

**İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ASKERİ MALZEMELERDE**  
**NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI**

**Özgür Rahmi DEMİREL**

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Programında**

**Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eralp ÖZİL**

**İSTANBUL, 2007**

Hazırlamış olduğum tez özgün bir çalışma olup YÖK ve İTİCU Lisansüstü Yönetmeliklerine uygun olarak hazırlanmıştır. Ayrıca, bu çalışmayı yaparken bilimsel etik kurallarına tamamıyla uyduğumu; yararlandığım tüm kaynakları gösterdiğimi ve hiç bir kaynaktan yaptığım ayrıntılı alıntı olmadığını beyan ederim. Bu tezin ihtiva ettiği tüm hususlar şahsi görüşüm olup; Türk Silahlı Kuvvetlerinin ve İstanbul Ticaret Üniversitesinin resmi görüşlerini yansıtmamaktadır.

Özgür Rahmi Demirel

# İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. NANOTEKNOLOJİNİN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ.....	2
2.1. Nanoteknolojinin Tanımı.....	2
2.2. Nanoteknolojinin Tarihçesi.....	2
3. NANOTEKNOLOJİ ARAŞTIRMALARI.....	4
3.1. Nanofotonik ,Nanoelektronik,Nanomanyetizma.....	4
3.2. Nanomalzeme.....	5
3.3. Yakıt Hücreleri Ve Enerji.....	7
3.4. Nanokarakterizasyon .....	8
3.5. Nanofabrikasyon .....	9
3.6. Nanoölçekte Kuantum Bilgi İşleme.....	10
3.6.1. Kuantum Bilgi İşlemenin Ülkemiz Açısından Önemi .....	10
3.6.2. Ulaşılması Gereken Stratejik Amaçlar .....	11
3.7. Nano Biyoteknoloji.....	11
3.8. Nanoteknolojinin Amaçları .....	14
3.9. Nanoteknoloji Konusunda Atılan Adımlar .....	14
3.9.1. Nanoteknolojinin Gelişimi Konusunda Önemli Göstergeler .....	20
3.9.2. Nanoteknolojinin Gelişen Kullanım Alanları .....	23
3.10. Nanoteknolojinin Avantajları .....	26
3.11. Elde Etme Yöntemleri .....	27
3.11.1. Bottom-up Yöntemi .....	27
3.11.2. Top Down Yöntemi .....	27
3.12. Nanoteknolojinin Uygulama Örnekleri .....	27
3.13. Gelecekteki Uygulama Alanları .....	28
3.13.1. Malzeme ve İmalat Sektörü .....	28
3.13.2. Nano Elektronik ve Bilgisayar Teknolojileri.....	28
3.13.3. Tıp ve Sağlık Sektörü .....	28
3.13.4. Havacılık ve Uzay Araştırmaları .....	28
3.13.5. Çevre ve Enerji .....	29
3.13.6. Bioteknoloji ve Tarım.....	29
3.13.7. Savunma Sektörü .....	29

4.	DÜNYADA NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI.....	30
4.1.	ABD’de Nanoteknoloji Uygulamaları .....	30
4.2.	Avrupa Birliğinde Nanoteknoloji Uygulamaları .....	30
4.3.	Asya’da Nanoteknoloji Uygulamaları .....	31
5.	TÜRKİYEDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI.....	33
5.1.	Nanoteknolojinin Türkiye İçin Stratejik Önemi .....	35
5.2.	Önerilen Bilim ve Teknoloji Politikaları .....	38
6.	NANOTEKNOLOJİ ARAŞTIRMALARININ MUHTEMEL HEDEFLERİ VE ASKERİ ALANDAKİ ETKİLERİ.....	40
6.1.	Nanofotonik,Nanoelektronik ve Nanomanyetizma Araştırma Hedefleri .....	40
6.2.	Yakıt Hücreleri ve Enerji Konusunda Araştırma Geliştirme Çalıştırmaları .....	41
6.3.	Nanokarakterizasyon Konusunda Hedefler .....	41
6.4.	Nanofabrikasyon Konusunda Ulaşılması Gereken Hedefler .....	42
7.	ASKERİ ALANDA NANOTEKNOLOJİ ARAŞ. VE KULLANIMI.....	43
7.1.	Muharebe Sahasındaki Gelişmeler .....	43
7.2.	Tekstilde Nanoteknoloji veAskeri Alanda Üniformalara Yansımaları .....	47
7.2.1.	Işığı Gören ve Isıyı Hisseden Akıllı Kumaşlar.....	48
7.3.	Askeri Nanoteknoloji.....	49
7.4.	Nanoteknolojinin Askeri Alanda Riskleri .....	52
7.5.	Mevcut ve Yakın Gelecekte Planlanan Askeri Nanoteknoloji Projeleri .....	52
7.6.	Nanoteknolojinin Askeri Alanda Kullanımının Olası Faydaları .....	53
7.6.1.	Hafif Silahlar ve Ekipmanlar .....	54
7.6.2.	Komuta ve Kontrol Sistemleri .....	55
7.6.3.	Savaşan Asker.....	55
8.	SONUÇLAR .....	57
	KAYNAKLAR .....	59
	ÖZGEÇMİŞ.....	61

## KISALTMA LİSTESİ

nm	Nanometre
GMR	Giant Magnetic Resonance
LED	Light Emitting Diode
AKM	Atomic Force Microscope
STM	Scanning Tunnelling Microscope
MFM	Manyetik Kuvvet Mikroskobu
UNAM	Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi
MEMS	Mikro Elektromekanik Sistemler
MIT	Askeri Nanoteknoloji Enstitüsü
DoD	ABD Savunma Departmanı
DARPA	İleri Savunma Araştırma Projeleri Bürosu
DURINT	Savunma Konulu Nanoteknoloji Araştırmaları Projesi
SHPM	Taramalı Hall Aygıtı Mikroskobu

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 7.1 Nanoteknoloji Askeri Teknolojileri Nasıl Etkiler.....	46
Şekil 7.2 Günümüz Askeri Üniformasıyla Geleceğin Üniformasının Karşılaştırılması.....	48
Şekil 7.3 2020 li yılların beklenen üniforması.....	51

## **TABLO LİSTESİ**

Tablo 3.1 Devletlerinin Nanoteknoloji Yatırımları.....	22
Tablo 3.2 Nanoteknolojide Ülkemiz ve Komşuların Durumu.....	22
Tablo 7.1 ABD'nin Nanoteknoloji Araştırmalarına Ayırdığı Bütçe.....	49

## ÖNSÖZ

Malzemelerin nano ölçekte işlenmesi ve normal boyutlarda sahip olamadıkları farklı ve değişik özelliklere nano boyutta sahip olmaları yeni bir çağır açmaktadır. Eskiden hayal bile edilemeyecek bir çok şey nanoteknolojiyle mümkün olmakta malzemelerin dayanıklılık, ağırlık gibi kavramları tekrar sorgulanmaya başlanmaktadır..

Hemen hemen bütün bilimsel gelişmelerde olduğu gibi nanoteknolojide de askeri istek ve arzular araştırmalara ön ayak olmuş ve gelişimi hızlandırmıştır. Bu çalışmada nanoteknoloji kavramı ve uygulamaları hakkında kapsamlı bir şekilde durulduktan sonra muharebe sahasının gelecekteki durumu ve ihtiyaçları incelenmiştir. Bu ihtiyaçların nanoteknolojilerle günümüzde ne kadar giderildiği ve gelecekteki yol haritası gözler önüne serilmiştir.

Bu çalışmamda bana emek vermiş Sayın hocam Prof. Dr. Eralp ÖZDİL'e, yardımlarını esirgemeyen Dr. Alper ÖZPINAR'a, değerli hocalarıma ve eşime teşekkür ediyorum.

Ekim,2007

Özgür Rahmi DEMİREL



## ÖZET

Silikon teknolojisinden sonra dünyada sahneye çıkması beklenen teknoloji nanoteknolojidir. Nanoteknoloji malzemelerin büyük ölçekteki özelliklerinden farklı olarak malzemeleri atomik, moleküler ve makro moleküler ölçekte incelemek ve manipüle etmektir. Bu seviyede uygulanan prosesler malzemelere çok farklı ve yararlı özellikler kazandırmaktadırlar. Bu araştırmada öncelikle nanoteknolojinin tanımı, tarihsel gelişimi, özellikleri ve uygulamalarının neler olduğu açıklanmıştır. Dünyada ve Türkiye’de nanoteknolojiyle ilgili çalışmalar araştırılmıştır.

Dünyamızda bütün gelişmeler genel olarak askeri isteklerden kaynaklanmaktadır. Nanoteknoloji de kara hava ve deniz kuvvetlerinde bir çok uygulama alanlarına sahiptir. Geleceğin muharebe sahasının özellikleri araştırılmış ve ihtiyaçlar tanımlanmıştır. Tek bir asker üzerinde bile bir çok nanoteknolojik aygıtın kullanılması mümkündür. Karargahlar nanoteknoloji yardımıyla taktik resmi daha ayrıntılı olarak görecekler ve kararlarını daha doğru verebileceklerdir. Dünyada nanoteknolojinin askeri alanda kullanımı ile ilgili en çok çalışmayı Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı (DoD) ve MIT yapmışlardır. Bu çalışmada bu kuruluşların yaptığı araştırma konuları gösterilmiş ve sonuçları anlatılmıştır. Ayrıca nanoteknolojinin sivil özellikleri ile muharebe sahasının ihtiyaçları karşılaştırılarak gelecekte mümkün olan araştırmalardan da bahsedilmiştir. Sonuç olarak nanoteknolojiye sahip olan ülkelerin silahlı kuvvetlerinde de bunu uygulamaları durumunda nasıl bir üstünlük elde edeceği görülmektedir. Türkiye gibi güçlü bir ordu bulundurması gereken ülkeler nanoteknolojiyi bir an önce askeri alanda kullanmaya başlamalı ve bu yarışta geri kalmamalıdır. Ancak bu şekilde bir denge kurulup devam ettirilebileceği değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoteknoloji, silahlı kuvvetler, askeri araştırmalar

## **ABSTRACT**

The technology that is expected to appear after silicon technology is nanotechnology. Nanotechnology is examining and manipulating materials in atomic, molecular and micromolecular scale different from normal scale. Materials acquire different and useful specialities with nano scale processes .In this work , it is explained that what is nanotechnology, historical development and applications. Studies about nanotechnology in the World and Turkey have been examined

Generally, origin of all developments in our world is military desires.Also nanotechnology has application areas in army, navy and air forces. It is defined specialities of modern combat and its needs.Many nanotechnologic devices can be on one soldier.Headquarters will see tactical situation detailed and decide more precisely with the help of nanotechnology.USA Department of Defence and MIT are the establishments which did most of researchs about military uses of nanotechnology. In this work, Research studies and results of this establishment(DoD and MIT) is shown.Also civilian properties of nanotecnlogy and needs of combat area were compared. As a result, it is shown how armed forces of countries using nanotechnology will gain a superiority than the others. Countries which needs a powerful military like Turkey should start to use nanotechnolgy in military area. Only in this way it can become a balance between countries.

**Keywords:** Nanotechnology, armed forces, military researchs

## 1.GİRİŞ

Tarihteki bilimsel ve teknolojik gelişmelere baktığımızda hemen hemen hepsinin insanların ve devletlerin birbirlerine üstün gelme arzusunun bir ürünü olduğu görünür. Milli gücün en önemli unsurlarından biri olan askeri güçte en önemli üstünlük vasıtalarından biridir.

Bir yarıiletken olan Si kristalinin tümleşik devre üretiminde kullanılması mikroelektronik teknolojisinde çığır açan gelişmelere yol açmıştır. 1940'lı yıllarda başlayan bu süreç, günümüzde milyonlarca elektronik aygıtı barındıran karmaşık işlemcilerin aynı yonga üzerine üretilebildiği üretim düzeyine ulaşmıştır. Önümüzdeki 10-15 yıl içerisinde silikon teknolojisinin son sınırlarına dayanması beklenmektedir. Silikon teknolojisinde Türkiye yeterli atılımı gösterememiştir. Bu durumda "silikon sonrası" teknolojilerin ne olacağı, nasıl şekilleneceği ve silikon teknolojisinin sadece kullanıcısı durumunda bulunan ülkemizin hangi yeni teknolojilerin gelişmesinde rol olabileceği önem kazanmaktadır

Nanoteknolojinin ülkemizde geliştirilmesi için ihtiyaç duyulan insan altyapısı vardır. Bazı temel araştırmaları yürütecek teknik altyapı ve deneyim de mevcuttur. Bu alanlarda Türkiye'nin özgün teknoloji üreten bir ülke olması; özellikle uluslararası dev elektronik firmaların rekabet edemeyeceği özgün teknolojilere yönelerek varlığını uluslararası düzeyde sürdürebilmesi olasıdır. Nanoteknoloji de her ne kadar yeni bir alan olsa da askeri alanda kullanılmaya başlamış ve dünya orduları bu alanda da bilim ve teknolojinin tetikleyicilerinden olmuştur. Askeri malzemelerde nanoteknolojinin nimetlerinden hızla yararlanılmaya başlanmış ve muharebe ortamı gitgide daha karmaşık bir hal almıştır ve almaya da devam edecektir.

Askeri malzemelerde nanoteknoloji kullanımı ile ilgili ülkemizde henüz bir çalışma yapılmamıştır. Sadece İkmal maliye okul komutanlığınca askeri üniformalarda nanoteknoloji kullanımı ile ilgili bir sunu arz edilmiştir. Bu araştırmada nanoteknolojiyle ilgili literatür araştırması yapılmış ve muharebe sahasının gelecekte beklenen gelişmeleri göz önüne alınarak, hali hazırda mevcut askeri alandaki nanoteknolojik uygulamalar ve muhtemel uygulamalar göz önüne serilmiştir

## 2.NANOTEKNOLOJİNİN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

### 2.1. Nanoteknolojinin Tanımı

Nano-teknoloji ultra ince/küçük parçaların/malzemelerin kullanım bilimidir. Bir nano metre (1 nm) milimetrenin milyonda birine eşittir ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m} = 10^{-6}\text{ mm}$ ). İnsan saç kılı 80.000 nm kalınlığındadır (Kaya, 2005). Kırmızı kan hücreleri 7000 nm çapındadır. Nano-bilimi malzemelerin büyük ölçekteki özelliklerinden farklı olarak malzemeleri atomik, moleküler ve makro moleküler ölçekte inceler ve manipüle eder.

Malzemeler nano ölçekte, iri boyuttan çok farklı özellik ve davranışlar gösterirler. Nano malzemeler daha kuvvetli, daha hafif veya daha farklı şekilde ısı ve elektrik iletme özelliklerine sahiptir. Hatta renkleri bile değişir. Örneğin nano ölçekteki altın parçaları, parça boyutuna göre kırmızı ve mavi renk olabilmektedir.

Parça boyutu incelidikçe birim kütle için yüzey alanı artışı, malzemenin kimyasal reaktivitesini artırır. Bu yüzden nano-malzemeler yakıt hücreleri ve pillerde katalizör görevi görebilmektedir. Parça boyutu incelidikçe kuantum etkisi artar, malzemenin optik, manyetik ve elektriksel özellikleri önemli ölçüde değişir.

Bilgisayar yongaları (chip), CD'ler ve mobil telefonların yapımında nano-malzemeler kullanılmaktadır. Nano-malzemelerden üretilen cihazlar daha hızlı, hafif, kuvvetli ve verimli olmaktadır. Nano-teknolojiler sağlık, bilgi teknolojileri (IT) ve enerji depolamada çok büyük potansiyel kullanım olanaklarına sahiptir. İçinde yaşadığımız dünya nano-teknolojilerle çok önemli gelişmeler kaydedecektir. Dünyada gelişmiş devletler ve iş dünyası nano-teknolojiye çok büyük yatırımlar yapmaktadır.

### 2.2. Nanoteknolojinin Tarihçesi

60'lar-Feynman: Nanoteknoloji vizyonunun ortaya çıkışını, 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilirler üzerine yapmış olduğu ünlü konuşmasına kadar dayandırılabilir, (There is Plenty of Room at the Bottom). Bu konuşmasında Feynman minyatürize edilmiş enstrümanlar ile nano yapıların ölçülebileceği ve yeni amaçlar doğrultusunda kullanılabilmesinin altını çizmiştir.

80'ler-Uygun mikroskopların geliştirilmesi: Araştırmacıların daha küçük boyutlarda çalışmaya başlamasıyla birlikte bir çok problem de ortaya çıkmaya başlamıştır. Boyutlar

küçüldükçe, yapılan çalışmaları izlemek zorlaşmıştır. 1981 yılında IBM tarafından yeni bir mikroskop türü 'Scanning Tunneling Microscope' (STM) geliştirildi. Bu önemli ilerlemede pay sahibi olan araştırmacılar bu buluşları ile 1986'da Nobel Fizik ödülünü aldılar. Aynı zamanlarda STM mikroskopunun bir türeviden olan 'Atomic Force Microscope' (AFM) geliştirildi. Feynman'ın bahsetmiş olduğu enstrümanların (scanning electron microscope, atomic force microscope, near field microscope vb.) 1980'lerde geliştirilmesi ve eşzamanlı olarak gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano skalasında ölçüm ve modelleme yapılması mümkün olmuştur.

90'lar 'Fullerene-Karbon Nanotüpler-Drexler: 1990'ların başında Rice Üniversitesinde Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacılar 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen futbol topu şeklindeki 'fullerene' molekülleri geliştirildi. Elde edilen molekül 1 nanometre büyüklüğünde ve çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen bir yapıya sahipti. Bu araştırmacılar 1996 yılında Nobel Kimya ödülünü aldılar. 1991 yılında Japon NEC firması araştırmacılarından birinin, Sumio Iijima'nın, karbon nano tüpleri bulunduğunu duyurdu. Karbon nano tüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş bir şekli olup benzer şekilde önemli özelliklere sahipti; çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6'da 1'i kadardı. 90'larda ayrıca Feynman'ın fikirleri Eric Drexler tarafından yazılan kitapta ('Engines of Creation') geliştirildi. Drexler'in fikirleri şüpheyle karşılanmasına karşın 1992 yılında yayınlamış olduğu kitabında ('Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation') genel kavram ve düşüncelerini detaylı analiz ve tasarımlar ile ayrıntılı olarak anlatmıştır.

2000'ler ' Yarış başlıyor: 1999 yılında ABD'de Bill Clinton hükümeti nanoteknoloji alanında yürütülen araştırma, geliştirme ve ticarileştirme faaliyetlerinin hızını artırma amacını taşıyan ilk resmi hükümet programını, Ulusal Nanoteknoloji Adımını (National Nanotechnology Initiative) başlattı. 2001 yılında Avrupa Birliği, Çerçeve Programına Nanoteknoloji çalışmalarını öncelikli alan olarak dahil etti. Japonya, Tayvan, Singapur, Çin, İsrail ve İsviçre benzer programlar başlatarak 21. yüzyılın ilk küresel teknoloji yarışında önlerde yer almak için çalışmalarına hız verdi.

### **3.NANOTEKNOLOJİ ARAŞTIRMALARI**

#### **3.1. Nanofotonik, Nanoelektronik, Nanomanyetizma**

Bir yarıiletken olan Si kristalinin tümleşik devre üretiminde kullanılması mikroelektronik teknolojisinde çığır açan gelişmelere yol açmıştır. 1940'lı yıllarda başlayan bu süreç, günümüzde milyonlarca elektronik aygıtı barındıran karmaşık işlemcilerin aynı yonga üzerine üretilebildiği üretim düzeyine ulaşmıştır. Önümüzdeki 10-15 yıl içerisinde silikon teknolojisinin son sınırlarına dayanması beklenmektedir. Bu durumda "silikon sonrası" teknolojilerin ne olacağı, nasıl şekilleneceği ve silikon teknolojisinin sadece kullanıcısı durumunda bulunan ülkemizin hangi yeni teknolojilerin gelişmesinde rol olabileceği önem kazanmaktadır.

Boyutların küçülmesi ve nanometre boyutlarına inmesi nedeni ile nanoelektronik olarak isimlendirilen elektronik aygıtların, silikon sonrasında önemli bir yer alması beklenmektedir. Nanometre boyutlarında oluşan kuantum etkilerini temel alan tek-elektron transistörler, tünel diyotlar ile moleküler elektronik aygıtlar, bu yeni teknolojinin yapı taşlarını oluşturacaktır. Bu aygıtların oluşturduğu, moleküler ve belki de tek-elektron seviyesinde sayısal işlemlerin yapıldığı, trilyonlarca aygıtın bir araya geldiği geleceğin yüksek performanslı sayısal tümleşik nanoelektronik devrelerin, son 40 yıldır devam eden Moore yasasını 2020 ve daha sonrasına taşıması beklenmektedir.

Nanoelektronik devrelerin sayısal devrelerin gelişimine yapması beklenen katkının bir benzerini, nanofotonik aygıtların günümüzdeki optik iletişim ve internet teknolojilerine yapması beklenmektedir. 1990'larda başlayan ve baş döndürücü bir hızla ilerleyen internet ve bilgi iletim teknolojisi sürekli olarak artan bir bilgi aktarma hızına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde optik fiber teknolojisinin sunduğu kapasitenin yalnızca binde biri kullanılmaktadır.

Bu kapasitenin kullanımı lazer, detektör ve modülatör gibi fotonik aygıtların kapasitesi ile sınırlı kalmaktadır. Nanofabrikasyon teknolojileri kullanılarak yaratılacak nanodetektör, nanolazer ve nanomodülatör aygıtlarının kullanıma girmesi ile daha yüksek hızlarda çalışan optik iletişim sistemleri, 2020 yılı ve sonrasında ihtiyaç duyulacak iletişim kapasitesini karşılayacaktır.

Nanofotonik yapılar ve fotonik kristaller kullanarak madde ile elektromanyetik dalgaların etkileşmesini kontrol altına almak mümkündür. Bu etkileşimi moleküler seviyeye taşıyarak tek bir molekül ile nanofotonik teknolojiler kullanarak etkileşmek mümkün olacaktır. Bu etkileşim ise tek molekül hassasiyetinde sensör yapılmasını sağlayacaktır. Bu tür bir aygıtın özellikle moleküler biyoloji ve nanotıp bilimlerinde önemli uygulamaları olacaktır. Biyoteknoloji uygulamalarının yanında moleküler bilgisayarların "input-output" sorunlarını da nanofotonik teknolojiler kullanarak çözmek mümkün olacaktır.

