



**TÜRK SANAYİCİLERİ VE  
İŞADAMLARI DERNEĞİ**



# ULUSLARARASI REKABET STRATEJİLERİ: NANOTEKNOLOJİ VE TÜRKİYE

**TÜSİAD REKABET STRATEJİLERİ  
DİZİSİ-11**

**Kasım 2008**

**(Yayın No. TÜSİAD-T/2008-11/474)**

Meşrutiyet Caddesi, No: 46 34420 Tepebaşı/İstanbul  
Telefon: (0212) 249 07 23 · Telefax: (0212) 249 13 50

© 2008, TÜSİAD

*Tüm hakları saklıdır. Bu eserin tamamı ya da bir bölümü, 4110 sayılı Yasa ile değişik 5846 sayılı FSEK. uyarınca, kullanılmazdan önce hak sahibinden 52. Maddeye uygun yazılı izin alınmadıkça, hiçbir şekil ve yöntemle işlenmek, çoğaltılmak, çoğaltılmış nüshaları yayılmak, satılmak, kiralanmak, ödünç verilmek, temsil edilmek, sunulmak, telli/telsiz ya da başka teknik, sayısal ve/veya elektronik yöntemlerle iletilmek suretiyle kullanılamaz*

ISBN : 978-9944-405-47-4

**Graphis Matbaa**

Yüzyıl Mahallesi Matbaacılar Sitesi 1. Cadde No: 139 Bağcılar / İSTANBUL  
Tel: 0212 629 06 07 Pbx Faks: 0212 629 03 85  
[www.graphis.com.tr](http://www.graphis.com.tr)

# ÖNSÖZ

*TÜSİAD, özel sektörü temsil eden sanayici ve işadamları tarafından 1971 yılında, Anayasamızın ve Dernekler Kanunu'nun ilgili hükümlerine uygun olarak kurulmuş, kamu yararına çalışan bir dernek olup gönüllü bir sivil toplum örgütüdür. TÜSİAD, demokrasi ve insan hakları evrensel ilkelerine bağlı, girişim, inanç ve düşünce özgürlüklerine saygılı, yalnızca asli görevlerine odaklanmış etkin bir devletin var olduğu Türkiye'de, Atatürk'ün çağdaş uygarlık hedefine ve ilkelerine sadık toplumsal yapının gelişmesine ve demokratik sivil toplum ve laik hukuk devleti anlayışının yerleşmesine yardımcı olur. TÜSİAD, piyasa ekonomisinin hukuksal ve kurumsal altyapısının yerleşmesine ve iş dünyasının evrensel iş ahlakı ilkelerine uygun bir biçimde faaliyette bulunmasına çalışır.*

*TÜSİAD, uluslararası entegrasyon hedefi doğrultusunda Türk sanayi ve hizmet kesiminin rekabet gücünün artırılarak, uluslararası ekonomik sistemde belirgin ve kalıcı bir yer edinmesi gerektiğine inanır ve bu yönde çalışır. TÜSİAD, Türkiye'de liberal ekonomi kurallarının yerleşmesinin yanı sıra, ülkenin insan ve doğal kaynaklarının teknolojik yeniliklerle desteklenerek en etkin biçimde kullanımını; verimlilik ve kalite yükselişini sürekli kılacak ortamın yaratılması yoluyla rekabet gücünün artırılmasını hedef alan politikaları destekler.*

*TÜSİAD, misyonu doğrultusunda ve faaliyetleri çerçevesinde, ülke gündeminde bulunan konularla ilgili görüşlerini bilimsel çalışmalarla destekleyerek kamuoyuna duyurur ve bu görüşlerden hareketle kamuoyunda tartışma platformlarının oluşmasını sağlar.*

*TÜSİAD-Sabancı Üniversitesi Rekabet Forumu tarafından koordine edilen Uluslararası Rekabet Stratejileri Dizisi'nin onbirinci kitabı olan "Nanoteknoloji ve Türkiye" başlıklı bu çalışma, Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Yusuf Z. Menceloğlu ve Mehmet B. Kırcı tarafından hazırlanmıştır. Çalışmanın maddi sponsorluğunu, nanoteknoloji ürün ve hizmetlerinin etkin ticarileştirilmesi üzerine çalışan Heksagon Danışmanlık ve Ticaret A.Ş. üstlenmiştir. Gelişmekte olan teknolojilerin ticarileştirilmesinde önceliği nanoteknolojiye veren Heksagon, önümüzdeki dönemde nanoteknoloji alanında büyük buluşlar ve akabinde ilgili sektöre ait değer zincirlerini yeniden tanımlayacak yeni teknolojilerin ortaya çıkacağını öngörmektedir. Ülkemizin rekabetçi olduğu otomotiv, tekstil, inşaat, çimento gibi sektörlerin değer zincirlerinde köklü değişiklik yapma potansiyeline sahip nanoteknolojik ürün ve proseslerin detaylı araştırmasını yapmaktadır. Heksagon, gelişmiş ülkelerin fikri mülkiyet performansının gerisinde olan Türkiye'nin, az sayıda da olsa, geliştirdiği teknolojileri ticarileştirme becerisini artırması gerekliliğinden yola çıkarak, yerli veya yabancı kaynaklı fikri mülkiyet haklarını ve patentleri araştırarak doğru teknolojilere yatırım yapmayı hedeflemektedir.*

*Kasım 2008*

# ÖZGEÇMİŞLER

## **Prof. Dr. Yusuf Z. Menceloğlu**

Kimyagerlik eğitimini 1983 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde tamamladıktan sonra 1987 ve 1991 yıllarında İstanbul Teknik Üniversitesinden Fizikokimya-Polimer alanında yüksek lisans ve doktora derecelerini almıştır. 1988–1989 yılları arasında Japonya’da Tokyo Institute of Technology’de 1 yıl araştırmacı olarak çalışmış olup, Doktora sonrası araştırmalar yapmak üzere gittiği Amerika’da University of North Carolina’da, Nanofaz oluşturan blok kopolimerler, Süperkritik karbondioksit içinde emülsiyon ve dispersiyon polimerizasyonu konularında 3 yıl süresince çalışmalar gerçekleşmiştir. 1994 yılında GEMSAN A.ř. de göreve başlayarak: Tekstil, Deri ve Metal İşleme endüstrilerine yönelik performans kimyasallarının tasarımı, formülasyonu, pilot üretimi, müşteri uygulamaları konularında Genel Müdür Yardımcısı olarak çalışmasını müteakip Ağustos 2000 tarihinden itibaren Sabancı Üniversitesi’nde Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı bünyesinde Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.

Dr. Menceloğlu 1991 yılından itibaren nanomalzemeler ve 1982’den itibaren de polimerler konusunda çalışmaktadır. Nano-boyutta malzemeler ve sensörler ile ilgili 14 adet Uluslararası patenti, Sıvılaştırılmış karbondioksit içinde reaksiyonlar ve özel yüzey–aktif maddeler konusunda 20 adet Amerikan Patenti olmak üzere 34 adet patenti vardır. Dünyanın saygın bilim dergilerinde yayınlamış olan 40’ın üzerinde makalesine yapılan atıf sayısı da 1000’in üzerindedir.

Dr. Menceloğlu Nanomalzemeler konusunda yaptığı araştırmaları Tübitak, Arçelik, Advansa, Enplast, Kordsa ve Sabancı Üniversitesi Araştırma fonundan sağlanan destekler ile yürütmektedir.

## **Mehmet B. Kırca**

Mehmet B. Kırca lisans derecesini Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden aldıktan sonra Orta Asya Türk Cumhuriyetlerinde medikal, metal, enerji, kağıt ve polimer–hammadde sektörlerinde sırasıyla proje asistanlığı, yürütücülüğü ve koordinatörlüğü görevlerinde bulunmuştur.

2002 yılı itibarı ile Çuhadaroğlu Holding bünyesinde metal işleme ve yüzey işlemleri tesis yöneticisi olarak çalışmaya başlamış, 2003 yılı sonunda Sabancı Grubuna katılarak Kordsa şirketinde üretim, işletme ve AR-GE departmanlarında çeşitli görevler üstlenmiştir. 2005 yılından itibaren Sabancı Holding'e geçerek SATEK–Sabancı Holding Teknoloji, Malzeme ve Fikri–Sınai Mülkiyet Komitesi Genel Sekreterliği görevini yürütmeye başlamış, 2007 yılı sonunda Kurumsal reorganizasyon çalışmaları neticesinde Strateji ve İş Geliştirme Grup Başkanlığı bünyesinde oluşturulan Kurumsal Yönetim Platformları Direktörlüğü'ne geçerek “kurumsal inovasyon ve teknoloji” konularında başladığı çalışmalarını 2008 yılı ortasına kadar sürdürmüştür. Bu tarihten itibaren serbest olarak “Teknoloji–Inovasyon” ve “Fikri–Sınai Mülkiyet” konularında danışmanlık hizmeti vermektedir.

İlgi alanları arasında “nanoteknoloji ve endüstriyel uygulamaları”, “teknoloji transferi”, “kurumsal teknoloji ve inovasyon yönetimi”, “teknoloji ağları–girişimleri” ve “ticarileştirme” ile “yeni ve gelişmekte olan teknolojiler” yer almaktadır.

# İÇİNDEKİLER

**SUNUŞ** .....13

**GİRİŞ**.....19

## **BÖLÜM 1**

**1. NANOTEKNOLOJİYİ ANLAMAK: TEKNİK BİLGİLER** .....25

1.1. Tanım ve Tarihçe .....25

1.2. Nano Yapıların Özellikleri ve Etkileri .....31

1.3. Nano Yapıtaşları – Nano Yapılı Malzemeler .....39

1.4. Nanoelektromekanik and Nanoakışkan Sistemler .....51

## **BÖLÜM 2**

**2. NANOMALZEMELERİN SENTEZİ VE PROSESİ** .....59

2.1. Üretim Metotları .....59

2.2. Nanoparçacık Hazırlama Prosesleri .....62

2.3. Nanoparçacıkların Fonksiyonelleştirilmesi .....68

2.4. Nanoparçacıkların Nanokompozitlere Eklenmesi (İnkorporasyonu) .....70

## **BÖLÜM3**

**3. NANOTEKNOLOJİNİN UYGULAMA ALANLARI**.....75

## **BÖLÜM 4**

**4. NANOTEKNOLOJİ FIRSATLARI** .....85

## **BÖLÜM 5**

**5. DÜNYADAN STRATEJİLER: ULUSLARARASI ÇALIŞMA AĞLARI,  
STRATEJİLER VE ÖNGÖRÜLER** ..... 97

5.1. Amerika Birleşik Devletleri .....98

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 5.2. Japonya.....       | 102 |
| 5.3. Avrupa.....        | 104 |
| 5.4. Diğer Ülkeler..... | 114 |

## **BÖLÜM 6**

|   |            |
|---|------------|
| <b>6. NANOTEKNOLOJİ GELİŞİMİNDE PATENT, FİNANS VE POLİTİKALARIN ROLÜ.....</b> | <b>125</b> |
| 6.1. Nanoteknoloji Alanında Patent Başvuru Eğilimleri.....                    | 125        |
| 6.2. Finansal Destekler .....   | 141        |
| 6.3. Politikalar .....  | 147        |

## **BÖLÜM 7**

|   |            |
|---|------------|
| <b>7. TÜRKİYE VE NANOTEKNOLOJİ.....</b>             | <b>163</b> |
| 7.1. Yapılmakta Olan Çalışmalardan Özetler .....    | 163        |
| 7.2. Türkiye'nin Güçlü ve Zayıf Yanları .....       | 165        |
| 7.3. Mevcut Durum: Bariyerler ve İtici Güçler ..... | 169        |

## **BÖLÜM 8**

|   |            |
|---|------------|
| <b>8. ÖNCELİKLİ YOL HARİTASI VE KURUMSAL BEKLENTİLER/GÖREVLER....</b> | <b>177</b> |
|---|------------|

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| <b>KAYNAKLAR.....</b> | <b>185</b> |
|-----------------------|------------|

|                    |            |
|--------------------|------------|
| <b>EKLER .....</b> | <b>191</b> |
|--------------------|------------|



## ŞEKİL LİSTESİ

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 1.1: Nanoparçacıkların En Fazla Yararlanılabilen Özellikleri .....  | 32  |
| Şekil 1.2: En Çok Bilinen Nanoparçacık Kategorileri .....   | 42  |
| Şekil 1.3: C <sub>60</sub> 'ların Şematik Görünüşleri .....   | 44  |
| Şekil 1.4: Üç Tip Tek-Duvarlı Karbon Nano Tüpün Üç Boyutlu Modeli .....   | 45  |
| Şekil 1.5: Grafen Yapısı .....  | 47  |
| Şekil 1.6: 5 PANAM Dendrimerinin Oluşturulmasının Şematik Görünüşü.....   | 48  |
| Şekil 1.7: Kuantum Noktaları ve Boyuta Bağlı Renkler.....   | 50  |
| Şekil 2.1: Nanoparçacıklar/Nanokompozitler “Değer zinciri” .....  | 59  |
| Şekil 2.2: En Çok Bilinen Nanoparçacık Üretim Yöntemleri.....   | 63  |
| Şekil 3.1: Organik Olarak Modifiye Edilmiş Olan Montmorillonit Tabakalı Silikatın Beklenen Fiyat Gelişimi .....                             | 77  |
| Şekil 3.2: Gümüş Nanoparçacıklarının Beklenen Fiyat ve Dünya Çapında Hacimsel Üretim Gelişimi .....   | 78  |
| Şekil 3.3: Metal Oksit Seramiklerin Beklenen Fiyat ve Dünya Çapında Hacimsel Üretim Gelişimi .....  | 79  |
| Şekil 3.4: AFM Ucu .....  | 81  |
| Şekil 3.5: Fiber Optik Serbest Uzay Çoklaması için Yüzey Mikro-İşlenmiş Dönebilen Ayna .....  | 82  |
| Şekil 3.6: AFM Uçları Dizisinden Yaralanan Millipit Depolama Aygıtı .....   | 82  |
| Şekil 3.7: 35 Ksenon Atomuyla Hecelenmiş Olan IBM Logosu .....  | 82  |
| Şekil 6.1: Belirlenen Sekiz Alana Göre, Japonya, ABD ve Avrupa'daki Patent Ofislerine Yapılan Patent Başvurularının Oranı .....             | 126 |
| Şekil 6.2: Dört Büyük Patent Kuruluşuna Yapılan Nanoteknoloji Patent Başvurularının Sayısı .....  | 130 |
| Şekil 6.3: Dört Büyük Patent Kuruluşuna Yapılan Nanoteknoloji Patent Başvurularının, Başvuru Yapanın Uyuşuna Göre Sayısı.....               | 131 |
| Şekil 6.4: Dört Büyük Patent Kuruluşuna Yapılan Nanoteknoloji Patent Başvuruları Sayısının, Başvuru Yapanların Uyruklarına Göre Oranı ..... | 132 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 6.5: Ülkelere Göre Nanoteknoloji Patent Başvuruları .....                             | 133 |
| Şekil 6.6: Sektörlere Göre Nanoteknoloji Patent Başvuruları Oranları .....                  | 134 |
| Şekil 6.7: Sektörlere Göre Nanoteknoloji Patent Başvuruları Oranları .....                  | 135 |
| Şekil 6.8: Dokuz Belirli Teknoloji Alanına Göre Patent Başvuru Oranı .....                  | 138 |
| Şekil 6.9: Üç Temel Teknoloji Alanındaki Patent Başvurularının Ülkelere Göre Oranları ..... | 139 |

## **TABLO LİSTESİ**

|  |     |
|--|-----|
| Tablo 1.1: Makro Ölçekli Teknolojiler ile Nano Ölçekli Teknolojilerin Kıyaslanması .....                       | 32  |
| Tablo 1.2: Nanoyapıtaşlarının Güncel ve Gelişmekte Olan Uygulamaları .....                                     | 39  |
| Tablo 1.3: Nanoparçacıkların Güncel ve Gelişmekte Olan Uygulamaları .....                                      | 41  |
| Tablo 3.1: Nanoteknoloji Ürünlerinin Dünyadaki Piyasa Değerleri .....  | 75  |
| Tablo 4.1: Nanomalzemelerin, Değer Zincirinin Çeşitli Aşamalarındaki, Varolan ve Potansiyel Uygulamaları ..... | 87  |
| Tablo 6.1: Nanoteknolojiyle İlgili Olan Alanların Sınıflandırılması .....                                      | 128 |
| Tablo 6.2: En Büyük Dört Patent Kuruluşuna Başvuru Yapmış Olan ve İlk Onda Yer Alan Kuruluşlar .....           | 137 |
| Tablo 6.3: 2001'den 2002'e Kadar ABD Ulusal Nanoteknoloji Girişiminin Harcamaları.....                         | 142 |
| Tablo 6.4: Avrupa Nanobilim ve Nanoteknoloji Harcamaları .....   | 143 |
| Tablo 6.5: Uzak Doğuda Hükümet Nanoteknoloji Harcamaları, 2002 .....   | 144 |
| Tablo 6.6: Kâr Amacı Gütmeyen Bazı Nanoteknoloji Kuruluşları .....   | 145 |
| Tablo 7.1: Nanoteknoloji Fırsatları ve Güçlü Yönleri .....   | 166 |
| Tablo 7.2: Nanoteknoloji Tehditleri ve Zayıf Yönleri .....   | 167 |

SUNUŞ



## SUNUŞ

Nanoteknoloji, olanaklar platformudur. Daha önce uygulanabilir olmayan yeni ürün sınıflarının geliştirilmesi olanağının ufkunu açar ve bizlerin tüm endüstriyel alanlarda yeni ürünler ve prosesler geliştirmemize olanak sağlar.

Nanoteknoloji çok disiplinlidir. Nanoteknoloji, birçok bilimsel alanı etkilemekte olan bir güçtür ve bu süreç, daha önce ayrı olan alanlardan birçok insanı, farklı alanlar arasındaki sınırları bulanıklaştırarak bir araya getirmektedir.

Ülkemizdeki üretim süreçleri göz önünde bulundurulduğunda yeni ve fonksiyonel malzemelerin hazırlanması için çok fazla olanakların olduğu açıktır. Bu amaçla bu rapor kapsamında “nanoteknoloji nedir?”, “maddeler nanoboyutlarda organize edildiğinde ne tür özellikler beklenmektedir?”, “malzemeler nanoboyutlarda nasıl hazırlanır?”, “nanomalzemelerin bilinen uygulama alanları nelerdir?”, “diğer ülkelerde konuya yaklaşım nasıldır?” konuları hakkında çok genel bilgiler verilmiştir. Nanoteknolojinin çok geniş açılımı olması farklı proses ve malzemeler ile yaşamımızda ihtiyaç duyduğumuz tüm alanlarda etkili olabileceği düşünülürse, herşeyi rapor kapsamında aktarmak olanaksızdır. Bu nedenle ülkemizdeki temel sektörler düşünülerek kısıtlı örnekler verilmiştir.

Rapor kapsamında ayrıca dünya genelinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerden örnekler seçilerek bu ülkelerdeki yaklaşımlar (literatürde bulunan raporlardan derlenmiştir), finansal destekler, fikri mülkiyet politikaları konularında bilgiler sunulmuştur.

Raporun son bölümünde ise; ülkemizde konu ile ilgili olan tarafların (endüstri, üniversite, fikri mülkiyet kurumlarından) katılımı ile bir arama konferansı düzenlenerek ülkemizde yapılması gerekenler konusunda ortak yol haritası çıkartılmaya çalışılmıştır.

Raporun ek kısmında, yazılı basında çıkan haberlerden ve ilgili Internet kaynaklarından edinilen bilgiler doğrultusunda konu ile ilgili çalışma yapan endüstri kuruluşları ve başlangıç şirketleri listelenmiştir. Bunun yanı sıra 2004 yılından itibaren yapılmakta olan NanoTR konferanslarına ülkemizden bildiri gönderilen üniversiteler

listelenmiştir. Bu bilgiler kesin olmayıp gözden kaçan bilgiler olma olasılığı yüksektir. Bu nedenle rapora girmemiş olup konu ile ilgili olan kişi ve kurumların hoşgörülerine sığınıyorum.

Bu bilgiler ışığında ülkemizde “nanobilim” ve “nanoteknoloji” konularında kamu tarafından belirli desteklerin sağlandığı anlaşılmaktadır. Bu destekler ile üniversitelerde ve araştırma kurumlarında nanobilimin ve nanoteknolojinin tüm alanlarında dağınık araştırmalar yürümektedir. Bu araştırmaların sonuçlarının toplum yararına aktarılması, endüstrileşebilmesi için temel düzenlemelerin yapılması kaçınılmazdır.

Bunlar kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ülkemizdeki nanoteknoloji konusunda yapılacak çalışma alanlarının sınıflandırılması ve tanımlanması, gelişmiş ve gelişmekte olan endüstrilerdeki nano uygulamalara yoğunlaşılması,
- Tanımlanan konularda araştırma kurumlarında uzmanlık oluşturulması,
- Geliştirilmiş ürünlerin pazara sürülebilmesi için, pazar geliştirme sürecinin de desteklenmesi,
- Pilot çalışmaların artırılması, uygulama merkezlerinin oluşturulması ve yatırımcı bulunması,
- Endüstrinin gelişmelere açık olması, nano esaslı ürünlerin sadece üretilmesi değil uygulamaya konulması aşamasında da girişimci bir tavır içinde olması.

Yeni teknolojilerin ticarileşmesinde tüm tarafların konu ile ilgili ortak çalışma yapmaları kaçınılmaz bir olgudur. Araştırmaya verilen desteklerin teknolojinin ticarileştirilmesinde de, özellikleri iyileştirilmiş bir ürünün uygulanması konusunda pazar oluşturulabilmesi için de uygulanması gerekmektedir.

Nanoteknolojinin ticari boyutlarda uygulanabileceğinin anlaşılması ve araştırmaların yoğunlaşması 2000 yılında ABD'nin bu konudaki duyurusu ile başlamıştır. Ticarileştirme çalışmalarının yeni başlamış olması nedeni ile bu konuda çok geç kalınmadığı bir gerçektir. Ancak kaynakların doğru kullanılabilmesi açısından, stratejilerin; endüstri-

akademi ve kamu ile birlikte oluşturulması çok önemlidir. Konunun aciliyeti nedeniyle kısa dönemde yapılması gereken çalışmalar raporun son bölümünde sıralanmıştır. Bu çalışmaların kısa dönemde hayata geçirilmesi tüm alıştay katılımcıları tarafından öngörülmektedir ve 2-5 yıl içerisinde gerçekleştirilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Rapora katkılarından dolayı, çalıştaya katılan tüm taraflara ve yazım konusundaki desteklerinden dolayı Rekabet Forumu çalışanlarına teşekkür ederim.

Yusuf Z. Menciloğlu





# GİRİŞ



# GİRİŞ

Bu raporda öncelikle “nano nedir”, “nanoteknoloji nedir”, “nanoyapıların tetiklediği özellikler nelerdir” sorularının cevaplarını bulacaksınız. Ancak daha da öncelikli olarak, nanoteknolojinin geliştirilmesi ve kontrol edilmesinin korkulacak bir oluşum olmadığını vurgulamak amacıyla, nanoyapıların hazırlanması süreçleri ve uzun erimde sanayinin nanoteknoloji fırsatlarından nasıl faydalanabileceğini okuyacaksınız.

Nanoteknoloji esas olarak moleküler imalata benzer olmakla beraber, temelde nano-boyutlu maddelerin boyuta-dayalı olgulardan kaynaklanan yeniliklerini incelemeye odaklanmış olan uygulamalı bilimdir. Rapor kısaca teknik bilgileri aktardıktan sonra Amerika, Avrupa ve Asya kıtalarındaki gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin nanoteknoloji stratejileri hakkındaki raporlardan yola çıkarak dünya genelinde uygulanan nanoteknolojiye yönelik politikaları, sağlanan destekleri ve fikri mülkiyetlerin korunması konusundaki yaklaşımları özetliyor. Raporun son kısmında ise ülkemizde konu ile ilgili uzmanlarla düzenlenen çalıştay sonucu ortaya çıkan öneriler açıklanıyor.

Ülkemizde nanoteknolojiye son dönemde büyük bir ilgi oluşmakta ve bu alanda çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, “TÜBİTAK Vizyon 2023” raporunda özel bir bölüm nanoteknolojiye ayrılmıştır. Bilkent Üniversitesi fizik bölümü öğretim üyelerinden Prof. Salim Çıracı önderliğinde kurulan UNAM, yine fizik bölümü öğretim üyelerinden Prof. Ekmel Özbay önderliğinde kurulan NANOTAM ve benzer şekilde DPT desteği ile kurulmuş olan diğer üniversitelerimizdeki laboratuvarlar bulunmaktadır. Anadolu Üniversitesi bünyesinde kurulan Nanoteknoloji yüksek lisans programının benzerleri diğer üniversitelerde de oluşturulmaktadır. Son dört yıldır başarılı bir şekilde organize edilen NanoTR konferans serisi gibi çalışmalar da devam etmektedir.

Akademide yapılan bu çalışmalara karşın sanayide de konu ile ilgili çalışmalar çok kısıtlı olarak yürütülmektedir. Sanayinin konuya olan ilgisinin artırılması, nanoteknolojinin yaygınlaşması ve olanaklarından faydalanılması için gereken en önemli atılımdır.

Bu rapor kapsamında, nanoteknolojinin Türkiye’ye nasıl bir katma değer sağlayabileceği, bunun için nasıl bir süreç izlenmesi gerektiği ve nanoteknoloji ürünlerinin hayata geçirilmesi ile ilgili yol haritası önerisi oluşturulmuştur. Yapılan çalışma ve çalıştay sonucunda “Türkiye’de nanoteknoloji sanayii nasıl oluşur?” sorusuna verilen yanıtlardan aşağıdaki altı konu öne çıkmaktadır:

- 1) **Nanoteknoloji alanında gerekli altyapının kurulması:** Türkiye önemli bir kurumsal kapasite, yüksek teknoloji ürünler ve cihazlar, bilim adamı, sanayi-finance ve yatırımları gibi teknoloji altyapısı eksikliği ile karşı karşıyadır. Bu anlamda Türkiye'nin potansiyelini en iyi şekilde değerlendirebileceği ve rekabet edebileceği öncelikli stratejik alanların belirlenmesi ve bu yönde altyapı ihtiyacının en kısa zamanda tamamlanması gerekmektedir.
- 2) **Finansman kaynaklarının oluşturulması:** Hem gerekli altyapının kurulması hem de projelerin sürdürülebilir olması için proje destekleri, bilimsel, kurumsal ve eğitim alanında yatırımlar ile yüksek teknoloji cihazların sağlanabilmesi için önemli bir finansmana ihtiyaç vardır. Bunun sağlanabilmesi için hem kamu hem de sanayi Ar-Ge desteklerine, hem de uluslararası desteklerin Türkiye'deki projelere kanalize edilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.
- 3) **Araştırmaları yürütecek bilim adamlarının yetiştirilmesi:** Nanoteknolojinin gerektirdiği disiplinlerarası iletişime ve çalışmalara açık, çalışmaların gerektirdiği bilimsel altyapı sahibi ve sürekli bilimsel yenilenmeye ve gelişmeye uyum sağlayabilecek bilim adamlarının yetiştirilmesi ve nanoteknoloji konusunda çalışmalara teşviki gerekmektedir. Kısa ve uzun vadede ortaya konacak hedeflerle, hem yüksek öğretim ve ileri araştırmalar seviyesinde, hem de ilk öğretimden başlayarak bilinçli ve yetkin bir bilim adamı yetiştirme süreci doğrultusunda adımlar atılmalıdır.
- 4) **Gerekli işbirliği mekanizmalarının kurulması:** Nanoteknoloji çalışmalarının etkin bir şekilde yapılabilmesi, kaynakların ve potansiyelin en verimli şekilde kullanılabilmesi için hem ulusal hem de bölgesel seviyede etkin bir iletişim ve yönetim mekanizması kurulması gerekmektedir. Siyasal alan, sanayi ve akademi arasında kurulacak etkin bir işbirliği mekanizmasıyla hem nanoteknoloji çalışmalarının finansmanı ve desteklenmesi, hem ortaya çıkarılan fikir ve ürünlerin ticari bir değere dönüştürülmesi ve son aşamada da toplumsal ticari bir değere dönüştürülmesi sağlanmalıdır.
- 5) **Toplumun tüm katmanlarında bilinçliliğin artırılması:** Toplumsal seviyede teknolojik gelişmelerin ve yeniliklerin nasıl algılandığı, bunların uygulanabilirliğini etkileyecek önemli bir faktördür. Bu nedenle, en geniş anlamıyla halk seviyesinde ve belki de daha da önemlisi sanayi ve politika yapımcılarının nanoteknoloji konu-

sunda bilinçlenmesi, gelişmeleri ve çalışmalarını hızlandıracak ve istenilen seviyeye ulaşılmasını sağlayacak önemli itici güçlerden birisidir.

- 6) ***Tüm bu sistemin etkin bir şekilde çalışmasını ve desteklenmesini sağlayacak gerekli kuruluş ve yasaların ortaya çıkarılması:*** Altyapı kurulumu, finansman desteklerinin sağlanması, bilim adamlarının yetiştirilmesi, işbirliklerinin ortaya çıkarılması ve bilinçliliğin sağlanması gibi önemli adımlar atılmalı, hem ulusal hem de bölgesel seviyede yönetişimi güçlendirilmeli ve bunların sürekli olmasını sağlayacak yasa ve kurumlarla desteklenmelidir.



B Ö L Ü M  
1

NANOTEKNOLOJİYİ ANLAMAK:  
TEKNİK BİLGİLER





# 1. NANOTEKNOLOJİYİ ANLAMAK: TEKNİK BİLGİLER

## 1.1. Tanım ve Tarihçe

“Nano” terimi, bir şeyin bir milyarda biri anlamına gelir. “Nanoteknoloji”, “nanobilim” gibi başında “*nano*” öneki bulunan terimler, “nanometre” teriminden gelmektedir. Temel olarak nanometre, diğer ölçüm skalaları gibi bir ölçüm skalasıdır. Bir metrede 1.000.000.000 nanometre vardır, yani bir nanometre, bir metreden bir milyar kere küçüktür. Bir nanometre, aşağı yukarı orta-boyutta bir molekülün, örneğin 60 karbon atomu içeren bir molekülün boyutundadır (Sharifzadeh, M. 2006).

“Nanobilim”, nanometre ölçeğinde madde ve enerjiyi inceleyen bilimdir. Önemi, nanometre ölçeğinde fizik kurallarının farklı işlenmesinden ve maddeyle enerjinin bu ölçekte farklı özellikler taşımalarından kaynaklanmaktadır. Parçacıklar yeterince küçük olduklarında ve nanoparçacıklar olarak nitelendirilebildiklerinde, mekanik özellikleri ve ışıkla diğer elektromanyetik ışınımın bunlarla etkileşimi değişir. Nanoölçekteki malzemeler, kütsel malzemenin özelliklerinden ya da malzemenin moleküler haldeki özelliklerinden çok farklı olan yeni özelliklere sahiptirler. Yüzey davranışı, kütsel malzeme davranışlarını baskılar. 100 nanometreden daha küçük boyutta olan malzemeler, kütsel halde olan malzemelere göre toplam hacimlerine göre çok büyük oranda yüzeye sahiptirler. Örneğin, üç beş nanometreye kadar boyutu olan malzemelerde, atomların üçte biri yüzey atomlarıdır. İnsan saçının bir telinin genişliğinde olan bir elementte ise, elementin atomlarının yalnızca çok küçük bir miktarı yüzeyde bulunmaktadır. Bu özellik sebebiyle, üç-beş nanometre aralığında olan nanoparçacıkları, katıdan çok gaz parçacıkları halindedir. Bu fazladan açıkta olan yüzey, elementlerin ve nanoparçacıkların birbirleriyle olan etkileşimlerini etkiler. Böylece, kompozit malzemelerde nanoparçacıkların kullanımı, bunların sertliğini artırabilir ve/veya ağırlıklarını düşürebilir, kimyasal ve termal dayanırlıklarını artırabilir ve ışıkla diğer ışınlarla olan etkileşimlerini değiştirebilir.

Öyle ya da böyle, tüm bilimler malzemelerin dünyasını incelediğinden, nanobilim de geniş çaplı ve çok disiplinli bir bilim haline gelmiştir. Bu da, nanobilimi kesin ve doğru olarak tanımlamayı zorlaştırmaktadır. ABD Enerji Bakanlığı (DOE), nanobilimi şöyle tanımlamaktadır:

*Hem küçük moleküler olan, hem de tüm boyutlarıyla makroskopik olan sistemlerinkinden çok farklı (genellikle yararlanılabilecek sıradışı ve beklenmeyen yönlerde) dinamik özelliklere neden olan nanoskopik (1–100 nm) uzamsal boyutların en az birine sahip olan sistemlerin yapılarını, dinamiklerini ve özelliklerini inceleyen bilimdir* (DOE, 2002 and Sharifzadeh, M. 2006).

Buna göre nanobilim, en az bir boyutun nanoölçekte olduğu malzemelerin ve/veya proseslerin, biyoloji, kimya, fizik ve sayısal bilim gibi çeşitli disiplinlerde incelenmesini gerektirir. Böylece, “*nihayette ayrı disiplinler olarak nanobilim ve nanoteknoloji konuları yok olabilir, çünkü tek bir bilim alanından çok, bir araştırma ve uygulama biçimini tarif etmektedirler*” (Niyogi ve Haddon, 2004 and Sharifzadeh, M. 2006).

Nanoteknoloji, nanobilimin buluşlarının gerçek hayattaki uygulamalarıyla ilgilidir. Nanoteknolojinin etkisi o kadar yaygındır ki, fazlasıyla kesin bir tanım, asıl kapsamı gerçekçi olmayan bir şekilde resmedebilir. Bu nedenle, İngiltere Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (DTI) gibi bazıları, bu alanı basitçe “nanoteknoloji bir şeyleri meydana getirmenin yeni yollarıyla ilgilidir” şeklinde tanımlamaktadır. Nanoteknoloji, daha fazla işlevi olan, daha az ham madde ve daha az enerji tüketen, daha küçük, daha ucuz, daha hafif ve daha hızlı cihazların üretiminin önünü açmaktadır (DTI, 2002 ve Sharifzadeh, M. 2006). Yani nanoteknoloji, özel bir bilim ya da mühendislik alanından çok, birçok teknolojinin, prosesin ve tekniğin toplamıdır.

Nanoteknolojinin en fazla başvurulan ve nano-boyut paradigmasını da dâhil eden tanımı, ABD “Ulusal Nanoteknoloji Adımı” (NNI) tarafından sağlanmıştır. NNI, nanoteknolojiyi şöyle tanımlamaktadır:

*Nanoteknoloji, aşağı yukarı 1 – 100 nanometre aralığında olan boyutlardaki maddenin incelenmesi ve işlenmesidir. Bu boyutlarda yapılan bu çalışmalarda gerçekleşen benzersiz fenomenler, yepyeni uygulamalara olanak sağlamaktadır. Nano-boyuttaki bilimi, mühendisliği ve teknolojiyi kapsayan nanoteknoloji, maddenin bu boyut ölçeğinde görüntüleme tekniğini, ölçümünü, modellemesini ve manipülasyonunu içermektedir. Nano-boyutta, malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, tek tek atomların ve moleküllerin ya da kütleli haldeki malzemenin özelliklerinden temel olarak ve yararlı bir yönde farklı*

*olmaktadır. Nanoteknoloji alanında AR-GE, bu yeni özelliklere sahip olan gelişmiş malzemeler, aygıtlar ve sistemlerin anlaşılması ve yaratılmasına yönelmiştir* (NNI, 2004 ve Sharifzadeh, M. 2006).

Nanoteknolojinin NNI tanımı genellikle araştırmacılar kadar nanoteknolojiyle uğraşan diğer otoriteler tarafından da kabul edilmektedir. Ayrıca bu tanım, nanoteknoloji alanında AR-GE'nin ana planı olarak da kabul edilmektedir.

“Nanoteknoloji” terimi, bu terime aşina gelişmiş ülke toplumları için genellikle “çok küçük boyutlu şeylerle” ilgilendiği, “kan akışındaki denizaltı robotlarla ilgili olduğu” ve beraberinde “grey goo”<sup>1</sup> tehdidini taşıdığı şeklinde bir anlam ifade eder. Sonuncu ve en popüler olan görüş ise, aslen K. Eric Drexler’in, “atom ve moleküllerin kendiliğinden düzenlenen (self-assembly) mekanizmalar gibi davranarak nano-boyutta<sup>2</sup> üretim görevlerini yerine getirmeleri” iddiasına dayanır (Drexler K. E. 1986 ve Maclurcan D. C. 2005).

Ancak günümüzde, fazla sözü edilmemekle beraber, dünya çapında kabul edilen genel görüşe göre “nanoteknoloji”, Drexler’in görüşlerinden bağımsız olarak gelişmekte olan bir alandır. Ana bilimsel topluluğun itirazları sonucunda, Drexler, nanoteknoloji konusundaki anlayış ve düşlerini moleküler imalat olarak yeniden adlandırmıştır. Böylece, 21. Yüzyılda nanoteknoloji, atomik ve moleküler düzlemde iş kapsamı nedeniyle moleküler imalata benzer olmakla beraber, temelde nano-boyutlu maddede sergilenen ve boyuta-dayalı olgulardan kaynaklanan yenilikleri incelemeye odaklanmış olan uygulamalı bilime dayanmaktadır.

Yaklaşık olarak 50 nanometrenin altındaki boyutlarda bir madde söz konusu olduğunda, “kuantum fiziği kanunları” geleneksel fizik kurallarının yerini alır. Bunlar bir maddenin iletkenliğinde, elastisitesinde, reaktifliğinde, sertliğinde, renginde ve sıcaklıkla basınca olan dayanıklılığında değişimlere neden olurlar (ETC Group 2003 ve Maclurcan D. C. 2005). Bu tür değişimler ise, nanoteknolojinin daha küçük, daha hızlı, daha ‘akıllı’, daha ucuz, daha güvenli, daha temiz ve daha kesin çözümlere olanak sağlayacağı tüm endüstriyel sektörler için yararlıdır (Morrison S., Harper T. 2003 ve Merkle, R. 1997).

---

1 Farazi bir “dünyanın-sonu” senaryosuna gönderme yapmaktadır. Bu senaryoya göre, kontrolden çıkmış ve kendi kendini çoğalabilen ve kasten tehlikeli olacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiş olan robotlar, dünyadaki tüm yaşamı tüketirken çoğalmaya devam ederler. Bu senaryo ekofaji olarak da bilinir.

2 1-100 nanometre; 1 nanometre 1 metrenin milyarda birine eşittir.

Atomlar ve moleküller evrendeki herşeyin temel yapıtaşlarıdır ve “şeylerin” bu yapıtaşları tarafından nasıl inşa edildikleri, özelliklerini ve birbirleriyle olan etkileşimlerini belirlemede büyük önem taşır. Nanoteknoloji, tek tek atomların, moleküllerin ya da molekül kümelerinin kendiliğinden düzenlenmelerine etki ederek, yeni ya da oldukça farklı özellikteki malzemeler ve aygıtlar yaratmayı amaçlar. Nanoteknoloji sayesinde farklı imalat yolları geliştirilebilir. Yukarıdan aşağıya doğru olan yaklaşım, en küçük yapıların dahi boyutunu nano-boyuta indirgemeyi olanaklı kılar ve özellikle de, ilk uygulamalarından biri fotonik olan nano-elektronikle nano-mühendislikte etkileri görülebilir. Aşağıdan yukarıya doğru olan yaklaşım ise tek tek atomları ve molekülleri nano-yapılar oluşturacak şekilde manipüle etmeyi içerir ve daha çok kimyaya ya da biyolojiye benzemektedir (Luther,W.2004).

Bilimsel topluluk genellikle, nano-ölçeğin öneminin ilk kabul edilmesini, Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman'ın 29 Aralık 1959'da, Amerikan Fizik Topluluğu'nun Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde (Caltech) gerçekleştirilen yıllık toplantısında verdiği konuşmaya dayandırır. “Temelde yeterince boş yer var” başlıklı tarihsel konuşmasında Feynman, ilk kez malzemelerin ve aygıtların nanometre aralığındaki özelliklerinin, gelecekte fırsatlara olanak tanıyacağını ve başka birçok şeyle birlikte, örneğin Brittanica Ansiklopedisi'nin 24 cildinin tamamını bir kalem ucuna yazıp sığdırılabileceğini ileri sürdü. Feynman ayrıca, atomları ve molekülleri manipüle etme yeteneğini elde etmek için tekrarlamalı minyatürcülüğten geçmeyi önerdi. Bu, onda-bir ölçekte olan bir makine araçları setini geliştirerek, daha sonra bunları, yüzde-bir ölçekte olan sonraki kuşak makine gereçlerini geliştirmek ve çalıştırmak için kullanarak, bu şekilde devam ederek de nihayet atomların ve moleküllerin dahi manipüle edilebileceği bir safhaya gelene kadar devam ederek gerçekleşecekti. Özetle, bu tarihi konuşmasında Feynman, “*Vurgulamak istediğim şey, bir şeyleri küçük ölçekte manipüle etmek ve kontrol etmektir*” demiştir (Feynman, 1959 ve Sharifzadeh, M. 2006).

Dr. Richard Feynman, geleceğin bilim insanlarının ve mühendislerin atom ve moleküllerden karmaşık yapılar inşa edebileceklerini tahmin etmiştir. Ancak, “nanoteknoloji” terimi 1974 yılına kadar, Norio Taniguchi adındaki bir Japon araştırmacının mikrometre ölçekteki mühendislikle, yeni ortaya çıkmakta olan ve üstün duyarlılıklı mekanik işleme ve alt mikrometre aralığında yüksek kalitede malzemelerin işlenmesini içeren alan arasında ayırım yapmasına kadar tam olarak belirginleşmemiştir.

1980'lerde, moleküler imalata ait temel fikirler, K. Eric Drexler'in "Moleküler İmalata Yönelik Protein Tasarımı" adlı makalesinde ortaya koyulmuştur. K. Eric Drexler daha sonraki bir çalışmasında da, kendi kendini kopyalayan bir 'derleyicinin' yaratılmasıyla, aygıtları ve yapıları karmaşık atomik spesifikasyonlar şeklinde üretmenin olası yöntemlerini tarif etmiştir. Moleküllerin yerlerini belirleyerek kimyasal tepkimeleri güdümlenebilecek olan bu araç, moleküler imalat için genel amaçlı bir aygıt olacaktır. Bu evrensel 'derleyici' görüşü her ne kadar tartışmalı olsa da, nano-malzemelerin üretimi için aşağıdan yukarıya teknolojilerin kullanımını ele alan bu bakış açısı, nanoteknoloji alanında önemli bir dal haline gelmiştir.

1981'de "taramalı tünelleme mikroskobunun" icat edilmesi, biliminsanlarına yapıları nanoölçekte manipüle etme ve bunların görüntülerini alma olanağı sağlamıştır. Bundan sonra, 1985'de "fullerenlerin" keşfi ve 1986'da da "atomik kuvvet mikroskobunun" icat edilmesi, nanobilimle nanoteknolojide asıl dönüm noktaları olmuş ve bunların, bilimle teknolojinin en fazla gelecek vadeden dallarını oluşturmak üzere evrimleşmelerinin önünü açmıştır.

Nanoteknoloji alanındaki asıl gelişme, IBM'deki Gerd Binnig ve Heinrich Röhrer'in (1986 Nobel ödülü) 1981'de, hem malzemeleri atomik düzlemde incelemeye hem de bunları atomik ölçekte manipüle etmeye yarayan ilk aygıt olan "taramalı tünelleme mikroskobunu" (TTM) icat etmeleriyle olmuştur. "Tarayıcı iğne mikroskobu" (TİM), "atomik kuvvet mikroskobu" (AKM), "yakın alan mikroskopisi" ya da "taramalı elektron mikroskopisi" (TEM) gibi aygıtlar, atomik bağlanmanın, moleküllerin kendiliğinden bir araya gelmeleri ve malzemelerin en küçük ölçekteki yapılarının işleyişiyle ilgili görüntüler sağlamışlar ve atomik manipülasyonu kimyanın 'deney beherinden' çıkarıp mühendislik dünyasına taşımışlardır (Sharifzadeh, M. 2006).

Nanoteknoloji tarihindeki bir diğer dönüm noktası, Curl Kroto ve Smalley'in 1985'teki çalışmalarının sonucu ürettikleri, yeni nano-yapılı karbon modifikasyonu olan, 'Buckyball' olarak da adlandırılan, futbol topu biçimindeki "fullerenlerin" keşfidir. 1991'de ise, fullerenlerle ilgili çalışmaların sonucunda, temelde kenarları silindir oluşturacak şekilde yuvarlanmış grafit tabakalardan oluşan ve olağanüstü özellikleri nedeniyle elektronik malzeme mühendisliğinde muazzam uygulama potansiyeli olduğu öngörülen, karbon atomlarının tüpe benzer yapılarının keşfi gerçekleşmiştir.

1990’larda, örneğin ABD, Avrupa ve Japonya’daki federal hükümetler, nano-elektronik, nano-malzemeler vs. gibi nanoteknolojinin çeşitli dallarında programlarla ilgilenmeye başlamışlardır. 1990’ların sonlarına doğru bu alanın, çeşitli küçük çaplı bilim alanının dağıtılmasıyla değil, aynı bilimin, yani nanoteknolojinin farklı yönleriyle ele alınarak işleneceği anlayışı kabul edilmiştir. Farklı faaliyetleri, bir konuda odaklanmış girişimler (Örneğin ABD’deki Ulusal Nanoteknoloji Adımı) olarak toparlamak ve nanoteknolojiyi, disiplinlerarası, “anahtar teknoloji” olarak ilerletmek amaçlanmıştır. Bu esnada, neredeyse tüm sanayileşmiş ülkelerde nanoteknoloji, devlete ait araştırma ve geliştirme programlarının özel bir alanı olarak kurulmuştur.

Nano-ölçekte kimya, biyoloji, elektronik, fizik, malzeme bilimleri ve mühendislik alanları yakınsamaya başlar ve belirli bir disiplinin incelediği bir özellik gibi ayrımlar geçerliliğini yitirir. Tüm bu disiplinler, nanoteknoloji tarafından sağlanabilecek olan olasılıkları anlamaya ve bunlardan faydalanmaya katkıda bulunur. Ancak temel bilim tek bir noktaya yöneldiğinde, potansiyel uygulamalar sayısız çeşitlilik gösterir ve tenis raketlerinden tıbbı, hatta tamamen yeni enerji sistemlerine kadar olabilecek her şeyi içermektedir. Bir noktada birleşen bilim ve artarak çoğalan uygulamaların oluşturduğu bu ikili dinamik, nanoteknolojinin en büyük etkisinin, telefonun ve bilgisayarın birleşmesi gibi daha önce ayrı olan cephelerin beklenmeyen birleşmelerinden kaynaklanabileceği anlamına gelir (Sharifzadeh, M. 2006).

Nanoteknolojinin ekonomi ve çeşitli endüstri sahaları üzerinde olan mevcut ve gelecek etkilerini tayin edebilmek için, doğasını ve uygulama kapsamını da kavramak ve anlamak önemlidir. Nanoteknolojinin bazı önemli özellikleri şöyledir:

1. *Nanoteknoloji, olanaklar teknolojisidir.* Daha önce uygulanabilir olmayan yeni ürün sınıflarının geliştirilmesi olanağının ufkunu açar ve bizlerin tüm endüstriyel alanlarda yeni ürünler ve prosesler geliştirmemize olanak sağlar. Bunların da yanmalı motor, elektrik ve internet gibi diğer teknolojilerde olduğu gibi, toplum üzerinde geniş ve umulmayan etkileri vardır.
2. *Nanoteknoloji geleneksel olanı bozar.* Yeni üretim proseslerine dayalı olması ve daha iyi, daha yüksek standartlarda ürünlerin üretilmesine yol açması nedeniyle, nanoteknoloji eskiden beri kullanılagelen teknolojilerin yerine geçer ve bunların adım adım demode olmalarına yol açar. Nanoteknoloji sayesinde, var olan ürün



ve proseslerden radikal olarak farklı olan ürün ve prosesler ortaya çıkmaktadır ve var olan şirketler de “hayatta kalmak” için bunlara uygun olarak uyum sağlamak durumundadırlar.

3. *Nanoteknoloji çok disiplinlidir.* Nanoteknoloji, birçok bilimsel alanı etkilemekte olan bir güçtür ve bu süreç, daha önce ayrı olan alanlardan birçok insanı, farklı alanlar arasındaki sınırları bulanıklaştırarak bir araya getirmektedir (Holister, 2002 ve Sharifzadeh, M. 2006). Nanoteknoloji tekdüze bir teknoloji platformu değil, çeşitli teknolojik ve bilimsel disiplinlerden oluşan geniş bir yığındır. Bu disiplinlerin kapsadığı alt-dallara örnekler aşağıda verilmiştir:

- Nano-yapılı Malzemeler
- Nanoelektronik
- Nanofotonik
- Nanobiyoteknoloji
- Nanoanalitik

4. *Nanoteknoloji evrenseldir.* Daha sonra bu rapordan da takip edebileceğiniz gibi, gelişmiş ülkelerdeki tüm hükümetler nanoteknoloji alanındaki araştırmaları desteklemek amacıyla kaynak ayırmaktadır ve aynı şekilde dünya çapındaki girişimcilerle bazı büyük şirketler nanoteknolojiye yatırım yapmaktadır.

## 1.2. Nano Yapıların Özellikleri ve Etkileri

Nanoteknolojiye ait tanımlar her zaman açık değildir ya da bunlarla ilgili gerçek bir anlaşma sağlanabilmiş değildir. Ayrıca nanoteknoloji birçok durumda, teknolojiden çok öncelikle temel araştırma boyutundadır. Bununla beraber nanoteknolojinin, hassas boyutlu yanal yapılar, katmanlar, moleküler birimler, içsel sınır katmanları ve yüzeylerin üretimi, incelenmesi ve uygulanmasıyla ya da 100 nm’den atomik büyüklüğe kadar üretim olanaklarıyla ilgilendiği konusunda genel bir fikir birliği sağlanmıştır. Ancak, nanoteknolojiyle uğraşırken yalnızca geometrik yönlerin göz önünde bulundurulması şart değildir. Nanoteknolojinin önemli bir yönü, nanometre ölçeğinde, malzeme özelliklerinde ve fiziksel olgularda önemli değişikliklerin meydana gelmesidir. Aşağıdaki tablo, nanoteknolojiyle kıyaslandığında, geleneksel makro-ölçekteki teknolojilerde meydana gelen değişiklikleri özetlemektedir (Luther, W. 2004).

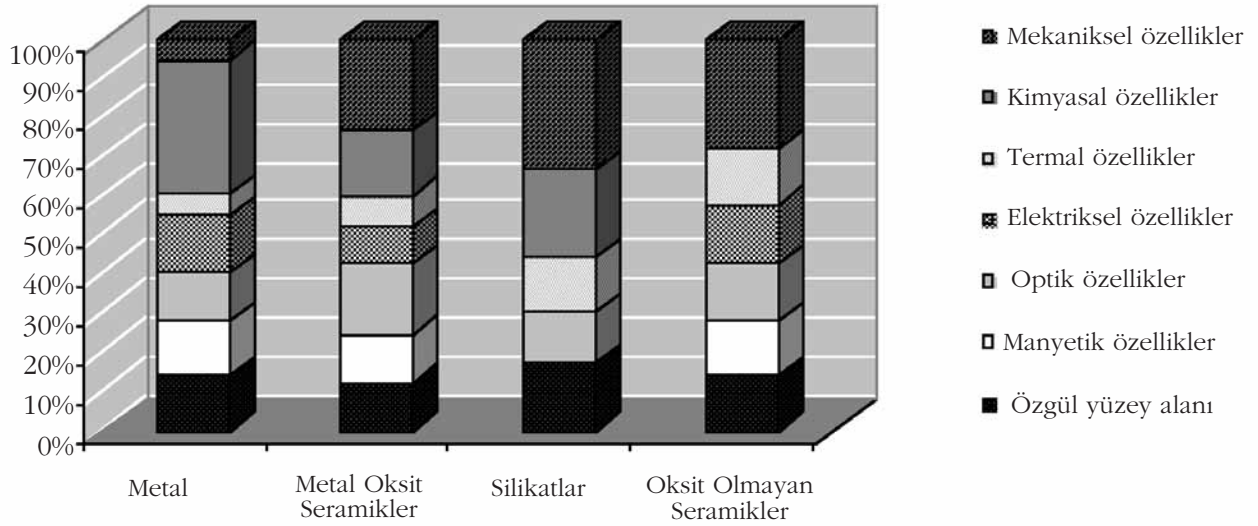
**Tablo 1.1: Makro Ölçekli Teknolojiler ile Nano Ölçekli Teknolojilerin Kıyaslanması**

| Makro-ölçekli Teknolojiler         | Nano-Ölçekli Teknolojiler             |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Klasik Sürekli Fizik               | Kuantum Fiziği                        |
| Katı Faz Özellikleri               | Bağlama Özellikleri                   |
| Egemen Kütlesel Özellikler         | Egemen Yüzeysel Özellikler            |
| Geleneksel Malzemeler/Karışımlar   | Yeni Bileşikler ve Karışımlar         |
| Klasik, Yukardan-Aşağıya Yaklaşımı | Kendiliğinden Düzenlenerek Birleşme   |
| İstatistikî Topluluklar            | Tek Tek Parçacıklar                   |
| Elverişli Yüksek Enerji Aralıkları | Termal Dalgalanmalı Enerji Aralıkları |
| Orta Derecede Alan Kuvveti         | Aşırı Derecede Yüksek Alan Kuvveti    |

**Kaynak:** Bachman, G. 1994 ve Luther, W. 2004

Kütlesel malzemedeki daha büyük parçacıklarla karşılaştırıldığında, nanoparçacıklar tamamen yeni ya da gelişmiş, belirli özelliklere (boyut, dağılım, morfoloji, faz vs.) dayalı olan niteliklere sahiptirler.

Delphi Paneli'ne katılmış olan uzmanlara göre, nanoparçacıkların en fazla gelecek vadeden yararlanılabilir özellikleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 1.1: Nanoparçacıkların En Fazla Yararlanılabilen Özellikleri (Willems and van der Willenberg 2005)



## Özgül Yüzey Alanı (m<sup>2</sup>/g)

Nanoparçacıkların boyutları azaldıkça, yüzeylerinin hacimlerine olan oranı da artar. Özgül yüzey alanı, yüzey alanının stabilizasyonu, nanopartiküllerin topolojisi (pürüzsüzlük) ve destek malzemeyle ara yüzey gibi özelliklerle ilgili olduğu gibi, asıl olarak katalitik reaktivite ve diğer benzer özelliklerle (örn. sensorlar) de ilgilidir. Buna verilebilecek iyi örnekler, özellikle son teknoloji katalizörlerin aktivitesiyle karşılaştırma yapıldığında, büyük yüzey alanı ve büyük destek porozitenin, üstün katalitik aktiviteye neden olduğu soy metallerle dayalı katalizörlerdir. Bu özellikten ayrıca metal oksit katalizörlerde de yararlanılmaktadır (örneğin otomotiv sektörü için seryum oksit katalizörleri). Metal parçacıkların yüzey alanı arttıkça, belirli uygulamalardaki biyolojik aktiviteleri de yüzeydeki enerjinin artması sonucunda artabilir. Örneğin, gümüş nanoparçacıkları, anti-mikrobiyel uygulamalar için kullanılmaktadır. Ayrıca, özgül yüzey alanındaki artış, metal nanoparçacıklarının sinterleme sıcaklığını da düşürmektedir.

Polimer dolgusu olarak kullanımda, büyük yüzey alanı, güçlü polimer/dolgu etkileşimine neden olur ve daha düşük yüklemelerde daha verimli güçlendirmeye olanak sağlar. Bu da, gelişmiş malzeme performansı sağlar ve daha az malzeme kullanımına olanak tanıyarak maliyetin düşmesine yardımcı olur. Ancak nanoparçacık üretiminin maliyeti, az malzeme kullanarak sağlanan bu kârı dengeleyebilir.

