



NANOBİLİM ve NANOTEKNOLOJİ STRATEJİLERİ

**VİZYON 2023 PROJESİ
NANOTEKNOLOJİ STRATEJİ GRUBU**

**Ağustos 2004
ANKARA**

Nanoteknoloji Strateji Grubu Üyeleri

Koordinatör:

Prof.Dr. Salim Çıracı

Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

Raportör:

Dr. Oğuz Gülseren

Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

Üyeler:

Prof.Dr.Engin Akkaya

ODTÜ, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

Prof.Dr. Sahir Arıkan

ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Prof.Dr. Ömer Dağ

Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü

Prof.Dr. Şakir Erkoç

ODTÜ, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

Prof.Dr. Tuğrul Hakioglu

Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

Prof.Dr. Ahmet Oral

Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

Prof.Dr. Ekmel Özbay

Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

Prof.Dr. Macit Özenbaş

ODTÜ, Mühendislik Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü

Prof.Dr. Mehmet Öztürk

Bilkent Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik ABD

Prof.Dr. Erhan Pişkin

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Müh. Bölümü

Prof.Dr. Raşit Turan

ODTÜ, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

İçindekiler

1.	Nanobilim ve Nanoteknolojinin Stratejik Önemi.....	4
2.	Önerilen Bilim ve Teknoloji Politikaları.....	6
3.	Nanofotonik, Nanoelektronik, Nanomanyetizma.....	7
4.	Nanomalzeme.....	9
5.	Yakıt Hücreleri ve Enerji.....	10
6.	Nanokarakterizasyon.....	12
7.	Nanofabrikasyon.....	13
8.	Nano Ölçekte Kuantum Bilgi İşleme.....	14
9.	Nano-Biyoteknoloji.....	16

Ekler

- Ek 1: Nanofotonik, Nanoelektronik, Nanomanyetizma Yol Haritası
- Ek 2: Nanomalzeme Yol Haritası
- Ek 3: Yakıt Hücreleri ve Enerji Yol Haritası
- Ek 4: Nanokarakterizasyon Yol Haritası
- Ek 5: Nanofabrikasyon Yol Haritası
- Ek 6: Nano Ölçekte Kuantum Bilgi İşleme Yol Haritası
- Ek 7: Nano-Biyoteknoloji Yol Haritası

1. NANOBİLİM ve NANOTEKNOLOJİNİN STRATEJİK ÖNEMİ

Nano kelime anlamı ile herhangi bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir. Nanoyapılar uzunluk olarak bakıldığında yaklaşık 10-100 atomluk sistemlere (10^{-9} metre) karşılık gelmektedirler. Bu boyutlarda sistemlerin fiziksel davranışlarında normal sistemlere kıyasla farklı özellikler gözlemlenmektedir. Nanobilim ve nanoteknoloji olarak nitelendirilen bu farklılıklar yaklaşık 10 seneden beri dünya ülkelerinin sivil-askeri bilim ve teknoloji stratejilerini belirler hale gelmiştir.

Nano-ölçek seviyesinde malzemelerin özellikleri makroskopik ölçekten tamamen farklı olup nano-ölçeğe yaklaştıkça 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 davranışlar klasik değil kuantum olarak tanımlanmaktadır. Şimdi maddeyi nanometre seviyesinde işleyerek ve ortaya çıkan değişik özellikleri kullanarak, yeni teknolojik nano-ölçekte aygıtlar ve malzemeler yapmak mümkün olmuştur. Örneğin, tarama tünelleme ve atomik kuvvet mikroskoplarını kullanarak yüzey üzerinde atomları iterek birbirlerinden ayırmak ve istenilen şekilde dizmek mümkündür. Bütün bu gelişmeler, 19. yüzyılda dünyayı yeniden şekillendiren sanayi devrimine eşdeğer bir bilimsel ve teknolojik devrim başlatmıştır. Bu şekilde atom ve moleküller ile oynayarak tek molekülden oluşan transistör ve elektronik aygıtlar gerçekleştirilmiştir ve dünyada birçok grubun aktif çalışmaları ile geliştirilmektedir. Bütün bu çalışmalar ve gelişmeler elektronik, kimya, fizik, malzeme bilimi, uzay ve hatta sağlık bilimlerini bir ortak arakesitte buluşturmuştur.

Önümüzdeki birkaç on yıl içerisinde nanoteknoloji sayesinde süperkompüterlere mikroskop altında bakılabilecek, insan vücudunun içinde hastalıklı dokuyu bulup iyileştiren, ameliyat yapan nanorobotlar bulunabilecek, insan beyninin kapasitesi ek nanohafızalarla güçlendirilebilecek, kirliliği önleyen nanoparçacıklar sayesinde fabrikalar çevreyi çok daha az kirletecektir. Ulusal güvenliği ilgilendiren konularda nano malzeme bilimi, yeni savunma sistemlerinin geliştirilmesinde, haberalma / gizlilik konularına yönelik çok küçük boyutlarda aygıtların yapılmasında kullanılacaktır. Birim ağırlık başına şu andakinden 50 kat daha hafif ve çok daha dayanıklı malzemeler üretilebilecek ve bunların sonucu olarak insanın günlük yaşamında kullandığı tekstil ürünleri gibi ürünler değişebileceği gibi, uzay araştırmalarında ve havacılıkta yeni roket ve uçak tasarımlarının ortaya çıkması mümkün olacaktır.

