedir. Çok katmanlı karbon nanotüplerde katmanlar arasındaki mesafe 0.34-0.36 nm civarındadır. Karbon-karbon bağları 0.14 nm uzunluğunda olup bunlar elmastaki bağlardan daha kısadır. Bu durum, na-

notüpün elmastan daha güçlü bir malzeme olduğunu göstermektedir. Hiç bir 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.

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.

Karbon nanotüpler genellikle küre şeklinde bir kafes yapısına sahiptir. Bu yapı karbon atomlarının beşgen ve altıgen yüzeyler oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. 20 atomdan başlayarak 1.000'lerle ifade edilecek atom sayısına sahip karbon nanotüpler, bu atom sayısına bağlı olarak farklı büyüklükler göstermektedir. Karbon nanotüplerden oluşmuş kristal yapılar da söz konusudur. Bunlar genellikle küp şeklindedir. Özellikle C₆₀ ve C₇₀'den oluşturulmuş kristal yapıların fiziksel özellikleri iyi bilinmektedir. Ayrıca nanotüplerden yapılan kristaller başka atomlar ilave edilerek farklı özelliklerde yeni malzemeler (özellikle süper iletken malzemeler) üretilebilmektedir (6,9).

5. NANOTEKNOLOJİNİN KULLANIM ALANLARI

Nanometre ölçeklerinde malzemelerin sahip oldukları üstün fiziksel özellikleri kullanarak çeşitli alanlarda (bilgi işlem ve iletişim, elektronik, biyoteknoloji, farmakoloji, tıp, savunma, tekstil, makina ve inşaat sanayileri vb. gibi) teknolojik devrim niteliğinde yeni ürünler elde edilebilmektedir. Nanoteknolojinin kullanım alanları aşağıdaki şemada gösterilmektedir.

Teknolojide pazar beklentileri birbirinden farklılıklar göstermektedir:

- Artan iletişim olanakları çok küçük, fakat yüksek kapasiteli ve "cüzdan" gibi taşınabilir bilgisayarların kişilerin kullanımına sunulmasına olanak hazırlamaktadır.



Şekil 6. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları (7)

- Yerel gen ve ilaç tedavileri, bazı organların ve kemiklerin tamiri, protein motorları gibi biyoteknolojik uygulamalar olağanüstü özellikler gösteren nano-yapılara talep doğurmuştur.
- Savunma sanayiinde, biyolojik, kimyasal ve nükleer silahlara karşı mikrosensörler, süper mukavim malzemeler, kompozit kumaşlar.
- Kuantum kriptoloji, kuantum bilgi işleme.
- Hava tahmini, yaygın ekonomik modellemeler, stratejik ve savunma planları, araba çarpışma testleri gibi çok parametrelili ve çok kompleks problemlerin hassas çözümleri süper bilgisayarların kullanımını gerektirmektedir. Aygıtların güçlerek yüksek operasyon hızlarına erişebileceği beklenmektedir.

5.1. Malzeme ve İmalat Sektörü

Malzemelerin atomik ve moleküler boyutlardan başlayarak inşa edilmesi, konvansiyonel metodlar 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 getirmektedir. Benzersiz ve alışılmamış özellikleri ile nano tüpler ve kaplama malzemeleri imalat yöntem ve teknik-

lerinin gelişmesine olanak sağlayacaktır.

5.2. Elektronik ve Bilgisayar Teknolojileri

Elektronik araçların nanometre ölçeklerinde elde edilmesi ile halen kullanılan sistemlerin işlem güçleri ve kapasiteleri bir kaç kat artacaktır. Nano teknolojilerin kullanım alanlarından biri olarak önerilen kuantum bilgisayarların geliştirilmesi ile günümüzün en modern bilgisayarları olan Pentium bilgisayarları ile kıyaslanamayacak seviyelerde işlem gücü elde etmek mümkün olacaktır. Bunlara ek olarak elektronik araçlar için geliştirilen sensör, gösterge sistemleri ve sinyal iletimi alanlarında ciddi ilerlemeler kaydedilecektir

5.3. 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.