Silikat nanoparçacıklarında, bunların tabaka halindeki yapılarına sahip olmaları ve polimerik malzemeye görece düşük miktarda silikat eklenmesine rağmen oldukça büyük özgül alan elde edilmesini sağlayabilmeleri, camlar için bariyer (düşük cam geçirgenliği) görevi gören fiziksel bir yapı oluşturabilir. Ayrıca, molekülün metale nüfuz etmesi için kat etmesi gereken ortalama yolu büyük miktarda uzatarak, düşük moleküler ağırlığı olan maddeler oluşturulmasına yarayabilirler. Bu özellik, otomotiv yakıt sistemlerinde ve filmlerde, gıda ve kimyasal ambalajlama gibi çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Ayrıca, alev geciktirici uygulamalar için de uygundur. Nanoparçacıklar, nispeten küçük bir yüzey alanı için oldukça yüksek alev geciktiriciliğine sahiptirler, bu özellik de onları, halojene dayalı alev geciktiricilerin yerine geçmek için uygun adaylar haline getirir (Willems and van der Willenberg 2005).

## Manyetik Özellikler

Parçacık boyutunun nano-boyuta düşmesi, sıklıkla manyetik davranışta (kütlesel malzemedekilere göre) gelişmeye neden olur. Örneğin, nano-boyuttaki yapı taşlarından oluşan mükemmel yumuşak kıvamlı manyetik malzemeler (transformatörler, çeşitli sensorlar vs. gibi uygulamalarda) bulunduğu gibi, sert manyetik malzemeler (değişken sıçrama mıknatısları) de bulunmaktadır.

Yukarıdaki özelliklerden yararlanan iki ana uygulama, yüksek yoğunluklu medya depolanması ve medikal uygulamalardır. Nanomalzemeler, bir matriste ya da sübstratta düzenli dağıtılmışlarsa, veri depolama malzemeleri olarak kullanılabilirler. Metal nanoparçacıklar, bio-yakıtlar için pazar malzemeleri (ferro akışkanlar) olarak kullanılabilirler. Tek başlarına metalik manyetik nanoparçacıklar (genellikle çekirdek/kabuk yapısında), süper-manyetik davranış sergileyebilir ve ilaç taşıyıcı sistemler (örneğin  $Ni^3$  ve  $Fe^4$ ), hipertermi ve MRI<sup>5</sup> kontrast reaktifleri gibi çeşitli medikal uygulamalarda kullanılabilirler. ZnO, TiO, CdS, CdSe, ZnSe ve PbSe<sup>6</sup> gibi nanoparçacıklar içeren polimer kompozitleri de medikal imajlamada ve genetik malzeme manipülasyonunda kullanılabilirler (Willem and van der Willenberg 2005).

## Optik Özellikler

Soğurma ya da emilim dalga-boyu, boyut seçimiyle, ligandlar ve harici pertürbasyonla kontrol edilebilir. Örneğin, nanoparçacık boyutu ışığın kritik dalga-boyundan daha küçükse, saydamlık elde edilebilir. Bu da nanomalzemeleri (örneğin metaller, silikatlar ya da metal oksit seramikler), saydamlık ve diğer özellikleri (UV, IR-soğurma, iletkenlik, mekaniksel güç vs.) birleştirerek, bariyer filmler ve kaplama uygulamaları için oldukça uygun hale getirmektedir. Ayrıca, ilginç optik (ışık soğurma/filtre etme) özellikler kozmetik uygulamalarda da kullanılabilir.

Optik özellikler ayrıca özellikle yüzey plazmon rezonans için de uygundur. Metal nanoparçacıklar bir süredir, yüksek hassaslıktaki sensorlar ve biyolojik numunelerin gelişmiş imajlama mikroskopisi için kullanılmaktadırlar.

---

3 Nikel

4 Demir

5 Manyetik Rezonans İmajlama

6 Sırasıyla, Zink Oksit, Titanyum Oksit, Kadmiyum Sülfür, Kadmiyum Selinür, Zink Selinür ve Kurşun Selinür.

Metal oksit seramik nanoparçacıkları, uygun yayıcılarla dop edilebilen<sup>7</sup>, yüksek bant aralığına sahip malzemelerdir. Yayıcılarla dop edilmiş nadir toprak elementleri, metrik-sin optik özelliklerini dopantın optik özelliğiyle ayırtılmak amacıyla araştırılmaktadır. Bu perspektife göre, geniş gap matrislerinin elde edilmesi, kovalent yarıiletkenlerin sağlayamadığı bir avantajdır. Optik uygulamalara verilebilecek diğer örnekler, dizin eşleme için kullanılan, çizilmeye dayanıklı, gelişmiş zirkonyum dioksit ( $ZrO_2$ ) ya da transparan, aşınmaya ve UV'ye dayanıklı kaplamalar olarak kullanılan seryum dioksit ( $CeO_2$ ) nanoparçacıklarıdır (Willems and van der Willenberg 2005).

### **Elektriksel Özellikler**

Nanoparçacıkların tek tek özellikleri sayesinde taşımayı kontrol etmek mümkündür. Örneğin, kimyasal yapı ve boyut, iyonik potansiyeli (*IP*) ya da elektron afinitesini (*EA*) kontrol ederler. Kendiliğinden düzenlendiklerinde, iç parçacıklar yoluyla, ligandın doğası ve uzunluk birleştirilerek ya da mekanik basınç uygulanarak daha da fazla kontrol sağlanabilir. Bu da, elektronik ve donanım mantığı uygulamaları için elverişlidir. Metal nanoparçacıkları –metal olmayanların tersine-, daha ince bir tabakaya ve daha güvenilir bir elektriksel rotaya sahip olduklarından, tipik olarak daha fazla noktadan noktaya temas da sahiptirler. Bu özellikten, iletken gümüş mürekkebinde ve diğer elektronik uygulamalarda yararlanılmaktadır. Metal oksit seramik nanoparçacıklar, elektromanyetik dalgalara karşı özel tepki gösteren, özel aygıtlar elde etmek amacıyla kullanılabilir. Yüzeyin işlenmesiyle beraber, bu parçacıkların sahip olduğu oldukça yüksek yüzey alanı, yalıtım sistemlerinde alan ayırma özellikleri ve kırılma gücü gibi performans özelliklerini çarpıcı bir biçimde geliştirebilir. Bu nanoparçacıklar sayesinde, elektronik gereçler için yeni ambalaj malzemeler üretilebilir (Willems and van der Willenberg 2005).

### **Termal Özellikler**

Homojen olarak yayıldıklarında, polimer sistemlere yönelik metal nanoparçacıkların termal özelliklerinde belirgin bir geliştirme sağlanarak, işleme süresi kısaltılabilir. Sinterleme ve erime sıcaklığı, azalan nanoparçacık boyutuyla küçülür. Örneğin, 100 nm'den küçük olan gümüş nanoparçacıkların sinterleme sıcaklığı 150°C kadar düşük olabilir.

---

7 Katkılamak

Bazı uygulamalar için yüksek termal iletkenlik gereklidir. Küçük parçacıklar temel matrikse daha verimli eklenebilir (matris kuvveti azaltılmadan) ve daha iyi termal iletkenlik sağlayabilirler.

Tabakalar halindeki silikatların, genellikle termoplastik bileşiklerin ısı deformasyon sıcaklığını (belirli boyutlardaki bir cismin, belirlenmiş bir yük altında deforme olmaya başladığı sıcaklık) geliştirdikleri iyi bilinmektedir. Bu özellik, düşük maliyetli termoplastiklerin, şimdiye kadar çok daha pahalı olan kopolimerlerin kullanıldığı alanlarda uygulanmalarını yaygınlaştırabilir. Örneğin, ucuz polipropilen bileşikler, araba motor kapağı altı uygulamaları için, daha pahalı olan poliamidlerin yerine geçebilir. Termal istikrarın (oksidatif istikrar) modifiye edilip edilemeyeceği tartışmalıdır. Zira yüksek oranda hızlandırılmış olan testlerin, matriste oluşan ayrışım ürünlerine silikatlar tarafından sağlanan bariyer etkisinden yararlanabildiği ve böylece de dengenin ayrışımından uzaklaştırıldığı açıktır. Ancak gerçekte silikatlar, çoğu durumda ayrışımı destekliyor görünmektedir.

Silikatlar polimerlerin, Cam Geçiş Sıcaklığını ( $T_g$ ) ve Isı Altında Eğilme Sıcaklığını (HDT) artırarak yanabilirliklerini etkileyebilir<sup>8</sup>. Bu tür özellikler ise inşaat ve maden endüstrisi için yararlı olabilir (Willems and van der Willenberg 2005).

## **Kimyasal Özellikler**

Reaktivite kataliz ve ilgili uygulamalar (sensorlar vs.) için en önemli özellik olarak kabul edilebilir. Reaktivite ve katalitik aktivitenin birleştirilmesiyle, yakıtlar (ve yakıt katkı maddeleri), yakıt pilleri ve patlayıcılar gibi bazı mühim uygulama alanları için kritiktir. Kataliz, büyük yüzey alanı/hacim oranı ve olası homojen nanoparçacık dağılımıyla gelişmektedir. Bu da, genellikle kullanılmakta olan platin grubu, değerli metallerin (yakıt pilleri ve katalitik dönüştürücülerde fazlasıyla kullanılmaktadırlar) ihtiyaç duyulan miktarlarının azaltılmasında yardımcı olur ve yalnızca nanoparçacık halindeyken etkili katalizör olabilen altının ve bunun gibi daha az kullanılan diğer metallerin de kullanımının önünü açar.

---

8 Silikatlar bazen geleneksel alev geciktiricilerle sinerjetik davranış sergileyebilirler. Bu sinerji, daha az miktarda pahalı alev geciktirici kullanarak, daha ekonomik formüller bulunması için araştırılabilir. Ayrıca eğer bu sinerji, çevreye zararlı olan bileşenlerin daha düşük miktarda kullanımını olanaklı kılacaksa, çevreye daha dost formülasyonlar da yapılabilir. Bunların yanında, geleneksel alev geciktiriciler tipik olarak kompozitlerin mekaniksel performansını düşürmektedirler, oysa silikatların eklenmesiyle çoğunlukla bunları iyileştirmek mümkün olmaktadır.

Metal nanoparçacıkları biosit uygulamalarında kullanılabilirler. Daha önce de sözü edildiği gibi, kararlı haldeki gümüş nanoparçacıkları, su bazlı biosit polimerik kaplamalar için uygun bir formda üretilebilirler. Ayrıca, banyo demirbaşlarına yönelik anti bakteriyel seramiklere ve sargı bezlerine de eklenmektedirler. Kaplamaların koruyucu özelliklerinde artış, ayrıca metal nanoparçacıklar (örneğin Zn, Pb ve Mn<sup>9</sup>) eklenerek de elde edilebilir. Metal parçacıkları, nispeten kolaylıkla işlevselleştirilebilirler; bu da kendiliğinden düzenlenmeyi (organize olmuş malzemeler) tetiklemek için ya da substratlara bağlanmak için (örneğin biyolojik sensorlar) kullanılabilir.

Polimer kompozitleri, kompleks oksit nano parçacıklarla doplamak, bu kompozitlerin yararlı özelliklerini, güçlü agresif bir ortama maruz bırakma esnasında dramatik bir şekilde iyileştirir. Yine (metallerde olduğu gibi), metal oksitlerin kimyasal, özellikle de katalitik özellikleri, en ilginç potansiyeli oluşturmaktadır. Foto katalitik kendi kendini temizleyen camlarda, geçirgenlik sıklıkla zorunlu olan bir ko-unsurdur (hatta koruyucu güneş kremlerinde olduğu gibi, kendi başına anahtar bir özellik de olabilir).

Nadir toprak oksitler, havadaki neme ve başka kirleticilere karşı hassastırlar. Bu nedenle de kimyasal reaktivite, yüzey özelliklerini – özellikle de yüzeydeki dopantların ışığı soğurması- önemli miktarda etkileyebilir. Ayrıca, büyük yüzey/hacim oranı bu etkiyi daha da artırır ve nanometre ölçekten yararlanmayı kritik hale getirir. Silikat nanoparçacıkları, kolaylıkla iyon değişimine uğrayabilir ve bu özellik de bunların, düşük maliyette kompozit üretmek için birçok polimerle uyumlu (gelişmiş uyumluluk) olduklarını gösterir. Kimyasal direnç, inşaat endüstrisinde yararlanılabilecek bir özelliktir. Ayrıca sensör uygulamaları için de elverişlidir (Willems and van der Willenberg 2005).

## **Mekanik Özellikler**

Komozitlerde, nanoparçacığın kimyasına, en boy oranına, dağılma ve polimer matrisiyle fazlar arası etkileşimlere (yüzey kaplamayla ve polimer formülasyonuna eklenen uyumlulaştırıcı maddelerle düzenlenen) bağlı olarak, nihai kompozitlerin mekanik özelliklerinde farklı güçlendirme oranları elde etmek mümkündür.

Metal oksit seramik nanoparçacıkları, özel aşımelerde mekanik gücü artırabilir ve bu da ayrıca daha düşük ağırlıktaki malzemelerin elde edilmesine neden olur. Metal

---

9 çinko, kurşun, manganez

oksidin kimyasına bağı olarak, morfolojisinde, matris materyalle arasındaki fazlar-arası etkileşimlerde, son kompozitin mekanik özelliklerinde farklı etkiler elde edilebilir (örneğin yüksek ya düşük oranda katılık, güç, sertlik vs.). Bu nispeten düşük parçacık hacim oranlarında elde edilebilir.

Silikat nanoparçacıkları, kompoziterdeki mekanik gücü geliştirmek için kullanılırlar ve böylece daha-düşük ağırlıklı ancak bunun yanında da hala güçlü olan malzemeler elde etmeye olanak tanırırlar. Silikatların mekanik özellikleri, daha büyük parçacıkların başaramayacağı biçimde artırdığı kanıtlanmıştır. Özellikle, güçlendirici parçacıklar kullanıldığında gerçekleşen etki gücündeki orantılı düşüşe neden olmadan büyük elastik modülü elde edilebilir. Sonuç olarak bu, düşük-maliyetli termoplastiklerin, şimdiye kadar yalnızca çok daha pahalı olan polimerlerin kullanıldığı alanlardaki kullanımını genişletebilir. Böylece, tabakalı silikatardan oluşan nanokompoziter, saf polimerlere göre daha gelişmiş mekanik özelliklere sahip olabilirler (örneğin, modül, çekme direnci ve su dayanırlığı). Bu özellikler paketleme ya da enjeksiyon kalıplama parçaları için önemli olabilirler.

Metal nanoparçacıkları da, meta-seramik nanokompoziterinde mekanik güçlendirme (geliştirilmiş sertlik) olarak kullanılabilirler. Oksit olmayan seramik nanoparçacıkları da daha gelişmiş modül, kırılma sertliği ve tabakalar arası güce neden olur. Tüm bunlara rağmen, bazı uzmanların görüşlerine göre, belirli nanoparçacık-bazı kompozitler kısa süreli bir "altın çağ" yaşayacaklar ve ardından da yerlerini nanotüp kompozitlere bırakacaklardır. Şu konuda şüphe yoktur ki, mekanik özellikler söz konusu olduğunda, hâlihazırda birçok araştırma grubu tarafından da gösterilmiş olduğu gibi, nanotüpler bu alana çok önemli bir katkı sağlamak üzere hazırlanmaktadırlar (Willems and van der Willenberg 2005).

## **Diğer Özellikler**

Nanoparçacıkların, yüksek yoğunluklu veri depolama kapasitesi gibi diğer özellikleri de bulunmaktadır. Ancak bu, bir özellikten çok (daha çok manyetik davranıştan kaynaklanan) bir uygulama alanı olarak düşünülebilir. Yüksek anizotropi manyetik nanoparçacıkların özel düzenlenmesinin kullanılmasıyla (soper-paramanyetik davranışları engellemek amacıyla), veri depolama yoğunluğunu artırmak için büyük bir potansiyel mevcuttur. Burada, kendiliğinden-düzenlenmiş nano yapılar kullanılabilir. Vurgulanan

diğer özellikler, biyolojik özellikler/biyoaktiviteyi içermektedir. Yine, bu tek başına bir özellik olarak kabul edilmemektedir; daha çok nanoparçacıkların büyük özgül yüzey alanları ve kimyasal özelliklerinin bir bileşimi olarak alınmaktadır (Willems and van der Willenberg 2005). Aşağıdaki tabloda (Tablo 1.2), nanoparçacıkların farklı endüstriyel alandaki olası uygulamaları özetlenmektedir.

**Tablo 1.2: Nanoyapıttaşlarının Güncel ve Gelişmekte Olan Uygulamaları**

| Yüzey Özellikleri   | Uygulama Örnekleri   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Mekanik özellikler (örneğin triboloji, sertlik, çizilmeye dayanıklılık)</li> </ul>                           | Mekanizmaların ve ekipmanların yıpranmadan korunması, yumuşak malzemelerin (polimerler, ahşap, dokumalar vs.) mekanik korunması                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Islanma özellikleri (örneğin anti-yapışkan, hidrofobik, hidrofilik)</li> </ul>                               | Üzerine yazılamaz, buruşmaz, Lotus-etkisi (kir tutmama), tekstil ve seramikler için kendi kendini temizleyen yüzeyler vs.                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Termal ve kimyasal özellikler (örneğin ısı dayanıklılığı ve yalıtkanlık, paslanmaya dayanıklılık)</li> </ul> | Mekanizmalar ve ekipmanlar için paslanma koruması, türbinler ve motorlar için ısı dayanıklılığı, termal yalıtıp ekipmanı ve inşaat malzemeleri vs. |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Biyolojik özellikler (biyo-uyumluluk, anti-infektif)</li> </ul>  | Biyo-uyumlu implantlar, abakteriyel tıbbi gereçler ve yara pansuman malzemeleri  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Elektronik ve manyetik özellikler (örneğin manyeto-dayanıklılık, dielektrik)</li> </ul>                      | Transistorlar, manyetizmaya dayanıklı sensörler ve veri hafızası için olağanüstü ince yalıtkan maddeler  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Optik özellikler (örneğin anti-yansımaya, foto- ve elektro kromatik)</li> </ul>                              | Foto- ve elektronik camlar, anti-yansıtıcı ekranlar ve güneş pilleri vs.   |

**Kaynak:** Luther W. (2004)

### 1.3. Nano Yapıttaşları – Nano Yapılı Malzemeler

Nano yapıtaşları, tuğla ve harcın yüksek binalar inşa etmek için kullanıldığı gibi, nano yapılar ve cihazlar oluşturmak amacıyla kullanılır. Nanoteknolojiyi kontrollü ve yararlı uygulamalara yerleştirebilmek için, iyi tanımlanmış yapı taşlarının yaratılması ve bunların fiziksel, kimyasal ve diğer özelliklerinin iyice anlaşılması gerekmektedir. ABD DOE'ye (2002) göre, deneyler yardımıyla iyice tanımlanmış, günün teorik bilgileri ve teknolojik uygulamaları sayesinde kolayca işlenebilen nano yapıtaşları, aşağıdaki kategorilere ayrılarak sıralanabilirler:



- Kümeler ve moleküler nano yapılar
- Nano tüpler ve ilgili sistemler
- Kuantum kuyuları, telleri, filmleri ve noktaları

Aşağıda, nanoteknolojinin bazı temel yapıtaşlarıyla ilgili bilgiler özetlenerek anlatılmıştır (Sharifzadeh, M. 2006).

Nanoyapılı malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (optik soğurma ve flüoresanlık, ergime noktası, katalitik aktivite, manyetizma, elektriksel ve termal iletkenlik vs. gibi), bunlara tekabül eden kütleli malzemenin özelliklerinden tipik olarak önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir. Nanoyapılı malzemeler, nano yapıların boyutlandırılmasına göre, nanoparçacıklar (3 boyutta nano-ölçekte), nano teller/-tüpler (2 boyutta nano-ölçekte) ve nano katmanlar (tek boyutta nano-ölçekte) ya da nanoporlu (nano gözenekli) olarak sınıflandırılabilirler (Luther, W. 2004).

### **Nanoparçacıklar**

Nanoparçacıklar, çeşitli boyutları ve morfolojileri (amorf, kristalin, sferik, iğneli vs.)olabilen birkaç on veya yüz atomdan ya da molekülden oluşmaktadırlar. Bazı nanoparçacık türleri günümüzde ticari olarak kuru toz ya da sıvı dispersiyonlar olarak bulunabilmektedir. İkincisi, süspansiyon ya da macun oluşturacak şekilde, nanoparçacıkları sulu ya da organik bir sıvıyla birleştirilmesiyle elde edilir. Değişken olmayan ve kararlı parçacık dispersiyonları oluşturmak için kimyasal katkı malzemelerinin (sümfaktanlar, seyrelticiler) kullanılması gerekli olabilir. Ek işleme adımlarıyla nanoparçacık tozları ve dispersiyonlar, kaplama malzemelerinin, kullanılan hammaddenin nano yapısını koruyabilen ya da koruyamayan bileşenlerin ve aygıtların üretilmesi için kullanılabilirler. Bugün, ticari olarak en fazla öneme sahip olan nanopartikül malzemeler, silika (SiO<sub>2</sub>), titania (TiO<sub>2</sub>), alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), demir oksit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) gibi metal oksitlerdir. Ancak karbon siyahı ya da fullerenler gibi karbon nanoparçacıklarının, kadmiyum tellür (CdTe) gibi bileşik yarı-iletken parçacıklarının ya da galyum arsenidin (GaAs) ve ayrıca metal nanoparçacıklarının (özellikle Ag, Au gibi değerli metaller) da gittikçe genişleyen uygulama alanları vardır.



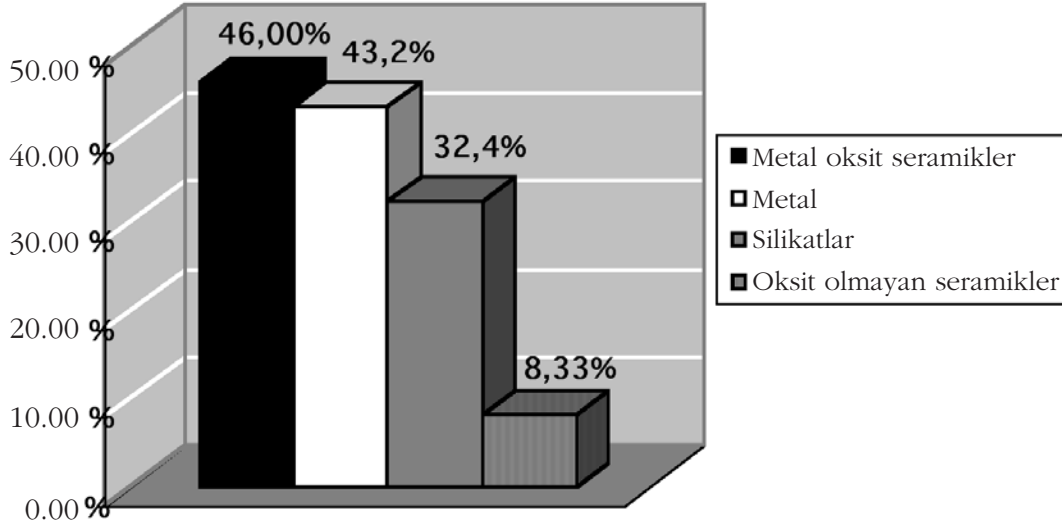
Molekül boyutların birkaç on nanometreye kadar olduğu makromoleküler kimya aralığı da nanoteknoloji olarak isimlendirilmektedir. Nanoteknoloji aralığında özel ilgi uyandıran bazı bileşik sınıfları, örneğin tıp alanında madde taşıyıcılar olarak uygulanabilecek olan fullerenler ya da dendrimerlerdir (tanımlanmış boşlukları olan, ağaca benzer moleküller) (Luther, W. 2004).

**Tablo 1.3: Nanoparçacıkların Güncel ve Gelişmekte Olan Uygulamaları**

| <b>Elektronik, Optoelektronik ve Manyetik Uygulamalar</b> | <b>Biyomedikal, İlaç ve Kozmetik Uygulamalar</b> | <b>Enerji, Katalizör ve Yapısal Uygulamalar</b> |
|---|--|---|
| • Kimyasal-mekaniksel cilalama                            | • Anti-mikrobiyeller                             | • Otomotiv katalizörü                           |
| • Elektro-iletken kaplamalar                              | • Biyo-geciktirme ve imleme                      | • Seramik membranlar                            |
| • Manyetik akışkan contalar                               | • MRG <sup>10</sup> kontrast ajanları            | • Yakıt pilleri                                 |
| • Çoklu-tabakalı seramik kondansatörler                   | • Ortopedi ve implantlar                         | • Fotokatalizörler                              |
| • Optik fiberler  | • Koruyucu güneş kremleri                        | • Propellantlar                                 |
| • Fosforlar   | • Termal sprey kaplamalar                        | • Çizilmeye dayanıklı kaplamalar                |
| • Kuantum optik aygıtlar                                  |  | • Yapısal seramikler                            |
|   |  | • Güneş pilleri                                 |

Kaynak: Rittner 2002 ve Luther, W. 2004

Delphi Panelindeki katılımcılara göre, nanoparçacık kategorilerinden en fazla bilenler aşağıdaki şekilde gibidir:



Şekil 1.2: En Çok Bilinen Nanoparçacık Kategorileri (Willems and van der Willenberg 2005)

Burada hatırlatılması gereken şey, kritik boyutun esasen 100 nm'den büyük olduğu aralıkta, iki önemli uygulama alanı vardır: biyolojik ve ışıkla-İlgili uygulamalar. İlaç taşıyıcı sistemler için nanoparçacıklardan yararlanan mevcut araştırmalar, 400 nm boyutlara kadar olan (ya da daha fazla) parçacıklar kullanmaktadır. Bu boyut, biyolojik olarak önemli olacak kadar küçüktür. Işığa dayalı uygulamalar için, ışık dalgalarının (UV ve görünür ışık dalgaları) yüzölçümü nm boylarında ölçüldüğü burada hatırlanmalıdır.

Bazı nanomalzeme kategorileri nanopartikül kategorisine girmektedir (örneğin küre biçimindeki fullerenler, dendrimerler ya da kuantum noktaları) (Willems and van der Willenberg 2005).

## Nanokatmanlar

Nano katmanlar, nanoteknoloji alanındaki en önemli konulardan birini oluştururlar. Yüzeylerin ve katmanların nano-ölçekteki mühendislikle, çok geniş ölçüde fonksiyonellikler ve yeni fiziksel etkiler (örneğin manyeto elektronik ya da optik) elde edilebilir. Bundan başka, yüzeylerin ve katmanların nanoölçekte tasarlanması, genellikle farklı malzeme sınıfları (örneğin silikon tabanları üzerindeki bileşik yarıiletkenler) arasındaki ara yüzeyleri optimize etmek ve istenilen özel nitelikleri elde etmek için gereklidir.

## **Nanopor Malzemeler**

Nanometre aralığında por-boyutları olan malzemeler, termal yalıtkanlık, kontrol edilebilir malzeme ayrıştırılması ve salınımı, kimya ve katalizörler için kalıp ya da dolgu olarak kullanılabilme gibi özel niteliklerinden dolayı, geniş çapta endüstriyel uygulama alanı için önemlidirler. Örneğin aerojellerden bahsedecek olursak, bunlar sol-jel kimyası tarafından üretilmiş olan ultra-ışık nanoporlu malzemelerdir. Bu malzemeler için, katalizörler, termal yalıtkanlık, elektrot malzemeleri, çevreye-dost dolgular ve membranlar, ayrıca kontrollü salınımlı madde taşıyıcıları gibi çok geniş uygulama olanakları sıralanabilir (Luther, W. 2004).

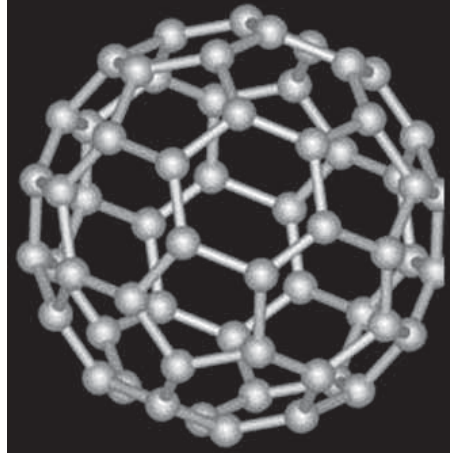
## **Nanoteller, Nanotüpler ve Nanoçubuklar**

Nano teller, nano tüpler ya da nano çubuklar, çeşitli malzeme sınıflarından (örneğin metaller, yarıiletkenler ya da karbondan) birkaç üretim tekniğiyle elde edilebilirler. En çok umut vadeden lineer nano yapılardan olan karbon nano tüpler, çeşitli modifikasyonlarla (örneğin tek- ya da çok-duvarlı, doldurulmuş ya da yüzeyleri modifiye edilmiş olarak) karşımıza çıkabilirler. Karbon nano tüplerin, nanoelektronik alanında (mantık, data depolama ya da yazdırmada olduğu gibi yassı ekranlarda ve mikrodalga kuvvetlendiricilerde soğuk elektron kaynakları olarak) ve ayrıca özel nitelikleri olan malzemeler elde etmek için nanokompozitlerde dolgu olarak geniş kullanım olanakları sağlayacakları beklenmektedir. Aynı zamanda karbon nano tüpler, KBB yöntemleriyle tonlar-ölçeğinde üretilebilirler ve böylece, yakın gelecekte makul fiyatlarda kullanılma-ya uygun hale gelebilirler.

## **Fullerenler, Nanotüpler ve İlişkili Yapılar:**

Fullerenler, grafit ve elmas ile beraber karbon molekülleri ailesine aittirler ve sferik, eliptik ya da silindirik karbon atomu konfigürasyonlarına sahiptirler. İlk fullerenler, 1985 yılında, Teksas Rice Üniversitesi'nden Richard Smalley'le Robert Curl ve İngiltere Sussex Üniversitesi'nden Harry Kroto tarafından keşfedilmiştir. Bu kişiler, bu buluşları için 1996 yılı Nobel Ödülü'nü paylaşmışlardır. Buluşları, 20 hegzagon ve 12 pentagon yardımıyla bağlanmış olan – futbol topu görünüşüne benzer, 60 karbon atomundan (C60) oluşan 1nm çapında bir karbon molekülüydü (Şekil 5). C60 sınıfı, Buckminsterfullerene ya da kısaca bucky topları (buckybal) olarak adlandırıldı ve bundan sonra keşfedilen herhan-

gi bir kapalı karbon kafesi de fullerenler terimiyle isimlendirildi. Nanoteknolojinin ilk yapı taşlarından olan bucky topları, her üç boyutunda da nano ölçektedirler.

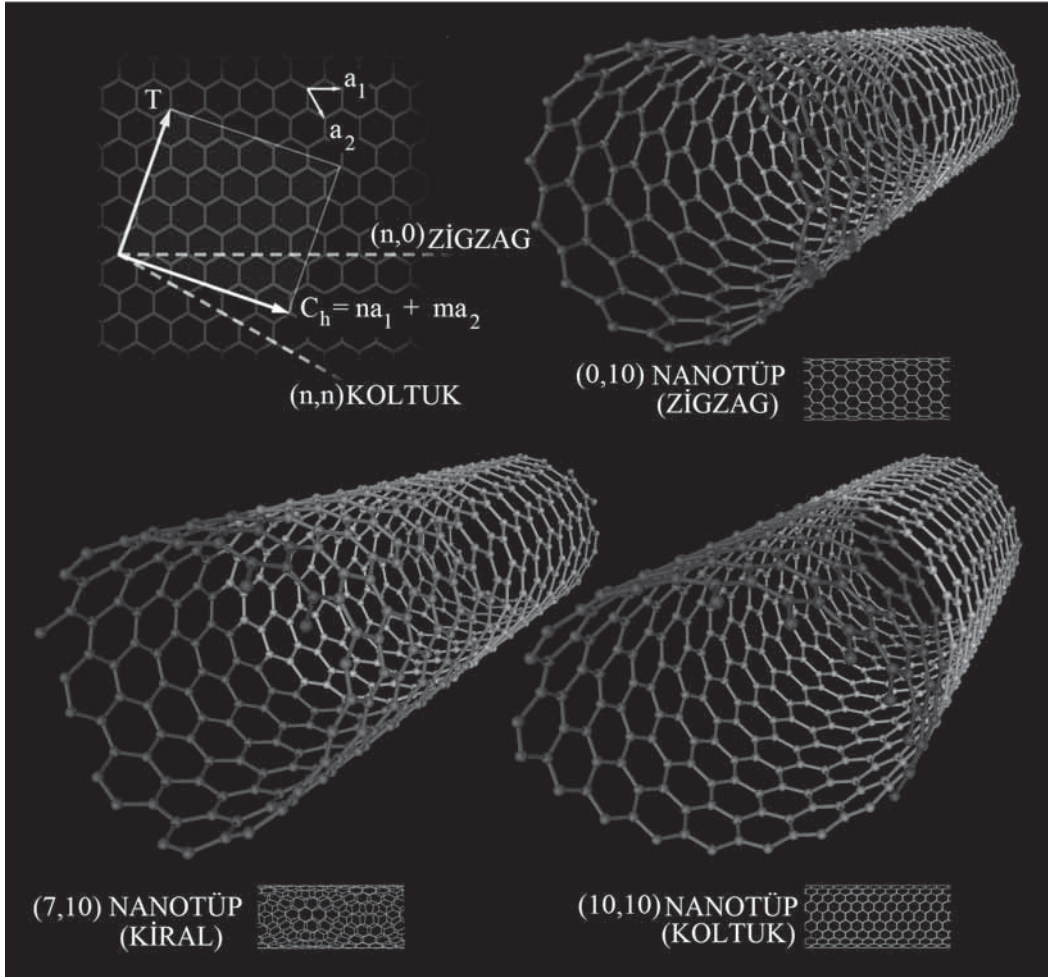


**Şekil 1.3:** C<sub>60</sub>'ların Şematik Görünüşleri (Kaynak: (Sharifzadeh, M. 2006)).

Her ne kadar fullerenler doğa tarafından üretiliyor olsalar da, doğal fullerenler miktar olarak az bulunmaktadırlar. 1990 yılında, Arizona Üniversitesi'nden Donald Huffman ve Almanya'daki Max Planck Enstitüsü'nden Wolfgang Kratschmer, ilk kez lazer tekniğiyle araştırma miktarlarında C<sub>60</sub> üretmeyi başardılar. Bundan sonra, bucky toplarını büyük miktarlarda üretmek için başka yöntemler de geliştirildi. Fullerenler, yağlama yüzeyleri için tasarlanmış, madde taşıyıcı araçlar ve elektronik devreler gibi birkaç uygulama alanı olan, olağanüstü güçlü moleküllerdir (Sharifzadeh, M. 2006).

### **Karbon Nanotüpler**

Karbon nano tüp (KNT), nanoteknoloji için bir diğer yapıtaşdır. KNT 2 boyutunda nano-ölçeğindedir. Nanometre çaplarında saf karbon molekülü birkaç telden ve bir kümes teli levhasını andıran, birbirilerine bağlı birçok mikron uzunluktan oluşmaktadır (Şekil 1.4). Tek-duvarlı karbon nano tüp (TDKN), nanometre boyutunda içi boş bir silindir oluşturacak şekilde yuvarlanmış, tek atom katmanlı kalın bir grafit levhasından (buna grafen de denilir) oluşur. Çok-duvarlı karbon nano tüpler(ÇDKN), iç içe geçmiş birkaç eşmerkezli karbon tüpten oluşmaktadır (Sharifzadeh, M. 2006).



**Şekil 1.4:** Üç Tip Tek-Duvarlı Karbon Nano Tüpün Üç Boyutlu Modeli (Kaynak: Sharifzadeh, M. 2006)

Çok-duvarlı formda olan karbon nano tüpler, ilk olarak 1991'de Tskuba, Japonya'daki NEC Temel Araştırma Laboratuarından Sumio Iijima tarafından teşhis edilmişlerdir. Daha sonra, 1993'de tek-duvarlı nano tüpler birbirlerinden bağımsız olarak hem NEC'de hem de Kaliforniya'daki IBM Araştırma Merkezi'nde keşfedilmişlerdir.

Günümüzde nano tüpler üretmek için birkaç yöntem geliştirilmektedir. Tipik olarak, nano tüplerin üretimi bir karbon kaynağı, bazı katalizörler ve enerji gerektirmektedir. Bugün için, yüksek miktarlarda nano tüp üretiminde en verimli yöntem, küçük katalizör parçacığı –tipik olarak demir ya da demir/molibdenim- ve sıcak,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  gibi karbon içeren bir gaz ortamından oluşan, sıcak kimyasal buhar biriktirme yöntemidir (KBB). Metal parçacığı, karbon içeren gazların dekompozisyonunu katalize eder ve

karbon, katalizör parçacığında çözünür. Katalizör parçacığı, karbonla aşırı doygun hale geldiğinde, geride kalan fazladan karbonlar, tüpler oluşturmak üzere yeniden biçim alırlar. Farklı özellikleri nedeniyle nano tüpler, nanoteknolojinin en heyecan uyandıran ve en fazla gelecek vaat eden keşfi olarak görülürler. Şekillerine ve boyutlarına bağlı olarak, karbon nano tüplerin elektronik özellikleri metalik ya da yarıiletken olabilir. Metalik özellikler KNTleri bakırdan daha iletken yapabilir ya da elmadan daha iyi ısı iletmelerini sağlayabilir. Yarı-iletkenlik özellikleri onları daha güçlü, küçük ve hızlı bilgisayar çipleri üretimi için uygun adaylar yapmaktadır. Ancak, nano tüpleri üretmek için kullanılan sentetik yöntemler, birbirlerine ip gibi yapışan yarı-iletken ve metalik nano tüpler üretmektedir.

2001 yılında IBM'deki biliminsanları, *yapıcı yıkım* adını verdikleri bir teknik geliştirdiler ve metalik nano tüpleri elektriksel bir şok-dalgasıyla tahrip ederek, yalnızca yarı-iletken özelliklere sahip olan ve transistör yapımı için ihtiyaç duyulan karbon nano tüpleri üretmeyi başardılar. Karbon nano tüpleri bilgisayar çipleri üretmek için kullanma fikri, elektronik endüstrisini Moore Kanunu'ndan da öteye götürmektedir. Moore Kanunu'na göre, çiplere sıkıştırılabilen transistörlerin sayısı her 18 ayda bir ikiye katlanmaktadır. Ancak, birçok biliminsanı, 10–20 sene içinde silikonun fiziksel sınırına erişeceğini ve böylece bir çipe transistör ekleme kapasitesinin dolacağını düşünmektedir. Nano transistörlerin gelişi ise, elektronik endüstrisine, silikonun fiziksel sınırlarının ötesine geçmesi için bir fırsat tanımaktadır (Sharifzadeh, M. 2006).

C-C kovalent bağlanmaları ve kesintisiz hegzagonal ağ yapıları nedeniyle, KNT'ler bilinen en güçlü ve en esnek malzemelerdendir. Şu anda bu yeni özellik, atomik mikroskopide, örneğin AKM (Atomik Kuvvet Mikroskopu) ucu üretmek için kullanılmaktadır. KNT'lere dayalı uçlar çok güçlüdür, geleneksel silikon ve tungsten uçlar gibi kolayca aşınmazlar ve şaşırtıcı oranlarda çözünürlük sağlarlar (NASA-Ames Research Center; Sharifzadeh, M. 2006).

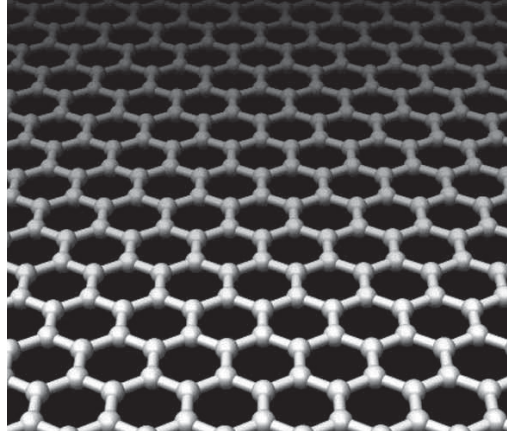
Günümüzde tek-duvarlı karbon nano tüpler, verimli ve çok-amaçlı sensörlerin üretiminde kullanılmaktadırlar. TDNT'ler yalnızca tek moleküler katman kalınlığında olduklarından, her atom yüzeyde bulunmaktadır ve bu nedenle de bu nano tüplerden imal edilmiş olan sensörler, sıvı ve gaz ortamlarında, çeşitli kimyasallara karşı olağanüstü yüksek hassasiyete sahiptirler.



Mevcut olan ve tasarlanan bazı diğerk KNT uygulamaları, veri depolama aygıtları, kondansatörler, yassı panel ekranlar, ısı eşanjörleri, çok güçlü kompozitler, filtre membranları, uzay giysileri, biyosensörler, yakıt pilleri, çipler üzerinde laboratuvarlar ve çok daha fazlasını içermektedir (Sharifzadeh, M. 2006).

Grafen tek atom kalınlığında yalnızca karbon-karbon bağlarından oluşan, bal peteği yapısında sıkıca paketlenmiş düzlemsel bir yapıdır. Dünyada bilinen en sağlam malzemedir. Grafen adı grafit ten gelmektedir. Grafit çok katmanlı grafen yapısıdır.

Grafen yapısında Karbon-Karbon bağ yaklaşık olarak 1.42 Å uzunluğundadır. Grafen karbon nantüplerin, grafitin ve fullerenin temel yapı taşı nı oluşturmaktadır. Grafen aynı zamanda sonsuz büyüklükteki bir aromatik organik kimyasal olarak ta düşünülebilir.

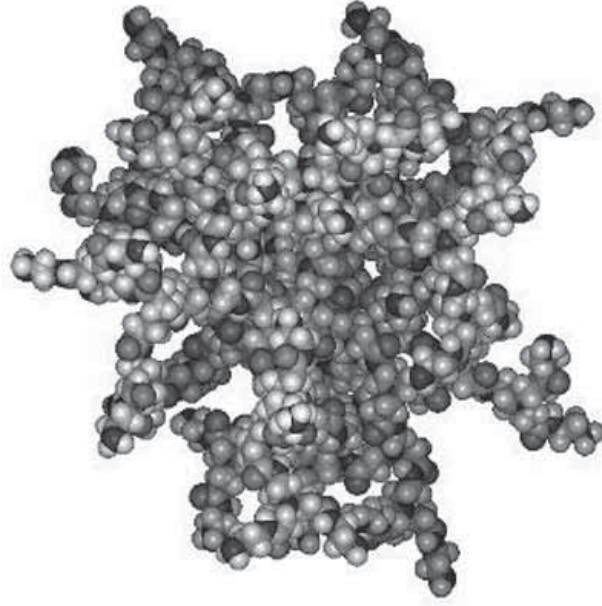


**Şekil 1.5:** Grafen Yapısı (Kaynak:Wikipedia)

### **Dendrimerler:**

*Dendrimer* kelimesi, Yunanca'dan, ağaçlar anlamına gelen *dendri* ve kısım anlamına gelen *meros* kelimelerinden gelmektedir. Dendrimerler ya da dendirik moleküller, doğalar ve fonksiyonellikleri kolaylıkla kontrol edilebilen ve değıştirilebilen basit dallı monomer birimlerinden, adım adım oluşturulan üç boyutlu sentetik moleküllerdir. Dendrimer, nano boyutta bir makro moleküldür ve (a) bir çekirdek, (b) *dendron* da denilen tekrarlayan dal-hücre birimlerinden oluşan kabuklardan bir öz ve (c) periferin dış kabuğu olarak adlandırılan terminal fonksiyonel gruplardan oluşmaktadır. (Tomalia, 2004; Dendrimerler ve Sharifzadeh, M. 2006)

Dendrimerde, dendronların dallanması, dalların yoğun olarak yığılıp kubbe bir küre oluşturmalarına kadar devam eder. Dendrimer kürenin yüzeyine, küreyi özel fiziksel ve kimyasal özelliklerle donatmak üzere birtakım fonksiyonel gruplar yerleştirilebilir. Çekirdeğin, kabukların (dendronların) ve özellikle de yüzey tabakanın kimyasal özelliklerinin ayarlanmasıyla, dendrimer özellikleri belirli bir uygulamaya yönelik olacak şekilde uygun hale getirilebilir. Bu nedenle de dendrimerler, yeni bir ana polimer sınıfının – *dendritik durum*- temelini oluşturan, nanoteknolojinin olanaklar vadeden yapı taşları olarak kabul edilirler (Tomalia, 2004 ve Sharifzadeh, M. 2006).



**Şekil 1.6:** 5 PANAM Dendrimerinin Oluşturulmasının Şematik Görünüşü (Courtesy of Dendritik NanoTechnologies Inc. ve Sharifzadeh, M. 2006).

Dendrimerler ilk olarak 1985’de keşfedilmişlerdir ve merkezi bir çekirdek molekülle başlayıp ardından bu küreden ardı ardına iç içe geçmiş katmanların ya da dal oluşumlarının (dendronlar) büyütüldüğü, *divergent sentez* olarak da adlandırılan bir teknikle üretilmişlerdir. Bu zamana kadar birçok dendrimer bileşimleri ve dendrier yüzey modifikasyonları denenmektedir. Üzerinde en fazla araştırma yapılan iki dendrimer sınıfı, Fréchet –tipi polieter yapıları ve Tomalia-tipi PolyAMido Amin (PAMAM) dendrimerleridir (Şekil 1.6).



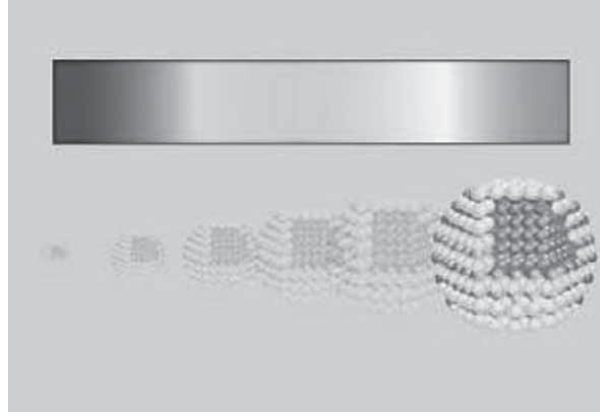
Fréchet –tipi dendrimer, 1989 yılında J. M. J. Fréchet tarafından, *konvergent* tekniğiyle sentezlenerek bulunmuştur. Konvergent yaklaşım, dendrimerlerin feriferini oluşturacak olan kısımlarla (dalların uçları) başlar ve içeriye doğru yapılanarak devam eder. Bu uçlardan iki tanesi, dendron oluşturmak üzere dallı bir monomere bağlanır ve bu işlem, istenen boyuta ulaşılan kadar devam ettirilir. Bundan sonra, birbirlerine bağlı olan bu dallar çekirdek bir moleküle bağlanır.

PAMAM dendrimerleri, A. D. Tomalia tarafından, divergent yaklaşım izlenerek sentezlenmiştir. PAMAM dendrimerler, ticari hale getirilecek olan ilk dendrimer ailesini oluşturmaktadır ve günümüzde, en geniş ölçüde karakterize edilmiş ve en iyi anlaşılmiş olan seriyi temsil etmektedirler (Sharifzadeh, M. 2006).

Geleneksel lineer polimerle karşılaştırıldıklarında dendrimerler, sahip oldukları benzersiz ve monodispers yapıları sayesinde, daha önce bilinmeyen ya da önemli ölçüde gelişmiş olan fiziksel ve kimyasal birçok özelliğe sahiptirler. Bu nedenle dendrimerler, nano-ölçekte nesnelerin, moleküler aygıtlar ve moleküler makinelerin, gelişmiş madde-salınım sistemlerinin vs. oluşturulmasına yönelik temel yapı taşlarından biri olarak kabul edilirler (IBM Almaden Research ve Sharifzadeh, M. 2006).

### **Moleküler Elektronikler – Kuantum Noktaları**

Kuantum noktaları, yeni optik özellikleri olan, inorganik yarı-iletken nano-boyutlu kristallerdir. Geleneksel yarı-iletkenler çok yönlülükten noksan ve enerji aralıkları kolayca değiştirilemediğinden, bunların optik ve elektronik vasıflarının ayarlanması pahalıdır. Bunların emisyon frekansları da mühendislikle kolaylıkla manipüle edilemez. Kuantum noktaları bu noksanları giderir; yalnızca boyutları ya da nokta'nın bileşimi kontrol edilerek, belirli ışık dalga-boylarını (renkler) yansıtacak ya da soğuracak şekilde üretilebilirler. Bu nedenle, bir parçacığın optik özellikleri, parçacık boyutuna ve bileşimine bağlı olarak çok iyi ayarlanabilir ve kontrol edilebilir. Kuantum noktaları, ışığı diğer boyalarla aynı şekilde emmezler. Belirli bir dalga-boyuna ait ışığı emerken ya da yansıtırken, bu dalga-boyunun kırmızı ya da mavisini ememeyen ve de yansıtamayan geleneksel flüoresan boyanın aksine, bir kuantum noktası, yalnızca boyu değiştirilerek, ultraviyolede infrarede kadar spektrumu tarayan ışığın tüm dalga-boylarını emecek ya da iletecek hale getirilebilir. Örneğin, kadmiyum selinürden 3 nm boyutundaki bir parçacık, yeşil ışığı 520 nm'de yayarken, aynı malzemedeki 5,5 nm'de olan bir parçacık kırmızı ışığı 630 nm'de yayar (Şekil 1.7).



**Şekil 1.7:** Kuantum Noktaları ve Boyuta Bağlı Renkler (Courtesy of Evident Technologies ve Sharifzadeh, M. 2006).

Kuantum noktalarının çeşitli yararlı uygulamalarına yönelik araştırma sonuçları, giderek daha geniş alanda uygulanmaya başlamıştır. Araştırmacılar kuantum noktalarını, yüksek kalitede ucuz beyaz ışık üretmek ve böylece geleneksel ışık yayan diyotların (LED) birçok olumsuz eksikliğini gidermek için kullanmaya çalışmaktadırlar. Kuantum noktası LED'ler, tam-renk ışık, yassı panel ekranlar; çok yüksek yoğunluklu optik hafıza ve veri depolaması, arkadan aydınlatma; ve kimyasal ve biyolojik algılama alanlarında birçok ilginç teknolojik gelişmenin önünü açmaktadırlar.

Kuantum dotlarının, enerji kayıplarını ortadan kaldırarak ve emilen enerji fotonu başına çoklu-elektron üretimini sağlayarak, solar teknoloji verimini geliştirme potansiyelleri bulunmaktadır. Teknik gelişmeler, nano kristallerin (kuantum noktaları) üretiminin ve ayarlanmasının, solar enerji üretim potansiyelini artırarak, solar spektrumun daha geniş bir aralığına erişimini olanaklı kılmıştır.

Kuantum noktalarının beklenen önemli bir uygulama alanı, bunların optik özelliklerinin, hücreleri ve diğer biyolojik aktiviteleri tayin edip yerlerini belirlemede kullanılacağı fen ve doğa bilimlerdir. Bu kristaller, biyolojik testlerde kullanılan geleneksel boyalardan çoğu zaman daha parlak optik algılamalar sağlamaktadır ve tüm canlılarda yer alan karmaşık prosesleri detaylı olarak açığa çıkarabilirler. Bu alanda, kuantum noktalarının en önde gelen ve şu anda üzerinde yoğun olarak araştırmalar yapılan uygulaması, bu noktaların flüoresan spektroskopiden de yararlanarak, tümörlerin intraoperatif algılanması için kullanılmasıdır (Sharifzadeh, M. 2006).

## 1.4. Nanoelektromekanik and Nanoakışkan Sistemler

### Nanoelektronik

Son dört on-yılda, bilgisayar çiplerinin gücü, endüstrinin tek bir çip üzerine yerleştirebileceği transistor sayısının her iki yılda ikiye katlanacağını tahmin eden Moore kanununa göre artmıştır. Yakın gelecekte, üst düzey bilgisayar çiplerinin parça boyutları 100 nm sınırını aşarak nanoelektronikler dünyasına ulaşacak. Geleneksel TMOY<sup>11</sup> elektroniği yakında ekonomik (çip fabrikalarının maliyetleri) ve fiziksel (örneğin kuantum etkileri) sınırlarına ulaşacaktır. Burada nanoelektronik teknolojilerinden beklenen, gelecek on yılda Moore Kanunu'nun devamlı geliştirilmesini mümkün kılacak temeli sağlamak olduğu gibi, geleneksel elektronikle birleştirilmiş yeni algılama uygulamaları hibrit yapılar için gerekli potansiyeli oluşturmaktadır. Nanoelektronik teknolojiler, ultra-geliştirilmiş silikon AET'ler<sup>12</sup>, tek elektron aygıtları, kuantum enformasyon aygıtları, moleküler elektronik aygıtlar ve polimer elektronikleri içerir, ancak bunlarla sınırlı değildirler.

### Ultra-Geliştirilmiş Silikon AET'ler

Yarıiletken endüstri yol-haritasına göre, silikon bilgisayar çiplerinin parça boyutları yakında 100 nm'nin altına inecek şekilde küçülecektir. Parça boyutlarını daha da düşürme amacına ulaşmak için, EUV-litografi<sup>13</sup> gibi yeni üretim yöntemlerinin pekiştirilmesi gerekmektedir ve çok sayıda teknik ve ekonomik engelin de üstesinden gelinmelidir (ITRS 2003 ve Luther, W. 2004).

### Tek Elektron Aygıtları

Tek elektron transistorları (TET) genellikle nanometre ölçeğinde elektronik devre birimleri olarak ele alınmaktadır, çünkü bunlar çok küçük boyutlarda üretilebilir ve tek tek elektronların hareketlerini algılama kapasiteleri bulunmaktadır. Ancak, TET'lerin düşük voltaj kazançları, yüksek çıkış empedansları vardır ve rasgele arka plan yüklerine karşı hassastırlar. Bu da tek elektron transistorların, büyük miktarda voltaj kazancı

---

11 Tamamlayıcı Metal-Oksit-Yarı-İletken; İngilizce: Complimentary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS)

12 Alan -etkili transistör

13 Ekstrem Ultraviyole Litografi

ve düşük çıkış empedansının gerekli olduğu uygulamalarda alan-etkili transistörlerin yerine geçmelerini olasılık dışı bırakmaktadır. TET'ler için en çok gelecek vadeden uygulamalar, birkaç elektrondan oluşan hafızaların okunması, yükle-akuple edilmiş aygıtların okunması ve metroloji alanında hassas yük ölçümleri gibi, yük-algılama uygulamalarıdır (Luther, W. 2004)..

## **Spintronik**

Spintronik bileşenler, veri işleme ve depolama için yalnızca yükten değil, elektronun manyetik momentinden de yararlanırlar. Yalnızca elektronların spinlerini değiştirecek olan bileşimlerin, kesinlikle elektriksel yüke dayalı olarak çalışanlardan daha hızlı olacaklarına dair tahminler şimdiden yapılmıştır. Ayrıca, bu spin değişim işlemi, karşılaştırılabilir bir yük transferine göre daha az enerjiye ihtiyaç duyacaktır. Spintronik alan, programlanabilir mantığın yolunu açabilir ve şimdiden veri depolama sektöründeki ticari pazara girmiş bulunmaktadır. Elektron spininden yararlanan ve DMD<sup>14</sup> etkisine dayalı, sabit disk sürücülerindeki okuma kafası olan "spin valf", ilk bileşenlerden biri olarak, bir seri üretim ürünü halinde hâlihazırda başarılı bir şekilde geliştirilmiştir. Veri depolanması alanında gelecek nesil spintronik birimler için daha da fazla umut vadeden bir diğer aday, DRAM<sup>15</sup> ya da Flash Memory'ye alternatif olacak olan MRAM'dır<sup>16</sup> (Luther, W. 2004).

## **Kuantum Enformasyon Aygıtları**

Geleneksel bileşenlerde kuantum etkileri, nano-ölçekte elementin fonksiyonunu zayıflatan bozucu tesirlerle ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan, kuantum bilgi işlemleri, kuantum etkilerinin, paralel veri işlenmesinin tamamen yeni bir biçimine yönelik olarak özel kullanımına dayalıdır. Kuantum bilgi işlemi, ultra-hızlı algoritmalar ya da güvenli veri transferlerinin gerçekleştirilmesi için potansiyel oluşturmaktadır. Bu bilgisayarların temel devrelerinin ve fonksiyonlarının kurulması, yarıiletkenlere olduğu kadar, süper iletken nano yapılara da dayalıdır. Ancak, bugünün modern dijital bilgisayarıyla rakip olabilecek bir kuantum bilgisayarının önünde aşılması gereken çok fazla engel bulunmaktadır. Bu zorlukların arasında, hata düzeltme, dekoherans, ve donanım yapı tasarımı herhalde aşılması en güç olanlardır (Luther, W. 2004).

