

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

BİLİM ve TEKNİK



YENİ UFUKLAR

TÜRKİYE'DE NANOTEKNOLOJİ

ARALIK 2006 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYANLAR : PROF. DR. SALİM ÇIRACI - PROF. DR. ŞEFİK SÜZER - PROF. DR. ALİ ERDEMİR - DOÇ. DR. ÖMER DAĞ -
YRD. DÇ. DR. ERMAN BENGÜ - YRD. DÇ. DR. MEHMET BAYINDIR - YRD. DOÇ. DR. F. ÖMER İLDAY -
YRD. DOÇ. DR. TUĞRUL SENER - DR. AYKUTLU DANA - ATILLA AYDINLI - ZERİYYA GEMİCİ - İSKENDER YILGÖR -
HÜLYA ÖZGÜR - ÖZLEM YEŞİLYURT - ENGİN DURGUN - AŞKIN KOCABAŞ - ÖZLEM KÖYLÜ - İHSAN GÜRSEN

ULUSAL NANOTEKNOLOJİ ARAŞTIRMA MERKEZİ (UNAM):

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİDE TÜRKİYE’NİN BİR MÜKEMMELİYET MERKEZİ

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi projesi hakkında ilk kapsamlı haber yaklaşık bir yıl önce Bilim ve Teknik’te verilmişti. Nanoteknoloji dünyanın her yerinde hızla popüler hale gelirken ülkemizde de önce bilim çevrelerinde, daha sonra sanayi kuruluşlarında önemi vurgulanmaya, medyada sık sık yer almaya başladı. Konu çevreden o kadar çok rüzgar aldı ki bilinen teknolojileri önüne ‘nano’ kelimesi ekleyerek bir anda nanoteknoloji olarak önümüze getirenler bile oldu. Nanoteknolojinin dayandığı bilimsel temeller gözardı edilip, sadece internetten alınan heyecanlı teknolojik haberlerle abartılı ve ateşli ‘bilimsel’ konuşmalar sunuldu.

Önceleri az sayıda uzmandan oluşan UNAM proje ekibinin önünde bu koşullarda çok zorlu bir süreç bulunmaktaydı. Projenin kapsamının belirlenip sınırlarının doğru olarak çizilmesi gerekiyordu. Yeni teknoloji devriminde ülkemize önemli bir konum sağlayabilecek bu girişimimizde, kapsam ve hedefler titizlikle seçilmeliydi. Merkezin kurulma aşamasında ve gelişme fazlarında ne küçük düşünmeli ne de gereksiz büyüklüklere kapılmalıydı. Ve buna benzer bir sürü kritik karar ve isabetli vizyon gerekiyordu. Kısaca 21. yüzyılın bu projesine ülkemizde doğru yön verilmeliydi.

Geride bıraktığımız bir yıl içinde bir sürü gelişmeler oldu. Bu yazımızı, okuyucularımıza bu gelişmelerden söz edip merkezin araştırma ve eğitim politikalarını tanıtmak amacı ile hazırladık. Ama önce ‘nanobilim ve nanoteknoloji’nin bir doğru tanıtımını yaparak başlamayı yeğledik.

Nanoteknoloji nedir ?

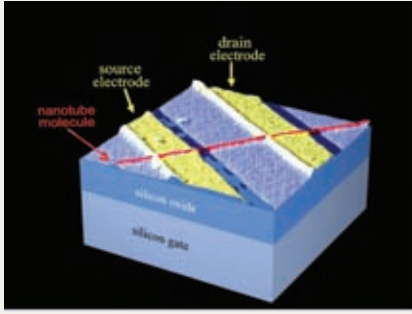
Günümüzde hemen her konuşma veya yazıda nanoteknoloji, metrenin bir milyarda biri yani nanometre büyüklüğünde boyutlarla uğraşan yeni bir teknoloji olarak tanıtılıyor. Su molekülünün boyutu yaklaşık 1 nanometre mertebesinde olduğuna göre su ile uğraşanlar nanoteknoloji mi yapıyor-

lar? Veya Intel’in bilinen silisyum teknolojisi ile üretilen piyasaya sürmeye çalıştığı 50 nanometre boyutundaki yeni transistörler nanoteknoloji ürünü müdür? Elbette değil! Malzemenin büyüklüğü nanometre ölçütlerine inince kuantum davranışlar bilinen klasik davranışların yerine almakta, fiziksel özellikleri kesikli bir değişim göstermeye

başlamakta. Kimyasal ve fiziksel özellikler, yapının büyüklüğüne ve atom yapısının ayrıntılarına, dışardan sisteme bağlanan yabancı bir atomun cinsine ve yerine göre çok farklı ve olağanüstü davranışlar sergilemekte. Şöyle ki, mevcut nanoyapıya yabancı bir atomun yapışması, elektronik özellikleri, örneğin elektrik iletkenliği farkedilebilir şekilde değiştirmekte. Bu yabancı atom geçiş elemanı olduğunda yaptığı bir nanoyapıya manyetik özellikler kazandırabilmekte. Kısaca, bir nanoyapının fiziksel özellikleri, bağ yapısı ve dolayısı ile mukavemeti onun büyüklüğüne ve boyutuna bağlı olarak önemli değişimler gösterebilmekte. Örneğin, karbon atomlarından oluşan elmas kristali iyi bir yalıtkan olduğu halde, bir boyutlu karbon atom zinciri altın ve gümüş zincirlerinden bile daha iyi bir iletken olabilmektedir. Şimdi çok kısa bir tanım gerekirse, Nanobilim, nanometre ölçütlerinde ortaya çıkan bu yeni davranışları kuantum kuramı yardımı ile anlamamızı sağlar; nanoteknoloji ise ya yeni nanoyapılar tasarlayıp sentezlemeyi, ya da nanoyapılara yeni olağanüstü özellikler kazandırmayı ve bu özellikleri yeni işlevlerde kullanmayı amaçlar. Bir başka deyişle nanoteknoloji bilinen molekülleri yeni atom ve moleküller ekleyerek işlevsel duruma sokar veya kuantum noktaları ve



Şekil 1: 19. yüzyıldan günümüze insanlığı derinden etkileyen sanayi devrimleri.



C. Decker grubu tarafından karbon nanotüp kullanılarak yapılan nanotransistörün Atomik Kuvvet Mikroskobu görüntüsü. Şekilde sarı renkteki platin çubuklar arasına yerleştirilen kırmızı tüp transistör olarak çalışmaktadır.

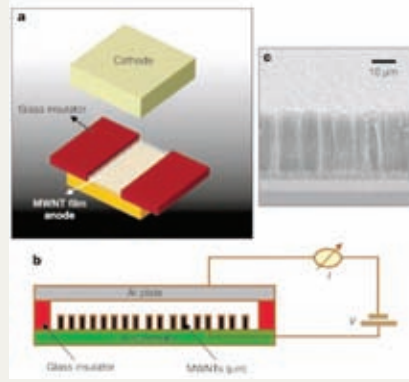
Şekil 2: Sol panel: Karbon nanotüp kullanılarak yapılan bir transistörün Atomik Kuvvet Mikroskobu ile elde edilen görüntüsü. Sağ panel: Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen bir gaz sensörü (Nature).

telleri, tüpler gibi yapay yapılar tasarlayıp sentezler. Bu şekilde sentezlenen yapılar çok aktif olabilir ve önemli kimyasal süreçlere aracılık ederler, olağanüstü elektronik veya manyetik özellikler seğilerler. Nanoteknoloji bilinen bütün teknolojilere kıyasla çok daha fazla temel bilime ve kuramsal araştırmalara gereksinim gösterir.

Nanoteknolojinin gelişmesi:

Ekonomistler nanoteknolojinin yeni bir sanayi ve bilgi devrimi olarak 21. yüzyıla damgasını vuracağına inanıyorlar. Yakın bir gelecekte, bir ülkenin nanoteknolojideki seviyesi o ülkenin gücünün bir göstergesi olabilecek. Nanoteknolojinin öncelikle malzeme ve biyoteknoloji alanlarında gelişeceği, ancak 10-15 yıl sonra elektronik ve spintronikte, özellikle moleküler elektronikte ağırlığını hissettireceği beklenmektedir. Nanomalzemelerin olağanüstü özellikleri hemen hemen her alanda; savunma sanayinde, tekstilde, otomotiv sanayinde, inşaat, yeni tedavi yöntemlerinde ve ilaç sanayinde devrim yaratacaktır. Sürtünmesiz yüzeyler sayesinde taşıtlarda motor yağı değiştirme sorunu ortadan kalkabilecek, kir tutmayan kumaşlar belki çamaşır makinelerini ortadan kaldırabilecek. Binalardaki betonarme kolonların kesitleri küçülüp elastik özellikler kazanacak; bu sayede depremler binalarımıza daha az tahribat yapabilecek. Nano-elektronik alanında milyonlarca aygıtı içeren bütünleşik devre yapımında ve aygıtların iletkenlerle birbirlerine bağlanmalarında sorunlar bulunmaktadır. Kendi kendine yapılan moleküllerle bu sorunun çözülmesi biraz zaman alacağına benzetilmektedir. Üzeri kaplanarak DNA'dan yapılan transistörlerin DNA replikasyonu yöntemi ile bütünleşik devreye dönüştürülmesi bilim adamlarının üzerinde çalıştıkları konular arasında yer almaktadır.

Nanobilim ve nanoteknoloji araştırmaları için gelişmiş ülkelerde kamu sektörü 2005 yılında toplam 6 milyar ABD Doları yatırım yapmaktadır. Son yıllarda ABD, Japonya, AB Ülkeleri, Kore, İsrail, Güney Afrika Birliği, Kanada gibi ülkelerde her biri 100 milyon Doların üzerinde harcama yapılarak, çok sayıda Ulusal Araştırma merkezleri kurulmuştur. ABD'de Stanford, Harvard, Cornell gibi tanınmış 13 üniversitede kamu tarafından nanoteknoloji merkezleri kurulmuştur. Benzer şekilde 2005 yılında Argonne, ONRL, Lawrence-Berkeley, Sandia, Brookhaven Ulusal merkezlerde de nanotekno-



Karbon nanotüpleri cam üzerine dizerek yapılan bir gaz nanosensörü.

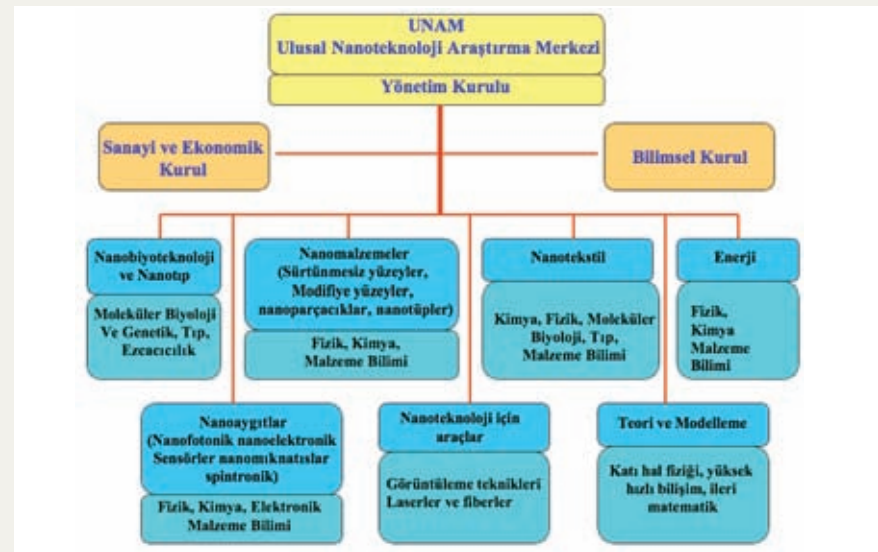
loji Araştırma Laboratuvarları Enerji Bakanlığı tarafından kurulmuş; devlet ve özel üniversitelerin yönetimine bırakılmıştır. Nanoteknolojiye bu kadar yatırım yapan ABD'de 2015'lerde nanoteknoloji ürünlerinin satışlarının 3 trilyon Doları erişmesi beklenmektedir. İran'da Sharif Üniversitesi'nde 2005 yılında kurulan ulusal Nanobilim ve Nanoteknoloji Enstitüsü'nde, disiplinlerarası doktora programıyla birlikte bilimsel araştırmalar da yürütülmektedir. Çeşitli konularda ellinin üzerinde nanoteknoloji şirketinin kurulduğu İsrail'de, hükümet nanoteknolojiye yapacağı desteği 230 milyon Doları çıkarmıştır. Bu teknoloji devriminde yer almak ve gelişen pazardan pay kapmak için, ülkeler adeta birbirleriyle yarışmaktadır.