Nanobilim ve nanoteknolojinin odak noktaları, düşük boyutlarda baskın hale geçen boyut, sınır ve kuantum etkileri gibi temel fizik araştırması içeren konuların yanında, atomik boyutlarda görüntüleme deneysel yöntemlerin geliştirilmesi, Angstrom altı (10^{-10} metreden küçük) boyutlarda ölçüm yapabilme teknikleri, düşük boyutlarda eş tip malzeme üretebilme, malzeme yapısını atomik boyutlarda kontrol edebilme, 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 Japonya’daki 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 yakalanabileceği en son fırsat olmaktadır. Bu fırsatın yakalanabilmesi ancak, ulusal boyutta uzman kadronun güçlendirilmesi, eğitim ve nesilden nesile aktarılacak teknoloji birikiminin önünün 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

örneği uluslararası dev nanoteknoloji ürünü çıkarabilen bir ülke konumuna gelecektir. Bunun ülke refahına ve ekonomik gücüne, yaşıyan halkının kendisi ve dünya ile daha bütünleşik olarak yaşamasına büyük katkısı olacaktır.

Ülkemiz, çağımızın insan yaşamını birkaç onyıl içinde büyük ölçekte 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. Çerçeve Programı için hazırlanan bir raporda Avrupa'da ulusal bir nanoteknoloji planı bulunmayan ülkelerin sadece MALTA ve TÜRKİYE olduğu belirtilmiştir (bkz: "AB aday ülkelerinde nanoteknoloji raporu",

<http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/publication.htm> veya

<http://www.nanoforum.org/dateien/temp/Nanotechnology%20in%20the%20Candidate%20Countries.pdf?12082003150227>)

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 alsa 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.

2. ÖNERİLEN BİLİM ve TEKNOLOJİ POLİTİKALARI

1) 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 kütleye 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.

2) Üniversitelerin, küçük, orta ve büyük ölçekli sanayinin araştırma alt yapısının oluşturulması, yasal düzenlemelerle geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gerekir.

3) Araştırma merkezlerinin artırılmalı ve yaygınlaştırılmalı, sanayi tarafından yapılan veya yönlendirilen araştırmalar teşvik edilmeli ve desteklenmelidir.

4) 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 atılmayacak 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

özendirmek 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.

3. NANOFOTONİK, NANOELEKTRONİK, NANOMANYETİZMA

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 diğeri bir IV. grup yarıiletkeni germanyum, sahip oldukları indirek band aralığı nedeni ile etkili ışıma göstermezler ve fotonik uygulamalar için uygun değillerdir. 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 bağılı olarak değışen ışık yayabilen etkili merkezler oluşturmaktadır. Görünür bölgede ışıma yapan yarıiletken nanokristaller elektroniğın dışında da uygulama alanları bulmaktadır. II-VI grubu bileşik yarıiletkenlerinden (CdS, CdSe, CdTe) oluşun nanokristaller boyutlarına bağılı olarak farklı renklerde ışıma yapabilmektedir ve bu özellik canlı hücrelerin işaretilenmesinde, 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 edemeyeceğı özgün teknolojilere yönelerek varlığını uluslararası düzeyde sürdürebilmesi olasıdır. Bu alanda öncelikle AR-GE ve arkasından KOBİ oluşumu için yatırım gerekmektedir. Bu alanlardaki somut hedefler aşağıda sıralanmıştır.

Temel Araştırma Hedefleri

HEDEF 1: Yarıiletkenlerden (grup IV ve II-VI yarıiletkenleri) oluşun nanoyapıların üretim süreçlerinin anlaşılması. Bu süreçler hakkında fizik, kimya, biyoloji, elektronik ve diğeri ilgili alanları kapsayan çok disiplinli araştırma programlarının geliştirilmesi. Üretilen nanoyapıların ölçülmesi ve analiz edilebilmesi için yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesi (2007).

HEDEF 2: Nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtların fiziğinin anlaşılması ve araştırılması. Yeni açılımların tespit edilmesi ve öngörülmesi (2010).

HEDEF 3: Elektronik, fotonik ve spintronik uygulamalara yönelik nanoyapıların çeşitlenmesi, çok boyutlu hale getirilmesi, ve boyutlarının küçültülerek moleküler düzeydeki davranışlarının incelenmesi (2013).

HEDEF 4: Nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtların bir arada tümleşik olarak üretilmesine yönelik bilimsel altyapının araştırılması (2014).

Uygulamalı ve Sınai Araştırma Hedefleri

HEDEF 1: Nanoyapılar içeren Light Emitting Diode (LED), lazer ve detektör prototipinin üretilmesi ve üretim metodolojisinin geliştirilmesi (2008).

HEDEF 2: Nanoyapılar içeren tümleşik devre elemanlarının prototip üretiminin gerçekleştirilmesi ve üretim metodolojisinin oluşturulması (2011).