5.4. Havacılık ve Uzay Araştırmaları

Havacılık ve uzay araçları çok maliyetli teknolojilerdir. Bu araçların imalatı sı-

rasında kullanılan malzemelerin ağırlığı, maliyetlerin artışında çok önemli bir yer tutmaktadır. Nano teknoloji 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 düşürülebilecektir.

5.5. Çevre ve Enerji

Nano malzemelerin ve nano kompozitlerin fosil yakıt endüstrilerinin verimliliğini geliştirme potansiyeli bulunmaktadır. Nano kompozitlerin yaygın olarak kullanılması ile daha yüksek verimliliğe sahip motorların ve dolayısı ile daha temiz, çevre dostu ulaşım sistemlerinin kurulması mümkün olacaktır.

5.6. Biyoteknoloji ve Tarım

Tıp ve sağlık sektörlerinde uygulanabilecek teknolojilerin genişletilmesi ile biyoteknoloji, ilaç ve tarım sektörleri de ürünlerinde bu teknolojileri uygulayacaktır. 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.

5.7. Savunma Sektörü

Nano teknoloji askeri uygulamalar konusunda birçok alanda potansiyel vad etmektedir. Geliştirilmiş elektronik savaş kapasitesi, daha iyi silah sistemleri, geliştirilmiş kamuflaj ve akıllı sistemler bir çok Ar-Ge çalışmasının gerçekleştirildiği alanlardır.

(devam edecek)

DİKKAT BİR SONRAKİ SAYIDA DEVAM EDECEK

6. NANOTEKNOLOJİ VE TEKSTİL

Nanoteknoloji tekstil sektörüne de girmiş ve pek çok alanda, bununla ilgili olarak çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Nano materyaller bir, iki veya üç boyutlu olabilmektedirler. Tek boyutlu nanomateryaller, çok ince yüzey filmleri veya kaplamaları (2-3 nm - < 100nm arasında değişebilmektedir) alanında kullanılabilirler. İki boyutlu nanomateryaller, nanolif veya karbon nanotüpleri kapsamaktadır. Havacılık, uzay gemileri, otomobil endüstrisi ve balistik tekstillerde kullanımı için son derece yüksek mukavemete sahip nanokompozit üretiminde kullanılmaktadır. Üç boyutlu yapıdaki nano materyaller yumuşatma, antimikrobiyal, yağ ve kir iticilik bitim işlemleri, güç tutuşurluk gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Ayrıca, polimer içinde mikrokapsül olarak da farklı uygulamalarda kullanılabilirler.

Titanyumdioksit, alüminyum oksit, çinko oksit ve magnezyum oksitin sentetik lifler içine ilave edilmesiyle fotokatalitik etki, UV absorblama, elektriksel iletkenlik ve fotooksidasyon etkilerine sahiptirler. 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.

Örneğin, titanyum dioksidin bu şekilde lifler içerisine ilave edilmesiyle güneş ışığı veya UV ışık altında lekeleri uzaklaştırma amaçlı da kullanılabilirler. Dolgu materyali olarak ZnO kullanılan naylon liflerinin etkili bir UV koruma yanında antistatik özellik de kazandığı ifade edilmektedir. Bu durum kir iticilik işlemlerinde de avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. TiO₂/MgO nanopartikülleri ile üretilen kompozit lifler kendi kendini sterilize etme özelliğine sahiptir (11).

Nanopartiküller aynı zamanda daha büyük boyuttaki partiküllere göre daha büyük yüzey alanı kazandırmaktadırlar. TiO₂ ve MgO gibi nanopartiküller, lif çekimi sırasında, life elektrostatik yöntem veya spreyleme yöntemine göre uygulanmaktadır.