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi:

Son yıllarda Nanoteknoloji konusunda hızlı gelişmeler karşısında TC Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Bilkent Üniversitesi'nden sunulan bir proje aracılığıyla ulusal nitelikte bir nanoteknoloji merkezi kurulması için destek sağladı. Bu proje 5 Ekim 2005 yılında başladı. Nanoteknolojideki yönelimler ve gelişmelere uygun olarak merkezimizin araştırma konularına nanobiyoteknoloji, nanomalzeme, kimya, enerji ve hidrojen ekonomisi, na-

notriboloji, yüzey kaplama, katalizör tasarımı gibi çok güncel konular da eklendi. Ayrıca disiplinlerarası çalışmayı geliştirmek amacıyla merkezdeki araştırmalara paralel olarak yürütülen 'Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji' yüksek lisans ve doktora programı başlamıştır. Bu programla Nanoteknolojinin en aktif araştırma konularında uzman yetiştirilmeye başlandı. Yedi katlı ve 8500 metrekare kapalı alanda, 62 adet laboratuvarı bulunan yeni binamız, bilim ve teknolojinin sınırlarında araştırmalara olanak verecek çok modern bir anlayışla tasarlanmıştır. Binamızın bundan sonra ülkemizde kurulacak araştırma merkezlerine iyi bir örnek olması beklenmektedir. Merkezin inşaatı Nisan 2007'de bitirilecektir. İnşaat çalışmalarına paralel olarak bir yandan laboratuvar araştırmalarında kullanılmak üzere 15 milyon YTL değerinde ekipman ve çok hassas cihazların alımı gerçekleştiriliyor, diğer yandan da merkezin verimli bir şekilde yönetilmesini sağlayacak organizasyon çalışmaları sürdürülüyor.

Şimdi, UNAM'ın kuruluş sürecinde bilimsel çalışmalar Bilkent Üniversitesi'nden 25 öğretim üyesi ve 45 araştırma asistanı tarafından yürütülmektedir. İzleyen 4 yıl içinde çoğu fizik, kimya, moleküler biyoloji, malzeme bilimi konularının birinde doktora çalışması yapmış 40-50 kadar uzmanın ve çok sayıda doktora öğrencisinin çeşitli araştırma projelerinde görev alması beklenmektedir. Merkezimiz yürütmekte olduğu projeler kapsamında Koç, Sabancı, Anadolu, Ege, Pamukkale, Mersin, Kırıkkale, Orta Doğu Teknik Üniversitesi öğretim üyeleriyle işbirliği yapmaktadır. Ayrıca ABD'nin çeşitli laboratuvarlarında çalışmakta olan çok değerli Türk bilim adamları da UNAM ile ortak araştırmalar yapmaktadır. UNAM, DPT, TÜBİTAK, Mili Savunma Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın destekledikleri projeleri yürütmekte ve/veya yeni proje teklifleri hazırlamaktadır. Çeşitli projeler kapsamında Roketsan, DYO, Arçelik, Vestel, Korteks gibi şirketlerle işbirliği ve müşterek ARGE çalışmaları yürütülmektedir. UNAM'da akıllı tekstil, yüzey kaplama ve boya, hidrojen ekonomisi, spintronik, fiber, femtosaniye lazer, nanoaygıt, nanobiyoteknoloji konularındaki ana projeler başlama aşamasına gelmiştir.



Şekil 3: Ulusal Nanoteknoloji Merkezinin organizasyon şeması.

UNAM'ın Kuruluşunda Stratejik Bilim Politikaları:

UNAM'ın ulusal nitelikli bir mükemmeliyet merkezi olması dünyada hızla sürdürülen yeni teknoloji yarışına ülkemizin de katılmasını sağlayacaktır. Bunun için, UNAM'ın kuruluşuna ve çalışmasına yönelik önemli stratejik politikalar saptanarak uygulamaya konulmuştur. Bunlardan en önemlisi eğitime yönelik olanıdır. Her konuda olduğu gibi nanoteknolojide de araştırmacı uzman sayısı son derecede kısıtlıdır. Bu nedenle bu uzmanların bir an önce eğitimlerini almaları ve daha sonra gerekli her türlü araştırma ekipmanına sahip olan profesyonel araştırma kurumlarında deneyim kazanmaları gerekmektedir. Bu bağlamda Malzeme Bilgisi ve Nanoteknoloji konusunda ki çok disiplinli yüksek lisans ve doktora programımız UNAM'daki işlevlerimizin temelini oluşturmaktadır. Doktora ve yüksek lisans tez çalışmalarından hemen uygulama alanı bulabilecek buluşların ve 'inovasyon'ların ortaya çıkması hedeflenmektedir.

Nanoteknolojide geniş bir alanı kapsayan araştırmalar son derecede hassas ve pahalı ekipmanlarla ayrıcalıklı araştırma koşullarını gerektirmekte. Böyle araştırma merkezlerini bir üniversitenin kendi imkanlarıyla kurup işletmesi ilerlemiş ülkelerde bile mümkün olamamakta. İşte, kısıtlı kaynakların bir yerde toplanarak gerekli her türlü cihaz ve ekipmanla donatılmış laboratuvarların kurulması ve mevcut olanakların birinci sınıf deneyimli araştırmacıların denetiminde bilimsel çalışmalara tahsis edilmesi bu konuda alınmış ikinci stratejik kararımızdır. Zamanla uzmanlar yetiştiğinde yeni uydu merkezlerin veya uzmanlaşmış araştırma laboratuvarlarının üniversitelerde veya şirket bünyelerinde kurulması, hatta araştırma üçgenlerinin oluşturulması gündeme gelecektir. Bu stratejiye uygun olarak kamu ve özel sektörün gereksinimleri doğrultusunda, UNAM uzmanları tarafından yönlendirilen projelere diğer üniversitelerden ve sanayiden ilgilenen araştırmacıların katılımı sağlanacaktır. Avrupa Birliği, özel sektör, TÜBİTAK, DPT ve benzeri kuruluşlar tarafından desteklenecek bu projelerde misafir araştırmacıların UNAM'ın bütün imkanlarını kullanarak çalışmalara katılmalarına ve projedeki yükümlülüklerini yerine getirmelerine olanak tanınacaktır.

Kamu kaynaklarıyla üniversitelerde büyük bütçeli ulusal laboratuvarların kurulması olgusu

Şekil 4: Ulusal Nanoteknoloji Merkezinin Binasının maket modeli. Sıcaklık , toz ve titreşim kontrollü 62 laboratuvar, konferans salonu ve ofislerden oluşan 8500 m2 bina Nisan 2007 de bitirilecek ve izleyen aylarda satın alınan hassas cihazlar ve ekipman yerlerine yerleştirilip araştırma faaliyetlerine başlanacaktır.



Şekil 5: Ulusal Nanoteknoloji Merkezi'nin kuruluşunda çalışan Bilkent Üniversitesi öğretim üyeleri, diğer üniversitelerden araştırma ortaklarımız ve ABD de muhtelif üniversite ve araştırma merkezlerinde görevli olup merkezimizde çeşitli araştırma faaliyetlerine katılan bilim adamlarımız.

ABD'den çok sayıda değişik ülkeye yayılmıştır. Bu bağlamda İran ve Pakistanda da ulusal merkezlerin kurulması devlet politikası olmuştur. Ülkemizde başka alanlarda da değişik üniversitelerimizde bu tür mükemmeliyet merkezlerinin zaman kaybetmeden kurulması gerekmektedir. Heraklion Araştırma Merkezi'nin AB Çerçeve programlarından milyonlarca Avro kaynak kullanarak Yunanistan'ın bilim ve teknolojisine yaptığı katkı bu 'Ulusal Merkez' fikrinin ne kadar yerinde

olduğunu göstermektedir.

UNAM'ın çok ileri düzeyde donatılmış bir mükemmeliyet merkezi olarak gelişmesi yabancı ülkelere doktora derecesini almış çok yetenekli genç bilim adamlarımızın Türkiye'ye dönerek ülkemizin bilimsel ve teknolojik alanda gelişmesine katkıda bulunmasına fırsat verecek, beyin göçünü tersine döndürecek. Ayrıca yabancı ülkelere yerleşmiş çok değerli bilim adamlarımız için UNAM bilimsel bir 'kontakt' noktası olacak, önemli bilim ve teknoloji transferi sağlanacaktır. İtalya, Çin, İsrail, Hindistan gibi ülkelerin bu yolla kazanımları göz önünde bulundurulmalıdır.

UNAM yukarıda özetlenen stratejik kararlar ve hedefler doğrultusunda hızla gelişip büyümektedir. Ancak yukarıda özetlenen bu çalışmalar UNAM'ın kuruluş büyümesinde sadece 1. fazı oluşturmaktadır. İzleyen yeni fazlarla merkezinin başarı kazanarak büyümesi ve toplam yatırımlarımızın 100 milyon Dolara erişmesi planlanmıştır. Bunun için gerekli olan kaynak merkezde yürütülmekte olan projelerden elde edilen gelirden sağlanacaktır. İzleyen yazılarda UNAM'da planlanan ve yürütülmekte olan çok sayıda büyük bütçeli projelerden bazıları hakkında kısa bilgi verilecektir.

Prof. Dr. Salim Çıracı

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi
Proje Yöneticisi Bilkent Üniv., Fizik Bölümü,
iletişim: ciraci@fen.bilkent.edu.tr

NANOTEKNOLOJİ, KİMYANIN SİHİRLİ DEĞNEĞİ VE YÜZEYLER



Şekil 2. Lotus yaprağı üzerindeki su damlacığı.

Nanoteknoloji ismi çoğu kimseye fizik bilimini hatırlatmaktadır. Ancak, birçok konuda olduğu gibi bu konuda da sihirli değnek yine kimyacıların ellilerindedir. Malzemelerin sürtünme, yapışma, suyu sevme ya da sevmeme, biyolojik etkileşim ve benzeri “Yüzey Özellikleri” tamamen nanometre boyutlarındaki en üst katmanların kimyasal kompozisyonu ve morfolojisi tarafından belirlenir. Dolayısıyla bu yüzey özelliklerinin kontrollü ve akıllı bir şekilde kullanımı da tabii ki nanoteknolojiden geçmektedir.

Nanoteknoloji uygulamaları denilince de aklı hemen pahalı ve yüksek teknoloji gerektiren ultra-yüksek vakum isteyen cihazlar (UHV), yüksek sıcaklıklar veya nanometre boyutlarında litografi yapabilen aygıtlar geliyor. Halbuki doğadaki örnekler bakıldığında birçok tepkime ve malzemenin üretimi oda sıcaklığında, normal şartlar altında ve sulu ortamlarda gerçekleşmektedir. “Lotus Yaprağı” veya “Köpekbalığı Derisi” örneklerinde olduğu gibi doğadaki canlılar yüzey özelliklerini mütevazı koşullarda kolayca ve hızlıca kontrol



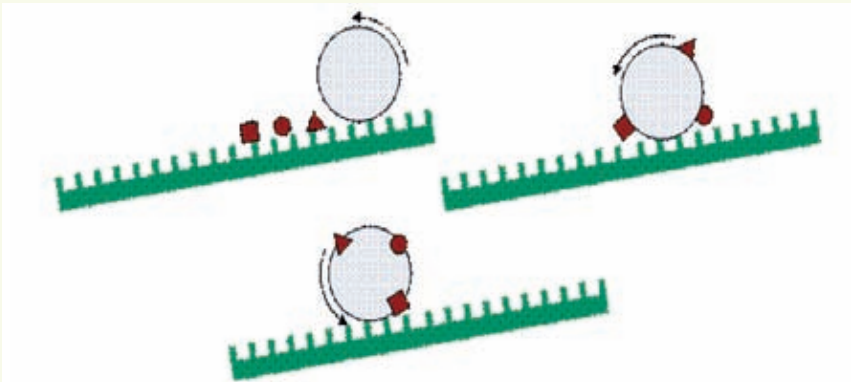
Şekil 3. Hidrofobik yüzey oluşumunu sağlayan kaplama sayesinde buğulanmayan yüzeyler.

edebilmektedirler.^{1,2}

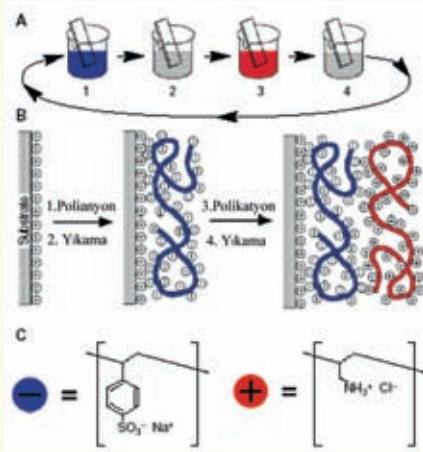
Asyadaki çeşitli dinlerde Lotus bitkisi saflığın sembolü olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni, lotus bitkilerinde bulunan kendi kendini temizleyebilme yetisi olarak ifade edilebilir (Lotus etkisi). Yüzeyinde bulunan mikron ve nano seviyesindeki çukur ve tepecikli yapılar sayesinde bitkinin yaprakları kesinlikle ıslanmamakta ve su damlacıkları yaprağın toprağa doğru eğimli şekli sayesinde toprağa doğru kayarken üzerindeki çamur,

küçük böcekleri ve diğer kirlilikleri de beraberinde taşımaktadır. Bu özellik Şekil 1’deki diagramda da basitçe gösterilmektedir. Bu sayede Lotus bitkisi çamurlu nehirlerde ve göllerde yetişmesine rağmen yaprakları oldukça temizdir (Şekil 2). Nanobilimiyle uğraşan bilim adamları da, lotus yaprağının bu özelliğini taklit ederek boyaların, kumaşların ve diğer pek çok yüzeyin hem kuru kalmasını hem de kendi kendini temizleyebilme özelliğini kazanabilmesi için yeni yöntemler geliştirmektedirler. Bu amaçla da yüzeyleri ya florlu ya da silikon içeren bileşiklerle işleme tabi tutmaktalar.