Sınai Geliştirme

HEDEF 1: Nanoyapılar içeren ilk özgün LED, lazer ve nanodedektör üretiminin gerçekleştirilmesi (2010).

HEDEF 2: Nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtlardan oluşan ilk tümleşik devre sistemlerinin üretilmesi (2013).

HEDEF 3: Nanoyapılar içeren çok boyutlu, çok çeşitli elektronik, fotonik ve spintronik tümleşik devre sistemlerinin üretiminin geliştirilmesi ve uluslararası düzeyde tanınan bir üretim merkezi haline gelmesi (2023)).

4. 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, nanoyapıların 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:

- i) yetişmiş eleman açığının öncelikle giderilmesi (disiplinler arası yüksek lisans ve doktora programlarının oluşturulması, bu programlara kayıtlı öğrencilerin desteklenmesi, doktora-sonrası araştırmacılar için destek sağlanması),
- ii) üniversitelerin, küçük, orta ve büyük ölçekli sanayinin araştırma alt yapısının oluşturulması, yasal düzenlemelerle geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması,
- iii) araştırma merkezlerinin artırılması ve yaygınlaştırılması, sanayi tarafından yapılan veya yönlendirilen araştırmaların teşvik edilmesi ve desteklenmesi,
- iv) teknoparkların yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi, (bu özellikle nanoteknolojilerin geliştirilmesi için oldukça önemlidir),

v) 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 aşağıdaki ürünlerin geliştirilebileceği öngörülmektedir:

1. Çok işlevli nanokompozit malzemeler

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.

2. Biyoesinli malzemeler ve katalizörler

Yapay enzimler, moleküler aygıtlar, yapay fotosentetik sistemler

3. Kendiliğinden düzenlenme (self-assembly) yöntemleri ile nano-elektronik ve nanomekanik aygıtlar

5. YAKIT HÜCRELERİ ve ENERJİ

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 yönelmelidir. Güneş enerjisi, nükleer enerji, rüzgar ve hidrolik enerji, jeotermal enerji gibi değişik birincil enerji kaynakları bulunmasına karşın, bu kaynakların yakıtla dönüştürülmesi ve taşınımında kullanılması 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 otomatik 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 katagoride 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.

Araştırma-Geliştirme Çalışmaları

Hidrojen gazından küçük ölçekli sistemler için enerji elde edilmesinde AR-GE çalışmalarının üç konuya yoğunlaşması beklenmektedir: Bunlar i) Suyun analiz edilerek hidrojen gazının elde edilmesi; ii) Elde edilen hidrojen gazının depolanması; iii) 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.

Temel ve Uygulamalı Araştırmalar

HEDEF 1: Hidrojen gazının küçük ölçeklerde depolanması ve yakıt hücreleri konularında uluslararası çalıştaylar düzenlenmeli ve Malzeme, Kimya ve Fizik Bölümlerinin yüksek lisans eğitim ve tez programları içine alınmalıdır. Ayrıca benzer konularda aktif araştırma yürüten uluslararası kurumlarla işbirlikleri kurulmalıdır (2004-2006).

HEDEF 2: Üniversite ve Araştırma Enstitülerinde yürütülecek ilgili konulardaki araştırmalar TÜBİTAK ve DPT tarafından desteklenmelidir (2004-2014).

Sınai Geliştirme

HEDEF 1: Elde edilen araştırma sonuçları değerlendirilip uygun bulunan sonuçlar için KOBİ'ler veya Teknoparklar yolu ile seri üretime ve pazarlamaya yönelinmelidir (2009-2014).

11. NANOKARAKTERİZASYON

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 metodları içinde Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM, Atomic Force Microscope, AFM), Taramalı Tünelleme Mikroskobu (Scanning Tunneling 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 başarısızlıkla 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 mikroskopun 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.

Temel Araştırma

HEDEF 1: Ulusal Nanokarakterizasyon Merkezinin kurulması (2007)

HEDEF 2 : Taramalı Uç Mikroskoplarının Geliştirilmesi, atomik manipülasyonun oda sıcaklığında daha kontrollü yapılabilmesi (2010)

HEDEF 3: Sıvıda atomik çözünürlükle çalışan AKM'ler geliştirilmesi (2013)

Uygulamalı ve Sınai Araştırma

HEDEF 1: Atomik Kuvvet Mikroskoplarının yatay-dikey kuvvetleri aynı anda sıvıda/vakumda ölçebilecek hale getirilmesi (2008)

HEDEF 2: Taramalı Hall Aygıtı Mikroskoplarının 5-10nm hassasiyete getirilmesi (2011)

Sınai Geliştirme

HEDEF 1: Yeni Nesil Taramalı Hall Aygıtı Mikroskoplarının/Taramalı Uç Mikroskoplarının geliştirilmesi (2010)

HEDEF 2: Sıvıda atomik çözünürlükle çalışan Atomik Kuvvet Mikroskopları geliştirilmesi (2016)

7. NANOFABRİKASYON

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 teknolojide 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 işlemleri 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.