Nanoteknolojinin tekstilde diğer bir uygulama alanı da güç tutuşurluktur. Nanopartikül formundaki güç tutuşurluk maddeleri naylon 6.6. liflerine uygulandığında güç tutuşurluğu önemli ölçüde arttırdığı ifade edilmektedir. Örneğin naylon 6.6 filmlerine fonksiyonel nanokil ilave edildiğinde, ısı açığa çıkarma oranının düştüğü ve kömür oluşumunu desteklediği görülmüştür. Fosfor esaslı bileşiklerle kombinasyon halinde uygulandığında ise, yine kömür oluşumunun desteklendiği görülmüştür (9).

Nanopartiküller, tekstiller üzerindeki koku, antifungal ve biyosidlerin kontrollü salınımı amacıyla da kullanılmaktadır. Ciba Specialty Chemicals (CSC) bu amaçla antimikrobiyal nanokapsülleri ile lifleri modifiye ederek bakteri gelişimini önlediğini ifade etmektedir. Benzer teknoloji, kokuları absorblamada da kullanılmaktadır.

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.

Zylon (poly(p-phenylene-2,6-benzobisoxazole) (PBO) bilinen en güçlü liftir. Bu liflerin yapılarına % 10 karbon

nanotüplerin ilave edilmesiyle mukavemetlerinin % 50 oranında daha arttırılabildiği belirtilmektedir (10).

Japon Kanebo Spinning Corp. Firması, normal poliesterden 30 kat daha fazla nem absorblama kapasitesine sahip poliester 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 taraftan üretilen nano incelikte naylon iplikleri de üstün nem absorblama özelliğine sahiptir.

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 (5).

Nanoteknoloji sadece çeşitli liflerin yapımında değil aynı zamanda kimyasal bitim işlemlerinde de kullanılmaktadır. Nano boyutta üretilen emülgatörler sayesinde daha düzgün ve hassas bir şekilde aplikasyon yapılabilirler. Kir iticilik, hidrofilik, antistatik özellik, buruşmazlık ve çekmezlik gibi çok çeşitli gelişmiş performans özellikleri kazandırılabilirler.

Nanoteknolojinin buruşmazlık bitim işlemlerinde kullanımı ile kumaşlar 10 nm boyutundaki küçük partiküllerle işleme sokulmakta, bu küçük partiküller selüloza bağlanmakta böylece sıvıların içeri girişine izin vermemektedir. Bu kavram lotus efektine de benzerdir. Lotus-etkisi, birçok bitkide görülebilmekte ve mikro yapıdaki hidrofob yüzeylere bağlı olmaktadır. Pürüzsüz yüzeylerde temas açısı 110° iken, mikron çapındaki pürüzlülük 170° temas açısı ile süper hidrofobluğa ulaşmaktadır. Bu tür durumlarda suyun adhezyonu için gerekli alan minimize olmakta ve damla ile her bir mum kristali arasında hava hapsolmektedir. Bu durum partiküller için de geçerlidir. Par-

tikül ve pürüzlü yüzey arasındaki temas alanı minimize olmakta ve yaprak yüzeyi üzerinde yuvarlanan su damlasına partiküller tutunabilmektedir. Büyüklük ve kimyasal yapıdan bağımsız olarak partiküller süper hidrofob yüzey üzerinden az miktardaki yağmur ile uzaklaştırılabilmektedir. Yüzey bu işlem sayesinde nanopartiküllerle çok küçük düzeyde pürüzlü hale gelmektedir. Nanopartiküllerle işlem sonrası uygulanan kondenzasyon ile bu etkinin daha kalıcı olduğu belirtilmektedir (4,9).