Silikon ve diğer bir IV. grup yarıiletkeni germanyum, sahip oldukları indirekt band aralığı nedeni ile etkili ışıma göstermezler ve fotonik uygulamalar için uygun değildir. Ancak son yıllarda, poroz ya da nanokristal biçimindeki düşük boyutlu Si ve Ge yapıların ışıma yaptığı gözlemlenmiştir. Bu buluş, Si tabanlı fotonik aygıtların mikroelektronik devrelerle tümleşik olarak üretilmesinin yolunu açmaktadır. Nanokristaller, görünür bölgede rengi boyutlarına bağlı olarak değişen ışık yayabilen etkili merkezler oluşturmaktadır. Görünür bölgede ışıma yapan yarıiletken nanokristaller elektroniğin dışında da uygulama alanları bulmaktadır. II-VI grubu bileşik yarıiletkenlerinden (CdS, CdSe, CdTe) oluşan nanokristaller boyutlarına bağlı olarak farklı renklerde ışıma yapabilmektedir ve bu özellik canlı hücrelerin işaretlenmesinde, tanı amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde sabit disklerde GMR (Giant Magnetic Resonance) etkisi kullanılmaktadır. Ama sabit disklerde kullanılan boyutların 100 nanometre seviyesine yaklaşması ile bu teknolojinin kullanımı pratik hale gelmeyecektir. 100 nanometreden daha küçük boyutlarda manyetizma etkisi elde edilmesini amaçlayan nanomanyetizma teknolojilerinin bu aşamada devreye girmesi beklenmektedir. Spintronik olarak da adlandırılan bu teknolojiler vasıtası ile tek atom spin seviyesinde sayısal bilgileri bu malzemelere yazmak ve okumak mümkün olacaktır. Atomik seviyede bilgi saklayabilme teknolojileri ile 2020 yılına kadar ve daha sonrasında ihtiyaç duyulacak bilgi saklama ihtiyaçları karşılanmış olacaktır.

Yukarıda kısaca açıklanan bu nanoteknolojilerin ülkemizde geliştirilmesi için ihtiyaç duyulan insan altyapısı vardır. Bazı temel araştırmaları yürütecek teknik altyapı ve deneyim de mevcuttur. Bu alanlarda Türkiye'nin özgün teknoloji üreten bir ülke olması; özellikle uluslararası dev elektronik firmaların rekabet edemeyeceği özgün teknolojilere yönelerek varlığını uluslararası düzeyde sürdürebilmesi olasıdır.

### **3.2. Nanomalzeme**

Önümüzdeki 20 yıl içerisinde nanomalzemeler ile ilgili bilimsel, teknik ve mühendislik çalışmalarından beklentiler, klasik malzemelerin özelliklerinin ve

uygulamalarının gelişmesine, yeni teknoloji alanlarının ortaya çıkmasına neden olacak niteliktedir. Nanomalzemeler, metal, seramik, organik moleküler topluluk, polimerik ya da kompozit malzemeler olabilir. Tanımlayıcı nitelikleri 1 ile 100 nm arasındaki boyutlarıdır. Nanomalzemeler, yalnızca minyatürizasyonda yeni bir aşama olarak düşünülmemelidir; tümüyle yeni bir alandır: nanodünya, atomik ve kuantum fenomenleri ile hacimsel (bulk) malzeme ölçeğinin arasında yer almaktadır. Geleceğin teknolojilerinin atom, molekül ve nanoküme boyutlarında, malzemenin şeklinin kontrol edilmesi, nano yapıların organize edilmesi, aygıtlara dönüştürülmesi, malzemenin ve yüzeylerin tasarlanması-işlenmesi üzerine inşa edileceği öngörülmektedir.

Nanomalzemeler boyutlarından dolayı, elektronik, fotonik, manyetik, reolojik, yapısal ve mekanik niteliklerinde olumlu yönde farklılık gösterirler. Bu farklılığın nedenleri ise, yüksek yüzey-hacim oranları, hacimsel davranışlar ortaya çıkmadan sınırlı sayıda atom ya da molekül arasındaki kooperatif fenomenler ve nano-boyutlu yapılarda ortaya çıkan kuantum etkileridir.

Yol haritasındaki öngörülerin gerçekleştirilebilmesi için:

- Yetişmiş eleman açığının öncelikle giderilmesi (disiplinler arası yüksek lisans ve doktora programlarının oluşturulması, bu programlara kayıtlı öğrencilerin desteklenmesi, doktora-sonrası araştırmacılar için destek sağlanması),
- Üniversitelerin, küçük, orta ve büyük ölçekli sanayinin araştırma alt yapısının oluşturulması, yasal düzenlemelerle geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması,
- Araştırma merkezlerinin artırılması ve yaygınlaştırılması, sanayi tarafından yapılan veya yönlendirilen araştırmaların teşvik edilmesi ve desteklenmesi,
- Teknoparkların yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi, (bu özellikle nanoteknolojilerin geliştirilmesi için oldukça önemlidir),
- Çok işlevli nanokompozitler, nanotozlar (örneğin nanomanyetik tozlar), nanoyapılı ince filmler, kuantum noktaları, nanoteller, nanotüpler, nanotabakalar, nanogözenekli, biyoesinli malzemeler konularında temel ve uygulamalı araştırma ve geliştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu hedeflere yönelik temel olarak iki farklı yaklaşımdan söz edilebilir. Yukarıdan-aşağıya (top-down) yaklaşımında ağırlıklı olarak litografik yöntemler kullanılmaktadır. Aşağıdan-yukarıya (bottom-up) yaklaşımında ise, moleküler-atomik birimleri bir araya getirmek için süpramoleküler kimyadan yararlanılacaktır. Süpramoleküler kimya, moleküllerin, fonksiyonel moleküler ya da molekül toplulukları oluşturmak üzere bir araya



getirilmesinin ya da kendiliğinden bir araya gelmesinin (self-assembly) kurallarını inceler. Bu özelliği ile "aşağıdan-yukarıya" nanoteknoloji yaklaşımının moleküler yapısını oluşturmaktadır. Kolloid ve sol-jel yöntemleri de bu gruba dahildir. Nanotüpler, nanoteller ya da benzeri nano-bileşenler, süpramoleküler kimya aracılığı ile fonksiyonel moleküler aygıtlara dönüştürülecektir. Süpramoleküler bir tasarım, pek çok kez canlılar dünyasındaki örneklerden esinlenerek elde edilecektir. Bunlara örnek olarak, yapay enzimler, yapay fotosentez sistemleri, yapay biyoesinli motorlar ya da "de novo" tasarlanmış proteinler düşünülebilir.

Yukarıda belirtilen temel ve uygulamalı araştırma yöntemleri ve teknoloji politikaları hayata geçirildiğinde bazı ürünlerin geliştirilebileceği öngörülmektedir. Bunlar sensör, katalizör, yakıt hücreleri ve elektrotlar, polimerik nanokompozitler, yüksek kapasiteli veri depolama sistemleri için manyetik nanokompozitler; otomotiv, cam, ambalaj ve beyaz eşya sanayi için nano-kaplamalar, boyalar ve akıllı (smart) tekstil ürünleri gibi çok işlevli nanokompozit malzemeler, yapay enzimler, moleküler aygıtlar, yapay fotosentetik sistemlerden oluşan biyoesinli malzemeler ve katalizörler ve son olarak kendiliğinden düzenlenme (self-assembly) yöntemleri ile nano-elektronik ve nanomekanik aygıtlardır.

### **3.3. Yakıt Hücreleri Ve Enerji**

Enerji, üretimi ve kullanımı kadar depolanması ve taşınımı açısından günümüzün en önemli konularından biridir. Bugünün başlıca enerji kaynağı olan fosil yakıtların her geçen gün daha fazla kullanımı çevremizi ve global ekonomiyi derinden etkilemektedir. Rezervleri giderek azalan petrole bağımlılıktan kurtulmak için daha temiz enerji kaynaklarına yönelinmelidir. Güneş enerjisi, nükleer enerji, rüzgar ve hidrolik enerji, jeotermal enerji gibi değişik birincil enerji kaynakları bulunmasına karşın, bu kaynakların yakıtla dönüştürülmesi ve taşınımında kullanması gerekmektedir. Çeşitli alternatifler arasında hidrojen en uygun bir aday olarak görülmektedir. Hidrojen sudan analizlenmekte, yakıldıktan sonra sera etkisini değil artırmak azaltıcı bir etki bile göstermektedir.

Hidrojen gazı doğrudan yakılarak ısı enerjisi veya yakıt hücrelerinde okside edilerek elektrik enerjisi elde edilmektedir. Yakıt hücrelerinde elektrik elde edilmesi Carnot çevriminin sınırlarına tabii olmamakta ve bu yüzden süreç çok yüksek verim vermektedir. Bu nedenle otomotiv endüstrisi yakıt hücresi ile çalışan araba yapımı konusunda yoğun çalışmalar sürdürmektedir.

Hidrojen gazını enerji kaynağı olarak kullanmak isteyen teknolojiler hızla gelişirken, hidrojen gazının depolanması da her geçen daha çok önem kazanmaktadır. Araçta taşınan

normal bir gaz tankı yeterli miktarda hidrojen depolayamamaktadır. Hedefler, ağırlığın % 6.2'si olarak konmaktadır. Hidrojen depolama teknikleri dört kategoride ele alınmaktadır: sıkıştırılmış gaz, kirojenik sıvı hidrojen depolaması, metalhidritler ve fiziksel soğurma. İlk iki yöntem yapılabilir olmamaktadır.

Hidrojen gazının küçük ölçekli sistemlerde yakıt olarak kullanılmasında nanoteknolojiden büyük beklentiler mevcuttur. Çeşitli nanoyapılarda verimli bir şekilde depolanan gazın, yine küçük ölçekli yakıt hücrelerinde elektrik enerjisine çevrilerek taşınabilir bilgisayarlarda, telsiz telefonlarda daha uzun süre çalışabilen enerji kaynaklarının yapılması planlanmaktadır.

### **3.4. Nanokarakterizasyon**

Nanoteknolojide malzemelerin nano ve atomik ölçekte görüntülenmesi, ayrıca fiziksel özelliklerinin ölçülmesi hayati bir öneme sahiptir. Taramalı Uç Mikroskopları (Scanning Probe Microscopy) bir iğne ile yüzey arasındaki fiziksel etkileşimleri atomik/nano seviyede ölçerek malzemelerin görüntülerini elde edebilen yeni ve güçlü tekniklerin genel adı olup, nanoteknoloji devrimini ateşleyen en önemli buluştur. Bu ölçüm metotları içinde Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM, Atomic Force Microscope, AFM), Taramalı Tünelleme Mikroskobu (Scanning Tunnelling Microscope, STM), Manyetik Kuvvet Mikroskobu (MFM), Taramalı Hall Aygıtı Mikroskobu (SHPM) gibi malzemelerin değişik özelliklerini değişik hassasiyetlerde ölçebilen yöntemler vardır. Bu mikroskoplar vakumda, yüksek basınç altında, sıvıda, havada, düşük ve yüksek sıcaklıklarda bile çalışabilmekte; TEM ve SEM gibi mikroskoplara göre büyük avantajlar sağlamaktadırlar.

Ayrıca bu yöntemler atomik seviyede görüntü vermelerinin yanında, atomik seviyede bile fabrikasyon yapmamıza imkan vermektedir. Bu mikroskoplar gen manipülasyonundan, atomik transistörlere kadar geniş bir yelpazede geniş fırsatlar sunmaktadır. Henüz başarılammamakla beraber yüzeydeki atomların hangi elementlerden oluştuğunu da Atomik Kuvvet Mikroskopları ile ölçmek yakın gelecekte mümkün olabilecektir.

Atomik Kuvvet Mikroskopları henüz sıvıda atomik çözünürlükle çalışmamaktadırlar. Bu mikroskobun sıvı içinde atomik çözünürlükle çalıştırılabilmesi, nanobiyoteknoloji ve diğer nanobilim alanlarında büyük bir devrim yaratacaktır.

1-5 nm seviyesinde SPM litografi geçtiğimiz yıllarda laboratuvar şartlarında gösterilmiştir. Bu yöntemin geliştirilerek e-demet litografisine bir alternatif olması da incelenmektedir.

### 3.5. Nanofabrikasyon

Bilindiği gibi nanoteknoloji adı verilen tüm teknolojilerde kullanılan boyutlar 100 nm ve daha altındadır. Geleneksel silikon teknolojisinde kullanılan optik litografi yöntemleri bu boyutları içeren aygıtları yapmakta yetersiz kalacaktır. Bu durumda nanoyapıları üretmek için yeni fabrikasyon teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Optik litografi temelli silikon teknolojisinin 10-15 yıl içerisinde yetersiz kalması ile nanoyapılar içeren nanoelektronik temelli tümleşik entegre devrelerin yapımında elektron demet nanolitografi sistemleri kullanılacaktır. Elektron demet litografisi yöntemi günümüzde nanoyapıların üretiminde en yaygın olarak kullanılan teknolojidir ve ileride hızla gelişmesi beklenmektedir. Elektron dalga boyunun 0.1-1nm mertebesinde olması sayesinde elektron demetlerini 1nm boyutlarında odaklamak teorik olarak mümkündür. Bu şekilde odaklanmış elektron demeti ile uygun fotorezist malzemeleri kullanarak nanoyapılar yapmak mümkün olmaktadır. Elektron demet nanolitografi sistemleri nanoelektronik devrelerin üretimi yanında nanofotonik, nanomanyetizma ve diğer şekillendirilmiş nanoyapılar gerektiren tüm nanoteknolojilerde önemli bir temel teknoloji olacaktır. Bu nedenle bu tür temel bir teknolojinin ülkemizde yer alması çok önem taşımaktadır.

Elektron demet nanolitografi teknolojisi, aynı anda tek bir noktayı yazması nedeni ile tümleşik devre yapma konusunda hızı yetersiz kalmaktadır. Bu duruma çare olarak paralel olarak çalışan bir çok elektron demetinin kullanılması öngörülmektedir. Elektron demet litografisinin yavaşlığına çözüm olarak nano-baskı teknolojisi önemli bir hız avantajına sahip olacaktır. Bu teknolojiye master denilen ve elektron demet litografisi ve reaktif aşındırma yöntemleri ile oluşturulan bir mekanik maske kullanılacaktır. Bu master daha sonra polimer bir yüzeye bastırılmak yöntemi ile master maskede yazılı bulunan tüm ayrıntılar kopya edilecektir. Bu şekilde master maske üzerinde bulunan bütün nanoyapılar hızlı bir şekilde kopyalanacak ve tümleşik devre yapımı çok hızlanmış olacaktır.

Bu nanofabrikasyon teknolojileri ile nanoyapılara sahip robotlar veya nanorobotlar yapmak mümkündür. Nanorobotlar belirli bir işlemi veya işlemleri çok hassas olarak tekrar edebilen nanomakinelerdir. Daha büyük boyutlarda olan robotlar gibi nanorobotlar da ikiye ayrılabilir: bağımsız ve böcek nanorobotlar. Bağımsız nanorobotların üzerinde kendi nanobilgisayarları olduğu için kendi başına hareket etme özelliği vardır. Böcek nanorobot ise merkezi bir bilgisayar tarafından kontrol edilen bir nanorobot sürüsünün tek bir elemanıdır. Nanorobotların özellikle tıpta önemli uygulamaları olacaktır. Örneğin kendini yenileyebilen bir grup böcek nanorobot bir hastalığın aşısı olarak davranabilir. Hastalığı oluşturan

mikroorganizmaları tanıyıp yok etmek ile görevli bu nanorobotlar ile daha önce tedavisi olmayan hastalıklara çözüm bulunması beklenmektedir.

### **3.6. Nano Ölçekte Kuantum Bilgi İşleme**

Aygıt boyutlarının çok küçülüp nanometre boyutlarına inmesi, bilgi işlemede yeni bir anlayışı beraberinde getirmektedir. Bu aşamada kuantum bilgi işleme yöntemleri geliştirilecek ve kuantum bilgisayarların devreye girmesi söz konusu olacaktır. Erişilebilecek çok yüksek bilgi işlem hızları, dünyada hemen hemen her gelişmiş ülkede standart bilgisayarın yerini alacak olan kuantum bilgisayarı bilim ve teknolojisini ve buna bağlı olarak kuantum bilgi işlemede yoğun araştırma faaliyetlerini tetiklemiştir. Aslında, günlük yaşantımızın bir çok yerinde çok hızlı bilgi işlemeye büyük ihtiyaç duyulmakta; bu konuda yetersiz kalınması gelişmeyi engellemektedir. Oysa ki, kuantum bilgi işlemede erişilebilecek çok yüksek hızlar sayesinde karşılaştığımız bir çok karmaşık problemin çözümü mümkün olabilecek, bilim ve teknolojinin daha hızlı gelişmesi için ortam hazırlanacaktır. Onaltı bitlik işlem kapasitesi olan bir kuantum bilgisayar, normal bilgisayarlar ile hesaplanması 300 yıl sürebilecek bir karmaşık hesabı bir ayda tamamlayabilecektir. Örneğin, ekonomik dengeler, sosyal davranışlar gibi pek çok parametreye bağlı optimizasyon problemlerinin çözümünü gerektirmektedir. Bu çok parametrelili karmaşık problemlerin doğru çözümleri ve geliştirilebilecek modellerden yola çıkarak sosyal davranışlar hakkında yapılacak doğru tahminler ekonomik çalkantıları ve krizleri önleyebilecektir. Benzer şekilde stratejik planlama çalışmalarında çok sayıda parametreyi dikkate alarak anında doğru karar vermeye yönelik işlemler, kuantum bilgisayarlar kullanarak daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. DNA molekülünün sırlarının atomal seviyede çözülmesi (örneğin genom projesi) ve canlılığın temel yapısının kısa sürede anlaşılması insanlığın önüne daha sorunsuz bir yaşam için sınırsız olanaklar sunabilecektir. Yine benzer şekilde, hızlı bilgi işleme sayesinde çeşitli temel bilim ve mühendislik problemlerinin doğru ve ayrıntılı çözümleri yapılabilir, bilim kurgu filimlerini doğrulayan nitelikte yeni ve modern bir teknoloji çağı başlayacaktır.

#### **3.6.1. Kuantum Bilgi İşlemenin Ülkemiz Açısından Önemi**

Bilimsel ve ekonomik beklentiler yanında ülkelerin güvenliğine yönelik önemli unsurları da içeren kuantum bilgi işleme projeleri günümüzde çeşitli ülkelerin araştırma merkezlerinde sessizce sürdürülmektedir. Kuantum bilgi işleme ve bir bakıma onun kapsamı içinde bulunan kuantum kriptoloji ve kuantum iletişim konularına ve ilgili teknolojilere hükmedebilmek için ülkeler adeta yarış içine girmişlerdir. Kuantum bilgisayarlar

inşa edildiğinde dünyadaki tüm kripto sistemlerini birkaç saatlik zamanlarda çözebilecek kapasitede olacaktır. Bu nedenle nanoteknoloji ile birlikte yapılan kuantum bilgi işleme araştırmaları, ulusal güvenlik ve bağımsızlığın teminatı olarak çeşitli ülkelerin öncelikli sivil ve askeri araştırma konuları arasına girmiştir. Böylesine yüksek sivil ve stratejik öneme sahip olan bir konu ülkemizin ekonomisi ve güvenliği için, kısacası hepimizin geleceği için büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde, bu kritik bilim ve teknoloji askeri ve sivil tüm konularda uygulama alanı bulacaktır.

### **3.6.2.Ulaşılması Gereken Stratejik Amaçlar**

2020'li yıllar için amaç, KBİ konusunda sivil ve askeri tüm alanlarda AR-GE prototip ve üretim aşamalarında dünya paralelinin yakalanmış olması ve Türkiye'nin bu varolma yarışında "ben de varım" diyebilecek düzeye getirilmesidir. Bunu sağlamak için kuramsal ve deneysel düzlemlerde koordineli araştırma, insan gücü yetiştirme faaliyetlerinin desteklenmesine derhal başlanması gerekmektedir.

### **3.7. Nano-Biyoteknoloji**

Tüm Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de temel amaç, hızla artan nüfusa sağlıklı yaşam koşulları hazırlamaktır. Modern bilim bunu sağlamak için biyolojik olaylara (yaşama) moleküler düzeyde bakmakta, özellikle çok hızlı ve çok sayıda paralel ve/veya ard arda devam eden biyolojik reaksiyonları anlamaya ve buradan alacağı bilgiler ile esas olarak yaşam kalitesini artıracak teknolojik gelişmeler sağlamaya çalışmaktadır. Yaşama ilgili tüm bilgi DNA'dadır. Bu bilgi farklı şekillerde ürünlere (proteinlere başta olmak üzere çeşitli biyolojik moleküller) dönüştürülmekte ve bu çok sayıda (bilinen veya henüz tanımlanmamış) farklı ve özel fonksiyonları olan biyolojik moleküller de yaşamla ilgili birçok fonksiyonu yerine getirmektedir. DNA da zamanla gelebilecek değişiklikler (mutasyon), yanlış ürün (biyolojik molekül) üretimi nedeniyle biyolojik fonksiyonların bozulmasına ve dolayısıyla çeşitli ve çok önemli hastalıklara yol açabilir. Genetik değişikliklerin ve/veya oluşan biyolojik moleküllerin izlenmesi ile oluşan veya oluşacak hastalıkların izlenmesi, erken tanı ve hastalıkların başlangıçta müdahale ile etkin tedavisinde çok önemlidir. Şüphesiz bu analizlerin doğru/hızlı olarak yapılması birçok bilinmeyen de çözümü demektir ki bu hastalıktan korunmayı hem de doğru tedaviyi sağlar. Biyolojik moleküllerin tanısında kullanılacak en duyarlı ve spesifik yaklaşım, tanıyıcı olarak bu moleküllerin eşleniklerinin (örneğin DNA tek sarmalının eşleniği oligonükleotid, proteinin karşıtı antibadi molekülü, vb.) kullanıldığı biyoafinite sistemlerinin (tanı kitleri, biyoçipler, biyosensörler, vb.) uygulanmasıdır.