Yakın bir geçmişte Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’ndeki (MIT) bilim adamları, camlarda oluşan buğulanmanın önüne geçebilmek için şeffaf bir kaplama geliştirdiler. Bu kaplama, temelde küçük cam parçacıkları olan silis nano parçalardan ve polimerden oluşuyor. Buğulanma, binlerce çok küçük su damlasının cam ve benzeri yüzeyler üzerinde yoğunlaşmasıyla oluşuyor. Bu damlalar ışığı bir çeşit filtreleyerek yüzeyin yarı şeffaf bir görüntü kazanmasını sağlıyor. Buğulanma genellikle soğuk yüzeyin aniden sıcak havayla karşılaşması sonucu oluşuyor. Kaplama içindeki nano parçacıklar, su parçacıklarını cam yüzeyden



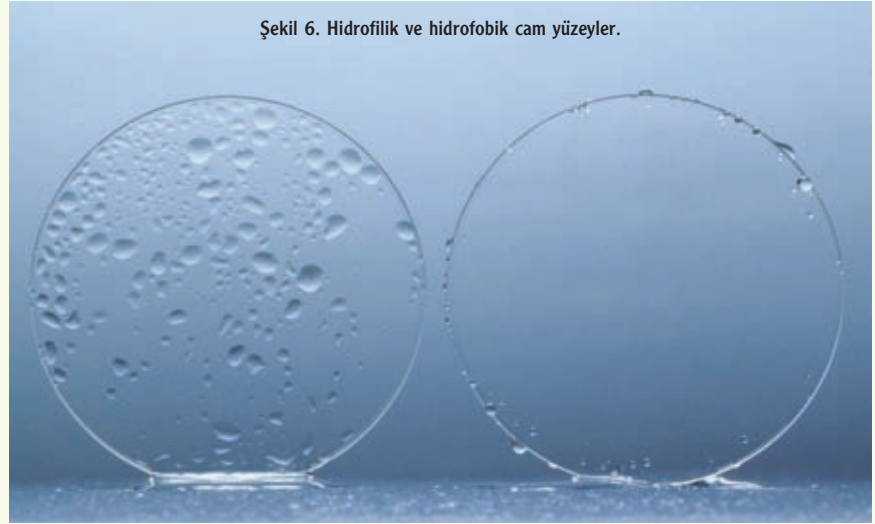
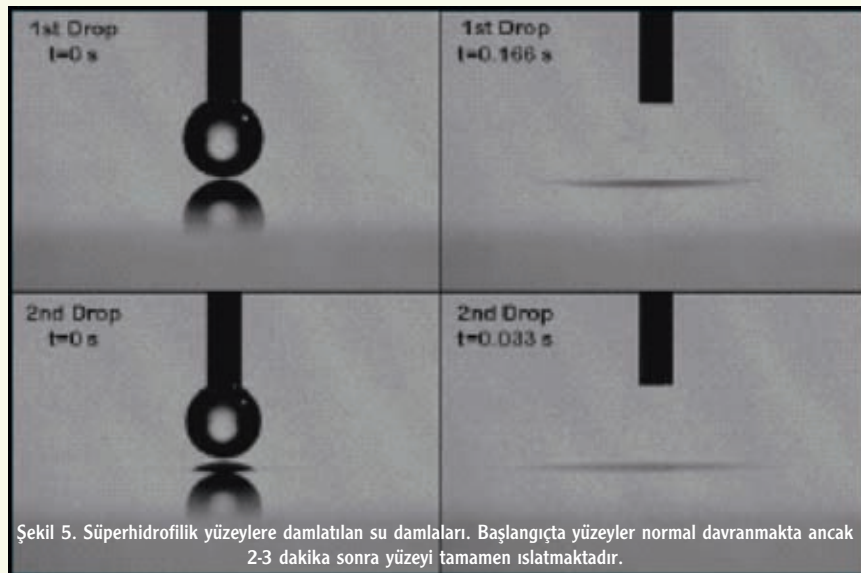
Şekil 1. Süperhidrofobik bir yüzeyin kayan bir su damlacığı ile temizlenmesini gösteren diagram.



Şekil 4. Sulu çözeltiden tabaka-tabaka kaplama yöntemi.

yüvarlanarak uzaklaşmasını sağlayarak buğulanmanın oluşması engellenmektedir.

Bu bağlamda “Layer-by-Layer Deposition” diye adlandırılan tabaka-tabaka kaplama yöntemiyle hazırlanan yüzeylere kontrollü işlevsellik kazandırmak için sıkça kullanılan bir hazırlama yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır. En basit uygulamasında, sulu çözeltilerde üzerlerinde çok sayıda yüklü gruplar içeren biyo veya makro-moleküllerin (örneğin pozitif yüklü kuaternerli amin grupları, $-NH_3^+$ içeren bir polimer-polikasyon), zıt yüklü hazırlanmış yüzeylere (negatif yüklü silikon, cam veya mika) elektrostatik güçlerle tutunmasını sağlayarak birinci tabakanın oluşumu gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucunda yüzey, başlangıçtaki yüke zıt olan yük içermektedir (yukarıdaki örnekte pozitif) ve diğer yüklü bir polielektrolit çözeltisine (yukarıdaki örneğe göre negatif yüklü polisülfon grupları, $(-SO_3^-)$ içeren bir polimer-polianyon) daldırıldığında ikinci tabaka aynı şekilde güçlü elektrostatik etkilerle bağlanabilmektedir. Bu şekilde devam edildiğinde Şekil 4’te gösterildiği gibi yüzeyler pozitif-negatif-pozitif-negatif... tabakalardan oluşan 4-60 katman ile kaplanabilmektedir.^{3,4} Bu kaplamalar yüzeylerin fonksiyonlarını kontrollü bir şekilde değiştirme imkanı sağlayarak, yüzey özellikleri açısından neredeyse sonsuz seçenek sunulabilmektedir.



Suyu Çokseven (Süperhidrofilik) Yüzeyler

Suyu çok seven yüzeyler hidrofilik olarak sınıflandırılırlar. Bu tip yüzeyler genellikle yüklüdür ve yapılarındaki polar grup sayesinde su moleküllerini çekerler. Bu mekanizmayı anlamak için kısaca suyun yapısına bakmak gerekir. Su, iki tane hidrojen ve bunlara bağlı bir oksijen atomu sayesinde üçgen bir yapıya sahiptir. Oksijen eksi yüklü, hidrojen ise pozitif yüke sahiptir. Böylelikle, su molekülleri birbirine hidrojen bağlarıyla bağlıdır. Maddelerin hidrofilik özelliklerinin endüstride pek çok önemli kullanım alanları vardır. Bunlardan bir tanesi hidrofilik membranlardır. Bu membranlar su moleküllerini çekerken, diğer polar olmayan molekülleri, yağ, gres vb. iterek temiz bir yüzey sağlarlar. Hidrofilik yüzeylerin diğer kullanım alanlarına, kontak lens temizleyicileri, ıslak mendil ve çocuk bezleri örnek olarak gösterilebilir.

Cam yüzeylerinin negatif yüklü ve boyutları yaklaşık 10 nm olan silika (SiO_2) nanoparçacıkları ve uygun bir polikasyonla [poli(allilamin-hidrojen klorür) veya kısaca PAH] ile 14 tabaka kaplandıktan sonra kararlı ve süperhidrofilik bir yüzey elde edildiği, 2006 yılındaki bir yayınlarda Rubner ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir (Şekil 5).⁵

Suyu Hiçsevmeyen (Süperhidrofobik)Yüzeyler

Suyu sevmeyen yüzeyler de hidrofobik yüzeyler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Suyun yüzeye temas açısının büyüklüğü yüzeyin hidrofobik veya hidrofilik olmasının bir ölçütüdür. Bu bağlamda, değme açısı arttıkça yüzeyin suyu sevmeme özel-

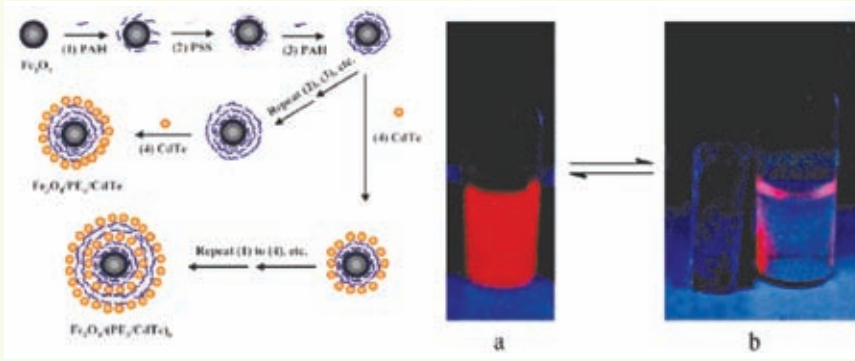


liğide artmakta ve süperhidrofobik bir yüzey olma yönünde yol alınmaktadır. Temas açısını etkileyen iki önemli faktörden bir tanesi yüzey pürüzlülüğü diğeri ise yüzey gerilimidir. Suyu seven ve sevmeyen iki cam yüzey Şekil 6’da gösterilmektedir.

Benzeri şekilde Rubner ve arkadaşları yine silika (SiO_2) nanoparçacıkları, PAH polikasyonu ve poly(akrilik asit) PAA polianyonunu tabaka-tabaka kaplayarak elde ettikleri yüzeyleri daha sonra yarıflorlanmış silan ile kaplayarak bu defa da süperhidrofobik bir yüzey elde edilebildiğini göstermişlerdir (Şekil 7).⁶

Manyetik ve Lümünesans Özellikleri olan Nanoparçacıklar

Aynı şekilde polikasyon olarak PAH ve polianyon olarak poli(styrene sulfonat) PSS kullanarak Fe_3O_4 manyetik nanoparçacıklar ve CdTe kuantum noktaları da içeren ve böylelikle hem manyetik hem de lümünesans özelliği olan nanoparçacıkların hazırlanabildiği gösterilmiştir (Şekil 8).⁷ Şeklin ikinci kısmında gösterildiği gibi mıknatıs yaklaştırıldığında ışıyan nanoparçacıklar çözelti içerisinde mıknatısa doğru çekilmektedir.

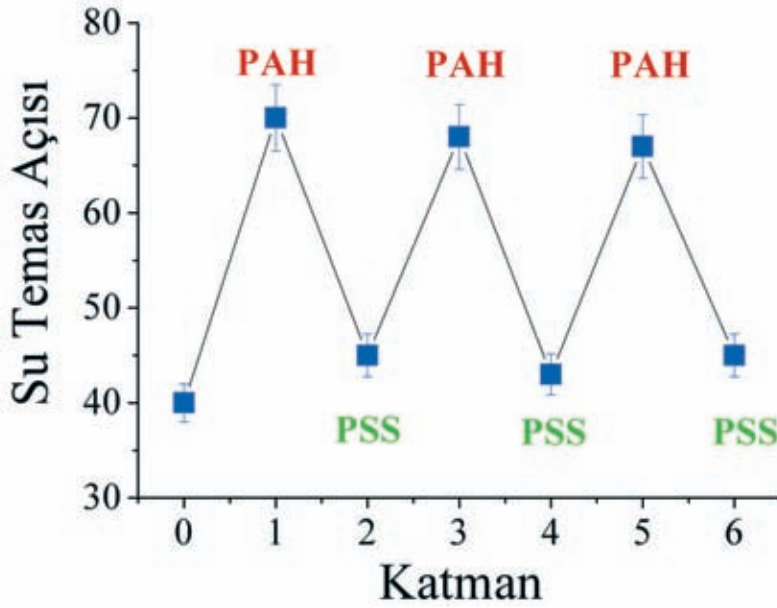


Şekil 8. Manyetik ve luminesans nanoparçacıklar ve tabakaların fotoluminesansları.