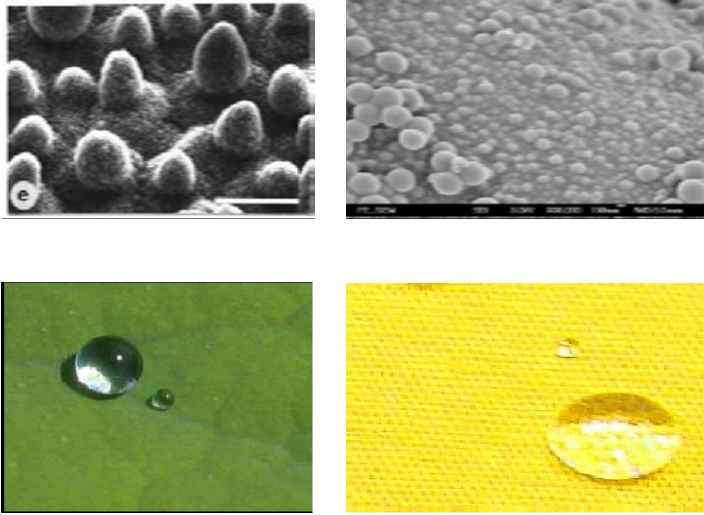
Silikon esaslı yumuşatıcılar, makro ve mikro emülsiyon halinde kumaşlara uzun yıllardır uygulanmaktadır. Makro-emülsiyonlar 150 nm ve altındaki, mikro emülsiyonlar ise 50-150 nm ara-

emülsiyete etme özelliğindedir. Emülsiyete edici madde yumuşatıcının polisiloksan zincirine kovalent bağla bağlanmaktadır. Ayrıca kumaşın iç kısımlarına kadar nüfuz edebilmekte ve çok daha iyi yumuşaklık hissi vermektedir (9, 13).

Nano boyuttaki kristalin piezoseramik partiküller ile işleme tabi tutulan kumaşlar bir materyal sensör haline dönüştürülebilmektedir. Piezoseramik partiküller mekanik kuvvetleri elektriksel sinyallere dönüştürmektedir. Eğer bu tür kumaşlar cilde yakın giysi yapımında kullanılırsa kullanıcının kalp ritmi ve atışları gibi vücut fonksiyonları

kendini tamir edebilme/onarabilme şeklinde karşımıza çıkmaktadır (11).

Klasik kaplama teknolojisinden tamamen farklı yeni bir teknoloji de "Nano kaplamalar"dır. Nano kaplamalar, kimyasal moleküllerin materyal üzerinde nanometre kalınlığında ve kendi kendine bir araya gelebilen mono tabakalardan oluşmaktadır. Her biri nanometre kalınlığında olan tabakaların sayısı istenildiği kadar artırılabilir. Kaplama kalınlığı yanında düzgünlük ve yoğunlukları 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 gösterecek ve zıt yükteki istenen kimyasal maddeler elektrostatik kuvvetlerle applike edilebilecektir. Ön işlem olarak plazma, iyon implantasyonu ve kimyasal işlemler kullanılabilir. Polielektrolitler ve nanopartiküller, farklı fonksiyonel özellikler kazandırmada en üst tabakada kullanılmaktadır. Nano kaplamalar konusunda seramik indiyum kalay oksit kullanılarak multi spektral kamuşaj materyalleri kullanımı üzerine çalışmalar devam etmektedir (11).



Şekil 7. Lotus efekti



Şekil 8. Nanoliflerin mikroskop altındaki görünüşleri

lığındaki partiküllerden oluşmaktadır. Yeni jenerasyon nanopartikül boyutundaki silikon yumuşatıcılar da günümüzde pazara sunulmuştur. Sandoperm SE1 maddesi (Clariant) kendi kendisini

rahatlıkla gözlemlenebilecektir (8).