Yalnızca fonksiyon bozukluklarının izlenmesi/tanısı şüphesiz yeterli değildir, hastalığın tedavisi gerekir. Bunun için çeşitli ilaçlar kullanılmaktadır. Yeni eğilim özellikle birçok biyolojik reaksiyonu durduran veya istenilen yönde gitmesini sağlayacak biyolojik moleküllerin (özellikle antibadiler ve diğer proteinler, antisense özellikle oligonükleotidler) ilaç olarak kullanımınıdır. Bu moleküllerin teknolojik boyutta çok saf ve ekonomik olarak üretimleri gerekir. Genetik bozukluklara dayanan hastalıkların tedavisinde en doğru çözümlerden biri de eksik veya yanlış çalışan genetik bilginin düzeltilmesidir, bunun için özellikle son yıllarda uygulanmaya başlanan gen terapilerinin geleceğin en önemli tedavi yöntemi olacağı düşünülmektedir. Genetik bilginin (DNA fragmanlarının) doğru olarak tanımlanması, saf olarak üretimi ve doğru olarak aktarılması gerekir.

Günümüzde modern biyoteknoloji yalnızca tıpta tanı ve tedavi için değil, tarım, hayvancılık, endüstriyel, gıda vb. birçok dalda genetik modifikasyonlar ile ürün türünü, verimliliğini artırmak ve ekonomik üretim olanağı sağlamak yönünde kullanılmaktadır. Bunların doğru yapılması, risklerinin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması içinde hem genetik değişimlerin hemde bunların ürünlerinin son derece hassas ve hızlı olarak tanınması ve miktarlarının belirlenmesine gereksinim vardır. Gelecek teknolojik ürünler şüphesiz genetik modifiye mikroorganizma, hayvan ve bitki hücreleri, hatta hayvan ve bitkiler olacaktır. Günümüzde bunlar artık bir hayal değildir, gerçekleşmiştir. Geleceğin güçlü toplumları bu teknolojiyi üretenler olacaktır.

Biyolojik olayları kontrol eden biyolojik moleküllerin (başta proteinler olmak üzere) varlıklarının, fonksiyonlarının ve aralarındaki ilişkilerin tanımlanması gelişmiş moleküler analiz yöntemleri gerektirir. Bugün yeteri kadar hızlı, çok sayıda örneği aynı anda değerlendiren, çok düşük konsantrasyonlarda ölçüm olanağı veren cihazlar yoktur. Biyoçip teknolojisi bu yönde geliştirilen en önemli teknoloji olarak gözüke de henüz istenilen ölçümleri tanımlanan hızda, kalitatif/kantitatif şekilde yapan ve ekonomik (yaygın kullanıma olanak verecek şekilde) çözmekten çok uzaktır. Gelecekte mutlaka moleküler düzeyde ölçüm yapan, nanoteknolojinin şimdilik çoğu bilinmeyen veya ürüne dönüştürülemeyen avantajlarını kullanan yeni yaklaşımlara gereksinim olacaktır.

Bu çok farklı disiplinlerden (temel bilimlerden, biyolojik bilimler ve mühendisliğe kadar) çok sayıda araştırmacı/uzman kişinin bir araya gelmesi ile çözülebilecek bir sorundur. Bunun başarılabilmesi için önce insan kaynağına gereksinim vardır. Her disiplin şüphesiz kendi içinde gelişmeler kaydedecektir. Nanoteknoloji tüm disiplinleri kendi alanlarında moleküler düzeyde düşünmeye, tanımaya/anlamaya, tasarıma ve bunları ürüne

dönüştürmeye yönlendirmektedir. Her disiplin kendi içinde bu yönde düşünen/davranan araştırmacı/uzman/ mühendis/ bilim adamlarının sayısını artırmalıdır. Nanoteknoloji ile ilgili projeler/burslar ve benzeri diğer destekler şüphesiz bu yönlendirmede önemli rol oynayacaktır. Ancak bu yetersizdir. Nano-biyoteknoloji ile farklı disiplinlerde bulunanları biraraya getirecek arayüzler yaratılmalı ve bunların birlikte çalışması sağlanmalıdır. Alınacak önlemlerden biri biyomühendislik programlarının yaygınlaştırılmasıdır. Bunun için özellikle yüksek lisans ve doktora düzeylerinde biyomühendislik eğitim programları oluşturulmalı; bu eğitim programlarına özellikle sanayi katılımı/desteği sağlanmalıdır. Dolayısıyla, özellikle küçük ve orta büyüklükte sanayi kuruluşlarının akademisyenler ile arayüzünü oluşturacak programlar/yapılanmalar (teknokentler, üniversite/sanayi ortak araştırma merkezleri, vb.) kurulmalıdır. Disiplinlerarası yapısı nedeniyle nano-biyoteknolojinin geliştirilmesi için böyle ortaklık ağlarına ve entegre çalışmaları sağlayacak alt yapılara şiddetle gereksinim vardır. Bunun sağlanması için devlet gücünün ve yönlendirme politikalarının oluşturulması ve uygulanması gerekir.

Sonuç olarak, nano-biyoteknoloji alanında 2023'e kadar olan dönemde Türkiye, sağlık uygulamaları başta olmak üzere uluslararası düzeyde biyolojik moleküllerin (DNA, proteinler, oligonükleotidler, oligopeptidler, vb.) kalitatif ve kantitatif ölçümüne olanak verecek, nanoteknoloji yeteneklerini kullanan, hızlı, çok sayıda örneği aynı anda değerlendiren, çok düşük konsantrasyonlarda ölçüme olanak veren sistemlerin geliştirilmesini sağlamalıdır. Özellikle akademi-sanayi ortaklığı ile yürüyecek büyük bütçeli projeler oluşturulmalı, uluslararası projelere (özellikle Avrupa Birliği projelerine) katılım teşvik edilmelidir.

Yukarıda belirtilen husulardan hareketle, Nanobiyoteknoloji alanında Türkiye'nin başlıca somut hedefleri; öncelikle sağlık alanında hızlı, yüksek kapasiteli ve hassas protein ve DNA tanı sistemlerinin nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kamu ve özel kuruluşlarda yürütülecek olan çevrimsel araştırma, teknoloji geliştirme ve ürün geliştirme etkinliklerinin kamu olanakları ile desteklenmesi, bu amaçla multidisipliner araştırma ağlarının oluşturulması, girişim sermayesi uygulamalarında bu alanın desteklenmesine öncelik verilmesi. Bu etkinliklerin hemen başlatılması uygundur ve ilk on yıl içinde somut çıktılarının (tanı ürünleri) elde edilmesi hedeflenmelidir.

Ayrıca hedefe yönelik yeni ilaç etken maddelerinin tanımlanmasında kullanılmak üzere hızlı tarama yöntemlerinin nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmesi üzerinde durulmalıdır. Özellikle moleküler mekanizmaları iyi tanımlanmış olan hastalıklara karşı

hedefe yönelik ilaç etken madde tarama yöntemleri, ilaç adayları bulunmasında izlenmesi gereken bir yoldur. Bu bağlamda, özellikle Türkiye florası (bitki ve mikroorganizmalar) kaynak alınarak, doğal kimyasal madde bankaları oluşturulması öngörülmektedir (Bkz. Biyoteknoloji ve Gen Teknolojileri Strateji Raporu). Bu bankalarda biriken ve sayılarının binleri bulması beklenen moleküllerin taranmasında kullanılmak üzere, nanoteknoloji temeline dayanan hızlı tarama yöntemleri geliştirilmelidir. Bu yöntemlerin geliştirilmesinde multidisipliner işbirliği özendirilmelidir. Bu konularda çalışan kişi ve kurumlar arasında ağ kurulması desteklenmeli, bu ağlara kamu tarafından proje desteği sağlanmalıdır. Bu etkinliklere hemen başlanabilir ve bu yolda yapılacak araştırmaların ilk 10 yılda yeni hızlı ve yüksek kapasiteli tarama teknolojilerinin geliştirilerek etkin kullanımı sağlanabilir (Gürsel, 2004).

### **3.8. Nanoteknolojinin Amaçları**

Nanoteknoloji, nano ölçeğinde atom üstüne atom koyarak cisimler yaratmayı, elmas benzeri karbon kristalleriyle, bilye yatakları ve eksenler oluşturmayı amaçlar. Bu sayede çok hafif, yüksek mukavemetli, akıllı, çok ucuz, temiz materyaller elde edilir.

Nanoteknolojinin amaçları; nanometre ölçekli yapıların analizi, yeni nano ölçekli fonksiyonel malzemeler oluşturulması, nanometre boyutundaki yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılması, nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesi, nano ölçekli cihazların geliştirilmesi ve bu boyuttaki maddenin kontrol edilmesi, uygun yöntemler bularak nanoskopik ve mikroskopik dünya arasındaki bağı kurulmasıdır.

### **3.9. Nanoteknoloji Konusunda Atılan Adımlar**

Günümüzde nanoteknoloji ülkeler için stratejik bir önem taşımaya başlamış durumdadır. Gelişmiş ülkeler öncelikli alanlarını belirleyip çalışma ve eğitim programlarını geliştirirken, ülkemizde nanoteknoloji araştırmalarının çoğu kuramsal ve bireysel düzeyde. Avrupa Birliğinin 6. Çerçeve Programı sayesinde nanoteknoloji araştırmalarımız yeniden yapılanma ve ivme kazanmış bulunuyor. Bu arada nanoteknoloji, TÜBİTAK tarafından hazırlanan Vizyon 2023 Programı'na öncelikli alanlardan biri olarak alınmış bulunuyor.

Bu yıl ilki Bilkent'te düzenlenen Nanoteknoloji Konferansı'na ise geniş bir katılım oldu ve nitelikli bilimsel bildiriler sunuldu.

Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü'nde 1989 yılından beri nanoteknolojiyle ilgili düşük boyutlu kuantum yapılarında elektron taşınımı, tarayıcı tünelleme mikroskopi (TTM) ve atomik kuvvet mikroskopi (AKM) uç-yüzey arası etkileşimler ve nanotriboloji, nanotüp



ve atom zincirleri konularında yoğun kuramsal araştırmalar yapılmaktaydı. Ayrıca, 2 boyutlu elektron sistemlerinin özelliklerini kullanan Ga-As teknolojisi zaman kaybedilmeden yakalanmış, T.C. Savunma Sanayii Müsteşarlığı tarafından desteklenen ileri Araştırmalar Laboratuvarı kurulmuştu. Günümüzde, bu laboratuvarda, teknolojinin sınırında çok önemli optoelektronik ve elektronik aygıtlar yapılmakta, TTM ve AKM bazlı mikroskoplarda yeni teknolojiler geliştirilmekte.

Nanoteknolojide uygulamaların önem kazanması sonucu, kuramla deneysel çalışmaların sıkı bir işbirliği yapması ve belli hedeflere odaklanan disiplinlerarası araştırma çalışmalarının yapılması zorunlu hale geldi. Bunun yanında iyi yetişmiş deneyimli uzman gereksinimi de ortaya çıktı. Nanoteknoloji konusunu geniş bir kapsamda ele almak, bazı kritik konularda gerekli teknolojiyi geliştirmek, uzman yetiştirmek üzere hazırlanan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Projesini T.C. Devlet Planlama Teşkilatı 11 milyon YTL kaynakla desteklemeye karar vermiş bulunuyor. Projeye, Bilkent Üniversitesi ve diğer özel kuruluşlar yaklaşık 4 milyon YTL kaynak sağlayacak. Toplam maliyetinin 30 milyon YTL olacağı öngörülen proje, yeni inşa edilecek 4000 m<sup>2</sup>'lik laboratuvar binasında faaliyete geçecek. Ayrıca Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü'nde mevcut 15 milyon YTL değerindeki araştırma altyapısı ve teçhizat, proje araştırmalarında kullanılacak.

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Projesi, Prof. Dr. Salim Çıracı tarafından yönetilecek. Projede prototipler geliştirmeye yönelik araştırma konuları belirlendi. Kuramsal çalışmalar nanobilimin temel problemlerinin çözümleriyle uğraşarak uygulamalı çalışmalara destek verecek, çok parçacık sistemlerinin kuantum mekaniğine dayalı hesaplama yöntemleriyle yeni nanoyapılar (tüpler, teller, kuantum noktaları, manyetik moleküller, sürtünmesiz yüzeyler vb) geliştirilecek, spin ve enerjinin denge dışı kuantum istatistik fizik kuramıyla taşınması ve tutarlılığı incelenecek. Kuramsal çalışmalar merkezde kurulacak süper bilgisayarlarda sayısal hesaplara dönüştürülecek, elde edilen sonuçlar yeni aygıt ve detektörlerin tasarlanmasında kullanılacak. Uygulamalı alanda çalışmalar, nanoelektronik ve algılayıcılar (sensörler), nanofotonik, nanofiber ve akıllı tekstil, atom manipülasyonu, yüksek çözünürlüğe sahip ölçü aletlerinin geliştirilmesi ve lazer konularına odaklanacak. Projede ülkemizin tekstil sanayiine teknolojik destek sağlamak, öncelikle kir ve su tutmayan, nemi uzaklaştıran, zararlı ışınımı soğuran, renk tutabilen polimerleri geliştirmek için yoğun araştırma programları uygulanacak. Sürtünme günümüzde halen güncelliğini ve önemini koruyan konulardan biri. Sürtünme nedeniyle enerji ve malzeme kayıpları çok önemli değerlere ulaşmakta. Triboloji ya da sürtünme bilimi kapsamında çeşitli disiplinlerde (fizik, kimya, makine ve malzeme mühendisliği vb) yoğun araştırmalar yapılıyor. TTM ve AKM'nin gelişmesi, sürtünmeyi

atomsal düzeyde inceleyebilmemize ve tribolojinin hızla ilerlemesine zemin hazırlamış bulunuyor. Sanayinin değişik sektörlerinin sürtünmeden değişik beklentileri var. Birçok sanayi dalı sürtünmeyi azaltmak ya da tümüyle ortadan kaldırmak isterken, taşıt vasıtalarında lastiğin daha iyi yol tutması ve sürtünme katsayısının artırılması için geniş kaynaklar ayrılıyor. Projemizde sürtünmeyi atomal düzeyde incelemek ve sürtünmesiz yüzeyler geliştirmek üzere nanotriboji araştırmaları kuramsal düzeyde başlayacak, daha sonra sağlanacak yeni kaynaklarla deney laboratuvarları kurulacak. Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Laboratuvarı'nda ilgilenilen başka bir önemli konu, hidrojen depolanması ve yakıt hücreleri. Fosil yakıtlarının gün geçtikçe artan fiyatları, çevreye verdikleri büyük zarar, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme gereksinimini ortaya çıkardı. Yakıldığında atık olarak su verecek olan hidrojen molekülü, en ideal ve temiz enerji kaynağı olarak görülüyor ve hidrojenin depolanması ve yakıt hücrelerinde elektrik enerjisi elde etme konusu yoğun bir şekilde araştırılıyor. Projede ise hidrojen depolanması konusunu kuramsal olarak araştırıp daha sonra deneysel ve uygulamalı çalışmaları başlatmak planlanıyor.

Nanoteknoloji, disiplinler arası bir konu olduğundan projenin daha etkin yürütülebilmesi için, Bilkent'te Nanoteknoloji ve Malzeme Bilgisi doktora programının projeye paralel olarak başlaması da planlanmakta. Bu programa Fizik, Kimya, Matematik, Moleküler Biyoloji ve Genetik, Malzeme Bilgisi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümlerinden öğrenciler doktora yapmak üzere katılabilecekler. Merkezde yapılan doktora çalışmaları, öğrencilerin nanoteknolojide uzmanlaşmalarına ve doktora sonrasında kolaylıkla iş bulmasına yardımcı olacak. Ayrıca diğer üniversitelerimizin ilgili bölümlerinden doktora öğrencileri ve öğretim elemanları da çeşitli araştırma programlarına katılabilecek ve merkezde nanoteknoloji konusunda deneyim kazanacaklar. Araştırmalarımızda yurtdışında tanınmış bilim insanlarının deneyimlerinden ve danışmanlığından da yararlanılacak ve çeşitli araştırma merkezleriyle işbirliği içinde ortak araştırma projeleri gerçekleştirilecek. Merkez, yurtdışında çalışan çok değerli bilim insanlarımızın deneyimlerini bizlerle paylaşacakları ve ortak araştırmalar yapacakları bir ortam yaratacak. Merkezde elde edilen bilgi ve uzmanlık, çeşitli şekillerde bilim ve sanayi çevreleriyle paylaşılacak. Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde yapılan buluşların ve geliştirilen yeni yöntem ve teknolojilerin sanayiye aktarılması, prototiplerin daha da geliştirilerek pazarlanabilmesi, bu yolla yeni çalışma alanlarının yaratılması ve ekonomimize katkı sağlanabilmesi için T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Bilkent Üniversitesi ve Cyberpark, birlikte "Nanoteknoloji Kuluçka Merkezi" kuruluş çalışmalarını yürütmekteler.

Avrupa Birliğinin maddi desteğiyle gerekleŒecek bu projede ilginç bir fikir ve buluŒ sahibi olan giriŒimci doktora ğrencilerinin, kendi iŒ ve iŒyerlerini kurmalarına destek verilecek. Böylece beyin gcnn de önüne geilmiŒ olacak. zet olarak 2005 yaz sonunda Bilkent'te inŒaat ve tesisat planlaması, inŒaat alıŒmaları, teçhizat alımları ve yeni eğitim programlarıyla baŒlayacak Ulusal Nanoteknoloji AraŒtırma Merkezi projesiyle, nanoteknoloji araŒtırmalarında zaman kaybetmeden yol alınmaya baŒlanacaktır (ıracı ,2006).

Askeri malzemelerde nanoteknoloji kullanımı ile ilgili ülkemizde henüz bir alıŒma yapılmamıŒtır. Sadece İkmal maliye okul komutanlığınca askeri üniformalarda nanoteknoloji kullanımı ile ilgili bir sunu arz edilmiŒtir. Bu araŒtırmada nanoteknolojiyle ilgili literatür araŒtırması yapılmıŒ ve muharebe sahasının gelecekte beklenen geliŒmeleri göz önüne alınarak, hali hazırda mevcut askeri alandaki nanoteknolojik uygulamalar ve muhtemel uygulamalar göz önüne serilmiŒtir.

Nanoteknolojinin Doğusu "Nano" sözcük olarak, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelir. Bir nanometreyse, metrenin bir milyarda birine eŒit bir uzunluk birimi. insan sa telinin çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu dŒnlrse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaŒılır. Bir baŒka deyiŒle, bir nanometre içine yanyana ancak 2-3 atom dizilebilir; yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nanoölçeklerde bir nesneyi oluŒturur. Bildiğimiz birçok molekül de nanoyapı tanımına giriyor.

20. yüzyılın baŒlarında maddeyi oluŒturan parçacıklardan, örneğin elektronların hem parçacık hem de dalga gibi davrandığı, yine bu ölçeklerde belirsizlik kuramının geçerli olduğu saptandı. Bu temel öğelerden doğan kuantum mekaniği sayesinde atom ve moleküller doğru olarak algılanıp anlaŒıldı, temel bilimler ve ilgili teknolojiler hızla geliŒti. Kuantum mekaniği sayesinde, atomun enerji durumlarının neden kesikli olduğu, katıların klasik parçacık kuramı kullanarak hesaplanan bazı temel elektronik ve manyetik özelliklerinin neden gözlemlerden büyük sapmalar gösterdiği, artık bir bilmece olarak kalmaktan kurtuldu. Kuantum mekaniğine paralel olarak 20. yüzyılın ilk ve ikinci çeyreğinde makine imalat sanayisinde de önemli geliŒmeler yaŒandı. Bu geliŒmelerden daha sonra yeni bir sanayi devrimi ortaya ıktı. Klasik mekaniğin geçerli olduğu imalat sanayisinde kullanılan malzemelerin atomsal yapısı, mekanik, elektronik ve manyetik özellikleri ancak kuantum mekanik sayesinde anlaŒıldı. Bu bilgiler ıŒıđında yeni malzemeler de geliŒtirildi. En önemlisi, yarı iletken malzemeler, özellikle silisyum teknolojisi önem kazanıp, mikroelektronik sanayi hızla geliŒmeye baŒladı.

Mikroelektronik, iletiŒim teknolojilerinden baŒlayıp her alanda uygulama buldu. Özellikle bilgisayarların ve biliŒim teknolojilerinin yaygın kullanımı, mikroelektronik baŒta

olmak üzere, optoelektronik, fotonik teknolojilerinin gelişmesinde itici kuvvet rolünü üstlendi.

Bilgisayar kullanımının her alanda getirdiği hız, daha hızlı ve daha küçük bilgisayarlara olan talebi canlı tuttu. Bu sayede bilgisayarlar yaklaşık her 18 ayda işlemci hızlarını ikiye katlayarak gelişmelerini sürdürmekte. Günümüzde bilgisayarlarda aygıt boyutları 50 nanometrenin altına inerken, mevcut teknolojilerin çözemeyeceği ısınma problemleri ortaya çıkmakta. Bunun yanında daha küçük boyutlarda elektronik aygıtların işleyişindeki yarı-klasik fizik kuramları geçerliliğini yitirip, kuantum olaylar önem kazanmaya başlamakta. Bilgisayarın, daha sonra internet'in yaygın kullanımı, yaşam tarzımızı da çeşitli yönlerden etkiledi ve zamanla kullanılan teknolojiler yetersiz kalmaya başladı.

Yaşantımızı ve sağlığımızı yakından ilgilendiren, fakat daha önce hayal bile edilemeyen birçok gelişmenin kişisel kullanıma sunulması gündeme geldi. Yeni teknolojilerin sağlık hizmetlerinde başarıyla uygulanması, DNA'yla ilgili teknolojilerin gelişmesi bilim insanları ve mühendisleri her gün daha küçük boyutlara inmeye, daha az yer kaplayan, daha az enerji harcayarak daha hızlı çalışabilen aygıtlar yapmaya zorladı. Bir aygıtta kullanılan malzemenin boyutu küçüldükçe çalışma hızı da artıyor ve o malzemenin yeni özellikleri ortaya çıkıyor. Boyutlar nanometre ölçeklerine yaklaşırken malzemenin fiziksel özellikleri kuantum mekaniğinin kontrolüne giriyor, elektron durumlarının fazı ve enerji spektrumunun kesikli yapısı daha belirgin hale geliyor. Daha da önemlisi, malzemeyi oluşturan atom sayıları 100'ler düzeyine inince, atomsal yapının geometrisi, hatta atom sayısının kendisi bile fiziksel özelliklerin belirlenmesinde etken oluyor. Nano ölçeklerdeki bir yapıya yeni eklenen her atomun fiziksel özelliklerde neden olduğu değişiklikler, bu atomun cinsine, nanoyapının türüne ve geometrisine bağlı olarak belirginleşiyor. Örneğin, nanoyapının iletkenliği, o yapıya tek bir atom eklense bile değişebilmekte.