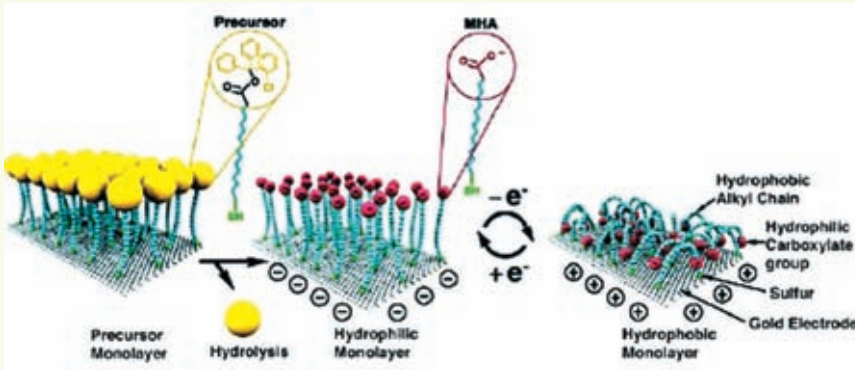
Suyu Sevme/Sevmeme Özelliklerinin Elektrikle Kontrolü "Electrowetting"

Bizim bu konuda şimdiye kadar yaptığımız çalışmalar da benzeri şekilde hazırladığımız yüzeylerin suyu sevme veya sevmeme özelliklerinin polielektrotlarla kaplanmasını bir adım daha ileri götürerek bu yüzeylerin elektrik alanı ile suyu sevme veya sevmeme özelliklerinin daha iyi bir şekilde kontrolü "Electrowetting" ve böylece daha

da akıllı yüzeyler elde edilmesi üzerinedir.⁸ 4. sınıf kimya bölümü öğrencilerimizden Can Pınar Çöngör'in 5 nm oksit tabakası içeren silikon üzerine sırayla PAH ve PSS polielektrolitler kapladığında, Şekil 9' da görüldüğü gibi su ile yüzey temas açısı 70 dereceden 30'a düşüp tekrar çıkmaktadır ve dolayısı ile yüzeyleri önce suyu sevmeyen ve sonra da seven şeklinde kontrol edebilmekteyiz. Bir sonraki aşamada da bu yüzeyleri elektrik alanı uygulayarak daha da akıllı bir konuda kontrol edebilir hale getireceğiz.



Şekil 9. 5 nm oksit tabakası içeren silikon yüzeyinin su ile yaptığı temas açısının PAH ve PSS tabakaları ile kaplandıkça değişimi. Her kaplamadan sonra yüzey Suyu Seven-Sevmeyen Konumunu değiştirmektedir.



Şekil 10. Elektrik alanı altında eğilip-doğrulan moleküller yüzeyleri suyu seven-sevmeyen konumuna getirmektedir.

Benzeri bir çalışma 3 yıl önce dünyaca ünlü Science dergisinde yayınlanmıştır ve özeti şekil 10'da verilmektedir. Altın elektrot üzerine tek tabaka olarak negatif yüklü bir grup içeren uzun hidrokarbon zincirli bir molekülle kaplandığında yüzey suyu seven bir özellik göstermektedir. Altın tabakası pozitif olarak yüklendiğinde ise en dıştaki negatif yüklü gruplar içeriye doğru bükülmekte ve dolayısı ile yüzey hidrokarbonca zenginleşmekte ve hidrofobik hale dönüşmektedir. Yükleme ortadan kalkınca yüzeyler tekrar hidrofilik olmakta ve bu yükleme-boşalma işlemi tekrar tekrar yapıldığında yüzey kolayca ve kontrollü bir şekilde bir konumdan diğerine geçmektedir.⁹

Özet

En basit daldırma çıkartma yöntemi bile bize yüzey özelliklerini çok akıllı bir şekilde ve nanometre boyutlarında kontrolünü sağlayabilmektedir. Elektrik alanı ise bu Yüzeyleri Daha da Akıllı yapmaktadır. Yaşasın Akıllı Kimya.

Ulusal Nanoteknoloji Merkezi Projesi UNAM ve Yüzeyler

Ağırlıklı olarak Bilkent Üniversitesi öğretim üyelerinden ve Türkiye'nin başka Üniversitelerinde veya şu anda ABD'de bulunan konularında çok saygın bilim adamlarından oluşan bir bilim ordu-su ile Nanoteknoloji Kullanarak Akıllı ve İşlevli Yüzeylerin Oluşturulması ve Uygulamaları başlığı altında 4 ayrı araştırma projesi yürütmeyi planlamaktayız. Proje ekibimiz, Prof. Dr. Salim Çıracı, Prof. Dr. Atilla Aydınli, Doç. Dr. Ömer Dağ, Doç. Dr. Ahmet Oral, Doç. Dr. Oğuz Gülseren, Y. Doç. Dr. Erman Bengü, Y. Doç. Dr. Emrah Özensoy, Y. Doç. Dr. Mehmet Bayındır, Dr. Gülay Ertas ve Dr. Aykutlu Dane'ye ek olarak ABD Argonne Laboratuvarından sürtünmeyi sıfıra indiren bilim insanı olarak tanınan Dr. Ali Erdemir ve Koç Üniversitesinden Prof. Dr. İskender Yılğör'den oluşmaktadır. Projemiz faaliyetlerimiz dört farklı koldan yürütülecek olan ve aşağıda sıralanan dört ayrı alt-projeden oluşmaktadır.

- I. Suyu Sevmeyen/Anti-Fouling yüzeylerin ve teknolojik boyaların geliştirilmesi.
- II. Katalitik ve fotokatalitik yüzeylerin geliştirilmesi
- III. Sert ve koruyucu yüzeylerin geliştirilmesi
- IV. Sürtünmeyi azaltan akıllı ve işlevli yüzeylerin geliştirilmesi

Prof. Dr. Şefik Süzer
Bilkent Üniversitesi, Kimya Bölümü Başkanı
ve UNAM Yönetim Kurulu Üyesi

Kaynakça

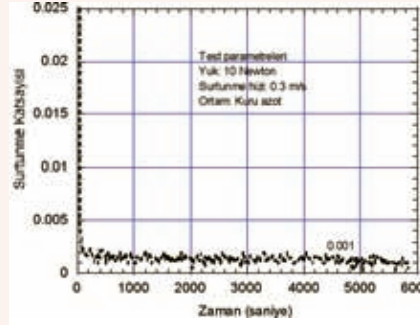
- [1] A. W. Adamson, "Physical Chemistry of Surfaces", Wiley, New York, (1990).
- [2] H.Y. Erbil, L.A. Demirel, Y. Avci, O. Mert, Science 299, 1377 (2003).
- [3] G. Decher, Science 277, 1232 (1997).
- [4] G. Decher, J.B. Schlenoff, Multilayer Thin Films, Wiley-VCH, Weinheim (2003).
- [5] F.C. Cebece, Z. Wu, L. Zhai, R.E. Cohen, M.F. Rubner, Langmuir 22, 2856 (2006).
- [6] L. Zhai, F.C. Cebece, R.E. Cohen, M.F. Rubner, Nano Letters 4, 1349 (2004).
- [7] X. Hong ve arkadaşları, Chem. Mat. 16, 4022 (2004).
- [8] B. Shapira, H. Moon, R. Garrell, C.J. Kim, J. Appl. Phys. 93, 5794 (2003).
- [9] J. Lahann, S. Mitragotri, T.N. Tran, H. Kaido, J. Sunaram, I.S. Choi, S. Hoffer, G.A. Somorjai, R. Langer, Science 299, 371 (2003).

SÜPERKAYGANLIK VE SÜRTÜNME SİZ YÜZEYLER

Sürtünme, temas halindeki katı cisimler arasında kaymaya karşı direnç olarak tanımlanabilir. Bilinen bütün fiziksel olgular arasında, sürtünme çok özel ve önemli bir yer taşır. Günlük yaşamımızda sürtünme ile hemen her an içiçe olmamıza rağmen, onu ve önemini hiç düşünmeyiz bile. Sürtünmesiz ayakta durabilmek veya yürüyebilmek imkansız olurdu. Dolayısı ile bazı durumlarda sürtünmeye çok ihtiyacımız olduğu gibi, her gün kullandığımız araba ve öbür motorlu taşıt araçlarda da sürtünmenin çok aşırı mertebelerde olmasını arzu ederiz. Üzerinde asırlardır çalışılmasına rağmen, henüz sürtünmenin sırrı bütün yönleri ile tamamen anlaşılmış sayılamaz.

Sürtünmenin endüstri ve çevreye olan olumsuz etkileri tasavvur edilemeyecek kadar büyüktür. Bugün, endüstrilemiş ülkelerde, yıllık gayri safi milli hasılasının yaklaşık %5 kadarına yakın bir kısmının motorlu araçlar ve öbür hareket halinde olan mekanik sistemlerdeki sürtünme yüzünden kaybolduğu tahmin edilmektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletlerinde, bu kaybın yaklaşık 500 milyar dolar civarında olduğu düşünülmektedir. Sürtünme dolaylı yollarla hava ve çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Sürtünmeyi yenmek için harcanan yakıt enerjisinden kaynaklanan karbon dioksit ve öbür zararlı gazlar direkt olarak atmosfere salıverilmekte ve bunlarda atmosferdeki hem sera gazlarının artmasına hem de ekolojideki bozulmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, motorlu araçlar ve öbür mekanik sistemlerde, sürtünmeyi mümkün olan en düşük değerlere indirecek teknolojilere acilen ihtiyaç vardır. Aksi takdirde, gün geçtikçe daha da azalan ve yenilenmesi veya yerinin doldurulması kısa zamanda pek mümkün gözükmeyen fosil-bazlı enerji kaynaklarının tamamen tükenmesini önlemek mümkün olamayacaktır.

Sürtünme konusunda yapılan bilimsel araştırmaların tarihçesi oldukça eskidir. Ancak, geçen 20 yıl içerisinde bu çalışmalar büyük bir ivme kazandı. Çok hassas ölçüm aletleri, bilgisayar destekli modelleme imkanları ve deneysel alanlarda elde edilen teknolojik gelişmeler sayesinde sürtünmeye sebep olan faktörler çok daha iyi anlaşılmağa başlandı. Bu çalışmalardan elde edilen bilgiler, sürtünmesiz yüzeylerin simülasyon yoluyla tasarımı ve gerçekleştirilmesine olanak tanıdı. Bilhassa, atomal kuvvet ve titreşimli tünelleme mikroskopları (AFM ve STM) sayesinde, sürtünme atomik ölçeklerde bile incelenebilir bir hale geldi. Bunlara ek olarak, hızı, hafızası, ve kapasitesi çok yüksek olan süper bilgisayarlar sayesinde, atomik ölçütlerde sürtünen yüzeylerin modelleri kolaylaştı ve hangi şartlar altında sürtünmenin neredeyse sıfır mertebelerine kadar indirgenebileceği tahminleri yapıldı. Bu simülasyonları takip



Şekil 1. Neredeyse sürtünmesiz karbon kaplama ile yapılan deney sonucunu gösteren sürtünme diyagramı

eden deneysel çalışmalarda ise, gerçekten tahmin edilen şartlar altında sürtünmenin tamamen yok olabileceği ispatlandı.

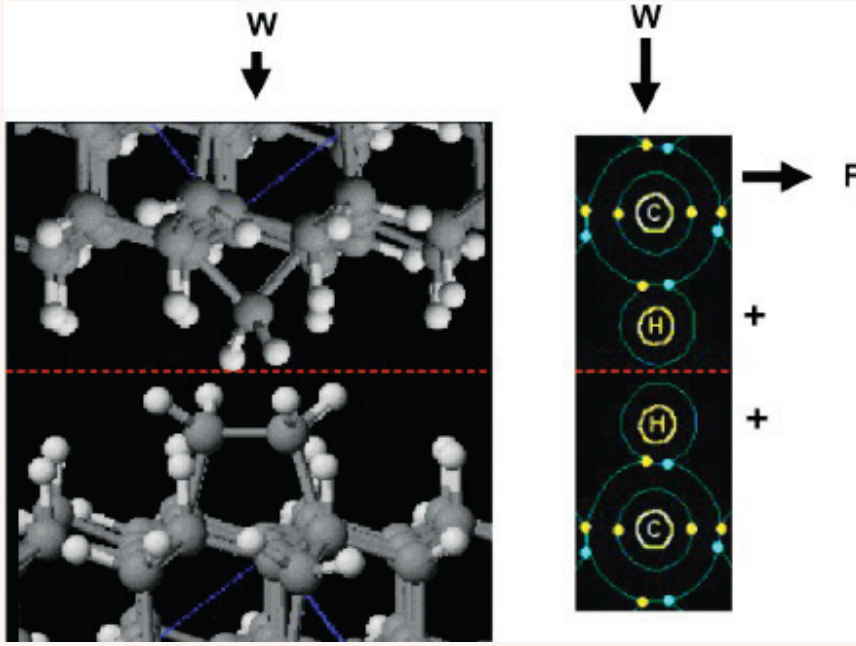
Aslında "süperkayganlık" kelimesi ilk defa Prof. Dr. Hirano tarafından hangi şartlar altında sürtünmesiz kayma elde edilebileceğini tanımlamak için kullanılmış bir terimdir [1]. Tarihsel açıdan, süperkayganlık konusunda ilk teorik çalışmalar 1980'li yılların son çeyreğinde başlamıştır. İlk çalışmalar, Prof. Dr. Jeffrey Sokoloff ve Motohisa Hirano'ya aittir [1,2]. Teorik olarak, bu bilim insanları, süperkayganlığın çok zayıf kuvvetlerle ilişki halinde olan yüzeylerde ve atomal mertebede uyumsuz temas durumlarında elde edilebileceğini tahmin etmişlerdir. Daha sonra yapılan deneysel çalışmalarda da, birbiri ile atomal mertebede uyumsuz bir temas halinde olan grafit ve silikon yüzeylerinde gerçekten sürtünmenin neredeyse sıfıra kadar düşebildiği deneysel olarak ispatlanmıştır [3,4]. Bu konuda, daha sonra çalışmaya başlayan bilim insanları da, süperkayganlığın birtakım başka madde veya malzemelerde de mümkün olduğunu göstermişlerdir. Bu maddelerde de, süperkayganlık ancak atomal mertebede uyumsuz temas durumlarında mümkün olabilmektedir ve bu maddelerin hemen hepsi katmanlı yapılara haiz grafit, molibden sülfür, veya mikadan oluşmaktadır. Süperkayganlık için özel kristal yapı ve kayma yönü gereksinimi dolayısı ile, bu tür bulgulara yapısal veya yapıya haz süperkayganlık ismi de verilmiştir [5]. Bilimsel açıdan bu tür bulgular çok büyük öneme haiz olmasına rağmen, pratik uygulama bakımından henüz hiç bir varlık gösterememiştir ve şu ana kadar da bu bulgulara dayalı pratik bir sistem henüz mevcut değildir.