Temel Araştırma

HEDEF 1: Ulusal Nanolitografi Merkezinin kurulması (2007)

HEDEF 2: Nano-baskı metotlarının geliştirilmesi (2010)

Uygulamalı ve Sınai Araştırma

HEDEF 1: Elektron demet litografi kullanarak 10 nm boyutlarında nanoyapılar elde edilmesi (2008)

HEDEF 2: Nano-baskı metodlarının 50 nm boyutlarında tümleşik devre yapımında kullanılması (2011)

Sınai Geliştirme

HEDEF 1: Paralel elektron demet litografi kullanarak 10 nm boyutlarında nanoyapılar içeren tümleşik entegre devrelerin üretimi (2010)

HEDEF 2: Nano-baskı litografi kullanarak 10 nm boyutlarında nanoyapılar içeren tümleşik entegre devrelerin üretimi (2013)

8. NANO ÖLÇEKTE KUVANTUM BİLGİ 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 karşılaşacağımız 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 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 yapılabilecek, bilim kurgu filimlerini doğrulayan nitelikte yeni ve modern bir teknoloji çağı başlayacaktır.

Kuantum Bilgi İşleme'nin 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.

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.

Yetkinlik Kazanmamız Gereken Temel Alanlar ve Zamana Bağlı Hedefler: 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 kullanılabilir nano ölçek ünitelerin kuramsal olarak tasarlanması, simulasyonları ve bunların 2020'li yıllara kadar prototip ve üretimlerine geçiş.

Bu Hedeflere Ulaşmada Rol Oynayacak Somut Adımlar:

- Üniversitelerde lisansüstü ve doktora seviyesinde deneysel ve teorik eğitime yönelik temel araştırma ve deneysel uygulama derslerinin açılması (2005 sonuna kadar)
- Resmi ve özel eğitim kurumlarının dışında yaz okulları, doktora projelerinin desteklenmesi, ödüllendirilmesi (2005 sonuna kadar)
- Resmi ve kamu'ya ait (UEKAE, Aselsan gibi) araştırma kurumlarında bu konuda AR-GE alt birimleri oluşturulması ve laboratuvar faaliyetleri için gerekli altyapının desteklenmesi (2005 sonuna kadar somutlanmalı). Bu alt yapı faaliyetleri arasında nanoölçek KBİ'de kuramsal ve deneysel grup çalışmalarını birleştiren projelerin öncelikli olarak ve şimdiden desteklenmesi gerekmektedir.
- 2006 yılına kadar Bir Ulusal Nanobilim ve Nanoteknoloji merkezinin ve bunun altında bir Nano ölçek Kuantum Bilgi İşleme biriminin kurulması

Temel Araştırma

HEDEF 1: Maddenin nano boyutta manyetik, metalik, yalıtkan ve süperiletken özelliklerinin araştırılması (2010)

HEDEF 2: Nanoyapılardan oluşan kubit özelliklerini kullanacak temel kuantum algoritmaların geliştirilmesi (2010)

Uygulamalı ve Sınai Araştırma

HEDEF 1: Nanotüplerde kubit olarak kullanılabilir durağan akım durumlarının kuramsal araştırılması, simülasyonu ve dekoherans özelliklerinin anlaşılması (2015)

HEDEF 2: Birinci hedefin deneysel olarak incelenmesi ve karakterizasyonu (2020)

HEDEF 3: Teknoparklarda araştırma şirketlerinin ve KOBİ'lerin kurulmasının teşvik ve desteklenmesi (2010)

Sınai Geliştirme

HEDEF 1: Nanoölçek kuantum kriptoloji sistemlerinin ticari ve askeri alanlarda kullanıma hazır hale getirilmesi (2010)

9. NANO-BİYOTEKNOLOJİ

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. Yaşamla 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 özellikte 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 terapisinin geleceğin en önemli tedavi yöntemi olacağı düşünülmektedir. Genetik bilginin (DNA fragmanlarının) doğru olarak tanımı, 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 gözükmese 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 bir araya 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, Nonobiyoteknoloji alanında Türkiye'nin başlıca somut hedefleri şunlardır:

1. Sağlık alanında hızlı, yüksek kapasiteli ve hassas protein ve DNA tanı sistemlerinin nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmesi: 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.

2. Hedefe yönelik yeni ilaç etken maddelerinin tanımlanmasında kullanılmak üzere hızlı tarama yöntemlerinin nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmesi: 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.