---

14 Dev-Manyetik-Direnç

15 Bir RAM türü: Dinamik Rasgele Erişim Hafıza

16 Bir diğer RAM türü: Manyetik Rasgele Erişimli Hafıza

## **Moleküler Elektronik**

Moleküler elektronikte, organik ve/veya biyolojik moleküller, elektronik fonksiyonları ve/veya elementleri oluşturmak üzere yapıyı kurarlar. Bu araştırma alanındaki temel sorular, özellikle, akım verme işleminin tersinirliği, akım verme hızı, daha büyük moleküler devreler oluşturmak üzere büyütme, uygun işlemcilerin tasarımı ve bunların makroskopik dünyayla aralarındaki ara yüzeylerle ilgilidir. Özellikle moleküler devrelerin üretimi için, masraflar açısından avantajlı bir üretimi olanaklı kılacak olan, kendiliğinden düzenlenme yöntemleri düşünülmektedir. Moleküler elektronik alanı halen temel araştırma aşamasındadır ve pazar için hazır olmaktan henüz çok uzaktadır. Moleküler bilgisayar tasarımlarını amaçlayan araştırma yaklaşımları, örneğin karbon nano tüplere ya da DNA moleküllerine yöneliktir (Luther, W. 2004).

## **Polimer Elektronik**

Son yıllarda, polimerler ya da transistörler, ışık yayıcılar, foto-diyotlar ve ekranlar için uygulanabilir mükemmel bir elektronik performansa sahip olan diğer malzemeler geliştirme alanında oldukça hızlı bir ilerleme kaydedilmiştir. Her ne kadar polimer elektronığı, TYMO<sup>17</sup> elektroniklerden daha düşük performansa sahip olsa da, bunlar, esnek ekranlar (OLED)<sup>18</sup> ya da tanıma etiketleri gibi esnek substratlarla ilgili olan daha düşük maliyetli büyük bir elektronik alanında uygulanabileceklerdir (Luther, W. 2004).

## **Nanofotonik**

Optik veri iletişiminde önemli rol oynayan, difraktif optik elementler, optoelektronik dönüştürücüler ve fotonik bileşenler nanoteknolojiyle büyük ölçüde geliştirilebilir. Nanoyapılı fotonik bileşenler (örneğin kuantum kuyuları ya da kuantum nokta lazerleri, fotonik kristaller), optik veri iletişimi ya da tüketici elektronikleri (lazer televizyonu, ekranlar) alanlarına yönelik olarak, gelecek için önemli pazar potansiyelleri sunmaktadır (Luther, W. 2004).

---

17 Tamamlayıcı yarı-iletken metal oksit

18 Organik Işık Saçan Diod

## **Fotonik Kristaller**

Fotonik kristallerin, periyodik kırılma indisleri vardır ve görünür ışıkla IR dalgaboyu aralıklarındaki belirli frekanslar için “fotonik enerji aralığı”na sahip olmalarıyla, elektronikteki yarıiletkenlerle paralellik göstermektedirler. Ana araştırma alanları mikrolazerler, kompakt dallandırıcılar, dispersiyon kompanzasyon elementleridir. Şu sıralar, litografi ve kendiliğinden düzenlenme prosedürleri kullanılarak, üç-boyutlu fotonik kristallerin geliştirilmesi için yoğun çabalar sarf edilmektedir. Üç-boyutlu fotonik kristaller, optik veri iletişimde (ışık yönlendirilebilir ve gelişigüzel yönlerde dallandırılabilir) yeni olanakların önünü açabilir ve esas itibariyle, bütünüyle optik olan devrelerin (optik hesaplama) gerçekleştirilmesi potansiyelini sağlayabilir. Ancak şimdilik bu tür fotonik transistörler gerçekleştirilmekten uzaktır (Yablonovitch 2002 ve Luther, W. 2004).

## **Kuantum Nokta Aygıtları**

Birkaç seneden beri, kendiliğinden düzenlenmeyle büyük miktarlarda üretilebilen yarıiletken kuantum noktaları, fotonik bileşenlerin çalışma dalgaboylarını seçmede yeni bir serbestlik sunmaktadır. Bunlar, uzak ultraviyolede uzak infrarede kadar, pektral bölgenin neredeyse tamamını, çok az sayıda substrat malzemeyle kapsanmasına olanak tanımaktadırlar. Kuantum noktalarına dayalı olan malzemeler günümüzde, dedektör uygulamaları için olduğu gibi ışık emitörleri (lazer) uygulamaları için de araştırılmaktadırlar. Noktaların elektronik durumlarının, boyutları yoluyla geniş ölçüde ayarlanabilir olmaları nedeniyle, özel uygulamalar için adapte edilebilecek malzemeler elde edilebilir. Kuantum noktaları ayrıca nitelik bakımından yeni olan gereçlerde de (kuantum bilgi işlemleri için ışık kaynakları olarak araştırılan tek proton kaynakları gibi) anahtar bileşenlerdir (Luther, W. 2004).

## **Nanobiyoteknoloji**

Nanobiyoteknoloji alanında iki ana araştırma yaklaşımı takip edilmektedir: “Nano2Bio”, çeşitli biyolojik proseslerin temelini oluşturan moleküler mekanizmaların tek moleküler düzeyde incelenmesine verilmiş olan isimdir. Bu açıdan, nanoanaliz, biyolojik yapılar ve nesnelere için nanomanipülasyon teknikleri, canlı organizmalara yönelik aktif maddelerin nanoteknolojik üretimi, aktif maddelerin taşınması için nanotaşıyıcılar, nanomakinalar, araştırmalara yönelik nanorobotlar, tanı ve tedavi, na-

noteknolojik yöntemlerle kaplanmış implantlar ve nanoelektronik (özellikle nörolojik) implantlar olası uygulamalardır. “Bio2Nano” ise, teknik nanosistemler üretimine yönelik biyo(tekno)lojik malzemeler ve tasarımlara denir. Bunlar bilgi ve iletişimde, enerji, çevre ve teknik uygulamalara yönelik birçok diğer alanda kullanılabilir. Yine bunlar, örneğin paradigmalara (biyomimetikler) dayalı nanoteknoloji uygulamaları, teknik sistemleri için nanometre ölçeğinde biyolojik bileşenlerin kullanımı, ya da biyolojik bileşenlerden yararlanan nanoelektronikler ve nanobilişim, fonksiyonel ya da organizasyonel mevzuatları içerir.

Pazardaki ilk nanobiyoteknolojik ürünlerden biri DNA için mikroçipler ya da protein (art arda) sıralamadır (biyo-çipler). Bu teknoloji, geleneksel mikroelektronik endüstrisinden ayrılmış bir teknolojinin, yeni geliştirilmiş biyoteknoloji oluşturmak üzere birleştirilmesine örnektir. Bu tür biyolojik çiplerin ekonomik ve sosyal etkileri azımsanamayacak derecede büyüktür. Geliştirilme aşamasında olan başka bir teknoloji de, “çip-üzerinde-laboratuvar” aygıtları olarak da bilinen mikroakışkan biyo-çiplerle ilgilidir. Bunlar, çip-üzeri biyokimyasal işlemeye (örnekleme, karıştırma, amplifikasyon, ayırma) ve analizine olanak tanıyan, sıvılara batırılmış olan minik biyo-nesnelerin manipülasyonuna dayalıdır. Uygun bir örnek, DNA’ya yönelik mikro-kanala dayalı seri deneylerdir. Biyoçipler ve mikroakışkan çiplerin uygulama alanı oldukça geniştir ve yüksek çıktılı tarama, hücre analizi ve ilaç keşfinden, minimal invazif tedaviye yönelik taşınabilir aygıtlara, hassas cerrahiye ve madde taşınmasına kadar uzanır (Luther, W. 2004).

## **Nanoanalitik**

Malzemelerin, yapıların ve yüzeylerin nanoölçekli atomik çözünürlükle karakterizasyonu, nanoteknolojik gelişmeler için önkoşuldur ve bu nedenle de teknoloji alanında merkezi öneme sahiptir. Nanoanalitik alanında, yüksek performans ölçen önemli miktarda teknik bulunmaktadır ve bunların bazıları da uzun zaman önce yerleşmiştir. Bu yöntemler örneğin elektron, iyon ya da foton ışınları, alan emisyonu ya da tünelleme etkileriyle işler ya da elektriksel, optik, termal, akustik veya manyetik temellere dayanmaktadırlar. Nanoölçekteki analitik işlemler, yapıların, yüzeylerin ve ince filmlerin tanımlanmasıyla, kimyasal ve fiziksel malzeme özellikleriyle ilgilenir. Nanoanaliz alanındaki en önemli araçlardan biri de “Taramalı Uç Mikroskopisidir” (TUM). Taramalı uç metotları bir yüzeyle, bu numune yüzeyinin çok yakınına (atomik

boyutlarda) getirilmiş olan bir taramalı uç arasındaki yerel git-gel hareketine dayanmaktadır. Bir ucun yüzey üzerinde hareket ettiği, atomik ölçekte tarama yaptığı ve sinyalleri görüntüye dönüştürdüğü bu ölçme işlemi esasen, minyatür bir gramofonla karşılaştırılabilir.

Algılanan bilgi örneğin yüzeyin kimyasal yapısıyla, yüzey potansiyellerinin dağılımıyla, manyetik ya da elektriksel alanlarla ilgili olabilir (Luther, W. 2004).



B Ö L Ü M  
2

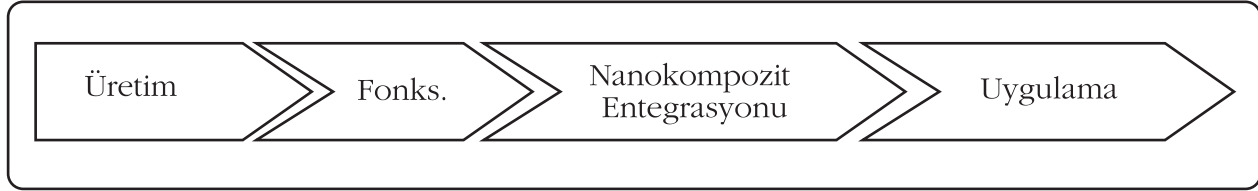
NANOMALZEMELERİN SENTEZİ  
VE PROSESİ



## 2. NANOMALZEMELERİN SENTEZİ VE PROSESİ

Bu bölümde, nanoparçacıklar değer zinciri için birkaç adım incelenmektedir: nanoparçacıkların üretimi ve fonksiyonelleştirilmesi, (sonraki adım olarak olası) nanokompozitlere katma ve nihai uygulama (nanokompozitler gibi). Nanoparçacıkların nanokompozitlere eklenmesi adımının da burada anlatılmasının sebebi, bugün bu konunun araştırma ve sınaî toplulukları için büyük önem taşıyor olmasıdır (Willems and van der Willenberg 2005).

Yine de bu yaklaşımın, her zaman artarda gelen adımlardan oluşan lineer bir yaklaşım olmadığı belirtilmelidir. Birçok durumda, her farklı uygulamanın, en az miktarda para ve zamanda istenilen özellikleri elde etmek üzere, bir ya da birkaç özel üretim, saflaştırma ve fonksiyonelleştirilme yöntemi vardır. Ayrıca, bazı işlemler adımları birleştirmektedir. Örneğin, sol jel işlemi, parçacıkların meydana getirilmesiyle bunların matris malzemeye dispersiyonunu/entegrasyonunu birleştirebilir.



**Şekil 2.1:** Nanoparçacıklar/Nanokompozitler “Değer zinciri” (Willems and van der Willenberg 2005)

### 2.1. Üretim Metotları

Nanoteknoloji çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. Nanometre ölçeğinde kontrol sağlamak amacıyla, tüm bu alanlar için uygun olan teknikler ve özel üretim enstrümantasyonları, kontrol ve ölçümler geliştirilmektedir. Üretim iki ana yol izlenerek yapılabilir (Luther, W. 2004).; “**yukardan-aşağıya üretim yaklaşımı**” (özel işleme ve kimyasal aşındırma teknikleriyle -litografi, son derece kusursuz yüzey şekillendirme- mikroskobik elementlerin yapısal boyutlarını nanometre ölçeğine indirmek), “**aşağıdan-yukarıya üretim yaklaşımı**” (atomik ve moleküler agregaların daha büyük sistemler -kümeler, organik örgüler, supramoleküler yapılar ve sentezlenmiş makro-moleküller- oluşturacak şekilde kontrollü olarak bir arada toplanacak şekilde düzenlenmesi).

## **Yukarıdan Aşağı Üretim Tekniği**

Bu tekniklerde kütsel malzeme ele alınır, ardından şekillendirilerek, yapısı oluşturularak ve modifiye edilerek istenilen ürüne dönüştürülür. Küçük ve daha küçük yapılar üretilmesine neden olan motivasyon temel olarak, gelecek nesil bileşenlerde nanoelektronik alanına girmek amacıyla, çeşitli µm teknoloji işlemlerinin geliştirildiği mikroelektronik alanı tarafından belirlenmektedir. Bir diğer önemli yukardan-aşağıya üretim yaklaşımı, özellikle de optik alanına yönelik, son derece hassas bileşenlerin örneğin mekanik ya da plazma işlemleriyle gerçekleştirilen yüzey şekillendirilmesidir.

Litografi, nano bileşenlerde çok küçük parça boyutlar elde etmek için kullanılan anahtar teknolojidir. Farklı fiziksel ilkelere dayalı olan ve çözünürlük, hız, kalıptan çıkarma ve transfer adımlarıyla ilgili olarak, farklı özellikleri olan çeşitli litografi metotları bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, ışın litografi teknikleri (optik, x-ray, iyon ışın ya da elektron) ya da yumuşak litografi teknikleri (baskı yapma, damgalama, kalıp ve kâbartma hazırlama) gösterilebilir.

Günümüzde mikroelektronik alanında en fazla kullanılan teknoloji olan optik litografi tekniği, bir direncin maskelenerek fotokimyasal yolla kalıplanmasına ve ardından da maruz bırakılmış bölgelerin kimyasal yolla oyulmasına dayalıdır. Bu yöntemle erişilebilen en küçük parça boyutu, aydınlatmanın dalgaboyu tarafından belirlenmektedir. Optik litografinin, ultraviyole dalgaboyu olan gereçler kullanılarak, 100 nm'den de küçük olan boyutlara da uygulanabileceği tahmin edilmektedir. Parça boyutlarının 50 nm ve altına düşmesi için daha da gelişmiş litografi tekniklerine ihtiyaç vardır. Farklı adaylar arasındaki iki teknolojik yaklaşım, nanoteknoloji alanı için özellikle ilgi çekicidir (Luther, W. 2004).

### ***Litografi, Ekstrem Ultraviyole Litografi (EUV)***

Yeni nesil mikroelektronik endüstrisi için bir aday olarak, bu faaliyet endüstriyel şirketler birlikleri ve kamu fon programları tarafından yoğun olarak desteklenmektedir. 13 nm'de EUV litografisi, 45 nm ve altında parça boyutu elde edilmesini sağlayacaktır. Bu işleme ait tüm adımların genel durumunu kritik oranda geliştirmek için, akademik ve endüstriyel alanlarda daha yoğun araştırma çabalarının hızlanması şarttır.

## ***Soft Lithography (desenleme), Nano-damgalama***

Nano-damgalama gibi yumuşak litografi teknikleri, laboratuvarlarda uygulanabilen en ucuz ve en hızlı nanolitografi tekniklerindedir. Elastomerden oluşan bir damga, sübstrat üzerine baskı yapıldığında, kendiliğinden düzenlenebilen tek bir katman oluşturabilen bir mürekkeple kaplanır. Bu tek-katman daha sonra, oyma ya da yüzey reaksiyonu gibi sonraki işlemlerde “maske” görevi görmektedir. Damganın kendisi, bir kalıptan litografiyle şekillendirilerek dökülmektedir ve elektron-ışınlarıyla oyma gibi yüksek-çözünürlük teknikleri kullanılarak, 10 nm kadar küçük boyutlarda parçalara sahip olabilmektedir (Luther, W. 2004).

## **Aşağıdan Yukarı Üretim Tekniği**

Nanoteknolojideki bir diğer önemli üretim yolu, atomik ya da moleküler agregaların (kümelerin), daha büyük sistemlere dönüşmek üzere spesifik olarak düzenlenmeleridir. Bu yöntem temel olarak, kendiliğinden düzenlenmenin ilkelerinden, organik/inorganik sınır yüzeylerinden ve moleküler sistemlerin hazırlanmış olan yüzeylere selektif olarak kimyasal ya da fiziksel bağlanmalarından yararlanır. Çift sarmallar<sup>19</sup>, protein kaplamaları ve çoklu-protein komplekslerini de içeren çeşitli biyolojik moleküler-üstü yapılar, bu tür spontane olarak kendiliğinden yapılanmayla oluşmaktadırlar. Bu tür “programlanabilir” moleküler ve moleküler-üstü sistemler, tanıma işlemleri, sinyal transferi ya da yapıların oluşturulması gibi oldukça seçici işlemlerin meydana getirilmesi için büyük öneme sahiptirler. En fazla çeşitlilik gösteren tanıma birimleri kullanılarak, nanometre boyutlarında olan çok sayıda yapı, şekil ve desen (bantlar, yüzükler, silindirler, filmler, şeritler vs.) oluşturmak mümkün olacaktır. Buna göre, moleküler tanıma tarafından güdülen işlemler, katı cisimlerin kontrollü yapılandırması için bir yaklaşım olarak özel bir öneme sahiptir.

Teknoloji dünyasında, nano yapıdaki katmanlar ya da kümeler oluşturmak üzere, gaz fazda, sıvı fazda ya da vakumda uygulanabilecek, kendiliğinden-düzenlenmeye dayalı çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Ana yöntemlerden bazıları “Kendiliğinden-Düzenlenmiş Tekli-Katmanlar” (KDTK), “yaş kimyasal sentez” ve “gaz fazda ya da vakumda biriktirme” teknikleridir (Luther, W. 2004).

---

19 Hidrojen bağlarıyla bağlanmış olan 2 lineer nükleotit telinden oluşan, bükülmüş çift spiralli yapıdaki DNA molekülleri.

### ***Kendiliğinden-Düzenlenmiş Tekli-Katmanlar (KDTK)***

Kendiliğinden düzenlenmiş tekli-katmanlar, örneğin metalik ya da gözenekli bir yüzey olan bir sübstrat, organik moleküllerden oluşan bir çözeltiye konulduğunda ve bundan sonra bu moleküller sübstrata göre spontane olarak kendilerini sıraladıklarında üretilmiş olur. Bundan sonra, kaplanmış olan bu malzeme, bir katman için ya da farklı bir bileşik için sübstrat olarak kullanılabilir.

### ***Yaş Kimyasal Sentez***

Nanomalzeme üretmek için kullanılacak, jel-işleme ya da çöktürme metotları gibi, birkaç yaş kimyasal yöntem mevcuttur. Bunlarda nanomalzemeler, başlatıcı malzemelerin çözeltilerde ya da kolloidlerde özel yöntemlerle işlenmesiyle elde edilmektedirler. Nanomalzemeler, spesifik özellikleri olan nano-tozlar ya da nano-kaplamalar elde etmek üzere ayrıştırılabilir ve işlenebilirler (Luther, 2004).

### ***Biriktirme Yöntemleri***

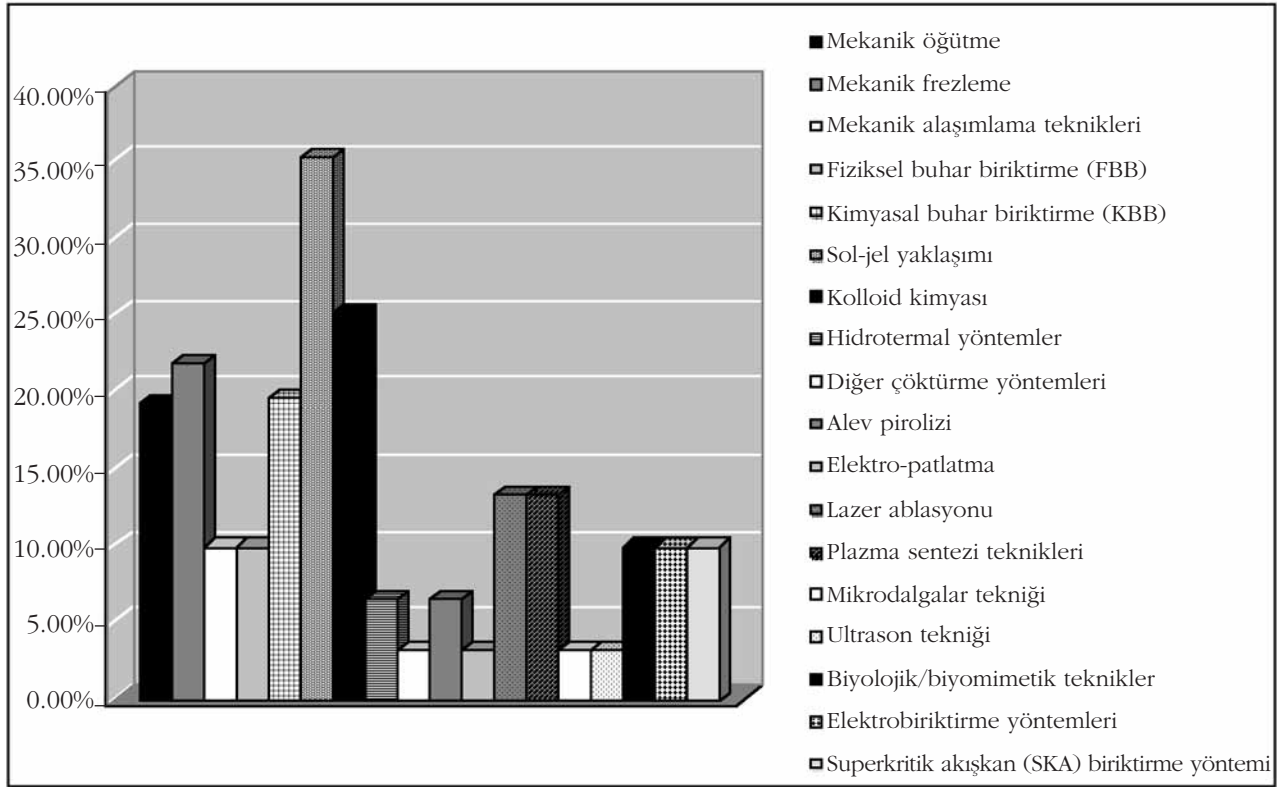
Belli bir süreden beri iyice yerleşmiş olan klasik biriktirme yöntemleri, nano-ölçekte filmler, nanoparçacıklar, nano-tüpler ya da diğer yapıları üretmek için kullanılabilirler; bunlar nanoteknoloji alanında geniş uygulama olanaklarına sahiptirler. Biriktirme yöntemlerinin ana dalları, gaz haldeki başlatıcılarla başlayan Kimyasal Buhar Biriktirme (KBB) yöntemleri ve fiziksel işlemlerle buharlaştırılacak olan katı bir hedef malzemeyle başlayan Fiziksel Buhar Biriktirme (FBB) yöntemleridir. İşleme parametreleri ve maddeler düşünülecek olursa, her iki yöntem de önemli miktarda değişim aralığına sahiptir. Nano yapıların daha iyi kontrol edilmesi için, bu teknikler genellikle yukardan-aşağıya litografi teknikleriyle birleştirilir ve sübstratın spesifik olarak fonksiyonelleştirilmesi ve iyileştirilmesi amaçlanır (Luther, W. 2004).

## **2.2. Nanoparçacık Hazırlama Prosesleri**

Nanoparçacıkların üretimi çeşitli yöntemlerle yapılabilir. En sık kullanılan yöntemler “katı hal metotları”, “buhar metotları”, “kimyasal sentez / çözelti metotları” ve “gaz fazı sentezi” metotlarıdır. Delphi panelindeki uzmanlara göre, nanoparçacıkların üretilmesinde karşılaşılabilecek temel engel, yüksek maliyet ve belirli teknik engellerdir. Ayrıca,

ender olarak uygun ekipman eksikliği ve çevresel sorunlar da engel teşkil edebilmektedir. Ancak, bu da yüksek oranda, nanoparçacıkların üretimi için kullanılan yöntemlere bağlıdır.

Nanoparçacıkları imalatına yönelik çeşitli üretim teknolojilerini tarif eden kaynakların sayısı oldukça fazladır. Bundan sonraki paragraflar, aşağıda açıklanan yöntemlerin her biri için Delphi panelindeki uzmanlar tarafından belirtilen engelleri tanıtmaktadır. Bu uzmanların en fazla konu ettikleri yöntemler aşağıda sıralanmıştır:



**Şekil 2.2:** En Çok Bilinen Nanoparçacık Üretim Yöntemleri (Willems and van der Willenberg 2005)

### **Katı Hal Yöntemleri**

Bu yöntemler birkaç yıldan beri kullanılmaktadır ve oldukça yerleşmiş durumdadır. Bu yöntemde, belirli teknik engeller, maliyet ve daha uygun donanımların bulunmaması, uzmanlar tarafından temel engeller olarak gösterilmiştir.

## ***Öğütme***

Bu yöntemdeki en önemli engel, homojen boyut dağılımı elde etmek olarak kabul edilebilir. Ayrıca bazı çevresel engeller de bulunmaktadır ve bunlar temel olarak büyük miktarlarda atık üretimini içerir.

## ***Frezeleme***

Üretilmiş nanoparçacıkların nihai kalitesine bağlı sorunlar ve frezeleme ortamı tarafından nanoparçacıkların kirletilmesi, temel engeller olarak kabul edilebilir. Frezeleme tekniğinin en önemli dezavantajları, yüksek üretim maliyetleri ve heterojen boyut dağılımı olarak belirlenmiştir.

## ***Mekanik Alaşımlama Teknikleri***

Bu teknikler daha çok, termoplastik bileşiklerdeki silikat nanoparçacıklarına yöneliktir. Burada mesele, en fazla miktarda işleme uygulamak ve bu esnada da maliyeti düşük tutmaktır (teknik / fiyat engeli). Ürün olarak çıkan enerji ve destekleyici katkı malzemeleri, uygun maliyetli imalat süreci sağlayabilmek için optimize edilmelidir. Bazı uzmanlar bunun yalnızca, kısıtlı miktardaki kütleli malzemelerle ve uygulamalarla sınırlı olan, pahalı ve yavaş bir işlem olduğunu düşünmektedir (Willems and van der Willenberg 2005).

## ***Buhar Yöntemleri***

Buhar teknikleri, metal ya da metal oksit seramiklerin üretimi için kullanılmaktadır. Uzmanlara göre, buhar yöntemlerinde de maliyet, temel engel olarak düşünülebilir.

## ***Fiziksel Buhar Biriktirme (FBB)***

Genellikle bu yöntem pahalıdır ve elde edilen malzemeler düşük miktarlardadır. Endüstriyel ölçekte başarı için, daha düşük maliyette daha fazla çıktı gereklidir.



## ***Kimyasal Buhar Biriktirme (KBB)***

Aynı argümanlar KBB yöntemi için de geçerlidir. Böylece, maliyet temel engel olarak görülmelidir. Bazı uzmanların görüşlerine göre de kimyasal yöntemler daha ucuzdur ve büyük olasılıkla kontrol edilmeleri de daha kolaydır. Bazı başka uzmanlar, ayrıca uygun ekipmanların eksikliğini de KBB metotlarının başarılı olmasına engel olarak göstermişlerdir. Ancak, başka kaynaklara göre, ticari ekipmanların geliştirilmesi bu sorunun çözülmesine yardımcı olacaktır.

Diğer buhar metotları, Akış-halindeki Sıvılarda Vakum Buharlaştırmayı (ASVB) içerir (Willems and van der Willenberg 2005).

## **Kimyasal Sentez / Çözelti Yöntemleri**

Delphi panelindeki katılımcılara göre, kimyasal yöntemler nanoparçacıkların üretimi için en popüler olan yöntemlerdir. Genellikle, belirli teknik engeller (maliyet ya da çevresel engellere karşılık olarak), bu yöntemlerin başarısının önündeki temel engeller olarak gösterilebilir. Ayrıca genellikle, aglomerasyonun<sup>20</sup> önlenmesi için ek işlemlerin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Parçacıkları fonksiyonelleştirecek uygun etkisizleştirici grupların bulunması da kendiliğinden önemli bir araştırma alanı teşkil etmektedir.

## ***Sol-jel Yöntemi***

Tüm parametreleri aynı anda kontrol etmeyle ilgili sorunlar mevcuttur. Bu sebepten dolayı, çoğaltılabilirlik sıklıkla önemli bir mesele olmaktadır. Genellikle, sol-jel yöntemiyle düşük verimler elde edilmektedir. Ancak, geliştirilmekte olan yöntemlerin bu sorunu çözeceği beklenmektedir. Aglomerasyon, sol-jel yöntemler kullanılırken de düşünülmeli gereken bir sorundur. Özetle, bu yöntemde, ilgilenilmesi gereken, yüksek miktarda kirletilmiş çözücüler (su gibi) gibi daha önemsiz çevresel sorunlar vardır. Kapalı döngü işlemleri bu sorunu çözmede etkili olabilir.

---

20 Toplanma, yığılma

## ***Kolloid Kimyası***

Burada temel sorunlar, yığınlarla büyük miktarlarda üretilen parçacıklar arasındaki çoğaltılabilirlik sorunudur. Uzmanlara göre, sıkça kullanılan yöntemlerin kontrollü olarak çoğaltılması, maliyeti karşılayacak yeterli pazar talebi olması koşuluyla, günümüzde her iki sorunu da çözebilir. Bir diğer önemli engel, nanoparçacıkların aglomerasyonunu engelleyecek olan doğru sürfaktanların<sup>21</sup> bulunmasıdır. Sol-jel metodunda tanımlanmış olan çevresel sorunlar, bu yöntem için de geçerlidir. Bazı kaynaklara göre, kolloid kimyası metotları, gelecek 5–10 yılda da geliştirilmeye devam edecektir.

Diğer çöktürme yöntemleri, “hidrotermal yöntemleri” içerir (Willems and van der Willenberg 2005).

## **Gaz Fazda Sentez Yöntemleri**

### ***Alev Pirolizi***

Alev pirolizi, oldukça hızlı bir metot olarak kabul edilebilir. Diğer yönden, yüzey morfolojisi ve saflığı, bu işlemle ilgili temel sorunlardır.

### ***Elektro-Patlama***

Uzmanlara göre, bu yöntem pahalı ve yavaştır ve yalnızca belirli malzemelerin (tel oluşturabilecek kadar bükülgen olabilenler) kütleli haline ve belli kullanım alanları için uygulanabilir.

### ***Lazer Ablasyonu***

Bu yöntem, pahalı bir ekipmanın kullanımını gerektirmektedir. Kimyasal yöntemlere göre ise çöktürme hızı oldukça düşüktür. Genellikle, enerji dönüşümü etkisizliği nedeniyle de pahalı bir yöntemdir (Willems and van der Willenberg 2005).

---

21 Yüzey aktif madde

## ***Plazma Sentez Teknikleri***

Bu yöntem kullanıldığında, belli çevresel sorunlar ve maliyet önemli meselelerdir. Bazı uzmanların görüşlerine göre, kimyasal yöntemler daha ucuzdur ve muhtemelen kontrol edilmeleri de daha kolaydır. Yine de, başka uzmanlar asıl engellerin çoktan aşılmış olduğunu düşünmektedir. Aslında, bazı tanınmış endüstriyel şirketler, bu yöntemi örneğin metal nanoparçacıkların üretilmesi için kullanmaktadırlar. Bazı sorunlar halen sürmekteyse de ve aynı kaynaklara göre de kısa bir süre içinde çözüleceklerdir (Willems and van der Willenberg 2005).

## ***Diğer Üretim Yöntemleri***

Örnek olarak verilebilecek “mikrodalga teknikleri”, enerji dönüşüm verimsizlikleri nedeniyle pahalıdır. Diğer yöntemler, “ultrason teknikleri” (diğer tekniklerle beraber de kullanılabilir) ve “elektron biriktirme proseslerini” içerirler. Bunlarla ilgili engeller teknik niteliktedir. “Biyolojik / biyomimetik” teknikler de önemli teknik engellerle karşı karşıya bulunmaktadır. Bunların bilimsel olarak daha iyi anlaşılması, aşılması gereken bir diğer güçlüktür. “Superkritik akışkan (SKA) biriktirme prosesi” oldukça karmaşık bir işlemdir ve pahalı ekipmanın kullanımını gerektirmektedir. Bazı uzmanlara göre, yüksek saflıktaki nanoparçacıklar için pazar talebi yeterli olduğunda, geliştirme ve iyileştirme sorunları, gelişmekte olan teknik bilgiler (örneğin gıda işlenmesi ve pigment endüstrileri) kullanılarak çözülebilir.

Bahsi geçen diğer üretim teknikleri, sürekli üretime uyarlanabilecek olan “üre ya da sitrik asit yoluyla yakma prosesleri, katmanlı malzemelerin delaminasyonu” (örneğin doğal killer, sentetik K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ve “amorf başlatıcılardan kontrollü kristalleşmeyi” (örneğin metal nanoparçacıkları için) içerir. Bazı uzmanlara göre, sonuncu yöntem, amorf bir matrise gömülmüş nanoparçacıklar hazırlamak için oldukça uygundur (yüzeyin ayrıca etkisizleştirilmesine ihtiyaç yoktur). Ancak bu teknik, limitli sayıdaki sistem bileşimleri (yüksek nükleasyon<sup>23</sup> hızları ve yavaş büyüme hızları olanlar) için uygundur (Willems and van der Willenberg 2005).

---

22 Katmanlı Çift Hidroksit

23 Çekirdeklenme

## 2.3. Nanoparçacıkların Fonksiyonelleştirilmesi

Nanoparçacıklar, tatmin edici miktarda üretildikten ve saflaştırıldıktan sonra, bunların fonksiyonelleştirilmesi gerekli olabilir. Bu, nanoparçacıkları belirli uygulamalarda kullanılmak üzere hazırlayacak olan, ara bir işlemdir. Nanoparçacıklar birçok işlemle fonksiyonelleştirilebilir. En fazla kullanılan metotlar, kaplama ve nanoparçacıkların kimyasal modifikasyonunu içerir.

Fonksiyonelleştirme, toplam üretim zincirine maliyet ekleyecek olan ekstra bir adımdır, ancak öyle belirgin etkileri olabilir ki, bazı durumlarda mutlaka gerçekleştirilmesi gerekebilir. Nanoparçacıkların fonksiyonelleştirilmesi metotlarıyla ilgili temel engellerin teknik olduğu kabul edilebilir, ancak bunlara ek olarak yüksek maliyetler de söz konusu olmaktadır. Aşağıda, nanoparçacıkların fonksiyonelleştirilmesi metotlarıyla ilgili daha fazla bilgi verilmiştir (Willems and van der Willenberg 2005).

### Nanoparçacıkların Kaplanması

Alkanetioller, polimerler ve proteinler de olmak üzere, birçok kimyasal bileşik, nanoparçacıkların kaplanmasında kullanılacak malzemeler olarak belirlenmiştir. Burada, etkisizleştirici gruplar ve parçacıklar kullanılarak tepkimelerin kontrol edilmesi temel meseledir, çünkü atomik yapıların kesin ve hassas kimyasal kontrolünü oluşturmak zordur.

Metalik parçacıkların oksitlenme potansiyeli oldukça yüksektir ve bu nedenle de normalde bunların, uygun pasif yüzey katmanlarıyla istikrarlaştırılması gereklidir. Gelecek vaat eden bir teknik de, çekirdek/kabuk nanoparçacıklarının, ark-deşarji vs. çeşitli gaz fazı sentezi metotlarıyla hazırlanması olabilir. Etkisizleştirme işlemi, nanoparçacıkları ortam havasına maruz bırakmadan önce gerçekleştirilmelidir. Nanoparçacıkların çeşitli hidrofilik / - fobik maddelerle kaplanması bir diğer önemli konudur. Uzmanların fikirlerine göre, bu alan oldukça gelişme gösteren bir aşamdadır.

Sensörler ve görüntüleme uygulamaları için kullanılan kaplayıcılar tipik olarak, yüksek saflıkta üretilmeleri zor olan biyomoleküllerdir (örneğin streptavidin). Maliyetin yakın gelecekte düşmesi kuşku görünmektedir, ancak bu, yüksek değerli ürünler uygulamalarında mutlaka ana engel teşkil etmez, çünkü gerekli olan kaplayıcıların toplam miktarları düşüktür – pilot projeler için tipik olarak mg ölçeğindedir.

Uzmanların fikirlerine göre, homojen kaplamayı garantileme dışında önemli teknik engeller bulunmamaktadır. Nanoparçacıkların kaplanması için nispeten standart olan kimyasal işlemler uygulanabilir. Silikat nanoparçacıklarının kaplanması için, üzerinde düşünülmesi gereken temel konu, silikatları çeşitli polimerlerle uyumlu hale getirmek için uygun olan kimyasalın bulunmasıdır.

Daha önce de belirtildiği gibi, uygulanacak olan belirli kaplama işlemi, fazlasıyla nihai uygulama alanına bağlıdır. Bu nedenle de, bu fonksiyonelleştirme metodun getirdiği fazladan maliyetin somut bir tahminini yapmak oldukça zordur. Yine de, Delphi paneli katılımcılarına göre, bu maliyet % 10–50 gibi düşünülebilir (Willems and van der Willenberg 2005).

### **Nanoparçacıkların Kimyasal Modifikasyonu**

Burada temel mesele, nanoparçacıkları modifiye etmek için uygun olan sürfaktanın bulunmasıdır. Genellikle, nanoparçacıkların kimyasal modifikasyonu ek bir adım gerektirmektedir; ancak, yerinde uygulamalar henüz geliştirilme aşamasındadır.

Modifikasyon adımı (örneğin silikat parçacıkları için), çoğu modifikasyon işlemi için, düşük sulu çözelti konsantrasyonlarında çalışma zorunluluğu nedeniyle hala oldukça pahalıdır. Ayrıca, belirli çevresel sorunlar da mevcuttur. Büyük miktarlarda çözücülere ihtiyaç vardır ve bunların endüstriyel düzeyde geri dönüşümü de oldukça maliyetlidir. Ancak bu engel, kapalı-döngü prosesler kullanılarak aşılabılır.

Bazı uzmanların görüşlerine göre, hiçbir önemli teknik bariyer bulunmamaktadır, çünkü nispeten standart kimyasal işlemler uygulanmaktadır. Yine de, modifikasyon fazlasıyla nihai uygulama alanına bağlıdır ve bu da ilgili maliyetlerin tahminini zorlaştırmaktadır.

Tüm bunlara rağmen, Delphi paneline katılmış olan uzmanlara göre fonksiyonelleştirme yönteminin getirdiği nihai maliyetin, yine son maliyetin % 10 – 50 kadarı olarak tahmin edilebilir (Willems and van der Willenberg 2005).

## **2.4. Nanoparçacıkların Nanokompozitlere Eklenmesi (İnkorporasyonu)**

Nanoparçacıklar polimerik nanokompozitlerin içlerine yerleştirilebilirler. Bu da, örneğin daha gelişmiş mekanik, elektriksel ve optik özelliklere, daha iyi bariyer ve alev geciktirici davranışlara vs. neden olur. Bunları gerçekleştirmek için kullanılacak birkaç yöntem mevcuttur. En yaygın olanları, polimerizasyon sırasında ya da eritme-birleştirmeye mürekkep katılmasıdır. Aşağıdaki paragraflar (Delphi panelindeki katılımcıların verdikleri bilgilere dayanarak), bu tür metotları özetleyerek tanıtmaktadır (Willems and van der Willenberg 2005).

### **Eritme-Birleştirmeye Katma (Kompozit Bir Eriyiğe Karıştırmak)**

Silikat nanoparçacıkları söz konusu olduğunda, maliyet/performans oranı göz önünde bulundurulacak olursa, silikatların fonksiyonelleştirilmesi maliyetinin hala çok yüksek olduğu, uzmanlar arasındaki ortak bir görüştür. Bazı uzmanlara göre genellikle, nano kil ve gerekli katkı maddelerinin maliyeti, termoplastik nanokompozitlere, bunların sağladıkları yararların dengeleyemeyeceği kadar yüksek maliyet katmaktadır.

Yukarda bahsi geçen örnek, mevcut en küçük laboratuvar-ölçekli eritme-birleştirme ekipmanı (örneğin *Brabender Plastografi*), 40 ml'lik örnek hacmi gerektirmektedir. Nanoparçacıkların öncelikle fonksiyonelleştirilmesi gerekiyorsa, %1 yüklemede bile, birleştirme denemeleri için yeterli miktarda nanoparçacık üretiminin maliyeti engel teşkil edebilmektedir. ISO ve ASTM standartları için test parçaları oluşturmak için gerekli olan miktarlar göz önünde bulundurulunca, hacimlerin azaltılmasının mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Günümüzde, nanoparçacıklar kolloid metotlarla, multi-gram ölçeğinde hazırlanabilir. Fonksiyonelleştirmenin maliyetinin yakın gelecekte düşmesi beklenmektedir.

Yine de, yukarıda ifade edilen görüşlerin tüm uzmanlar tarafından paylaşılmadığı birkaç örnek de mevcuttur. Örneğin, nanokompozitler alev geciktiriciler olarak kullanıldıklarında, yeterli alev geciktirme sağlanması için silikat nanoparçacıklarının geleneksel

alev geciktiricilerle birleştirilmesi gerektiği kabul edilmektedir. Bu da, katkı maddelerinin toplam miktarının, nihai fiyatı daha çekici hale getirilecek oranda azaltılabileceği anlamına gelir. Daha da önemlisi, nano kil bariyer kompozitlerin paketleme alanındaki ticarileşmesi –bira şişelenmesi buna uygun bir örnektir-, açık bir şekilde belirli uygulamaların, var olan ek maliyetleri artırabileceğini göstermektedir (Özellikle, aynı görevi yerine getirebilecek başka bir malzemenin bulunmadığı koşullarda bu durum geçerli olacaktır).

Silikatlar ve eriyik kimyasal olarak birbirleriyle uyumlu olmalıdır. Bu da dikkatli bir formülasyonu gerektirir. Burada, nanoparçacıkların diğer malzeme bileşenleriyle uyumlu olmalarını sağlamak için, uygun olan nanoparçacık modifikasyonunu bulmak temel meseledir.<sup>24</sup> Şimdilik, aglomerasyon gerçekleşmesini engellemeden homojen karışım elde etmek de güçtür. Bazı uzmanlara göre, gelecek 10–15 yılda yeni tekniklerin geliştirilmesiyle bu sorunlar azalacaktır (Willems and van der Willenberg 2005).

### **Polimerizasyon Esnasında Ekleme**

Genellikle bu yöntem, reaktivite sorunları nedeniyle az önce anlatılan yöntemden daha zordur. Ancak uyumluluk sorunları, yoğun araştırmalar sayesinde çözülmektedir. Bazı uzmanlar tarafından açıklanan tahminler, çözümleri tam olarak anlamak için en az 5 yıla ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Willems and van der Willenberg 2005).

### **Diğer Yöntemler**

Uzmanlar tarafından açıklanan diğer yöntemler, örneğin metal oksit seramik nanoparçacıklarında kullanılan “Harmanlama ve Sıcak (Kuru/Yaş) İzostatik Presleme”, “Plazma Spreyleme Teknikleri ve Ko-Evaporasyon / Ko-Biriktirme” gibi yöntemleri içerir. Sonuncu yöntemde, ana engel üretilen malzemelerin düşük miktarda olmasıdır. Ancak bu yöntemler, esasen, örneğin nanoelektronik ve nano-optik gibi ince film uygulamalarına ya da yüzeylerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yöneliktir (Willems and van der Willenberg 2005).

---

<sup>24</sup> Polar bir polimer üretildiğinde, en uygun birleştirme mekanizmaları kullanılmıyor olsa bile (örneğin hadde makinesi gibi), nanokompozitler oldukça hızlı ürettiği iyi bilinmektedir. Bazı uzmanlara göre polarlık, hızlı ve verimli nanokompozit üretilmesinde en önemli temel faktördür. Çözülmesi gereken sorun, PP (Polipropilen) ve PE (Polietilen) gibi polar olmayan hammaddelerdir.





B Ö L Ü M  
3

NANOTEKNOLOJİNİN  
UYGULAMA ALANLARI



### 3. NANOTEKNOLOJİNİN UYGULAMA ALANLARI

Nanoteknoloji sektörü için piyasa değerlendirmesi zor bir görevdir, çünkü genellikle nanoteknolojiyle ilgili kabul edilmiş genel bir tanım bulunmamaktadır ve bu alan birçok teknolojik alan ve daldan oluşan çok geniş bir alandır. Ayrıca, nanoteknoloji alanlarından birçoğu erken gelişme aşamasındadır ve bu da gelecek pazar potansiyellerinin değerlendirmesini zor kılmaktadır. Yin de bazı piyasa çalışmaları bulunmaktadır ve aşağıdaki Tablo 3.1'de, yakın gelecekte en fazla piyasa etkisine sahip olacakları beklenen bazı nanoteknoloji ürünleri için verilmiş rakamlar sıralamaktadır.

**Tablo 3.1: Nanoteknoloji Ürünlerinin Dünyadaki Piyasa Değerleri (Milyar ABD Doları/Yıl)**

| Ürünler                      | 2002 | 2006 |
|------------------------------|------|------|
| <b>Nanomalzemeler</b>        |      |      |
| Nanoboyutlu Parçacıklar      | 0,5  | 0,9  |
| Karbon Nanotüpler            | 0,01 | 1,2  |
| Polimer Nanokompozitler      | 0,01 | 1,1  |
| Boyalar ve Pigmentler        | 12,0 | 15,0 |
| Karbon Siyahı                | 7,0  | 8,0  |
| <b>Nanogereçler</b>          |      |      |
| Maskeleme için Litografi     | 0,5  | 0,9  |
| Stepperler                   | 5,3  | 7,7  |
| Taramalı Elektron Mikroskobu | 0,5  | 0,6  |
| Kimyasal Buhar Biriktirme    | 3,6  | 5,7  |
| <b>Nanoaygıtlar</b>          |      |      |
| DMD Hard Diskler             | 21,8 | 26,9 |
| Lazer Diodlar                | 4,7  | 7,9  |
| OLEDler                      | 0,1  | 2,5  |
| Alan İletim Ekranlar         | 0,01 | 0,05 |
| <b>Nanobiyoteknoloji</b>     |      |      |
| DNA Çipleri                  | 1,0  | 1,9  |
| Protein Çipleri              | 0,1  | 0,4  |
| İlaç/Madde Taşınması         | 0,01 | 0,03 |

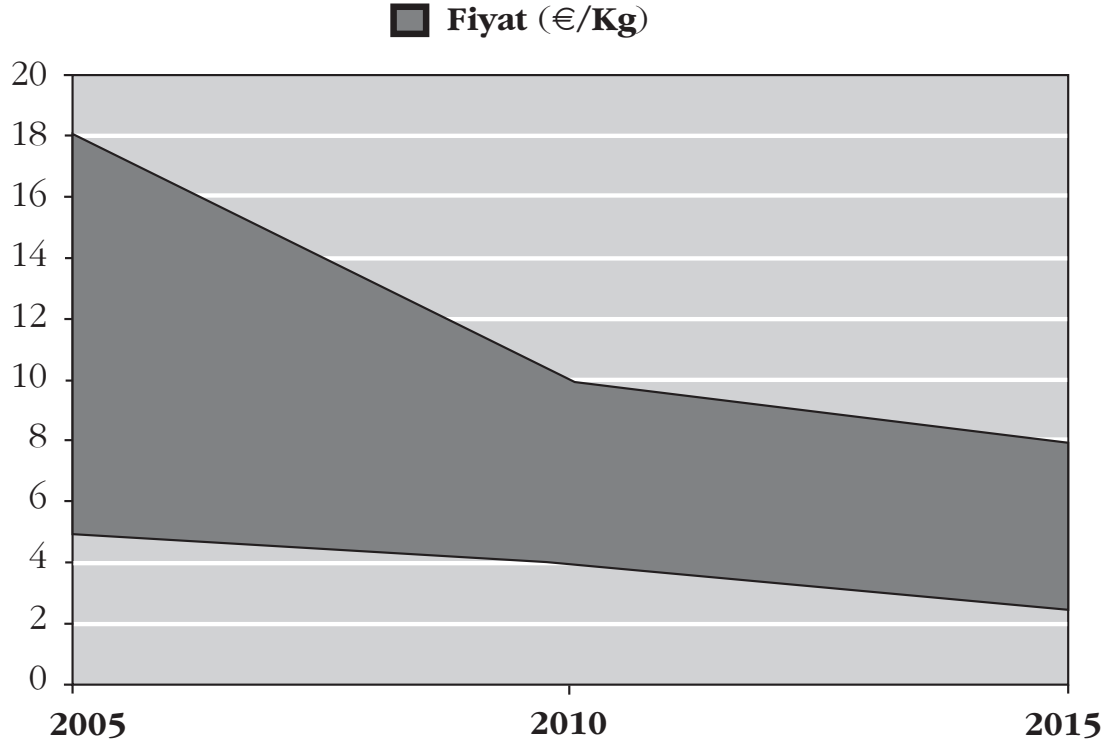
## Fiyatların ve Dünya Çapında Hacimsel Üretim Büyüme Tahmini

Nanoparçacıklar teknolojisi gibi hala gelişmekte olan bir teknoloji alanının geleceğini doğru olarak tahmin etmek oldukça zor olsa da, bazı nanoparçacıkların fiyatları ve dünya çapındaki hacimsel üretimleri konusundaki tahminler oldukça yararlı olabilir. Aşağıdaki şekiller, açık veriler sağlamak için takdire değer çabalar sarf etmiş olan Delphi panelindeki katılımcılar tarafından ayrı ayrı verilmiş olan göstergelere dayanarak özenle hazırlanmışlardır.

Akademik araştırmacılar tipik olarak bu tip bilgiyi (tahminleri) ele almamakla beraber, şirketler de yapabilecekleri (ya da yapamayacakları) her şeyi gösterme konusunda, özellikle de rekabetçilik nedenleriyle hevesli değildirlir. Dahası, teknolojik gelişmeler, şirketlerin kendilerinin bile henüz öngöremediği üretim kapasitesindeki ufak sıçramalar halinde gerçekleşebilir. Diğer yandan, teknolojik engeller nanoparçacıklara olan talebin beklendiğinden daha yavaş gelişmesine neden olabilir ve bu da üretim kapasitelerinin genişletilmesi için daha az sebebin olması demektir.

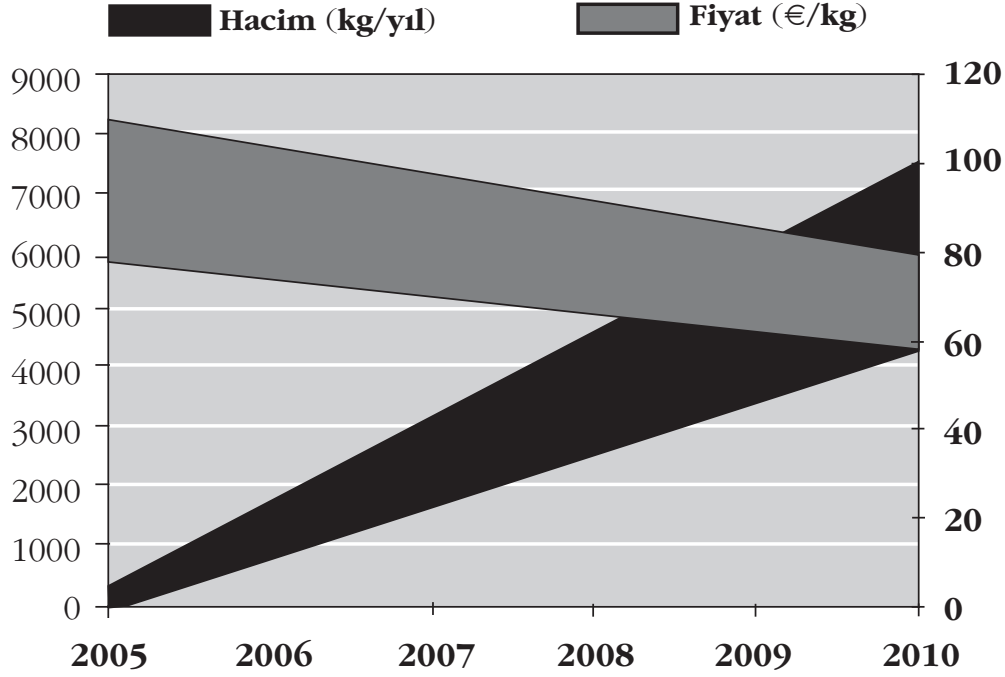
Aşağıdaki veriler, bu tip nanoparçacıkların yalnızca fiyat ve hacimsel üretim eğrilerindeki eğilimlerin göstergeleri olarak kullanılmak üzere verilmiştir. Kalite, fonksiyonellik ve kullanılacakları son uygulamaya bağlı olarak, aynı tip nanoparçacıklar için fiyatlarda çeşitlilikler gözlenmektedir. Mümkün olduğunda, tahminler aralıklar olarak verilmiştir. Her durumda, veriler yalnızca ortalama bir gösterge olarak kabul edilmelidir.

Organik olarak modifiye edilmiş olan “**montmorillonit tabakalı silikatlar**”, polimer kompozitleri güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin, mekanik ve/veya bariyer özelliklerinde iyileştirme, termoplastik bir bileşikte nano-ölçekli yapraklara kilin pullar halinde dökülmesiyle elde edilebilir. Bazı fonksiyonel özellikler (örneğin geçirgenlik, kristalinite, gaz geçirmezlik, alev dayanırlığı vs.) polimerlere montmorillonit eklenerek önemli ölçüde iyileştirilebilir. Aşağıdaki şekilde, Delphi paneli katılımcıları tarafından verilmiş olan fiyat tahminleri verilmiştir. Bu tip nanoparçacıkların mevcut fiyatı 5-18 /Kg olarak tahmin edilmiştir (bazı uzmanlar bazı tip fonksiyonelleştirilmiş tabakalı silikatların alt limiti 3 /Kg olarak belirlemişlerdir). Bir sonraki on-yılda, fiyatların aralığının 3-8 /Kg'a inmesi beklenmektedir (Willems and van der Willenberg 2005).



**Şekil 3.1:** Organik Olarak Modifiye Edilmiş Olan Montmorillonit Tabakalı Silikatın Beklenen Fiyat Gelişimi (Willems And Van Der Willenberg 2005)

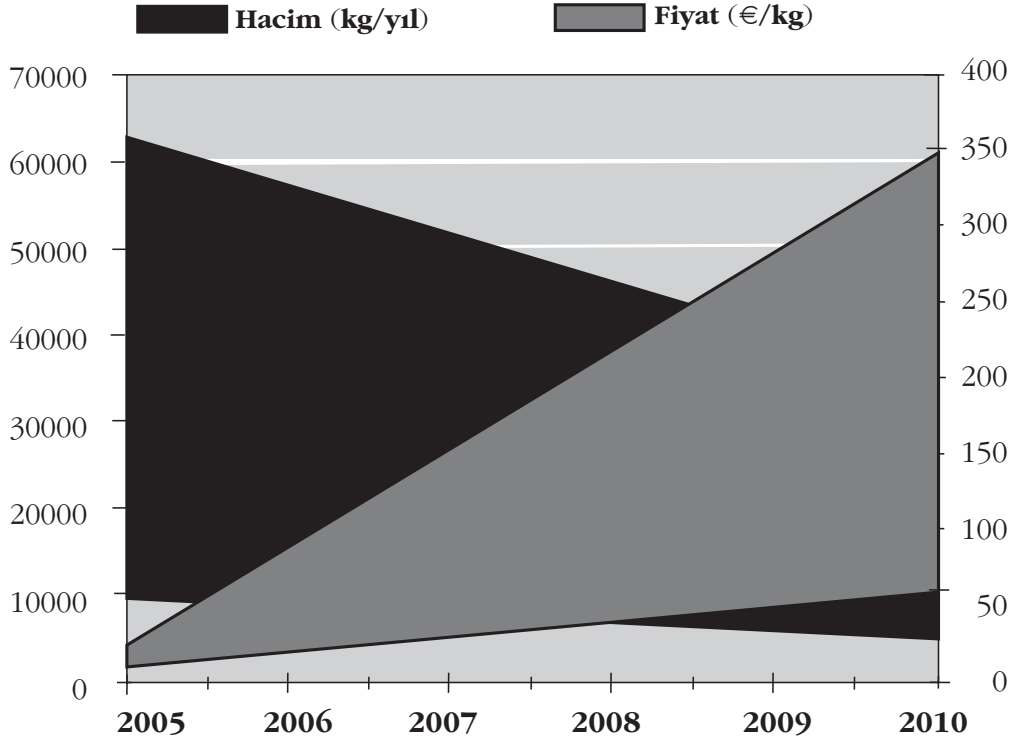
**“Gümüş nanoparçacıkları”** pigment olarak kullanılabilirler. Yüzen primerler ve temel kaplama malzemeleri için pas önleyici metalik pigmentler, kaplama sistemlerinin koruyucu özelliklerini geliştirmektedir. Uygun nanoparçacıklar gümüş, kurşun, çinko ya da magnezyumu içermektedir. Gümüş nanoparçacıklar, gram başına 100 avroya kadar fiyatlara ulaşabilmelerine rağmen, bazı uzmanlara göre bu uygulamada tercih edilen nanoparçacıklardır. Aşağıdaki şekil, 2005–2010 yılları aralığı için fiyat ve hacimsel üretim tahminlerini sunmaktadır.