Benzer şekilde, nanoölçeklerde atomlararası bağ yapısı da değişikliğe uğrayabilmekte; mekanik olarak malzeme güçlenirken ya da zayıflarken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tümüyle değişebilmekte. Örneğin, yarı iletken olarak bilinen ve çağımızın en önemli malzemesi olan silisyumdan yapılan bir telin çapı nanometreye yaklaşırken tel iletken bir karakter sergiliyor. Diğer ilginç bir malzeme de karbon elementi. Yapıtışını karbon atomunun oluşturduğu elmas kristali, bilinen en sert ve yalıtkan malzeme. Kurşunkalemlerden tanıdığımız, 2 boyutlu, düzlemsel grafit tabakalarıysa karbon atomunun yumuşak ve iletken bir yapısı. Bir boyuttaysa, karbon atomları çelikten çok daha yüksek bir çekme mukavemetine sahip olan ve normal koşullarda çok iyi bir iletken olan kararlı sicimleri (atom zincirlerini)

yapıyorlar. Teknolojinin yeni taleplerine yanıt verebilen bu olağanüstü özellikler, nanometre boyutlarında yapay malzeme sentezlenmesini özendiriyor. Nanoyapıların olağanüstü özellikleri çok öncelerden tahmin edilmekteydi. Nitekim 1960'lı yıllarda, Feynman nanoyapıların bu yönünü vurgulayarak bilim insanlarının dikkatlerini nanometre boyutlarına çekmek için çaba gösterdi. O sıralarda kimyacılar da mikroelektronik sanayiine seçenek oluşturmak üzere moleküllerden transistör yapmayı önerdiler. Moleküler transistör yapımının başarılması, Bell Laboratuvarları'nda 1940'lı yıllarda Shockley, Bardeen ve Brattain tarafından yapılan ve bir yumruk büyüklüğünde olan katı hal transistörün boyutunun, yaklaşık yüz milyonda bir küçülmesi anlamına gelmekte. Ancak, moleküler transistörlerin birbirlerine iletken tellerle bağlanmaları ve bu transistörlerden bütünlük devre yapılması, çözümü zor problemleri de beraberinde getirdi. Bu nedenle silisyum mikroelektronik teknolojisi hâlâ egemenliğini sürdürebilmekte.

1980'li yıllarda peşpeşe gelen Nobel Fizik Ödüllerine konu olan çeşitli bilimsel çalışmalar hem nanometre ölçeklerinde saklı yeni davranışları ortaya çıkardı, hem de atomu görüp onu istediğimiz yere taşıyabilmemizi olanak verecek yeni gelişmelere yol açtı. Kuantum Hall etkisi ve düşük boyutlu elektron sistemlerinde gözlenen yeni kuantumlaşmalar, yeni süperiletkenlik mekanizmaları, bilimsel araştırmaları kuantum kuyularına, kuantum telleri ve noktalarına yöneltti. Bu araştırmalar, büyüklükler nanometre düzeyine inince elektron enerjinin kuantumlaşmasının elektrik ve ısı iletkenliği gibi fiziksel özelliklere yansıtacağını ve yeni kuantumlaşmalara neden olacağını gösterdi. Önce taramalı tünelleme mikroskopunun (TTM) daha sonra atomik kuvvet mikroskopunun (AKM) keşfi, yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesine, atomsal düzeyde tepkimelerin izlenmesine olanak tanıdı. Dr. Eigler yüzeyde bulunan bir atomun TTM ucuyla başka bir yere nasıl taşınabileceğini, yüzeyle uç arasında atomun isteğe bağlı olarak hareket ettirilerek nasıl akım şiddetini ayarlayan atom-anahtarı yapılacağını gösterdi.

Böylece 20. yüzyılın son çeyreğinde, doğada bulunmayan yeni nanoyapıların atomsal düzeyde tasarlanarak sentezlenmesi devri başladı. İnsanlık, 60 yıl içinde metre-milimetre büyüklüğünde malzemeyi kesici takımlarla işleyen ya da yüksek sıcaklıklarda kalıplara dökerek ya da döverek şekillendiren imalat teknolojisinden, atomsal düzeyde malzemeyi tasarlayıp yeni moleküller oluşturmaya yönelik bir imalat yöntemine geçti ve nanoteknolojiyle tanıştı. Nanoteknoloji nanoölçeklerde malzeme tasarlayıp üretmeyi, bu malzemelerden yeni yöntemlerle aygıt, alet üretmeyi amaçlar. Bu bağlamda nanoteknolojide kullanılan yöntemler, bilinen yöntemlerden çok farklı olabiliyor. ABD'de mevcut teknolojiler doyum noktasına yaklaşırken ve uluslararası rekabet karşısında kâr marjları düşerken,

nanoteknolojide oluşabilecek pazar ve elde edilecek kârı çok iyi değerlendirebilen ekonomistler, Başkan Clinton'a baskı yapıp nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak ilan ettirdiler. O günden bu günlere gelirken ABD'de kurumlar yeniden yapılanmaya giderek yeni yatırımlar yapıldı, çok sayıda laboratuvar kuruldu.

2015 yılında ABD'de nanoteknoloji ürünlerinin satışlarının 1-3 trilyon dolar dolaylarında gerçekleşeceği tahmin edilmekte. ABD'de üniversite ve araştırma merkezleri kendi aralarında örgütlenerek kaynakları daha etkin kullanmak üzere "araştırma üçgenleri" oluşturmuş bulunuyorlar. Günümüzde ABD dışında Japonya, Avrupa Birliği ülkeleri, İsrail, Çin ve Kore'de de nanoteknolojiye önem verilmekte. Çin'de nanoteknoloji konusunda bir milyon uzman ve araştırmacı yetiştirmek üzere yeni bir program başlatılmış durumda. Avrupa Birliği 2010 yılında ABD ve Japonya'yı yakalamak için 6. Çerçeve Programında nanoteknolojiyi öncelikli alan ilan etti. Son zamanlarda ABD ve Avrupa'da çok sayıda nanoteknoloji araştırma merkezi, ayrıca üniversitelerde bu alanda yüksek lisans programları açıldı.

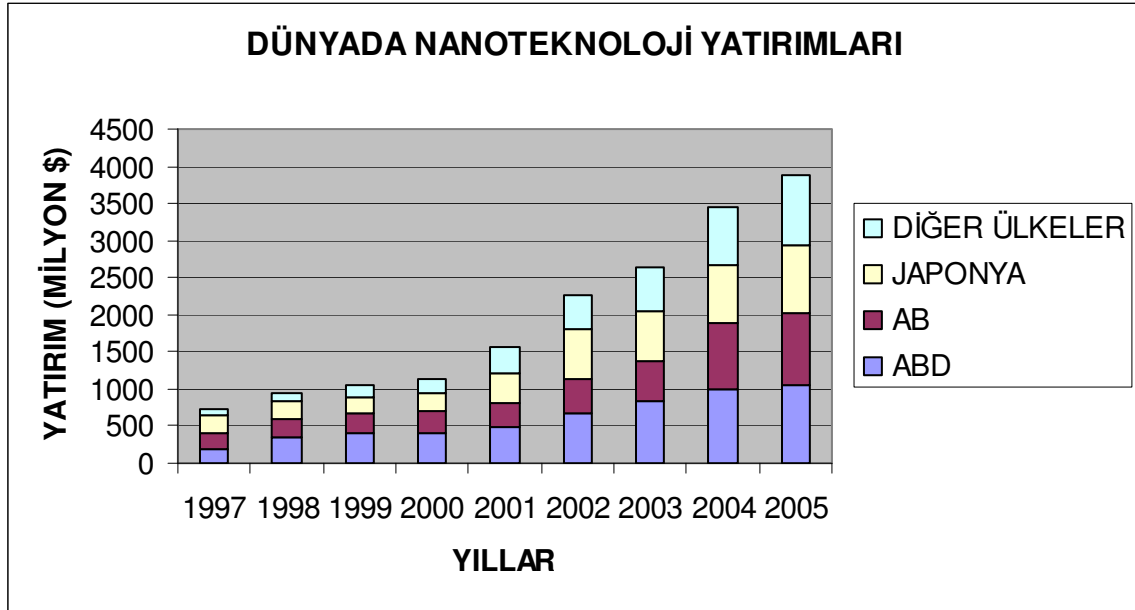
### **3.9.1.Nanoteknolojinin Gelişimi Konusunda Önemli Göstergeler**

- Dünyada 700'den fazla firma nanoteknoloji ile ilgili faaliyetler içindedir.
- Nanoteknoloji ile ilgili Araştırma Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları için 2003 yılında 3 milyar ABD Doları harcanmıştır.
- Nanoteknolojide uluslararası liderliğe soyunan bir çok ülke bulunmaktadır.
- Asya ülkeleri nanoteknoloji konusunda oldukça rekabetçidir ve Asya firmaları bir çok araştırma çalışmasının finansmanını yürütmekte ve üniversiteler ile fikri mülkiyet anlaşmaları yapmaktadır.
- Nanoteknoloji finansmanında Japonya, destek oranını 1997'de 120 milyon ABD Dolarından, 2002'de 750 milyon ABD Dolarına çıkartmıştır. Avrupa Birliğinin 2002-2006 yılları için sağlayacağı nanoteknoloji finansmanı miktarı 1 milyar ABD Dolarının üzerindedir.
- ABD hükümeti nano-teknolojiye 2000 yılından bu yana 1.5 milyar ABD Dolarının üzerinde yatırım yapmıştır.

- Nanoteknoloji uzay yarışından beri en büyük hükümet yatırım alanı olma yolunda ilerlemektedir. (İnsan Gen Haritası Projesinden daha büyük)
- Medyada nano teknolojiden söz eden haberler 1995’de 200 defadan, 2002’de 4000 defaya (%2000) yükselmiştir. Geçmişle karşılaştırıldığında bu oranın 1993’de “internet” ile ilgili haberler ile kıyaslanabilir olduğu görülmektedir.
- Risk sermayesi yatırımları kapsamında 1999 yılından bu yana 900 milyon ABD Doları yatırım yapılmıştır. Bu yatırım miktarının 386 milyon ABD Doları 2002 yılında gerçekleştirilmiştir. 2001 ve 2002 yılları arasında toplam risk sermayesi yatırımları azalırken, nanoteknoloji alanına yapılan risk sermayesi yatırımları (elektronik sektöründe %251, endüstriyel ürünlerde %211, sağlık ve nanobioteknoloji yatırımlarında %313) artmıştır.
- Nanoteknoloji ile ilgili patent başvurularında büyük bir artış gözlenmektedir. 1996 yılından beri 2,800’ün üzerinde patent alınmıştır.
- Nanoteknoloji patent alımlarında birinci sırada IBM, ikinci sırada Samsung yer almaktadır.
- Nanoteknoloji yatırımları arasında önde gelen sektörler, Malzeme, Yazılım ve NanoBioteknoloji olarak ön plana çıkmaktadır.

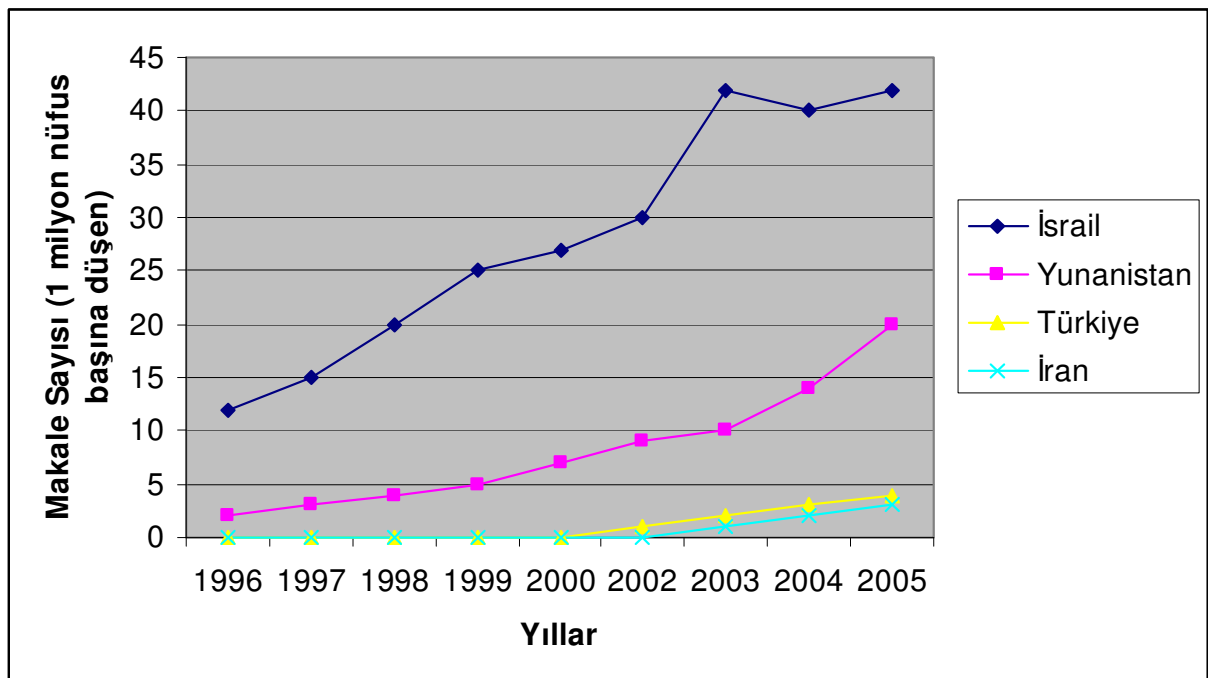
Tablo 3.1 Devletlerinin Nanoteknoloji Yatırımları

([http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji\\_stratejimiz.pdf](http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji_stratejimiz.pdf))



Tablo 3.2 Nanoteknolojide Ülkemiz ve Komşuların Durumu

([http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji\\_stratejimiz.pdf](http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji_stratejimiz.pdf))





### 3.9.2 Nanoteknolojinin Gelişen Kullanım Alanları

Nanoteknoloji uygulamalarında üretilen malzemeler, parçalar, aletlerin hepsi atomlardan oluşmaktadır. Nanoteknoloji ile karbon atomlarının uygun bir şekilde dizilmesiyle elmas, kum tanelerindeki atomların düzenlenmesiyle bilgisayarlar, kirli sulardaki atomların düzenlenmesiyle temiz su oluşumu sağlanabilmektedir.

Bilim adamları biyolojik moleküller ile bir test tüpü içinde bir bilgisayar oluşturmayı başarmışlardır. Araştırmacılar ileride insan bedeni içinde çalışacak ve bedendeki biyokimyasal ortam ile etkileşerek önemli biyolojik ve farmakolojik uygulamalara olanak sağlayacak bilgisayarlar geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Şu ana kadar nanoteknoloji kullanımı ile organik nikelde biyomoleküler motor yapılabilmektedir. Özellikle elektronik sistemlere yönelik tek molekül transistörler yapılmış, nanopartiküller oluşturularak, bunlar kan vasıtasıyla beyne kemoterapi amacı ile taşınabilmektedir. Oluşturulan altın partiküller sayesinde biyolojik savaşın en kritik kısmı olan DNA tespiti gerçekleştirilmiştir. Moleküler kısıkaçlar geliştirilebilmiş ve karbon nanotüplerde lojik kapılar elde edilebilmiştir.

İleride nanoteknoloji malzeme bilimi, tıp, askeri sanayi, temiz enerji kaynakları, bilgisayar, çevre ve gıda gibi konularda yaygın olarak kullanılacaktır.

Nanoteknolojinin potansiyel kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir.

- Mikrosensörlerin, mikromakinaların, optoelektronik elemanların imalatı ve uygun şekilde bir araya getirilmesinde,
- Lazer yapımında,
- Manyetikleştirilmiş nano katmanları en ufak değişiklikleri farkedecek şekilde bir çip içine integre edilip, trafik sensörü olarak uçak ve otomobilleri tanımda ve manyetik alanlarına bakarak tiplerini de belirleyebilmede,
- Medikal alanında : Mikrocerrahide (göz, beyin vb.), diagnostik kitlerde, yüzey karakterizasyonu ve modifikasyonu, mikroorganizmaların taşınmasında, kanserli hücrelerin tedavisinde,

- DNA modifikasyonu vb. bölümlerde,
- Kozmetik sanayide,
- Dokumada kullanılacak olan elektronik fiberler sayesinde, istenildiğinde renk değiştirebilen, vücudumuzu zararlı ışıklardan koruyan hatta özel polimerler sayesinde terin emilip vücudumuzun kuru kalmasını sağlayan, su tutmayan giysilerin üretiminde,
- Mikromakinalar sayesinde de bilgisayar teknolojisinde,
- Kapasitör, transistör ve fotodiyot yapımında,
- Güneş pillerinde,
- İlaç endüstrisinde,
- Yüksek çözünürlüğe sahip ölçü aletlerinin yapımında uygulama alanları bulunmaktadır.

Uygulamaya konulacak projeler arasında da 2012 yılında yapımı tamamlanacak olan uzay asansörü ve moleküler nanoteknoloji gibi bir çok alanda bulunmaktadır.

Mikro-Alaşım biliminde akışkanlardan, ulaşım, enerji, vb makro düzeyde yaralanmanın yanı sıra nanoteknolojik gelişmeler sayesinde mikro-nano düzeyde de yararlanılmaktadır. Bu gelişmeler günümüzde akışkanın nano düzeydeki özelliklerine bağlı olarak hastalıkların teşhisine, ilaç etkileşimlerinin belirlenmesine, DNA düzenlenmesine ve işlenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca vucuda alınan gıda maddelerinin ve sıvıların izlenmesi, bitki ve hayvanlardaki sağlık takibi, çevresel izleme ve denetleme gibi konularda uygulamalar mümkün olmaktadır.

BiyOMEM-BiyonEM-Biyochip üretiminde mikroelektronik (MEM) sistemlerden mikro-düzeyde tam fonksiyonel pompalar, motorlar, duyargalar vb kullanılmaktadır. Bu sistemlerin mikro düzeyden nano düzeye geçişi üzerine çalışılmaktadır.

Nükleik Asit Biyomühendisliği alanında ise DNA moleküllerinin yapı blokları olarak kullanılması suretiyle nanokablolar ve nanomembranlar benzeri yapıların geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Akıllı Taşıyıcı Sistemler olarak moleküler ölçekte kodlanmış paketlerin kendilerine tanımlanan adres uyarınca vücudun ilgili bölgesine ulaştırılmasına imkan verecek olan sistemler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayesinde bitki ve hayvanlarda vitamin, antibiyotik, pestisit ve gübre kullanımında tasarruf ve etkinlik artışının sağlanabileceği öngörülmüştür. Böyle bir minyatür akıllı taşıyıcı aracın hayvana yerleştirilmesi ile hayvan salgınlarının belirli aralıklarla test edilerek olası hastalık semptomlarının normal şartlarda kendini göstermesinden çok daha önce tespitinin sağlanması ve sadece hastalıklı bölgeye müdahalesi mümkün olmaktadır.

Biyolojik malzemedan doğan biyolojik proseslerin kullanımıyla istenilen birleşimlerin elde edilmesi olarak tanımlanan biyoproses, nanoteknoloji sayesinde çok daha yüksek bir etkinlikte gerçekleştirilmektedir.

Biyoanalitik nanosensörler yardımıyla nano ölçekte duyargalar yardımıyla tarım ve gıda sistemlerindeki çok düşük miktarda da olsa dahi kimyasal kontaminasyon, patojenlerin veya virüs partiküllerinin tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Gıda maddelerinin ambalajlanmasında kullanılacak bu sistemler sayesinde gıda ürünlerinin mikrobiyal kontaminasyonunun önceden tespiti ve kendi kendini koruma mekanizmaları yardımıyla önlenmesi sağlanabilmektedir. Böylece gerek depolama gerekse dağıtımda oldukça önemli kolaylıklar ve tasarruflar sağlanacaktır.

Gerek nanoteknoloji sayesinde yeni malzeme buluşuyla gerekse doğada var olan bazı malzemelerin (örneğin; topraktaki nanopartiküller-kil, zeolit, imogolit) kullanılması suretiyle nano ölçekte farklı özellikler gösteren kompozit malzemelerin kullanımı mümkün olabilmektedir. Bunlardan saydamlık, azalan ağırlık, artan dayanım özelliklerini gösteren malzemeler, giyenin sağlık ve fiziki durumu hakkında uyarılar veren akıllı kumaşlar örnek olarak verilebilir. Tarımsal materyalin faydalı ürünlere dönüştürülmesi ve bu sayede çevrenin korunumu nanoteknoloji sayesinde gerçekleştirilebilecektir. Günümüzde özellikle bitkisel yağların biyo-yakıtlara ve endüstriyel çözeltilere dönüştürülebilmesinde ihtiyaç duyulacak nano-katalizörlerin geliştirilmesi ve tasarımı konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Çeşitli kimyasal ve biyolojik etkileşimlerin meydana geldiği yüzeyler üzerinde çeşitli organizmaların veya moleküllerin tutunabilmesini veya bağlanabilmesini sağlayan seçici yüzeyler olarak tanımlanan biyoselektif yüzeylerdeki gelişmeler, biyosensörlerin,

dedektörlerin, katalizörlerin gelişimine ve biyomoleküllerin ayrıştırılmasına ve saflaştırılmasına bağlıdır.

Ekmek, fasulye, pilav, marul salatası, parmak patates, meyve ve daha nice tarım ürünleri tüketim amacıyla yemek masasına gelmeden önce birçok çevresel etki altında kalmaktadır. Yetiştiricilerin söz konusu bu etki altında ekim, sulama, gübreleme, hasat gibi işlemler ile ilgili çeşitli kararları zamanında vermesi gerekmektedir. Bu ürünlerin yabani hayvanlara, yabancı otlara, böceklerle, fungal patojenlere ve kötü hava koşullarına, su ve sıcaklık stresine karşı zaman kaybetmeden korunması lazımdır. Bu nedenle tarladaki ürünlerin her gün takibi ve kontrolü sayesinde kritik sağlık problemlerinin önüne geçilebilmekte ve bunun yanısıra pestisit kullanımında tasarruf sağlanabilmektedir. Ancak tarlada yapılan ürün takip işlemleri yetiştiriciler için hem zaman alıcı hem de uzmanlık gerektiren bir iş olarak değerlendirilmektedir. Çeşitli uygulama alanları verilen nanoteknoloji sayesinde tüm bu işlemlerin oldukça basite indirgenmesi, çok daha doğru kararların doğru zamanda verilmesi ve doğru önlemlerin alınabilmesi mümkün olacaktır.