Geçen 20 yıl esnasında, elmas ve elmasa benzer karbon kaplamalar hem bilimsel hem de endüstriyel açıdan çok büyük bir ivme kazandı. Bu kaplamalar, genellikle kimyasal buharlaştırma yöntemleriyle karbon içeren hidrokarbon gazlarından (örneğin metan veya asetilen) elde edilmektedir. Bu konudaki yoğun çalışmalar sa-

yesinde, bilim insanları çok ilginç kaplama türleri keşfettiler ve şu anda da bu kaplamalar yaygın bir biçimde kullanılmaktadır [6]. Bilhassa, elmasa benzer karbon kaplama konusunda şu anda çok değişik türler mevcuttur. Elmas ve elmasa benzer karbon kaplamaların en yoğun araştırıldığı bilim merkezlerinden birisi de ABD'nde Chicago şehri yakınındaki Argonne National Laboratory olmuştur. Burada sistematik olarak sürdürülen bilimsel çalışmalar sayesinde, yüksek hidrojen ihtiva eden hem yapısal hem de kimyasal açıdan optimize edilmiş bir elmasa benzer karbon kaplamanın çok ağır sürtünme şartları altında bile sürtünme katsayısını neredeyse sıfır (örneğin 0.001) mertebelerine indirebileceği ispatlanmıştır [7]. 1998 yılında, bu başarı hem R&D-100, hemde Discover Magazine Ödüllerine layık görülmüş, bilim çevrelerinde de çok büyük yankılar uyandırmıştır. Sürtünme katsayısının neredeyse sıfıra yakın olması dolayısı ile de, bu kaplamaya neredeyse sürtünmesiz karbon kaplama (veya "near-frictionless carbon") ismi verilmiştir. Şekil 1 bu kaplamanın sürtünme katsayısını gösteren bir diyagramdır.

Bu tür özelliklere sahip olan yeni maddelerin sentezi ancak denge-dışı ve süperkritik plazma ortamlarında elde edilebilmektedir. Karbonbazlı katı maddelerde, sürtünmenin ana kaynaklarından bazıları çok kuvvetli kovalent bağlardan kaynaklanmaktadır. Süperkayganlık için, bu bağların tamamen yok edilmesi şarttır. Şayet bu yapılmamış ise, bu bağlar sürtünme esnasında sürtünen yüzeyler arasında çok kuvvetli bağlar oluşturup, kaymayı zorlaştırmaktadır. Bu bağları yok edebilmenin en kolay yollarından birisi, bu kaplamaların içine ve sürtünen yüzeylerine gerektiği kadar hidrojen temin etmektir. Hidrojen, karbon ile çok kolay reaksiyona girer, ve ona çok kuvvetli bağlar ile bağlanır. Bu kovalent bağların ortadan kaldırılması da sürtünen yüzeyleri kimyasal açıdan çok duyarlı bir kıvama getirir ve bu tür yüzeyler, sürtünme esnasında kimyasal bağ oluşturmayaacağı gibi, aşağıdaki şekilde de (Şekil 2) gösterildiği gibi pozitif bir elektrik yük de kazanır [8]. Temas haline getirilen iki pozitif yüklü yüzey de doğal olarak birbirini çekme veya bağlanma yerine birbirini itme özelliğine kavuşur. Bu tür yüzeyleri hidrojen ile doyurulmuş ve temas etmeleri için birbirlerine iyice yaklaştırılmış iki elmas yüzeylerin bilgisayar destekli simülasyonlarında da bu tür yüzeylerin gerçekten 2 angstromdan daha fazla yaklaştırılmaları halinde çok büyük itici güçlerin ortaya çıkacağı gösterilmiş ve şayet bu tür yüzeyler birbirlerine karşı sürtünmeye zorlandığı durumlarda da çok düşük sürtünme katsayılarının elde edilebileceği ortaya çıkmıştır [9].

Kısacası, sürtünmesiz yüzeylerin tasarım ve



Şekil 2. Sürtünme katsayısı neredeyse sıfır'a yaklaşan karbon kaplamaların atomik ölçetlerdeki yüzey kimyası. Beyaz atomlar hidrojeni, gri atomlar da karbonu temsil etmektedir. Sağdaki diyagramda bu yüzeylerin pozitif bir şarja haiz olduğunu ve dolayısı ile birbirlerini iteceğini ima etmektedir. W, uygulanan yükü; F ise sürtünmeden kaynaklanan kuvveti temsil etmektedir [8].

gerçekleştirilmesi enerji tasarrufu bakımından çok büyük bir öneme sahiptir. Bu konuda, geçen 20 yıl esnasında çok kayda değer gelişmeler kaydedildi. Ancak, bu tür yüzeylerin geniş çaplı ve endüstriyel anlamda hayata geçirilebilmesi için bir takım zorlukların yenilmesi gerekmektedir. Sürtünme, bir yüzeyde düşünülebilecek olgulardan sadece bir tanesini teşkil etmektedir. Sürtünmenin yanında, bir yüzeyin mekanik ve triboljik açılarından bekleneni verebilmesi için, öbür yüzey özelliklerinde (örneğin, sertlik, pürüzlülük, kimyasal yapı vs.) ideal olması gerekir. Bunların yanında, ayrıca kullanılan ortamın kimyasal bileşimi ve sıcaklığı da göz ardı edilmemelidir. Kısacası, her türlü problemi her

türlü şartlar altında çözebilecek bir madde henüz bulunmamıştır. Ancak, belirli malzemelerin belirli koşullar altında performansı artırıcı, verimi yükseltici ve ömrü uzatıcı kabiliyetleri vardır. Bu yukarıda sözünü ettiğim elmasa benzer karbon kaplamada bu maddelerden birisidir. Örneğin, kuru azot veya vakum ortamlarında sürtünme katsayısı 0.01'in altında iken, rutubetli veya oksijen ihtiva eden ortamlarda bu sürtünme katsayısı birkaç misline çıkabilmektedir. Yağlı ortamlarda ise, yağın viskozitesine bağlı olarak 0.03 ile 0.1 mertebelerinde sürtünme katsayısı sağlayabilmektedir. Kısacası, hiç unutulmaması gereken bir husus, bu sürtünmenin bir malzeme veya kaplama özelliği değil

de, bir sistem özelliği olduğudur. Sürtünmenin oluştuğu ortamın kimyasal ve fiziksel özellikleri, yüzey parametreleri, malzemenin sertliği vs. sürtünmeyi ciddi bir şekilde etkiler.

Özet olarak, sürtünme gerçekten çok kapsamlı bir konu ve ilginç bir fiziksel olgudur. Onu kontrol edebilmek, ancak onu çok daha iyi bir şekilde anlamakla mümkün olabilecektir. İnsanoğlu, dünyaya geldiği andan itibaren devamlı hareket halinde olmuştur ve bir yerden bir başka yere gidebilmek için de devamlı birtakım yeni araçlar icat ederek daha konforlu, daha hızlı seyahat edebilenin yollarını araştırmıştır. Hiç şüphesiz, bu eğilim 21. yüzyılda da devam edecektir. Enerji kaynaklarının gittikçe daha da azaldığı bir zaman diliminde, bizlerin gerçekten sürtünmeyi yakın bir takibe alıp, onu daha iyi nasıl kontrol edebiliriz, hatta tamamen nasıl ortadan kaldıracabiliriz, sorularına cevap vermemiz gerekmektedir. Sürtünme ve süperkayganlık konusunda geniş çaplı bilgi edinebilmek için birçok makale ve kitaplar mevcuttur. Bu konuyu en iyi bir şekilde işleyen bilimsel bir kitapta şu günlerde basılmak üzeredir [10].

Prof. Dr. Ali Erdemir

Argonne National Laboratory
Energy Systems Division Argonne, Illinois ABD
Ulusal Nanoteknoloji Merkezi Yüzey Çalışma
Grubu
Bilkent Üniversitesi

Kaynakça:

1. J. B. Sokoloff, PRB 42 (1990) 760.
2. M. Hirano ve K. Shinjo, PRB, 41 (1990) 11837.
3. M. Hirano, K. Shinjo, R. Kaneko, ve Y. Murata, PRL, 78 (1997) 1448.
4. C. M. Mate, G. M. McClelland, R. Erlandsson, ve S. Chiang, PRL, 59 (1987) 1942.
5. M. H. Muser, Europhys. Lett., 66 (2004) 97.
6. A. Erdemir ve C. Donnet, Tribology of Diamond, Diamond-like Carbon And Related Films in "Handbook of Modern Tribology", CRC Press, 2001, pp.871-899.
7. A. Erdemir, O. L. Eryilmaz, ve G. Fenske, J. Vac. Sci. Technol., A18 (2000) 1987.
8. A. Erdemir, Surf. Coat. Technol., 146 (2001) 292.
9. S. Dag ve S. Ciraci, Phys. Rev. B, 70 (2004) 241401.

ULTRA-SERT, BOR İÇEREN KORUYUCU KAPLAMALAR

Cisimler dış dünya ile yüzeyleri vasıtası ile etkileşime girerler, ve genelde bu kural canlılar içinde geçerlidir. İnsanın Ay yolculuğu macerası Ay toprağına ayak basmadan önce Ayın yüzeyinin binlerce fotoğraflarının çekilmesi ve tetkiki ile başlamıştır. Aksine, insanların atomların dünyasını tanıması ise direkt olarak cisimlerin hacimsel (bulk:oylum, hacim) yapılarını ve davranışlarını gözlemleyerek olmuştur. Bu tezati ünlü fizikçi Wolfgang Pauli yüzeylerin ancak şeytanın yaratabileceği kadar

karmaşık, yanıltıcı ve anlaşılması zor sistemler olduğunu ima eden bir şikayet ile açıklamaya çalışır.

Yüzeylerin alışla gelenden farklı karakterleri bazen bilim ve teknolojinin yararına kullanılabilirken, üstün katalitik özellikleri gibi, diğer yönden de son derece yıkıcı ve aşılması güç sorunlar olarak ekonominin ve endüstrinin önüne çıkabilmektedir. Buna en canlı örnek olarak birbirleriyle etkileşimde olan hareketli iki yüzeyin aşınması, sürtünmenin yol açtığı

aşırı ısınma, oksidasyon ve korozyona dayalı olarak malzemelerin bozunması gösterilebilir.

Dr. Peter Jost ve ekibi 9 Mart 1966'da İngiliz hükümetine sundukları, bugün 'The Jost Report' ismi ile anılan raporda sürtünme, korozyon ve aşınma kaynaklı kayıpların İngiltere ekonomisine yıllık maliyetinin gayri safi milli hasılanın (GSMH) %4'ü kadar olduğunu belirtmişlerdir (1). İzleyen 10 yıl içinde benzer çalışmalar A.B.D., Almanya, Kanada ve diğer sanayileşmiş ülkelerde tekrarlanmış, önleyici



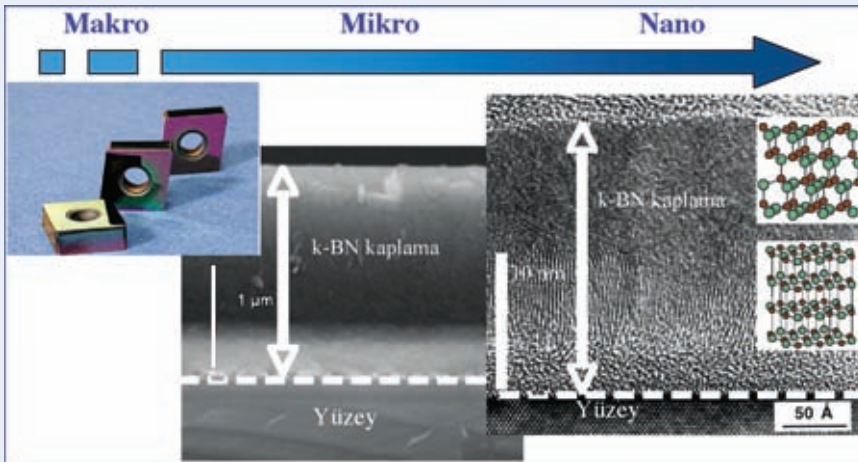
Şekil 1: : Koruyucu kaplamalar uygulandığı yüzeyleri çeşitli dış etkenlere karşı koruma görevi üstlenirler. Sert koruyucu kaplamalar günümüzde sabit disklerden, kesici-delici uçlara ve denizaltı periskoplarına kadar geniş uygulama alanları bulmaktadır.

tedbirler alınması ve yeni dayanıklı yüzeyler geliştirilmesi sayesinde kayıpların bir kısmının önlenilebileceği kanıtlanmıştır.