**Şekil 3.2:** Gümüş Nanoparçacıklarının Beklenen Fiyat ve Dünya Çapında Hacimsel Üretim Gelişimi (Willems ve Van Der Willenberg 2005)

Diğer pigmente-dayalı uygulamalar, “**metal oksit seramiklerin**” aktif dolgular olarak kullanımını içerir. Kompozit polimer malzemelere eklendiklerinde, geçirgenliklerini (permeabilite) 8–25 kat azaltarak, bunlar kimyasal istikrarı 3–5 kat artırır. Bu uygulama için uygun olan nanoparçacıklara bazı örnekler, AlO ve CdO ‘yu içermektedir.

Metal nanoparçacıkların diğer uygulamaları biyo-imleme ve algılamayı içerir. Bu tür nanoparçacıkların kattığı değer, artırılmış duyarlılık ve selektivite sağlamalarıdır: metal nanoparçacıklar analitere alternatif teknolojilerden (örneğin fonksiyonelleştirilmiş lateks boncukları) daha kolay tutunur ve daha ayırt edici bir tepki sağlar (örneğin, yüzey plasmon rezonans değişimi). Gümüş nanoparçacıkları bu uygulama için oldukça uygundur, ancak kolloidal altın bazı uzmanlara göre daha iyi bir konumda gibi görünmektedir. İkinci malzeme için mevcut fiyat 1500 Avro/Kg’a ulaşabilmektedir.



**Şekil 3.3:** Metal Oksit Seramiklerin Beklenen Fiyat ve Dünya Çapında Hacimsel Üretim Gelişimi (Willems And Van Der Willenberg 2005)

**“Oksit olmayan seramikler”** ele alınacak olursa, 20–120 nm hidroksiapatit (HAP) seramikler, kemik büyüme destekleyiciler olarak araştırılmaktadırlar. Bunların kattığı değer biyo-aktivitedeki artıştır. Bazı uzmanlara göre, bir kilogram HAP’ın en düşük fiyatı şu anda 1600 – 2000 Avro olarak tahmin edilebilir.

### **Başlıca Uygulamalar Konusunda Uzmanların Görüşleri**

Uzmanlara göre, şu anda en yüksek kazançların elde edilebildiği alanların önde gelenleri optoelektronik/manyetik uygulamalar, bunların ardından da biyoteknoloji/ilaç ve enerji (katalizörler/mekanik) gelmektedir. İlk alan diğerlerinden büyüklük miktarına göre bir derece yüksektir. Bu tür kalitatif yargılamaların, özellikle bunun gibi geniş bir alan için yapılması herkes tarafından bilindiği gibi oldukça zordur. Ürünün pazar değeri konusunda ya da uygulamada kullanılan nanoparçacıkların değeri konusunda yargılama yaparken de bu geçerlidir. İkinci durumda kompozitlerdeki nanokil etkileyici düzeylere ulaşabilmektedir; oysa hard sürücülerde kullanılan nanomalzeme miktarı düşüktür.

Ancak, Delphi panelindeki uzmanlar tarafından sağlanan bilgilerin ışığında, burada bahsi geçen mevcut en fazla satan uygulamaların, geçmişte yayımlanmış olan diğer pazar raporlarıyla oldukça uyumlu oldukları gözlemlenebilir. Bunlar Sİ suları için CMP bulamaçlarını, birkaç pigmenti (manyetik ya da güneş gözlükleri uygulamaları için), katalizörleri, biyo-imleçleri vs. içermektedir.

Geleceğe yönelik uygulamalara geçecek olursak; bunlardan bazıları, var olan engelleri aşmayı başarabilecek olanlara dikkate değer yararlar getirecektir. Örneğin, **polimerlerde güçlendiriciler** olarak nanoparçacıklar, şu anda muazzam bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Nanoparçacıkların kompozitlere eklenmesinin yararları bu dokümanda önceki bölümlerde incelenmiştir. Ancak, bu uygulamanın ticarileşme aşamasına tamamen girmesi için aşılması gereken engeller halen çok büyüktür. Özellikle maliyet/performans oranının yetersizliği ve emtia polimerlerin bileşik faiz hesaplamasındaki güçlükler örnek olarak verilebilir. Daha önce de iddia edildiği gibi, kompozitlerin fonksiyonunun güçlendirme değil de azaltılmış gaz geçirgenliği (kütlesel yapılaraya göre nazaran çok daha az malzeme gerektirmektedir) gibi bir şey olduğu durumlarda, bu alandaki kullanım esnasında da tanık olunduğu gibi maliyet çok daha kolay bir şekilde ayarlanabilir. Delphi panelindeki uzmanlar otomotiv ve paketleme endüstrilerini, plastik nanokompozitler için en büyük büyüme gerçekleşebilecek pazarlar olarak tanımlamaktadırlar. Bazı uzmanlar, örneğin silikat nanoparçacıklarının termoplastiklerde daha fazla uygulandıklarını görebilmek için pazarın, nanoparçacıkların bu malzemenin kullanımını sayesinde açık ve bariz yararlarla başarılı bir şekilde uygulanmış olduğu yeterli sayıda örneğe tanık olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu, herhalde paketleme endüstrisinde gerçekleşmek üzeredir, ancak bunların arabalardaki ticari kullanımının 2001 yılında manşet olmasından beri, yapısal güçlendirme alanında önemli bir gelişme yaşanmamış gibidir.

Sağlıkla ilgili belirli uygulamaların da, yeterince geliştirildikleri halde dikkate değer yararlar sağlamaları beklenmektedir. Mevcut/potansiyel uygulamalara örnekler daha önce verilmiştir. Ancak, büyük bir potansiyel etkisi olması nedeniyle ayrıca incelenmesi gereken bir uygulama bulunmaktadır. Bu alan "**ilaç taşımadır**". Nanoparçacıklar ilaç ya da aşı taşımada ağız yoluyla ya da soluma yoluyla ve enjeksiyon ihtiyacını ortadan kaldırarak (üçüncü dünya ülkeleri için bu çok önemlidir), araçlar olarak kullanılabilirler. Ayrıca işbirliğindeki antikörlerin da kullanımıyla, ilaçlar yalnızca ihtiyaç duyulan bölgelere taşınabilirler ve böylece vücuttaki toplam yan etkiler azaltılabilir. Bu olanak daha

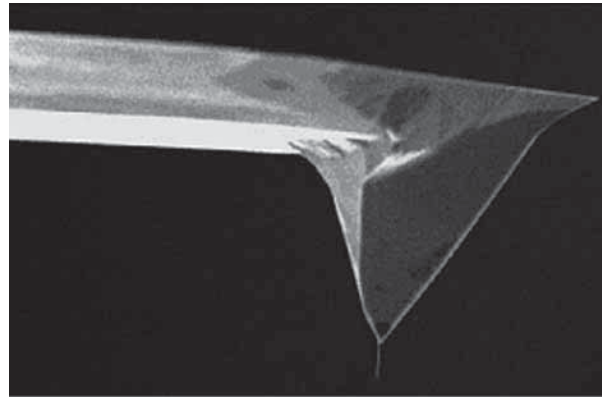


Önce toksisite nedeniyle denemelerde başarısız olmuş olan ilaçlar için yeniden kullanıma olasılığı yaratmaktadır

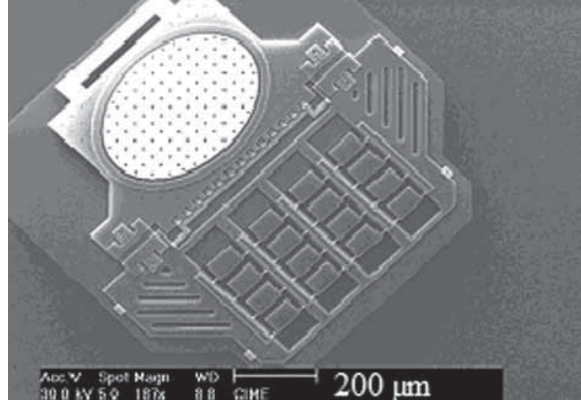
Bu uygulamanın önündeki bir pazar engeli, denetleyici organlar (örneğin, Gıda ve İlaç Dairesi – FDA<sup>25</sup>) tarafından gerçekleştirilen çetin kabul edilme sürecinden kaynaklanabilir. Ancak, uzun dönemde, belirli ilaç taşıma uygulamaları için dendrimerler nanoparçacıklardan daha iyi bir konumda olacak gibi gözükmektedir. Bunların büyük miktardaki eş yüzey grupları ve mükemmel kapsüllenme özellikleri ve büyük oranda kontrol edilebilir kimyaları nedeniyle, dendrimerler bu uygulama için oldukça uygundur.

Nanoparçacıklardan yararlanan kaplayıcı maddeler, günümüz ve gelecek uygulamaları için önemli bir sınıf olarak da bahsedilmeğe değerdir. Şu anda pazarda bunlardan birçoğu bulunmaktadır ve çizilme dayanırlığından optik özelliklere ve elbette kendi kendini temizlemeye kadar çeşitli özellikler sunmaktadırlar. Bunlar gözlüklerde, camlarda, arabalarda, buzdolaplarında, tuvaletlerde, musluklarda vs. bulunabilmektedirler.

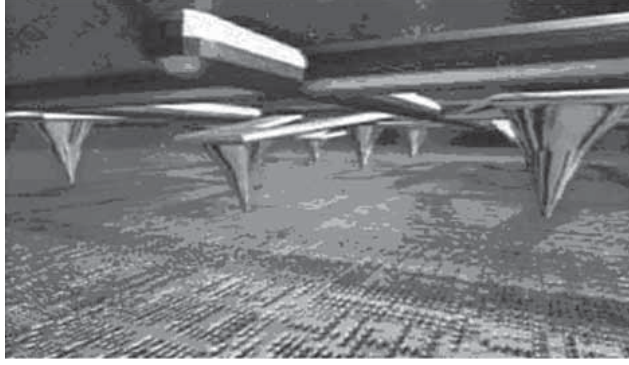
Nanoteknoloji uygulamalarıyla ilgili örnekler teşkil eden birkaç şekil aşağıda verilmektedir (Holister, P 2002):



**Şekil 3.4:** AFM Ucu (Nanoteknoloji Bilimi ve Teknoloji Merkezi fotoğraf müsaadesiyle, Rice Üniversitesi)



**Şekil 3.5:** Fiber Optik Serbest Uzay Çoklaması için Yüzey Mikro-İşlenmiş Dönebilen Ayna (TIMA Lab izniyle).



**Şekil 3.6:** AFM Uçları Dizisinden Yaralanan Millipit Depolama Aygıtı (IBM görüntü izniyle)



**Şekil 3.7:** 35 Ksenon Atomuyla Hecelenmiş Olan IBM Logosu, 1989

B Ö L Ü M  
4

NANOTEKNOLOJİ  
FIRSATLARI



## 4. NANOTEKNOLOJİ FIRSATLARI

### **Bilişim ve İletişim**

Modern bilişim toplumu, daha büyük aktarma ve işleme hızları, daha yüksek depolama yoğunlukları olan seyyar, güçlü ve sağlam bilgi işleme araçları ve esnek, entegre edilebilir ekranlar için gittikçe artmakta olan talebi tetiklemektedir.

İlerisi için, kablosuz teknolojiden yararlanan ve geniş bir bant ağına bağlı olan ucuz, güçlü ve portatif hesaplama aygıtlarının tüm insanların kullanımına açık olacağı, her yerde hazır bulunacak bir bilgisayar vizyonu tarif edilebilir.

Nanoteknoloji geleceğin bilişim ve iletişim teknolojileri için anahtar olacaktır. Bazı ilgili bileşenler ve uygulamalar aşağıda özetlenerek verilmiştir (Luther, W. 2004).

### ***Veri İşleme ve Depolama***

Nanoteknoloji, ultrayüksek entegre mantık üretimi, olağanüstü yüksek depolama yoğunluklu, minyatürleştirilmiş yığınsal bellekler ve bilgisayarlara yönelik yeni, kalıcı, yüksek performansla çalışan hafızalar için potansiyel oluşturmaktadır. Bu tür nanoelektronik gereçlerin gerçekleştirilmesine yönelik en ilgili yaklaşımlar daha önce de özetle anlatıldı. Pazara girmeleri beklenen oldukça fazla sayıda nanoteknolojik veri hafızası fikirleri mevcuttur. Burada bahsedecek olursak, bunlardan biri de verilerin kalıcı olması (veriler, güç kesilmesi durumunda da korunur ve böylece bilgisayarlardaki önyükleme işlemi gereksiz hale gelir), düşük enerji tüketimi gibi özel karakteristikleri olması nedeniyle, DRAM hafızaların yerine geçmesi beklenen ve manyetik etkilere dayanıklı olan MRAM'lardır. IBM hâlihazırda, taramalı uç teknolojisine dayalı nanoölçekli/yazma/silme uçları dizine sahip bir mikromekanik aygıt olan ve "Millipede" de denilen AFM'ye dayalı bir hafıza geliştirmektedir. Bu aygıtın, kalıcı, düşük güç ve büyük kapasiteli veri hafızası (yaklaşık 10 cm<sup>2</sup> başına 1 Tbit'e kadar; bu da günümüzdeki DVD teknolojisinden yüz kat iyidir) potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca, faz-değişimi malzemeleri, biyolojik moleküller ya da kuantum noktalarına dayalı veri hafızaları da geliştirme aşamasındadır (Luther, W. 2004).

## ***Ekranlar***

Gelecekte, tam-renkli, tam-hareketli, enerji-verimli ve daha da fazla “çok-yönlü” olan ekranlara yönelik talep, cep telefonlarının, KDY’ların<sup>26</sup>, elektronik kitapların ve diğer elektronik aygıtların her yere yayılmasıyla artacaktır. Bu ekranlar düşük maliyetli olmalı, az miktarda güç tüketmeli, ince ve hafif olmalı ve esnek bir sübstrata takılabilmeli. Bu tür esnek ekranlar, hem daha ekonomik üretim proseslerinin önünü açacaktır hem de gözlüklere, otomobil ön-camlarına ve diğer öğelere entegre edilmiş baş-üstü ekranlar gibi, geleceğe ait uygulamaları mümkün kılacaktır. Bazı nanoteknolojik düz-panel ekran teknolojileri, organik ışık-yayan diotlar (OLED) ya da karbon nanotüplere dayalı alan emisyonu ekranları (KNT-AEE) gibi büyük umutlar vaat etmektedir. Varolan teknolojik sorunlar çözüldüğü zaman, her iki ekran tipi için de büyük bir pazar potansiyeli öngörülmektedir (Luther, W. 2004).

## ***Seyyar Elektronikler***

Seyyar elektronikler gelecekte gittikçe daha fazla önem kazanacaktır. Seyyar elektroniklerin gelecek uygulamalarıyla ilgili senaryo, sağlık denetimi için ya da telekomünikasyon amaçlarına yönelik giyilebilir elektronikler (tekstil fiberlerde dokunmuş), iş yerleri ya da eğlence dünyası için sanal gerçeklik aygıtlarının yanında, kişisel elektronik yardımcı, eşzamanlı çevirmen, ayaklı kütüphane gibi çoklu kullanımı olan çok- fonksiyonlu portatif aygıtları da içerir.

Seyyar ekipmanlara yeni ses, video, görüntü, veri girişi ve kablosuz kapasite eklenmesi, güç entegre devrelerinde (ED), bu alt-sistemleri destekleyecek yeni talepler ve gereksinimlere yol açmaktadır. İşlemci hızları arttıkça, yeni elektriksel ortamlarla başa çıkabilmek için ve işlemci hızını seyyar uygulamaların gerekliliklerine uygun olacak şekilde ayarlamak için, güç-yönetimi çipleri ve altsistemler kurulmalıdır. Bu seyyar elektronikleri destekleyecek yeni ve minyatür hale getirilmiş güç sağlayıcı aygıtlar gerekli olacaktır. Nanoteknoloji, piller, minyatür yakıt pilleri, termoelektrik konvertörler ya da güneş pilleri alanlarında seyyar enerji üretimini önemli ölçüde geliştirebilir (Luther, W. 2004).

---

26 Kişisel Dijital Yardımcı

## Kimya

Kimya endüstrisinde nanoyapılı malzemeler ve nanoteknolojik üretim prosesleri, bir süreden beri kullanılmaya başlanmıştır. Kimyasal nanoteknolojiye dayanan bazı ürünler halihazırda pazara girmişlerdir. Nanoparçacıklara dayalı güneş kremleri, kendi kendini temizleyen boyalar ve seramikler (“lotus etkisi”), biyoçiplerde işaretleyici nanoparçacıklar, araba lastiklerinde doldurucu nanoparçacıklar ya da katalizörler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Temelde kimyasal nanoteknoloji ürünleri için geniş uygulama alanları mevcuttur, ancak ticarileşme için önemli olan, geleneksel malzemelerden daha iyi bir fiyat-performansı oranının örneklenerek gösterilebilmesi ve seri üretimde gerçek-dünya için uygunluk sağlanması gerekmektedir. Büyük miktarlarda ve rekabet edebilecek maliyetlerde üretilmedikleri takdirde, nanomalzemeler yalnızca niş piyasada uygulanabileceklerdir. Tablo 4.1’de, nanomalzemelerin değer zincirinin çeşitli aşamalarında varolan ve potansiyel uygulamaları sıralanmıştır.

**Tablo 4.1: Nanomalzemelerin, Değer Zincirinin Çeşitli Aşamalarındaki, Varolan ve Potansiyel Uygulamaları**

| Temel Ürünler   | Ara Ürünler   | Uygulamalar   |
|---|---|---|
| <b>İnorganik nanoparçacıklar</b><br>Metal oksitler, nanokiller, metaller, fullerenler, karbon siyahı  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Katalizörler</li><li>• Membranlar ve filtreler</li><li>• Pigmentler ve boyalar</li><li>• Aşındırıcılar</li></ul>  | <b>Tıp</b><br>İlaç taşıma, biyoçipler, implantlar, antimikrobiyeller                    |
| <b>Organik nanoparçacıklar</b><br>Polimer dispersiyonları, ilaçlar, boyalar, makromoleküller (dendrimerler vs.)   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Doldurucular</li><li>• İlaç ve ilaç taşıyıcılar</li><li>• Metal yapraklar</li><li>• Tekstil fiberler</li></ul>  | <b>Kozmetik</b><br>Güneş kremleri, dudak boyaları, diş macunları                        |
| <b>Nanogözenekli malzemeler</b><br>Aerogeller, zeolitler vs.  | <ul style="list-style-type: none"><li>• İşaretleyiciler</li><li>• Superiletkenler</li></ul>   | <b>Otomobil</b><br>Lastikler, yapım malzemeleri, katalizörler, ön camlar, yakıt pilleri |
| <b>Nanokompozitler</b><br>Seramikler, metaller/alaşımlar, polimerler, fonksiyonelleştirilmiş nanoparçacıklar, organik yarıiletkenler, ferroakışkanlar vs. | <ul style="list-style-type: none"><li>• Gaz depolama</li><li>• Paketleme</li><li>• Kaplayıcılar</li><li>• Termoelektrik</li><li>• İletken polimerler</li><li>• Organik yarıiletkenler</li></ul> | <b>Bilişim Teknolojisi</b><br>Veri depolama, ekranlar, lazerdiotlar, cam fiberler       |
|   |   | <b>Enerji</b><br>Güneş pilleri, bataryalar, yakıt pilleri, kapasitörler                 |

Kaynak: Luther, W., 2004

Uzun vadede, kimyasal nanoteknolojinin geleneksel malzemeleri geliştirmenin de ötesine geçeceği beklenmektedir. Moleküler nanoteknolojinin görünür amaçlarından biri de, yapı-içi algılama ve davranma özellikleri, programlanabilir optik, termal ve mekanik nitelikler ve hatta kendi kendini iyileştirme gibi özellikleri olan “akıllı” malzemeler üretmektir. Buradaki bir amaç da, sentetik ve biyolojik malzemelerin, yapıların ve sistemlerin birleştirilmesi ve teknolojik uygulamalar için biyolojik proseslerin taklit edilmesidir. Nanobiyoteknolojinin bu alanı henüz temel araştırma safhasındadır, ancak gelecek için en fazla ümit vadeden araştırma alanlarından biri olarak görölmektedir (European Commission 2001 ve Luther, W. 2004).

### ***Otomotiv***

Otomotiv endüstrisinin belirli özellikleri, bu pazarı nanoteknolojinin girişi için bereketli bir market haline getirmektedir. Pazar oldukça büyüktür, nispeten kısa yenilik döngüleri bulunmaktadır. Yakıt ekonomisi ve güvenlik açısından pazara ve denetleyici baskılara tabidir ve ayrıca da tüketici baskılarına maruz kalan trendlerden büyük miktarda etkilenmektedir. Tüm bu faktörler yenilikçi teknolojilerin pazara girişini desteklemektedir. Nanoteknolojik kabiliyet, gelecek otomotiv mühendisliğinde, bu endüstrinin uluslararası çapta rekabet edebilir kalması için gerekli olan çekirdek alanlarından biri olacaktır. Nanoteknolojik yenilik çabalarının otomotiv mühendisliğindeki kapsamı, somut geliştirme faaliyetleri sayesinde kullanımda olan elemanlardan, potansiyeli olan fakat gerçekleştirilmeleri uzun zaman alabilecek fikirlere kadar uzanmaktadır. Bunlardan bazıları, özünde yeni fakat ürünün üzerinde geniş kapsamlı etkileri olan gelişmelerdir. İkincil etkiler birçok başka endüstri alanlarında da beklenmektedir. Nanoteknolojik gelişmeler, tüm otomotiv alt-sistemlerinde ve bileşenlerde rol oynayabilir. Örneklerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Araba lastiklerinde dolgu maddeleri olarak nanoparçacıklar (gerçekleştirilmiş, geliştirmeye devam ediliyor)
- Ekranlar ve aynalar için yansımayı engleyici kaplamalar (gerçekleştirilmiş)
- Nanoparçacık-takviyeli polimerler ve metaller (geliştirilme aşamasında, kısmi olarak gerçekleştirilmiş)
- Nanoteknolojik modifikasyondan geçirilmiş adezif teknolojiler ve adezif astarlar (geliştirilme aşamasında)



- Gelişmiş yakıt pili teknolojisi ve hidrojen depolaması (araştırma aşamasında)
- Nanoelektronığe dayalı sensörler (örneğin manyetorestif sensörler) ve elektronik bileşenler (örneğin baş-üstü görüntü ekranları, yol bilgisayarı) (araştırma aşamasında)
- Yakıt pili katkı maddeleri olarak katalitik nanoparçacıklar (araştırma aşamasında)
- Aynalar ve ekranlar için buğulanmayı engelleyici kaplamalar olarak hidrofil yüzey kaplamaları (araştırma aşamasında)
- Ultra- hafif araba yapıları için karbon nanotüp kompozitler (uzun dönemli araştırma)
- “Kendiliğinden iyileşen” kaplamalar, örneğin kendiliğinden düzenlenmeyle (en iyi ihtimalle uzun dönemli araştırma) (Luther, W. 2004)

### ***Tıp ve Sağlık Bakımı***

Sağlık hizmetleri büyük miktarda sosyal ve ekonomik faktörden etkilenmektedir. Dünyadaki sağlık hizmetleri pazarları, yıllık yüz milyar Avro'ya bedeldir ve ilaçlar bu miktarın büyük bir kısmını oluşturmaktadır (2002 yılında ABD'de yaklaşık olarak 400 milyar \$). Aşağıdaki örneklerin de gösterdiği gibi, nanoteknoloji halihazırda sağlık hizmetleri pazarında yer almaktadır (Wagner 2004 ve Luther, W. 2004):

- Atomik kuvvet mikroskobu (AKM) teknolojisi, tanı ve ilaç keşfinde kullanım için daha küçük ve daha hassas mikrodiziler yaratmak için kullanılmaktadır. AKM ayrıca yüzeylerin nanoyapılandırılması ve örneğin bu yüzeylerin daha biyo-uyumlu hale getirilmesi için de kullanılabilir.
- Fullerenler, dendrimerler ve kuantum noktaları (benzersiz floresan özellikleri olan yarı-iletken malzeme kompleksleri) gibi nanoparçacıklar, görüntüleme (örneğin manyetik rezonans görüntüleme [MRI] ve ultrason), madde taşınması (örneğin modifiye edilmiş bir fulleren, klinik denemelerde anti-HIV maddesi olarak kullanılmaya başlanmaktadır) dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. İlaçları nanoparçacıklarla formüle etmek ayrıca çözünürlüklerini geliştirebilir (birçok ilaç, suda fazla çözünmemeleri nedeniyle pazarlanmamaktadır), mide asidi ve enzimlere dayanırlıklarını artırabilir (ince bağırsaktan daha fazla emilim sağlayabilir) ve olan

kontrollü bir salınım (dakikalar ya da saatler içinde değil, günler boyunca) olarak tanıyabilir. Nanotüpler, hem “konteyner” hem de hücrelere “nano-enjeksiyon” gerçekleştirecek potansiyel sistemler olarak, madde taşınması için kullanılabilir bir diğer mekanizmayı temsil etmektedirler.

- Hipertermi tedavisinde, manyetik parçacıklar biyolojik türlerle kaplanır ve kanserli alanlara enjekte edilir. Kaplayıcının moleküler yapısı, yalnızca kanser hücrelerinin parçacıkları soğurmalarına neden olur. Bundan sonra dış manyetik alan kullanılarak parçacıklar aktive edilir ve bu da kanserli hücrelerin ısınıp ölmelerine neden olur. Bu yöntem, gelecek birkaç on yıl için, en fazla ümit vaat eden kanser tedavi yöntemidir.
- Örneğin titanyum alaşımı nanokompozitleri ameliyat gereçleri ve implantların biyouyumluluklarını ve uzun ömürlülüklerini geliştirmek için kullanılabilir.
- Nanoyapılı yüzeyler hücresel tutunmayı geliştirebilir (örneğin yüzeyleri nanoölçekli oluklarla oymak ya da AKM gibi aygıtlar kullanarak yüzeyleri hücrelere bağlanan moleküllerle donatmak) ve hücreleri, belirlenmiş yapılar oluşturmak üzere büyümeye yönlendirebilir. Yapı iskeleleri olarak görev alacak biyo-parçalanabilir polimerler dâhil edilerek, bu yapılar 3-boyutlu dokular oluşturmak üzere toplanabilir. Nanoyapılandırma ayrıca, implantlar için anti-mikrobiyel kaplama sağlamak için de kullanılabilir.
- Tıbbi gereçleri ya da diğer parçaları sterilize etmek için nanomalzemelere dayalı olan antimikrobiyel malzemeler (örneğin polimer tüplere katılmış gümüş ya da titanyum dioksitle kaplanmış yüzeyler).

Orta vadede, yeni tıbbi tedaviler beklenmektedir, örneğin kan akışında, vücudun belirli bir bölgesine ilaç taşıyacak olan kendi kendini düzenleyebilen içleri boş küreler. Molekül-boyutundaki “konteynırlar” ya da “kafes bileşikler” (örneğin fullerenler ya da dendrimerler) de ilaç-taşıma ve hedefleme amaçları için önemli olacaktır. Bunun yanında ek olarak manyetik parçacıklarla ya da antikörlerle birleştirme yoluyla dışardan kontrol dahi mümkün olacaktır. Günümüzde enjekte edilerek kullanılabilen insülin ve serum, nanomalzemelerin yardımıyla ağız yoluyla alınabilir hale gelebilir. Bu tür nanoölçekli ilaç taşıma sistemlerinin potansiyeli 2007 yılında 50 milyon \$ olarak tahmin edilmiştir (BBC 2003 ve Luther, W. 2004).

Uzun dönemde nanoteknolojiler, bireylerin DNA'larının hızlı bir şekilde sıralanmasını (nano-sıralama) sağlayabilir ve dolayısıyla bir hastalığa olan genetik yatkınlık, ilaç toleranssızlığı ve ilaç metabolizma hızlarının (tüm bunlar farmakogenomik alanı altında toplanmaktadır) tayin edilmesine yardımcı olabilir. İlaç taşınması ya da görüntüleme uygulamaları için, tek tek vücuttaki hücreler moleküllerle hedeflenebilecektir. Çip-üstü-laboratuvar aygıtlarında gelişmeler sonucunda, hastalardaki rahatsızlıklar daha hızlı teşhis edilebilecek ve aynı zamanda benzer aygıtlarla hastanın hayati belirtileri daha iyi gözlenebilecektir. Zarar görmüş vücut parçaları, doku mühendisliğindeki (kliniklerdeki biyoreaktörlerde büyütülmüş olan fizyolojik dokular ve organlar) gelişmeler sayesinde değiştirilebilecek ve gelişmiş implantlar, hastaların görme ve işitme yetilerini yeniden kazanmalarını sağlayabilecektir. Daha da fazla hayal gibi görünen ve özellikle ABD'nin üzerinde durduğu bir yaklaşım, nanoteknolojiyi, geliştirilmiş insan-makine arayüzleri, yapay uzuvlar, elektronlarla nöro-bağlama vs. yoluyla insan performansını geliştirmek için kullanmaktır (Roco 2002 ve Luther, W. 2004). Elde edilecek kazançlara örnekler, iş gücü verimini ve öğrenmeyi geliştirmek, bireysel algılama ve kognitif kapasiteleri geliştirme, sağlık bakımında devrim niteliğinde olan değişiklikler, hem bireysel hem de grup yaratıcılığını geliştirmek, beyin-beyin etkileşimi gibi oldukça etkili iletişim tekniklerini içerir.

### ***Enerji ve Çevre***

Enerji araştırmaları gittikçe daha da fazla önem kazanmaktadır; özellikle geniş çaplı anahtar AB politikalarının (örneğin enerji tedarikinin çeşitlendirilmesi ve güvenlik, iklim değişikliği ve hava kirliliğiyle mücadele, enerji pazarının özgürleştirilmesi, sürdürülebilir gelişme, endüstriyel rekabet, bölgesel gelişme ve uyum vs.) ve desteklenmesi açısından önemlidir.

Nanoteknoloji tüm enerji sektörü (üretim, depolama, dağıtım ve kullanım) için umut vaat eden potansiyellere sahiptir. Ayrıca dünyanın enerji kaynaklarından yararlanma yollarında değişiklik yapabilmemizi sağlama potansiyeline de sahiptir (Luther, W. 2004).

### ***Enerji Üretimi***

Nanoteknoloji, en fazla yenilenebilir enerji kaynakları için umut vaat etmektedir. Diğer yandan, maddenin atomik ve moleküler seviyede tam kontrolü, plastik gibi ucuz

bir sübstratın üzerine aktif bir malzemededen ince bir katman oluşturularak daha ucuza üretilebilecek olan ve dolayısıyla da maliyet etkinliği olan güneş PV (camdan çok daha ucuz ve çok daha hafiftir) gibi yenilenebilirler için bir gerekliliktir.

PV'lerde cam, maliyet açısından kısıtlayıcı olan faktördür ve bu nedenle de PVler alanında, camla önemli bir atılım gerçekleştirmek ya da maliyet etkinliği sağlamak gerçekte mümkün olmayacaktır. Örneğin, nanokatmanlar ya da nanoçubuklar içeren güneş pilleri üretmek, tekli-yapılı yüzeyleri daha verimli güneş emicileri (emilen dalgaboyunda, kuantum dotlarıyla çeşitlilik sağlama) ve nano-porlu elektrotlar olarak kullanarak, güneşten dönüştürülen elektrik miktarında önemli bir artış sağlayabilir. Bu malzemeler plastik elektroniklerle birleştirilerek yarıiletken polimer fotovoltailer geliştirilmekte ve bunlar da özellikle hafiflikleri ve esnek özellikleri nedeniyle avantajlıdırlar. Yakıt pilleri de, nanoyapılı elektrotlar ve elektrolitlerden ve bunların sayesinde elde edilen, nanometre kalınlığında büyütölmüş yüzeyleri olan ince filmlerden yarar sağlarlar (Luther, W. 2004).

### ***Enerji Depolama***

Enerji depolaması için nanoteknoloji uygulamaları, bataryalar ve yakıt pilleri için nanoparçacıkların ve nanotüplerin kullanılmasını içerir. Nanoteknoloji, yeniden şarj edilebilir bataryaların performanslarının, özel olarak moleküler elektrokimyasal davranışlarının incelenmesiyle geliştirilmesi için kullanılmaktadır. Nanoboyuttaki lityum titanattan yararlanan yeni patentlenmiş olan lityum iyonu bataryaları, günümüzdeki geleneksel bataryalara göre 10–100 kat daha büyük şarj/yük boşaltma hızları sağlayabilir. Birkaç grup, Nanoyapılı malzemelerde hidrojen depolanması olanakları (yakıt pili teknolojisine uygulanabilecek olan karbon nanotüpler, nanokristalin magnezyum bileşikleri ya da organometalik bileşikler) üzerinde araştırma yapmaktadır (Luther, W. 2004).

### ***Çevresel Faydalar***

Nanoparçacıklar metalleri daha hafif, daha güçlü ve daha sert yapabilir, seramiklerin şekillenebilirliklerini ve yumuşaklık özelliklerini geliştirebilir. Bunun direkt bir sonucu, aynı malzemelerin enerji, yakıt ve malzeme kullanımını azaltmasıdır. Mekanik sistemlerde, enerjinin çoğu yüzeyler arasındaki sürtünmenin üstesinden gelmek için gereklidir. Nanometre ölçekte nanoölçekli lubrikantların ve yüksek ince yüzey mühendisliği-

nin kullanımı, enerji ihtiyacını büyük ölçüde azaltacaktır. Ürünlerin malzeme miktarını düşürmek, sürdürülebilirlik açısından anahtar bir husustur. Nanoteknolojideki trendler, temel olarak hammadde ve enerji kullanımını düşürerek, daha temiz endüstriyel üretim ve ürünler için katkıda bulunacaktır. Biyoteknolojiyle beraber nanoteknoloji ve yeni malzemelerin araştırılması, geri dönüşüm ve üretim için daha az enerjiye ihtiyaç duyan ürünlerin geliştirilmesine yardımcı olabilir (Luther, W. 2004).

### ***Gıda Sektörü***

Nanoteknolojinin gıda sektöründe de uygulamaları vardır. Birçok vitamin ve kartinoidler gibi bunların başlatıcıları olan maddeler suda çözünemezler. Ancak ustalıkla üretildiklerinde ve nanoparçacıklar olarak formüle edildiklerinde, bu maddeler soğuk suyla kolaylıkla karışabilir ve insan vücudundaki biyoyararlanımları da artar. Birçok gazoz ve meyva suyu, alımlı bir renk de veren bu özel olarak formüle edilmiş katkı malzemelerini ihtiva etmektedir. Bu tip mikronize bileşenlerin dünyadaki pazar potansiyeli 1 milyar \$ olarak tahmin edilmiştir (Distler, D. 2002 ve Luther, W. 2004) Burada bahsedilebilecek başka yararlı buluş da, nanoparçacıklarla güçlendirilmiş, gıdanın taze ve daha uzun zaman korunmasına olanak tanıyan, düşük gaz geçirgenliği olan polimerlerdir. Ayrıca iç ve dış duvar kaplama teknolojileri de, PET şişelerin gaz yoğunluklarını geliştirmek amacıyla -örneğin plazma teknikleri uygulanarak- kullanılmaktadır. Gelecekte ayrıca, biyo ve gaz sensörleri de gıda sektörü için önem kazanabilir. Bu sensörler, gıdanın tazeliğini gözlemek amacıyla paketleme malzemelerine entegre edilebilir. Gıdanın bozulması sensördeki renk değişimiyle gösterilebilir. Hâlihazırda birkaç kavram bu tür uygulamalara yönelik olarak geliştirilmiştir (örneğin silikon ya da polimer ince filmler) (Luther, W. 2004).



B Ö L Ü M  
5

DÜNYADAN STRATEJİLER:  
ULUSLARARASI ÇALIŞMA AĞLARI,  
STRATEJİLER VE ÖNGÖRÜLER

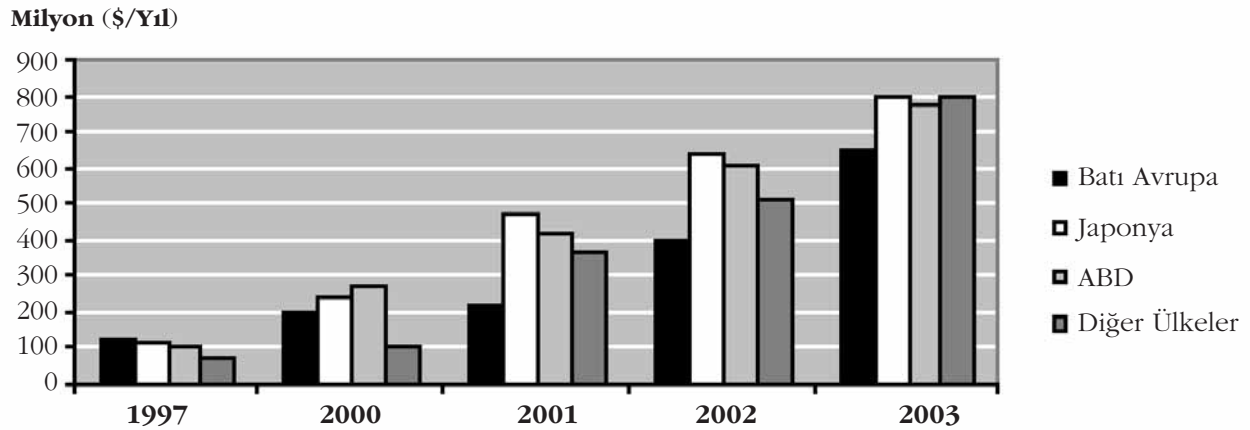




## 5. DÜNYADAN STRATEJİLER: ULUSLARARASI ÇALIŞMA AĞLARI, STRATEJİLER ve ÖNGÖRÜLER

Nanoteknolojiye gittikçe daha da fazla ayrılan kamu kaynakları, 2003 yılında toplam 3 milyar \$'ı geçmiştir. Nanoteknolojiye kamu kaynağı yatırımı konusunda en önde gelen ülkeler Japonya (2003 yılında yaklaşık olarak 800 milyon \$) ve ABD'dir (2003 yılında yaklaşık olarak 774 milyon \$); bunlardan sonra da Batı Avrupa (2003 yılında yaklaşık olarak 650 milyon \$) gelmektedir (Roco, M. 2003 ve Luther, W. 2004). Ayrıca, özellikle Güneydoğu Asya bölgesi (Tayvan, Singapur, Güney Kore, Çin) olmak üzere, diğer endüstrisel ülkeler de nanoteknoloji alanındaki araştırma çabalarını yoğunlaştırmaktadırlar. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.1), 1997'den 2003 yılına kadar dünyada nanoteknolojiye ayrılan kamu kaynakları gösterilmektedir.

Burada, "Diğer devletler" (Avustralya, Kanada, Çin, Doğu Avrupa, Rusya, İsrail, Kore, Singapur ve Tayvan) kısmındaki güçlü artış dikkate değerdir. Almanya'nın payının yaklaşık olarak % 50'sini oluşturduğu Batı Avrupa yatırımları, 1997 yılında Japonya ve ABD ile yaklaşık olarak aynı seviyedeydi. Ancak bundan beri bu miktarda düşüş olmuştur. Yine de, 2001 yılında Avrupa kaynaklarında yalnızca küçük bir artıştan sonra, 2003 yılına kadar yaklaşık olarak 650 milyon Avro'ya kadar oldukça tatmin edici bir artış beklenmiştir. Ayrıca, Avrupa kaynak verilerinin diğer ülkelerle doğrudan karşılaştırılabilir olmadıkları da kabul edilmektedir, çünkü araştırma altyapısı için farklı kaynak sağlama düzenleri mevcuttur. Örneğin, "Avrupa Nanoçalışmaları Kurumu", ilgili kaynak ölçütlerinin hesaba katılması durumunda, 2003 yılı Avrupa nanoteknoloji kaynak bütçesinin ABD'ninkinden daha fazla olabileceğini belirtmiştir (ENA 2002 ve Luther, W. 2004).



**Şekil 5.1:** Nanoteknolojiye Aktarılan Kaynakların Uluslararası Karşılaştırılması (Luther, W. 2004)

## 5.1. Amerika Birleşik Devletleri

ABD’de, “Nanoteknoloji İnisiyatifi” (NNI) 2002 yılında kurulmuştur ve amacı, nanoteknolojiyi acil ulusal bir görev olarak desteklemektir. Mali desteğin en büyük kısmı Ulusal Bilim Vakfı’na (NSF) ve Savunma Bakanlığı’yla (DOD) Enerji Bakanlığı’na (DOE) aittir. Ayrıca yedi ayrı bakanlığın da kendi nanoteknoloji bütçeleri vardır. Neredeyse tüm büyük bilim-teknoloji üniversitelerinde ve kısmi olarak da üniversite-dışı alanlarda, yüzden fazla nanoteknoloji araştırma merkezi kurulmuştur. Bazı araştırma alanlarında, kamu-özel ortaklıkları da vardır; örneğin, DARPA ve mevcut endüstriyel şirketlerin finansıyla desteklenen, mikro/nano elektronikler alanındaki SEMATEC ortaklığı gibi. IBM, Hewlett-Packard ya da Motorola gibi birkaç çokuluslu şirketin, üniversitelerle de yakın ortaklıkları olan kendi nanoteknolojik araştırma merkezleri bulunmaktadır. Bundan da öte, birçok küçük şirket de kamu tarafından desteklenen programların bağlamında kurulmuştur ve farklı nanoteknoloji alanında uzmanlaşmışlardır.

Amerika Birleşik Devletleri’nde, kamu tarafından finanse edilen nanoteknoloji programlarının kapsamı oldukça geniştir; nanobilim ve nanoteknoloji alanlarını tamamen kapsamaktadır. Bazı öncelik sahibi konular aşağıdaki gibidir:

- **Nanoyapı özellikleri:** Nanoyapılardaki biyolojik, kimyasal, malzeme-bilimsel, elektronik, manyetik, optik ve yapısal özellikleri geliştirmek ve bunları daha da iyi anlamak,

- **Sentez ve işleme:** Malzeme yapı taşlarının atomik ve moleküler kontrolünü sağlamak ve özel olarak oluşturulmuş bu yapı taşlarından, yeni prosesler ve aygıtlarda ve geniş bir uygulama yelpazesinde yararlanmak için gerekli olan mühendislik gereçlerini geliştirmektir. Geleneksel yaklaşımları, proksimal problu paralel işleme, kendiliğinden düzenlenme, damgalama ve modelleme içerecek şekilde örtüşme ve mikro-fabrikasyona kadar geliştirmek. Biyonanoyapılar ve biyo-etkili yapılar içeren ara yüzeye, çok-fonksiyonlu ve adapte olabilen nanoyapılara, ölçeklendirme yaklaşımlarına ve ticari olarak karşılanılabilirliğe özel dikkat ayırmak,
- **Karakterizasyon ve manipülasyon:** Yeni ölçme standartlarının geliştirilmesi de dâhil olmak üzere, nanoyapılı maddeyi ölçme ve kontrol etme kapasitesini genişletmek için yeni deneysel gereçler keşfetme ve geliştirme. Biyolojik açıdan önem teşkil eden tekli makro ve supra-molekülleri ölçme/manipüle etme kapasitesi olan gereçlere özel dikkat ayırmak,
- **Modelleme ve simülasyon:** Nanoyapılı özelliklerin, fenomenlerin ve proseslerin tahmin edilmesine yönelik olarak, yeni kavramların ve yüksek performanslı hesaplamaların uygulanmasının hızlandırılması,
- **Aygıt ve sistem kavramları:** Nanoyapı özelliklerinin yenilikçi uygulamasını, yeni teknolojilerde de yararlanılabilecek yollardan geliştirmek (Luther, W. 2004).

### **ABD'deki Öngörü Faaliyetleri**

Nanoteknolojiyle ilgili öngörü aktiviteleri ABD'de oldukça erken ortaya çıkmıştır. Bir dönüm noktası, toplumu beklenen gelişmiş teknolojilere hazırlamak üzere Eric Drexler tarafından kurulmuş olan "Foresight Enstitüsü"dür. 1989 yılından beri Foresight Enstitüsü, moleküler nanoteknoloji üzerine ondan fazla konferans organize etmiş, birçok öngörü makalesi ve haber bülteni yayımlamış ve İnternet'teki bazı sanal tartışma forumlarının da devam etmesini sağlamıştır.

Nanoteknolojiyle ilgili, hükümet bazındaki ilk öngörü aktiviteleri 1996 yılında, birkaç ajansın personel üyelerinin, nanoölçekli bilim ve teknoloji alanlarıyla ilgili olarak planlarını ve programlarını tartışmak üzere düzenli olarak buluşmaya karar vermeleriyle başlamıştır. Bu grup, "Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi" (NSTC) çatısı altında "Nanobilim Çalışma Grubu" (IWGN) olarak tekrar düzenlendiği Eylül 1998'e kadar gayri resmi olarak devam etmiştir. IWGN, nano-ölçekte bilim ve teknolojinin durumunu belirlemek

ve olası gelecek gelişmeler hakkında tahmin yürütmek amacıyla birçok semineri ve çalışmayı desteklemiştir. Grup tarafından 1999 yılında iki ilgili yayın üretilmiştir (Luther, W. 2004):

- Nanoyapı Bilim ve Teknolojisi: Dünya Çapında Araştırma (IWGN August 1999)
- Nanoteknoloji Araştırma Talimatları (IWGN September 1999)

Ağustos 1999'da IGWN, nanoölçekte bilim ve teknoloji girişimine yönelik bir planın ilk taslağını bitirmiştir. Bu plan 2000 yılında tamamlanmıştır. NNI'nın çatısı altında da birkaç öngörü raporu hazırlanmıştır. Bunlardan en yeni olanlarından biri de "İnsan Performansını Geliştirmeye Yönelik Birbirlerine Yakınlaşan Teknolojiler. Nanoteknoloji, Biyoteknoloji, Bilişim Teknolojisi ve Bilişsel Bilim" adlı çalışmadır. Burada nanoteknoloji, gelecekte toplum üzerinde muazzam bir etkisi olması beklenen dört ilgili teknolojiden biri olarak kabul edilmiştir. Bu etkinin, örneğin aşağıdaki alanlarda olması beklenmektedir:

- İnsan bilişimi ve iletişiminin genişletilmesi
- İnsan sağlığı ve fiziksel kapasitelerinin geliştirilmesi
- Gruplarla ilgili ve Sosyal Sonuçların Geliştirilmesi
- Ulusal Güvenlik

Özellikle Kuzey Amerika'daki sivil toplum kuruluşlarının da öngörü faaliyetleri dikkate değerdir (Glenn, ve diğerleri, 2003, Hanson, 2003 ve Luther, 2004). Örnek verecek olursak, "Milenyum Projesi", global uzun-dönemli meseleler, fırsatlar ve stratejiler hakkında erken uyarılar ve analizler için uluslararası bir ehliyet sağlamaktadır. Bu proje, "The Gelecekes Group International" ve "Birleşmiş Milletler Üniversitesi" (UNU) tarafından başlatılmıştır. 1996 yılından beri birkaç uluslararası Delphi araştırması gerçekleştirilmiş ve bunlara elliden fazla ülkeden yaklaşık olarak 1.500 fütürist, bilim insanı, karar alıcı ve işletme planlayıcısı katılmıştır. Birleşmiş Milletler Üniversitesi Amerika Kurulu tarafından hazırlanan ve en yenilerinden biri olan "Gelecekte Durum Raporu"nda, nanoteknolojinin mühim rol oynadığı, gelecek bilim ve teknolojisinin yönetimi ve politikalarındaki gelişmelerle ilgili olarak, 2025 yılı için aşağıdaki dört senaryo formüle edilmiştir:

### • **Senaryo 1: Bilim ve Teknoloji (B&T) Kendine Ait bir Akıl Üretir**

Bilimsel keşifler ve gelişmiş teknolojik uygulamalarının sayılarında patlama yaşanmaktadır. Global bir bilim/sosyal geribildirim sistemi çalışmaktadır. Bilim, insanları daha zeki yapmıştır ve daha zeki insanlar da daha hızlı bilim üretmişlerdir. Daha iyi ve hızlı olan bilim ise keşiflere yeni kapılar açmıştır ve bu yeni kapılar da, sorun çözen ve insanları daha zeki kılan yeni bilimler için yeni fırsatlar yaratan sinerjilere yol açmıştır. B&T o kadar hızlı ilerlemiştir ki, devlet ve uluslararası düzenlemeler kenara atılmıştır. Görülen şekliyle “Bilim ve teknoloji, kendi aklını üstlenmektedir.”

### • **Senaryo 2: Dünya Uyanıyor**

2021 yılında, kendisini “Tanrının Temsilcisi” ilan etmiş ve genetik olarak modifiye edilmiş “Kongo virüsünü” yaratmış biri tarafından 25 milyon insanın öldürülmesi sonucunda dünya nihayet uyanır ve insanlar, kişisel faaliyetlerin dahi kitle imha silahlarının üretilmesine ve kullanılmasına neden olabileceğini fark eder. Bu fenomen SIMAD-Tek Birey Kitlese İmhacı olarak bilinir hale gelir. Denetleyici ajanslar ve mekanizmalar, belirgin hale gelen bilim ve teknoloji tehlikelerini kontrol etmek üzere göreve atanır. Eğitim, sorunun cevabının en büyük kısmını oluşturmaktadır, ancak eğitim sisteminin güvenlik sistemiyle bağlanması bazı insanları rahatsız etmektedir. Yine de, daha fazla kişisel kitle imha faaliyetleri önlenmiştir. Uluslararası ve devlete ait düzenlemeler, B&T girişimlerini kamu yararına hizmet edecek şekilde düzenler.

### \* **Senaryo 3: Lütfen Musluğu Kapatın**

Bilim, şişirilmiş ve abartılı, gereksiz tüketimi destekleyici olarak saldırıya uğramıştır ve bu da yanlış umutlar ve daha da kötüsü hepimizi mahvedecek olan beklenmedik sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle endişe verici olan, kazayla ya da bilerek dışarıya salınmış ve genetik modifikasyona uğratılmış olan organizmalar ve kitle imha silahları potansiyelidir. Fakirler ihmal edilmiştir. Toplumun canlandırmak üzere bir bilim gurusu ortaya çıkar. Global bir komisyon kurulur ancak bozulma nedeniyle başarısız olur. Ancak yapısında koruyucular barındıran bir komisyon işliyor gibi görünmektedir.

#### • **Senaryo 4: Ters Tepki**

Kontrol derecesi düşüktür ve bilim hızla ilerlemiştir. Ancak olumsuz sonuçlar toplumun alarma geçmesine neden olur. Bilimin altın çağı medya tarafından yanıltmaca olarak kullanılmıştır, fakat her şeyin bir kuruntu olduğu ortaya çıkmıştır. En fazla değer görmüş olan bazı keşiflerin olumsuz etkileri olmuştur ve sürprizler çok fazladır. Bazı toplumların bu durumdan faydalandığı gözlenmiştir. Kalabalıklar itiraz etmiştir. Düzenlemeler başarısız olmuştur. İlerlemenin hızı kesilmiştir. Tüzel ve devlet kuruluşlarına kendilerini devam ettirme ve düzenleme konusunda güven kalmamıştır (Luther, W. 2004).

## 5.2. Japonya

Günümüzde Japonya, kamu tarafından finanse edilen nanoteknolojik araştırmada dünya çapında lider bir konuma sahiptir. Hem uygulamaya yönelik hem de temel araştırma alanlarında, çok sayıda nanoteknoloji araştırma programı kurulmuştur. Japonya'daki en önemli iki nanoteknoloji araştırma kuruluşu "Atom Teknolojisi Ortak Araştırma Merkezi (JRCAT)" ve "Fizik ve Kimya Araştırma Enstitüsü (RIKEN)"dür. Bu arada, Japonya'daki nanoteknoloji faaliyetlerinin merkezi olan, "Ulusal İleri Endüstri Bilimi ve Teknolojisi Enstitüsü"ne (AIST) ait "Nanoteknoloji Araştırma Enstitüsü" (NRI) de kurulmuştur. Bunlardan başka, özellikle nanoelektronik alanında, toplu araştırma çabalarıyla uğraşan birçok endüstriyel ortaklık da bulunmaktadır. 2000 yılında Japonya nanoteknoloji/malzemeler alanını, doğa bilimleri (biyoteknoloji), enformasyon teknolojisi ve çevre/enerji alanlarıyla beraber, dört öncelikli araştırma alanından biri olarak kurmuştur. Tüm bunlar, Japon ekonomisini yeniden canlandırmak ve rekabetçi bir çizgide kalabilmek amacıyla gerçekleştirmiştir. Bundan beri, devletin nanoteknoloji alanına sağladığı kaynaklar kararlı bir şekilde artmıştır. Bugün, ülkede üç temel kamu araştırma kuruluşu bulunmaktadır.

- **"Eğitim, Kültür, Spor ve Teknoloji Bakanlığı" (MEXT):** "Ulusal Malzeme Bilimleri Enstitüsü" (NIMS), "Fizik ve Kimya Araştırma Enstitüsü" (RIKEN) ve "Japonya Atomik Enerji Araştırma Enstitüsü" (JAERI) de dâhil olmak üzere, üniversiteleri ve ulusal laboratuvarları desteklemektedir.
- **"Ekonomi, Ticaret ve Endüstriler Bakanlığı" (METI):** "Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Kuruluşu"nu (NEDO) ve "Ulusal İleri Endüstri Bilimi ve Teknolojisi Enstitüsü"nü (AIST) desteklemektedir.

- Diğer Bakanlıklar (üçüncü kamu araştırma grubu olarak bir araya gelmişlerdir): “Kamu Yönetimi, İçişleri, Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı” (MPHPT), “İletişim Araştırma Laboratuvarı”nı ve “Tarım, Orman ve Balıkçılık Bakanlığı”nı destekler (MAFF).

“Japon Bilimsel Destek Derneği” (JSPS), “Japon Bilim ve Teknoloji Derneği” (JST) ile beraber MEXT, nanoteknoloji kaynaklarının en büyük miktarını sağlamaktadır. Bunlardan sonra NEDO ile beraber METI, diğer en fazla kaynak sağlayan gruplardır; arkalarından da MPHP ve MAFF gelmektedir.

METI, Şubat 2003’te, bir nanoteknoloji ticarileştirme yürütme planını duyurmuştur. METI’nin, “Nanoteknoloji ve Malzemeler için Yeni Endüstri Gelişme Stratejisi” (NIDS), beş yeni nano-ilgili endüstri yaratmayı amaçlamaktadır:

- Ağ ve nanoaygıtlar
- Nanobiyoteknoloji
- Nano çevre
- Nano enerji
- Yenilikçi malzemelere dayalı nanometroloji ve imalat

Japonya açıkça, nanoteknoloji geliştirme alanında halen Asya’daki lider konumundadır. 2003’teki bütçe artışı Japonya’yı ABD Ulusal Nanoteknoloji Girişimi’nin çok ötesine “fırlatmıştır”. Şüphesiz bu konum, daha da ivmelenmiş bir nanoteknolojik gelişme hızına yol açacaktır (Luther, W. 2004).