Ekler

Ek 1: Nanofotonik, Nanoelektronik, Nanomanyetizma Yol Haritası

Ek 2: Nanomalzeme Yol Haritası

Ek 3: Yakıt Hücreleri ve Enerji Yol Haritası

Ek 4: Nanokarakterizasyon Yol Haritası

Ek 5: Nanofabrikasyon Yol Haritası

Ek 6: Nano Ölçekte Kuantum Bilgi İşleme Yol Haritası

Ek 7: Nano-Biyoteknoloji Yol Haritası

NANOTEKNOLOJİ

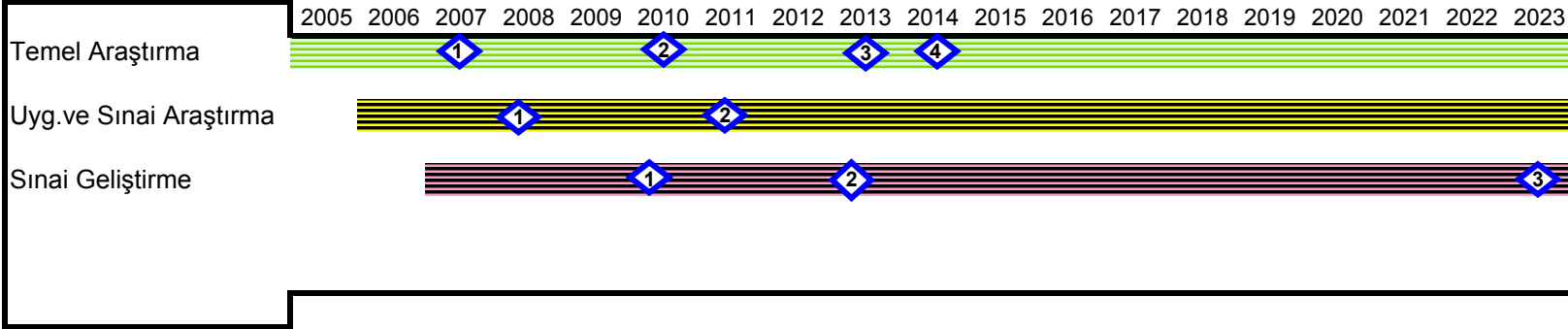
TEKNOLOJİLER

POLİTİKA, STRATEJİ VE HEDEFLER

Stratejik Amaçlar

Teknoloji Alanı:

Nanofotonik, Nanoelektronik, Nanomanyetizma



•Nanoyapılar içeren özgün ürün ve sistemlerin geliştirilmesi

•Nanoyapılar içeren tümleşik devre sistemleri için uluslararası düzeyde bir üretim merkezi olma

Temel Araştırma

Hedef 1 (2007)

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.

Temel Araştırma

Hedef 2 (2010)

Nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtların fiziğinin anlaşılması ve araştırılması. Yeni açılımların tespit edilmesi ve öngörülmesi.

Temel Araştırma

Hedef 3 (2013)

Elektronik, fotonik ve spintronik uygulamalara yönelik nanoyapıların çeşitlenmesi, çok boyutlu hale getirilmesi, ve boyutlarının küçültülerek moleküler düzeydeki davranışlarının incelenmesi.

Temel Araştırma

Hedef 4 (2014)

Nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtların bir arada tümleşik olarak üretilmesine yönelik bilimsel altyapının araştırılması.

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 1 (2008)

Nanoyapılar içeren Light Emitting Diode (LED), lazer ve detektör prototipinin üretilmesi ve üretim metodolojisinin geliştirilmesi.

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 2 (2011)

Nanoyapılar içeren tümleşik devre elemanlarının prototip üretiminin gerçekleştirilmesi ve üretim metodolojisinin oluşturulması.

Sınai Geliştirme

Hedef 1 (2010)

Nanoyapılar içeren ilk özgün LED, lazer ve nanodedektör üretiminin gerçekleştirilmesi.

Sınai Geliştirme

Hedef 2 (2013)

Nanoyapılar içeren elektronik, fotonik ve spintronik aygıtlardan oluşan ilk tümleşik devre sistemlerinin üretilmesi.

Sınai Geliştirme

Hedef 3 (2023)

Nanoyapılar içeren çok boyutlu, çok çeşitli elektronik, fotonik ve spintronik tümleşik devre sistemlerinin üretiminin geliştirilmesi ve uluslararası düzeyde tanınan bir üretim merkezi haline gelmesi.