Diğer yandan nanoteknoloji uygulamaları akıllı tekstiller alanında da kendi kendini temizleyebilme ve yine kendi

Nanoliflerin üretimi ile ilgili araştırmalar yaklaşık 20 yıldır devam etmektedir. Bu alanda en çok giyimde kullanılmak üzere geliştirilmiş bariyer kumaşları araştıran U.S. Army Natick Soldier Center çalışmaktadır. Natick son olarak çeşitli nonwoven kumaşların yüzeyindeki küçük miktardaki nanoliflerin su tutma özelliklerini büyük ölçüde arttırdığını ve su temas açısını düşürdüğünü bildirmiştir. Hava direnci ve nefes alabilirlik gibi diğer özellikler de nonwoven kumaşların yüzeylerinde nanolifler kullanıldığında büyük çapta iyileştirme göstermektedir. Uygulama

alanları aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

- Koruyucu kask ya da yelek için dokunmuş ya da örülmüş ürünler
- Çok hassas sensörler
- Nano elektronikler
- Aşınma, biyolojik ve kimyasal dayanımlı dokusuz yüzeyler
- Mikro seviyede dokunmuş penetrasyon engelleyici kumaşlar
- Kumaş mühendisliği için üç boyutlu görünüme sahip materyaller
- Bitkilere böcek zehiri uygulamalarına filtre olarak
- Kompozitlerde kuvvetlendirmek amacıyla kullanılabilir
- Polimer filament içeren ayrıştırma membranları

Kontrollü değişkenler

-Voltaj/elektrik alan/yük yoğunlu

-Kapılar içindeki hidrostatik basınç

-Besleme miktarı

- Yapay organlar

6.2. Nano Lif Üretimi

Eriyikten lif çekimi, kuru ve yaş lif çekimi gibi konvansiyonel lif üretim teknikleri mekanik kuvvetlerle eriğin ya da çözeltinin bir düzeden geçirilmesini sağlama ve daha sonra katılaştırılması esasına dayanmaktadır. Ancak konvansiyonel lif üretim yöntemlerinde kullanılan düze çaplarının nano liflerin üretiminde kullanılabilecek kadar küçültülmesinin imkânsız olması nedeniyle bu yöntemlerle nano liflerin üretilmesi mümkün olmamaktadır. Nano liflerin üretimleri temel olarak iki gruba ayrılmaktadır:

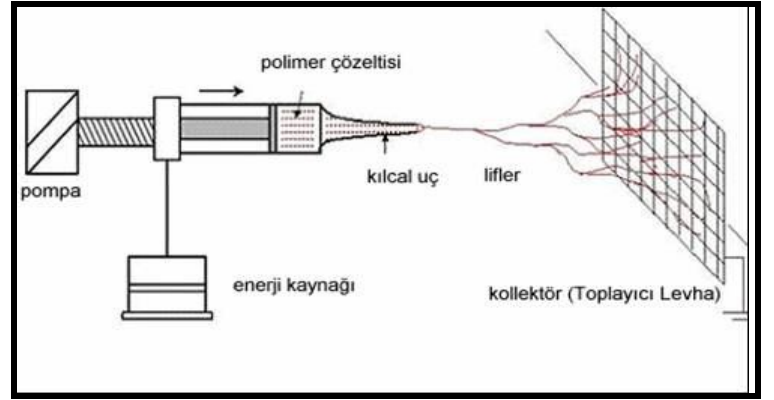
6.2.1.

Konvansiyon

süreklilik taşımadığı için istenilen özellikleri taşıyamamaktadır.

6.2.2. Elektrostatik yöntemlerle lif üretimi

Nanolif üretim yöntemleri arasında elektrostatik yöntemle elde edilen lifler istenilen tüm özellikleri sağlayabilmektedir. Bu yöntemde, polimer çözeltisi veya lif eriğinden lif eldesi için elektrostatik kuvvet kullanılmaktadır.