### **Japonya’daki Öngörü Faaliyetleri**

1970 yılında, “Bilim ve Teknoloji Konseyi”, tekrar edilmiş anketlerden oluşan Delphi Yöntemini kullanarak, teknolojik projeksiyonlar yayımlamaya başlamıştır. 1970 yılından beri, bu teknoloji öngörülleri yürütülmüştür ve yaklaşık olarak her beş yılda bir de yayımlanmışlardır. “Yedinci Teknoloji Öngörü Raporu”nda nanoteknoloji, “malzemeler ve prosesler” grubu içinde, “hassas sentez, yapısal kontrol ve atomlarla moleküllerin manipülasyonu ile yeni fonksiyonelliklerin geliştirmesi” başlığı altında sınıflandırılmış ve başlıca önceliği olan bir konu olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, “Yedinci Japon Delphi”

çalışmalarındaki diğer öngörölmüş teknolojik akımlarının da nanoteknoloji alanıyla ilgili kurulabilir. Japon bakış açısına göre en fazla öneme sahip olduğu düşünölen yirmi konu, aşğıdaki sosyoekonomik alanlar için listelenmiştir:

- Malzemeler ve işleme
- Bilişim
- Elektronik
- Doğa bilimleri
- Tıp
- Tarım ve gıda
- Kaynaklar ve enerji
- İmalat
- Ulaşım
- Çevre

### **5.3. Avrupa**

Avrupa Birliği, “Beşinci Çerçeve Programı”nda, nanoteknolojik araştırma projeleri çeşitli programlar (IST, GROWTH, QOL vs.) tarafından, 2001 yılında yaklaşık olarak 50 milyon Avro ile desteklenmiştir. “Altıncı Çerçeve Programı”nda, nanoteknoloji desteği yıllık en az 150 milyon Avro'ya kadar yükselmiştir ve en fazla vurgu, 3 numaralı önceliğe (“çok-fonksiyonlu malzemeye, yeni üretim işlemlerine ve aygıtlarına dayalı olan nanoteknolojiler ve nanobilimler”) ve 1 ila 2 numaralı önceliklere (“sağlığa yönelik genom bilimi ve biyoteknoloji” ve “bilişim toplumu teknolojileri”) verilmiştir (BMBF 2002 ve Luther, W. 2004). Avrupa Birliği çapındaki nanoteknoloji finansmanının yanında, birçok Avrupa ölkesinde (örneğin Almanya, Fransa, İngiltere, Hollanda, İspanya, İsveç ve İsviçre), nanoteknoloji alanında özel araştırma programları kurulmuştur (Luther, W. 2004).

#### **Avrupa'daki Öngörü Faaliyetleri**

Avrupa'da, öngörü aktiviteleri ilk olarak ulusal düzeyde ortaya çıkmıştır; örneğin Almanya, Fransa, İngiltere ve Hollanda, 1990'ların başından beri bir takım “gelecek araş-



tırma” faaliyetlerini üstlenmişlerdir (Holtmannspötter, D.ve diğerler, (2002). ve Luther, 2004) Avrupa Birliği düzeyinde ise, bu esnada birkaç kuruluş da Öngörü Aktivitelerini desteklemektedir. “Avrupa Parlamentosu” ve “Avrupa Parlamenter Teknoloji Değerlendirme Ağı”, “Avrupa Komisyonu” (IPTS/JRC, DG Research), “Avrupa Yaşam ve Çalışma Koşullarının Geliştirilmesi Kurumu”, “Avrupa Bilim Kurumu” vs. bunlara örnektir. Nanoteknolojiyle ilgili olarak birkaç öngörü raporu yayımlanmıştır (Malsch, I. 1997, European Commission 2003 ve Luther, W. 2004). 2003 yılından beri, Avrupa’da bir nanoteknoloji ağı kurulmuştur. Bu ağ, öngörü alanında etkindir ve bu alanla ilgili olarak raporlar yayımlamaktadır (Nanoforum December 2003, Nanoforum August 2003 ve Luther, W. 2004).

## **Almanya**

Almanya’daki nanoteknoloji faaliyetleri, 1990’larda, belirli alanlardaki (taramalı prob teknolojileri, litografi ve x-ray teknolojisi), nanoteknolojik nesnelere odaklanmış olan bir dizi araştırma projesiyle başlamıştır (Market ve Delphi çalışmaları). 1998 yılında BMBF, altı nanoteknoloji yetki merkezini (CC) kurmuş ve ilk olarak ortak araştırma projeleriyle nanoteknoloji alanında çok-bölümlü desteklemeyle başlamıştır. Nanoyapılı malzemeler ve biyonanoteknolojiye özel bir ilgi gösterilmiştir. Federal Devlet, nanoteknolojilerin anahtar ve fırsatlar sağlayan teknolojiler olarak, elektronik, optik bilimler ve mühendislik imalatı, kimya, malzemeler, biyoteknoloji ve analitiği de içeren geniş çaptaki sektörler için önemini farkındadır. Böylece nanoteknolojiyi anahtar araştırma politikası önceliği haline getirmiştir. Nanoteknolojinin ticari ve iş alanı yaratan potansiyelinden yararlanılmasını, bunun yanında da fırsatlarla riskler konusunda da kapsamlı bir diyalogun sürmesini de desteklemektedir. Federal Devlet stratejisinin nanoteknolojiyle ilgili temel unsurları aşağıdakileri içermektedir (BMBF May 2002 ve Luther, W. 2004):

- Nanoteknolojinin bilimsel ve teknolojik temelini güçlendirmek ve nanoteknolojinin, malzeme bilimleri, bilişim teknolojisi ya da optik mühendislik gibi çeşitli alanlardaki kullanımıyla ilgili olarak stratejik araştırmayı desteklemek.
- En iyi kamu-araştırma olanaklarını, üniversiteleri ve ticari şirketleri de kapsayan ağlar kurmak ve Almanya’nın altı fiili yeterlilik grubunu devamlı olarak desteklemek.
- Nanoteknolojik uygulamaları, nanoteknolojilerin olası kullanım alanlarını ve yarar-

larını vurgulayan özel “yol gösterici” projelerle, nanoteknolojilerin olası uygulamalarını desteklemek.

- Var olan programlar vasıtasıyla (örneğin EXIST “spin-out” şirketi, BioChance biyoteknoloji başlatma programı), nanoteknoloji de dâhil olmak üzere ileri teknoloji alanlarında, yeni şirketlerin kurulmasını kolaylaştırmak ve desteklemek.
- KOBİ’lerin rolünü güçlendirmek. Şimdilik, 130 kadar KOBİ, Almanya’nın altı fiili yeterlilik nanoteknoloji grubuna dâhildir. Tedbirler, eğitim ve vasıflılık konularını, KOBİ’lerin nanoteknolojilere ve kendi olası kullanımına daha verimli erişimleri için yeni girişimleri ve KOBİ’lere yönelik mevcut kaynak sağlama yönergelerinin revizyonunu içerecektir.
- EUREKA, COST, OECD, iki taraflı işbirlikleri ve özellikle de AB’nin Çerçeve Programının çatısı altındaki uluslararası işbirliklerindeki fırsatlardan yararlanmak.
- Genç bilim insanlarını ve disiplinler arası çalışma ve araştırmaları desteklemek.
- Yeterlilik gerekliliklerini erken bir aşamada belirlemek ve nanoteknolojinin ticari potansiyelinden yararlanmak için gerekli olan becerilerin gelişmesini desteklemek.
- Nanoteknolojilerin, bunların yararlarının ve toplum için anlamıyla ilgili olarak geniş tartışmaların gerçekleştirilmesini sağlamak.
- Yasal bir çatının gereğini araştırmak.

### **Almanya’daki Öngörü Faaliyetleri**

Almanya’da, sonuncusu 1998’de olmak üzere, teknolojik öngörü konusunda üç Delphi raporu yayımlanmıştır. 2001’de, Delphi yönteminin eksik yönlerini telafi etmek amacıyla, yaklaşık olarak 400 kadar uzmanın, gelecekteki sosyal sorunlarla ilgili fikir ve sorularını topladıkları, bir konuşma oturumuyla başlayan “Gelecek Prosesi” kurulmuştur. “Gelecek”, geçmiş deneyime ve test edilmiş kavramlara dayanmaktadır ve aynı zamanda da yeni yöntemlerden yararlanmaktadır. Farklı metodik bileşenler birbirini desteklemektedir:

- **Aktörlerin sistematik olarak atanması:** Mevcut “Gelecek Katılımcılar Halkası” daha da fazla geliştirilecektir. Bu amaçla aktörlerden, Alman araştırma diyaloguna

katılmak üzere atanacak diğer uzmanları önermeleri istenmiştir. Bu atama döngüsü takip edilerek, başlı başına konular için uzmanlar ya da odak grupları özel olarak araştırılacaktır.

- **Odak grupları:** Gelecek prosesinde, küçük gruplar konuları geliştirmektedir. Katılımcı sayısı otuzdan fazla olmayan disiplinler-arası odak grupları, anahtar soruları ve konularıyla ilgili somut araştırma ihtiyacını analiz eder. Ayrıca, ilgili alanın gelecekte daha fazla gelişmesi için, kendi alanlarının sunabileceği olası katkıları da belirlerler.
- **Çalışma alanı:** “Gerçek” toplantılar arasında, araştırma diyalogu, İnternet’teki sanal “Gelecek Platformu”nda devam edebilir. Belirli kullanıcı gruplarının, çalışma alanındaki rezervasyonu yapılmış olan odalara erişimi vardır. Bunlar buralarda dokümanlarını bırakabilirler ve tartışmalara ya da İnternet çalıştayları gibi çevrimiçi-aktifliklere katılabilirler.
- **Gelecek Diyalogları:** “Gelecek”, sosyal diyalog süreci olarak tasarlanmıştır. “Gelecek”; gelecek için daha fazla düşünmeyi teşvik etmek amacıyla, gelecekle ilgi diyaloglar kullanarak ve farklı sosyal gruplar arasındaki tartışmalardan yararlanarak, toplumu da dâhil etmek istemektedir. Gelecek diyalogu konuları Gelecek tarafından belirlenmektedir. Aynı zamanda, konuşmaların neticeleri de Alman araştırma diyaloguna veri girdisi olarak hizmet etmektedirler: bir yandan “Federal Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığı”nın (BMBF) politikalarının şekillendirilmesinde katkı sağlamaktadırlar ve diğer yandan da yol gösterici vizyonlar için önemli uyarıcılar görevi görmektedirler.
- **Yaratıcı Çalıştaylar:** “Gelecek”; “gelecek için düşünmeyi” canlandırılması ve yeni vizyonların geliştirilmesi amacıyla, çeşitli çalıştay üzerinde çalışmaktadır. Bunlar, örneğin gelecek diyalogu çatısı altındaki konuların oluşturulmasında kullanılan çalıştaylardır. Burada “Gelecek” katılımcıları, istenilen gelecekle ilgili görüntüler geliştirirler ve bu vizyonları gerçekleştirmek için olasılıklar bulmaya çalışırlar.
- **Senaryolar:** “Gelecek”, geleceği canlı bir şekilde resmetmek amacıyla, gelecek araştırmaları için geliştirilmiş olan senaryo tekniklerinden ve teknolojik gelişmelerin sonuçlarının değerlendirilmesinden yararlanır. Bu teknik; senaryo çalıştayları ve senaryo yazmadan yararlanır. Çalıştayda, odak grubu katılımcıları ve Gelecek konsorsiyumu, gelecekteki günlük hayata ait eskizler geliştirirler. Bu eskizlerin, olası ve aynı zamanda da istenilen bir geleceği göstermeleri beklenmektedir. Senaryo yaz-

ma da bu eskizlerin, uzman olmayanlar tarafından bile anlaşılabilir olan, canlı bir tasvirini ortaya çıkarmaya çalışır.

- **Anketler:** Gelecek prosesinin katılımcıları arasında yapılan sayısız anket, etraflı bir geribildirim sağlamaktadır. Böylece, ilk dört ana vizyonun kabul edilmesinden önce, çok-adımlı bir karar verme süreci gelişmiştir. Aktörler en çok sevdikleri çalışma alanını belirlemişlerdir. Aynı zamanda, BMBF'nin Yenilik Konseyi, odak konularının listesi üzerinde tartışma yürütmüştür. Bunlara ek olarak, BMBF'nin departmanları ve proje yürütme ajansları da, Gelecek odaklarını değerlendirmişlerdir. Bakanlık ancak, tüm farklı değerlendirmeleri gözden geçirdikten sonra nihai kararı vermiştir. Anketler ayrıca bundan sonraki süreçte de merkezi bir rol oynayacaklardır. Örneğin, güz dönemi için, online bir oylama sistemi planlanmıştır. Gelecek konferanslarından sonra da, Gelecek katılımcıları farklı konu öncelikleri konusunda oylama yapabilmişlerdir.
- **İnsan ve konular için sistematik araştırma:** “Gelecek”, gelecek akımları acilen tanıyabilmek, “Gelecek” konu havuzunu sürekli genişletmek ve “Aktörler Grubu” için yeni uzmanları belirlemek için sistematik bir araştırma biçimi üstlenmiştir. Bu amaçla, Almanya'daki ve dışarıdaki aktiviteler gözlemlenir, araştırma ve destek programları yakından takip edilir ve çeşitli sosyal grubun konumu incelenip değerlendirilir (Luther, W. 2004).

İlk yön gösterici vizyonların konuları aşağıdaki gibidir:

- ***Zorlu Prosesleri Anlamak***

İnsan beyninin nasıl çalıştığını anlamak ve bu bilgiyi bilişim teknolojisi, tıp ve öğrenme araştırmaları için kullanmak.

- ***Yarının Öğrenme Dünyasına Açık Erişim Yaratmak***

Yarının öğrenme dünyasında, hayat boyunca daha fazla eğitim olanağı herkese açıktır.

- ***Korunma Yoluyla Hayat Boyu, Sağlıklı ve Kaliteli Yaşam***

Çok amaçlı öneyici sağlık bakımı yoluyla, tüm sosyal grupların, hayat kalitelerini hayatları boyu garantilemek.

- ***Şebekelenmiş bir Dünyada Yaşamak: Bireysel ve Güvenli***

İnsanlar şebekelenmiş bir dünyada, diledikleri gibi, güvenli bir şekilde ve hür iradeleriyle yaşayabilmelidirler.

Bu yol gösterici vizyonlar şu anda BMBF araştırma desteği programlarında uygulanmaktadır. Bu ayrıca, nanoteknoloji alanındaki finansman programlarını da ilgilendirmektedir. Nanoteknolojinin, yukarıda sözü edilen yol gösterici vizyonların içinde, anahtar teknoloji olarak büyük bir etkisi olacaktır. Bu etki özellikle aşağıdaki alanlarda gerçekleşecektir:

- İleri iletişim ve bilişim için nanoelektronikler
- İleri sağlık bakımı için nanobiyoteknoloji
- İnsan performansını geliştirmek için birbirilerine yakınlaşan teknolojiler
- Gelişmiş insan-makine etkileşimi.

Çerçeve programında, nanoteknoloji için Mart 2004'te ileri sürülmüş olan bazı yol gösterici yenilikler, Gelecek yol gösterici vizyonlarına doğrudan bağlanabilir. Örneğin, 2005 yılı için hazırlanmış olan yol gösterici yenilik "NanoforLife", sağlık bakım sistemlerini, özellikle nanomalzemeler ve nanobiyoteknoloji alanlarında nanoteknolojik gelişmeleri uygulayarak geliştirmeyi amaçlar (Luther, W. 2004).

## **Fransa**

Fransa'da, nanoteknoloji anlayışı, nanoteknolojinin doğrudan bir önceliği olarak kabul edilen, mikro dünya ile ve/veya mikro sistem mühendisliği ile kurulmuş olan sağlam bir bağa dayanmaktadır. Fransa'nın nanobilim ve nanoteknoloji için güçlü bir taahhüdü bulunmaktadır, ancak Alman modeliyle karşılaştırılabilir yapılmış bir araştırma programı yoktur. Ancak yine de nanoteknoloji alanına, temel olarak Araştırma Bakanlığı tarafından, "Mikro ve Nanoteknolojiler Ulusal Araştırma Ağı" yoluyla, bir miktar mali destek ayrılmıştır. Ulusal Araştırma Ağları, 1999 yılında, Fransa'daki kamu araştırmalarının geliştirilmiş organizasyonunu desteklemek amacıyla, endüstriyel ihtiyaçlara göre oluşturularak, farklı finansman kaynakları arasındaki etkileşimi iyileştirmek için ve aşağıdan yukarıya bir yaklaşımla kurulmuştur. Sözkonusu finansman kaynakları temel olarak Araştırma, Endüstri, Çevre, Sağlık Bakanlıkları ve Enerji için ADEME, yenilikler

için ANVAR gibi bazı organlardır. Finansmanın toplam miktarı yıllık olarak, hükümet tarafından ve her bir tematik çalışma için tek tek belirlenmektedir ve bundan sonra da her seçilmiş olan proje için farklı bakanlıklar ve organlar tarafından paylaşılmaktadır. Bir proje, 50/50 finansmanı temeline göre, kamu araştırma kuruluşlarıyla özel şirketlerin ortak işbirliğidir. Seçim süreci her bir ağ için, endüstriyel gerekliliklere, olası uygulamalara ve Fransa rekabetçiliği üzerindeki olası etkilerine göre öncelik tanıyan bir yönetim kurulu tarafından gerçekleştirir.

Bazı başka girişimler de desteklenmektedir: CNRS; CNRS araştırma laboratuvarlarıyla işbirliğine açık iç programlar kurmuştur: “Tek tek nano-nesnelere” ve “Nanoyapılı malzemeler”. Grenoble’da CEA/LETI, mikro ve nanoteknolojilerin geliştirilmesine tahsis edilmiş olan büyük bir merkezin yaratılmasını desteklemiştir. Bu proje MINATEC olarak adlandırılmıştır ve 50 M’luk kısmı LETI temiz odalarının civarında yapılacak olan binalar için ayrılmış olan, 120 M’luk bir başlangıç yatırımını temsil etmektedir. 2004 yılı için bu merkezin planı, eğitim ve araştırma ustalıklarına olduğu gibi, aynı bölgedeki ağ kurma aktivitelerine odaklanmıştır. LETI, hâlihazırda ileri mikroelektronikler (0,1 µm altı) için gelişmiş bir platform olan “PLATO”yu ve ST Mikroelektronikleri şirketiyle ortaklaşarak da nanoelektronik alanda birçok proje kurmuştur. Sonuç olarak Grenoble, gelecekte Fransa’daki ve hatta optoelektronik, elektronik ve manyetik uygulamaları için nanoteknoloji alanlarında Avrupa’daki en önemli araştırma merkezi olmalıdır (Luther, W. 2004).

### **Fransa’daki Öngörü Faaliyetleri**

Fransa’da programlar ve planlama göreceli olarak büyük oranda hükümet, örneğin “Endüstri Bakanlığı” ve “Yüksek Eğitim ve Araştırma Bakanlığı” tarafından gerçekleştirilmektedir. Araştırma da yine endüstri tarafından yapılmaktadır. Kamu öngörü faaliyetleri, 1990larda tekrar canlanmaya başlamıştır:

- “Beşinci Japonya Delphi” anketinin tekrarı olan, bilim ve teknoloji üzerine ilk Fransız Delfi anketi 1993 yılında MESR sorumluluğu altında yürütülmüş ancak bu çalışma geniş çapta dolaşıma sokulmamıştır.
- Endüstri Bakanlığı bir diğer öngörü geliştirmiştir: ulusal bağlamda, spesifik pozisyon beyanları olarak görülebilecek ve nispeten kısa-dönemli perspektifleri olan çalışmalar.

- 1993-1994'te, Fransa endüstrisi için kritik 100 anahtar teknolojinin araştırılmasına başlanmış ve rapor 1995 yılında yayımlanmıştır. Bundan beş yıl sonra, 1998-1999'da ikinci bir çalışma ile rapor bazı önemli açılardan güncelleştirilmiştir. Bu rapor da Ekim 2000 yılında yayımlanmıştır.

Ufuktaki zaman süresi, desteklenmesine değer olan teknolojileri 2005 yılına kadar geliştirmek için en fazla 10–15 yıl olarak belirlendi. Çalışmanın amacı, pazar tarafından belirlenen bilim ve teknoloji ihtiyaçlarının özerk dinamiklerine yetişmekti.

Tematik alt-gruplar aşağıdaki gibi listelenmişti:

- Doğa bilimleri, sağlık, gıda
- Bilişim ve iletişim teknolojisi
- Enerji-çevre
- Malzemeler-kimyasallar
- İnşaat-iskân-inşaat
- Ulaşım-havacılık
- Tüketim maddeleri ve hizmetleri
- Tasarıma yönelik teknolojiler ve metotlar, imalat ve yönetim

Tematik alt gruplardan belirlenmiş bazı anahtar teknolojiler, nanoteknoloji alanıyla en azından kısmi olarak çakışacak şekilde tayin edilmiştir (Luther, W. 2004).

## **İngiltere**

1986 yılında, Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (NION), Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (DTI) tarafından başlatıldı. Buna göre bu adım, nanoteknolojiye doğru Avrupa'daki ilk olmasa bile ilklerden biri olan bir girişimdi. NION'un amacı, nanoteknoloji konusunda erken bir bilinç oluşturmaktı. Bir Nanoteknoloji Strateji Komitesi (NSC), hükümeti nanoteknolojinin tüm yönleriyle ilgili olarak tavsiyelerde bulunmak amacıyla kuruldu. NION'un başarıları arasında, üç teknoloji transferi merkezinin kurulması bulunmaktaydı. NION, 1988'den 1994 yılına kadar işlemeye devam eden LINK Nanoteknoloji



Programı'nın (LNP) oluşmasına önyak olan bir doğrudan finansman akımının kurulmasını önerdi. Bu programda ilk proje 1989 yılında başladı ve 1991 yılında bitirildi. Finansmanın son halkası 1994–1995 yılları içindi, ancak proje 1999 yılına kadar devam etti. Bu arada farklı finansman programları da bulunmaktadır; örneğin Nanoteknoloji ve Üniversite Yenilik Merkezlerinde (UIC) Disiplinler-Arası Araştırma Ortakları (IRC) bağlamında.

### **İngiltere'deki Öngörü Faaliyetleri**

1990 yılında, bir vizyon dokümanı hazırlanmış ve İngiltere'nin ilgisini yönlendirmesi gerektiği ve İngiltere'nin başarılı olması için yeterli uzmanlığın mevcut olduğu, nanoteknoloji kapsamındaki belirli alanlarının altı çizilmiştir. Finansman projeleriyle ilgili olarak, LNP'nın oldukça başarılı olduğu kabul edilebilir. Bu suretle, İngiltere'nin daha rekabetçi bir konuma erişmesi için ticari yararları olagelen mevcut finansman düzenlerine uygunluk korunmuş oldu. LNP esnasında, hala güçlü bir şekilde devamlılıklarını sürdürmekte olan 14 üstün başarı merkezi kurulmuştur. “İngiltere Teknoloji Öngörü Programı” (1995–1998), araştırma önceliklerini belirlemek üzere kurulmuştur. Nanoteknoloji hiçbir biçimde açıkça telaffuz edilmemiştir. Tüm öngörü panelleri daha sonra bu nedenle eleştirilmiştir. Araştırma öncelikleri listesinde nanoteknolojinin yokluğu, LNP sona erdikten sonra düzenli bir ulusal nanoteknoloji programının kaybedilmesine neden olmuştur.

İngiltere'nin ikinci öngörü inisiyatifinde (1998–2001), nanoteknolojiyi bir fırsatlar teknolojisi olarak yalnızca malzemeler paneli tanımlamıştır. Daha geniş çapta bir ilgi ancak, büyük ABD nanoteknoloji inisiyatifinin duyurulmasından sonra yeniden ortaya çıkmıştır. Birkaç araştırma konseyinin, ilgi alanlarına yönelik olarak nanoteknolojiye olan ilgilerini ifade etmeleri de nispeten yeni sayılır. Bunlar, nanoteknoloji alanında disiplinler-arası araştırma ortaklığı için bir çağrıda bulunmuşlardır (Luther, W. 2004).

### **Finlandiya**

“Finlandiya Nanoteknoloji Programı” 1997 yılının başlarında, iki kaynak sağlayıcı kuruluşla, TEKES ve “Finlandiya Akademi”siyle yapılan işbirliğiyle başlamıştır. Bunda etkili bazı itici güçler, bu konuyla ilgili temel ve araştırma alanları arasındaki boşluğu doldurma istek ve kararlılığı yanında bu çok-disiplinli bilim alanındaki gelecekteki bir zamanda olası muazzam ekonomik etkileridir.



Daha en başından beri, nanoteknolojinin ne olduğuyla ilgili tanım geniş tutulmuştur. Aslında, daha da önemli olan, araştırma kavramlarının yeni, taze ve büyük olasılıkla gelecek endüstriler için yararlı olacağı inancıdır. Bu bakış açısına göre, yalnızca tek boyutta nano-ölçekle ilgili olan projeler (MBE ve CVD prosesleri gibi) bile kabul edilmekteydi ve bu boyut 1'den 1000 nanometreye kadar herhangi bir şey olabilirdi. Diğer seçme kriterleri de şöyleydi:

- Yüksek bilimsel/teknolojik düzey
- Tanımlanabilir endüstriyel potansiyeli vizyonu
- Uluslar arası ve ulusal ortaklık
- Somut sonuçlar

Neticede, program kapsamında 14 proje seçildi ve çoğu diğer TEKES programının aksine, bu projeler için endüstriyel finansman zorunlu değildi. Diğer işletme prensipleri; bürokrasi ve genel gider maliyetlerini, iç işbirliğini desteklemek amacıyla en düşük seviyede tutmaktı. Başlangıçta çok az sayıdaki projenin, program esnasında ya da hemen programdan sonra somut ticari neticeler üretebileceği çok açıktı. Ancak, bazı şirketler dikkate değer bir ilgi gösterdi ve tüm program boyunca tavsiyelerde bulundular.

Her ne kadar program çok küçük olduysa da –10 milyon Avro kadar–, şimdiye kadar elde edilmiş olan sonuçlar oldukça yüksek bir kalitededir ve bilimsel olarak büyük değere sahiptirler. Bu neticelerden bazıları ticarileştirilmiştir, ancak diğer ülkelerde de olduğu gibi, bu sektördeki ağırlık merkezini pek yakın bir zamana yerleştirmek olası görünmemektedir. Nanoteknoloji gibi henüz gelişmemiş bir teknoloji için kamu desteğinin önemi açıkça vurgulanmıştır. Çoğu şirket için, getirisi zaman çizelgelerinin tahmin edemeyeceği bir alana yatırım yapmanın talihsiz sonuçlar doğurabileceği ortadadır.

TEKES Nanoteknoloji programı 1997'den 1999 yılına kadar, üç yıl boyunca devam ettirildi. Devamlılık için, diğer mevcut disiplinlerle yakın ilişki kurmanın yolları araştırılmaya başlandı, zira nano-yaklaşımın biyoteknoloji ya da bilişim teknolojisi gibi diğer ilgili bir alanla bağlı olması durumunda endüstrinin daha fazla ilgili olduğu anlaşıldı. Şu anda endüstriyel uygulamaların, programın başlamasından önceki zamanlara göre çok daha yakın oldukları söylenebilir. Dilin kullanımında sağlam farklılıkların olduğunu ve iletişim kopukluklarının üstesinden gelinmesi gerektiğini gösteren, yıllık disiplinler-ara-

sı seminerler gerçekleştirildi. Program, disiplinler arasında zayıf bağlarla başlamış olmasına rağmen, program esnasında elde edilen deneyimler, bunun muazzam bir öğrenme süreci olduğunu gösterdi ve nanoelektronik gibi genel ilgi konuları ortaya çıktı.

Şu anda nano-aktiviteler temel olarak, “Elektronikleri Minyatürleştirme - ELMO” (2002–2005) ve “Temiz Yüzeyler” (2002–2006) gibi başka programların çatısı altında gerçekleştirilmektedir. Tekes ayrıca, yüzey kimyası ve fiziğinin endüstriyel kullanımıyla ilgili olan PINTA programını da finanse etmektedir. Toplam bütçe 25 milyon Avro'dur (Nanoforum June 2003 ve Luther, W. 2004).

### **Finlandiya'daki Öngörü Faaliyetleri**

Finlandiya'daki ana kaynak sağlayıcı organ TEKES, Fin endüstrilerinin uzun ve kısa dönemde rekabetçiliğini garantilemek amacıyla, global teknoloji akımlarını aktif olarak gözlemektedir. Bu nedenle de teknoloji tahminleri, bu zorluğun üstesinden gelmek için gerekli olan hayati gereçlerden biridir.

### **Avrupa'daki Diğer Örnekler**

Birçok diğer ülkenin kendi ulusal teknoloji stratejisi ve finansman programı bulunmaktadır. Örneğin İsviçre'nin güçlü nanoteknoloji aktiviteleri vardır. Bunlardan biri olan nanoteknoloji araştırma inisiyatifi “TOP nano 21”in (2000–2003) amacı, pazara salınmak üzere hazır olan ürünlere teknolojik buluşların verimli olarak aktarılması ve üniversitelerle endüstri ortakları arasındaki ortak projelerin desteklenmesidir.

Rusya ve Ukrayna, özellikle gelişmiş malzemelerin sentezlenmesi ve işlenmesi üzerindeki araştırma aktivitelerine devam etmektedir ve Doğu Avrupa'da yeni programlar duyurulmaktadır (Luther, W. 2004).

## **5.4. Diğer Ülkeler**

### **Güney Kore**

Kore, nanoteknoloji alanında dünyanın ilk on ülkesinden biri olmaya kendini adanmıştır. Bu tutkulu amaç, “Bilim ve Teknoloji Bakanlığı”nın himayesi altında olan,

“2001–2010 Ulusal Nanoteknoloji Programı” tarafından desteklenmektedir. Tasarlanan projenin ödeneği 1,1 milyar \$ olup 10 yıl boyunca MOST, Ulusal Hükümetin birkaç bazı organı ve özel endüstri tarafından tahsis edilecektir. Kore'nin nanoteknoloji altyapısı büyük ölçüde iyileştirilecektir. Daejon'da bulunan “Kore İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü”ndeki “Ulusal Nano-İmalat Merkezi”ne ek olarak, ayrıca birden fazla özel-amaçlı “Nano-İmalat Merkezi” de kurulacaktır. Ayrıca, nano-aygıtlar, nano-işleme ya da nanomalzemelere odaklanmış olan nanoteknolojinin ticarileştirilmesini destekleyen merkezler de kurulacaktır. Kore'deki nanoteknoloji finansmanının devlete ait kısmında işlerin yolunda olduğu görülmektedir. Samsung ve LG Elektronik de önemli nanoteknoloji programları duyurmuşlardır ve birkaç ufak şirket de nanoteknolojiye yoğunlaşmaktadır.

### **Güney Kore'deki Öngörü Faaliyetleri**

Kore'de, 1993 ve 1998 yıllarında iki teknoloji öngörü çalışması kurulmuştur. 2001'de Ulusal Teknoloji Yol-Haritası, ulusal bir strateji ihtiyacıyla ve 2012 yılına doğru artan ekonomik büyümeye uyum sağlamak ve anahtar teknolojileri belirlemek için yukarıdan-aşağıya bir yaklaşım izlemek amacıyla oluşturulmuştur. Bu süreçte, 5 temel vizyon önerilmiştir ve en fazla öneme sahip olan teknoloji olarak nanoteknolojiyi de içeren 99 destekleyici anahtar teknoloji tanımlanmıştır (Luther, W. 2004).

### **Çin**

Çin'in 5 yıllık NNI programı 2001 yılında başlatılmıştır. Kaynakların, kaba olarak yarı yarıya destek sağlaması beklenen “Bilim ve Teknoloji Bakanlığı”ndan, ayrıca da “Devlet Gelişme ve Planlama Komisyonu”ndan, “Eğitim Bakanlığı”ndan, “Çin Mühendislik Akademisi”nden ve “Çin Ulusal Bilim Kurumu”ndan gelmesi planlanmıştır. Gerçek harcamalarla ilgili verilere ulaşmak halen zordur, ancak aşağıda da açıklanmış olan bu harcamanın sonuçları açıktır (ATIP 2003 ve Luther, W. 2004):

- 1991'den 2001 yılına kadar olan on yıllık süre içinde Çin, ABD, Japonya'dan sonra ve Almanya'dan önce, nanoteknoloji konusundaki yayımlar sayısında üçüncü sıraya yerleşti.
- 1985'le 2001 yılları arasında Çin'de verilmiş olan 956 nanoteknoloji patenti vardı. Çin'de nanomalzemeler alanındaki patentlerin sayısı dünya toplamının %9'u ka-

dardır. Bunların yanında nanobiyoloji ve nanoelektronik alanlarındaki patentler, sırasıyla, dünya toplamının yalnızca %3 ve %1'i kadardır.

Çin'in NNI programı tarafından yaratılmış olan en büyük ve tek teşebbüs, Zhongguancun-Beijing'deki "Ulusal Nano Bilim Merkezi"dir. Devlet desteği 250 milyon Yen olacaktır (yaklaşık olarak 30 milyon \$). Merkez; CAS, Pekin Üniversitesi ve Tsinghua Üniversitesi tarafından desteklenecektir ve ulusun nanoteknoloji çabaları için teknolojik bir platform sağlayacaktır. Çin halen yabancı sermaye yatırımları için çekici bir pazar olmaya devam etmektedir ve gelecekte de muhtemelen nanoteknoloji ürünlerinin, özellikle de malzemelerin başlıca sağlayıcısı haline gelecektir (Luther, W. 2004).

## **İsrail**

Doksanlı yılların sonlarına doğru nanobilim ve nanoteknoloji (NBT), yeni gelişmekte olan alanlardan biri olarak İsraili bilim topluluğunun da dikkatini çekmişti. Bilim Bakanlığı tarafından, stratejik bir araştırma programı başlatılmıştır. Bu programda NBT konuları, ulusal öncelik alanlarına ve bazı endüstriyel ARGE çabaları göz önünde bulundurularak seçilmiştir:

- "Gelişmiş Malzemeler ve Kimyasal Teknolojiler için ARGE Ulusal Komisyonu", nanomalzemeleri ve nano-kimyayı, stratejik araştırma için ulusal öncelik taşıyan ilk beş konudan biri olarak tayin etmiştir. Ana hedefler: nanokristallerin, kendiliğinden düzenlenen molekül-üstü sistemlerin imalatı, özelliklerin nanoölçekte kontrolü vs. için ileri yöntemler geliştirmektir.
- "Mikroelektronik ve Elektro-optik Teknolojiler Ulusal Komitesi", nanoteknolojiyi ulusal önceliğe sahip konulardan biri olarak seçmiştir. Ana araştırma alanları, "elektronik/opto-elektronik nanoaygıtlar", "NEM'ler" (nanoelektronik malzemeler), "atalet sistemleri", "mikrolensler", "kuantum noktalarının mikroaygıtlar, nanotüpler, nanoyapılar vs. ile entegrasyonudur" (Luther, W. 2004).

## **İsrail'deki Öngörü Faaliyetleri**

İsrail'de nanoteknolojiyle ilgili öngörü faaliyetleri, İsrail hükümeti tarafından, nanoteknoloji alanını, bu alanın gelişme akımlarını ve olası uygulamalarını değerlendirmek amacıyla tayin edilen yoğun bir çalışmayla başlamıştır. Bu çalışma ICTAF tarafından

gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, son durumu, gelişme akımlarını, İsrail'deki faaliyetlerin haritalandırılması ve olası uygulamaları ortaya koymaktır. Bu çalışma, aşağıdaki meselelere odaklanmıştır:

1. Nanoyapılar ve kuantum aygıtları, nanoelektronik
2. Nanokimya, nanomalzemeler
3. Nanorobotik ve moleküler robotik
4. Gelecek uygulama alanları ve beklenen ürünler

Bu çalışma boyunca nanoteknoloji, çoğu aktivitenin nanobilime odaklandığı ve gelecek uygulamaları için büyük bir potansiyel taşıyan yeni doğan önemli bir teknoloji olarak tanımlanmıştır. 1999 yılında, nanoteknoloji üzerine ikinci bir ICTAF çalışması, Delphi-tipi anketten yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunda da birkaç önemli gerçekleştirme adımı takip edilmiştir. Finansman söz konusu olduğunda, İsrail'deki durum oldukça özeldir; Bilim Bakanlığı nispeten küçüktür ve araştırma finansmanının mevcut kısımları, üniversitelerin girişimleri sonucunda yurtdışından sağlanmaktadır (Luther, W. 2004).

### **Gelişmekte Olan Ülkelerde Nanoteknoloji**

Çoğu gelişmekte olan ülkede nanoteknolojideki gelişme oldukça kısıtlı olmasına rağmen, nano ürünleri ve prosesleri programlarına ithal için gittikçe daha fazla fırsat olacaktır. Elbette, nanoteknolojinin, gelişmekte olan ülkelerin durumunu, bunların ihracatlarına, özellikle de ham maddelerine olan talebi düşürerek daha da kötüleştirebileceği iddia edilebilir. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde bile sadece sınırlı sayıda nanoteknoloji projesi özel olarak fakirlerin ihtiyaçlarını hedef alır ve bu da, dijital bölünmeye bezir bir şekilde, “nano bölünme” korkusuna yol açar. “Birleşmiş Milletler Uluslararası Bilim ve İleri Teknoloji Merkezi”, bu tür meseleleri Şubat 2005’de, “Nanoteknoloji konusunda Kuzey-Güney diyalogu” konulu toplantıda ele almıştır. Lauterwasser, C). Merkez, nanoteknolojinin gelişmekte olan ülkelere birçok avantaj sağlayabileceğini ve bu teknolojiye geçişin bu ülkeler için çok zor ve çok pahalı olduğuna hükmetmenin doğru olmadığını iddia etmiştir. Benzer bir tema, Nisan 2005 yılında, Toronto Üniversitesi Birleşmiş Biyoeetik Merkezi’ndeki (JBC) Kanada Genom Bilimi ve Küresel Sağlık Programı (CPGGH) tarafından yayımlanan raporun konusunu oluşturmuştur. (CPGGH 2005 ve Lauterwasser,

C.). CPGGH, altmıştan fazla uluslararası uzmanın, “BM Milenyum Gelişme Hedefleri” çatısı altındaki gelişmekte olan ülkeler için nanoteknolojilerin olası etkilerini değerlendirmelerini istemiştir. 2015 yılında gerçekleştirilmek üzere 2000 yılında üzerinde anlaşmaya varılmış olan BM hedefleri şöyledir:

- Aşırı fakirlik ve açlığı yarıya indirmek,
- Evrensel temel eğitimi gerçekleştirmek,
- Kadınları yetkilendirmek ve kadınlarla erkekler arasında eşitliği desteklemek,
- Beş yaş ve altı ölümleri üçte iki oranında azaltmak,
- Özellikle HIV/AIDS ve sıtma gibi hastalıkların yayılmalarını tersine çevirmek,
- Çevresel sürdürülebilirliği garantilemek ve gelişme için küresel bir ortaklık yaratmak.

CPGGH çalışması 10 nanoteknoloji uygulamasını, 2015 yılına kadar su, tarım, beslenme, sağlık, enerji ve çevre alanlarında büyük olasılıkla etkili olacaklar nitelemesiyle sıralamaktadır. Bu sıralama, elektronik ve hesaplama alanlarındaki uygulamaların en önemli uygulamalar olarak görüldüğü ve farmasötiklerle diğer sağlık sektörlerine de önem verildiği, en gelişmiş endüstriyel ekonomilerdeki benzer egzersizlerden büyük ölçüde farklıdır. Gelişmekte olan ülkeler için uzmanların hükmettiği 10 temel nanoteknoloji uygulamaları aşağıdaki gibidir:

**1. Enerji:** Bu alanı 1 numaralı alan olarak sıralama konusunda yüksek bir oy birliği gözlenmiştir. Nanomalzemeler; halen geleneksel, yenilenebilir olmayan kirletici yakıtlara bağımlı olan ülkelere temiz enerji sağlayacak olan yeni nesil güneş pilleri, hidrojen yakıt pilleri ve yeni hidrojen depolama sistemleri oluşturmak amacıyla kullanılacaktır.

Proteinlerin gömülü olduğu sentetik nanomembranların yaratılmasındaki gelişmeler, ışığı kimyasal enerjiye dönüştürme yetisini sağlamıştır. Endüstriyel düzeyde başarılı bir şekilde adapte edilmeleri durumunda, bu tür teknolojiler gelişmekte olan ülkelerin, fosil yakıtlara bağımlı olmaktan kaynaklanan yinelenen eksikliklerden ve madenciliğin, petrol ve kömür yakmanın sonucunda ortaya çıkan çevresel sorunlardan kurtulmalarına yardımcı olabilir (Lauterwasser, C.).

- 2. Tarım:** Araştırmacılar, toprak verimliliğini ve mahsul üretimini artırmak ve yetersiz beslenmenin –gelişmekte olan ülkelerdeki çocuk ölümlerinin yarısından fazlasının sorumlusu– azaltılması için birkaç pahalı olmayan nanoteknolojik uygulama geliştirmektedirler. Nanoteknoloji malzemeleri, bitkiler için gübrelerin yavaş salınımı ve doz ayarlamasının verimli yapılması için, ayrıca çiftlik hayvanlarına yönelik besin ve ilaçlar için geliştirilmektedirler. Diğer tarımsal gelişmeler, mahsullerin ve çiftlik hayvanlarının sağlığını kontrol etmek için sensörler ve topraktaki kirleticileri uzaklaştırmak için manyetik nanoparçacıkları içerir (Lauterwasser, C.).
- 3. Su Arıtma:** Nanomembranlar ve nanokristaller, suyu geleneksel bakteri ve virütik filtrelerden daha verimli bir şekilde saflaştıran, zehirden ve tuzdan arındıran ucuz, taşınabilir ve kolay temizlenen sistemlerdir. Araştırmacılar ayrıca, su kalitesinin geliştirilmesi için, karbon nano-tüp filtrelerin büyük ölçekli üretimi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Diğer su uygulamaları, organik kirleticileri ayrıştıran ve sıvılardan tuzlarla ağır metalleri uzaklaştırarak, ağır bir şekilde kirletilmiş ve tuzu olan suların da sulama için ve içme amaçlı kullanımına olanak tanıyan sistemleri (titanyum dioksit ve manyetik nanoparçacıklara dayanan sistemler) içerir. “Kurtarılmış” olan kirletici bileşenlerden bir kısmının bu işlemler sonucunda kolaylıkla geri dönüşümü sağlanabilir (Lauterwasser, C.).
- 4. Hastalık Tanısı ve Tarama:** Teknolojiler, tıbbi laboratuardaki tüm diagnostik fonksiyonları sunan “çip-üstü-laboratuvar”ı ve nanotüpler, teller, manyetik parçacıklar ve yarıiletken kristallere (kuantum noktaları) dayalı diğer biyosensörleri içerir. Bu ucuz, elle taşınabilir diagnostik kitler, aynı anda birkaç patojeni tespit edebilir ve küçük ikincil kliniklerde geniş çaplı tarama amacıyla kullanılabilirler. Tıbbi görüntülemeyi geliştirebilecek olan diğer nanoteknoloji uygulamaları da geliştirilme aşamasındadır (Lauterwasser, C.).
- 5. İlaç/Madde Taşıma Sistemleri:** Yavaş ve sürekli ilaç salınımı sistemleri için nanokapsüller, dendrimerler ve “buckyball”ler, yeterli ilaç depolama kapasiteleri ve dağıtım ağları olmayan ülkeler için değerli özelliklere sahiptir. Nanoteknoloji ayrıca potansiyel olarak nakliye maliyetlerini ve hatta ihtiyaç duyulan dozları da, var olan ilaçların dolap-ömrünü, termal-istikrarını ve nemdeki değişikliklere olan dayanırlıklarını geliştirerek azaltabilir (Lauterwasser, C.).
- 6. Gıda İşleme ve Depolama:** Gıda paketlenmesi ve depolama için gelişmiş plastik film kaplamalar, daha düşük sanayileşme düzeyi olan ülkelerin uzak alanlarına,



daha geniş çaplı ve daha verimli gıda ürünlerinin dağıtımını olanaklı kılabilir. Gıda ekipmanlarının, paketlerin ve gıdaların dezenfektasyonu için, nanomalzemelerle üretilmiş olan antimikrobiyel emülsiyonlar ve nanoteknolojiye dayalı sensörler de kirliliği tespit etme ve tanımlamada kullanılabilir (Lauterwasser, C.).

- 7. Hava Kirliliği İyileştirilmesi:** Işıkla beraber hava kirleticilerini imha eden nanoteknolojiye dayalı yenilikler, katalitik dönüştürücüleri daha verimli, daha ucuz ve daha iyi kontrol edilir yapar, toksik malzemeleri ve sızıntıları tespit eder, fosil yakıt emisyonlarını azaltır ve gazları ayırır (Lauterwasser, C.).
- 8. İnşaat:** Suyu daha dayanıklı olan asfalt ve beton yapmak için nanomoleküler yapılar, ultraviyole ve infrared radyasyonu bloklayan malzemeler, daha ucuz ve daha dayanıklı konutlar, yüzeyler, kaplama malzemeleri, yapıştırıcılar, beton, ısı ve ışık tutulması için malzemeler, kendiliğinden temizlenen camlar, aynalar ve tuvaletler (Lauterwasser, C.).
- 9. Sağlık Denetimi:** Glikoz, karbondioksit ve kolesterol seviyeleri gibi fizyolojik değişkenlerdeki günlük değişimleri, hastane ortamında kan alma ihtiyacı olmadan izleyen nano-aygıtlar geliştirilmektedir. Örneğin, diyabet hastaları herhangi bir zamanda, kanlarındaki şeker konsantrasyonunu bilebileceklerdir. Aynı şekilde kalp rahatsızlığı olan hastalar da, kolesterol seviyelerini düzenli olarak takip edebileceklerdir (Lauterwasser, C.).
- 10. Hastalık Taşıyıcılar ve Haşere Tespiti Kontrolü:** Haşere tayini için nanoölçekli sensörler, gelişmiş pestisitler, insestisitler ve haşarat uzaklaştırıcılar (Lauterwasser, C.).

Rapor ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde hedeflenmiş olan nanoteknolojilerin gelişmesini teşvik etmek amacıyla, “Nanoteknolojiden Yararlanarak Küresel Zorlukları Belirleme” adlı bir girişimi de önermektedir. Bu girişim, “Ulusal Sağlık Enstitüsü Vakfı” ve “Bill ve Melinda Gates Vakfı” tarafından 2004 yılında başlatılmış olan, “Küresel Sağlıkta Büyük Zorluklar” adlı girişimin çizgilerinde çalışmalarını sürdürebilecekti. Yazarlar, nanoteknolojik girişimleri hali hazırda başlatmış olan birkaç gelişmekte olan ülkeyi gösterirler. Örneğin, Hindistan’ın Bilim ve Teknoloji Departmanı, 2005–2009 dönemi için 20 milyon \$ yatırmaktadır ve Çin de, nanoteknoloji patent başvurularında ABD ve Japonya’dan sonra üçüncü sırada gelmektedir. Çin Tsinghua Üniversitesi’ndeki araştırmacılar, hastanın hasar görmüş iskelet dokusu iyileşirken, kademeli olarak ayırışan ve nanoteknolojiye dayalı olan bir kemik iskelet için klinik testlere başlamış-



lardır. Bu uygulama özellikle, trafik kazalarından kaynaklanan iskeletsel yaralanma sayılarının oldukça yüksek olduğu gelişmekte olan ülkeler için uygundur. Brezilya'da, 2004–2007 dönemi için, tasarlanan nanoteknoloji bütçesinin miktarı 25 milyon \$ kadardır. Üç enstitü, dört ağ ve yaklaşık olarak üç yüz kadar da bilim insanı nanoteknoloji üzerine çalışmaktadır. Brezilyalı araştırmacılar, petrol yayıntılarından petrolü ayırmak için modifiye edilmiş manyetik nanoparçacıkların kullanımını araştırmaktadırlar. Burada hem nanoparçacıkların, hem de petrolün potansiyel geri dönüşümünden söz edilebilir (Lauterwasser, C.).



B Ö L Ü M

NANOTEKNOLOJİ GELİŞİMİNDE  
PATENT, FİNANS VE  
POLİTİKALARIN ROLÜ



## 6. NANOTEKNOLOJİ GELİŞİMİNDE PATENT, FİNANS VE POLİTİKALARIN ROLÜ

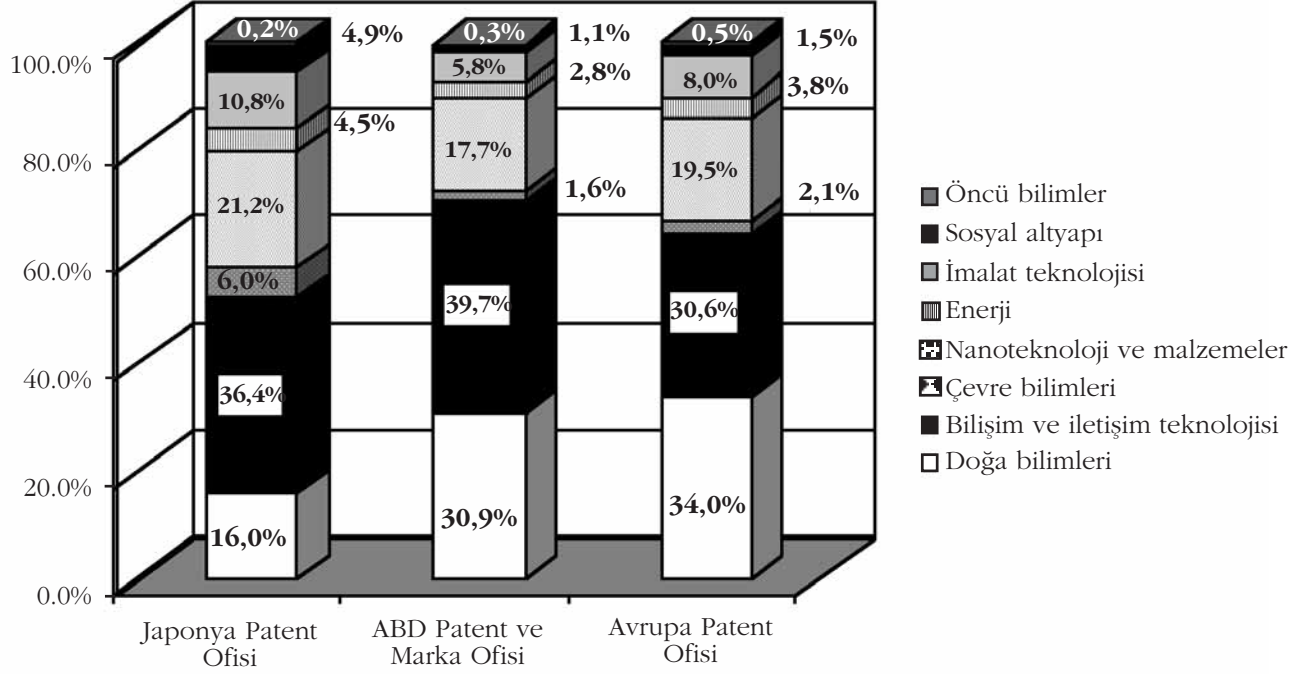
### 6.1. Nanoteknoloji Alanında Patent Başvuru Eğilimleri

ABD’de nanoteknoloji 2000 yılında öncelikli bir konu haline gelmiştir. Japonya’da hükümet, nanoteknoloji alanlarını ve malzemelerini 2001 yılında öncelikli haline getirmiştir. Nanoteknolojinin geniş uygulama alanları bulunmaktadır ve yenilik yaratılmasıyla sosyal katkı bakımından önemi de özellikle son birkaç yılda artmıştır. Mart 2006’da “Bilim ve Teknoloji Politikası Konseyi”, “*nanoteknoloji ve malzemeler alanındaki endüstriyel rekabetçiliği güçlendirmek için, ARGE aktivitelerini teşvik etmek ve temel araştırma sonuçlarının endüstrideki etkili kullanımını kolaylaştırmak amacıyla, bu sonuçları fikri mülkiyetlere bağlamak gerekmektedir*” açıklamasının yapıldığı, “Öncelikli Alanlar için Teşvik Stratejisi”ni planlamıştır. Bu açıklamayla, belirli uygulama alanlarını hedefleyen bir fikri mülkiyet stratejisi geliştirmenin önemi vurgulanmıştır. Japonya Patent Ofisi, en öncelikli sekiz alanın arasında, özel bir dikkat ayrılması gerektiği görülen temel teknolojiye odaklanarak, alanlara göre patent başvurusu eğilimleri konusunda raporlar hazırlanmıştır (Daisuke K. 2006 ve JPO April 2006). Nanoteknoloji konusunda ülke, sektör ve uygulama bakımından ve patent başvuru eğilimleriyle ilgili bir inceme niteliğinde olan sayılı sayıda yayın bulunmaktadır (Daisuke K. 2006). Bu bölüm için temel kaynak olarak kullanılan çalışmada, Japonya temel alınarak, diğer ülkelerdeki durumlarla ilgili bilgiler de karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Daisuke K. 2006). Aşağıdaki paragraflarda bu çalışmanın içeriği özetlenmektedir.

#### Japonya’da Öncelikli Alanlarda Patent Başvuru Eğilimleri

“İkinci Bilim ve Teknoloji Temel Planı”nda tayin edilmiş olan sekiz öncelikli alan, “Üçüncü Bilim ve Teknoloji Temel Planı”nda da gösterilmeye devam edilmiştir. Öncelik verme, “seçme” ve “yoğunlaşmayla” güçlendirilmiştir. “Üçüncü Temel Plan”da, öncelikli alanlar “dört öncelikli teşvik alanı” ve “dört teşvik alanı” olarak tekrar atanmıştır (işlenen alanların isimlerinde bazı değişiklikler yapılmıştır). Bu sekiz alandaki patent başvurularıyla ilgili bilgi, Japonya Patent Ofisi’nden alınmıştır ve aşağıdaki şekiller, nanoteknolojinin bu sekiz alan içerisinde nerelere yerleştiğini göstermektedir. Şekil 10 Japonya, Amerika ve Avrupa patent ofislerine 2004 yılında yapılan başvuru sayısını temel alarak, patent başvurularını teknolojik alan bakımından göstermektedir.

Japonya'nın, doğa bilimleri alanındaki başvuru oranı bakımından ABD ve Avrupa'nın oldukça gerisinde olduğu görülebilir. Japonya'nın, başvuru oranı bakımından ABD ve Avrupa'dan daha önde olduğu alanlar ise –her ne kadar bu alanlardaki başvurular, Japonya'daki patent ofisinde kayıtlı olan toplam başvuru sayısının küçük bir kısmını oluştursa da– çevre bilimleri ve sosyal altyapı alanlarındadır.



**Şekil 6.1:** Belirlenen Sekiz Alana Göre, Japonya, ABD ve Avrupa'daki Patent Ofislerine Yapılan Patent Başvurularının Oranı (2004) (Daisuke K. 2006 ve JPO March 2006)

Üç patent ofisinin arasında, ABD Patent ve Marka Ofisi, en fazla başvuruyu, bilişim ve iletişim teknolojisi alanlarında almıştır. Avrupa'da, doğa bilimleri alanındaki başvuruların oranı, ABD ve Japonya'dakinden daha fazladır. Nanoteknoloji ve malzemeler, Japonya için değerler en yüksek olmakla beraber, her üç patent ofisindeki toplam başvuruların yaklaşık olarak % 20'sine denk gelmektedir.

## Nanoteknoloji Alanında Patent Başvuru Eğiliminin Analizi

### *Sınıflandırma*

“Japonya Nanoteknoloji Araştırmacıları Ağı Merkezi”, dünyanın en büyük patent kuruluşlarını, “ABD Patent ve Marka Ofisi”, “Japonya Patent Ofisi”, “Avrupa Patent Ofisi” ve “Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü” (WIPO) olarak kabul etmiştir. Merkez, mevcut anahtar sözcüklerden yararlanarak, bu patent kuruluşlarca çıkartılmış olan aylık patent yayınlarından, nanoteknolojiyle ilgili patentleri seçer. Seçilmiş olan patentler bundan sonra belirlenmiş dokuz teknoloji alanına göre kategorize edilir. Merkez, buluşu yapanın ismini, buluşun kendisini, başvuruyu yapan(lar)ı ve diğer bilgileri içeren bir liste hazırlar ve bunlardan bir veritabanı oluşturur. Hedeflenen teknoloji alanları **malzemeler, tıp ve doğa bilimleri, elektronik aygıtlar, bilişim ve iletişim, optoelektronik, ölçüm ve test etme, çevre ve enerji, işleme, baskı ve görüntüleme**dir. Bu dokuz nanoteknoloji alanı, nanoteknolojinin neredeyse tüm olası uygulama alanlarını kapsamaktadır. 6.1 No’lu tabloda, bu dokuz alanın her biri için atanmış olan teknolojiler sıralanmıştır. Aşağıdaki ilkelere dayanarak, anahtar kelimeyle arama yapılarak bulunan patentler, nanoteknolojiyle ilgili patenler olmak üzere taranmaktadır (aşağıda nanoteknoloji patentleri olarak adlandırılmışlardır).