NANOTEKNOLOJİ

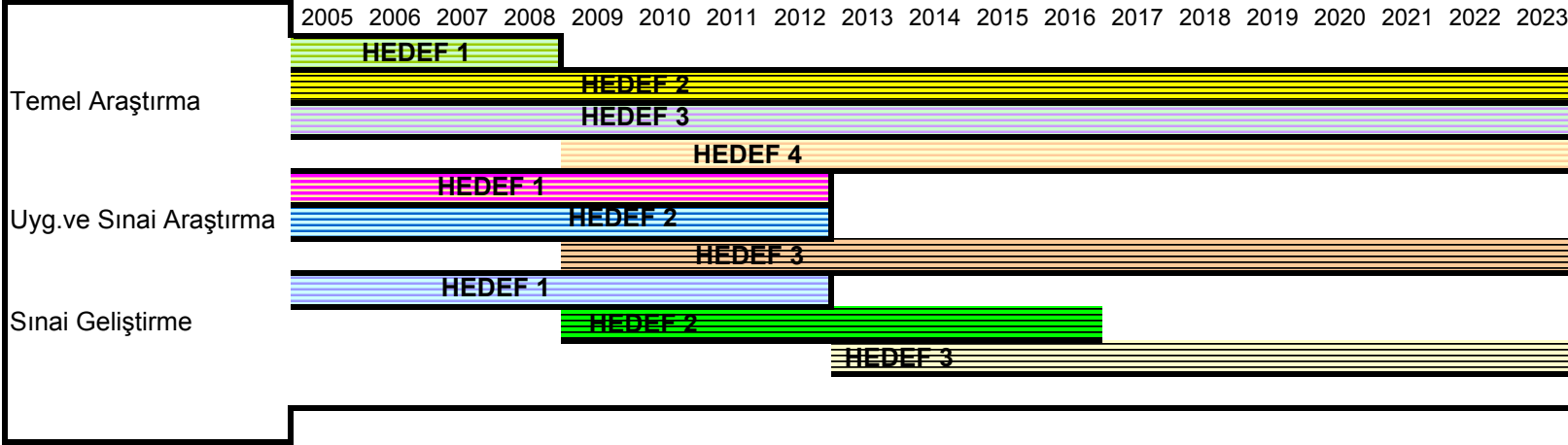
TEKNOLOJİLER

POLİTİKA, STRATEJİ VE HEDEFLER

Stratejik Amaçlar

Teknoloji Alanı:

Nanomalzeme



• Çok işlevli nanokompozit malzemelerin geliştirilmesi ve üretimi

• Biyoesinli malzeme ve katalizörlerin geliştirilmesi ve üretimi

• Kendiliğinden düzenlenme (self-assembly) yöntemleri ile nanoelektronik ve nanomekanik aygıtlar geliştirilmesi ve üretimi

Temel Araştırma

Hedef 1 (2004-2008)
Araştırma altyapısının iyileştirilmesi ve yaygınlaştırılması

Temel Araştırma

Hedef 2 (2004-2023)
Nanoyapılarda yeni tasarım stratejilerinin geliştirilmesi

Temel Araştırma

Hedef 3 (2004-2023)
Nano-ölçekteki Fizik ve Kimya için yeni model ve teorilerin geliştirilmesi

Temel Araştırma

Hedef 4 (2009-2023)
Nano-boyutlu yapılarda yapı-özellik proses ilişkileri

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 1 (2004-2012)
Araştırma alt yapısının oluşturulmasını özendirerek önlemler ve geliştirilmesi

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 2 (2004-2012)
Çok işlevli nanokompozit malzemelerin üretim teknolojilerinin geliştirilmesi

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 3 (2009-2023)
Biyoesinli malzeme ve kendiliğinden düzenlenme (self-assembly) yöntemleri için üretim teknolojilerinin geliştirilmesi

Sınai Geliştirme

Hedef 1 (2004-2012)
Çok işlevli nanokompozit malzemeler

Sınai Geliştirme

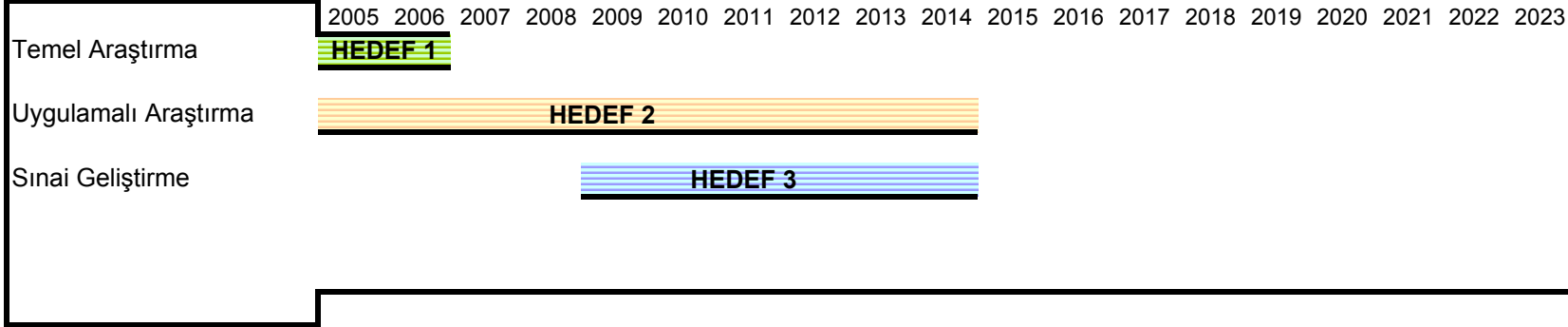
Hedef 2 (2009-2016)
Biyoesinli malzeme ve katalizörler

Sınai Geliştirme

Hedef 3 (2013-2023)
Kendiliğinden düzenlenme (self-assembly) yöntemleri ile nano-elektronik ve nano-mekanik aygıtlar

Teknoloji Alanı

Yakıt Hücreleri ve Enerji

Yakıt
Hücreleri
ÜretimiTemel Araştırma

Hedef 1 (2004-2006)

Hidrojen gazının küçük ölçeklerde depolanması ve yakıt hücreleri konusunda uluslar arası çalıştaylar düzenlenmeli ve Malzeme, Kimya ve Fizik Bölümlerinin yüksek lisans eğitim ve tez programları içine alınmalıdır. Ayrıca benzer konularda aktif araştırma yürüten uluslararası kurumlarla işbirlikleri kurulmalıdır.

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 2 (2004-2014)

Üniversite ve Araştırma Enstitülerinde ilgili konularda araştırmalar Tübitak, DPT tarafından desteklenmelidir.