Şekil 10. Elektrospinning Üretimi (14)

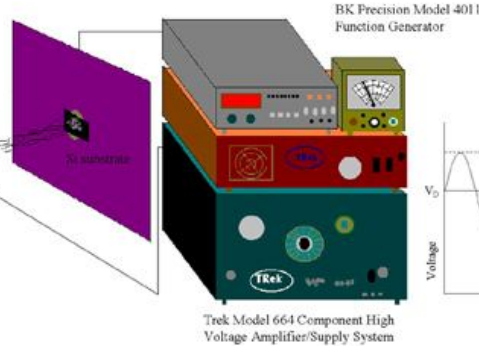
Çözelti özellikleri

- Konsantrasyon/viskozite
- Dielektrik özellikler
- Yüzey gerilimi



Şırınga

Elektrospinning Yöntemi



Kontrollü değişkenler

- Voltaj/elektrik alan/yük yoğunlu
- Kapılar içindeki hidrostatik basınç
- Besleme miktarı

Ortam parametreleri

- Sıcaklık
- Nem
- Hava akımı

Şekil 9. Elektrospinning yöntemi ile lif çekimi

Özellikle askeri alanda nano lifler tene yapışıp ikinci bir ten vazifesi yapacak şekilde tasarlanmıştır. 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.

el yöntemlerde düze modifikasyonlarıyla lif üretimi

Konvansiyonel yöntemlerde düze içerisinden bikomponent lifler geçirilmekte ve bu lif karışımları daha sonra ayrılmaktadır. Ancak bu yöntemlerle üretilen nano liflerin inceliği üniform olmamakta ve enine kesit görünüşleri de

1934 yılında Formhals tarafından, elektrostatik kuvvetler kullanılmak suretiyle polimerlerden filament lif üretilmesi işleminin patenti alınmış ve kullanılan bu yöntem "elektrospinning" olarak tanımlanmıştır

5 kV ile 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 ışını şeklinde topraklanmış yüzeyde biriken lifler ise sürekli olarak çekilmektedir. Böylece elektrospinning yöntemi, polimerlerin önce çok yüksek voltajlı elektrik akımı ile yüklenmesi daha sonra bir düzeden topraklı bir plakaya doğru akması esnasında katılaşması ve lif halini alması şeklinde özetlenebilmektedir.

Elde edilecek life ait polimer sıvısı ile doldurulmuş kılcal boru sistemine bir elektrod yardımı ile yüksek voltaj uygulanmakta ve lifler bu yüksek voltajlı elektriksel alanda üretilmektedir. Polimer çözeltisi veya eriyiği içinde piston olan bir şırınga içerisine doldurulmaktadır. Şırınganın ucu paslanmaz çelikten yapılmıştır ve elektrod görevi görmektedir. Karşıt elektrod olan metal plaka bu kılcal borunun altına yerleştirilmiştir.

Bu kılcal boru ucu ile elektrod arasına yüksek voltaj uygulanmaktadır. Kontrollü hız altında şırınga içindeki piston bir motor ile tahrik edilerek hareket ettirililmektedir.

Polimer çözeltisinin bir damlası şırınga ucundan çıkmakta ve sıvı yüzey gerilimi sayesinde damlamadan bir süre için asılı kalmaktadır. Eğer voltaj bir eşik değeri geçerse elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimini aşmakta ve çözeltiden damlanın uzaklaşmasına neden olmaktadır. Elektriksel alanın kuvveti arttıkça sıvının yarım küre şeklindeki yüzeyi konik şekil oluşturacak şekilde uzamaktadır. Buna "Taylor koni" adı verilmektedir.

Böylece karşı elektroda doğru hareket başlamaktadır. Bu fıskırmakta olan damlaya "jet" denilmektedir. Bu jet (yüksüz) içerisindeki çözgen karşı elektroda hareket esnasında buharlaşmakta ve katı halde lifler oluşmaktadır. Bunlar yüksek oranda çekilmiş ve metal plaka üzerinde toplanmadan önce yaptığı rasgele hareket sırasında

incelmişlerdir. Lifler, karşı elektrodun üzerinde veya bu elektrod üstüne yerleştirilmiş olan bir materyal üzerinde toplanmaktadır. Bu şekilde çapları 5 nm'den başlayan lifler elde edilebilmektedir (7, 11, 12,14).