Koruyucu kaplama teknolojisi, yüzeylerin korunması ve bozunmanın önlenmesi için geliştirilen yöntemlerden en basitidir. Bozunmaya dayanıklı bir malzemenin iki boyutlu ince tabaka halinde korunması gereken yüzeylerin üzerine kaplanması sureti ile yeni ve daha dayanıklı bir yüzey elde edilmektedir. Metal yüzeylerin korozyona karşı boyanması, bakır tencereilerin kalaylanması, veya alüminyum yüzeylerin anodizasyonu gibi işlemler bu tekniğin en basit ve yaygın örnekleri olarak gösterilebilir. Günümüzde yüksek teknolojinin girdiği alanlar genişledikçe yüzey sorununun bir yüzü olan aşınmaya dayanıklılık ve sert kaplamalar konusu gittikçe önem kazanmaktadır. Sert kaplamaların uygulama alanları kalça, diz ve diğer eklem protezleri, jet motorları, sabit diskler, talaşlı imalatla kullanılan delici/kesici/aşındırıcı uçlar, silindir ve piston gövdeleri, rulman yatakları gibi çok geniş bir yelpazeyi kapla-

maktadır (Şekil 1). Sert kaplamaların endüstriyel rolünü ve önemini anlamamız için şu örneğe dikkat etmemiz lazımdır: Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı (DOE) yeni malzemeler araştırma bütçesinin %59'unu bozunmaya dayanıklı (aşınma, sürtünme, korozyon vb.) malzemelere ayırırken, bunun içinden sert koruyucu kaplamaların araştırılmasına ayıracağı payı %26 olarak açıklamıştır (2). Aynı çalışmada ultra-sert (> 40 GPa), aşınmaya dirençli nano-kristal kaplamaların geliştirilmesi ile yakın gelecekte senede 2.4 milyar dolarlık enerji kaybının önlenmesi hedeflenmektedir.

Son zamanlarda bu konu üzerine yoğunlaşan çalışmalar bor-karbon-azot (B-C-N) üçlü sistemini yaygın endüstriyel kullanıma elverişli ultra-sert ve aşınmaya dirençli kaplamalar yönünden yüksek potansiyele sahip göstermektedir. Özellikle, ülkemizin düşük bir katma değerle yurtdışına sattığı bor madeni daha sonra yurtdışından yüksek maliyetle saflaştırılmış ileri teknoloji ürünü bor içeren bileşikler veya sistemler olarak geri satın aldığını düşünürsek



Şekil 2: Kübik-BN koruyucu kaplamaların endüstriyel uygulamalar için uyarlanması için yapılan araştırmalar makro ve mikro seviye ile yeterli kalmayıp nano boyutlarda da yürütülmelidir. Endüstriyel uygulamaların önündeki engeller çoğu kez sistemlerin atomik boyutlarda gözlenmesi ile çözülebilmektedir. (Makro ve mikro boyut resimler Fraunhofer Enstitüsün Web sitesinden alınmıştır, nano boyutlu resim D.J. Kester v.d. J. Mater. Res. 8, 1213 (1993) makalesinden alınmıştır.)

bu çalışmaların önemini daha sıkı kavrayacağımız aşîkar.

B-C-N sisteminde en popüler kaplamalara örnek olarak kübik-bor nitrür, (k-BN) kaplamalar verilebilir. Şekil 2'de k-BN kaplamaların makro, mikro ve nano boyutlarda yapıları sergilenmektedir. K-BN kaplamalar endüstride günümüzde yaygın olarak kullanılan koruyucu kapmalardan titanyum nitrür (TiN) ve elmasbenzeri-karbon (DLC) gibi kapmalardan 2-3 kat daha sert ve 10 kat daha üstün aşınma direnci göstermektedir. Ancak bu yüksek potansiyele karşın k-BN'ün sentezlenmesinde varolan sorunlar endüstriyel uygulamalarını ciddi bir şekilde kısıtlamaktadır. Bu sorunların aşılması için yazıda daha önce bahsedildiği üzere gelişmiş ülkelerde çok ciddi ve yüksek bütçeli çalışmalar finanse edilmektedir.

Söz konusu çalışmalarda kaplamaların sentezlenmesi sırasında geçen olaylar atom seviyesinde çözümlülük sağlayan taramalı tünelleme mikroskobu (STM) ve geçirimli elektron mikroskobu (TEM) kullanılarak atomlar seviyesinde gözlemlenmektedir. (Şekil 2'de k-BN kaplamalarda atomların dizilimlerini gösteren bir TEM resmi görülmektedir). Bu tekniklerden elde edilen veriler kullanılarak yüksek kalitede ve istenilen özelliklere sahip kaplamaların üretebileceği fiziksel ve kimyasal ortamlar araştırılmaktadır. Bunun dışında bu tür tekniklerin sentez metotları ile eş-zamanlı kullanımı ile büyüme mekanizmalarına anında müdahale mümkün olmaktadır. Daha önceleri denemeyanılma yolu kullanılarak deney masasından endüstriye uygulanması on yıllar süren bilimsel ilerlemeler bu tür gelişmiş teknikler kullanılarak birkaç yıl içinde gerçekleştirilmektedir.

Maliyet-fayda oranı 1:50 olarak belirlenen sert ve aşınmaya dayanıklı kaplamalar konulu araştırmalar gelişmiş ülkelerde artan bir ivme ile devam etmektedir. Hedefi elmadan daha sert ve sürtünme katsayısı hemen hemen sıfır olan kaplamaların geliştirilmesi ve endüstriye uyarlanması konulu araştırmalar sürerken Türkiye'nin bu konuya ilgisiz kalması düşünülemez. Bunun için bor içeren ultra-sert kaplamaların sentezlenmesi ve bu esnada karşılaşılan sorunları derinlemesine irdelemek, çözmek ve sonuçta bu tür kaplamaları ülkemizde endüstriyel uygulamalar için hazır hale getirilmesi yeni kurulan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde (UNAM) en önemli araştırma konularının arasında yer almaktadır. Yukarıda anlatılan kapsam dışında bu çalışmalar sırasında ülkemizde az bilinen ve uygulanan ince-kaplama karakterizasyon ve vakum çökertme teknolojileri konusunda eğitimli kalifiye eleman yetiştirmek ve endüstriye kazandırmak da UNAM'ın amaçlarından biridir.

Yrd. Doç. Dr. Erman Bengü
Bilkent Üniversitesi, Kimya Bölümü
UNAM-Ulusal Nanoteknoloji
Araştırma Merkezi

Kaynakça:

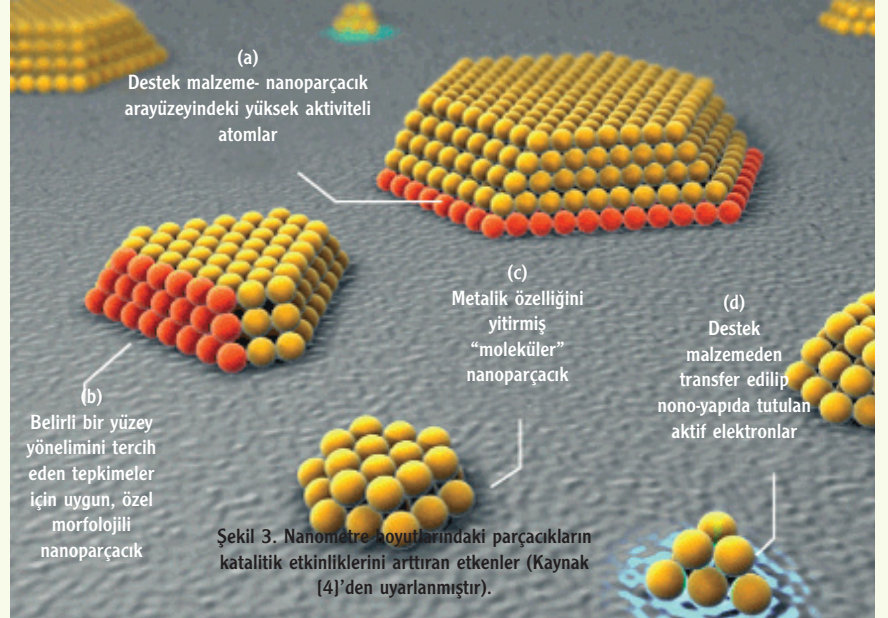
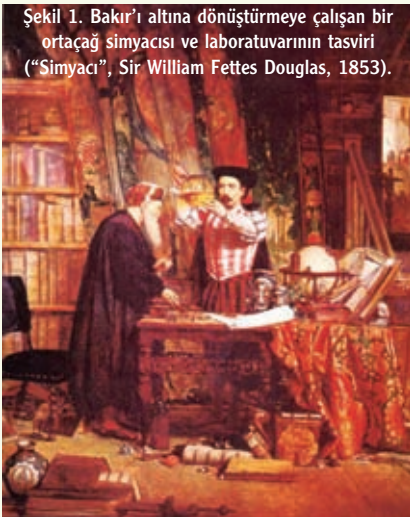
- [1] JOST, H. P.: Lubrication (Tribology) – A Report of the Present Position and Industry's Needs. Dep. Of Education and Science, H. M. Stationary Office, London 1966.
- [2] FY 2003 Budget in Review, U.S. Department of Energy, (2003).

NANO-YAPILARIN GİZEMLİ YÜZEY KİMYASI VE KATALİTİK NANO-PARÇACIKLAR

Bilindiği gibi, doğada kendi haline bırakıldığında, çok verimsiz ve yavaş yürüyen kimyasal tepkimelerin, hızlanmasını ve çok daha verimli bir şekilde yürütülmesini sağlayan maddelere katalizör adı verilir. Geleneksel olarak katalizörler, Cu, Ni, Fe, Rh ve bunların dışında birçok farklı yapıda veya kompozisyonda olabilen aktif metal/metal-oksit bileşenleri içerir. Katalizörler ile ilgili, detaylı ve belgelenmiş en eski çalışmalardan bazıları, ortaçağda yaşamış simyacılar aittir. Modern kimyanın temelini oluşturan yarı-bilimsel nitelikteki bu çalışmaların temel amacı; bakır ve demir gibi kolayca paslanan ve bu yüzden parlaklığını kaybeden değersiz metalleri, altın gibi parlaklığını hiç yitirmeyen, değerli soy metallerle dönüştürmektir (Şekil 1). Isıtma/soğutma/çözme/karıştırma gibi basit fiziksel ve kimyasal yöntemler içeren simya çalışmalarının hiçbir zaman başarılı olmayacağını anlaşılmaması için yaklaşık 1000 yıl gibi çok uzun bir zaman gerekti. Değersiz metallerin altına dönüştürülmesi için çok yüksek enerjili radyoaktif/nükleer reaksiyonların gerçekleştirilmesi gerekliliğinin keşfedilmesi, ancak 20. yüzyılın başlarında, maddenin atom ve çekirdek yapısının aydınlatılmasıyla ortaya çıktı.

Elbette, yüzyıllar süren başarısız simya çalışmaları, altının popülaritesinden hiçbir şey azaltmadı. Kimyasal olarak tepkimeye girmediği için, soy bir metal olan ve nesiller boyu hiç bozulmadan kalabilen altın metali, mücevher ve takı üretiminde en gözde malzeme olarak hep en başta yer aldı (Şekil 2). Bu nedenle altın metali, uzun yıllar boyunca katalizör hazırlama reçetelerinin hep dışında tutuldu. Ancak, geçtiğimiz bir kaç yıl içinde yapılan, çığır açıcı nitelikteki nanoteknoloji çalışmaları, altının bu makus(?) kimyasal talihini, geri dönüş olmaksızın değiştirdi. Bu nanoteknoloji çalışmalarına göre [1-3], tipik olarak yaklaşık trilyon kere trilyon (~ 10²³-24) altın atomunun bir araya gelmesiyle oluşan makroskopik miktarlardaki al-

Şekil 1. Bakır'ı altına dönüştürmeye çalışan bir ortaçağ simyacısı ve laboratuvarının tasviri ("Simyacı", Sir William Fettes Douglas, 1853).



tın, kimyasal olarak soy özellikler göstermesine rağmen; sadece birkaç bin (veya daha az sayıda) altın atomu içeren altın nanoparçacıkları, beklenmedik bir şekilde yüksek katalitik aktivite göstermekteydi. Maddenin parçacık boyutlarına bağlı, ilginç kuantum mekaniksel özelliklerinin baskın bir şekilde gözlemlenmesine izin veren bu nanoparçacıkların sıradışı yüzey özellikleri, bu parçacıkların inanılmaz katalitik aktivitelerinin altında yatan temel nedenleri oluşturmaktadır. Altın nanoparçacıklarının sıradışı yüzey özellikleri ve yüzey yapıları arasındaki ilişkilere yönelik en çarpıcı çalışmalardan birine göre [2], makroskopik yapıda metalik özellik gösteren (yani yüksek elektrik iletkenliği olan) altın; nanoparçacık olarak hazırlandığında, parçacık boyutuna bağlı olarak, yarı iletken ve hatta elektriksel olarak yalıtkan bir yapı bile sergileyebilmektedir! Yine bu çalışmada ortaya koyulan, elektronik yapı ve katalitik aktivite ara-

sındaki yakın ilişki, maddenin kimyasal davranışlarına bakışımız hakkında kayda değer temel değişikliklere sebep oldu (Şekil 3).