### **3.10. Nanoteknolojinin Avantajları**

Nanoteknolojinin önemi, atomlar ve moleküller seviyesinde (1 ila 100 nanometre (nm) skalasında) çalışarak, gelişmiş ve/veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklere sahip yapılar elde edilmesine imkan sağlamasından kaynaklanmaktadır.

Teknik açıdan açıklamak gerekirse malzeme özellikleri ve cihazların çalışma prensipleri, genel olarak 100 nm'den büyük boyutları temel alarak yapılan varsayımların sonucunda ortaya çıkarılmış geleneksel modelleme ve teorilere dayanmaktadır. Kritik uzunluklar 100nm'nin altına indiğinde ise geleneksel teori ve modeller ortaya çıkan özellikleri açıklamakta çoğu zaman yetersiz kalmaktadır.

Nanoteknoloji işte burada resme girmektedir. Daha sağlam, daha kaliteli, daha uzun ömürlü ve daha ucuz, daha hafif, daha küçük cihazlar geliştirme isteği bir çok iş kolunda gözlenen eğilimlerdir. Minyatürizasyon olarak tanımlanabilecek bu eğilim bir çok mühendislik çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Minyatürizasyonun sadece kullanılan parçaların daha az yer kaplamasından çok daha önemli getirileri vardır. Minyatürizasyon üretimde daha az malzeme, daha az enerji, daha ucuz ve kolay nakliye, daha çok fonksiyon ve kullanımda kolaylık olarak uygulamada kendini göstermektedir.

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren bir çok endüstride kullanılan toleranslar sürekli iyileştirilmiş, üstün kalite anlayışı geliştirilmiştir. Mikroteknoloji ürünü olarak tanımlayabileceğimiz parçalar otomobil, elektronik, iletişim gibi sektörlerde yaygın olarak

kullanılır olmuştur. Günümüzde ise mikroteknolojilerden daha küçük teknolojilerin, nanoteknolojinin, kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

Nanoteknoloji sayesinde sanayide, bilişim teknolojilerinde, sağlık sektöründe ve daha bir çok alanda yeni ürünler geliştirilecek, günümüzün üretim süreçleri ve yöntemleri değişecektir. Bu teknolojiye yatırım yapılan ülkelerde ekonomik değerler yaratılacak ve toplumların yaşam kalitesi gelişecektir.

### **3.11. Elde Etme Yöntemleri**

Nanoyapılar elde edimesinde iki ana yöntem bulunmaktadır. Aşağıdan yukarıya (“bottom-up”) ve yukarıdan aşağıya (“top down”) olarak adlandırılan iki yaklaşım vardır.

#### **3.11.1. Bottom-up Yöntemi**

Aşağıdan yukarıya yaklaşımı (küçükten büyüğe), moleküler nanoteknolojiyi belirtir ve organik veya inorganik yapıları, maddenin en temel birimi olan atomlardan başlayarak atom atom, molekül molekül inşa edilmesi yöntemini ifade eder.

#### **3.11.2 Top Down Yöntemi**

Yukarıdan aşağıya yaklaşımı (büyükten küçüğe), makineler, asitler ve benzeri mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılarak nano yapıların fabrikasyonu ve imal edilmesi yöntemlerini ifade eder.

Teknolojinin bu günkü seviyesi sebebi ile yapılan çalışmaların bir çoğu yukarıdan aşağıya (top-down) klasmanında değerlendirilir.

### **3.12. Nanoteknolojinin Uygulama Örnekleri**

Gelişen nanoteknoloji uygulamalarından bazıları aşağıdaki gibidir.

- Karbon nanotüp ve nanolitografi
- Karbon lifler üretilip hidrojen bataryası olarak kullanma
- Nano kütüphaneler
- Veri kütüphaneler
- Hücre onarım robotları
- Coca-Cola plastik şişelerinin mono tabakalı silisyum dioksitle kaplayarak cam ve plastiğin üstün özelliklerinin birleştirilmesi
- Polietilen üretiminde zincir yapısı değişimi ile çelikten sağlam taşıyıcı halat üretimi.

### **3.13. Gelecekteki Uygulama Alanları**

#### **3.13.1.Malzeme ve İmalat Sektörü**

Malzemelerin atomik ve moleküler boyutlardan başlayarak inşa edilmesi, konvansiyonel metodlar ile elde edilen malzemelere oranla daha sağlam ve hafif maddelerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bu malzemeler, daha düşük hata seviyeleri ve eşsiz dayanıklılık güçleri ile hali hazırdaki bir çok endüstriyel süreç için devrimsel yenilikler getirecektir. Benzersiz ve alışılmamış özellikleri ile nano tüpler, elyaflar, lifler ve kaplama malzemeleri imalat yöntem ve tekniklerinin gelişmesine imkan sağlayacaktır.

#### **3.13.2.Nano Elektronik ve Bilgisayar Teknolojileri**

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

#### **3.13.3.Tıp ve Sağlık Sektörü**

Nanoteknoloji yaşayan sistemlere moleküler seviyelerde müdahale etme imkanı yaratabilir. Yaşayan organizmalar ile etkileşime geçebilecek boyutlarda araçlar üretilmesi ile bir çok yeni teşhis ve tedavi yöntemlerinin gelişmesi olasıdır. Sadece hastalığın bulunduğu ve veya yayıldığı bölgelere saldırarak ilaç veren makineler, insan vücudu içinde hareket edilmesine imkan sağlayan teşhis araçları, nano-teknolojinin tıp ve sağlık sektörü üzerindeki potansiyel uygulamaları olarak gösterilebilir.

#### **3.13.4.Havacılık ve Uzay Araştırmaları**

Havacılık ve uzay araçları çok maliyetli teknolojilerdir. Bu araçların imalatı sırasında kullanılan malzemelerin ağırlığı maliyetlerin yüksekliğinde çok önemli bir yer tutar. Nanoteknoloji bu malzemelerin ağırlığının önemli ölçüde azaltılması ile maliyetlerin düşürülmesini sağlayabilir. Ayrıca çekme direnci çelikten kat kat yüksek nano tüpler sayesinde dünya yüzeyinden atmosfere kadar yükselebilecek yapılar inşa edilmesi potansiyel uygulama alanları içinde yer alabilir. Böylece uzay araştırma maliyetlerinin büyük bir kısmını meydana getiren fırlatma maliyetleri düşürülebilir.

### **3.13.5.Çevre ve Enerji**

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

### **3.13.6.Bioteknoloji ve Tarım**

Tıp ve sağlık sektörlerinde uygulanabilecek teknolojilerin genişletilmesi ile bio teknoloji, ilaç ve tarım sektörleri de ürünlerinde bu teknolojileri uygulayacaktır. Yeni ilaçlar, gübreler, daha besleyici ve hastalık direnci yüksek bitkiler veya hayvanlar bir çok üniversite ve özel sektör kuruluşun araştırma alanları içerisinde yer almaktadır. Bu gün bile bitki ve hayvan genlerinin düzenlenmesi ile ortaya çıkartılmış olan bazı ticari ürünlere rastlamak mümkündür.

### **3.13.7.Savunma Sektörü**

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

## **4.DÜNYADA NANO TEKNOLOJİ UYGULAMALARI**

Dünyadaki pek çok ülke konunun geleceğinin önemini farkına varmış, bilim kurumları (üniversiteler, araştırma laboratuvarları, teknoloji şirketleri ve vakıflar) ile bu sahaya yönelmiştir. Birçok gelişmiş ülke hızla bu alana yatırım yapmaktadırlar. 1997 de ABD, Batı Avrupa, Japonya, Güney Kore, Çin, ve Avustralya' nın nanoteknoloji çalışmalarına yıllık bazda ayırdığı finansman 600 milyon USD iken 2004 yılında 4 milyar doları geçmiştir.

Mevcut nanoteknoloji uygulamalarında ciddi başarılar elde edilmekle birlikte kütle ve seri üretim henüz başılamamıştır.

### **4.1. ABD'de Nanoteknoloji Uygulamaları**

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1999 yılında yayınlanan ulusal nanoteknoloji bildirgesi ile ülkenin nano teknoloji alanındaki öncelikleri belirlenmiş ve bu konuda yapılan Ar-Ge çalışmaları için bütçeler ayrılmıştır. 2000 yılında nanoteknoloji alanında yapılan Ar-Ge çalışmalarına hükümet tarafından sağlanan destek 420 milyon dolar civarında iken 2001 yılı bütçesinde bu alana ayrılan pay yaklaşık 520 milyon dolar'a ulaşmış, 2003 yılı için ise yaklaşık 700 milyon dolar olarak belirlenmiştir.

Aralık 2003 tarihinde Başkan Bush 2005 yılından başlayarak 4 yıl süreyle nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme projelerinde kullanılmak üzere 3.7 milyar dolar tutarında fon ayrılmasını onaylamıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen çalışmalar, nano yapıları malzemeler, moleküler elektronik, nanoparçalar, biosensörler ve bioformatik, quantum bilgisayarlar, ölçüm ve standart geliştirme çalışmaları, nano ölçekte teori, modelleme ve simulasyon, nano robotlar gibi alanlarda yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar Ticaret Departmanı (DOC), Savunma Departmanı (DOD), Enerji Departmanı (DOE), Ulaştırma Departmanı (DOT), NASA, Ulusal Sağlık Enstitüsü (NIH) ve Ulusal Bilim Kurumu (NSF) gibi kurumlar tarafından desteklenmektedir.

ABD'de nanoteknoloji üzerine kurulan firmaların sayısı 2002 yılında bir önceki yıla oranla iki kat artmıştır ve bu eğilimin 2007 yılında da tekrar etmesi beklenmektedir.

### **4.2. Avrupa Birliği'nde Nanoteknoloji Uygulamaları**

Avrupa Birliği'nin 1994 ve 1998 yılları arasında yürütmüş olduğu 4. Çerçeve programı kapsamında nanoteknoloji alanında araştırma yapan yaklaşık 80 firma desteklenmiş, 1998 ve 2002 yıllarını kapsayan 5. Çerçeve programı kapsamında ise bu alana yapılan destek miktarı yıllık 45 milyon euro civarında olmuştur. Geniş bir yelpazede yapılan destekler



arasında nano-elektronik cihazlar, karbon nanotüpler, bio-sensörler, moleküler tanımlama sistemleri, nano-kompozit malzemeler ve yeni mikroskop teknolojileri öne çıkmaktadır.

Nanoteknolojinin bir çok alanda yenilikçi (inovatif) ürünler geliştirilmesi için gelecek vaatmesi sebebiyle, 2002-2006 yıllarını kapsayacak şekilde yürütülen Nanoteknoloji öncelikli alan olarak yer almış ve bu alanda yürütülecek çalışmalarını desteklemek üzere 1.3 milyar euro bütçe ayrılmıştır. Nanoteknoloji ve nanobilim çalışmalarını, bilgi tabanlı çok işlevli malzemeler ile yeni üretim prosesleri ve araçlarının geliştirilmesini kapsar. Nanoteknoloji öncelikli alanının iki ana hedefi vardır.

Birincisi yenilikçi nanoteknoloji ürünlerinin günümüzün endüstriyel sektörlerine tanıtılması, ikincisi ise yeni malzeme, yeni araç ve yeni ürünlerin geliştirilmesi ile yeni endüstri kolları ve sektörleri yaratılmasını teşvik etmek olarak özetlenebilir. Ayrıca Avrupa Birliği ülkelerinin bir çoğunda nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme çalışmalarını destekleyen ulusal programlar bulunmaktadır.

#### **4.3. Asya'da Nanoteknoloji Uygulamaları**

Asya ülkeleri içinde nanoteknolojiye yatırım yapan ülkelerin başında Japonya gelmektedir. Japonya dünyada ABD'den sonra nanoteknoloji alanında en fazla Ar-Ge harcaması yapan ikinci ülke konumundadır. Nanoteknoloji üzerine yapılmakta olan yatırımın her yıl %15 ile %20 oranında artmakta olduğu Japonya'da nanoteknoloji tanımı dünyanın geri kalan ülkelerine oranla çok daha geniş kapsamlıdır. Moleküler seviyede yapılan bir çok araştırma (örnek vermek gerekirse, DNA üzerine yapılan araştırmalar) nanoteknoloji tanımı içerisinde yer almaktadır. Ayrıca NEC ve Sumitomo gibi firmalar carbon nanotüpler alanında çalışmalar yürütmekte, araştırmalar gerçekleştirmektedir.

Asya ülkeleri arasında Japonya'yı takip eden ülkeler arasında Çin ve Kore öne çıkmaktadır. Çin ülkede yürütülen nanoteknoloji odaklı bir çok araştırma ve geliştirme çalışmasını Çin Bilimler Akademisi kanalıyla yürütmektedir. Bu ülkede yürütülen çalışmaların bir çoğu yarı iletken üretme teknikleri ve nanoteknoloji tabanlı elektronik cihazlar üzerine yoğunlaşmaktadır. Araştırma merkezlerine ek olarak nanoteknoloji kullanılarak üretilen ürünlerin ticarileşmesine imkan sağlamak amacıyla çalışan bir çok kuruluş bulunmaktadır.

Kore nanoteknolojinin mikro elektronik uygulamaları alanında yoğunlaşmıştır. Nanoteknoloji çalışmalarının sürdürüldüğü bir çok üniversite ve araştırma merkezi olduğu gibi Kore'nin en büyük şirketlerinden biri olan Samsung mikro elektronik uygulamalar ve mikro elektromekanik sistemler (MEMS) üzerine araştırmalar yürütmektedir.

Tayvan, Singapur, Tayland Hindistan ve Vietnam nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak belirlemiş ve uygun çerçeveyi belirlemek için adımlar atmaktadır.

## 5.TÜRKİYE’DE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Günümüzde nanoteknoloji ülkeler için stratejik bir önem taşımaya başlamış durumda. Gelişmiş ülkeler öncelikli alanlarını belirleyip çalışma ve eğitim programlarını geliştirirken, ülkemizde nanoteknoloji araştırmalarının çoğu kuramsal ve bireysel düzeyde. Avrupa Birliğinin 6. Çerçeve Programı sayesinde nanoteknoloji araştırmalarımız yeniden yapılanma ve ivme kazanmış bulunuyor. Bu arada nanoteknoloji, TÜBİTAK tarafından hazırlanan Vizyon 2023 Programı'na öncelikli alanlardan biri olarak alınmış bulunuyor. Bu yıl ilki Bilkent'te düzenlenen Nanoteknoloji Konferansı'na ise geniş bir katılım oldu ve nitelikli bilimsel bildiri-ler sunuldu.

Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü'nde 1989 yılından beri nano teknolojiyle ilgili düşük boyutlu kuantum yapılarında elektron taşınımı, tarayıcı tünelleme mikroskopi (TTM) ve atomik kuvvet mikroskopi (AKM) uç yüzey arası etkileşmeler ve nanotriboloji, nanotüp ve atom zincirleri konularında yoğun kuramsal araştırmalar yapılmaktaydı. Ayrıca, 2 boyutlu elektron sistemlerinin özelliklerini kullanan Ga-As teknolojisi zaman kaybedilmeden yakalanmış, T.C. Savunma Sanayii Müsteşarlığı tarafından desteklenen İleri Araştırmalar Laboratuvarı kurulmuştu. Günümüzde, bu laboratuvar, teknolojinin sınırında çok önemli opto-elektronik ve elektronik aygıtlar yapılmakta, TTM ve AKM bazlı mikroskoplarda yeni teknolojiler geliştirilmekte. Nanoteknolojide uygulamaların önem kazanması sonucu, kuramla deneysel çalışmaların sıkı bir işbirliği yapması ve belli hedeflere odaklanan disiplinlerarası araştırma çalışmalarının yapılması zorunlu hale geldi. Bunun yanında iyi yetişmiş deneyimli uzman gereksinimi de ortaya çıktı. Nanoteknoloji konusunu geniş bir kapsamda ele almak, bazı kritik konularda gerekli teknolojiyi geliştirmek, uzman yetiştirmek üzere hazırlanan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Projesini T.C. Devlet Planlama Teşkilatı 11 milyon YTL kaynakla desteklemeye karar vermiş bulunuyor. Projeye, Bilkent Üniversitesi ve diğer özel kuruluşlar yaklaşık 4 milyon YTL kaynak sağlayacak. Toplam maliyetinin 30 milyon YTL olacağı öngörülen proje, yeni inşa edilecek 4000 m<sup>2</sup>'lik laboratuvar binasında faaliyete geçecek. Ayrıca Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü'nde mevcut 15 milyon YTL değerindeki araştırma altyapısı ve teçhizat, proje araştırmalarında kullanılacak. Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Projesi, Prof. Dr. Salim Çıracı tarafından yönetilecek.

Projede prototipler geliştirmeye yönelik araştırma konuları belirlendi. Kuramsal çalışmalar nanobilimin temel problemlerinin çözümleriyle uğraşarak uygulamalı çalışmalara destek verecek, çok parçacık sistemlerinin kuantum mekaniğine dayalı hesaplama yöntemleriyle yeni

nanoyapılar (tüpler, teller, kuantum noktaları, manyetik moleküller, sürtünmesiz yüzeyler vb) geliştirilecek, spin ve enerjinin denge dışı kuantum istatistik fizik kuramıyla taşınması ve tutarlılığı incelenecek. Kuramsal çalışmalar merkezde kurulacak süper bilgisayarlar da sayısal hesaplara dönüştürülecek, elde edilen sonuçlar yeni aygıt ve detektörlerin tasarlanmasında kullanılacak. Uygulamalı alanda çalışmalar, nanoelektronik ve algılayıcılar (sensörler), nanofotonik, nanofiber ve akıllı tekstil, atom manipülasyonu, yüksek çözünürlüğe sahip ölçü aletlerinin geliştirilmesi ve lazer konularına odaklanacak. Projede ülkemizin tekstil sanayiine teknolojik destek sağlamak, öncelikle kir ve su tutmayan, nemi uzaklaştıran, zararlı ışınımı soğuran, renk tutabilen polimerleri geliştirmek için yoğun araştırma programları uygulanacak.

Sürtünme günümüzde halen güncelliğini ve önemini koruyan konulardan biridir. Sürtünme nedeniyle enerji ve malzeme kayıpları çok önemli değerlere ulaşmaktadır. Triboloji ya da sürtünme bilimi kapsamında çeşitli disiplinlerde (fizik, kimya, makine ve malzeme mühendisliği vb) yoğun araştırmalar yapıyor. TTM ve AKM'nin gelişmesi, sürtünmeyi atomal düzeyde inceleyebilmemize ve tribolojinin hızla ilerlemesine zemin hazırlamış bulunuyor. Sanayinin değişik sektörlerinin sürtünmeden değişik beklentileri vardır. Birçok sanayi dalı sürtünmeyi azaltmak ya da tümüyle ortadan kaldırmak isterken, taşıt vasıtalarında lastiğin daha iyi yol tutması ve sürtünme katsayısının artırılması için geniş kaynaklar ayrılıyor. Projede sürtünmeyi atomal düzeyde incelemek ve sürtünmesiz yüzeyler geliştirmek üzere nanotriboloji araştırmaları kuramsal düzeyde başlayacak, daha sonra sağlanacak yeni kaynaklarla deney laboratuvarları kurulacaktır.

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Laboratuvarı'nda ilgilenilen başka bir önemli konu, hidrojen depolanması ve yakıt hücreleridir. Fosil yakıtlarının gün geçtikçe artan fiyatları, çevreye verdikleri büyük zarar, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Yakıldığında atık olarak su verecek olan hidrojen molekülü, en ideal ve temiz enerji kaynağı olarak görülüyor ve hidrojenin depolanması ve yakıt hücrelerinde elektrik enerjisi elde etme konusu yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Projede hidrojen depolanması konusunu kuramsal olarak araştırıp daha sonra deneysel ve uygulamalı çalışmaları başlatılması planlanmaktadır.

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde yapılan buluşların ve geliştirilen yeni yöntem ve teknolojilerin sanayiye aktarılması, prototiplerin daha da geliştirilerek pazarlanabilmesi, bu yolla yeni çalışma alanlarının yaratılması ve ekonomimize katkı sağlanabilmesi için T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Bilkent Üniversitesi ve Cyber-park, birlikte "Nanoteknoloji Kuluçka Merkezi" kuruluş çalışmalarını yürütmektedir. Avrupa Birliği'nin maddi

desteğiyle gerekleŒecek bu projede ilginç bir fikir ve buluŒ sahibi olan giriŒimci doktora ğrencilerinin, kendi iŒ ve iŒyerlerini kurmalarına destek verilecek. Byolce beyin göçünün de önüne geçilmiş olacaktır.

### **5.1. Nanoteknolojinin Türkiye İçin Stratejik nemi**

Nano-lek seviyesinde malzemelerin özellikleri makroskopik ölçekten tamamen farklı olup nano-ölçeğe yaklaŒtıkca birçok özel ve yararlı olay ve yeni özellikler ortaya çıkmaktadır. Örneğin, iletim özellikleri (momentum, enerji ve kütle) artık sürekli olarak değil ancak kesikli olarak tarif edilmektedir. Benzer olarak, optik, elektronik, manyetik ve kimyasal davranıŒlar klasik değil kuvantum olarak tanımlanmaktadır. Œimdi maddeyi nanometre seviyesinde iŒleyerek ve ortaya çıkan deđiŒik özellikleri kullanarak, yeni teknolojik nano-ölçekte aygıtlar ve malzemeler yapmak mümkün olmuŒtur. Örneğin, tarama tünelleme ve atomik kuvvet mikroskoplarını kullanarak yüzey üzerinde atomları iterek birbirlerinden ayırmak ve istenilen Œekilde dizmek mümkündür. Bütün bu geliŒmeler, 19. yüzyılda dünyayı yeniden Œekillendiren sanayi devrimine eŒdeđer bir bilimsel ve teknolojik devrim baŒlatmıŒtır. Bu Œekilde atom ve moleküller ile oynayarak tek molekülden oluŒan transistör ve elektronik aygıtlar gerekleŒtirilmiŒtir ve dünyada birçok grubun aktif alıŒmaları ile geliŒtirilmektedir. Bütün bu alıŒmalar ve geliŒmeler elektronik, kimya, fizik, malzeme bilimi, uzay ve hatta sağlık bilimlerini bir ortak arakesitte buluŒturmuŒtur.