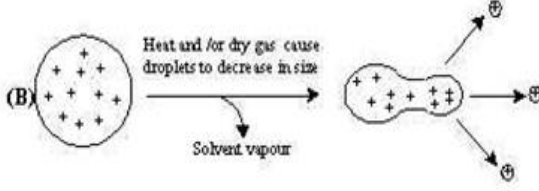
Elektrospinning yöntemi ile üretilen tülbentlerde, liflerin küçük çaplı olması sebebiyle, nanolif tülbentinin kalınlığı da oldukça küçüktür ve yaklaşık olarak 1 mikron civarındadır. Bu ince tülbentlerin düşük mekaniksel özellikleri, kullanımlarını sınırlamakta, bunun sonucu olarak da nanolif tülbentleri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

Nanolifler cam, poliester, poliamid ve selüloz gibi çok değişik materyallerin üzerine filtrasyon amacı ile uygulanabilmektedir.

Nanolifler yüksek mekaniksel özelliklere ve iyi esnekliğe sahiptir. Çapı 3-5 nm olan liflerin üretilebilirliğinden bahsediliyorsa da, 50 nm çapından daha düşük çapa sahip lifler üniform olmayan bir yapıya sahip olmaktadır. İnce çapa sahip liflerde, çözgenin buharlaşması ve jet stabilitesinin sağlanamaması, üzerinde çalışılması gereken konulardır.

Tekstilde uygulamalara örnek olarak aşağıdaki uygulamalar da ilave edilebilmektedir:

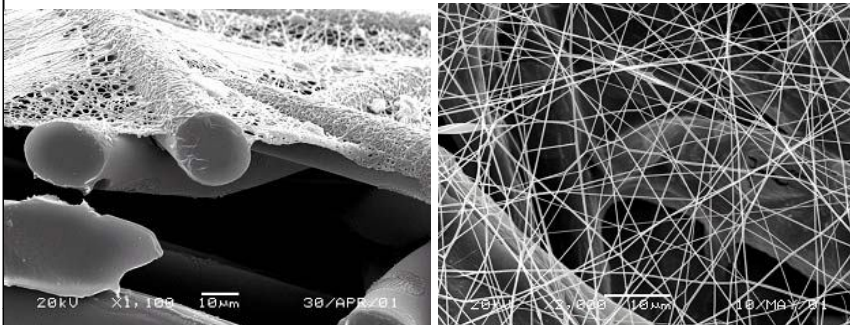
- Oto döşemelikleri
- Vinil esaslı kaplamalar
- Çadır,branda kaplamaları
- UV dayanımlı günlük giysiler
- Askeri amaçlı smart tekstiller
- Antimikrobiyal kaplamalar
- Hidrofilik poliester ve poliamid kumaşlar(Nano dry)
- Doğal lif tutumuna sahip, nefes alabilen, antistatik sentetikler (Nanotouch)
- Kalıcı (En az 30 yıkama)su-kir-yağ itici nefes alabilen kumaşlar (Nanopel)



Şekil 11. Taylor koni oluşumu

Tablo 2. Kullanılan polimerler ve çözücüler (12)

Polimer Sınıfı	Polimerler	Çözücü
Yüksek performans polimerleri	Poliimidler	Fenol
Sıvı kristalin bölgeye sahip polimerler	Poliamik asit	m-Kresol
Kopolimerler	Poliamid 6 - Poliimid	Formik asit
İletken polimerler	Polianilin	Sülfirik asit
Biyopolimerler	Polihidroksibütirat-valerat	Kloroform



Şekil 12. Hava filtrasyonu için WETLAID selüloz materyalleri üzerine uygulanan nanolifler

- Yüksek buruşmazlık dayanımı, çekmez, su-kir-itici pamuklu, keten kumaşlar (Nano-Care)[4]

SONUÇ

Nanoteknoloji atomik-moleküler boyuttaki bir maddenin yeni özelliklerinin açığa çıkarılmasıdır. Nano boyutlara inildiğinde madde makro-boyutlardan çok daha farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazanmaktadır. Nanosistemlerin fabrikasyonu, karakterizasyonu ile daha önce varlığı bilinmeyen çeşitli fonksiyonlar ortaya çıkartılmakta bunların verimli bir şekilde insanlığın kullanımına sunulması ile de hayat

standartlarında önemli ilerlemeler kaydedilmektedir.