Nanoparçacıkların, boyutları, yüzey yapıları ve geometrileri ile katalitik özellikleri arasındaki ilginç ve sıradışı ilişkiler, yeni kurulan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde (UNAM) deneysel ve kuramsal olarak ele alınan önemli araştırma konularının başında yer almaktadır. Bu bağlamda, çok önemli iki küresel sorun olan, taşıt araçlarından kaynaklanan zararlı atıkların temizlenmesine yönelik yeni teknolojiler [5-6] ve gelecekte hidrojenle çalışan otomobillerde kullanılacak hidrojen depolama malzemelerinin [7] temini oluşturacak; nanoparçacık bazlı yeni sistemler üzerindeki çalışmalarımız Bilkent Üniversitesi Kimya Bölümü ve UNAM'da hızla devam etmektedir.

Yrd. Doç. Dr. Emrah Özensoy
Bilkent Üniversitesi Kimya Bölümü
UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi



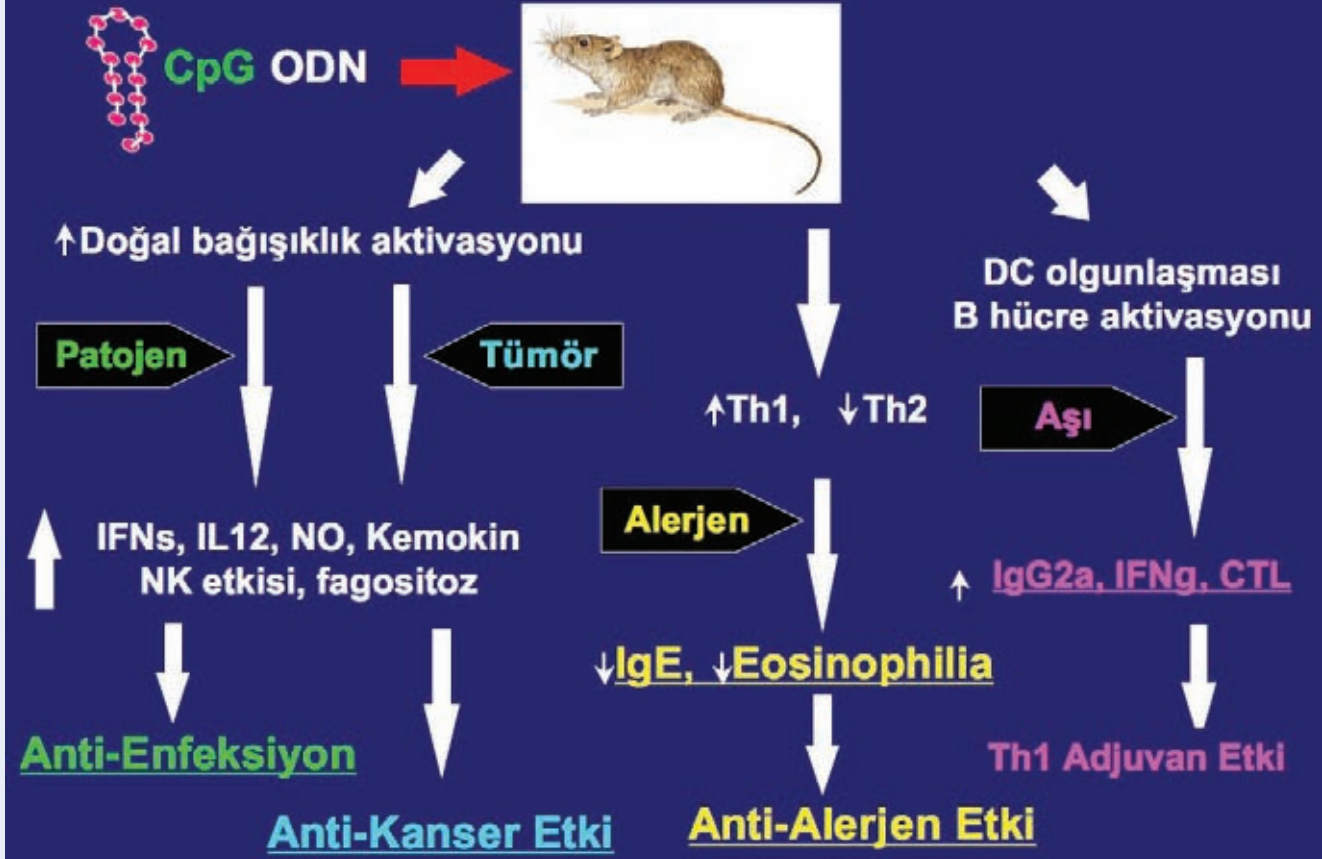
Şekil. 2. Bronz çağına ait yaklaşık 3400 yıllık bir altın takı. Bu muhteşem altın takı, 3000 yıldan uzun bir süre su altında kalmasına rağmen hala ilk yapıldığı gün ki parlaklığını ve saflığını korumaktadır (Kaş-Uluburun Batığı, Bodrum Sualtı Arkeoloji Müzesi Koleksiyonu)

Kaynakça

- 1) Chen MS, Goodman DW "The structure of catalytically active gold on titania" SCIENCE 306 (5694): 252-255 OCT 8 2004.
- 2) Valden M, Lai X, Goodman DW "Onset of catalytic activity of gold clusters on titania with the appearance of nonmetallic properties" SCIENCE 281 (5383): 1647-1650 SEP 11 1998.
- 3) Chen MS, Kumar D, Yi CW, Goodman DW "The promotional effect of gold in catalysis by palladium-gold" SCIENCE 310 (5746): 291-293 OCT 14 2005.
- 4) Cho A. "Connecting the Dots to Custom Catalysts" SCIENCE 299: 1684, 2003.
- 5) Ozensoy E, Goodman DW "Vibrational spectroscopic studies on CO adsorption, NO adsorption CO plus NO reaction on Pd model catalysts" PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS 6 (14): 3765-3778 JUL 21 2004
- 6) Ozensoy E, Peden CHF, Szanyi J, "Model NOx storage systems: Storage capacity and thermal aging of BaO/-Al₂O₃/NiAl(100)" JOURNAL OF CATALYSIS 243: AUG 22 2006
- 7) Yıldırım T, Çiraci S "Titanium-Decorated Carbon Nanotubes as a Potential High-Capacity Hydrogen Storage Medium" PHYSICAL REVIEW LETTERS 94: 175501 MAY 5 2005

NANOBIYOTEKNOLOJİDE YENİ UFUKLAR

Şema 1: CpG DNAların değişik terapötik uygulamaları



UNAM NANOBIYOTEKNOLOJİ ARAŞTIRMA BİRİMİ

Nanoteknoloji ile biyoteknolojinin birlikte gelişmesi ve moleküler biyoloji alanındaki çok hızlı bilgi birikiminin bu iki gelişen alanı beslemesiyle ortaya nanobiyoteknoloji araştırma alanı çıkmıştır. Bu sayede bugüne kadar mümkün olmayan tanı ve terapötik uygulamalar da artık insanda kullanıma yönelik daha etkin antikan- ser, anti-enfeksiyon ve anti-alerjik tedavileri geliştirmek için nanobiyoteknoloji alanında araştır- ma yapmakta olan bilim insanlarıncı geliştiril- meye başlanmıştır. Hücrelerimizdeki bir DNA molekülünün çapının 2 nm, kanda dolaşan anti- kor proteinlerinin tiplerine göre 15 ile 50 nm boyutlarında olduğunu düşünürsek, nanobio- teknolojinin, nanobilim ve tıp alanına yakın ge- lecekte getireceği yenilik ve açılımlar da ko- layca anlaşılabilir. Nanoimplantlardan akıllı ilaç salım sistemlerine, nanobiyomakinalardan, biyo- informatik ve genomik uygulamalar için DNA çiplerinin nanofabrikasyonuna, mezenkimal kök hücre bazlı organ mühendisliği uygulamaların- dan, monoklonal antikorlar ve DNA kökenli li-

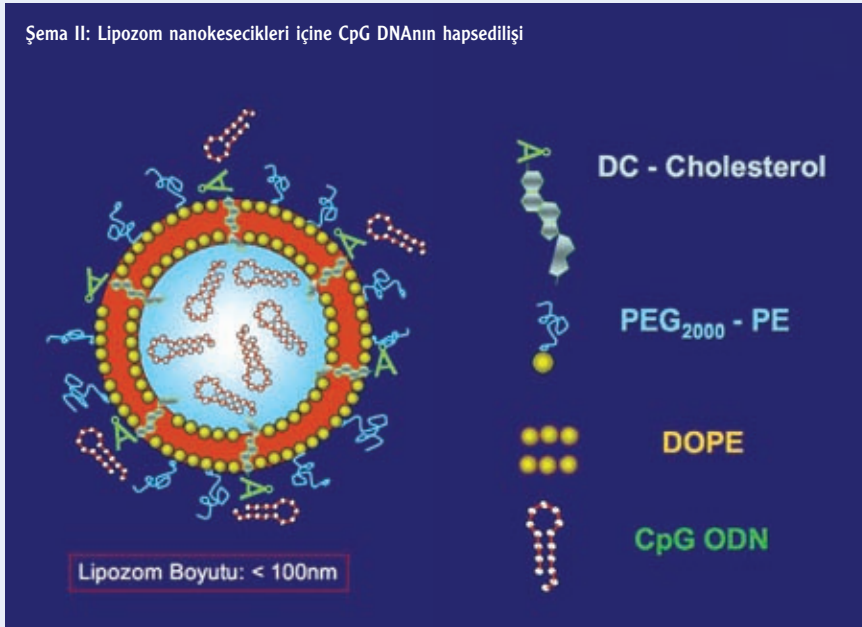
gantların nanogörüntüleme amaçlı kuantum noktacılarıyla birlikte kullanımlarını da kapsa- yan geniş bir yelpazede 8 araştırma grubunun katkılarıyla nanobiyoteknoloji araştırma grubu UNAM içerisinde çok kritik bir rol oynamakta- dır. Bilkent, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölü- münde yer alan öğretim üyelerinin bir kısmı UNAM bünyesindeki nanobiyoteknoloji araştı- rma birimini hayata geçirmek için, çok yönlü ça- lışmalarını bu alandaki uygulamalar için adapte etmeye girişmişlerdir.

Örneğin, antikan- ser terapiler geliştirmek için yeni tarama ve diagnostik markerların tayi- ni çalışmaları Prof. Dr. Mehmet Öztürk'ün yöne- timinde sürdürülmekte. Monoklonal antikorlar geliştirip bunları nanomakineler ve nanosensör- ler üzerine tutturup çok duyarlı ve hızlı biyote- ror ajanlarının veya hasta dokulardaki bozukluk- ların tayin yöntemlerinin geliştirilmesi çalışma- larını Yrd. Doç. Dr. Tamer Yağcıoğlu yönlendir- mekte. Ayrıca Yrd. Doç. Dr. Can Akçalı mezen- kimal kök hücre çalışmalarını ve bu alandaki bi- yoterapötik uygulamaları ile nanoimplantlar destekleri üzerine uygulayıp doku ve hücre teda- visine yönelik araştırmaları yürütmektedir. Biyo- informatik ve genom bilim konularındaki yoğun

araştırmalarını Yrd. Doç. Dr. Özlen Konu, Doç Dr. Işık Yuluğla birlikte diğer kanser tiplerinin yanı sıra özellikle meme kanseri üzerine mole- küler markörlerin belirlenmesi ve tanı ile tedavi- de kullanımına yönelik uygulamalar için trans- kriptom analiz ve hücre yollarındaki hasarı ta- yin edebilecek çalışmalarını yoğun şekilde yürüt- mektedirler. Yrd. Doç. Dr. Uygur Tazebay ile Y. Doç. Dr. Cengiz Yakıcıer'in çalışma grupları, na- nofabrikasyon ve omiks teknolojilerinin geliştiri- lmesi ve yerleştirilmesi, ayrıca klinik uygula- malar için RNA interferans ve mikro RNA tek- niklerini kullanarak yeni diagnostik yöntemler geliştirmek üzere yoğun çaba harcamaktadırlar. Otoimmün hastalıklarla X-Kromozomu inaktiva- syon ilişkisini belirlemek için Prof. Dr. Tayfun Öz- çelik de UNAM bünyesinde araştırmalarına de- vam etmektedir.