Önümüzdeki birkaç on yıl içerisinde nanoteknoloji sayesinde sperkompterlere mikroskop altında bakılabilecek, insan vücudunun içinde hastalıklı dokuyu bulup iyileŒtiren, ameliyat yapan nanorobotlar bulunabilecektir, insan beyninin kapasitesi ek nanohaftızalarla gclendirilebilecek, kirliliği önleyen nanoparçacıklar sayesinde fabrikalar çevreyi çok daha az kirletecektir. Ulusal güvenliği ilgilendiren konularda nano malzeme bilimi, yeni savunma sistemlerinin geliŒtirilmesinde, haberalma / gizlilik konularına yönelik çok küçük boyutlarda aygıtların yapılmasında kullanılacaktır. Birim ağırlık baŒına Œu andakinden 50 kat daha hafif ve çok daha dayanıklı malzemeler retilenecek ve bunların sonucu olarak insanın günlük yaŒamında kullandığı tekstil ürünleri gibi ürünler deđiŒebileceđi gibi, uzay araŒtırmalarında ve havacılıkta yeni roket ve uçak tasarımlarının ortaya çıkması mümkün olacaktır.

Nanobilim ve nanoteknolojinin odak noktaları, dŒk boyutlarda baskın hale geçen boyut, sınır ve kuvantum etkileri gibi temel fizik araŒtırması içeren konuların yanında, atomik boyutlarda görüntülemede deneysel yöntemlerin geliŒtirilmesi, Angstrom altı ( $10^{-10}$  metreden küçük) boyutlarda ölçüm yapabilme teknikleri, dŒk boyutlarda eŒ tip malzeme üretebilme,

malzeme yapısını atomik boyutlarda kontrol edebilme, kızılaltı ve morötesi radyasyonlara tepkisi kontrol edilebilir malzeme ve özel amaca yönelik aygıt geliştirme yöntemleridir.

Bilgisayar çağının başları olan 1950'lerden bu yana yaklaşık her 18 ayda bir bilgisayar performansının iki katına çıktığı ve büyüklüğünün yarıya indiği bilinmektedir (Moore kuralı). Bu kural 2020'li yıllara kadar geçerliliğini koruyacak; bu yıllarda, üretilen bilgisayarlar moleküler boyutlara kadar gelip dayanacaktır. Şu anda 40 milyon transistörlü bir işlemci, 2015 yılında 5 milyar transistörden oluşacaktır. Bu şekilde bilgi işleme hızı oldukça artarken enerji kullanımı çok aza indirilebilecektir.

Nanoteknoloji devriminin insanlığın yakın geleceğinde yaratacağı değişiklik sadece ana hatları ile tahmin edilebilir. Öyle görünmektedir ki, nanoteknoloji önümüzdeki birkaç on yıl içinde uygarlığa damgasını vuracak ve bu gelişmelere hazırlık açısından zayıf ve güçlü ülkeler arasındaki fark artacaktır. Ulusal güvenliğimiz için tek yol bu teknolojiye hazırlıklı olmak ve bu tür konularda hem temel bilimler açısından hemde teknolojik olarak ön sıralarda yer almaktır. Geç kalınmadan TÜBİTAK ve diğer ulusal araştırmaları destekleyen kuruluşların bu tür kritik araştırmaları daha çok desteklemesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Nanobilim ve nanoteknoloji çok çeşitli alanlarda hızla yaşamımıza girmektedir. Bu etki bilişim ve haberleşmeden başlamakta, savunma sanayi, uzay ve uçak teknolojileri ve hatta moleküler biyoloji ve gen mühendisliğine kadar uzanmaktadır. Nanoteknoloji ABD'de, ekonomistlerin telkini ile, Başkan Bill Clinton tarafından yaklaşık 10 sene önce en öncelikli ve kritik alan olarak ilan edilmiş, dolayısı ile ABD'nin en çok desteklenen programlarından olmuştur. Bunun sonucunda ABD'de büyük araştırma merkezleri ve üniversite araştırma üçgenleri kurulmuştur. ABD'de yalnızca devlet ajanslarının (NSF, DoD, DoE, NIH, NASA, NIST, DoA, DoT, DoJ gibi) nanobilim ve nanoteknoloji için ayırdıkları araştırma bütçeleri milyon dolar olarak 270 (2000), 467 (2001), 604 (2002), 710 (2003) ve en son 2004'te de 3 milyar dolardan fazladır. ABD'yi yakından izleyen Japon hükümeti de daha önce benzeri görülmemiş parasal destekleri nanoteknoloji için seferber etmiştir.

ABD ve Japonyadaki gelişmeleri kaygı ile izleyen Avrupa Birliği, teknolojilerinin 10 yıl sonra bu iki ülke ile yarışabilmesi için 6. Çerçeve Programında nanobilim ve nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak ilan etmiş ve son dört yıl boyunca bu alandaki araştırmaları desteklemek üzere 1.3 Milyar Euro ödenek ayırmıştır. Ancak, bu meblağın birlik ülkelerinin milli bütçelerinden ayırdıkları kaynakların toplamının çok küçük bir bölümü olduğu ifade edilmektedir. Ülke bazında özel ve kamu kuruluşları ise bu miktarın belki toplam 7-8 katını bulabilecek harcamalar yapmayı planlamaktadırlar. Komşumuz

Yunanistan'ın Girit adasında kurulu, 500 doktoralı araştırmacının çalıştığı Heraklion Araştırma Merkezinde nanoteknoloji geliştirme üzerine yoğun araştırmalar yapılmakta ve bu araştırmalara Avrupa Birliği'nden milyonlarca Euro destek verilmektedir. İsrail bu konuda çok hızlı davranarak çok sayıda tanınmış bilim adamını Nanocenter kuruluşlarında toplamıştır. İrlanda nüfus olarak çok küçük bir ilke olmasına rağmen 630 Milyon Euro miktarında bir kaynağı nanoteknolojiye aktarmıştır.

Nanoteknolojiden gelecek 10-15 yıl içinde büyük ve sürpriz çıktılar ve yeni pazarlar beklenmektedir. Avrupa'da, ABD'de ve Japonya'da yüzlerce nanoteknoloji araştırma merkezi, üniversitelerde bölümler kurulduğu ve uzman kadroların bu merkezlerde bir yarış ortamında, önce ulusal, sonra ticari çıkarlarına yönelik olarak bilgi ve teknoloji ürettikleri gerçeği çok açık bir şekilde görülmektedir. Nanoteknoloji ile gelişmiş ülkelerle gelişmemiş ülkeler arasındaki ara kapanamayacak kadar ve katlanarak artacak; nanoteknolojiye sahip olan ülkelerin refah seviyesi, ulusal savunması ve ekonomisi daha güçlü bir konuma gelecektir. Bu bağlamda zamanında endüstriyel ve mikroelektronik-enformatik devrimlerini yakalayamayan ülkemizde, ekonomik ve bilimsel gelişme ve refah için nanoteknoloji yakalanabilececek en son fırsat olmaktadır. Bu fırsatın yakalanabilmesi ancak, ulusal boyutta uzman kadronun güçlendirilmesi, eğitim ve nesilden nesile aktarılacak teknoloji birikiminin nnn açılması ile mümkün olacaktır. Bu yolların açılması ile ülkemiz, kritik olan bu uygarlık ve refah düzeyine çok daha aktif olarak katkı sağlayabilecektir. Nanoteknolojinin belli alanlarına girip teknoloji geliştiren Türkiye, Finladiya'daki Nokia rneği uluslararası dev nanoteknoloji ürünü çıkarabilen bir ülke konumuna gelecektir. Bunun lke refahına ve ekonomik gücüne, yaşayan halkının kendisi ve dünya ile daha bütünleşik olarak yaşamasına büyük katkısı olacaktır.

Ülkemiz, ağımızın insan yaşamını birkaç onyıl içinde büyük lkte yeniden düzenleyecek olan bu kritik gelişmelere şu ana kadar seyirci kalmıştır. Özel olarak nanobilim ve nanoteknoloji araştırmalarına yönelik kapsamlı bir araştırma planımız bulunmamaktadır. Avrupa Birliği 6. ereve Programı için hazırlanan bir raporda Avrupa'da ulusal bir nanoteknoloji planı bulunmayan ülkelerin sadece MALTA ve TÜRKİYE olduğu belirtilmiştir

Bu planın hazırlanması ve bunun gerektirdiği araştırma altyapısına verilecek destekte geç kalınması halinde, Türkiye bu son fırsatı da kaçıracaktır. En önemli husus ise, Türkiye bu fırsatı da kaçırırsa, nanoteknoloji ürünleri (aygıtlar, detektörler, hızlı bilgisayarlar, uzay, uçak teknolojileri, tıp teknolojisi, gen terapi vb) için bu teknolojiye hükmeden ülkelere alışık

olduğumuzdan çok daha büyük bedeller ödemek zorunda kalacaktır. Özellikle ülke için hayati bir öneme haiz olan ulusal savunmaya nanoteknoloji hızla girmektedir ki bu durumda, yüksek olan bu bedeli ödemeyi göze alsan bile bu teknolojileri almak mümkün olmayabilir. Öte yandan, nanobilim ve nanoteknoloji için ayrılacak yılda 15 milyon dolarlık bir fon birkaç sene içerisinde katlanmış olarak ülke ekonomisine geri dönecektir.

## 5.2. Önerilen Bilim Ve Teknoloji Politikaları

Yetişmiş eleman açığının öncelikle giderilmelidir. Bugün artık birçok ülkede, üniversitelerde nanobilim ve nanoteknoloji yüksek lisans ve doktora programları bulunmaktadır. Yeni bir konuda uzman sayılarının yeterli kritik kütleyle ulaşması için, bu çok önemlidir. Biran önce disiplinlerarası yüksek lisans ve doktora programları oluşturulmalı, bu programlara kayıtlı öğrenciler maddi olarak desteklenmeli, doktora sonrası araştırmalar için destek sağlanmalıdır.

Üniversitelerin, küçük, orta ve büyük ölçekli sanayinin araştırma alt yapısının oluşturulması, yasal düzenlemelerle geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gerekir. Araştırma merkezlerinin artırılması ve yaygınlaştırılması, sanayi tarafından yapılan veya yönlendirilen araştırmalar teşvik edilmeli ve desteklenmelidir.

Teknoparkların yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi, nanoteknolojilerin geliştirilmesi için özellikle önemlidir. Şu anda Teknoloji Bölgelerindeki şirketlerin AR-GE faaliyetlerinden oluşan kazançlara vergi muafiyeti sağlanmaktadır. Ayrıca TÜBİTAK'ın bir kuruluşu olan TİDEB aracılığıyla AR-GE projelerine %50'ye yakın hibe şeklinde destek verilmekte, TTGV aracılığı ile de bir kaç yıl vadeli AR-GE finansmanı sağlanmaktadır. Bu destekler yabana atılamayacak desteklerdir; ama desteğin kullanılması küçük şirketler için oldukça zahmetlidir ve şirketler harcamalarını en iyimser tahminle 6-9 ay sonra alabilmekte ve önceden parayı kendi kaynaklarından harcamaları gerekmektedir. Bu pratik sorunlar nedeniyle bir çok küçük şirket bu kaynaktan yararlanamamaktadır. Nanoteknoloji konusunda atılım yapabilecek şirketleri özendirme ve güçlendirmek için ABD'deki "Small Enterprise Grant"e benzer şekilde "ürüne dönüşebilecek bir fikrin araştırılması, prototip ya da ilk ürün yapılması, ya da araştırma amaçlı" projelere tamamen hibe olarak destek verilmelidir. ABD'de bu projelere 750,000\$'a kadar destek verilmektedir. Kendi imkanlarıyla bu projeleri yapamayacak olan küçük şirketlerden beklenen, bu projelerle yeni fikirleri denemek ve bir süre sonra ürüne dönüştürmektir. Avrupa'da İngiltere, İrlanda, Fransa, Almanya vb. ülkelerde de benzer AR-GE destekleri mevcuttur ve küçük şirketlerin güçlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır.



Ülkemizde bu rakam 250,000\$ olarak sınırlandırılabilir. Projeler akademisyen ve işadamlarından oluşan hakemler tarafından değerlendirilmeli; şirketler harcama konusunda olabildiğince serbest bırakılmalıdır.

## **6.NANOTEKNOLOJİ ARAŞTIRMALARININ MUHTEMEL HEDEFLERİ VE ASKERİ ALANDAKİ ETKİLERİ**

Nanoteknoloji konusunda farklı dallarda yapılan araştırmaların savunma sanayine katkıları oldukça büyüktür. Günümüzde modern ordular sayısal güçler yerine az ama etkili kuvvetleri tercih etmektedirler. İnsan kayıpları çok önemli bir konuma gelmiş ve kabul edilemez durumdadır. Dünyada silahlı kuvvetlerin şirketlerle ve üniversitelerle AR-GE konusunda işbirliği yapması ayrıca askeri teknolojiyi bir sektör olarak da görmeleri bu sonuçları doğurmuştur.

### **6.1.Nanofotonik, Nanoelektronik ve Nanomanyetizma Araştırma Hedefleri**

Nanoelektronik ve nanomanyetizma araştırmaları Silahlı kuvvetler için çok gerekli olan komuta kontrol sistemlerinin gelişimine etkisi büyük olacaktır.Özellikle tek er seviyesinden toplanan haber ve görüntülerin büyük taktik resmi oluşturmak maksadıyla üst karargahlara ulaştırılabilmesi için mevcut teknoloji uygun değildir.

Nanofotonik araştırmaları özellikle sensörlerin geliştirilmesinde etkili olacaktır.Radyolojik, kimyasal ve biyolojik taaruzların erkenden fark edilmesi ve üst karargahların uyarılması açısından çok önemlidir.

2008 yılına kadar yarıiletkenlerden (grup IV ve II-VI yarıiletkenleri) oluşan nanoyapıların üretim süreçlerinin anlaşılması, bu süreçler hakkında fizik, kimya, biyoloji, elektronik ve diğer ilgili alanları kapsayan çok disiplinli araştırma programlarının geliştirilmesi, üretilen nanoyapıların ölçülmesi ve analiz edilebilmesi için yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesi hedeflenmektedir.2010 yılından itibaren nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtların fiziğinin anlaşılması ve araştırılması, yeni açılımların tespit edileceği öngörülmektedir.2013 yılında ise elektronik, fotonik ve spintronik uygulamalara yönelik nanoyapıların çeşitlendirilmesi, çok boyutlu hale getirilmesi, ve boyutlarının küçültülerek moleküler düzeydeki davranışlarının incelenmesi hedeflenmektedir.Nihayetinde 2015li yıllarda nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtların bir arada tümleşik olarak üretilmesine yönelik bilimsel altyapının araştırılması düşünülmektedir

Tüm bunlarla beraber 2008 yılı sonuna kadar nanoyapılar içeren Light Emitting Diode (LED), lazer ve detektör prototipinin üretilmesi ve üretim metodolojisinin geliştirilmesi tasarlanmıştır(Çıracı,2006).

## **6.2. Yakıt Hücreleri Ve Enerji Konusunda Araştırma-Geliştirme Çalışmaları**

Hidrojen gazından küçük ölçekli sistemler için enerji elde edilmesinde AR-GE çalışmalarının üç konuya yoğunlaşması beklenmektedir: Bunlar:

- Suyun analiz edilerek hidrojen gazının elde edilmesi;
- Elde edilen hidrojen gazının depolanması;
- Depolanan gazdan yakıt hücrelerinde elektrik enerjisi elde edilmesi.

Suyun analizi güneş hücreleri ile yapılabilmektedir. Güneş hücrelerinin veriminin artırılması yoğun ve sürekli araştırma konusudur. İlgili disiplinlerce ele alınmaktadır.

Dev ekonomiler hidrojen gazının depolanması ve yakıt hücrelerinin geliştirilmesine büyük kaynaklar tahsis ederken, bu konuda "Türkiye ne yapabilir?" sorusu önem kazanmaktadır. Ancak bu tip araştırmalarda başlangıçta fiziksel ve kimyasal mekanizmasının iyi tanımlanması araştırma sonuçlarını çok etkilemekte, bazen küçük ölçekli araştırma programlarından büyük sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle bu konularda da araştırma faaliyetlerinin ülkemizde zaman kaybetmeden başlatılması gerekir.

Hidrojen gazının depolanması ve yakıt hücreleri için nanoteknolojiden destek ve yöntem ithal edilmesi konusu gelecek yıllarda yoğun araştırmalara konu olacaktır. Gelecek on yıl için üniversitemizde bu konudaki araştırmaları desteklenmesi gerekmektedir.

Bu konuda üniversite ve Araştırma Enstitülerinde yürütülecek ilgili konulardaki araştırmalar TÜBİTAK ve DPT tarafından 2014 kadar desteklenmesi planlanmaktadır (Durgun, 2004).Elde edilen araştırma sonuçları değerlendirilip uygun bulunan sonuçlar için KOBİ'ler veya Teknoparklar yolu ile seri üretime ve pazarlamaya yönelinmelidir

## **6.3.Nanokarakterizasyon Konusunda Hedefler**

Nanokarakterizasyon, nanoaraştırmalar için bir araçtır. Nanokarakterizasyon konusunda belli hedeflere ulaşmak müteakip teknolojiler için çok önemlidir. Özellikle yeni nesil taramalı hall aygıtı mikroskoplarının/taramalı uç mikroskoplarının geliştirilmesi ve 5- 10 nm hassasiyete getirilmesi bir çok gelişime temel oluşturulacaktır.Bu araştırmaların da tek elden yürütülebilmesi açısından ulusal bir nanokarakterizasyon merkezinin kurulması gereklidir.

#### **6.4. Nano fabrikasyon konusunda ulaşılması gereken hedefler**

Nanorobotlar gelecekte muharebe sahası anlayışını tamamen değiştirecek ve artık hiçbir yer güvenli olmayacaktır.İstihbarata karşı koyma faaliyetleri nanoteknolojiye sahip olmayan ülkeler için sadece bir hayal olacaktır.İşte nanorobot üretimi yapabilecek seviyede nanofabrikasyona sahip olmak bu noktada büyük önem kazanmaktadır.

Bu doğrultuda piramidin en tepesinde bulunan alan kuramsal ve deneysel nano ölçek fiziğidir. 2010 yılına kadar maddenin nano boyutta manyetik, metalik, yalıtkan ve süperiletken özelliklerinin araştırılması ve bu konularda kuramsal ve deneysel olarak dünyanın güncel araştırma düzeyinin yakalanması, kuramsal ve deneysel doğrultularda birlikte çalışan araştırma gruplarının KBİ'ye yönelik qubit olarak kullanılabilen nano ölçek ünitelerin kuramsal olarak tasarlanması, simulasyonları ve bunların 2020'li yıllara kadar prototip ve üretimlerine geçiş zamana bağlı hedeflerimiz olmalıdır.

Bu sebeple 2005 sonuna kadar üniversitelerde lisansüstü ve doktora seviyesinde deneysel ve teorik eğitime yönelik temel araştırma ve deneysel uygulama derslerinin açılmalı ve resmi ve özel eğitim kurumlarının dışında yaz okulları, doktora projelerinin desteklenmelidir.Ayrıca resmi ve kamu'ya ait (UEKAE, Aselsan gibi) araştırma kurumlarında bu konuda AR-GE alt birimleri oluşturulması ve laboratuvar faaliyetleri için gerekli altyapının desteklenmesi gerekmektedir.Bu altyapı faaliyetleri arasında nanoölçek KBİ'de kuramsal ve deneysel grup çalışmalarını birleştiren projelerin öncelikli olarak ve şimdiden desteklenmelidir.

2006 yılına kadar Bir Ulusal Nanobilim ve Nanoteknoloji merkezinin ve bunun altında bir Nano lek Kuantum Bilgi İşleme biriminin kurulmalıdır.

## 7.ASKERİ ALANDA NANOTEKNOLOJİ ARAŞTIRMALARI VE KULLANIMI

### 7.1. Muharebe Sahasındaki Gelişmeler

Silah teknolojisindeki araştırma ve geliştirme için sürdürülen yoğun çalışmalar ve bu amaçla harcanan paralar göz önüne alındığında; GÜNÜMÜZ MUHAREBE SAHASININ özelliklerinin büyük bir hızla değişmekte olduğu görülmektedir. 10-20 yıl sonrasının muharebe sahasının nasıl olacağını bugünden gerçekçi olarak görülebilmesi oldukça güçtür.

Teknolojideki gelişmelerin yanında Dünyadaki ekonomik ve siyasi gelişmeler de geleceğe ait tahminlerin yapılmasında etkili olmaktadır.

S.S.C.B.'de GORBAÇOV yönetimince başlatılan yeni politikaların sonucu; Nükleer Silahlarda sağlanan indirim ve sınırlama çalışmalarının, gelecek yıllarda da devam etmesi beklenmektedir. Nükleer Silahlardaki sınırlamalara paralel olarak, “KONVANSİYONEL SİLAHLAR’IN İNDİRİMİ” çalışmalarına da devam edilmekte ve 2020’li yıllarda bu sahada dengenin sağlanabileceği beklenmektedir.

Nükleer Silahsızlanma ve Konvansiyonel İstikrar Görüşmeleri, sayı bakımından az ancak nitelik bakımından üstün “Klasik Silah Sistemleri”nin gelişmesine neden olacaktır. Üstün nitelikli harp silah ve araçları, muharebe sahasının boyutlarının da genişlemesine yol açacaktır.

2020’li yılların muharebe sahası; uzay çalışmaları ve silah teknolojisindeki gelişmeler ve özellikle; silah sistemlerinin menzillerinde sağlanacak artış, komuta- kontrol ve muharebe sistemlerindeki gelişmeler, keşif gözetleme ve istihbarat sistemlerindeki ilerlemeler, “ETKİ ve İLGİ” sahalarının genişlemesine neden olacaktır.

Avrupa Grubunca üzerinde çalışılan ve FOFA olarak bilinen “İKİNCİ KADEME KUVVETLERİNE TAARRUZ” (Follow on Forces Attack) konsepti gereğince; Asıl muharebe hattı veya temas hattından 150 km derinlikteki hareketli hedefleri tespit edecek ve ateş altına alabilecek kara harp silah ve araçları, 10-20 yıl içinde muharebe sahasında kullanılmaya başlanacaktır. “Modern mühimmat” veya “Akıllı Mühimmat” olarak bilinen mühimmat sayesinde topçu mermileri 40 km’ye kadar derinlikteki zırhlı hedefleri tespit ederek, yüksek isabet ihtimali ile tahrip edebilecektir.

Gözetleme ve hedef tespit vasıtaları uzaya yerleştirilmeye başlanmıştır. Bu sayede muharebe sahasının tamamı gece ve gündüz gözetlenebilecektir. Hedef tespit sistemleri ve ateş destek vasıtalarındaki gelişmelerin sonucu; gelecekte kesin sonuç Asıl muharebe hattından ziyade derinliklerde kazanılmaya çalışılacaktır.