- i) Nanoteknoloji için iki ana yön bulunmaktadır: ilki malzemeleri atomik ya da moleküler düzeyde değiştirmek ve geliştirmek ya da mevcut malzemelere yeni özellikler katmak; diğeri de malzemeleri işlemek ve nanoyapı oluşturmaktır. Patentlerin incelendiği kaynakta, bu alanlardan ikisi de taranmıştır.
- ii) Ayrıca, nano-ölçekte manipülasyon ya da işleme içeren, ya da “zaman”, “dalga boyu”, “kütle”, ve “hacim” tahmininde bulunmuş olan nanoteknoloji patentleri de taranmıştır. Bir örnek; kristalizasyon koşullarını incelemek için piko-gram miktarında proteinden yararlanan bir metot öneren bir nanoteknoloji patentidir.
- iii) Nanoteknoloji tekniğinden seçici olarak yararlanan nanoteknoloji patentleri de incelenmiştir. Örneğin, elektriksel iletken partikül malzemeler grafit, karbon siyahı ve karbon nanoteller arasından seçici olarak kullanılmış olsa dahi, nanomalzemelerin uygulanmasını içeren, iletken poliamid bileşikleriyle ilgili olan patentler de taranmıştır.
- iv) “Mikro Elektro Mekanik Sistemler” (MEMS) için ise, superlatis yapılar, fotonik kristaller ve kuantum kuyuları, mikroyapıları olan makineler ve elektrik bileşenleri gibi büyük miktarda uygulama önerilmiştir.

v) Tarama kararı, patentlerin tanımlanan nanoteknolojiyi malzeme olarak ya da imalat işleminde kullanılmasına bağlı olarak yapılmıştır.

**Tablo 6.1: Nanoteknolojiyle İlgili Olan Alanların Sınıflandırılması (Daisuke K. 2006 ve NRNCJ)**

| No | Teknoloji Alanı       | Uluslararası Patent Sınıflandırması | Teknolojik İçerik   |
|----|-----------------------|-------------------------------------|---|
| 1  | Malzemeler            | B01J                                | Katalizörler/kolloid bilimi (bilimsel ya da fiziksel yöntem) / hidrofobik manyetik parçacıklar  |
|    |                       | B81B                                | Mikroyapılı aygıtlar ve sistemler / karbon nanoyapıları   |
|    |                       | B82B                                | Mikroyapı teknikleri ve nanoteknoloji / karbon nanotüpler / fonksiyonel nanoyapılar   |
|    |                       | C01B                                | Karbon yapı / fullerenlerin imalatı / karbon nanotüplerin imalatı / sentetik porlu kristalin maddeler   |
|    |                       | C01G                                | Metal – içeren bileşikler / metal parçacıkları  |
|    |                       | C03B                                | İmalat, kalıp dökme ya da tamamlayıcı prosesler   |
|    |                       | C03C                                | Cam ya da camsı emayeler  |
|    |                       | C04                                 | Yapay taş / seramikler  |
|    |                       | C07                                 | Organik kimya   |
|    |                       | C08                                 | Organik polimer bileşikler / biyopolimer nanoparçacıkları / iletken poliamid bileşikler / karbon nanotüplerle sertleştirilmiş polimerler / fotopolimerler   |
|    |                       | C09                                 | Mürekkepler / boyalar /adhesifler(yapıştırıcılar)/reçineler   |
|    |                       | C22                                 | Metaller / demir ya da demire dayalı olmayan alaşımlar ve bunların işlenmesi  |
|    |                       | C30                                 | Kristal büyütme / organik nanotüplerin sentezi / ultra-ince nanotellerin sentezi  |
| 2  | Tıp ve Doğa Bilimleri | A61                                 | Tıp bilimi / elektrokimyasal ve biyolojik olarak aktif parçacıklar içeren kozmetikler / Biyobozunur nanokapsüller / nanoparçacıklarla kaplanmış stentler / kuantum noktalarından oluşan optik kontrast faktörü kullanımı / tedavi ve tanı için optik olarak aktif nanoparçacık kullanımı / kanser ilaçları / kişiselleştirilmiş ilaçlar |
|    |                       | C12                                 | Mikrobiyoloji / enzimoloji / genetik mühendislik / nükleik asit molekül dizininin tespit edilmesi / ölçüm ekipmanları   |

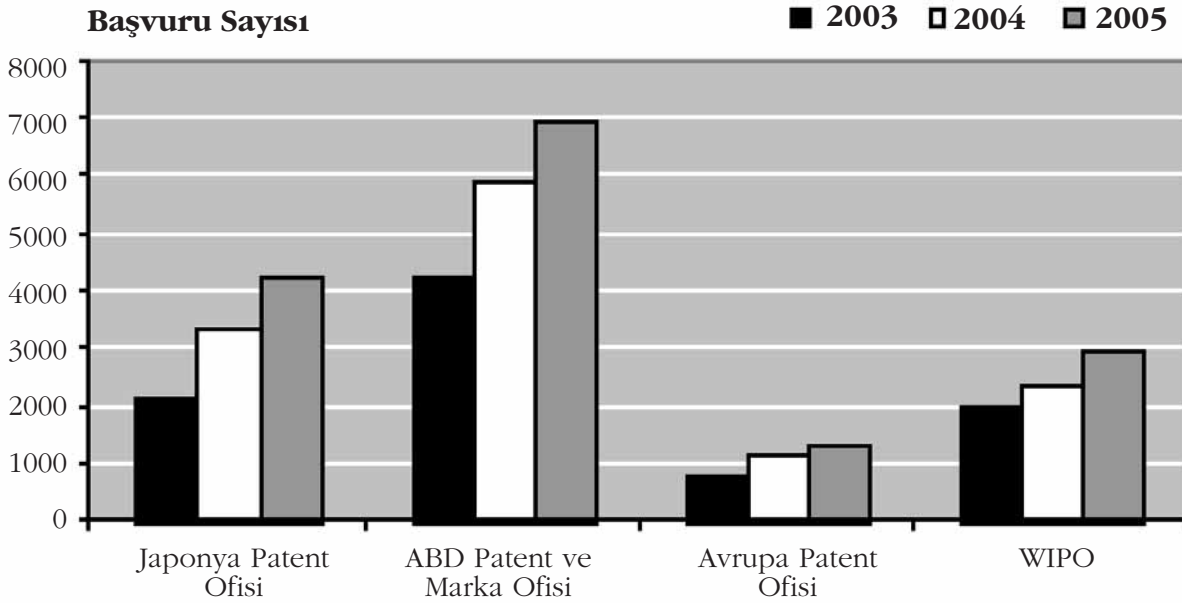


|   |                      |      |  |
|---|----------------------|------|--|
| 3 | Elektronik Aygıtlar  | H01L | Temel elektrik elemanları / yarıiletken ekipmanı / silikon nanoparçacıkların örtülenmesi / yarıiletken içeren nanokristallerden oluşan membran sensörler / kuantum nokta fosfor / tek-elektron transistörler                     |
|   |                      | H01J | Alan emisyonu tipi elektron kaynağı  |
| 4 | Bilişim ve İletişim  | G06N | Sinyal veren polimerler / kuantum bilgisayarları   |
|   |                      | G11  | Bilgi depolama / nanomikroisicilerle hafıza / nanometre düzeyinde hafıza katmanlı hafıza ortamı  |
| 5 | Optoelektronik       | G02  | Mikroyapılı optik fiberler / biriktirme tipi fotonik devreler / mikrolens EUV litografi / silikon nanoparçacıklı parlaklık yayan aygıtlar / nanoporlu malzemelerle optik çekirdek ve örtü oluşturan optik frekans yönlendiricisi |
|   |                      | H01S | Yarıiletken nanokristallerin yüzeyinde oluşturulan optik amplifikatörler ve lazerler   |
| 6 | Ölçüm ve Test Etme   | G01  | Nanokristal indeksten yararlanılan analiz yöntemi / nanopompalar / gen dizinleyicileri / DNA çipi imalatı / ultra-mikro sıvı dağıtıcı / nanotermometreler  |
| 7 | Çevre ve Enerji      | C02F | Su, atık su, kanalizasyon suyu, çamur arıtma   |
|   |                      | H01M | Piller / yeniden şarj edilebilir lityum pili için artı elektrot  |
| 8 | İşleme               | B01  | Kendi kendini temizleyen yüzeylerin ayrılması / karıştırılması / imalatı   |
|   |                      | B21  | Kaplanmış yüzeylerin işlenmesi / oluşturulması / elmasla cilalanması   |
|   |                      | B23  | Makine gereçleri / femto <sup>27</sup> -saniye lazerlerin kullanımı / nano-boyutlu silikon noktaların oluşturulması  |
|   |                      | B32B | İnce tabakalar (yapraklar) halindeki cisimler  |
| 9 | Baskı ve Görüntüleme | B41J | Baskı / mürekkep püskürtmeli kafalar / ürünlerin nano kalınlıkta imajlarını oluşturma  |
|   |                      | G03  | Fotoğraflar / elektronik fotoğraflar   |

27 1sn = 1 x 10<sup>-15</sup> femto-saniye

### ***En Büyük Dört Patent Kuruluşundaki Nanoteknoloji Patent Trendleri***

Şekil 6.2’de, daha önce sıralanan seçme kriterlerine göre seçilmiş ve taranmış olan nanoteknoloji başvurularının, dünyanın dört büyük patent kurumundaki sayıları verilmektedir. Bu şekle göre, 2003 ile 2005 yılları arasında, bu dört kuruluşa yapılan nanoteknoloji patent başvuru sayılarında önemli bir artış olmuştur. Japonya Patent Ofisine yapılan başvurular son yıllarda aşağı yukarı 400,000’in üzerine çıkmıştır. 2005 yılında, nanoteknoloji patentleri toplam başvuruların %1 kadar olmuştur. ABD Patent ve Marka Ofisi için de bu sayı benzer bir şekilde % 1,5, Avrupa Patent Ofisi için % 1 ve WIPO için de % 2,5 olmuştur (Daisuke K. 2006 ve NRNCJ).

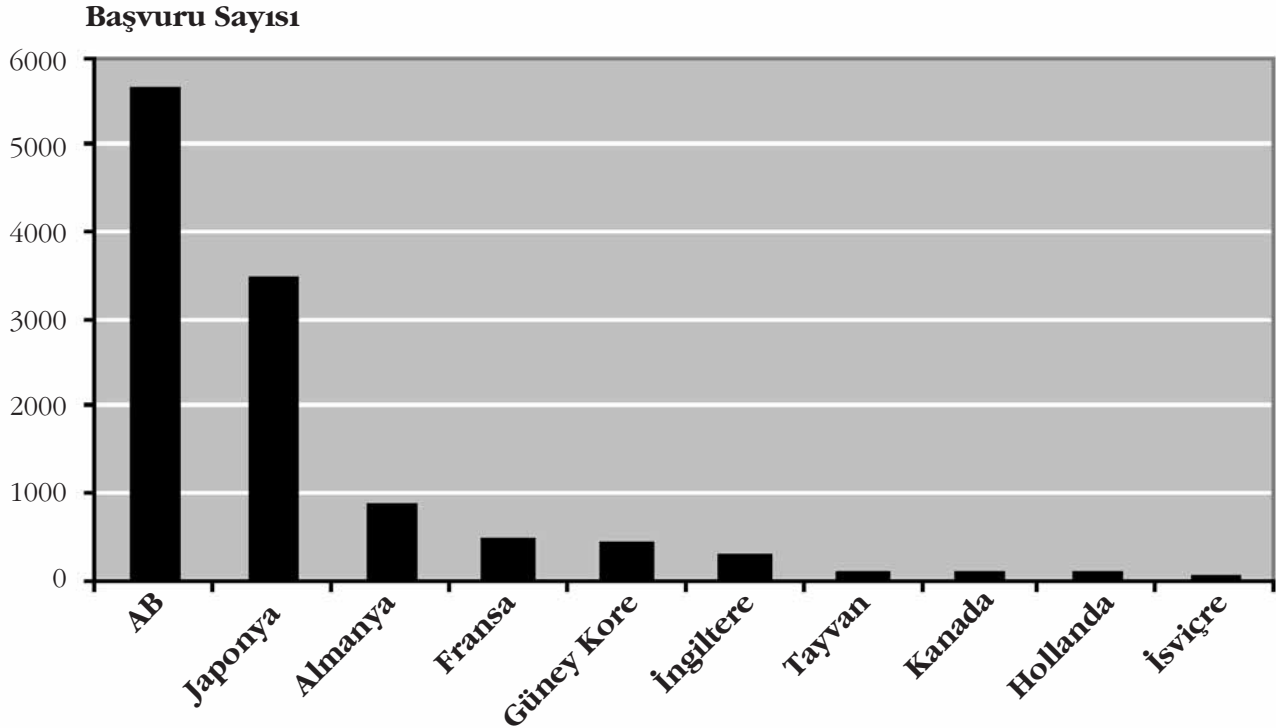


**Şekil 6.2:** Dört Büyük Patent Kuruluşuna Yapılan Nanoteknoloji Patent Başvurularının Sayısı (Daisuke K. 2006 ve NRNCJ)

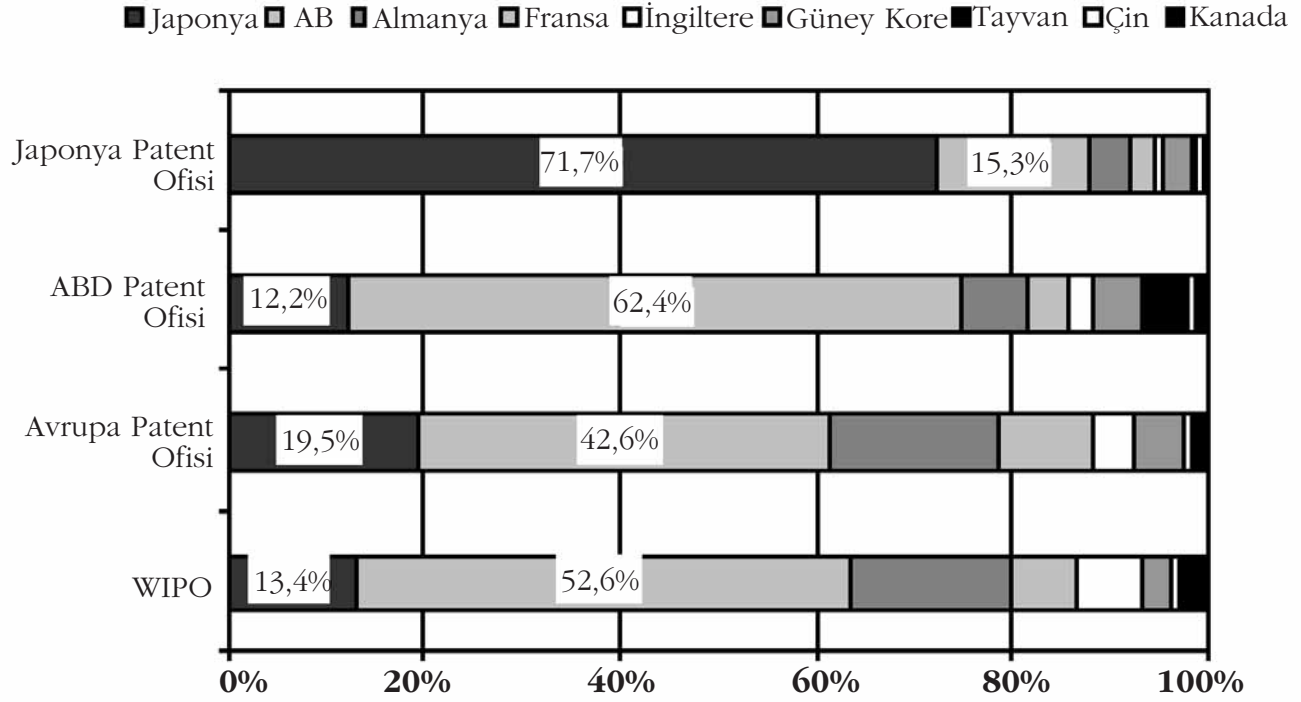
### ***Başvuru Yapanların Uyruklarına Göre Nanoteknoloji Patent Başvuru Eğilimleri***

Aşağıdaki şekilde (Şekil 6.3) 2004 yılında büyük miktarda patent başvurusu alan on ülkedeki başvuru yapanların uyrukları incelenmektedir. ABD, 5,600 patent başvurusuyla en önde gitmektedir; bu sayı, Japonya’da (ikinci sıradaki ülke) kayda geçen sayınının 1,6 katıdır ve Almanya’daki (üçüncü sıradaki ülke) sayınının 6,1 katıdır (Daisuke K. 2006 ve NRNCJ).

Bundan sonraki şekil (Şekil 6.4), 2004 yılında başvuru yapanların sınıflandırma sonuçlarını göstermektedir. Japonya’da, Japon Patent Ofisi’ne yapılan başvuruların yaklaşık olarak % 72’i Japon başvuranlar tarafından yapılmıştır. ABD Patent ve Marka Ofisi’ndeki başvuruların ise, % 62’si ABD’li başvuranlar tarafından yapılmıştır. Buna göre ABD’de yerli başvuruların oranı Japonya’dakinden daha düşüktür. Yabancı bir ülkede ürünler üretmek ve satmak için, o ülkede patent hakkı almak gerekmektedir. Yani, yabancı bir ülkedeki bir patent ofisine başvuruda bulunmak, başvuranların bu ülkede ürün geliştirme, üretme ve satma hedefini göstermektedir. Bu açıdan incelenirlerse, Asya ülkelerinden Güney Kore ve Tayvan’ın, ABD Patent ve Marka Ofisi’ne büyük miktarda patent başvurusunda buldukları görülebilir (Şekil 14 a ve b). Bu ülkelerden, Avrupa Patent Ofisi’ne ve WIPO’ya yapılan başvurular ise oldukça azdır. Bu ülkeler özellikle ICT ve elektronikler olmak üzere, nanoteknoloji alanında rekabetçiliklerini güçlendirmeye çalışmaktadırlar. ABD’nin bu endüstrilerde önde gelen bir güç konumunda olması, bu ülkelerin ABD Paten ve Marka Ofisi’ni tercih etmelerinin en önemli nedenlerinden biri olabilir (Daisuke K. 2006).

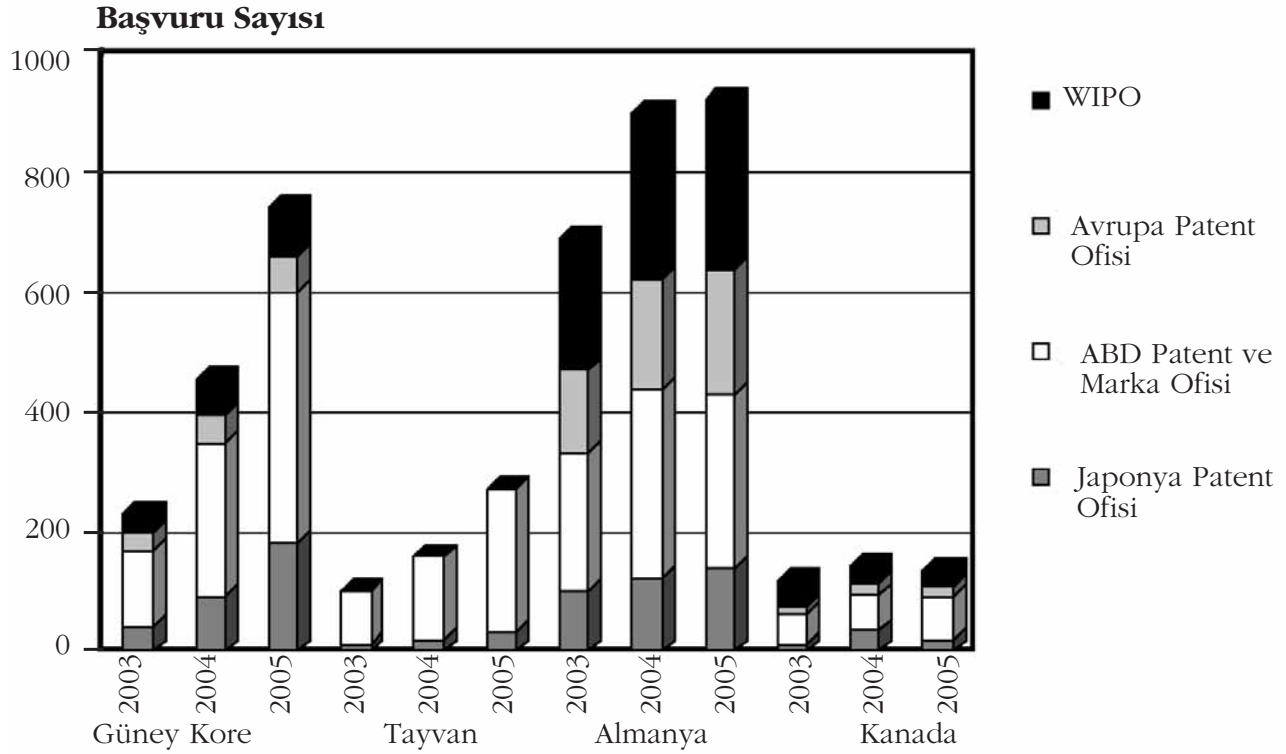


**Şekil 6.3:** Dört Büyük Patent Kuruluşuna Yapılan Nanoteknoloji Patent Başvurularının, Başvuru Yapanın Uyruğuna Göre Sayısı (2004) (Daisuke K. 2006 Ve NRNCJ).



**Şekil 6.4:** Dört Büyük Patent Kuruluşuna Yapılan Nanoteknoloji Patent Başvuruları Sayısının, Başvuru Yapanların Uyruklarına Göre Oranı (2004) (Daisuke K. 2006 Ve NRNCJ).

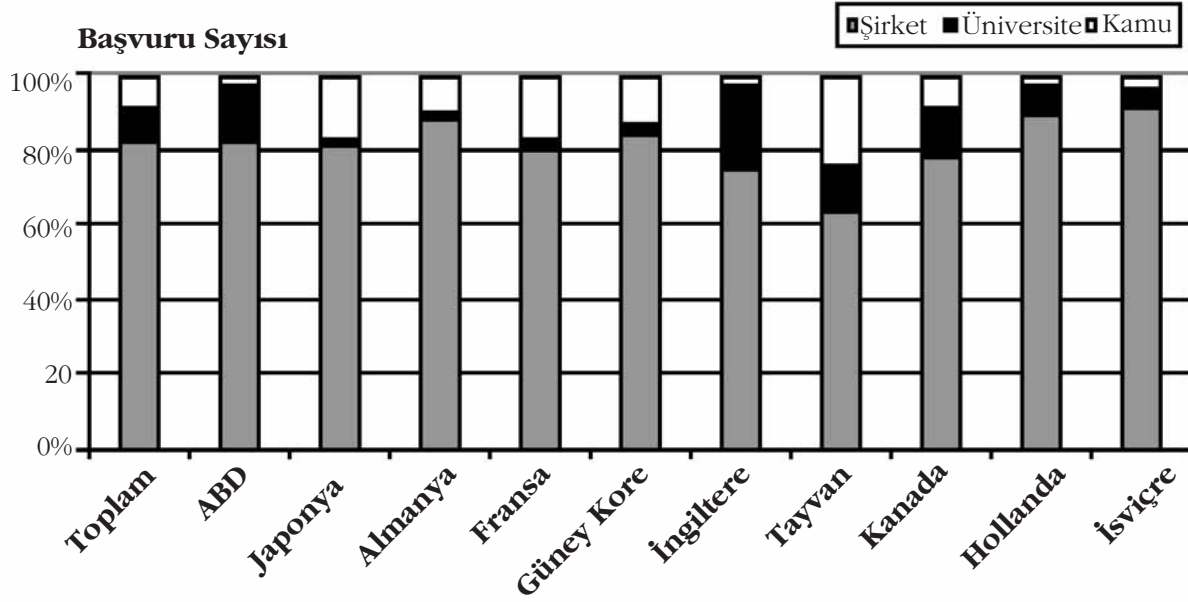
Şekil 6.5 Güney Kore’li, Tayvan’lı, Alman ve Kanada’lı başvuranlar tarafından yapılan başvuruları göstermektedir. Bu ülkelerden büyük oranda başvuran, ABD Patent ve Marka ofisine ve WIPO’ya başvurmuştur. Bu ülkelerden yapılan patent başvuruları 2005 yılına kadar artmış ancak daha sonra aniden durmuştur ya da azalmaya başlamıştır. Benzer bir eğilim, diğer Avrupa ülkesinde de görülmüştür (Daisuke K. 2006).



**Şekil 6.5:** Ülkelere Göre Nanoteknoloji Patent Başvuruları (Güney Kore, Tayvan, Almanya ve Kanada) (2004) (Daisuke K. 2006 Ve NRNCJ).

### ***Nanoteknoloji Patent Başvurularının Şirket, Üniversite ve Kamu Araştırma Kuruluşlarına Göre Oranları***

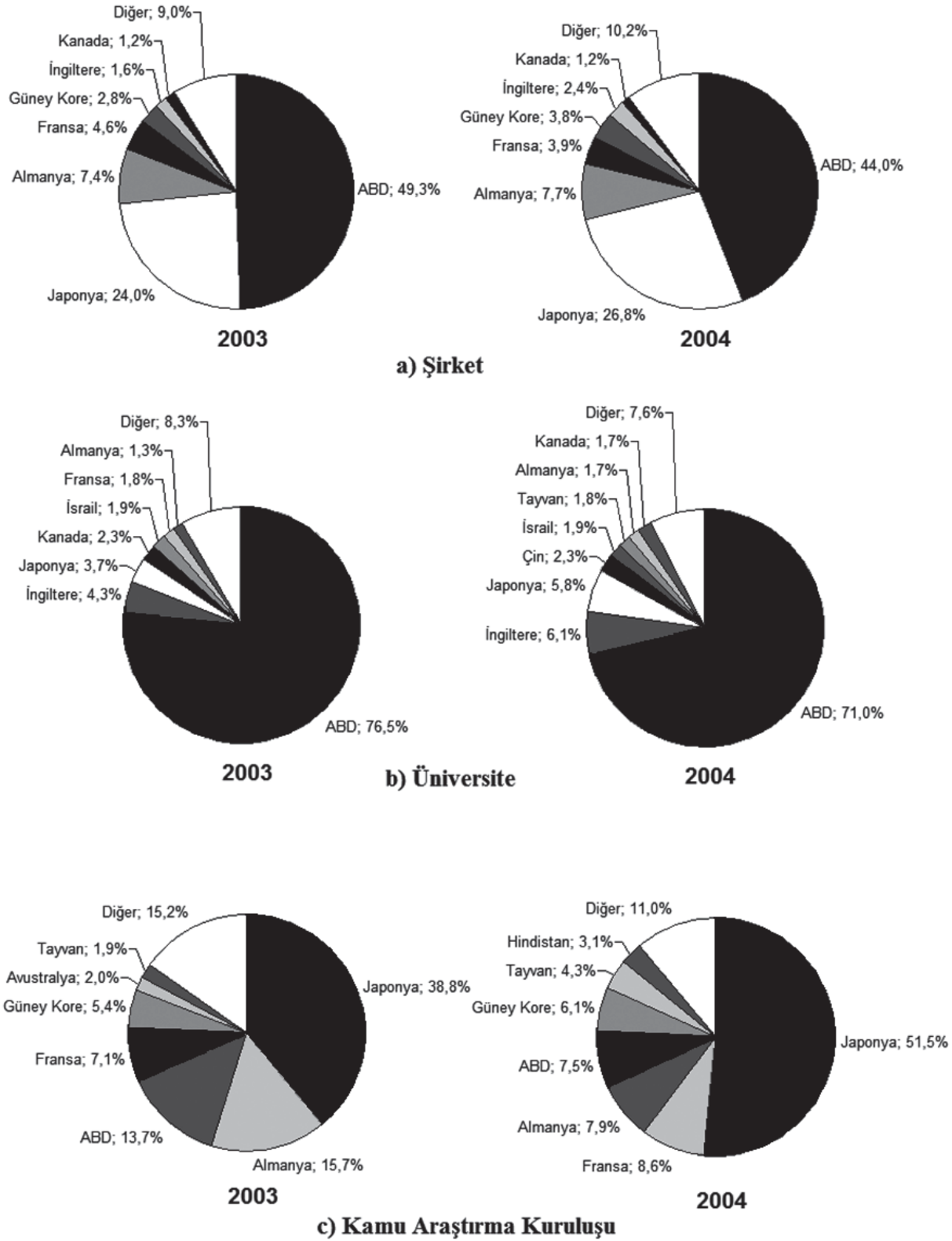
Bu kısımda, üniversite, kamu araştırma kuruluşları ve şirketlere göre yapılmış olan nanoteknoloji patentlerinin oranları verilmiştir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 6.6), önde gelen 10 ülkeden 2004 yılında sektörlere göre yapılmış olan başvurular, en fazla başvuru sayısı baz alınarak verilmiştir.



**Şekil 6.6:** Sektörlere Göre Nanoteknoloji Patent Başvuruları Oranları (Daisuke K. 2006 ve NRNCJ).

Nanoteknoloji patent başvurularının % 80'inden fazlası şirketlere aittir. Bu eğilimin devam etmesi beklenmektedir. Veriler, 2003 (%81) ve 2005'in ilk yarısı (%83,3) arasında az ancak istikrarlı bir artışı göstermektedir. En fazla sayıda patent başvurusunda bulunanlar özel şirketlerdir ve bu durum tüm ülkeler için geçeridir. ABD, İngiltere, Kanada ve Hollanda gibi ülkelerdeki üniversiteler, başvuru sayısında ikinci en büyük oranı göstermişlerdir; Japonya, Almanya, Fransa ve Güney Kore'de ise ikinci en büyük başvuru oranı kamu araştırma kuruluşları tarafından yapılmıştır. Aşağıdaki şekilde, her ülkede sektöre göre nanoteknoloji patent başvurusu oranları verilmektedir (Şekil 6.7 a, b ve c).

2004 yılında, şirketler başvurularında en fazla patent başvurusu ABD'de gerçekleşmiştir ve bu ülkeyi de Japonya izlemektedir. Ayrıca, üniversite başvurularında da ABD ezici çoğunlukla önde gelmiştir. Ardından İngiltere (ikinci) ve Japonya (üçüncü) gelmektedir. Çin ve İsrail de, toplam başvuru miktarında ilk 10'da olmamalarına rağmen, üniversiteler alanında ilk 10'a ülkeye girmeye başlamışlardır. Özellikle İsrail, tıp ve doğa bilimleri alanlarında gittikçe artan bir nanoteknoloji patent başvuru oranına sahiptir.



**Şekil 6.7:** Sektörlere Göre Nanoteknoloji Patent Başvuruları Oranları (2) (Daisuke K. 2006 ve JPO April 2006).

Kamu araştırma kuruluşları açısından ise, en fazla başvuru Japonya'dan ve ardından da sırasıyla Fransa, Almanya ve ABD gelmektedir. Japonya'da bu alandaki birçok patent başvurusu, "Japonya Bilim ve Teknoloji Kuruluşu" ve "Ulusal İleri Endüstriyel Bilim ve Teknoloji Enstitüsü" tarafından gerçekleştirilmiştir. 2003 – 2004 dönemine bakıldığında, üniversite ve şirket kategorilerindeki oranlarda önemli değişiklikler olmamıştır. Ancak, ABD'den gelen başvurularda az miktarda bir düşüş yaşanmıştır. Kamu araştırma kuruluşları kategorisinde ise, Japonya'nın katkısında keskin bir artış gözlenmektedir; Almanya ve ABD'nin oranlarında ise yarı yarıya azalma olmuştur. Max-Planck Enstitüsü ve Fraunhofer Gesellschaft gibi kuruluşlar, Almanya'da ve Fransa'daki Ulusal Bilim Araştırması Merkezi'ne (CNRS) birçok patentle başvurmuşlardır.

Aşağıdaki tablo (Tablo 6.2), 2004 yılında yapılan nanoteknoloji patent başvuru sayıları bazında ilk 10 kuruluşu listelemektedir. Ayrıca, bir önceki yıla göre de sıralama verilmiştir. Japonya Patent Ofisine en fazla başvuruda bulunmuş olan ilk beş kuruluş, kamu araştırma kuruluşlarıdır. Ayrıca, Japonya Bilim ve Teknoloji Kuruluşu da, Avrupa Patent Ofisi ve WIPO'ya yapılan başvuru sayısı bazında ilk sıraya yerleşmiştir. ABD'nin kamu araştırma kuruluşları bu listede bulunmamaktadır. Yalnızca üç ABD kuruluşu – "Kaliforniya Üniversitesi", "Massachusetts Teknoloji Enstitüsü" ve "Northwestern Üniversitesi" – ABD Patent ve Marka Ofisi ve WIPO sıralamalarında yer almışlardır. Daha önce de sözü edildiği gibi, nanoteknoloji patent başvuru sayılarında son yıllarda artış olmuştur. Başvuran kuruluşların oranlarında –özellikle de PCT-rotası başvurularında önemli değişiklikler olması beklenmektedir.

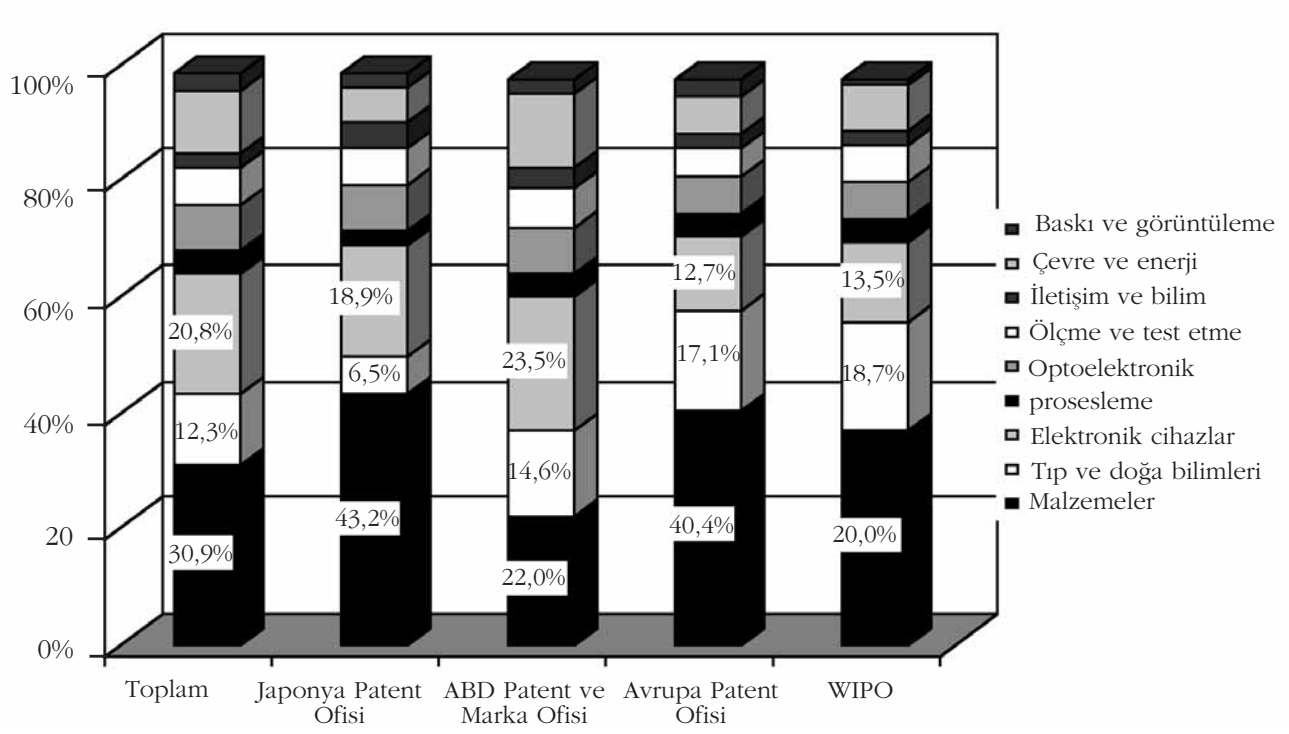


**Tablo 6.2: En Büyük Dört Patent Kuruluşuna Başvuru Yapmış Olan ve İlk Onda Yer Alan Kuruluşlar (2004) (Daisuke K. 2006 ve NRCNJ)**

| Japonya Patent Ofisi                    |   | ABD Patent ve Marka Ofisi               |  | Avrupa Patent Ofisi                     |   | Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü (WIPO) |   |
|---|---|---|--|---|---|------------------------------------|---|
| Sıralama (Bir Önce- Kuruluş Adı ki Yıl) | Başvuru Sayısı  | Sıralama (Bir Önce- Kuruluş Adı ki Yıl) | Başvuru Sayısı                                     | Sıralama (Bir Önce- Kuruluş Adı ki Yıl) | Başvuru Sayısı                              | Sıralama (Bir Önceki Yıl)          | Başvuru Sayısı  |
| 1 (1)                                   | Japonya Bilim ve Teknoloji Ajansı (Japonya)                     | 1 (1)                                   | IBM (ABD)  | 1 (8)                                   | Japonya Bilim ve Teknoloji Ajansı (Japonya) | 1 (1)                              | Japonya Bilim ve Teknoloji Ajansı (Japonya)           |
| 2 (4)                                   | Ulusal İleri Endüstriyel Bilim ve Teknoloji Enstitüsü (Japonya) | 2 (2)                                   | Micron Tech. (ABD)                                 | 2 (1)                                   | L'oreal (Fransa)                            | 2 (3)                              | Kaliforniya Üniv. (ABD)                               |
| 3 (3)                                   | Sony Co. (Japonya)  | 3 (3)                                   | Kaliforniya Üniv. (ABD)                            | 3 (4)                                   | Samsung Elektronik (Güney Kore)             | 3                                  | Philips (Hollanda)                                    |
| 4                                       | Ulusal Malzeme Bilimleri Enstitüsü (Japonya)                    | 4 (7)                                   | Eastman Kodak (ABD)                                | 3 (4)                                   | Hewlett Packard (ABD)                       | 4                                  | Du Pont De Nemours (ABD)                              |
| 5 (7)                                   | Mitsubishi Kimya Co. (Japonya)                                  | 5 (9)                                   | L'oreal (Fransa)                                   | 5                                       | CNRS (Fransa)                               | 5                                  | CNRS (Fransa)   |
| 6 (6)                                   | Canon Inc. (Japonya)  | 6 (5)                                   | Xerox (ABD)  | 6 (4)                                   | Eastman Kodak (ABD)                         | 6                                  | Commissariat A L'energie Atomique Universite (Fransa) |
| 7                                       | Sharp Co. (Japonya)   | 7 (8)                                   | General Electric (ABD)                             | 7 (3)                                   | Sony Co. (Japonya)                          | 7                                  | Infineon (Almanya)                                    |
| 8 (8)                                   | Hitachi, Ltd. (Japonya)   | 8                                       | Samsung Elektronik (Güney Kore)                    | 8                                       | Basf (Almanya)                              | 8 (5)                              | Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) (ABD)         |
| 9                                       | Ricoh Co., Ltd. (Japonya)                                       | 9                                       | Hitachi, Ltd. (Japonya)                            | 9                                       | Canon Inc. (Japonya)                        | 9 (9)                              | Sony Co. (Japonya)                                    |
| 10 (2)                                  | Fuji Photo Film Co., Ltd. (Japonya)                             | 10                                      | Endüstriyel Teknoloji Araştırma Enstitüsü (Tayvan) | 10                                      | Infineon (Almanya)                          | 9                                  | Northwestern Üniv. (ABD)                              |
| 10                                      | Matsushita Elektrik Endüstri Co., Ltd. (Japonya)                | 10                                      | Canon Inc. (Japonya)                               |   |   | 9 (4)                              | 3M Innovative Properties (ABD)                        |

## ***Belirlenmiş Olan Dokuz Teknoloji Alanındaki, Nanoteknolojiyle İlgili Patentlerin Uluslararası Karşılaştırması***

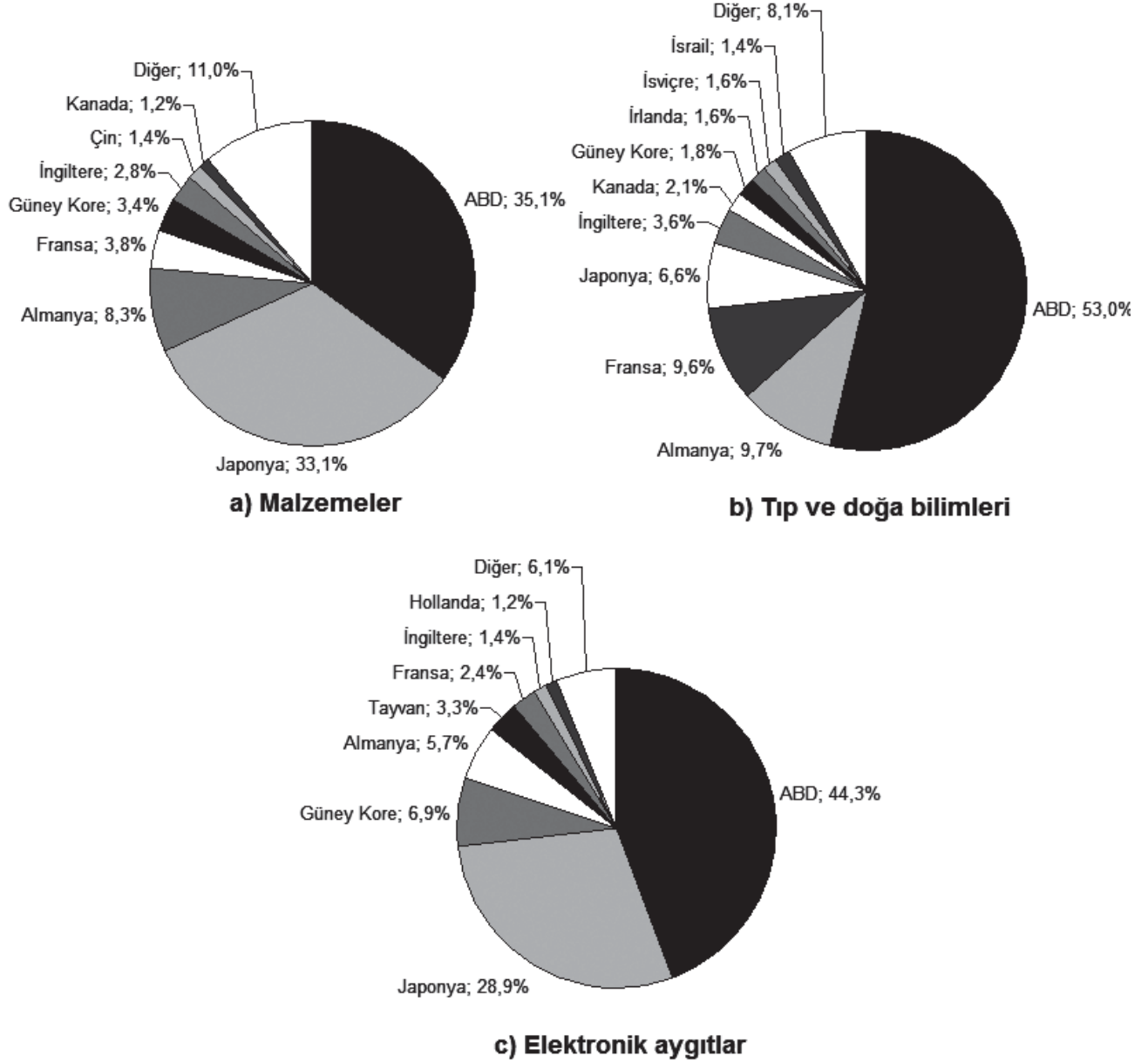
Ülkeler arasında eğilimler karşılaştırmak amacıyla, nanoteknoloji patent başvuruları dokuz belirli alana göre sınıflandırılmıştır (sınıflandırma detayları ilk tablodan takip edilebilir). Şekil 6.8’de, bu dokuz alana göre sınıflandırılmış olan ve dünyanın başlıca dört patent kuruluşuna yapılmış olan patent başvuruları incelenebilir.



**Şekil 6.8:** Dokuz Belirli Teknoloji Alanına Göre Patent Başvuru Oranı (2004) (Daisuke K. 2006 Ve NRNCJ)

En fazla patent başvurusunun yapıldığı alan malzemelerdir. Ardından sırasıyla elektronik aygıtlar, tıp ve doğa bilimleri gelmektedir. Bu dokuz alandaki başvurular, başvuru yapılan kuruluşlar arasında önemli derecede farklılıklar göstermektedir. Japonya Patent Ofisi’ne tıp ve doğa bilimleri alanlarında yapılan başvurular oldukça azdır. Bunun tersine ABD Patent ve Marka Ofisi’ne yapılan en düşük başvuru oranı malzemeler alanından olmuştur.

Nanoteknoloji patent başvurularının, en fazla çalışma yapılan üç alanda –malzemeler, elektronik aygıtlar, tıp ve doğa bilimleri- uluslararası karşılaştırması da Şekil 6.9 a, b ve c’de verilmiştir.



**Şekil 6.9:** Üç Temel Teknoloji Alanındaki Patent Başvurularının Ülkelere Göre Oranları (2004)  
(Daisuke K. 2006 Ve NRNCJ)

Malzemeler alanında, ABD patentleri en fazla orana sahiptir; bu alandaki Japonya patentleri de ABD patent oranının biraz altındadır. Her iki ülkenin malzeme alanındaki toplam oranı yaklaşık olarak % 70'tir. Ayrıca ABD ve Japonya patentleri elektronik aygıtlar alanında da önde gelmektedir. Bu alanda Güney Kore ve Tayvan ise, sırasıyla üçüncü ve beşinci sırada gelmektedirler. Tıp ve doğa bilimleri alanlarındaki başvurularda yine ABD patentleri egemendir, Japonya'nın ise bu alandaki katkısı azdır. İrlanda ve İsrail, bu alandaki ilk 10'a girmişlerdir. İrlanda, 2003 yılında 13. sıradadır ve 2005 yılının ilk yarısında bu alanda 5. sıraya yerleşerek önemli bir atılımda bulunmuştur. Sıralamadaki bu sıçrama, ülkenin tıp ve doğa bilimleri alanlarına daha fazla önem verme tutumunu yansıtmaktadır (Daisuke K. 2006 ve NRNCJ).

## Özet

Yukarıda da belirtildiği gibi, dünyanın dört büyük patent kuruluşuna yapılmış olan patent başvuruları, ülke, sektör (şirket, üniversite ve kamu araştırma kuruluşları) ve ilgili teknoloji alanı bakımından incelenerek, birkaç açıdan analiz edilmiştir. Bu çalışmadaki analiz, Japonya Nanoteknoloji Araştırmacıları Ağı Merkezi işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. Analizin temel sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Japonya Patent Ofisi'nde kaydedilmiş olan nanoteknoloji patentleri, toplam patent başvurularının % 1'ini oluşturmaktadır. ABD Patent ve Marka Ofisi, Avrupa Patent Ofisi ve WIPO için sırasıyla yaklaşık olarak % 1,5, %1 ve %2,5'tir.
- Tüm patent ofislerine yapılan patent başvuruları yıllık olarak artmaktadır.
- Nanoteknoloji patent başvuruları ağırlıklı olarak Amerika'dan gelmiştir. Bunların ardından da sırasıyla Japonya ve Almanya gelmektedir. Önde gelen iki ülkeden yapılan başvurular (Amerika ve Japonya) tüm başvuruların %70'i kadardır.
- Bir ülkenin kendi vatandaşları tarafından o ülkenin patent ofisine yapılan patent başvuruları, belirli bir patent ofisine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, Japonya Patent Ofisi'ne yapılan başvuruların yaklaşık olarak % 72'si Japonya kaynaklıdır. ABD Patent ve Marka Ofisi'ne yapılan başvuruların ise yaklaşık % 62'si ABD kaynaklıdır.
- Sektöre göre patent başvuruları incelendiğinde, %80'lik bir oranla, en fazla başvurunun şirketler tarafından yapıldığı görülmektedir. Bu durum tüm ülkeler için

geçerlidir. Üniversite başvuruları, ABD, İngiltere, Kanada ve Hollanda'da, yüzde bakımından ikinci sırada gelmektedir. Japonya, Almanya, Fransa ve Güney Kore'de ise ikinci sıradaki oran kamu araştırma kuruluşlarına aittir. Buna göre iki farklı eğilimin varlığından söz edilebilir.

- Nanoteknolojinin uygulandığı alanların ülkeler-arası karşılaştırılması bize, farklı ülkelerin farklı özellikleri olduğunu göstermektedir. Başvuru sayısı bazında ABD tüm nanoteknoloji alanlarında faaldir. Japonya malzeme alanında ABD'ye yakındır, ancak tıp ve doğa bilimlerinde ABD'nin oldukça gerisindedir.

Sonuç olarak, bu incelemede dikkat çekilen bazı noktalar şunlardır. Endüstri-endüstri işbirlikleri, küresel düzeyde yoğunlaşmaktadır ve üniversite kaynaklı teknoloji transferleri de giderek daha fazla ilgi çekmektedir.

Patentlerle ilgili bu veriler teknik bilgi içeriği bakımından bir miktar bilgi sağlıyor olsa da, bunlar illa tüm buluşları ve tüm maddi olmayan değerleri içermek zorunda değildir. Diğer bir deyişle, patent uygulamaları, çeşitli biçimler alabilen teknik bilginin ancak bir yönünü içerir. Teknik bilgi çeşitlerinin bazıları akademik makale biçiminde açıklanmaktayken, başkaları da kurumlarda biriktirilerek teknik bilgi olarak saklanmaktadır. Patentlerin ise önemi ve değeri, endüstri çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle de patentlerin değeri ve doğası önemli ölçüde değişkenlik gösterir ve bunlardaki verilerin de öneminde değişiklik yaratmaktadır. Bunların yanında, patentlerdeki verileri yorumlarken, farklı ülkelerin patent verme sistemi ve politikaları konusuna da (patent başvuru ücreti) dikkat çekmek gerekmektedir (Daisuke K. 2006 ve NRNCJ).

## **6.2. Finansal Destekler**

Nanoteknoloji, dünya çapında yapılan ciddi araştırmalar ve keşiflerle, küresel bir olgudur. Nano-ölçekte çalışabilme kapasitesi gittikçe gelişmektedir. Nanoteknolojiye dayalı temel ürünler geliştirmek üzere kurulmuş olan çeşitli şirket ve girişimler mevcuttur. Uygulamalar da hâlihazırda pazarlara girmiş durumdadır (kütlesel malzemeler, kaplamalar, sensörler) ve diğerlerinin (ilaç-taşıyıcı sistemler, yeni veri depolama sistemleri, yakıt pilleri, nanotüp kompozitler) de “köşeden görünmek” üzere oldukları tahmin edilmektedir. Bu alana hükümetlerden, işletmelerden ve yatırımcılardan önemli miktarda finansman kaynakları akmaktadır(Holister 2002). Bu bölümde, konunun finansman boyutu konusunda fikir vermeye çalışacağız.

**Tablo 6.3: 2001'den 2002'ye Kadar ABD Ulusal Nanoteknoloji Girişiminin Harcamaları (Tüm Veriler Milyon Dolar Olarak Alınacaktır)**

|   | <b>2001<br/>Gerçek</b> | <b>2002<br/>Hesaplanan</b> | <b>2003<br/>İleri sürülen</b> | <b>Değişim:<br/>2002–<br/>2003</b> | <b>Değişim Oranı<br/>2002– 2003</b> |
|---|------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Ulusal Bilim Vakfı                      | 150                    | 199                        | 221                           | 22                                 | %11                                 |
| Savunma                                 | 125                    | 180                        | 201                           | 21                                 | %12                                 |
| Enerji                                  | 88                     | 91                         | 139                           | 48                                 | %53                                 |
| Ticaret                                 | 33                     | 38                         | 44                            | 6                                  | %16                                 |
| Ulusal Sağlık Enstitüleri               | 40                     | 41                         | 43                            | 2                                  | %6                                  |
| Uluslar arası Havacılık ve Uzay İdaresi | 22                     | 22                         | 22                            | 0                                  | %0                                  |
| Çevre Koruma Kurumu                     | 5                      | 5                          | 5                             | 0                                  | %0                                  |
| Ulaşım Bakanlığı                        | 0                      | 2                          | 2                             | 0                                  | %0                                  |
| Adalet Bakanlığı                        | 1                      | 1                          | 1                             | 0                                  | %0                                  |
| <b>Toplam</b>                           | <b>464</b>             | <b>579</b>                 | <b>679</b>                    | <b>100</b>                         | <b>%17</b>                          |

Kaynak: Holister, 2002

Nanoteknoloji dünyasıyla ilgili olan istatistiklerle uğraşırken her zaman dikkatli olunmalıdır, zira nanoteknolojinin sınırlarının tanımlanması kolay değildir. Birçok teknoloji ve bilimsel araştırma alanı –özellikle biyolojik bilim ve biyoteknoloji- nanoteknoloji olarak yeniden sınıflandırılacak gibi gözükmektedir. Aslında bu mantıklıdır, çünkü bu konu çok-disiplinlidir ve sinerjiler yaratmaktadır. Teknolojiler olgunlaştıkça, şimdiki genişliğiyle nanoteknoloji terimi muhtemelen fazla genel bulunacaktır ve teknolojilerin tek kanat altındaki mevcut gruplandırılması da değişecektir.

Son üç yılda, mali destekler eşi görülmemiş derecede artmıştır.2002 mali yılı için ABD hükümeti, nanoteknoloji araştırması için 519 milyon \$ önermiştir ve Kongre tarafından yasalaştırılan bütçe de 604 milyon \$'dır. 2001 yılından beri önemli bir artış olmuştur; 497 milyon \$ önerilmiş, 422 milyon \$ ise kabul edilmiştir. 2003 yılında önerilen

miktar 710 milyon \$ olmuştur (ortak programlar için, 679 milyon \$'a ekstra 31 milyon \$ eklenmiştir) (Holister 2002).

Avrupa'da 2002–2006 dönemi için, nanoteknolojiye, yeni malzemelere ve üretim proseslerine 1,3 milyar Avro tahsis edilmiştir. Avrupa kaynaklı Çerçeve Programı verileri bazen karışık ve çelişkilidir; bunun sebebi bir bakıma, nanoteknolojinin desteklendiği bazı yolların, öyle değilmiş gibi gözükmesine sebep olmasıdır. Tablo 6.4'de AB ve tek tek AB ülkelerinin en son ulaşılabilir harcamaları verilmiştir.

**Tablo 6.4: Avrupa Nanobilim ve Nanoteknoloji Harcamaları (Tüm veriler Milyon Avro olarak alınacaktır)**

| Ülke             | 1997         | 1998         | 1999         | 2000         |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Avusturya        | 1.9          | 2.0          | 2.2          | 2.5          |
| Belçika          | 0.9          | 1.0          | 1.1          | 1.5          |
| Danimarka        | -            | 1.9          | 2.0          | 2.0          |
| Finlandiya       | 2.5          | 4.1          | 3.7          | 4.6          |
| Fransa           | 10.0         | 12.0         | 18.0         | 19.0         |
| Almanya          | 47.0         | 49.0         | 58.0         | 63.0         |
| Yunanistan       | 0.2          | 0.2          | 0.2          | 0.4          |
| İrlanda          | 0.4          | 0.4          | 0.5          | 3.5          |
| İtalya           | 1.7          | 2.6          | 4.4          | 6.3          |
| Hollanda         | 4.3          | 4.7          | 6.2          | 6.9          |
| Portekiz         | 0.2          | 0.2          | 0.3          | 0.4          |
| İspanya          | 0.3          | 0.3          | 0.4          | 0.4          |
| İsveç            | 2.2          | 3.4          | 5.6          | 5.8          |
| İngiltere        | 32.0         | 32.0         | 35.0         | 39.0         |
| Avrupa Komisyonu | 23.0         | 26.0         | 27.0         | 29.0         |
| <b>Toplam</b>    | <b>126.6</b> | <b>139.8</b> | <b>164.7</b> | <b>184.0</b> |

Kaynak: EC IST Programme, Future and Emerging Technologies, Technology Roadmap For Electronics, Holister 2002

Uzak Doğuda yapılan harcamalar da oldukça etkilidir (Tablo 6.5). Başlangıçta Çin'e ait veri fazla yüksek gözükmemektedir. Ancak kabul etmemiz gerekir ki Çin'de bu miktar ABD, Avrupa ya da Japonya'dan daha fazlasını satın alabilecek miktardadır. Bu şekilde düşünülerek ayarlama yapılırsa, Çin'e ait veri muhtemelen 1 milyar \$'a yakın bir miktardadır.