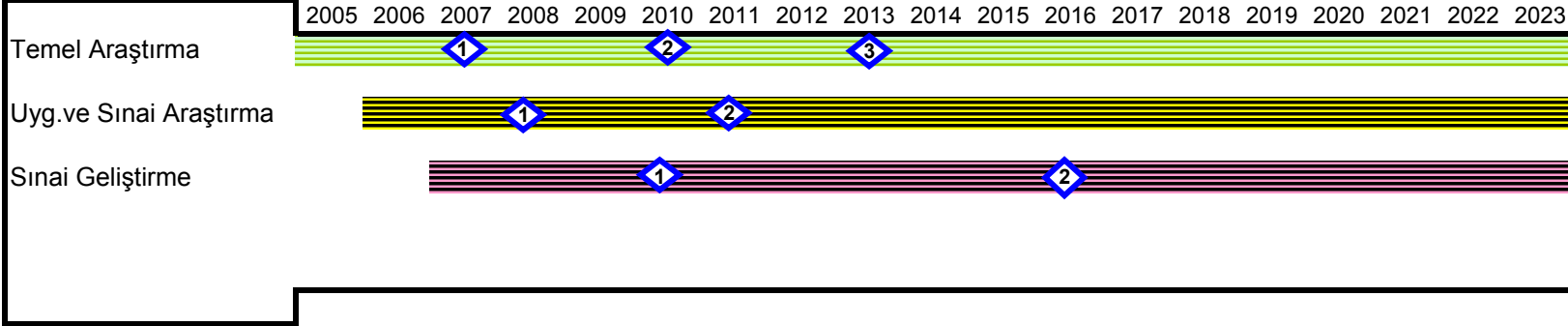
Sınai Geliştirme

Hedef 3 (2009-2014)

Elde edilen araştırma sonuçları değerlendirilip uygun bulunan sonuçlar için Kobilere veya Teknoparklar yolu ile seri üretime ve pazarlamaya yönelmelidir.

Teknoloji Alanı:

Nanokarakterizasyon



Taramalı uç mikroskopları ve atomik kuvvet mikroskopları geliştirilmesi ve nanokarakterizasyonda yetkin olma

Temel Araştırma

Hedef 1 (2007)

Ulusal Nanokarakterizasyon
Merkezinin kurulması

Temel Araştırma

Hedef 2 (2010)

Taramalı Uç Mikroskoplarının Geliştirilmesi,
Atomik manipülasyonun oda sıcaklığında
daha kontrollü yapılabilmesi

Temel Araştırma

Hedef 3 (2013)

Sıvıda atomik çözünürlükle
çalışan Atomik Kuvvet
Mikroskoplarının geliştirilmesi

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 1 (2008)

Atomik Kuvvet Mikroskoplarının yatay-
dikey kuvvetleri aynı anda
sıvıda/vakumda ölçebilecek hale
getirilmesi

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 2 (2011)

Taramalı Hall Aygıtı Mikroskoplarının 5-10nm
hassasiyete getirilmesi

Sınai Geliştirme

Hedef 1 (2010)

Yeni Nesil Taramalı Hall Aygıtı
Mikroskoplarının/Taramalı Uç
Mikroskoplarının geliştirilmesi

Sınai Geliştirme

Hedef 2 (2016)

Sıvıda atomik çözünürlükle çalışan
Atomik Kuvvet Mikroskoplarının
geliştirilmesi

NANOTEKNOLOJİ

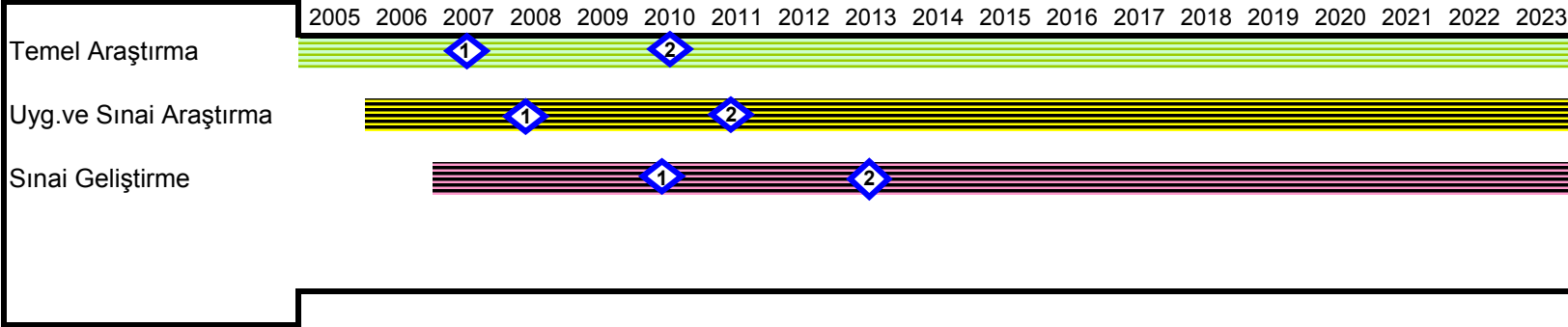
TEKNOLOJİLER

POLİTİKA, STRATEJİ VE HEDEFLER

Stratejik Amaçlar

Teknoloji Alanı:

Nanofabrikasyon



Nanoyapıları üretecek fabrikasyon yöntemlerinde yetkin hale gelme ve bu teknolojilerle tümleşik entegre devrelerin üretimi

Temel Araştırma

Hedef 1 (2007)

Ulusal Nanolitografi Merkezinin kurulması

Temel Araştırma

Hedef 2 (2010)

Nano-baskı metodlarının geliştirilmesi

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 1 (2008)

Elektron demet litografi kullanarak 10 nm boyutlarında nanoyapılar elde edilmesi

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 2 (2011)

Nano-baskı metodlarının 50 nm boyutlarında tümleşik devre yapımında kullanılması

Sınai Geliştirme

Hedef 1 (2010)

Paralel Elektron demet litografi kullanarak 10 nm boyutlarında nanoyapılar içeren tümleşik entegre devrelerin üretimi

Sınai Geliştirme

Hedef 2 (2013)

Nano-baskı litografi kullanarak 10 nm boyutlarında nanoyapılar içeren tümleşik entegre devrelerin üretimi

NANOTEKNOLOJİ

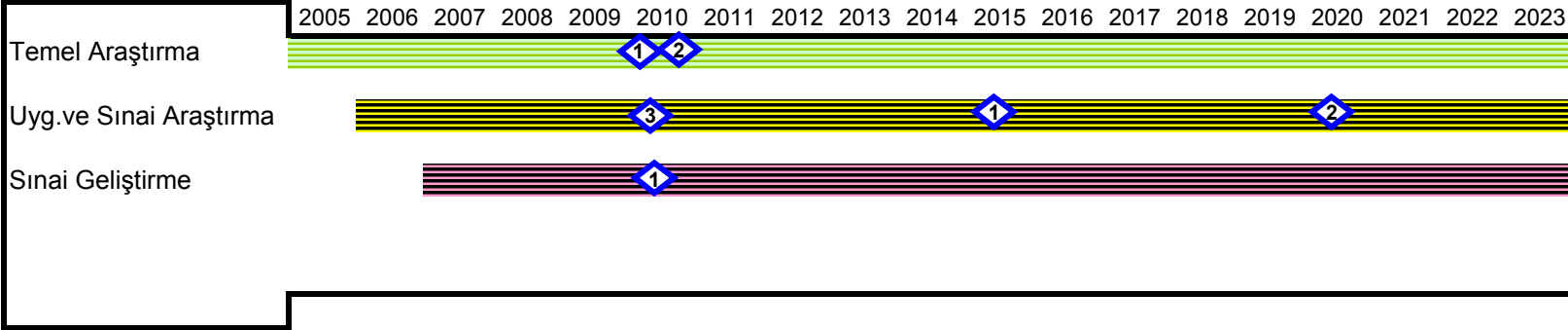
TEKNOLOJİLER

POLİTİKA, STRATEJİ VE HEDEFLER

Stratejik Amaçlar

Teknoloji Alanı:

Nano Ölçekte Kuantum Bilgi İşleme



•Nanoölçek ünitelerin tasarımında, simülasyonunda ve üretiminde yetkinlik

•Ticari ve askeri amaçlı nanoölçek kuantum kriptoloji sistemlerinin geliştirilmesi

Temel Araştırma

Hedef 1 (2010)

Maddenin nano boyutta manyetik, metalik, yalıtkan ve süperiletken özelliklerinin araştırılması

Temel Araştırma

Hedef 2 (2010)

Nanoyapılardan oluşan kubit özelliklerini kullanacak temel kuantum algoritmaların geliştirilmesi

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 1 (2015)

Nanotüplerde kubit olarak kullanılabilir duruşan akım durumlarının kuramsal araştırılması ve simülasyonu ve dekoherans özelliklerinin anlaşılması

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 2 (2020)

Birinci hedefin deneysel olarak incelenmesi ve karakterizasyonu

Uyg. ve Sınai Araştırma

Hedef 3 (2010)

Teknoparklarda araştırma şirketlerinin ve KOBİ'lerin kurulmasının teşvik ve desteklenmesi

Sınai Geliştirme

Hedef 1 (2010)

Nanoölçek kuantum kriptoloji sistemlerinin ticari ve askeri alanlarda kullanıma hazır hale getirilmesi

NANOTEKNOLOJİ

TEKNOLOJİLER

POLİTİKA, STRATEJİ VE HEDEFLER

Stratejik Amaçlar

Teknoloji Alanı:

Nanobiyoteknoloji

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023				
Temel Araştırma	HEDEF 1, 2																						
Uyg.ve Sınai Araştırma	HEDEF 1, 2																						
Sınai Geliştirme	HEDEF 1, 2																						

DNA tanı sistemlerinin geliştirilmesi

Temel Araştırma

Hedef 1 (2015)

Sağlık alanında kullanılabilir hızlı, yüksek kapasiteli ve hassas protein ve DNA tanı sistemlerinin nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmesi

Temel Araştırma

Hedef 2 (2015)

Hedefe yönelik yeni ilaç etken maddelerinin tanımlanması için hızlı nanoteknolojik tarama yöntemlerinin geliştirilmesi