Muharebe sahasında bulunacak hedefler incelendiğinde; Asıl Muharebe Hattından 20 km mesafe içerisindeki hedeflerin % 35'i sert (Tnk., bina, sığınak gibi), %45'i yarı-sert (Zırhlı Araçlar, Hava Savunma Silahları, Uçs.silahları gibi) ve geri kalan %2'si yumuşak (korunmasız) hedeflerden müteşekkil olacağı görülecektir. Bu hedeflerin yarıya yakını aynı zamanda hareketli hedefler olacaktır. Dolayısıyla; 2020'li yıllardaki muharebe sahasında, bugünkü kademeli taarruz doktrini uygulamaya devam edildiği takdirde, hareket kabiliyetli ve zırh korumalı sert hedeflerle karşılaşılacaktır. Bu nedenle tahrip gücü yüksek ve nokta isabetli sağlayabilecek silah ve mühimmat önem kazanacak ve bu silah ve mühimmat sistemleri üzerindeki çalışmalar hızlandırılacaktır.

2020'li yılların muharebe sahasının Nükleer Silahlardan tamamen arındırılması beklenmektedir. "Stratejik Nükleer Silahlar" sınırlandırılrsa da, "Taktik Nükleer Silahlar" yerlerini muhafaza edeceklerdir. Sanayi ve teknolojideki gelişmeler ve teknoloji transferi sonucu, "Kimyasal silah" üreticisi ülkelerin sayısı artacaktır. Bu nedenle kimyasal silahların kullanılma tehdidi, önleyici tedbirler alınmadığı takdirde, 2020'li yıllardaki muharebe sahasında daha da artmış olacaktır.

Gece görüş sistemlerindeki gelişmeler ve uydulardan yararlanma sayesinde gece ve gündüz muharebe şartları arasındaki fark azalmıştır.

Muharebe sahasının genişlemesine paralel olarak, dağılıma önem kazanacaktır. Dağılmanın artması sonucu, komuta-kontrol güçleşecektir. GÖREV KUVVETİ halindeki teşkilat yapısı muhafaza edilip geliştirilecektir. Görev kuvvetleri içinde mekanize unsurlar önemini koruyacaktır. Görev kuvvetleri; manevra, ateş destek vasıtaları, elektronik harp, keşif ve gözetleme imkanlarıyla ve helikopterlerle teçhiz edileceklerdir. Helikopterler; keşif, gözetleme, hedef tespiti, ateş desteği, komuta, kontrol ve ulaştırma amacıyla yoğun olarak kullanılmaya devam edecektir.

Muharebe sahası harp silah ve araçlarının meydana getireceği değişikliklerin insan üzerindeki etkisi de oldukça fazla olacaktır. Yeni silah sistemlerinin etkinliğinin artmasına paralel olarak kullanımı ve bakımı, eğitimi ve bilgili insana olan ihtiyacı artıracaktır.

Muharebe sahasındaki değişikliklerin sonucu muharebelerde "zaman" en önemli faktörlerden biri haline gelecektir. Zaman bugünün değerleri ile kısılacaktır. Hareket kabiliyetindeki artış, muharebe sahasında zamanın ve mekanın bugüne göre daralmasına neden olacaktır.

Muharebe sahasındaki değişikliklerin doğal sonucu olarak; komutan ve karargah subaylarından beklenen yetenekler de değişecektir. Taktik veya stratejide yapılacak

bir hatanın bedeli ağır olacağı gibi, düzeltilmesi de mümkün olmayacaktır. Bu nedenle, düşman ve dost durumu en iyi şekilde görebilecek ve sağlıklı muhakemeler yapabilecek, kısa zamanda doğru kararlar verebilecek, inisiyatif sahibi komutanlar muharebe sahasını idare edeceklerdir.

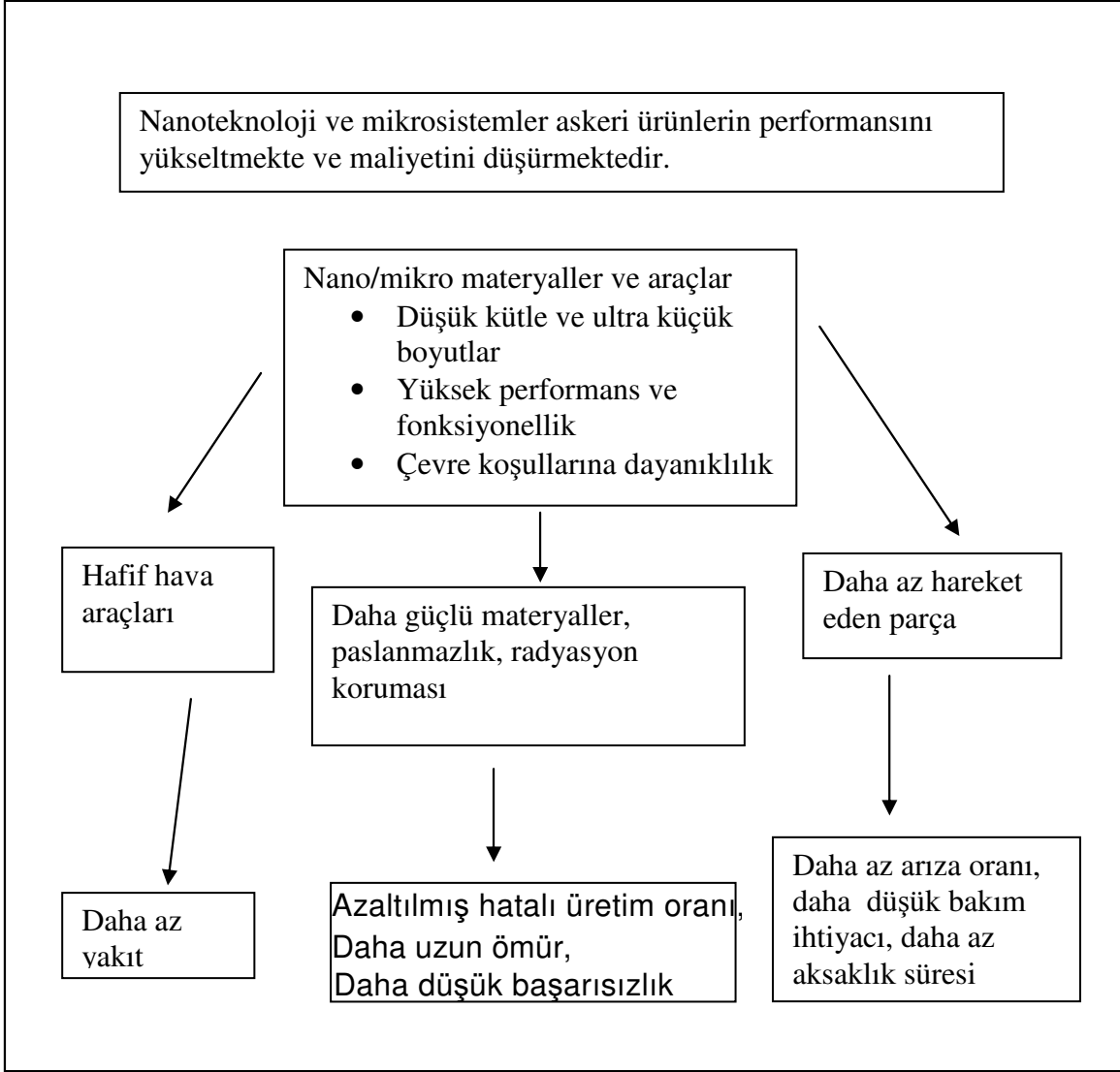
Sonuç olarak; 2020'li yılların muharebe sahasında meydana gelecek en büyük değişiklik boyutlarının genişlemesi olacaktır. Modern muharebe sahasının ve bilgi boyutları da ilave edilecek ve geleceğin bu muharebe ortamında; Kara, Deniz ve Hava gayretlerini müşterek ve eş zamanlı olarak düşmanın ağırlık merkezine yönlendirerek sinerjik taarruz öngörülecek, böylece üç kuvvetin ayrı ayrı elde edebileceği etkiden daha fazla etkinin elde edilmesi hedeflenecektir.

Silah teknolojisindeki gelişmeler; muharebe sahasını daha karmaşık (Komplike) hale getirecektir. Gece ve gündüz farkı ortadan kalkacaktır. Muharebe sahasının tamamı gözetlenebilecek ve kara ateş destek vasıtalarıyla, 10–20 yıl sonra 400–500 km. derinlikteki nokta hedefleri, ateş altına alınabilecektir.

2020'li yılların muharebe sahasında; çok iyi eğitime sahip, dayanıklı, bilgili ve disiplinli insana olan ihtiyaç artacaktır.

2020'li yılların komutanları bilgili, tecrübeli ve eğitilmiş olmasının yanında, sıhhatli muhakeme yapabilen, doğru ve zamanında karar verebilen ve elindeki imkan ve vasıtaları zamanında ve yerinde kullanabilen subaylar olacaktır.

2020'li yılların muharebe sahası bugünden şekillenmeye başlamıştır. Harp için maddi ve manevi hazırlıklarda öne geçen ülkeler, muharebeleri kazanan ve muharebe sahasını yönetenler olacaklardır. 2020'liyılların muharebelerine hazırlanmada geç kalan ülkeler, eğitim, bilgi ve teknoloji sahasındaki geri kalmışlıklarını kapatmakta güçlük çekeceklerdir.



ŞEKİL 7.1 Nanoteknoloji askeri teknolojileri nasıl etkiler (ABD Savunma bürosu, Savunmaya dönük nanoteknoloji araştırmaları ve geliştirmeleri programları, Mayıs, 8, 2006)



## 7.2. Tekstilde Nanoteknoloji ve Askeri Alanda Üniformalara Yansımaları

Nanoteknoloji yeni bir teknoloji devrimi olarak algılanıyor ve bu teknolojinin 2025 yılına kadar gelişme sürecini tamamlayıp hayatın her alanına gireceği tahmin edilmektedir. Önümüzdeki 10 yıl içinde 3 trilyon dolar pazar payına sahip olacağı düşünülen nanoteknoloji, bir çok ülke tarafından kritik ve öncelikli alan olarak desteklenmekte. Bu ülkelerden biri olan İsrail, bu teknolojinin önemini yıllar öncesinden kavramış gerekli altyapılarını ve insan gücünü hazırlamış bulunmaktadır. Bu yatırımlar sonucunda 45 nanoteknoloji şirketi kurulmuş ve katma değeri yüksek ürünlerle nanoteknoloji pazarında yerlerini almış durumdadır.

19. uncu yüzyıl başlarında gelişmeye başlayan tekstil endüstrisi, nanoteknoloji sayesinde yeni bir döneme girmeye hazırlanmaktadır. Tekstilde kullanılan malzemelere nanometre boyutlarında farklı özellikler kazandırılması, çok önemli gelişmelere yol açacak. Örnek olarak, çorap ipliğinin gümüş nanoparçacıkları ile katkılanması, çorap içerisinde bakteri ve mikrop barınmasını engelleyeceğinden, kokması önlenmiş olacaktır. Suyu sevmeyen (iten) kumaşlardan üretilmiş tekstil ürünlerinde kirlenme engellenmiş, dolayısıyla yıkama ve tekrar ütüleme ihtiyacı en aza indirilmiş olacak ve böylece su harcanımı azalacak, hatta belirli bir süre sonra çamaşır makinelerine bile gereksinim kalmayacaktır.

Esnek ve yıkanabilen nanosensörlerin ve aygıtların kumaş içerisine aktarılmasıyla, kullandığımız elbiselerimiz yeni boyutlar kazanacak; elbise artık görececek, duyacak, hissedecek, komut verecek, ve enerji üretecek hale gelecek. Burada vurgulanması gereken önemli bir nokta şudur ki: Nanoaygıtların boyutları o kadar küçük olacak ki, elbiseyi giyene herhangi bir zorluk getirmeyecek. Son zamanlarda yapılan çalışmalarla akıllı elbise üretilmesinde ümit verici sonuçlar elde edilmiş bulunuyor.

ABD'nin Boston şehrinde 2000 yılında hayata geçirilen MIT Askeri Nanoteknoloji Enstitüsü, 15 yıl içerisinde askeri üniformaları nanoteknoloji sayesinde akıllı hale getirmeyi planlamakta. Kimyasal ve biyolojik alanları tespit edebilecek bu akıllı elbise, aynı zamanda kalbi duran askeri masaj yaparak hayata geri döndürebilecek. Savaş meydanında yaralanan askere ait bütün bilgileri kablosuz hatla merkeze bildirebilecek, gerektiğinde kısa süre içerisinde gerekli müdahalenin yapılmasına olanak sağlayacak. Üniforma, gerektiğinde çok sert bir zırha dönüşebileceği gibi, askerin gereksinim duyacağı enerjiyi güneşten sağlayacak. Bazılarını hayal bile edemediğimiz bu araştırmalar, nanoteknoloji sayesinde gerçek olmuş ve savaş meydanlarında askerin hayatını kolaylaştırmaya başlamış bulunuyor.



Şekil 7.2 Günümüz Askeri Üniformasıyla Geleceğin Üniformasının Karşılaştırılması (2005 yılı nato –nanoteknoloji güvenliği araştırma raporu)

Kumaş ipliklerine elektronik ve optik özelliklerin kazandırılması, tekstil endüstrisinde yeni ufuklar açacak ve farklı uygulama alanlarının ortaya çıkmasına yol açacak. Örneğin, kendiliğinden aydınlatma özelliğine sahip bir masa örtüsü, farklı mekanların yaratılmasında bizlere yardımcı olacak. Rengarenk ve devamlı renk değiştiren kostümler, özellikle gençler arasında moda olacak, eğlence merkezlerine farklı bir canlılık kazandıracak.

### 7.2.1. Işığın Gören ve Isıyı Hisseden Akıllı Kumaşlar

Kumaş içerisindeki iplikler, ısıyı hissedebilmeleri ve üzerine düşen ışığı algılayabilmeleri artık mümkündür. Düşman askeri tarafından lazer silahıyla hedeflenmiş bir askere, üniformasının gelmekte olan merminin yönünü haber vermesi, onun hayatını kurtarmasını sağlayabilir. Artık bu fiberler, iplikler, hayal olmaktan çıkmış durumda. Kısa süre önce geliştirilen yeni bir yöntemle kilometrelerce uzunlukta ve kumaş gibi dokunabilen ısı ve ışık sensörleri üretilmeye başlanmış bulunuyor. Yeni bir nanoüretim teknolojisi olarak görülen bu yöntem, makroskopik boyutlardaki aygıtın termal çekme yöntemiyle daha küçük boyutlara indirilmesi prensibine dayanır. Ayrıca çok ucuza mal edilmesi ve esnek olması, kumaşlarda kullanılmasına olanak sağlamakta. Kısa bir süre önce, ısıyı hisseden fiberler, akıllı askeri üniformaların tasarımında kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojinin tekstil endüstrisinde yeni ufuklar açabilecek potansiyele sahip olduğu düşünülmüştür.

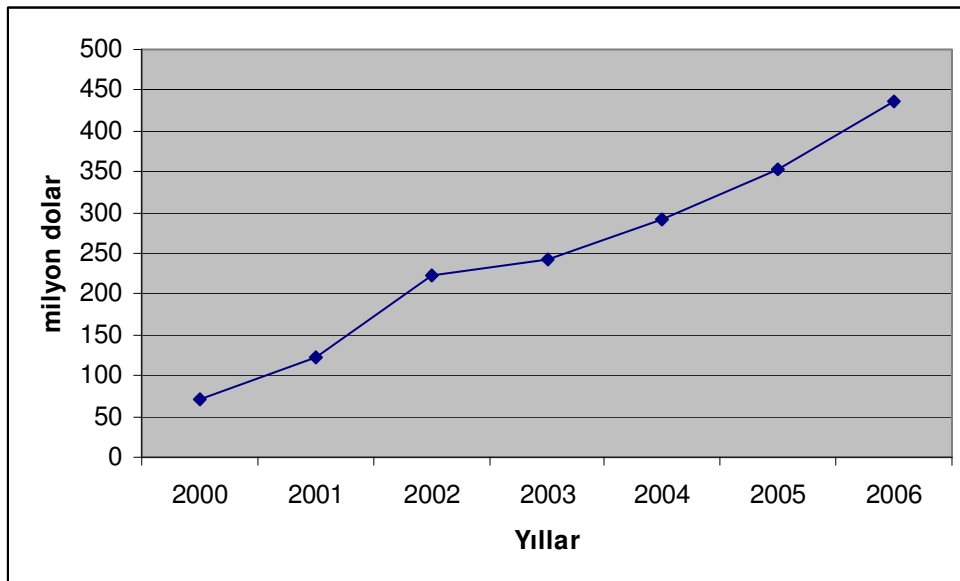
Belirli dalga boyuna sahip ışığı, geliş yönünden bağımsız olarak tümüyle yansıtabilen iplikler, bu yeni yöntemle üretilmektedir. Bu ipliklerle dokunan kumaşlar, zararlı ışıklardan korunmak amacıyla kullanılabilir. Örnek olarak, ipliklerin yansıtma spektrumu 200 nanometre civarında seçilirse, morötesi ışığı yansıtan şapkalar üretmek mümkün. Ayrıca, fiberlerin yansıtma katsayısı altından daha yüksek olduğundan, boya katkı maddesi olarak da kullanılabilir.

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde halen devam eden altyapı tamamlandıktan sonra, ülkemizde katma değeri yüksek tekstil iplikleri üretilmeye başlanacak. Askeri uygulamalarının yanı sıra sağlık endüstrisinde de çok önemli kullanım alanlarının doğacağı beklenmektedir.

### 7.3. Askeri nanoteknoloji

Nanoteknoloji temelli materyaller ve sistemlerin askeri alanda kullanımı için bütün büyük güçler araştırma ve geliştirme için büyük efor sarfetmektedirler.. İsveç hariç asya ve Avrupa ülkeleri ise (İsveç nanoteknoloji savunma programı), savunma amaçlı özel nanoteknoloji araştırmaları yürütmemektedir. Bunun yerine, bir çok nanoteknoloji tabanlı projeyi, geleneksel savunma araştırmaları projeleriyle bütünleştirmektedirler, (ör:malzeme araştırmaları, elektronik aygıtlar araştırmaları, biyokimyasal korunma araştırmaları). Teknolojik üstünlüğünü de kullanarak ABD ordusu nanoteknolojinin askeri amaçlı kullanımında gelecekte de 1 numara olmak istemektedir.

Tablo 7.1 ABD'nin Nanoteknoloji Araştırmalarına Ayırdığı Bütçe (2005 yılı nato – nanoteknoloji güvenliği araştırma raporu)



Teklif edilen ve halen sürdürülen askeri nanoteknoloji programları, mevcut sistem ve malzemeleri geliştirmekten yenilerinin üretmesine kadar olan büyük bir yelpazeyi kapsamaktadır. Başlıca araştırma alanları patlayıcılar (içerikleri ve kimyasal kopozisyonları); biyoloji ve tıp(yaraların iyileştirilmesi ve performansın arttırılması); biyolojik ve kimyasal algılayıcılar; bilgi akışı ve bilgisayarlar için elektronik; enerji üretimi ve saklanması; kara, hava ve deniz araçları için yapısal malzemeler; kaplamalar; filtreler; ve fabrikalar.

1990ların ortalarında ABD savunma departmanı (DoD) nanoteknolojiyi altı “stratejik araştırma alanından biri olarak açıkladı (diğerleri ; biyomühendislik, insan performansını geliştirme, çok fonksiyonlu malzemeler, enformasyon kontrolü, enerji ve itiş bilimi ). DoD nanoteknoloji programını 7 temel araştırma bileşeni olarak grupladı.

- Temel nanoölçek fenomeni ve prosesler
- Nanomalzemeler
- Nano aygıtlar ve sistemler
- Belgeleme araştırmaları, metroloji ve nanoteknoloji standartlar
- Nanoüretim
- Araştırma kolaylıkları ve yazılı belgelere ulaşım

DoD'nin nanoteknoloji yatırımlarının hemen hemen yarısı DARPA'ya (İleri Savunma Araştırma Projeleri Bürosu) gider DARPA'nın dışında buradan pay alan diğer araştırma kurumları; Deniz Kuvvetleri Araştırma Labratuvarı (NRL), Kara Kuvvetleri Araştırma Labratuvarı (ARL), Hava Kuvvetleri Bilimsel Araştırma Ofisi Ve Masaçuçes Teknoloji enstitüsü (MIT)'nün Askeri Nanoteknolojiler Enstitüsüdür (ISN). Buna ek olarak, Dod Üniversitelere yönelik olarak Savunma konulu nanoteknoloji Araştırmaları projesi (DURINT) yürütmektedir.

Dod'nin dolarlarının birçoğu temel araştırmalara ve mühendislik faaliyetlerine harcanmaktadır. Şu ana kadar yapılan çalışmalar özellikle şu konular hakkında olmuştur., bu tip maddelerin zararlılık ihtimali, özellikle insan ve çevre üzerindeki etkileri, tabii ki sadece askeri kullanımları değil sivil amaçlı kullanımlar da göz önünde bulundurulur.

Nanoteknoloji uygulamalarının geliştirilmesinde çok aktif olmasına rağmen ABD ordusu bu araştırmaların yarattığı riskleri engelleme konusunda genelde pasif kalmıştır. Bir ordu dokümanında belirtildiği şekilde (Army Foresight dergisi ekim 2005 sayısı;ABD ordusu

çevre ilkeleri enstitüsü yayınları) “Nanoteknoloji araştırmalarında çok önemli olan anahtar hususlardan bir tanesi de ister asker ister sivil olsun çalışanları nanoteknoloji proseslerinin ve malzemelerinin beklenmeyen sonuçlarından korumaktır. ABD ordusu tüm araştırma ve geliştirme firmalarının ,mühendislik ve nano teknoloji uygulamaları esnasında, çevreye,güvenliğe ve insan sağlığına karşı duyarlı olması hususunda aktif bir role sahiptir ” bu şekilde yazılmış olsa da şu ana kadar belirtildiği gibi bir “aktif rol” henüz gerçekteşmemiştir.