Nano seviyelerde görüntüleme, mekanik kuvvetler uygulayabilme ve mekanik özellik tayini, nanosaniyelerde başlayıp biten çeşitli işlemlerin yakalanabilmesi ve izlenmesi, nano-ölçeklerde kimyasal analiz gibi analitik inceleme tekniklerindeki ilerlemeler, beraberinde nanoteknoloji bilimini mühendisliğe ve oradan da uygulamalara ulaştırmış ve sensörlerde, hafıza elemanlarında, tıpta etkili yeni cihazların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Bu yeni bilim alanı, tıptan havacılık ve uzay alanına kadar çok geniş bir yelpa-

zede atomal büyüklükte cihazlar ve makineler üretilmesini sağlayabilmektedir.

Benzer şekilde nanoteknoloji tekstil sektörüne de girmiş ve pek çok alanda bununla ilgili çalışmalar yoğunlaşmış durumdadır. Gelecekte nanoteknoloji ile üretilen liflerin ve yeni fonksiyonel ürünlerin hayatımızı kolaylaştıracağı düşünülmektedir.

Pekçok avantaja sahip nano materyallerin, henüz insan sağlığı ve çevreye olan etkileri tam olarak bilinmemektedir. Bu durumun detaylı bir şekilde incelenmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. Prof. Dr. Salim Çıracı, Prof. Dr. Ekmele Özbay Doç. Dr. Oğuz Gülseren, Yrd. Doç. Dr. Hilmi Volkan Demir, Dr. Mehmet Bayındır, Ahmet Oral, Tuğrul Senger, Atilla Aydın, Aykutlu Dana, "Yeni Ufuklar, Türkiye'de Nanoteknoloji", Bilim ve Teknik Dergisi, Ağustos 2005
2. Tübitak nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri Vizyon 2023 Projesi Nanoteknoloji Strateji Grubu, 2004
3. <http://physics.nist.gov/GenInt/STM/stm.html>
4. Özdoğan E., Demir A., Seventekin N., Lotus Etkili Yüzeyler, Tekstil ve Konfeksiyon, 1/2006, 287-290
5. http://www.nanoteknoloji.net/NT_tarihi.htm
6. Fong H., Reneker H., Electrospinning and the Formation of Nanofibres,
7. Yasemin BOZKAYA, Anadolu Üniversitesi İleri Teknolojiler Araştırma Birimleri, Nanoteknoloji Bilim Dalı Nanoteknoloji Bilim Dalı, Nanoteknolojiler Sunumu
8. Karbon Nanoyapılar, Şakir Erkoç, Bilim ve Teknik Dergisi, Ocak 2001
9. Karbon nanotüpler, Gamze DOĞAN, Fikri ŞENOL, Ebru Tayyar, Necla YAMAN, Tekstil ve Konfeksiyon, 3/2005, 135-138.
10. Nanotechnology in textiles, INNEUROTEX, March 2004.
11. Nanotechnology, Ian Holme, International Dyer, July 2005, 5-7.
12. Yıldırım D., Öktem T., Seventekin N., "Nanolifler", Tekstil ve Konfeksiyon, 1-2004, 7-10.
13. The base of molecular nanotechnology and its implication in textiles, Ghosh T., Colourage March 2005, 39-43
14. NANO LİFLER, Tekstil Müh. Gamze Süpüren, Tekstil Müh. Z. Evrim Kanat, Arş. Gör Ahmet Çay, Dr. Tülay Gülümser, Prof. Dr. Işık Tarakçıoğlu, Tekstil Müh. Tuba KIRCI, Prof. Dr. Işık Tarakçıoğlu, www.ttamege.edu.tr