**Tablo 6.5: Uzak Doğuda Hükümet Nanoteknoloji Harcamaları, 2002 (Milyon Avro)**

|          |      |
|----------|------|
| Japonya  | 650  |
| Çin      | 250  |
| Tayvan   | 150  |
| Kore     | 150  |
| Singapur | 40   |
| Toplam   | 1240 |

Kaynak: Holister, 2002

Toplamda, bakılacak olursa, nanoteknoloji için dünya çapında hükümet harcamaları artık 2 Milyar \$'ın üzerine çıkmıştır.

Üniversitelerdeki nanobilim araştırma ve geliştirme, son birkaç yılda önemli ölçüde yoğunlaşmıştır. ABD'nin önde gelen okullarından Rice, Harvard, MIT ve Cornell gibi üniversitelerde, artık öğrenciler için nanobilim alanında henüz lisans aşamasında uzmanlaşmak mümkündür. Washington Üniversitesi'nde ise nanoteknoloji alanında doktora programı vardır. İngiltere'deki Cranfield Üniversitesi ve Leeds Üniversitesi, nanobilim ve nanoteknoloji alanında bilim yüksek lisansı (master) derecesi önermektedir. Avustralya'da Flinders Üniversitesi ve New South Wales Üniversitesi'nde bilim lisansı derecesi verilmektedir. ABD Ulusal Nanoteknoloji Girişimi'nin başlatılmasından sonra, yalnızca ABD'de otuzdan fazla üniversite nanoteknoloji araştırma merkezlerinin kurulmasına yönelik planlarını açıklamışlardır. Benzer heyecanlar, dünya akademik topluluğu arasında da yaşanmaktadır.



**Tablo 6.6: Kâr Amacı Gütmeyen Bazı Nanoteknoloji Kuruluşları**

- Avrupa Nano-İşletme Kuruluşu
- Nanoteknoloji Enstitüsü (İngiltere)
- Nano-İşletme Birliği (ABD)
- Kanada Nano-İşletme Birliği
- NanoSIG
- Beckman Enstitüsü (ABD)
- Nano-uzay Teknolojileri Merkezi (ABD)
- Öngörü Enstitüsü (ABD)
- Moleküler İmalat Enstitüsü (ABD)
- Michigan Moleküler Enstitüsü (ABD)

Kaynak: Holister, 2002

Risk sermaye şirketlerinin de ilgisi giderek artmaktadır. 2002 yılının ilk yarısında ABD ve Avrupa'da 20'den fazla nanoteknoloji yatırımı gerçekleşmiş ve yalnızca ABD'de, yine 2002 yılının ilk yarısında 100 milyon \$'dan daha fazla yatırım yapılmıştır. IBM, Motorola, Hewlett Packard, Lucent, Hitachi, Mitsubishi, NEC, Corning, Dow Kimya ve 3M gibi dünyanın bazı en büyük şirketleri, kendi risk sermayesi kaynakları yoluyla ya da kendi ARGE'lerinin doğrudan bir sonucu olarak, önemli nanoteknoloji girişimleri başlatmışlardır.

Bazı en büyük ARGE yatırımcıları, uzun dönem araştırma bütçelerinin yarısını nanoteknolojiye yatırmaktadır. Başlangıçta ilgi en fazla girişim planlama aşamasındaki kaynak sağlayıcılar arasında görülmekteyken, artık birçok yatırım bankası da alanla ilgilenmeye başlamış ve bazı kuruluşlar da nanoteknoloji sermayeleri yaratmışlardır.

Her ne kadar girişim sermayeleri paranın bağışlanması söz konusu olduğunda sağlıklı bir ihtiyat gösteriyor olsalar da, yatırım topluluğunun ilgisi nanoteknolojinin yaratacağı olası kazançlar hakkındaki kulağa etkileyici gelen bazı iddialar sayesinde ateşlenmiştir. ABD Ulusal Bilim Vakfı, nanoteknoloji ürünleri ve hizmetlerinin toplam pazarının 2015 yılına kadar 1 trilyon \$'a erişeceğini hesaplamaktadır ve var olanla tahmin edilen pazar boyutları arasında muazzam farklılıklar da görülmüştür. Bunlar genellikle yetersiz olarak sunulmaktadır ve bazı verilerin büyüklüğü, bunların nanoteknolojiden etkilenmiş olan herhangi bir endüstrinin kazançlarını da içerdiklerini düşündürmektedir.

Bu endüstrilerin kazançlarını, nanoteknoloji kazancı olarak saymak yanıltıcıdır. Büyük yarıiletken endüstrisi nano-ölçek seviyesine geçiş yapmaktadır. Sektördeki şirketler de bazen kendilerini nanoteknoloji şirketi olarak öne çıkarmaktadırlar. Yarıiletkenler endüstrisinin kazançları göz önüne alındığında nanoteknolojiyle ilgili veriler birilerinin işine yaramayacak bilgiler üreteceğinden, örneğin nanotüp üreticilerinininki gibi katıksız nanoteknoloji kazançlarını, nanoteknolojinin var olan endüstrilere olan katkısından ayıracak olan daha sofistike bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir süreden beri, bir kısım kar-amacı gütmeyen ve nanoteknolojinin geliştirilmesi konusuna odaklanmış olan kuruluşlar da bulunmaktadır. Bazıları ise daha yeni yeni ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar bunların çoğu temelde bilim temelli olsalar da, Avrupa'da şu anda 86 tane nanoteknoloji ağı bulunmaktadır.

Girişim sermayesinin nanoteknolojiye olan yatırımları, 2005 yılında büyük bir miktarda artış göstermiştir. Kurumsal yatırım sermayedarları nanoteknolojik girişim başarılarına 480 milyon dolar ayırmışlardır. 2004 yılında bu miktar kabaca 410 milyon \$ olmuştur. Ancak, New York'taki "Lux Araştırma" nanoteknoloji analiz firmasında araştırma yardımcı müdürü olan Matthew Nordan'ın da dediği gibi, toplam nanoteknoloji yatırımlarına bakıldığında, girişim sermayesi halen "okyanusta bir su damlası" gibi kalmaktadır. Nordan, bunun sebebini, nanoteknolojinin girişim sermayesi yatırımı için hala riskli olduğu şeklinde açıklamıştır.

New York'taki Harris & Harris Grubu gibi girişim sermayesi firmaları ve Intel gibi şirketlerdeki tüzel girişim sermayesi gibi kollar, nanoteknolojinin laboratuardan pazara taşınmasında kritik rol oynamaktadır. Nanoteknoloji girişim sermayesi 1995 yılından beri aralıksız olarak devam ettiyse de, Nordan'a göre yine de tüzel ARGE harcamaları ve hükümet finansmanı tarafından 19 kat daha geride kalmıştır.

Nanoteknolojide girişim sermayesinin gelişimini göstermek amacıyla Lux Araştırma, 1995 yılından beri nanoteknoloji alanında gerçekleşen tüm girişim sermayesi yatırımlarını bir veritabanında toplamıştır. Bu veritabanı 258 yatırım, 143 şirket ve 13 ülkenin verilerinden hazırlanmıştır. Veriler, alenen duyurulan işlemlerle ve firmanın kaynak ağında duyurulan anlaşmalarla toplanmıştır. Ayrıca, önde gelen 28 girişim sermayesi firmasındaki ortaklarla da, deneyimleri ve beklentileri konusunda görüşmeler yapmışlardır (Physborg, 2006).

İncelenen 143 Őirketten 118'i halen iŐlemektedir, 12'si ise ya tehlikededir ya da iŐlememektedir. Yalnızca 13 sermaye-destekli girişim “çıkış bulabilmiŐ” – yani kamuya açılabilmiŐ ya da gerçekteŐirilmiiŐtir. Bu çıkıŐlardan bazıları başarılı olmuştur. Kanseri ve diŐer nadir hücreleri izole etmek için manyetik nanoparçacıklar uygulayan Huntington Valley, Pa.-based Immunicon bu firmalara örnek gösterilebilir.. Immunicon Nisan 2004'de, girişim sermayesine 86 milyon \$ ayırdıktan sonra 182 milyon \$'lık bir piyasa deŐeriyle kamuya açılmıŐtır. Bunun yanında bazı çıkıŐlar başarılı olmamıştır. Doğa bilimleri alanı devlerinden Invitrogen of Carlsbad, Calif., Kuantum Noktası Őirketini, girişimin 40 milyon \$'lık girişim finansmanı esnasında “yanmasından” sonra, 2005 yılında 26 milyon \$'a satın almıştır.

Şimdiye kadar nanoteknoloji giriŐimlerinin yalnızca %9'unun çıkış bulabilmiŐ olması, girişim sermayedarlarını nanoteknolojiye yatırım yapma konusunda isteksiz hale getirmiştir. Nordan'a göre girişim sermayedarlarının görevi, fonlarına para yatıranların yararına riskleri idare etmektir. Riski en aza indirmenin en iyi yolu da, daha önce başarılı olmuş örnekleri uygulamaktır. Ancak girişim sermayedarlarının rehber olarak kullanılabileceği çok fazla örnek de bulunmamaktadır.

Lux Araştırma'nın görüŐtüĐü ve nanoteknolojiye yatırım yapan girişim sermayedarları, yatırımın çıkıŐa ulaŐmasının ortalama zamanını 6 yıl olarak tahmin etmişlerdir. Yine Nordan'a göre, çoğu nanoteknoloji yatırımı geçtiğimiz 3 yılda gerçekteŐtiĐinden, henüz nanoteknoloji girişim sermayeciliğinin baŐarısı ya da baŐarısızlıĐına kanaat getirmek için çok erkendir.

Bundan sonraki üç yıl içinde, nanoteknoloji giriŐimlerinin ne ölçüde çıkıŐa ulaŐabildikleri, nanoteknoloji girişim finansmanının yükselme ya da düşüŐünü belirleyecektir. Lux Araştırma, her biri ileri aşamalarında olan ve kazanç olarak çift haneli milyonlar elde eden bir ya da daha fazla Şirketin bir yılda çıkıŐa ulaŐabileceĐini hesaplamaktadır (Physborg, 2006).

### **6.3. Politikalar**

21. yüzyılda dünyadaki tüm hükümetler, yenilik ve ekonomik refah için bir anahtar teknoloji olarak nanoteknoloji potansiyelinin öneminin farkına varmıŐlardır. Nanoteknoloji, uluslararası etkileŐimlerin bilim, eğitim ve endüstriyel ARGE'de ivmelenerek art-

tığı bir ortamda büyümeye devam etmektedir. Katkıda bulunan ülkelerin programlarını, meslek gruplarını ve uluslararası kuruluşları birleştirerek, karşılıklı kazanç sağlamak için global bir strateji planlanmaktadır. Her ne kadar nanoteknoloji alanında, uluslararası düzeyde finansman politikalarının adapte edilmesi bir ölçüde gerçekleşmişse de, halen bazı farklı yaklaşımlar ve stratejiler bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. ABD, Japonya ve Almanya gibi lider ekonomik uluslar, nanoteknoloji ve nanobilimin kapsam aralığını tamamen kaplayan araştırma programları kurmuşlardır. Daha küçük devletler ise genellikle alt konulara odaklanmışlardır. Bunlara örnek olarak, nanoelektronik hafıza çipleri alanında yoğunlaşmış araştırma çabalarıyla Güney Kore ya da nanoölçekli fotonikleri devlet yatırım odağı olarak belirlemiş olan Avustralya gibi ülkeler sayılabilir.
2. Japonya, Güney Kore, Çin ya da İsviçre gibi bazı ülkeler, ABD Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi'ne benzer olarak, ulusal düzeyde koordinasyon büroları oluşturmuşlardır. Almanya, Fransa gibi başka ülkelerin ise daha bağımsız, çok yollu yaklaşımları bulunmaktadır.

Uluslararası aktiviteler ve anlaşmaların önemi gittikçe artmıştır. Bunlara örnek olarak, ABD Ulusal Bilim Vakfı ve Avrupa Topluluğu (AB), Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği, Rusya ve Çin, New York ve Quebec arasındaki anlaşmalar gösterilebilir. Örneğin, NSF ve Avrupa Topluluğu, periyodik çalıştaylar “Nanoölçekte İmalat”, “Nanoteknolojinin Devrim Niteliğindeki Fırsatları ve Toplumsal Uzantılar”, “Ölçüm ve İmalat için Gereçler”, “Malzemeler” olmak üzere 2002 yılında dört adet çalıştay gerçekleştirmişlerdir ve teklifler için ortak taleplere finansman sağlamışlardır. Japonya, Tayvan ve birkaç diğer ülke de, en verimli imalat alanı olarak nanoölçeğe ve enstrümayonla standartların geliştirilmesine yoğunlaşmaya ve yeni endüstriyel ortaklıklar kurmaya başlamışlardır. Bunlara ek olarak, gelecekteki emekçilerin eğitimi de ABD, Avrupa Birliği, Güney Kore ve Kanada için odak alanı haline gelmiştir (Luther, W. 2004).

### **Araştırma ve Geliştirme**

Araştırma ve geliştirme faaliyetleri bakımından, aşağıdakiler, nanoteknoloji düzeyinde uluslararası çaptaki en önemli tematik alanlar olarak görülebilir:

- Nanoyapılı Malzemeler
- Nanoelektronik
- Nanofotonik
- Nanobiyoteknoloji
- Nanoanalitik

Her ne kadar nanoteknolojiyle ilgili ulusal ARGE stratejileri arasında bazı farklılıklar olsa da, neredeyse tüm ülkelerde en önemlileri olarak görülen bazı anahtar noktalar bulunmaktadır:

- Kamu-araştırma olanaklarını, üniversiteleri ve ticari şirketleri kapsayan ağlar ve ortaklıklar kurmak,
- Yenilik ve teknolojik gelişmenin hızlandırılması için üst-düzey araştırma merkezleri kurmak,
- Enstrümantasyon ve standartların geliştirilmesi,
- Disiplinler-arası çalışma ve araştırmaları desteklemek,
- Uluslararası işbirliğini teşvik etmek.

### **Yenilik Politikaları**

Gelecek ARGE sonuçları malzemelerin ve aygıtların üretim yollarını özlü bir şekilde değiştirecektir. Daha hafif, daha güçlü ve programlanabilir olan ve daha düşük kusur oranları sayesinde de daha düşük yaşam-döngüsü maliyeti olan malzemeler, çevreye zararlı olmayan ve çalıştırılmak için daha az güce ihtiyaç duyan bileşenler anlamına gelmektedir. Eğer yeni ürünler tüketicilerin ihtiyaçlarını ve arzularını tatmin edecek ve pazara da doğru zamanda gireceklerse, nanoteknoloji yeniliğini yönetmek için yeni bir yaklaşım gerekmektedir (Bachmann 2000 ve Luther, W. 2004):

- Disiplinler-arası yaklaşımlar, farklı bir ARGE stratejisi ve şirketlerde, enstitülerde, üniversitelerde ve finansman ajanslarında yeni bir bilim yönetimi şekli gerektirmektedir. Çalışmaların kopyalanmasının ya da tekrar edilmesinin engellenmesi için, disiplinlerin ve ülkeler arasında araştırma programlarının daha güçlü koordinasyonu-

na ihtiyaç vardır. Nanoteknoloji alanında ARGE, büyük ölçüde uzmanlık birikimiyle tanımlanabilir ve çapraz olarak verimin artırılması da devrim niteliğinde yenilik olanağı sunmaktadır. Avrupa'nın yüksek bir endüstri yoğunluğu ve yeni alanları desteklemeye gönüllü olan birçok ileri-teknoloji şirketi bulunmaktadır. Disiplinler-arası bir yaklaşım, büyük pazar potansiyeli olan alanlara bağlı araştırma konularıyla ağlar oluşturarak desteklenebilir.

- “Yenilik”, “araştırma” ve “geliştirme” proseslerinin ayırt edilmeleri gerekmektedir. Çoğunlukla yenilikler önceden görülemez. Ancak geliştirme süreci, görevlerin ayrıntılı olarak belirlendiği ağlar oluşturmak üzere düzenlenebilir. Bazı konular temel sorunlarla (örneğin, korozyon dayanırlığı olan malzemelerin geliştirilmesi), bazıları endüstrideki ihtiyaçlarla (örneğin, entegre devreler için gelecek litografi teknikleri), bazıları ise toplumla (örneğin, çevresel sorunlar) ilgilidir. Tüm bunlar, ilk sonuçları bulmak amacıyla bir araştırma yarışına yol açar. Geliştirilmiş her uygulama pazarda yer bulamaz. Yeni buluş ve yeniliklerin neredeyse her gün ortaya çıktığı nanoteknoloji gibi yeni ortaya çıkmakta olan teknolojilerde, esnek stratejilere olan ihtiyaç açıktır. Araştırma ve yenilik fazlasıyla kişilere dayalı olsa da, endüstriyel gelişmeler temel olarak ağlar içerisinde gerçekleştirilmektedir. Her iki bileşen de finansman ve altyapı desteğine ihtiyaç duymaktadır. Buluşları yapan kişiler, gelecek için önemli olan fikirlerin gerçekleştirilmesinde hızlı ve pratik yardıma ihtiyaç duyarken, şirketler de araştırma neticelerini ürünlere dönüştürmek için ehil disiplinler-arası ağlara ihtiyaç duyar.
- Yenilik yönetimi; zaman aralıklarını, maliyetleri ve riskleri, ürün ticarileştirilmesinde erken bir aşamada belirlemek demektir. Bu ihtiyaçlar hem yatay olarak (farklı dallar ve disiplinler) hem de dikey olarak (verim zinciri boyunca: eğitim – araştırma – geliştirme – üretim – ticarileştirme) düzenlenmelidir. Bilimsel bileşenlerin ve Avrupa'yla ulusal finansman ajanslarının rollerinin yanında, ayrıca endüstriyel yenilik departmanlarının erken katılımı, başkent temsilcileri ve bölgesel karar mercilerinin teşebbüsleri de önemlidir. Ağ ortakları arasında yoğun bir iletişim, periyodik olarak düzenlenen tartışma ve konferanslar, kaynakların (hesaplama merkezleri, veri tabanları, pahalı donanımlar) umumi kullanıma açık olması ve detaylı görevler için şebekeleşmiş bir yaklaşımın varlığı gereklidir. Bu şekilde ağ, Avrupa'daki ileri-teknoloji iş alanları oluşturmaya ve bunların güvenilirliğini sağlamaya yardımcı olacak gerçek bir yetki merkezi haline gelebilecektir.

- Nanoölçekte bilim ve teknoloji konusunda daha fazla toplumsal tartışma sağlamak için artmakta olan çağrılar incelenebilir. Nanobilime ve endüstriye yapılan ve hızla artan yatırımlarla, oldukça kısıtlı olan araştırmalar arasındaki uçurum nedeniyle ve yeni nanoteknolojilerin sosyal ve etik içerikleriyle ilgili tartışmalar konusunda şikâyetler vardır. Toplumun göz ardı etmek öncelikle eleştiri riski yaratabilir ve daha sonra da itibar ve ticaret olasılıklarında zedelenmelere neden olabilir. Nükleer teknoloji, genetik manipülasyona uğratılmış gıdalar ya da “deli dana hastalığı” gibi konulardaki tartışma ve anlaşmazlıklar, toplumun, karmaşık bilimsel sorunlarla mücadele eden denetimci organlara olan güveninin sarsılmasına örneklerdir. Bilhassa ABD’de, özellikle nanoteknoloji alanındaki katılımcı yöntemler, Aralık 2003’te kabul edilmiş olan federal kanun sonucunda ileride daha da fazla uygulanacaktır. Bu anlamda nanoteknolojide katılım, yalnızca bilgilendirme ya da devlet faaliyetleri konusunda danışma hizmeti vermeye kısıtlı değildir; araştırmacıların, mühendislerin ve genel anlamda vatandaşların, teknolojik gelişme sürecinde rol almaları için gerekli olan yetkilendirmenin yollarını da içermektedir (Bruns, B. 2003 ve Luther, W. 2004).

## **Eğitim**

Nanoteknoloji; fizik, kimya, biyoloji, mühendislik, bilişim teknolojisi, metroloji ve bunlar gibi nanoteknolojik araştırma ve ürün geliştirilmeyle uğraşan ilgili alanlarda çalışan biliminsanlarını biraraya getiren çok-disiplinli bir alandır. Yeterlilik gereklerini erken bir aşamada belirlemek ve nanoteknolojinin ticari potansiyelinden yararlanmak için gerekli olan becerileri geliştirmek, birçok ülkede önemli bir tavır olarak belirlenmiştir. Başta ABD olmak üzere bazı ülkeler, bu gereklilikleri sağlayabilmek için çeşitli faaliyetlere girişmişlerdir. Ancak şimdiye kadar, nanoteknolojiyle ilgili üniversite müfredatını da uyarlamış olan yalnızca birkaç yaklaşım bulunabilir. Günümüzde, her ne kadar önemli sayıda araştırma üniversitesi bu alanda kurs veriyor olsa da, nanoteknoloji alanında diploma sağlamakta olan çok az sayıda üniversite bulunmaktadır. Birçok üniversite, disiplinlerarası merkezlerde lisans deneyimi sunmaktadır. Ayrıca Almanya, İsviçre ve Danimarka gibi ülkelerde, nanoteknoloji diplomaları ve programlarına yönelik yaklaşımlar mevcuttur. Her ne kadar nanoteknoloji alanında eğitim vermenin önemi tartışılmayacak kadar büyük olsa da, hangi yaklaşımın gelecek için iyi eğitilmiş çalışanlar ve öğrenciler sağlamak üzere en uygun olduğu konusunda anlaşmazlıklar vardır. Endüstri taraflarında, iyi bir nanoteknoloji uzmanının bu alanda çok derin bir bilgisi olması gerektiği ve bunun yanında da diğer disiplinlerden insanlarla konuşabilme ye-



tisine de sahip olması gerektiği sıkça tartışılmaktadır. Nanoteknoloji, disiplinlerarası ve çok-disiplinli bir alan olmasına rağmen, öğrencilerin fazlasıyla geniş bir eğitim almaları, fakat bu alanlardan herhangi birinde yeterli ve önemli katkılar sağlamaya yetmeyecek kadar da yetersiz bilgiyle donatılmış bir şekilde mezun olmaları konusunda endişeler vardır (Luther, W. 2004).

### **Toplumsal ve Çevresel Konular**

Birkaç yıldan beri ABD ve bazı Avrupa ülkelerinde, toplumsal katılımı ilgili araştırmaların, nanoteknolojiden daha kısa sürede, daha iyi ve daha fazla güvenle yararlanmak için gerekli oldukları anlaşılmıştır. Ayrıca nanoteknolojiyle toplum arasındaki etkileşimlerle ilgili yeterli teknik araştırmalar spekülasyon yanıtmacaları susturmak ve kimi zaman bilimsel gelişmelere eşlik edebilen asılsız korkuların bazılarını gidermek için yardımcı olacaktır.

Şimdiye kadar, nanoteknolojinin üretilmesi ve kullanımının potansiyel çevresel ve sağlık etkileriyle ilgili araştırmaların durumu tatmin edici değildir. Acil olarak çok daha yoğun araştırma çabalarına ihtiyaç vardır, zira çevre ve sağlık sonuçlarıyla ilgili bilgi eksikliği, nanoteknolojilerin pazara girmelerine engel olabilir. Şu ana kadar tespit edilmiş olan, toplum ve çevre üzerindeki olası etkiler aşağıdaki gibi özetlenebilir (TAB 2003 ve Luther, W. 2004):

- A. Nanoteknolojinin çevreye olan olumlu etkileri; malzeme kaynaklarının korunması, kirletici yan-ürün hacimlerindeki azalma, enerji korunmasında artan verimlilik, daha az enerji tüketimi ve çevreden kirleticilerin uzaklaştırılması gibi sonuçlar olarak ortaya çıkabilir.
- B. İnsan sağlığı ve çevre için olası zararlar, bugünlerde sıkça yayınlar ve gazete makalelerine konu edilen nanoparçacık ve nanomalzemelerin kontrolüz salınımı sonucunda meydana gelebilir. Nanoparçacıkların solunum yoluyla alınmalarının olası olumsuz etkileri, şimdiye kadar, ultra-ince parçacıkların etkileriyle ilgili mevcut çalışmaların sonuçlarıyla olan benzerliklere dayandırılmıştır. Ayrıca insan vücuduna giriş için başka olası yollar da mevcuttur: bunlar deri yoluyla giriş, mide yoluyla alım ya da nanoparçacık bazlı ilaçların tıbbi uygulaması olabilir. İnsan vücudu halihazırda, gıda ve kozmetikler (örneğin boyalar, UV filtreleri) yoluyla nanoparçacıklarla geniş temas halindedir. Ancak, nanopar-



çacıklarla yönlendirilen aktif bileşenlerin farmakokinetikeri konusundaki bilgi halen “çocukluk” evresindedir. Ayrıca, nanoparçacıkların nasıl dağıldıkları ve bunların çevreye olan etkileri, özellikle de uzun dönemli sonuçları konusunda hemen hemen hiçbir bilgiye sahip değiliz. Özellikle fullerenler ya da nanotüpler gibi doğada var olmayan ve yeni malzemeler grubunu oluşturan malzemeler dikkate değerdir.

- C. Bu güne kadar, uygulamalı felsefe ve etik alanlarında nanoteknolojiye çok az ilgi gösterilmiştir. Nanoteknolojiyle ilgili hayallerimizde sürekli, insanı insan yapanla, insanların teknolojik başarılar ve uygulamalar sayesinde yaratabilecekleri arasındaki sınırları kaldıran görüntüler görmekteyiz. Bu tür görüntüler, örneğin insan vücudunun biyolojik bileşenlerini nanoteknolojik bileşenlerle desteklemek ya da bu bileşenleri vücut bileşenlerinin yerine koymak ve insan vücudunu dışardan makinelerle ya da diğer bedenlerle ya da beden bileşenleriyle ağ haline getirmek girişimleriyle, insan vücudunun içine girilmesi ve modifikasyonu ile ilgilidir. Çeşitli teknolojilerin gittikçe yakınsamaları, yalnızca teknolojik ilerlemeyle ilgili umutları değil, aynı zamanda bunun sonuçlarıyla ilgili endişeleri de güçlendirir. Nanoteknolojideki ilerlemeler; etik ve insanlarla makineler ve doğayla teknoloji arasında değişmekte olan ilişkiyle ilgili konuların sorgulanmasını da gerektirmektedir.
- D. Nanoteknolojinin kullanımıyla ilgili diğer olası toplumsal sonuçlar, nanoteknolojinin “meyvelerinin” dağıtım ve adil kullanımıyla ilgili sorunlardır. Fırsatların dağıtımıyla ilgili sorular en az iki şekilde acil hale gelebilir: Bu, ilk olarak, teknolojik yönden daha fazla gelişmiş olan toplumlarda, ikinci olarak da daha az gelişmiş toplumlarda gerçekleşebilir. Bunların arasındaki olası “nano-bölünme”yle ilgili endişeler, nanoteknolojinin bireysel özerklik (örneğin sağlık bakımı sektöründe) için hem yeni ve hem de genişletilmiş olanaklara ve ekonomilerin rekabetçiliğinde dikkate değer gelişmelere katkıda bulunabileceği beklentisine dayanır. Politik tedbirler fırsat eşitliğini ve sürdürülebilir küresel gelişmeyi destekleyebilir. Örneğin yeni tıbbi tanılarda hasta verilerinin korunması ve izlenmesi konusunda olumsuz sonuçlar gibi zararları önlemek anlamında, başka politik sorumluluklar da vardır.
- E. Nanoteknoloji sayesinde önemli ilerlemelerin beklendiği bir diğer alan da askeri uygulamalardır. Nanoteknolojinin daha da fazla gelişmesi, büyük bir ihtimalle güvenlik politikalarında daha fazla eylem ihtiyacı doğuracaktır. Her ne kadar

bilimsel tartışmada ortaya çıkan güvenlik sorunlarından bazıları (örneğin kendini kopya edebilen robotlar) daha az acil gibi görünüyor olsa da, muhtemelen gelecekte nanoteknolojik askeri araştırma ve gelişmelerdeki ilerlemelerin sonucunda, güvenlik ve silahlanma kontrolü için artan miktarda çağrılar olacaktır (Luther, W. 2004).

## **Nanoteknoloji Ekonomisinde Fikri Mülkiyet Politikaları ve Hakları**

Fikri mülkiyet (IP) hakları, bugünün teknoloji-güdümlü yüzyılında zaruridir. Stratejik IP portföyü oluşturmak, hem ofansif hem de defansif görüş açısına göre ekonomik olarak önemlidir. Aşağıda, fikri mülkiyet haklarının uygulanabileceği nanoteknolojideki alanlar sunulmaktadır. Ayrıca, nanoteknolojide IP haklarının edinimindeki bazı zorlu konular da verilmektedir (Bastani, B.).

Fikri mülkiyeti korumanın değeri ve stratejik önemi abartılı olamaz. ABD tarihinde en pahalıya mal olan ARGE örnek muhtemelen 1970'erde başlayan ve 1990'larda çözüme kavuşan, Eastman Kodak'la Polaroid'in arasında geçen meseledir. Polaroid tarafından tutulmakta olan yedi patent, tamamı 3 milyon dolardan daha fazla masrafa neden olan ihlal zararları, tazminat ve hukuki işlem ücretleri, araştırma ve üretim maliyetlerine neden olarak, Kodak'ın hızlı fotoğraf ticaretinin tamamen imha olmasına yol açmıştır (Rivette, K. G. ve diğerleri, 2000 ve Bastani, B.).

Daha yakın bir zamanda, 1990 ve 1997 arasında, Genentech şirketi aleyhine, şirketin Protropin<sup>R</sup> büyüme hormonu üretim ve satışları nedeniyle, patent ihlali davası açmıştır. Kasım 1999'da, Genentech tarafından yapılacak 200 milyon \$ ödemeye sonuçlanan bir uzlaşma anlaşması yapılmıştır (Bastani, B.).

Microsoft, DEC, IBM, Stac Elektronik ve Apple'la yapmış olduğu yarım milyar \$ maliyete varan patent talebi anlaşmalarıyla şimdiye kadar binden fazla patentin sahibi olmuştur; bu rakam 12 yıl önce şirketin sahip olduğu patentlerin 250 kat fazlasıdır (Kline, D. 2000 ve Bastani, B.). Perkin-Elmer 1976 yılında 160 patente sahipti; günümüzde ise yedi binden fazla patentin sahibidir; bu, 45 kat artışa denktir (Bastani, B.).

Açıkça görülmektedir ki, IP haklarını uygulamada hem ofansif-saldırı hem de defansif-korumacı stratejiler uygulanabilmektedir. Etkili bir IP portföy oluşturmanın makul maliyetlerinin yanında, patent uyuşmazlıkların çözümünde karşılaşılan masraflar ol-

dukça büyüktür. David ve Goliath'ın tarihi anlaşmazlığı da hatırlanmasıyla, fikri mülkiyetin korunmasının olağanüstü gücünü gözden kaçırmak mümkün değildir.

Aşağıda, fikri mülkiyet haklarının özet bir incelemesi ve IP haklarının uygulanabileceği çeşitli nanoteknoloji alanları verilmiştir. Lisanslama ve ticaret anlaşmaları da dâhil olmak üzere, teknoloji transferi burada işlenmemektedir. Bunun yerine, nanoteknoloji bilimiyle ilgili meseleler ve IP haklarının ediniminde karşılaşılan zorluklar sunulmaktadır.

## **Fikri Mülkiyetin Koruma Çeşitleri**

### ***Patentler***

Patentler, fonksiyonel kavram, metotların, cihazların ya da yeni ve yararlı proseslerin korumasını sağlar (5. 35 U.S. Code, Sect. 101, 102, 103 ve Bastani, B.). 1994 yılı Ticarete Bağlantılı Fikri Mülkiyet Hakları Anlaşması (TRIPS Anlaşması); patentlenebilir işleri, yenilikçi bir adım içeren ve endüstriyel uygulama için potansiyeli olan herhangi bir buluş olarak tanımlamaktadır (Results of the Uruguay Round 1999 ve Bastani, B.).

Bunun tersine, toplumsal düzen ya da genel ahlak prensipleriyle örtüşmeyen keşifler, diagnostik ya da terepatik metotlar patentlenemezdir. Nanoteknolojide, patent kanunu ilkelerinin test edildiği durumlarda, keşifler ve buluşlar arasındaki fark bir bakıma bulanık hale gelebilir.

Patentin amacı, buluşun detaylarının kamuya açılması ve öğretilmesi ve bunların karşılığında da buluşu yapanın iyelik hakkıyla ödüllendirilmesi yoluyla, yeniliklerin teşvik edilmesidir. Yasal haklar, bilhassa diğerlerinin buluşu üretmelerini, kullanmalarını, iç piyasaya satmalarını ya da ihraç etmelerini ya da buluşun satışını önermelerini engellemek ve buluş sahibine, buluşunu sermayeleştirmek için ayrıcalıklı haklar tanımak anlamına gelmektedir. İyelik hakları, patentin kayda geçirilmesinin tarihine bağlı olarak, 17–20 sene kadar bir süre boyunca verilmektedir.

Patentler uzun ve masraflı bir süreç sonunda elde edilir. Avrupa, Japonya ve Pasifik'te, “kaydı ilk yaptıran” sistemi geçerlidir. ABD'de ise, “buluşu ilk yapan”, sistemi geçerlidir. Ancak, patent başvuruları ürünün satışının ilk önerisinin yapıldığı ilk senenin içinde yapılmalıdır; aksi halde patentin kaydı geçersiz olmaktadır (Bastani, B.).

## ***Telif Hakları***

Telif hakları, bir fikrin orijinal ifade edilmesini korumaktadır. Telif hakları koruma sağlayarak, orijinal, artistik fikirlerin elle tutulur bir vasıtaya aktarılmasını teşvik etmektedir. Orijinal fikir elle tutulur bir vasıtaya, örneğin bir parça kâğıda ya da dijital depolanmış forma aktarıldığında, yasal koruma derhal gerçekleştirilmektedir.

Telif hakları çok daha ucuzdur ve patentlerden daha elverişli biçimde elde edilmektedirler. Ayrıca sahibin hayatı boyunca artı 50 yıl daha geçerlidirler. Eğer buluş kiralanmak üzere yapılmış bir çalışmaysa, 75/100 yıl gibi daha da uzun geçerlilik süreleri atanmaktadır; örneğin nanoteknoloji endüstrisinde durum genellikle budur (Bastani, B.).

## ***Ticari Sırlar***

Ticari sırlar, işletmeye rekabetçi avantaj kazandıran herhangi bir teknik ya da ticari bilgiyi korumaktadır. Buluşun tamamıyla yeni ya da sıra dışı olması şart değildir, ancak bilinmemesinden kaynaklı potansiyel ekonomik değeri olmalıdır. İfşa Etmeme Anlaşmalarının (NDA) kullanılması bu duruma örnek gösterilebilir. Bilgi kamuya açık hale geldiğinde, ticaret sırrı başlığı altında koruma artık geçerli değildir. Ticari sırlar için koruma elde etmek için yasal bir kayıt prosedürü yoktur (Bastani, B.).

## ***Gizlilik Çalışmaları***

Çip teknolojisinde, çip düzeni orijinal bir devre tasarımı içerdiğinde, bu düzen korunabilir. Maskeleye çalışmaları, çip düzen bilgisinin yetkisiz olarak kopyalanmasına karşı koruma sağlamaktadır. Başvuru nispeten hızlı ve ucuzdur, ancak kayıt etme işlemi ürünün ticarileştirilmesinin ilk iki yılı içerisinde gerçekleştirilmelidir (Bastani, B.).

## ***Ticari Markalar***

Ticari markalar, şirketi, ürünü, hizmeti, adı ya da sembolü korumak üzere kullanılan ayırt edici imza markalarıdır. Ticari marka açıklayıcı ya da jenerik olmamalıdır. Yasal koruma teknoloji için değil, tanınmış olan isim ya da sembolün kullanımıyla ilgili kalite için ve şirketin iyi niyetine yönelik olarak verilmektedir. Ticari markalar, bir bölge ya da ülkede ayrıcalıklı haklar sağlamaktadır ve ticari olarak kullanılmaya devam edildikleri

halde, sonsuza kadar yenilenebilirler. Patentlerle karşılaştırıldıklarında, orta uzunlukta bir vadede elde edilebilirler (genellikle 2 yılın altında) ve tipik olarak başvurulmuş marka başına 5 bin dolara mal olmaktadır (Bastani, B.).

IP hakları belirli federal ve eyalet yasal haklarıyla korunmaktadır. Koruma olmadan, mülkiyet kamu mülküne geçer ve lisanssız olarak herhangi bir şahıs ya da şahıslar tarafından kullanılabilir. Sağlıklı bir yönetim stratejisi, şirketin teknolojisini ve ticari çıkarlarının çeşitli yönlerini korumak amacıyla, farklı IP hakları gözden geçirilerek sistematik olarak bir portföy oluşturmak olmalıdır.

IP hakları şirketin ticari çıkarlarını çeşitli tasarım, üretim ve ürün işletmesi aşamalarında korumaktadır. Tasarım ve geliştirme aşamasında, telif hakları ve ticari sırlar hemen uygulamaya geçirilebilir. Yeni cihazlar ve metotlar bundan sonra patentlenebilir; bu süreç aşağı yukarı 3 sene sürmektedir ve bazı fonlara yatırım yapmayı gerektirmektedir. Ürün ya da hizmet geliştirildiğinde, yayınlanmış olan patentler ve ticari markalar teknolojiyi ve ilgili isimlerle sembolleri korumaktadır.

IP portföyünün kusursuzluğu, açılışlara (işletmeye geçiş) ve bunların yatırımcılarının yararınadır; lisanslama anlaşmaları ise üreticilerin ve müşterilerin yararınadır. IP haklarının stratejik uygulanması lisanslamayla, dava etme ve diğer işletme yollarıyla elde edilebilirken, IP haklarının etkili kazanımı yasal olarak gerçekleştirilmelidir. Telif hakları ve ticari sırlar kolaylıkla elde edilebilirken, patentler, ticari markalar ve maskeleyen çalışmalar başvuran girişimi ve kritik kaydetme zaman sınırı konusunda sorumluluk gerektirmektedir. Genellikle, ilk patentleyen, en kapsamlı patentleri kazanma şansını elde etmektedir (Bastani, B.).

## **Nanoteknolojide Korunabilir Fikri Mülkiyet**

### ***Üretim Yöntemleri:***

Nanoteknoloji üretim alanında, ince molekülleri daha hacimli ve büyük enstrümanlarla işlemenin zorluklarını aşmak için yeni yöntemler ve moleküllerin manipüle eden ağıta bağlanması eğilimi sorununu çözmeye ilgilenen yöntemler, nanoyapıların üretiminde IP koruması için doğru temel adımları oluşturacaktır (Drexler, K. E. ve ark. 2001 ve Bastani, B.).

### ***Bilişim Teknolojileri:***

Algoritmalar da dâhil olmak üzere, simüle edilen sistemin karmaşıklığı ve ölçeğine uygun moleküller-arası kuvvetler dizisini modelleyen teknolojiler, depolama ve moleküler bileşenlerin açıklamaları için özel olarak hazırlanmış veritabanları, ilgili veri sıkıştırma yöntemleri, grafik, sanal gerçeklik, özel olarak nanoteknoloji uzmanlarının ihtiyaçlarını hedefleyen donanım kullanıcı ara-fazları ve benzer özel amaçlı yazılım ve donanım gereçleri patentlerle, telif haklarıyla, ticari markalarla, ticari sırlarla ve maskeleyme çalışmalarıyla korunabilir (Bastani, B.).

### ***Moleküler Elektronik:***

Verimli sentez ve moleküler elektronik bileşenlerinin ucuz seri üretimi, önemli bir gelişim zemini oluşturmaktadır ve IP haklarıyla korunabilir.

### ***Sensörler:***

Bu alanda ihtiyaç duyulan, karbon nanotüpler için ucuz ve yüksek verimli bir üretim metodudur ve yeni sentez metotları IP haklarıyla korunabilir olacaktır. Karbon nanotüplerin sayısal modelleri ve mekaniksel davranışların simülasyonu da patentlerle, telif haklarıyla, ticari markalara ve ticari sırlarla korunabilecek olan diğer bir aktif alandır.

### ***Hava-Uzay:***

Fullerenlerin üstün gücü ve düşük moleküler ağırlıkları, yörüngeye fırlatmanın maliyetini büyük miktarda azaltarak, uzay yolculuğunun kapılarının açılmasına neden olabilir. Hava-uzay uygulamalarındaki, yüksek sıcaklıklar, ekstrem basınçlar, şiddetli vakum, yüksek radyasyon vs nedeniyle, ısıya-dayanıklı polimerler ve diğer malzemeler, uzayda dayanıklı olabilecek kimyaya dayalı minyatür bilgisayarlar ve moleküler makineler ve uzay koşullarıyla uyumlu düzenlenme metotlarının geliştirilmesi, ayrıca da bu tür aygıtlar ve malzemelerin uzayda işletilmeleri için yeni sayısal modeller, bu tür hava-uzay uygulamalarının tüm aşamalarında uygulanabilen IP haklarıyla korunarak, hava-uzay uygulamalarına büyük yararlar sağlayacaktır (Bastani, B.).

### ***Nanotıp:***

Nanomedikal makinelerin yeni tasarımları, taşıma (ilaç/madde) metotları, iletişim, izleme ve bu tür makinelerin tavsiyesi (gerektiğinde), ayrıca ilaç taşıma için teknikler ve hücrelere madde enjekte edilmesi (örneğin nanotüp şırıngalara kullanarak) ve nanomühendislikle hazırlanmış protetiklerin (örneğin suni kemikler) tamamı IP haklarıyla korunabilir (Bastani, B.).

### ***Çevre ve Sanitasyon:***

Su arıtması, toksik maddelerin ekstraksiyonu, kirleticilerin tayini ve malzemelerin atık haline gelmeden kazanımı için aktif ve pasif nanoteknolojiye dayalı malzemelerin ve makinelerin yeni modelleme teknikleri, tasarımlar, imalat yöntemleri ve uygulamalar, IP haklarıyla korunabilecek olan teknolojilere verilebilecek örneklerden bazılarıdır (Bastani, B.).

### **Nanoteknoloji Patentleme İşlemlerinde Zorluklar**

Küçük şirketler ve yeni çalıştırmalar için, patentler büyük şirketlerin ihlallerinde korunmanın tek yoludur. Şirketler büyüdükçe, bunların ticari sırlar tutma imkânları azalır ve yine patentler IP koruması için başlı başına yöntemler haline gelir. Ancak yine de patent başvurularının, başvuran vazgeçmediği sürece (bu durumlarda buluş için yabancı patent alınamaz) patent kaydedildikten 18 ay sonra yayımlandığını unutmamak gerekir. Bu nedenle, başvuran başvuruyu geri çekmediği ve yabancı sisteme kaydetmekten vazgeçmediği sürece, patent yayımlansa da yayımlanmasa da, buluşun tarifi kamu alanına açık ve rakiplerce de erişilebilir hale gelecektir. Bundan da öte, nanoteknoloji patentlerinin disiplinler-arası doğası özel bir durumdur (Brown, D. 2002 ve Bastani, B.). ABD patent ve Marka Ofisi (USPTO), biyoteknoloji ve organik kimya merkezi, kimyasal ve malzeme mühendisliği merkezi de dâhil olmak üzere yedi farklı teknoloji merkezi, ve kimyasal ve malzeme mühendisliği merkezindeki metalürji ve polimer kimyası birimleri gibi çeşitli dalları da barındırmaktadır. Ancak hiçbirisi nanoteknolojiye adanmış değildir. USPTO'nun personel yetersizliğiyle beraber bu odaklanma yetersizliği, muhtemelen (1) konunun yeni olmaması nedeniyle patentlerin reddedilmesi, (2) buluş sahibine belirli bir alanda fazladan kontrol imkânı veren fazlaca geniş patentler gibi sonuçlara neden olacaktır. Buna örnek, fazla geniş ve boğucu olmakla eleştirilen, "tek tıklatmayla" Ama-

zon.com patenti gibi UPSTO'yu boğan son bilgi teknolojisi patentleri istilası gibi olaylardır. Bir rakibin sahip olduğu fazlaca geniş bir patente meydan okumak pahalı bir prosestir. Uygunsuz bir biçimde reddedilmiş patent durumunda ise şirket UPSTO'nun kararını temyiz ettirmek için, patentin avantajlarından yararlanmak için kullanılması gereken değerli zamanını harcamak durumundadır. UPSTO, çözümler bulmak amacıyla nanoteknoloji topluğuna başvurmuştur ve yakın zamanda UPSTO ile Öngörü Enstitüsü, bu sorunları görüşmek üzere bir patent yuvarlak masa toplantısı düzenlemişlerdir. UPSTO'da bir takım nanoteknoloji uzmanlarına sahip olarak ve taraflar arasında iletişim sağlamak, öncelikli dalların aranmasını btnleştirebilir, nanoteknoloji patentlerinin daha doğru incelenmesini sağlayabilir ve kabul edilmiş patentlerin kalitesini artırabilir (Brown, D. 2002 ve Bastani, B.).



B Ö L Ü M  
7

TÜRKİYE VE NANOTEKNOLOJİ:  
NANOTEKNOLOJİDEN TÜRKİYE  
NASIL FAYDALANABİLİR?



## 7. TÜRKİYE VE NANOTEKNOLOJİ

Sanayi devrimine büyük ölçüde uzak kalmış veya bu sürecin içerisine geç girmiş bir ülke olarak gelecekte kilit bir öneme sahip olacak nanoteknoloji alanında bu nispeten başlangıç sürecinde yetkinlik kazanmak ve doğru adımları atmak, Türkiye’de güvenlik ve refah seviyesinin yükseltilmesi, rekabetçi ve sürdürülebilir bir kalkınma hedefi doğrultusunda çok önemli bir adım teşkil edecektir. Bu bölümde öncelikle kamu kuruluşları tarafından gerçekleştirilen çalışmalar çerçevesinde Türkiye’deki mevcut durum özetlenecektir. Daha sonra biri uluslar arası kuruluş (RAND) olmak üzere iki ayrı raporda belirtilen Türkiye’nin güçlü ve zayıf yanları özetlenecek ve nanoteknoloji alanında geleceği şekillendirecek bir yol haritası ortaya konacaktır.

### 7.1. Yapılmakta Olan Çalışmalardan Özetler

#### Vizyon 2023 Strateji Belgesi

Ancak şu ana kadar Türkiye’de nanoteknoloji alanında atılan adımlar istenilen gelişmeyi sağlayacak seviyeye ulaşamamıştır. 1990’ların başında beri dünyada gelişmekte olan nanoteknoloji politikalarına Türkiye’nin büyük ölçüde seyirci kaldığı söylenebilir. Ancak yine de 2000’li yılların başında itibaren çeşitli adımlar atılmaya başlanmıştır. Bunların en önemlilerinden biri ise ortaya koyduğu 2023 yılı Türkiye vizyonu çerçevesinde nanoteknolojiyi bu vizyona ulaşılmasında gerekli ve öncelikli teknolojik faaliyet alanlarından biri olarak tanımlayan “Vizyon 2023 Strateji Belgesi”dir. Bu belge, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin yol ayrımına getirdiği Türkiye’yi geleceğin önemli teknolojilerinde egemenlik sağlayarak uluslararası toplumun önemli bir üyesi olmasını sağlayacak ve yarınlarını garantiye alacak teknoloji ve bilim politikaları için stratejik bir yol haritası ortaya koymaktadır. 2023 yılına yönelik, bölgesinde ve dünyada adil ve kalıcı bir barışın tesisi için çaba gösteren; demokratik ve adil bir hukuk sistemine sahip; yurttaşları ülkelerinin geleceğinde söz ve karar sahibi; sağlık, eğitim ve kültür gereksinimlerinin karşılanması devlet tarafından güvence altına alınmış; sürdürülebilir gelişmeyi gözetken; gelir dağılımı dengeli; bilim, teknoloji ve yenilikte yetkinleşmiş; üreten; net katma değerini kendi beyin gücüne dayanarak artırabilen bir Türkiye vizyonu ortaya koymuştur. Bu vizyonun öğeleri olarak eğitim, sağlık, tarım-gıda, ulaştırma ve savunma gibi çeşitli alanlar tanımlanmış ve vizyonu destekleyecek sosyo-ekonomik hedefleri ortaya koy-

muştur. Bu hedeflere ulaşabilmek için ise ana araç olarak bilim ve teknoloji politikaları tanımlanmıştır. Buna göre yetkinlik kazanılması gereken öncelikli teknolojik faaliyet konuları belirlenmiştir. Ancak tüm bu teknolojik faaliyetleri gerçekleştirebilme yeteneği kazanabilmek için, bu faaliyetlerin temelinde yatan kilit teknolojilerde yetkinleşmek gerekli olduğu vurgulanmıştır. Nanoteknolojinin de içinde bulunduğu bu “stratejik teknolojiler”, bilgi ve iletişim teknolojileri, biyoteknoloji ve gen teknolojileri, nanoteknoloji, mekatronik, üretim süreç ve teknolojileri, malzeme teknolojileri, enerji ve çevre teknolojileri, tasarım teknolojileridir.

“Vizyon 2023 Strateji Belgesi”, nanoteknolojiyi “gelecek 10-15 yıl içinde yaratacağı büyük ve sürpriz ürünler ve yeni pazarlar ile insan yaşamını ve ekonomik faaliyetleri kökten değiştirme gücüne sahip” bir alan olarak tanımlamış ve bu amaçlar doğrultusunda bir nanoteknoloji yol haritası ortaya koymuştur. Bu amaçla özellikle nanofotonik, nanoelektronik, nanomanyetizma, nanomalzeme, nanokarakterizasyon, nanofabrikasyon, nano ölçekte kuantum bilgi işleme ve nanobiyoteknoloji öncelikli faaliyet alanları olarak ortaya konmuştur. Bu alanların herbirinde politika, strateji ve hedefleri içeren bir yol haritası oluşturulmuştur. Bu yol haritası, Ar-Ge kaynaklarının oluşturulması, politika araç ve kurumlarının kurulması, gerekli insan gücünü yetiştirme ve bunun için gerekli kaynağın ayrılması, siyasi sahiplenme ve son olarak da toplumsal katmanlarda farkındalık yaratma amaçlarını taşımaktadır.

### **UNAM Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi**

Vizyon 2023 Strateji Belgesine ek olarak Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı'nın katkısıyla Bilkent Üniversitesi tarafından sunulan ve 3 yıla yayılan bir projeye UNAM Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi kurulmuştur. Yaklaşık 9000 metrekare kapalı alanda 62 adet laboratuvarı bulunan 7 katlı yeni binasına 2007 sonunda taşınan merkez, “sanayi ürünlerimizin katma değerinin yükselip dış pazarda rekabet gücü kazanması için kamu, özel sektör ve diğer üniversitelerle birlikte nanoteknoloji geliştirmeyi ve bu yeni teknolojileri uygulamayı” hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda ve nanoteknolojideki genel gelişmelere ve eğilimlere de paralel olarak nanobiyoteknoloji, nanomalzeme ve kimya, enerji ve hidrojen ekonomisi, nanotriboloji, yüzey kaplama, katalizör tasarımı gibi güncel konularda da çalışmalar yürütülmektedir. Ayrıca UNAM'daki araştırmalara paralel olarak yürütülen ‘Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji’ yüksek lisans ve doktora programı açılarak nanoteknoloji alanındaki uzman açığının da disiplinlerarası

bir yaklaşımla kapatılabilmesi için çalışmalar başlatılmıştır. Merkeze 2007 sonunda inşaat, tesisat ve laboratuvar cihazlarına yaklaşık 28 milyon YTL değerinde yatırım yapılmış ve 2007 yılı başında Bakanlar Kurulu kararı ile proje UNAM Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü'ne dönüştürülerek projeye kurumsal bir kimlik kazandırılmıştır. Bu süreçte bilimsel çalışmalar Bilkent Üniversitesi öğretim üyesi ve 50'den fazla araştırma asistanı tarafından yürütülmektedir. Yine DPT tarafından desteklenen 2. Faz altyapı projesi de 2008 başında başlamış ve bunu izleyen 3 yılda UNAM'a toplam 90 milyon YTL yatırım yapılması beklenmektedir. Bu aşamada ise akıllı tekstil, yüzey kaplama ve boya, hidrojen ekonomisi, spintronik, fiber, femtosaniye lazer, nanoaygıt, nanoelektronik ve sensörler, nanobiyoteknoloji konularındaki çalışmalar yapılacaktır.

### **Diğer Çalışmalar ve Kuruluşlar**

Bu iki gelişmenin dışında Türkiye'de birçok üniversitede nanoteknoloji alanında çalışma yapılmaktadır (Bakınız Ek 2). Koç Üniversitesi bünyesinde bulunan Mikro-Nano Teknolojileri Araştırma Merkezi mikromekanik araç üretimi, katı laser materyaller ve ince organik maddeler üzerinde çalışmaktadır. Benzer bir şekilde Sabancı Üniversitesi'nde kimya, malzeme bilimi ve mühendisliği, elektronik, mekatronik ve biyoloji mühendisliklerinin ortak çalışmalarıyla nano büyüklükte karbon maddeler, jeller ve sensör teknolojisinde, seramik ve optik maddeler ile lineer olmaya optik polimerler üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı ve Ar-Ge Merkezi, Hacettepe Üniversitesi Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı Yüksek Lisans ve Doktora Programları, Üniversitesi İleri Teknolojiler Ar-Ge Merkez Laboratuvarları, Gebze Teknoloji Enstitüsü, MAM-Marmara Araştırma Merkezi ve İzmir Teknoloji Enstitüsü nanoteknoloji alanında çalışmalar yapılan önemli akademik merkezlerdir. Bunlara ek olarak bazı şirketler de Ar-Ge faaliyetleri aracılığı ile kendi çalışmalarını yürütmektedirler (Bakınız Ek 3).

## **7.2. Türkiye'nin Güçlü ve Zayıf Yanları**

### **Nanoteknoloji Çalıştayının Sonuçları**

14–15 Haziran 2007 tarihlerinde, Ankara Bilkent Otelinde, "Türkiye'de Nanoteknolojinin Geleceği"nin konu edildiği bir Arama Konferansı gerçekleştirilmiştir. Bu konferansa,

daha önce bir Yürütücü Kurulla gerçekleştirilen toplantılar sonucunda belirlenen nanoteknoloji iddia sahipleri konferans katılımcıları olarak seçilmiştir. Konferansın amacı, iddia sahiplerinin deneyim ve bilgilerinden yararlanmak ve fikir paylaşımıyla nanoteknolojinin geleceğinin planlanması ve oluşturulması için bir yöntem geliştirmektir.

Beyin fırtınası gerçekleştirildikten sonra, katılımcılar dört grup oluşturmuş ve belirli başlıklar konusunda fikirlerini sunmuşlardır. Bunların sonucunda oluşan maddeler aşağıda sıralanmıştır.