şekil 7.3 2020li yılların beklenen üniforması (2005 yılı nato –nanoteknoloji güvenliği araştırma raporu)

Geleceğin savaşçısı 2025 yılının konsept askeri, balistik koruma, muhabere ve komuta kontrol sistemleri, NBC koruması, ekipmanlar için güç kaynağı, iklim kontrol cihazı, dayanıklılık arttırıcı ve psikolojik görüntüleme sistemi mevcuttur. Halen bu üç katlı üniformayla bütünleşik kask sistemi ABD ordusu ve Masaçuses teknoloji enstitüsü (MIT) tarafından geliştirilme aşamasındadır.

Bir ABD ordusu araştırma ofisi yetkilisinin açıklaması şu şekildedir: “DoD’nin yapmak istediği, sağlık ve güvenlik meseleleri nanoteknolojiyi kuşatırken ,gelecekte de nanoteknoloji temelli uygulamalarla askerlerin güvenliğini sağlamaktır. Bunun için uygulanacak ilk strateji dünya çapında sağlık kuruluşlarının yardımıyla potansiyel sağlık risklerini tanımak ve hem savaşçılar hem de savunma ürün geliştiricileri için optimal ve uygun güvenlik kriterlerini belirlemektir.

#### **7.4. Nanoteknolojinin askeri alandaki riskleri**

Bazı askeri kaynaklı araştırmalar günlük yaşantı için olumlu etkilere sahiptir. (ör:Daha kuvvetli ve uzun ömürlü piller, kirleticileri tespit eden biyolojik ve kimyasal sensörler nanoölçekteki kirleticileri ve toksinleri yok eden filtreler, akıllı fabrikalar). Diğer araştırmalar da en azından üretim safhasında, nanomalzemelerin kullanımı kadar risk taşımazlar. Nano malzemelerin kullanıldıkları alan yüzünden çevre ve doğayı etkileyebilme ihtimalleri oldukça büyüktür.

Askeri aktiviteler genelde patlamalarla sonuçlanır.. İleri teknoloji ürünü silahlar tarafından yapılan patlamalar nano partiküllerin ortaya çıkmasına sebep olur. (uranyumlu silahlarda olduğu gibi )Silah sistemlerinde ve zırhlarda oldukça fazla miktarda nanoteknolojik partiküller mevcuttur. (ör: zırh kaplamaları çevreye büyük oranda parçacıklar saçarlar özellikle bir silahın etkisine maruz kaldıklarında).

Nanoteknolojik detektörlerin yaygın olarak kullanımı, özellikle toprağa yaydığı nanopartiküller aracılığıyla , çevreye ciddi etkilerde bulunmaktadır.

Sorulması gereken soru askeri nanoteknolojinin ne kadar daha ilerleyeceğidir(Bir askeri güç yeni bir teknoloji geliştirdiğinde diğerleri etkili bir şekilde savunamamaktadır.) ve biyolojik silahlar antlaşmasında olduğu gibi. Bir NATO grubu çalışmasında şu şekilde belirtmektedir: “Kimyasal ve biyolojik silahlar alanında nanoteknoloji temelli yenilikler toksiklerin ve ajanların yayılma mekanizmalarını çok güçlü bir şekilde arttırabildiğinden endişe uyandırmaktadır.Nano partiküllerin insan vücudunu ve hücrelerini etkileme kabiliyeti biyolojik ve kimyasal savaşları yapılması, sevk ve idare edilmesi daha kolay hale getirmiştir.

#### **7.5.Mevcut ve Yakın Gelecekte Yapılması Planlanan Askeri Nanoteknoloji Projeleri**

Bu bölümde mevcut ve yakın gelecekte yapılması planan bazı nanoteknoloji projeleri sıralanacaktır (bugünden 2010a kadar).

- Detektörler için kuantum noktacıları (NRL)

- Polymer nanokompozit içeren geliştirilmiş kaplamalar(DARPA )
- Yüksek enerjili mühimmatlar için nanokompozitler ve nanopartiküller (ARL)
- Biyomoleküler motorlar (DARPA)
- Biyolojik ve kimyasal sensörler için polimeri ve nanoyapılı malzemeler (NRL)
- Silah ve teçhizatlar için nanometaller (ARL)
- Enerjiyi absorbe eden nanomalzemeler (ISN)
- Kontrolü yapışkanlar için nanoyapılı manyetik materyaller(DARPA)
- Kendi kendini dekontamine eden(Kimyasal etkilerden temizleyen) yüzeyler (DARPA)
- Naoelektronik için nanokablolar ve karbon nanotüpler (NRL)
- Görme , duyma ve vücuttaki diğer motor prosesleri uygulayacak nöral elektronik arayüzler(DARPA, NRL)
- Nanokümele temelli altın sensörleri (NRL)
- Yüksek dayanıklılık ve esneklikte karbon fiber üretimi (DARPA)
- Geleceğin askerinin üniformasının bir parçası olacak kıyafet ve vücut zırhında enerjiyi absorbe edecek nano malzemeler (ISN)

## **7.6. Nanoteknolojinin Askeri Alanda Kullanımının Olası Faydaları**

Nanoteknolojinin askeri alanda kullanımıyla beraber tüm araç, silah ve donatımların işletilebilirliğinde büyük artışların meydana gelmesi beklenmektedir. Kara, deniz ve hava araçlarının hızlarının, manevra kabiliyetlerinin menzillerinin ve yakıt ekonomilerinin daha iyi seviyeye geleceği değerlendirilmektedir. Tüm bunların olabilmesi için hali hazırda mevcut ve planlanan nanoteknolojilerin başında hafif nanokompozit yapılar gelmektedir. Özellikle hava araçlarında menzili ve yakıt ekonomisini çok önemli ölçüde etkilemektedir. Diğer bir teknoloji de minyatür aygıtlardır, bu aygıtlar manevra kabiliyetini arttırmaktadırlar. Gene hava araçları için azaltılmış sürtünme sağlayan ve kendi kendine şekil değiştiren nanokaplamalar, yeni tahrik(itme gücü) materyalleri ve sistemleri ön plana çıkan uygulama alanlarıdır.

Kullanılan bu teknolojiler araç ve silahların esnekliklerini de büyük oranda arttırmış ve modüler araç tasarımı için platformlar ve güncelleme desteği öngörmüş ayrıca her türlü iklim ve arazi şartında en az bakım desteğiyle uzun süre kullanılabilEcek daha uzun ömürlü materyaller ve sistemlerin yapılmasına olanak vermiştir.

Birliklerin muharebe sahasında hayatta kalma imkan ve kabiliyetlerini arttırmaları için, nanoteknolojiler kullanılarak daha düşük sinyal yayan hayalet materyaller ve sistemler,

hasar ve arıza durumlarını görüntüleyebilmek için sensör ağları ve arızalanan parçanın otomatik tespit edilip ilgili bakım kademesinde isteğinin yapılması, kötü hava şartlarında seyir ve kontrol için sensörler ve sistemler kullanılmakta ve bu sayede kara, hava ve deniz kuvvetlerinin bekası arttırılmaktadır.

Şu anda uygulaması olmayıp üzerinde çalışılan başka bir nanoteknoloji kullanımı ise ses duyarlı olarak ve ilerleyen aşamalarda göz hareketi baş hareketi ve nihayetinde düşünceyle uçuşu başarabilmektir.

Bakım, muharebe sahasındaki araç ve silahların ağır koşullar altında dahi görevlerini uygun şekilde yapabilmelerini sağlar.Nanoteknolojinin harp silah araçlarında sağladığı ve sağlayacağı en önemli bakım kolaylıkları gelişmiş boya ve kaplama sistemleriyle beraber kullanılan arıza yönetim sistemleridir. Ayrıca nanoteknolojiden faydalanılarak hidrolik sistemlerin yerine geliştirilen optik ve elektrikli sistemlerin arıza oranlarını önemli ölçüde azaltmaktadırlar.

#### **7.6.1.Hafif Silahlar ve Ekipmanlar**

Hafif piyade silahlarında öldürücülük konusunda düşünülen gelişmelerin amacı daha küçük ve hafif silahlar üretilmesi ve mermi ilk hızlarının arttırılmasıdır.Bu amaçla uygulanan nanoteknoloji araştırmalarında havada ve namlu içindeki aşınması azaltılmış yüksek dayanıklılıkta , hafif yapısal materyaller kullanılmıştır.Ayrıca mühimmata daha güçlü enerji sağlayan maddelerin kullanılması sağlanmıştır. Piyadenin en önemli gereksinimlerinden birisi de çevresel tehlikeleri algılama gerekliliğidir. Özellikle askerin çevresindeki canlıları ısı özelliklerinden fark eden ve konumu hakkında personeli uyaran nanoaygıtlar bu konuda yardımcı olmaktadır.Tasarlanan silahlarda kullanılan mühimmatlar kendi etkilerini kontrol edebilmekte ve öldürücülüklerini ayarlayabilmektedirler.Kontrol edilebilir ihtarlık tapalar ile mühimmatın patlama mesafesi ayarlanabilmekte ve buna göre etkisi arttırılıp azaltılabilmektedir.

Sadece muharebe esnasında değil barış şartlarında da nanoteknoloji sayesinde depolama ve nakliyat esnasında çevre koşullarından (ısı, nem vb.) daha az etkilenen maddeler kullanılarak kaza ihtimali azaltılmaktadır.Bu aynı zamanda birliklerin hayatta kalma kabiliyetini de arttırmaktadır.

Silahların hedef vurma kabiliyetinin arttırılması konusunda ise nanochipler kullanılarak daha az zamanda daha fazla bilgiyi işleyebilecek bilgisayarlar ve elektronik sistemler eklenmektedir. Hedefi vurmaya kadar hedefi seçmek de çok önemlidir. Bundan dolayı akıllı görüntüleme sensörleri kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Mermi yollarına etki



eden en önemli bir faktör de hava durumudur. Bu konuda eskiden sadece basit olarak bulunan termometrelerin ve rüzgar algılayıcıların yerine gelişmiş çevre sensörleri kullanılmaktadır.

### **7.6.2. Komuta ve Kontrol Sistemleri**

Stratejik, operatif ve taktik seviyede manevra kontrol, ateş destek, hava savunma, istihbarat ve muharebe hizmet desteği fonksiyon sahalardaki tüm faaliyetleri destekleyebilecek nitelikte mahalli ve geniş alan şebekelerinden meydana gelen bir sistem yapısı içerisinde olacağı ve mesaj işlem, kelime işlem, grafik ve sayısal harita işlemleri, ofis otomasyonu, elektronik posta, veri tabanı ve ağ yönetimi işlemlerini yapabilecek, kendi birliklerimizden ve muhtelif sensörlerden gelen; konum, istihbarat ve atış kontrol bilgilerini işleyerek ve gerçek zamanlı olarak taktik resmi oluşturabilecek sistemlerdir.

Aynı şekilde Muharebe Hizmet Destek Birliklerinin sahradaki ikmal faaliyetlerini destekleyebilecek bir Lojistik Bilgi Sistemini ihtiva edeceği, komutanların karar verme sürecine yardımcı olacak yapay zeka yazılımlarına sahip olacağı değerlendirilmektedir.

Taktik resmi oluşturmak için kullanılan düşük maliyetli aygıtlar ve sistemler, komuta kontrol sistemlerini daha ekonomik yapmaktadırlar. Ayrıca nanoteknoloji, komuta kontrol sistemlerini oluşturan bilgisayarlar, elektronik sistemler, görüntüleme sistemleri, kablosuz teknolojiler konusunda etkin olarak kullanılmaktadır. Komuta kontrol anlayışına yeni bir boyut kazandıran insansız araçlar ve robotlarda da bilindiği üzere nanoteknoloji etkin olarak kullanılmaktadır.

Komuta kontrolün omurgasına oluşturan radyo dalgalarıyla haberleşmenin en hassas tarafı düşman tarafından dinlenip veya tespit edilip açığa çıkarılmasıdır. Bu konudaki kriptolama tekniklerinde de nanoteknoloji kullanılmaktadır.

Komuta kontrol sisteminin diğer bir ayağı olan, bilgi sağlamaya yarayan gerçek zamanlı sensörlerin teknolojisinde de nanoteknolojiden etkin olarak faydalanılmaktadır. Bunların başlıcaları kimyasal ve biyolojik taaruzları erken ikaz edebilen yüksek duyarlılıkta NBC sensörleri, ses yayan hedefler için akustik sensörler, minyatür kameralar, gelişmiş ve daha küçük gece görüş aygıtları için elektro optik sensörlerdir

### **7.6.3. Savaşan Asker**

Geleceğin muharebe sahasında her ne kadar teknoloji çok önemli bir yer tutacak olsa da personel her zaman en önemli yerde olacaktır. Personelin savaşabilmesi ve hayatta kalabilmesi için en önemli faktörler hareket kabiliyeti, hayatta kalma kabiliyeti (beka),

görünmezlik (fark edilmeme), savaşma kabiliyeti ve öldürücülüktür. Bu faktörlerin hepsinde nanoteknoloji kullanımı etkili olmuştur.

Hareket kabiliyeti konusunda hafif multifonksiyonel materyaller ve sistemlerin kullanımı ve entegre veri aktarım üniteleri geliştirilmiştir. Personelin muharebe sahasında kolayca hareket edebilmesi, kıpırdamadan uzun süre kalabilmesi için üstüne tam oturan üniformalar üretilmiştir. Düşman derinliklerinde icra edilen harekatta emare teşkil eden dışkıların nanoteknoloji sayesinde yok edilmesi sağlanmaktadır.

Muharebe kıyafeti yani üniformalarda nanoaygıtların kullanılmasıyla çok fonksiyonlu üniformalar üretilmiş ve ağır çelik yelekler kullanmadan hafif bir şekilde balistik koruma sağlanmıştır. Nanoaygıtlar üniformalara yerleştirilerek düşmanın nükleer, biyolojik, kimyasal korunma kabiliyeti oluşturulmuştur. Harekatın uzun sürdüğü durumlarda yaşanan mevsim değişikliklerinden oluşan yazlık-kışık üniforma ikmali söz konusu olmaktadır. Bu ikmalin yerine nanoaygıtlar kullanılarak personel ısı farklarına karşı korunmaktadır. Bunu sağlayan nanoaygıtların bir araya gelmesiyle oluşan mikro ısıtma ve soğutma sistemleridir. Aynı sistemler nem oranını ayarlayabilmekte ve askerin en rahat hareket ettiği nemlilik durumunu oluşturmaktadır.

Muharebe sahasında baskın etkisi yaratabilmek için birliklerin fark edilmemesi büyük önem taşır. Klasik anlayışta fark edilmemeyi sağlamak için fert seviyesinde personel kamuflaj, örtü ve gizlemelerden yararlanma, gece ve sınırlı görüş koşullarında harekatın icrası yöntemlerini uygular. Nano teknolojinin görünmezlik (fark edilmezlik) alanında uygulanmasıyla personel aktif kamuflaj imkanı bulur. Üniformalar ortamdaki rengi algılayarak kendilerini ortama uydurabilirler.

Çok spektrumlu görüş sistemleri personelin gece ve sınırlı görüş şartları altında muharebeye devam edebilmesini sağlar. Nanoaygıtlardan oluşan ses algılama sistemleri askerin etrafını daha iyi anlamasını ve muhtemel bir tehlikeyi önceden fark etmesini sağlar.

Tüm bunlar askerin savaşma kabiliyetini yükselten etkenlerdir.

Hedefine ulaşan askerin ölümcüllüğünün yüksek olabilmesi için hedefe göre ayarlanabilen modüler silah ve lazer sistemleri, bunlara paralel olarak gelişmiş görüş sistemleri mevcut hale gelmiştir.

## 8.SONUÇLAR

Bir yarıiletken olan Si kristalinin tümleşik devre üretiminde kullanılması mikroelektronik teknolojisinde çığır açan gelişmelere yol açmıştır. 1940'lı yıllarda başlayan bu süreç, günümüzde milyonlarca elektronik aygıtı barındıran karmaşık işlemcilerin aynı yonga üzerine üretilebildiği üretim düzeyine ulaşmıştır. Önümüzdeki 10-15 yıl içerisinde silikon teknolojisinin son sınırlarına dayanması beklenmektedir. Silikon teknolojisinde Türkiye yeterli atılımı gösterememiştir. Bu durumda "silikon sonrası" teknolojilerin ne olacağı, nasıl şekilleneceği ve silikon teknolojisinin sadece kullanıcısı durumunda bulunan ülkemizin hangi yeni teknolojilerin gelişmesinde rol olabileceği önem kazanmaktadır.

Nanoteknolojinin önemi, atomlar ve moleküller seviyesinde (1 ila 100 nanometre (nm) skalasında) çalışarak, gelişmiş ve/veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklere sahip yapılar elde edilmesine imkan sağlamasından kaynaklanmaktadır. Nanomalzemeler boyutlarından dolayı, elektronik, fotonik, manyetik, reolojik, yapısal ve mekanik niteliklerinde olumlu yönde farklılık gösterirler. Bu farklılığın nedenleri ise, yüksek yüzey-hacim oranları, hacimsel davranışlar ortaya çıkmadan sınırlı sayıda atom ya da molekül arasındaki kooperatif fenomenler ve nano-boyutlu yapılarda ortaya çıkan kuantum etkileridir. Benzer şekilde, nanoölçeklerde atomlararası bağ yapısı da değişikliğe uğrayabilmekte; mekanik olarak malzeme güçlenirken ya da zayıflarken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tümüyle değişebilmektedir

Nanoteknoloji temelli materyaller ve sistemlerin askeri alanda kullanımı için bütün büyük güçler araştırma ve geliştirme için büyük efor sarfetmektedirler.. İsveç hariç asya ve avrupa ülkeleri ise (İsveç nanoteknoloji savunma programı), savunma amaçlı özel nanoteknoloji araştırmaları yürütmemektedir. Bunun yerine, bir çok nanoteknoloji tabanlı projeyi, geleneksel savunma araştırmaları projeleriyle bütünleştirmektedirler, (ör:malzeme araştırmaları, elektronik aygıtlar araştırmaları, biyokimyasal korunma araştırmaları). Teknolojik üstünlüğünü de kullanarak ABD ordusu nanoteknolojinin askeri amaçlı kullanımında gelecekte de 1 numara olmak istemektedir.

Nanoteknolojinin ülkemizde geliştirilmesi için ihtiyaç duyulan insan altyapısı vardır. Bazı temel araştırmaları yürütecek teknik altyapı ve deneyim de mevcuttur. Bu alanlarda Türkiye'nin özgün teknoloji üreten bir ülke olması; özellikle uluslararası dev elektronik firmaların rekabet edemeyeceği özgün teknolojilere yönelerek varlığını uluslararası düzeyde sürdürebilmesi olasıdır.

Nanoteknoloji de her ne kadar yeni bir alan olsa da askeri alanda kullanılmaya başlamış ve dünya orduları bu alanda da bilim ve teknolojinin tetikleyicilerinden olmuştur.

Askeri malzemelerde nanoteknolojinin nimetlerinden hızla yararlanılmaya başlanmış ve muharebe ortamı gitgide daha karmaşık bir hal almıştır. Nanoteknoloji temelli materyaller ve sistemlerin askeri alanda kullanımı için bütün büyük güçler araştırma ve geliştirme için büyük efor sarfetmektedirler.. İsveç hariç asya ve avrupa ülkeleri ise (İsveç nanoteknoloji savunma programı), savunma amaçlı özel nanoteknoloji araştırmaları yürütmemektedir. Bunun yerine, bir çok nanoteknoloji tabanlı projeyi, geleneksel savunma araştırmaları projeleriyle bütünleştirmektedirler, (ör:malzeme araştırmaları, elektronik aygıtlar araştırmaları, biyokimyasal korunma araştırmaları). Teknolojik üstünlüğünü de kullanarak ABD ordusu nanoteknolojinin askeri amaçlı kullanımında gelecekte de 1 numara olmak istemektedir. Askeri malzemelerde nanoteknoloji kullanımı ile ilgili ülkemizde henüz bir çalışma yapılmamıştır. Sadece İkmal maliye okul komutanlığınca askeri üniformalarda nanoteknoloji kullanımı ile ilgili bir sunu arz edilmiştir. Bu araştırmada nanoteknolojiyle ilgili literatür araştırması yapılmış ve muharebe sahasının gelecekte beklenen gelişmeleri göz önüne alınarak, hali hazırda mevcut askeri alandaki nanoteknolojik uygulamalar ve muhtemel uygulamalar göz önüne serilmiştir

2020'li yılların muharebe sahası bugünden şekillenmeye başlamıştır. Harp için maddi ve manevi hazırlıklarda öne geçen ülkeler, muharebeleri kazanan ve muharebe sahasını yönetenler olacaklardır. 2020'li yılların muharebelerine hazırlanmada geç kalan ülkeler, eğitim, bilgi ve teknoloji sahasındaki geri kalmışlıklarını kapatmakta güçlük çekeceklerdir

## KAYNAKLAR

**A. B. Dalton**, et al., Nature, 2003, V.423, s703

ABD Savunma bürosu, Savunmaya dönük nanoteknoloji araştırmaları ve geliştirmeleri programları, Mayıs, 8, 2006

**A.R. Parker, R.C. McPhedran, L.C. Botten ve N.A. Nicorovici**, Aphrodite's iridescence, Nature, 4 Ocak 2001.

**KAYA, M.** “ Nano-Ölçek Dünyası ”. Termodinamik, Ekim 2005

MIT ,Askeri nanoteknoloji enstitüsü(ISN)

2005 yılı nato –nanoteknoloji güvenliği araştırma raporuBu bilgiler DoD ‘nin vebsitesinde yayınlanan bilgilerden derlenmiştir

**Prof. Dr. Selim Çıracı**, Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

**P.Vukusic ve J.R. Sambles**, Photonic structures in biology, Nature, 14 Ağustos 2004.

Yar. Doç. Dr. İhsan Gürsel, Bilkent Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, (UNAM) Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

**Yar. Doç. Dr. İhsan Gürsel**, Bilkent Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, (UNAM) Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

<http://www.turkstudent.net/content/article/3776>

<http://www.kimyaevi.org/dokgoster.asp?dosya=570001005#na0202>

[www.nano.org.tr](http://www.nano.org.tr)

<http://www.bydigi.com/fizik/20330-nanoteknoli-dunyasi-100-yilin-en-ii-buluslarindan.html>

[http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji\\_stratejimiz.pdf](http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji_stratejimiz.pdf)

Engin Durgun, Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü (Görüşme)

## **ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 24.03.1980  
Doğum yeri Ankara  
Lise 1995-1999 Kuleli Askeri Lisesi  
Lisans 1999-2003 Kara Harp Okulu  
Sistem Mühendisliği Bölümü

## **Çalıştığı kurumlar**

2003-2007 95nci Zırhlı Tugay 1nci Tank Taburu Malkara /TEKİRDAĞ