Arama konferansın katılımcılarının nanoteknoloji fırsatları ve güçlü yönleri konusundaki görüşleri aşağıdaki Tablo 7.1'de listelenmiştir. Tabloda ayrıca, bu konuda sıralanan maddelerin ortak ve ortak olmayanları da verilmiştir. Aynı şekilde, tehditler ve zayıf yönler de Tablo 7.2'de verilmektedir:

**Tablo 7.1: Nanoteknoloji fırsatları ve güçlü yönleri (Evcimen, T. T ve diğerleri, 2007)**

| Ortak  | Ortak Olmayan   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Farkındalık ve ilgi</li> <li>• Nanoteknoloji yüksek lisans programlarının varlığı</li> <li>• Vizyon 2023</li> <li>• Genç nüfus</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Malzeme ve temel bilimler altyapısı</li> <li>• Ulusal laboratuvarların kurulmaya başlanması</li> <li>• Araştırma fonlarının artması</li> <li>• Dünyada bu alandaki çalışmalara yeni başlanması</li> <li>• Yurtdışı insan kaynağı</li> <li>• Gelişen pazarlara yakınlık</li> <li>• Tarım ve yeraltı kaynakları (bor) potansiyeli</li> <li>• Sanayinin yenilikçi uygulamaları gerçekleştirebilecek alt yapısının olması</li> <li>• Genç nüfusun girişimciliğinin yüksek olması</li> <li>• Adaptasyon yeteneği</li> <li>• Az sayıda olmakla birlikte nanoteknoloji şirketlerinin varlığı</li> </ul> |

**Tablo 7.2: Nanoteknoloji tehditleri ve zayıf yönleri (Evcimen, T. T ve diğerleri, 2007)**

| <b>Ortak</b>   | <b>Ortak Olmayan</b>   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Nano teknolojide seferberlik eksikliği</li><li>• Mekanizma eksikliği (Ticarileştirme için gerekli zeminin oluşturulmaması, devlet mekanizması)</li><li>• Vizyon 2023'ün eyleme geçmemesi (Önceliklendirme ve eylem plan eksikliği)</li><li>• Kaynak dağıtımı ve risk sermayesi eksikliği</li><li>• Altyapı yetersizliği</li><li>• Araştırmacı azlığı ve genç nüfusun yeterince kanalize edilememesi</li><li>• Ulusal (üniversite-sanayi) ve uluslararası işbirliği eksikliği</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Dışa bağımlılık tehdidi</li><li>• Yukarıdan Aşağıya (Top-down) uygulanan teknolojide alt yapı eksikliğinin giderilememesi</li><li>• Yanlış odaklanma: Nanoteknoloji değer zincirinde ilk basamaklarda kalma</li><li>• Kurumsal mekanizmanın yetersizliği</li><li>• Üretimde, bilim ve teknoloji ile bağlantılı aşamaların zayıf kalması ve buna bağlı olarak uluslar arası patent sayısındaki düşüklük</li></ul> |

### **Küresel Teknoloji Devrimi 2020, Derinlemesine Analiz Raporu**

RAND Corporation Ulusal Güvenlik Araştırma Bölümü (National Security Research Division) biyoteknoloji, nanoteknoloji, malzeme teknolojileri ve bilgi teknolojileri gibi önümüzdeki yıllarda dünyada büyük ve önemli küresel etkisi öngörülen alanlara yönelik bir yayınladığı araştırma raporunda Türkiye'nin de dahil olduğu temsili 29 ülkenin bu teknolojilerin önemli uygulama alanlarında günümüzdeki konumları değerlendirilmiştir.

Dünyanın biyoteknoloji, nanoteknoloji, malzeme ve bilgi teknolojileri alanlarındaki gelişmelere bağlı olarak küresel teknolojik bir devrim sürecinde bulunduğu tespitinden yola çıkılarak hazırlanan bu raporda, 2020 yılına yönelik önemli toplumsal ve sosyal etkileri öngörülen ve bu 4 teknolojik alandaki gelişmelere bağlı olarak şekillenecek 16 teknoloji uygulama alanı belirlenmiştir. Bu alanlara örnek olarak ucuz güneş enerjisi (cheap solar energy), kırsal kablosuz iletişim (rural wireless communications), giyilebilir bilgisayarlar (wearable computers), kuantum şifreleme (quantum cryptography), hibrid arabalar (hybrid vehicles), geliştirilmiş teşhis ve ameliyat yöntemleri (improved diagnostic and surgical methods) ve yeşil üretim (green manufacturing) verilebilir. Rapor detaylı bir şekilde bu teknolojilerin teknik ve uygulama olarak 2020 yılında bir market değeri olarak ortaya koyulabilme potansiyelini, buna engelleri ve bunu kolaylaştıracak faktörleri ortaya koymuştur.

Sonuç olarak 29 ülke teknoloji kapasiteleri, teknolojik alan uygulamalarına engeller ve teşvikler göz önünde bulundurularak belirlenen 16 alandaki uygulayabilme potansiyeline göre 4 ana grupta toplanmıştır. İlk grup, Kuzey Amerika, Batı Avrupa, Avustralya ve Japonya-Kuzey Kore gibi Doğu Asya gelişmiş ekonomilerinden oluşan ve bu 16 uygulama alanından en az 14 tanesinde potansiyele sahip ülkeler olarak verilmiştir. Bu ülkeler genel olarak çok iyi derecede bilim&teknoloji (B&T) kapasitesi ve teşviklerin çokluğu-bariyerlerin azlığı nitelikleri ile tanımlanmışlardır. Asyanın geri kalanı ve Doğu Avrupa ülkelerinden oluşan ikinci grup ise 10-12 uygulama potansiyeli, çok iyi derecede B&T kapasitesi, yüksek sayıda teşvik ama aynı zamanda yine yüksek sayıda bariyer varlığı olan ülkeler olarak verilmiştir. Latin Amerika ülkeleri, Güneydoğu Asya, Türkiye ve Güney Afrika'dan oluşan 6-9 uygulama alanı potansiyelli ülkeler 3. grubu oluşturmuştur. Bu grup çok iyi B&T kapasitesi olmayan ve bariyer hem de teşvik sayısının sayısının az olduğu ülkeler olarak ortaya çıkmıştır. Son grup ise Afrika'nın büyük bir bölümü, Orta Doğu, Karayip ve Pasifik Adalarından oluşan 1-5 teknoloji uygulama alanı potansiyelli ülkelerdir. Bu ülkeler genel olarak B&T kapasitesi açısından zayıf ve bariyerlerin teşviklerden fazla olduğu ülkelerdir.

Biyoteknoloji, nanoteknoloji, malzeme ve bilgi teknolojilerinin entegre bir biçimde gelişmesiyle ortaya konabilecek bu teknolojik gelişmeler, sağlık, enerji, sosyal hayat, askeri teknolojiler, çevresel etkiler, yönetim, toplumsal güvenlik ve refah, ekonomikticari kalkınma gibi birçok alanda etkiye sahip olacaktır. Bundan dolayı ülkelerin ve toplumların gelişimi, refah düzeyi ve sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanabilmesi açısından bu teknolojik alanlardaki gelişmeler önemli bir konuma sahiptir. Özellikle bizim ilgi alanımızı oluşturan nano-teknoloji RAND raporunda belirtilen 16 alandan 15'inde etkiye sahip bir alan olarak belirtilmiştir. Bundan dolayı Türkiye'de geliştirilebilecek bir nanoteknoloji politikası sürecinde bu raporun göz önünde bulundurulması daha da önemli bir hale gelmektedir.

Bu raporda teknolojik gelişmelerin 2020'ye uygulanabilirliğini ölçebilme adına bazı bariyer ve itici güç ortaya konmuştur. Biz de Türkiye'nin nanoteknoloji alanında günümüzdeki potansiyelinin ortaya çıkarılması ve doğru adımların atılabilmesi adına, RAND raporunun ortaya koyduğu bulgular ve kendi değerlendirmemiz sonucunda, nanoteknoloji altyapı değerlendirmesi, mevcut durum, eksiklikler ve pozitif alanların bir değerlendirmesini ortaya koymaya çalışacağız.



### 7.3. Mevcut Durum: Bariyerler ve İtici Güçler

Buna göre nanoteknoloji alanında bariyer ve itici güçlerin tanımlanabileceği ana başlıklar ve bunlardaki mevcut durum şu şekilde ortaya konabilir.

#### ***Maliyet-Finansman ve Altyapı:***

Teknolojiye erişim, gerekli altyapının kurulması ve kullanılması ile insan kaynaklarına yatırım için gerekli finansmanın sağlanması nanoteknoloji konusunda önemli bir adım teşkil etmektedir. Özellikle nanoteknoloji için gerekli hassas ve son teknoloji ürünü cihazların alınması ve gerekli tesislerin kurulması büyük bir maliyet gerektirmektedir. Ayrıca hem teknolojiye erişim hem de yeni teknolojik gelişmelerin uygulanabilirliğini etkileyecek limanlar, hava alanları, teknoloji merkezleri, iletişim ağları gibi altyapıların kurulması veya mevcudiyetinin sağlanması gerekmektedir.

Ancak Türkiye önemli bir kurumsal kapasite, bilim adamı, sanayi-finans ve yatırım gibi teknoloji altyapısı eksikliği ile karşı karşıyadır. Öncelikle Türkiye’de bilimsel ve teknolojik araştırmaları destekleyecek, uygulanmasını ve sürdürülebilir olmasını sağlayacak önemli bir kaynak eksikliği bulunmaktadır. Ayrıca son dönemdeki yatırım ve artışlara rağmen, nanoteknoloji araştırmalarında kullanılan cihazlar hem kalite hem de sayı açısından oldukça yetersiz durumdadır. Modern altyapılar belirli büyük şehirlerde ve araştırma merkezlerinde yoğunlaşmıştır. Özellikle kırsal alanda ve ülkenin büyük bir bölümünde eksiklikler göz önündedir.

Bu maliyet yükü ve pahalılık gelişmiş ülkelerde nanoteknoloji alanında kaynakların bir yerde toplanıp ortak projelere ve ulusal kullanıma açılmasına sebep olmuştur. Türkiye’de UNAM’ın kurulması bu alanda önemli bir adımdır. Ancak UNAM’ın çalışmalarını destekleyecek kaynakların artırılması ve diğer araştırma kurumları ile etkin bir ulusal iletişim ve paylaşımın ağının kurulması, ülke çapında etkin bir araştırma altyapısı ve ağı gerekliliği ortadadır.

Diğer önemli bir nokta da nanoteknolojinin çeşitli konularında araştırmalar ve çalışmalar yapılmasına rağmen, bunların kişisel bazda ve teorik seviyede kalmasıdır. Ayrıca kamu Ar-Ge yatırımları da bu belirli alanlarda ve konularda yoğunlaşmış bir kaç kurum ve özel üniversiteyle sınırlı kalmıştır. Yine benzer bir şekilde sanayi Ar-Ge yatırımları-

nın da belirli alanlarda olmasına rağmen yetersiz olduğu vurgulanmalıdır. Kaynakların yetersiz olması dünya çapında rekabet edilebilecek belirli alanlarda yoğunlaşılmasını ve bunların ön plana çıkarılmasını engellemektedir. Bundan dolayı Türkiye'ye tekstil, otomotiv ve yapı sektörü gibi kısa ve orta vadede katkı yapacak alanların belirlenmesi, finansmanın ve destek mekanizmalarının bu alanlarda yoğunlaştırılması gerekmektedir. Benzer bir şekilde nanoteknolojide hızla yol alınabilmesi ve araştırma sonuçlarının hızla rekabet edilebilecek alanlarda sanayi ürünlerine dönüştürülmesi ve dış pazarlara taşınması hem ülke ekonomisine önemli bir katkı yapacak hem de yeni çalışmaların finansmanını teşvik edecektir.

Ayrıca RAND raporunda belirtildiği gibi Türkiye için özellikle önemli diğer bir konu ise önceliklerin belirlenmesi ve kaynakların bu yönde kullanılması gereğidir. Son olarak, rüşvet (corruption) teknolojik ve bilimsel gelişmelere önemli bir engel olarak tanımlanabilir. Çok değerli kaynakların kurumlardan, bireylerden ve altyapı yatırımlarından başka bir yönde kullanılması bu alanda kaynak sıkıntısının olası bir nedeni olarak verilebilir.

Tüm bunların önüne geçilmesi için gerekli adımların atılması, sanayi-akademi işbirliklerinin geliştirilmesi ve gerekli finansal destek ve Ar-Ge yatırım mekanizmalarının teşvik edilmesi, nanoteknoloji çalışmaları için 3.5 milyar Avro bütçenin ayrıldığı Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programının sağladığı desteklerden yararlanılması ve ABD'de olduğu gibi yeni yapılan buluşların endüstriye hızla aktarılması için girişimci fonlarının ortaya konması önemli adımlar teşkil edecektir. Belki de en önemli araç ise bilimsel bilgi, teknolojik araçlar ve yetenekler gibi teknolojik gelişime katkıda bulunacak ve sürdürülebilirliğini sağlayacak bilim ve teknoloji araçları için Ar-Ge yatırımının sağlanmasıdır.

### ***Eğitim ve Okuryazarlık:***

Bilim ve teknoloji politikalarını yürütecek ve teknolojik bilgiyi-gelişimi ortaya koyacak eğitim araçlarının, kurumlarının ve bilim insanlarının yetiştirilmesi önemlidir. Türkiye'de bu konudaki eksiklik açık bir şekilde ortadadır. Yeterli kaynakların aktarılmasıyla altyapı konusunda atılacak adımlar ile kısa sürede sonuç alınabilir. Ancak nanoteknoloji alanında uzmanlaşmış bilim adamı yetiştirme nispeten daha fazla vakit alacak bir süreçtir. Daha önce de belirtildiği gibi Türkiye'de nanoteknoloji alanında gerek akademi gerekse sanayi de çalışmalar yapılmaktadır ancak bunlar yeterli düzeyde değildir. Uluslararası patent enstitülerine yapılan başvurulardan ve nano-teknoloji konusunda yayın-

lanan bilimsel makale sayılarından da bu konuda eksiklik açık bir şekilde görülebilir. Bundan dolayı gerekli ihtiyacı karşılayabilecek kısa ve orta vadeli hedefler ve araçlar belirlenmelidir. Öncelikle kısa vadede hem yüksek lisans hem de doktora seviyesinde nanoteknoloji konusunda eğitim veren programlar yaygınlaştırılmalıdır. TÜBİTAK ve Devlet Planlama Teşkilatı, kurumlar ve üniversitelerin özkaynakları ile bunları destekleyici mekanizmalar oluşturulmalı, bilim adamlarını teşvik edici mekanizmalar ve burslar oluşturulmalıdır. Ayrıca kısa sürede atılabilecek önemli diğer bir adım ise yurt dışındaki özellikle Türk araştırmacıların ülkelerine dönmeleri için teşvik mekanizmalarının oluşturulması, onların burada sorunsuz bir şekilde çalışabileceği akademik ortamın, araç gereçlerin sağlanması ve bu konuda güvende olabilecekleri duygusunun aşılmasıdır. Ayrıca Türkiye’de yapılan çalışmalar için destek ödül programları ve teşvikleri oluşturulması da önemli bir adım olabilir.

Nanoteknolojik gelişmelere önemli bir engel ise Türkiye’de disiplinlerarası duvarların kalın olmasıdır. Nanoteknoloji gibi birçok farklı disiplinden beslenen bir alanda bu önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bundan dolayı hem üniversite içerisinde hem de araştırma merkezlerinde ortak akademik çalışmaların yapılabileceği mekanizmalar kurulmalı ve desteklenmelidir. Ayrıca hem disiplinlerarası iletişim eksikliğinin bir nedeni olarak hem de ana bir sorun olarak Türkiye’de temel bilimler eğitiminde problemler bulunmaktadır. Uzun vadede temel bilimler eğitiminin günümüzdeki mevcut sorunlarını çözmeye yönelik adımlar atılmalıdır.

Gerekli kaynakların sağlanması ile gerekli altyapının ve araştırma merkezlerinin-teknoloji platformlarının kurulması, geliştirilen fikirlerin ve ürünlerin üniversite-sanayi arasında işbirliği mekanizmaları ile sanayi ürününe dönüştürülmesinin sağlanması, üniversiteler arası işbirlikleri mekanizmalarının kurulması ve Türkiye’de proje yazma eksikliğine bağlı olarak proje yazma teşvikleri ve eğitimleri verilmesi eğitim ve bilim adamı yetiştirilmesi konusunda önemli adımlar olacaktır. Özellikle Türkiye’nin genç ve dinamik nüfus özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda bu potansiyelin etkin kullanılmasının sağlanması ve iyi bir eğitim politikası ve araçları ile desteklenmesi ile ortaya çıkarılması önemlidir.

### ***Kanun ve Politikalar, Yönetişim ve İstikrar:***

Türkiye'nin öncelikleri ve amaçları, mevcut koşullara ve toplumsal yapıya göre değişebilecek nanoteknoloji uygulamaları için uygun çevre koşullarının ortaya konması ve bunların kanunlar ve politikalar ile desteklenmesi gerekmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere birkaç adım ve hedef bulunmasına rağmen, Türkiye'de hem teknolojik araştırma ve uygulamasında gerekli yasalarda hem de bunların uygulanmasında eksiklik mevcuttur. Hem yeni kurulacak merkezlerde hem de mevcut sistem içerisinde iyi bir yönetim sistemi kurulmasına yönelik bir ihtiyaç ortadadır. Büyük projelerin verimli bir şekilde yürütülmesi ve izlenmesi, etkin bir proje yönetiminin sağlanması ve sanayi kuruluşları ile ilişkilerin sürdürülüp, geliştirilen teknolojilerin ve inovatif ürünlerin pazara erişiminin organizasyonu için yönetim-bilişim ve modern yönetim sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmalıdır. Bu anlamda hem bilimsel ve teknolojik politikaların yönetişimi hem de bunlar sürdürülebilir bir şekilde yapılabilmesi için gerekli organların ve denetim mekanizmalarının kurulması ve bunlar için istikrar ortamının sağlanması gerekmektedir. Yine bu gelişmelerde önemli bir araç olacak nanoteknoloji Ar-Ge politikalarının bir an önce netleştirilmesi, etkin ve hızlı bir şekilde uygulanmaya başlanması gerekmektedir. Ayrıca bilimsel araştırmaların sayısını artıracak ve bu çalışmalara destek verecek teşvik politikalarının ve sistemlerinin kurulması ve desteklenmesi de öncelikli politika amaçları arasında olmalıdır.

Özellikle Türkiye için bu anlamda önemli bir konu ise Avrupa Birliği üyelik süreci ve yasaların uyumlu hale getirilmesi ihtiyacıdır. Atılacak adımların Avrupa Birliği adaylık sürecine bağlı gelişmeleri de göz önünde bulundurması gerekmektedir.

Bu yönde RAND raporunda, artan nüfus ve demografik değişimlerin getirdiği baskı ve aynı zamanda enerji fiyatlarındaki artışlar, doğal kaynakların azalması ve çevresel bozulmanın yükleri ile birlikte, politikacıların ve karar alıcıların doğal kaynakların daha verimli kullanılması, çevresel etkilerin azaltılması, iş olanakları oluşturulması, sağlıklı koşullar oluşturulması ve toplumun diğer ihtiyaçlarının karşılanması için bir ihtiyaç ve baskı duyacak olmaları itici güç olarak ortaya konmuştur. Bu amaçlar yukarıda belirtilen ve Türkiye'nin potansiyelini iyi değerlendirebileceği alanların belirlenmesi ve bunların gelişimi yönde gerekli politikaların üretilmesi gerekmektedir.

### ***Toplumun Tüm Katmanlarında Bilinçlenme:***

Teknolojik gelişmelerin ve yeniliklerin nasıl algılandığını ve uygulanabilirliğini etkileyecek sosyal olguların anlaşılabilmesi ve olumsuz faktörlerin geri plana itilerek olumlu yönlerin ön plana çıkarılmasının sağlanması gerekmektedir. Hem politikacıların hem de sanayinin ve genel olarak halkın bilim ve teknoloji politikaları konusunda bilgisinin ve bilinçliliğinin artması, bunların uygulanması için teşvikleri artıracak bir güç olarak da verilebilir. Bu yönde Türkiye’de ekonomik rekabetçiliğe ulusal bir vurgu olması, bu yönde düzenlemeler yapılması ve bilim & teknoloji politikalarının bunun aracı olarak tanımlanması önemlidir. Ayrıca nüfus ve demografik özellikler aynı zamanda teknolojik gelişmelere bir engel olarak verilebilir. Kırsal kesimde yaşayan insan sayısının fazlalığı ve politikalar konusunda bilinçliliğinin eksikliği toplumsal bazda yeni gelişmelere ve politikalara tepkiler ortaya çıkarabilir. Bundan dolayı iyi bir kamu politikası ile iyi bir eğitim ve bilinçlendirme sağlanması gerekmektedir.

Özellikle sanayideki Ar-Ge desteklerinin yeterli düzeyde olmamasından dolayı bu kesimde nanoteknoloji ve bunun piyasaya dönüştürülebilir değeri konusunda bilinçlendirme yapılması hem kaynak ve altyapı hem de ekonomik gelişim açısından çok önemlidir.

### ***Gizlilik Kaygıları (privacy concerns):***

Nanoteknolojide geliştirilen ve üretilen yeni bilgi ve teknolojinin gizlilik ve patent ilkelere uygunluğunun sağlanması ve bunlar tarafından korunması da önemlidir. Bundan dolayı özellikler patent ve fikri mülkiyet hakları konusunda nanoteknolojinin ihtiyacı olan konularda düzenlemeler yapılması önemlidir.



B Ö L Ü M

ÖNCELİKLİ YOL HARİTASI VE  
KURUMSAL BEKLENTİLER/  
GÖREVLER





## 8. ÖNCELİKLİ YOL HARİTASI VE KURUMSAL BEKLENTİLER/ GÖREVLER

Raporumuzda özetlediğimiz değerlendirmeleri göz önünde bulundurduğumuzda ortaya şu altı ana başlık çıkmaktadır:

- 1) nanoteknoloji alanında gerekli altyapının kurulması;
- 2) finansman kaynaklarının oluşturulması;
- 3) araştırmaları yürütecek bilim adamlarının yetiştirilmesi;
- 4) gerekli işbirliği mekanizmalarının kurulması;
- 5) toplumun tüm katmanlarında bilinçliliğin artırılması ve
- 6) tüm bu sistemin etkin bir şekilde çalışmasını ve desteklenmesini sağlayacak gerekli kuruluş ve yasaların ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Bu anlamda üniversite, sanayi ve düzenleyici-yasa koyucu kurumlar üçgeninde yapılması gereken çalışmalar şu şekilde gösterilebilir.

### **Üniversite:**

- Yeni ürün ve yöntemler geliştiresin
- Bilim adamı eksikliğini ortadan kaldırıcı lisans, yüksek lisans ve doktora programları açsın ve yetiştirmiş insan gücü sağlasın
- Üniversite içerisinde disiplinlerarası etkileşimi sağlayacak mekanizmalar kursun
- Gerekli araştırmaların yapılacağı altyapıların ve araştırma merkezlerinin kurulmasını sağlasın ve desteklesin
- Öncelikli ve stratejik alanların belirlenmesi için bilgi üretsin ve altyapı sağlasın
- Nanoteknoloji kuluçka merkezleri kursun
- Bilim adamlarını teşvik edici ve araştırmaya yönlendirici mekanizmalar ve destekler sağlasın
- Hem yurt içi hem de yurt dışındaki uzmanlar için araştırma olanakları sağlasın ve uygun ortam yaratsın

- Hem ulusal hem de uluslararası seviyede etkin işbirlikleri ve destek mekanizmaları kursun
- Ulusal ve uluslararası finans kaynaklarına ulaşım için destek olsun ve işbirliği yapsın
- Sürekli eğitim sağlasın
- Proje yazma desteği versin
- Ortaya çıkarılan fikirlerin değerlendirilmesi ve ticari değer haline getirilebilmesi için sanayi ile etkileşim ve iletişim mekanizmaları kursun

### **Sanayi:**

- Ar-Ge bütçesi ayırsın, Ar-Ge yapsın, ürün geliştiresin
- Kar getirecek fikir, bilgi paylaşımı ve araştırma hedefi olsun
- Ürün üretsın, yeni, ucuz, ilave ürünler ve bunların pazarlanmasını sağlasın
- İstihdam yaratsın ve staj imkanları sağlasın
- Düzenlemeleri ve gelişmeleri hızlandıracak baskı grubu oluştursun, platform olsun
- Üniversite ile etkin işbirliği mekanizmaları kursun
- Stratejik değeri ve getirisi yüksek alanlarda Ar-Ge faaliyetlerini hızlandırısın

### **Ortam Sağlayıcı, Düzenleyici-Yasa Koyucu:**

- Ulusal seviyede etkin bir işbirliği mekanizması kursun
- Bilgi alışverişi için ortam olsun, güven yaratsın
- Ulusal seviyede ülke envanteri (insan-teknoloji) ve istatistikleri içeren etkin bir bilgi ağı kursun ve bunu kurumsal mekanizmalarla desteklesin
- İstatistik ve pazar bilgileri üniversitelere açılsın
- Kamu Ar-Ge yatırımları oluştursun ve nanoteknoloji altyapısının geliştirilmesi, araştırmaların yapılabilmesi için finansal kaynak sağlasın
- Bilim adamlarını teşvik edici mekanizmalar ve burs programları kursun

- Yurt dışındaki araştırmacıların ülkeye dönmeleri için teşvik mekanizmaları kur-sun ve güven ortamı oluştursun
- Temel bilimlerdeki eksiklikleri gidermek için düzenlemeler yapsın
- Uluslararası teknolojik işbirliği için ortam yaratsın
- Patent ve fikri mülkiyet hakları konusunda nanoteknolojinin ihtiyacı olan düzen-lemeler yapsın
- Fikri sermayenin girişime dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeleri yapsın
- Nanoteknoloji konusunda toplumsal seviyede eğitimi ve bilinçlendirmeyi artırıcı çalışmalar yapsın

## **Yol Haritası:**

Bu ncelikler bağlamında ortaya çıkarılan yol haritası ise şu şekildedir:

## **Finansman ve Altyapı:**

### ***Kısa Dönem 1-3 Yıl***

- lke kaynakları, potansiyeli ve rekabet koşulları göz önünde bulundurularak stratejik öncelik alanları belirlenmesi ve bu alanlara yönelik ihtiyaçların saptan-ması (Ar-Ge, finansman vb.)
- Bu ihtiyaçlar ve öncelik göz önünde bulundurularak, mali fon oluşturulmasına ve kullanılmasına yönelik düzenlemeler yapılması
- Ar-Ge bütçesi için bilanço büyüklüğünün belirli bir kısmının ayrılmasına yönelik düzenlemeler yapılması
- Mevzuatın Ar-Ge'yi kolaylaştırması amacıyla yeniden düzenleme yapılması ve uygulanmasının sağlanması
- Ar-Ge yatırımlarını sağlayacak kurumsal mekanizmaların kurulması veya düzen-lenmesi
- Özel sektör Ar-Ge yatırımını destekleyici mekanizmalar ve düzenlemeler yapıl-ması, ayrıcalıklar sağlanması ve vergi muafiyeti sağlanması
- şirketlerin mali kaynak verebilmeleri için gerekli düzenlemelerin yapılması

- Özel sektörün yapamadığı yatırım ve desteklerin, altyapıların kamu sektöründe organize edilmesi
- Gerekli ekipman ve cihazların sağlanması için kaynakların ayrılması ve sağlanması
- Gerekli kaynakların ayrılması
- Risk sermayelerinin oluşturulması
- Yerleşme teşvikleri sağlanması
- Yeni ürün geliştirme, tasarım, pazarlama teşviklerinin oluşturulması
- Başlangıç araştırma teşvikleri ve destekleri sağlanması
- Uluslararası kaynaklara erişimin sağlanması ve bu konuda desteklerin ve bilgilendirmenin artırılması

#### ***Uzun Dönem 4-10 Yıl***

- Stratejik öncelik alanları doğrultusunda araştırmaların desteklenmesi
- Nanoteknoloji odaklı teknoparkların kurulması
- Uzun vadeli yatırımların gerçekleştirilmesi
- Projelerde üniversitelere ve öğretim görevlilerine kaynakların sağlanması
- Referans laboratuvar, akreditasyon, sertifika v.b. kurumların yapılandırılması
- Ar-Ge'ye yönelik kısa vadeli düzenlemelerin tamamlanması, uygulanabilirliğinin sağlanması ve denetleme mekanizmalarının kurulması
- Kalkınma planlarında nanoteknolojiye de yer verilmesi
- Ekipmanların geliştirilmesi

#### **Eğitim ve Araştırma:**

#### ***Kısa Dönem 1-3 Yıl***

- Hem yüksek lisans hem de doktora seviyesinde nanoteknoloji konusunda eğitim veren programların yaygınlaştırılması
- TÜBİTAK ve Devlet Planlama Teşkilatı, kurumlar ve üniversitelerin özkaynakları ile bunları destekleyici mekanizmaların oluşturulması

- Bilim adamlarını teşvik edici mekanizmalar ve burslar oluşturulması
- Yurt dışındaki özellikle Türk araştırmacıların ülkelerine dönmeleri için teşvik mekanizmalarının oluşturulması ve güven ortamının sağlanması
- Türkiye’de yapılan çalışmalar için destek ödül programları ve teşvikleri oluşturulması
- Üniversite-sanayi işbirliği desteklerinin oluşturulması, yaygınlaşmasının sağlanması
- Üniversite öğretim görevlilerinin teknoparkta çalışmalarının kolaylaştırılması
- Öncelikli faaliyet alanlarına yönelik araştırmaların desteklenmesi ve bu alanlarda bilim adamlarının teşvik edilmesi ve yetiştirilmesi
- Teknik yeteneklerin ve girişimcilik bilgisinin geliştirilmesine yönelik eğitim verilmesi
- Nanoteknoloji Kuluçka Merkezlerinin kurulması, nanoteknoloji eğitim merkezlerinin açılması (bölgesel)
- Üniversite-sanayi arasında yetkin insan değişiminin sağlanması
- Üniversite-ortam sağlayıcı ilişkilerinin düzenlenmesi
- Üniversite içerisinde disiplinlerarası iletişimin kolaylaştırılması ve artırılması
- Proje yazımı için eğitimler verilmesi

#### ***Uzun Dönem 4-10 yıl***

- Temel bilim eğitiminde düzenlemeler yapılması
- Her konuda insan eğitimine yönelik pratik, teorik bilgilerinin sağlanması için düzenleme yapılması
- Nanoteknoloji odaklı teknoparkların kurulması
- Nanoteknoloji yüksek lisans programlarının ülke çapına yaygınlaştırılmasının sağlanması
- Nanoteknoloji araştırma merkezlerinin ülke çapına yaygınlaştırılması
- Üniversite öğretim üyesi sözleşmelerinin Ar-Ge faaliyetlerine bağlı olarak yenilenmesinin sağlanması

- Üniversitelerin sürekli eğitimi sağlamaları
- Uzman dolaşımlarının sağlanması

## **Yasal Düzenlemeler, Yönetişim ve İletişim:**

### ***Kısa Dönem 1-3 yıl***

- Finansman, Ar-Ge ve altyapı ile eğitim konusunda öngörülen düzenlemelerin yapılması
- Stratejik planlama yapılması ve uygulanması
- Ulusal bir vizyon ortaya konması, bunun için gerekli kurumsal yapılanmaların ve düzenlemelerin yapılması
- Ulusal seviyede koordinasyon kurulu oluşturulmasına yönelik düzenlemeler yapılması
- Devlet kamu alım politikalarının üniversite sanayi işbirliğini özendirerek şekilde düzenlenmesi
- Ulusal seviyede ülke envanteri (insan-teknoloji) ve istatistikleri içeren etkin bir bilgi ağı kurulması ve kurumsal mekanizmalarla desteklenmesi
- Global fırsatların ortaya konması ve değerlendirilmesine yönelik adımlar atılması
- Nanoteknoloji alanında bilginin internet ortamına aktarılması ve paylaşımının sağlanması
- Ülkeler arası iletişim ve etkileşim ağları kurulması ve desteklenmesi
- Uluslararası ortamdaki gelişmelerin takip edilmesinin sağlanması, ülkelerin mevzuatlarının incelenmesi ve ülkemize adaptasyonunu sağlayacak mekanizmaların kurulması
- Toplantı, seminer ve sürekli yerel oluşumlar sağlayacak mekanizmalar kurulması

### ***Uzun Dönem 4-10 yıl***

- Strateji ve planlama yapıp bunların uygulanmasının sağlanması ve denetleyici mekanizmaların kurulması
- Proje ve yasal konularda işbirliğine yönelik düzenlemelerin yapılması
- Envanterin ve bilgi ağının aktif olarak güncellenmesi
- İşbirliğini sağlayıcı işlere yönelik pazarlama stratejisi geliştirilmesi
- Bilgi ağının kurumsallaştırılması
- Güven mekanizmalarının geliştirilmesi
- Kamu ihtiyacına yönelik güdümlü projeler oluşturulması

### **Toplumsal Bilinçlenme ve Fikri Mülkiyet Hakları:**

#### ***Kısa Dönem 1-3 Yıl***

- Farkındalığın artırılmasına yönelik düzenlemelerin artırılması
- Ülke çapında kişilerin bilgilendirilmesi
- Sivil toplum örgütlerinin aktif hale getirilmesi
- Yerel ve bölgesel seviyede etkin eğitim ve bilinçlendirme mekanizmalarının kurulması
- Fikri mülkiyet ve patent hakları konusunda düzenlemeler yapılması ve duyarlılık oluşturulması
- Nanoteknolojiye yönelik yayınların başlatılması

#### ***Uzun dönem 4-10 Yıl***

- Güven mekanizmalarının geliştirilmesi





## KAYNAKLAR

1. ATIP, Nanotechnology in Asia 2003, 29. 04. 2003. Adres: <http://www.atip.org>.
2. Bachmann, G., Nanotechnology, *Technology Analysis* 1994, 5, VDI-TZ.
3. Bachmann, G. Nanotechnology: the Need for Interdisciplinary Cooperation, in Jorma Liivonen and Juan Carlos Ciscar, eds., IPTS-ESTO Techno-Economic Analysis Report, EUR 19626 EN, IPTS, Seville, Spain, 2000.
4. Bastani, B., Fernandez, D., Intellectual Property rights in Nanotechnology, Fernandez and Associates, LLP. Adres: <http://www.iploft.com/Nanotechnology.pdf>
5. BBC, Biomedical Application of Nanoscale Devices: Commercial Opportunities, Conference Proceedings, Nanotech and Biotech Convergence, Business Communication Corporation, 2003.
6. BMBF, Nanotechnology in Germany, State-of-the-Art, March 2002.
7. BMBF, The Federal Government's Nanotechnology Strategy, Bonn, 6 May 2002.
8. Brown, D., U.S. Patent Examiners May not Know Enough About Nanotech, Small Times, 4 February 2002. Adres: <http://www.smalltimes.com>
9. Bruns, B., Participation in Nanotechnology: Methods and Challenges, Paper presented at conference in Ottawa, May 19-22, 2003.
10. Carbon Nanotubes. Wikipedia. Adres: [http://en.wikipedia.org/wiki/carbon\\_nanotubes](http://en.wikipedia.org/wiki/carbon_nanotubes)
11. Courtesy of Dendritik NanoTechnologies Inc., 5 PANAM dendrimerinin oluşturulmasının şematik görünüşü.
12. Courtesy of Evident Technologies, Kuantum noktaları ve boyuta bağlı renkler.
13. CPGGH, Nanotechnology and the Developing World, April 2005. Adres: [http://www.utoronto.ca/jcb/home/documnets/PLoS\\_nanotech.pdf](http://www.utoronto.ca/jcb/home/documnets/PLoS_nanotech.pdf)
14. Daisuke K., Patent Application Trends in the Field of Nanotechnology, *Science and Technology Trends*, Quarterly Review No.21, October 2006.
15. Distler, D., Nanoteilchen in Megatonnen: Vielfältige Anwendungen für Polymerdispersionen, BASF-Presseinformation 28./29. Oktober, Mannheim, 2002.
16. Drexler K. E., Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology, Doubleday, New York 1986.

17. Drexler, K. E., Forrest, D., Freitas Jr., R. A., Hall, J. S., Jacobstein, N., McKendree, T., Merkle, R., Peterson, C., On physics Fundamentals and Nanorobots: A Rebuttal to Smalley's Assertion that Self-Replicating Mechanical Nanorobots are Simply not Possible, Institute for Molecular Manufacturing, 2001. Adres: <http://www.imm.org/SciAmDebate2/smalley.html>
18. ETC Group, Nanotech Un-gooed! Is the Grey/Green Goo Brouhaha the Industry's Second Blunder?, *Communiqué*, 80, 2003.
19. European Commission: Gelecekte Needs and Challenges for Materials and Nanotechnology Research, Report of the DGRTD/3 European Commission, October 2001.
20. European Commission: Third European Report on Science and Technology Indicators 2003 Towards a Knowledge-Based Economy.
21. European Nanobusiness Association (ENA), It's Ours to Lose, An Analysis of EU Nanotechnology Funding and the Sixth Framework Programme, 3.10.2002. Adres: <http://www.nanoeurope.org>
22. Evcimen, T. T., Kocabey, M., Dicle, B., Sanlidilek, D., Nanoteknoloji Arama Konferansı, Bilkent Otel, Ankara, Haziran 2007.
23. Feynman, R. P., There is Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics, 1959. Adres: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
24. Fullerenes. Wikipedia. Adres: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene>.
25. Glenn, C. J., Gordon, T. J., State of the Gelecekte, ISBN: 0-972205-0-1, August, 2003.
26. Hanson, R., Five Nanotech Social Scenarios, Working Paper, December 2003, George Mason University, Fairfax USA.
27. Harper T., What is Nanotechnology?, *Nanotechnology*, 14 (1), p. Introduction, 2003.
28. Holister, P. Nanotech: The Tiny Revolution, CMP Cientifica, 2002. Adres: <http://www.cmp-cientifica.com>.
29. Holtmannspötter, D., Zweck, A., Monitoring of Technology Forecasting Activities, Report Prepared for European Commission – Joint Research Centre (JRC) and Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Published by: VDI-Technology Center, 2002.
30. IBM Almaden Research, Adres: <http://www.almaden.ibm.com>
31. Interagency Working Group on Nanotechnology (IWGN), Nanostructure Science and Technology – A Worldwide Study, NSTC-WTEC, Loyola College of Maryland, August 1999.

32. Interagency Working Group on Nanotechnology (IWGN), Nanotechnology Research Directions – IWGN Workshop Report: Vision for Nanotechnology Research and development in the Next Decade Report NSTC-WTEC, Loyola College of Maryland, September 1999.
33. ITRS 2003: International Technology Roadmap for Semiconductors, 2003 Edition. Adres: <http://public.itrs.net>
34. Japan Patent Office (JPO), Survey on Technological Trends in Patent Applications, April 2006.
35. Japan Patent Office (JPO), Trends in Eight Prioritized Areas, March 2006.
36. Kline, D., Net Patent Fights May Yield Surprises, *Upside*, January 2000, 175-178.
37. Lauterwasser, C., Opportunities and Risks of Nanotechnologies, Allianz AG, Group Communication, München, Germany.
38. Luther, W., International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology, March 2004.
39. Maclurcan D. C., Nanotechnology and Developing Countries, Part 1: What Possibilities?, *J Nanotech. Online*, September 2005.
40. Malsch, I., Nanotechnology in Europe: Experts' Perceptions and Scientific Relations between Sub Areas, IPTS-Report EUR 17710 EN, 1997.
41. Merkle, R. It's a small, small, small, small world, *MIT Technology Review*, 100 (Feb./March), pp. 25-32, 1997.
42. Morrison S., (tarih bilinmiyor), The Emerging Nanotech Industry; Lessons from Biotech Experience. Adres: <http://www.nanobioconvergence.org/files/sMorrison.pdf>
43. Nanoforum, Nanotechnology and the Nordic Region, June 2003. Adres: <http://www.nanoforum.org>
44. Nanoforum, Nanotechnology Helps Solve the World's Energy Problems, August 2003. Adres: <http://nanoforum.org>
45. Nanoforum, Nanotechnology and its Implications for the Health of the EU Citizen, December 2003. Adres: <http://nanoforum.org>
46. Nanotechnology Research Network Center of Japan (NRNCJ). Adres: <http://www.nanonet.go.jp/english/>
47. NASA-Ames Research Center, Adres: <http://www.ipt.arc.nasa.gov>

48. New Materials International, The Oldest Known Nanotechnology dates back to the ninth century, March 2004. Adres: <http://www.newmaterials.com/news/680.asp>
49. Niyogi, S. and Haldon, R. C., Nanotechnology: Why is this special length scale? In Nanoscience and Nanotechnology: Opportunities and challenges in California: California Council on Science and Technology, Sacramento, California, 2004.
50. Office of Technology Assessment at the German Parliament (TAB): Nanotechnology, report No.92, July 2003.
51. PHYSORG, Venture Capital in Nano Rises, January 10, 2006. Adres: <http://www.physorg.com/news9758.html>
52. Results of the Uruguay Round, 6-19, 365-403 (1994); McCabe, K. W. 1998 The January 1999 Review of Article 27 of the TRIPS Agreement: Diverging Views of Developed and Developing Countries toward the Penetrability of Biotechnology. *J. Intell. Prop. L.*, 6(1), 41-67.
53. Rittner, M. Market Analysis of Nanostructured Materials, March 2002. Adres: <http://www.ceramicbulletin.org>
54. Rivette, K. G., Kline, D., A hidden Weapon for High-Tech Battles, *Upside*, January 2000, 165-174.
55. Roco, M. Converging Technologies for Improving Human Performance, National Science Foundation Report, 2002.
56. Roco, M., Government Nanotechnology Funding: An International Outlook, National Science Foundation, June 2003. Adres: <http://www.nano.gov/html/res/IntlFundingRoco.htm>.
57. Sharifzadeh, M., Nanotechnology Sector Report, Cronus Capital Markets, 1<sup>st</sup> Quarter 2006.
58. Stark, D., Nanotechnology in Europe – Ensuring the EU Competes Effectively on the World Stage, Survey and Workshop Organized by Nanoforum in Düsseldorf, Germany, June 2007.
59. Tanguchi N., On the Basic Concept of ‘Nano-Technology’, Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.
60. Tomalia, D. A. Birth of New Macromolecular Architecture: Dendrimers as Quantized Building Blocks for Nanoscale Synthetic Organic Chemistry. *Aldrichimica ACTA* 2004, 37, 39-57.

61. U.K. Department of Trade and Industry. New Dimensions for Manufacturing: UK Strategy for Nanotechnology, 2002. Adres: <http://www.nano.org.uk>.
62. U.S. Department of Energy, Office of Science, Theory and Modeling in Nanoscience, 2002. Adres: <http://www.science.doe.gov/nano/Publications.htm>.
63. U.S. National Nanotechnology Initiative. The National Nanotechnology Initiative Strategic Plan, 2004. Adres: <http://www.nano.gov>.
64. U.S. National Science and Technology Council, Committee on Technology, Interagency Working Group on NanoScience, Engineering and Technology: Nanostructure Science and Technology, A Worldwide Study, Spetember 1999. Adres: <http://www.wtec.org/loyola/nano/>
65. Wagner, V., Wechsler, D., Nanobiotechnology II, Technology Analysis, No: 50, 2004.
66. Willems and van der Willenberg (W & W), NRM Nanoroadmap Project: Roadmap Report on Nanoparticles, November 2005.
67. Yablonovitch, E. Semiconductors for light Beams, *Spektrum der Wissenschaft* 2002, 4, pp66-72.

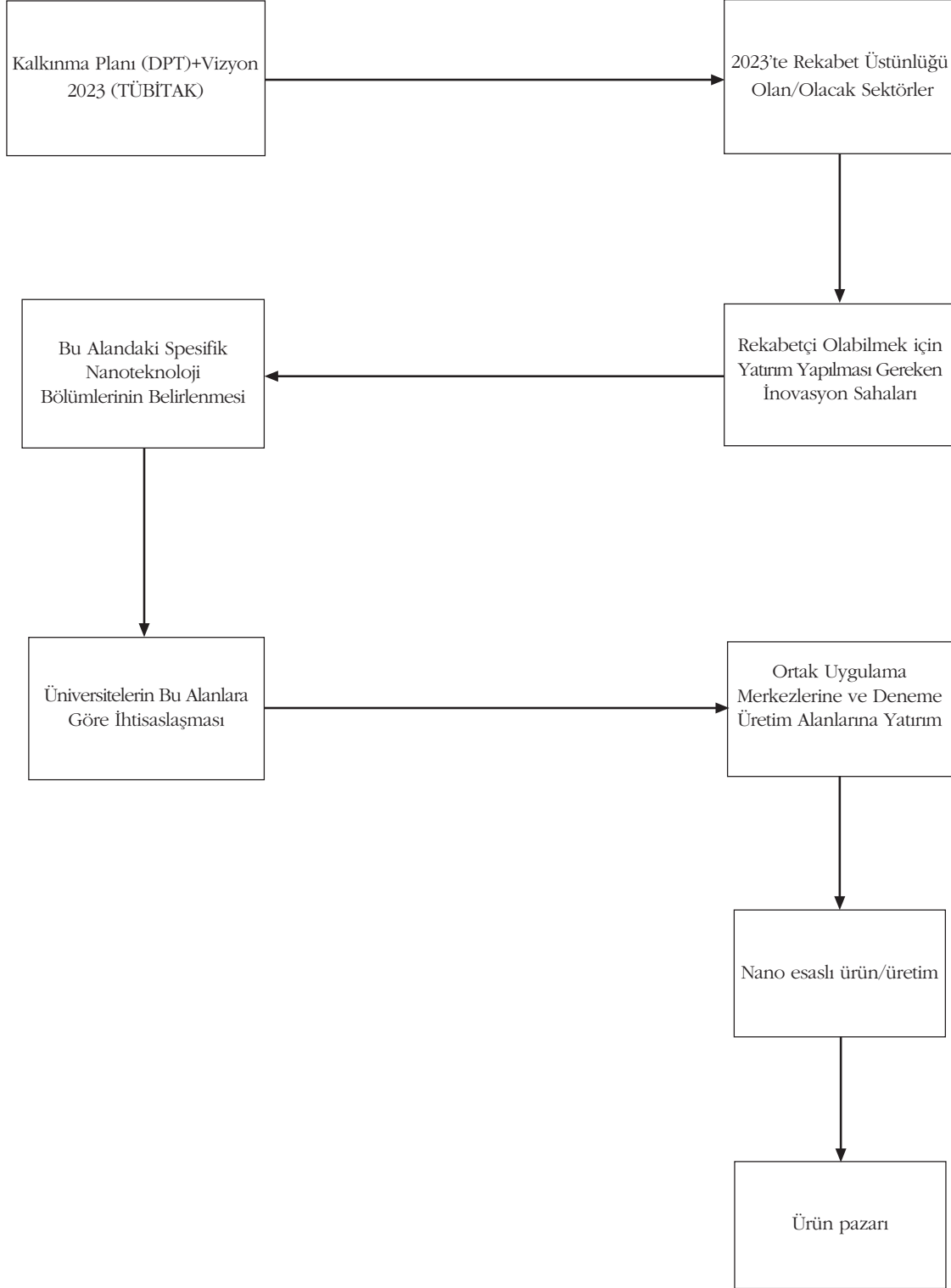


EKLER





## EK 1- İzlenecek yol haritası



## **EK 2- Türkiye’de Nano İle İlgili Çalışmalar Yapan Kuruluşlar:**

Üniversiteler (Son 4 Yılda Yapılan Nano-Tr Konferansına Bildiri Gönderen Üniversiteler)

1. Ahi Evran Üniversitesi
2. Anadolu Üniversitesi
3. Ankara Üniversitesi
4. Atatürk Üniversitesi
5. Balıkesir Üniversitesi
6. Bilkent Üniversitesi
7. Bozok Üniversitesi
8. Cumhuriyet Üniversitesi
9. Çukurova Üniversitesi
10. Dokuz Eylül Üniversitesi
11. Dumlupınar Üniversitesi
12. Ege Üniversitesi
13. Erciyes Üniversitesi
14. Erzincan Üniversitesi
15. Fatih Üniversitesi
16. Gazi Üniversitesi
17. Gaziantep Üniversitesi
18. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
19. Hacettepe Üniversitesi
20. Harran Üniversitesi
21. İnönü Üniversitesi
22. İstanbul Teknik Üniversitesi
23. İstanbul Üniversitesi
24. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
25. Kadir Has Üniversitesi
26. Karaelmas Üniversitesi

- 27.Kırşehir Üniversitesi
- 28.Kilis Üniversitesi
- 29.Kocaeli Üniversitesi
- 30.Koç Üniversitesi
- 31.Marmara Üniversitesi
- 32.Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
- 33.Mersin Üniversitesi
- 34.Orta Doğu Teknik Üniversitesi
- 35.Osmangazi Üniversitesi
- 36.Sabancı Üniversitesi
- 37.Sakarya Üniversitesi
- 38.Selçuk Üniversitesi
- 39.Süleyman Demirel Üniversitesi
- 40.Trakya Üniversitesi
- 41.TÜBİTAK-MAM
- 42.Uludağ Üniversitesi
- 43.Yeditepe Üniversitesi
- 44.Yıldız Teknik Üniversitesi
- 45.Yüzüncü Yıl Üniversitesi

## Yerleşik Çalışma Grupları Olan Üniversiteler ve Çalışma Konuları

| <b>Çalışılan Konular</b>  | <b>Konular ile ilgilenen Üniversiteler</b>   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Nano materyaller, atom yapılarına müdahale edilmiş sistemler<ul style="list-style-type: none"><li>– Özel kimyasallar</li><li>– Katalizörler</li><li>– Pigmentler</li><li>– Kaplamalar</li><li>– Seramik tozlar</li><li>– Metal oksitler</li></ul></li></ul> | Anadolu Üniversitesi<br>Bilkent Üniversitesi<br>GYTE<br>Hacettepe Üniversitesi<br>İTÜ<br>Koç Üniversitesi<br>ODTÜ<br>Sabancı Üniversitesi<br>TÜBİTAK-MAM |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Nano cihazlar, insan damarlarına girebilecek kadar küçük aygıtlar<ul style="list-style-type: none"><li>– Yapay Deri</li><li>– Kontrollü ilaç salınım sistemleri</li><li>– Sensörler</li><li>– Quantum yapılar</li></ul></li></ul>                           | Bilkent Üniversitesi<br>Hacettepe Üniversitesi<br>Koç Üniversitesi<br>ODTÜ<br>Sabancı Üniversitesi   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Nano alet, son derece küçük devre boyutlarında kullanılacak sistemi organize edebilecek teknolojiler<ul style="list-style-type: none"><li>– STM</li><li>– AFM</li></ul></li></ul>   | Bilkent Üniversitesi<br>GYTE<br>Koç Üniversitesi<br>ODTÜ<br>Sabancı Üniversitesi   |

Türkiye’de Nano ile İlgili Araştırma-Çalışma-Üretim Yapan Kuruluşlardan Ulaşılabilenler\*: (Cihaz satan kuruluşlar listeye konulmamıştır)

| <b>İlgi alanları</b>    | <b>Kurum</b>                | <b>Geliştirme çalışmaları</b>                                    |
|-------------------------|-----------------------------|--|
| Yapı malzemeleri        | Çimstone                    | Nanoparçacıklar ile yüzey iyileştirme, antimikrobiyal özellik vs |
| Boya vernik üretimi     | Dyo                         | Nanoparçacıklar ile kendi kendini temizleyen yüzeyler            |
| Teknik tekstil-otomotiv | Kordsa                      | Nanoparçacıklar ile iplik mukavemetin artırılması                |
| Tekstil ipliği          | Korteks                     | Fonksiyonel iplik üretimi, iletken, yüksek mukavemet,            |
| Elektronik-enerji       | Vestel                      | Yakıt pilleri, güneş enerjisi                                    |
| Tekstil                 | Zorlu Linen                 | Fonksiyonel Tekstiller, antimikrobiyal, su itici, UV korumalı    |
| Tekstil                 | Mesel Grup                  | Askeri amaçlı fonksiyonel tekstiller-uygulama                    |
| Savunma Sanayi          | Öztek Tekstil San. Tic. A.Ş | Askeri amaçlı fonksiyonel malzemeler                             |

Türkiye de bilinen Nano ilgili başlangıç (Start-up) şirketleri\*

| <b>İlgi alanları-Üretimleri</b>  | <b>Kurum</b>   | <b>Web adresi</b>              |
|--|--|--------------------------------|
| Gümüş-zeolit Nanoparçacıklar   | Nanotech Advanced Tech Materials And Electronic Systems  | www.nanotech.com.tr            |
| İleri seramikler   | Mda İleri Teknoloji Seramikleri San. Ve Tic. Ltd.  |                                |
|  | TEKNOMA Teknolojik Malzemeler San.Ve Tic.Ltd.Şti.  | www.teknoma.net                |
| Elektro dokuma ekipmanları   | Nano Fmg Danışmanlık Araştırma Geliştirme Tekstil Makina San. Tic. Ltd. Sti-                       | www.nanofmggroup.com           |
| Nanomanipülasyon, nanolitografi, topografik ve manyetik alan ölçümü amaçlı mikroskop (STM,AFM,SHPM), | Nanomagnetics Instruments Ltd  | www.web.nanomagnetics-inst.com |
| Nanobiyoteknoloji  | BNT Biyonano Teknoloji A.Ş.  | www.bnt4bnt.com                |
| Elektrodokuma ürünleri   | Nanomative   | www.nanomative.org             |
| Solgel nanoparçacıklar-nanokil   | Nanomat Tr   | www.nanomattr.com.tr           |
| Milikelvin Taramalı Uç Mikroskopunun Geliştirilmesi  | Nanomanyetik Bilimsel Cihazlar San. Ve Tic. Ltd. Şti.  |                                |
|  | Nanovak Ar-Ge Bilişim  |                                |
| Nanoteknoloji-Biyoteknoloji-Eğitim-Bilişim-Danışmanlık-Arge  | Nanobiz Nano-Biyo Teknolojik Sistemler Eğitim Bilişim Danışmanlık Ar-Ge Sanayi Ve Tiaret Ltd. Şti. | www.nanobiz.com.tr             |

|  |  |                    |
|--|--|--------------------|
| Danışmanlık  | Obitek Orta Doğu Birleşik Teknolojiler Eği. Dan. Ar-Ge San. Tic. Ltd. Şti. | www.obitek.com.tr  |
| Nano yapılı malzeme sentezlenmesi ve sanayi uc ürünlerinde uygulanmasına ilişkin AR-GE çalışmaları | Yüksek Teknoloji Malzemeleri Araştırma Ve Geliştirme A.Ş.                  | www.nano-tekno.com |

\* Basın haberleri ve kişisel temaslar sonucu elde edilen bilgilere dayanmaktadır-bilgimiz dışındaki şirketlere yer veremediğimiz için özür dileriz.

### EK-3: Çalıştay Katılımcı Listesi

| <b>Endüstri</b>                               |                    |                                  |
|---|--------------------|----------------------------------|
| Semih Ertürk                                  | Tofaş              | Semih.Erturk@tofas.com.tr        |
| Mehmet B. Kırca                               | Sabancı Holding    | mkirca@sabanci.com               |
| Murat Oğuz Arcan                              | Hexagon            | muratoguz.arcan@hexagon.com.tr   |
| Serhat Görgün                                 | Inovent            | serhat.gorgun@inovent.com.tr     |
| Yusuf Işık                                    | TBMM-Danışman      | nyisik@yahoo.com                 |
| Elif Baktır                                   | Tekim              | elif.baktir@tekim.com.tr         |
| İhsan Karataylı                               | Teknopolis         | sirin.elci@focusinnovation.net   |
| Ömer Hızıroğlu                                | Inovent            | omer.hiziroglu@inovent.com.tr    |
| Kaan Dericioğlu                               | Ankara Patent      | kaan.dericioglu@ankarapatent.com |
| Hüseyin Uğur                                  | Teknoloji Yat. A.Ş | ugurh@superonline.com            |
| Özcan Sarıtaş                                 | İTÜ                | ozcan.saritas@mbs.ac.uk          |
| <b>NanoPhys fotonik, elektronik, manyetik</b> |                    |                                  |
| Salim Çıracı                                  | Bilkent Üniv.      | ciraci@fen.bilkent.edu.tr        |
| Mehmet Bayındır                               | Bilkent Üniv.      | mb@bilkent.edu.tr                |
| Oğuz Gülseren                                 | Bilkent Üniv.      | gulseren@fen.bilkent.edu.tr      |
| Atilla Aydınli                                | Bilkent Üniv.      | aydinli@fen.bilkent.edu.tr       |
| <b>NanoMalzeme</b>                            |                    |                                  |
| Bora Maviş                                    | Hacettepe Üniv.    | bmavis@hacettepe.edu.tr          |
| Güngör Gündüz                                 | ODTÜ               | ggunduz@metu.edu.tr              |
| Mustafa Üreyen                                | Anadolu Üniv.      |                                  |
| Mustafa Demir                                 | IYTE               | mdemir@iyte.edu.tr               |
| Yusuf Menciloglu                              | Sabancı Üniv.      | yusufm@sabanciuniv.edu           |



|  |               |                          |
|--|---------------|--------------------------|
| <b>NanoBioteknoloji, tarım, gıda, sağlık</b> |               |                          |
| Candan Tamerler                              | İTÜ           | tamerler@itu.edu.tr      |
| Suna Timur                                   | Ege Üniv.     | timur@sci.ege.edu.tr     |
| <b>NanoFabrikasyon ve karakterizasyon</b>    |               |                          |
| Ahmet Oral                                   | Bilkent Üniv. | ahmet@fen.bilkent.edu.tr |
| Yaşar Gürbüz                                 | Sabancı Üniv. | yasar@sabanciuniv.edu    |
| Salih Okur                                   | IYTE          | salihokur@iyte.edu.tr    |
| İsmet İ. Kaya                                | Sabancı Üniv. | iikaya@sabanciuniv.edu   |
| Erdem Alaca                                  | Koç Üniv.     | ealaca@ku.edu.tr         |