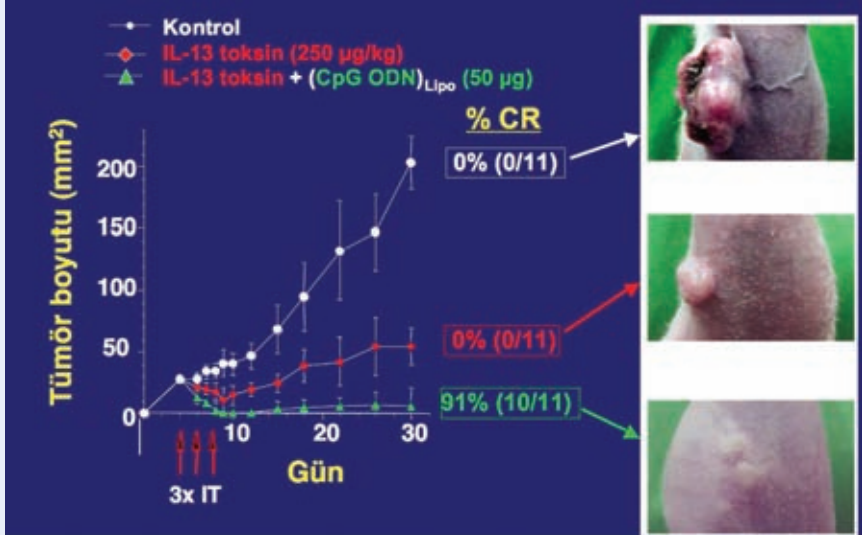
Ayrıca, kanser hücrelerinin sağlıklı hücrelere zarar vermeden öldürülmesi üzerine nanobio- teknoloji grubu olarak çok yeni ve farklı metod- lar üstünde ve sadece dünyada birkaç laboratu- varda sürdürülen çok ileri düzeyde araştırmalar sürdürülmektedir. Örneğin, Bakteri DNA'sı bi- zim DNA'mızdan yapısal farklılıklar gösterdiği- nin keşfiyle DNA moleküllerinin bağışıklık siste-

Şema II: Lipozom nanokesecekleri içine CpG DNA'nın hapsedilişi

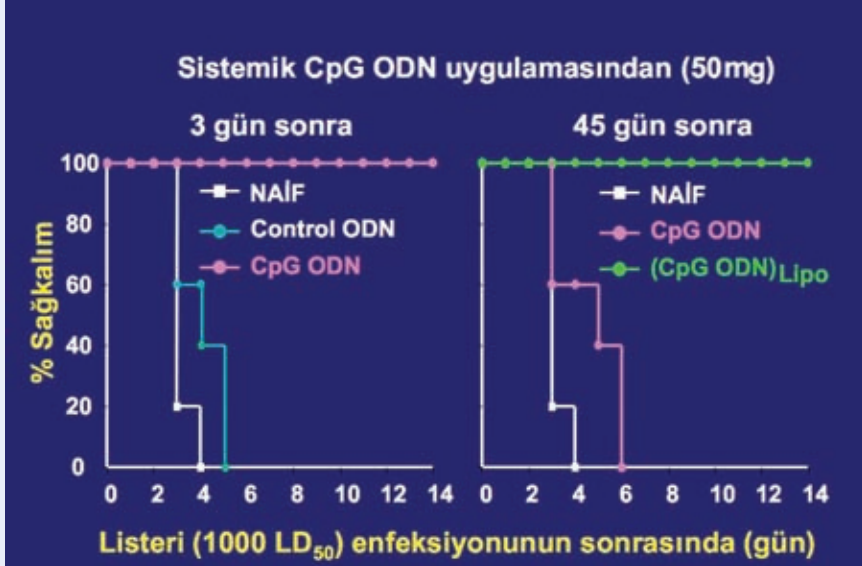


Şekil 1. (CpG ODN)_{Lipo} ile toksin tedavisi, oluşmuş tümörlerin yok olmasını sağlamakta.

Tümör oluşumundan sonra sadece tümürlü bölgeye birer gün ara ile 3 kez tedavi sonrasında tümör boyutundaki gelişmenin takibi yapıldı.



Şekil 2. Nanoenkapsülasyon, CpG DNA'sının in vivo aktivitesini artırır.



mi üzerine olan uyarıcı etkisinden yararlanarak yeni DNA kökenli ilaçlar tasarlanmaktadır. Örneğin bu ilaçları yeni jenerasyon aşı geliştirmekten, antikanser ve anti allerjik uygulamalara ve aşısı olmayan hastalıklardan immün koruyucu ajan olarak kullanmaya kadar geniş bir yelpazedeki biyoyararlılığının tesbiti için bizim bulgularımızı temel alarak klinik faz çalışmaları yurtdışındaki bazı merkezlerde başlamıştır (Şema I).

Ayrıca bizim buluşumuzla, sadece kanserli dokulara veya civarına kontrollü bir şekilde DNA'yı ve istendiğinde de kemoterapi ajanını da birlikte salabilen nanokeseceklerle antikanser terapileri geliştirilmekte ve bunların deney hayvanlarındaki etkinlikleri tayin edilmektedir (Şema II).

Farelerdeki çalışmalarımız göstermiştir ki bu terapi yöntemi ile, insanda baş ve boyun da oluşan ve çok hızlı bir şekilde ilerleyebilen bu kütle kanseri modelini farelerde %90'nın üzerinde bir başarıyla ortadan kaldırmak mümkündür (Şekil 1).

Yine DNA'nın bağışıklık sistemimizi uyarıcı özelliğini kullanarak hazırladığımız ve kendi kendine nanoparçacık oluşturma kabiliyeti olan sentetik DNA parçacıklarını kullanarak yeni jenerasyon "üniversal profilaktik aşılar" geliştirmekte ve bunları "aşısı olmayan" öldürücü bulaşıcı hastalıklardan acil korunmaya yönelik immün koruyucu ajanlar olarak deney hayvanlarında % 100'e varan bir korunma başarısıyla kullanmaktayız (Şekil 2).

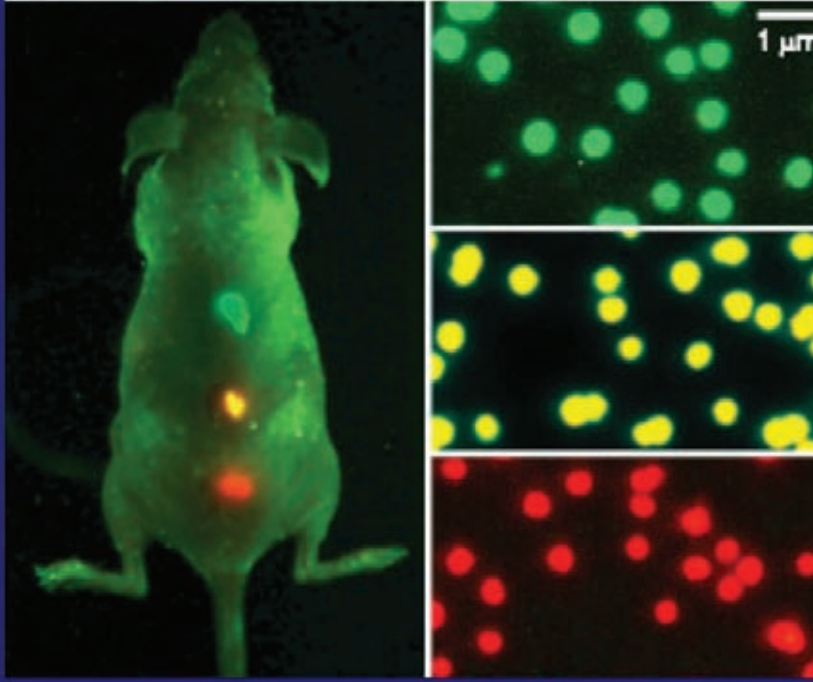
Bizim ve başkalarının yayınladığı bulgular göstermiştir ki bu DNA parçacıkları birçok patojene karşı profilaktik koruyuculuk sağlamaktadır.

Nanobiyoteknoloji alanında DNA bazlı ilaçların nanotıp amaçlı kullanımlarını da ilk kez nanobiyoteknoloji grubu üyelerimiz uluslararası çalışmalarla ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda memeli DNA'sının, bakteri DNA'sından farklı olarak bağışıklık sisteminin belli hücrelerini uyarmak yerine baskılamakta olduğunu belirleyip, DNA'nın bu özelliğinden yararlanarak Guanozin zengini nanoparçacıklar tasarlayıp DNA bazlı bu ilaçları bazı otoimmün hastalıkların tedavisinde kullanmanın mümkün olduğunu yine model hayvan deneyleriyle kanıtlamışlardır. Çalışmalar göstermiştir ki bu ajanlar hayvanları sistemik, organ veya dokulara bağlı çeşitli otoimmün bozukluklardan koruyabilmekte ve hastalığın seyrini durdurmakta bazı durumlarda geciktirebilmektedir. Bu baskılayıcı DNA parçacıkları artrit, lupus, septik şoktan diyabete karşı etkili olabilmekte ve deney hayvanlarını koruyabilmektedirler.

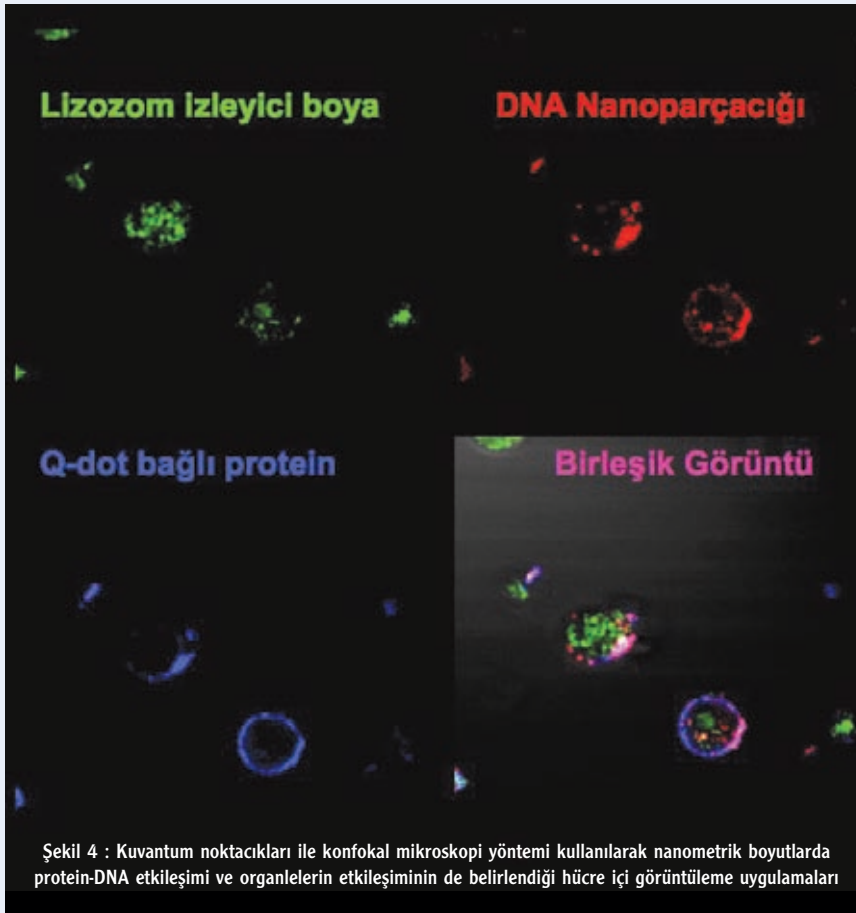
KUVANTUM NOKTACIKLARI İLE NANOBİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Nanobiyoteknoloji biriminde antikanser ve temel araştırma amaçlı tüm vücut ile doku ve hücre içi görüntüleme yöntemleri geliştirilerek bu teknolojiyi ilaç hedefleme ve diagnostik görüntüleme amaçlı kullanmak hedefindeyiz. Bu nedenle son derece hassas ve gelişmiş teçhizatlarla donatılacak olan birimizde son yılların en etkin görüntüleme yaklaşımlarından birisi olan ve 5 ile 25 nm boyutlarında değişen kvantum noktacı-

Şekil 3 : Yüzeyine iki tip antikorla modifiye olmuş iki değişik boyuttaki kuantum noktacıklarını kullanarak vücut içi derin dokulardaki iki tip kanserli dokunun görüntülenmesi



Gao X. et al, Nat. Biotech., 2004, 22: 969



Şekil 4 : Kuantum noktacıları ile konfokal mikroskopisi yöntemi kullanılarak nanometrik boyutlarda protein-DNA etkileşimi ve organellerin etkileşiminin de belirlendiği hücre içi görüntüleme uygulamaları

larını da (Q-dots) kullanmaktadır. (Şekil 3)

Hedef hücre, doku veya organa yönelik görüntüleme yapabilmek için antikorlarla yüzey modifikasyonu yapılan Q-dots istenen bölgeye hedeflenmekte ve bunun sonunda çok hassas görüntüler elde edilmekte. Ayrıca biyolojik sistemin nanoparçacıklarla olan ilişkilerini de moleküler düzeyde anlamayı ve bu yeni teknolojinin vücuda daha önceden düşünülmemiş veya öngörülmemiş yan etkilerinin olup olmadığını da belirlemeyi planlamaktayız.

Kuantum noktacılarını kullanarak gerçekleştirdiğimiz son çalışmalardan elde ettiğimiz sonuçlarla daha önce başarısız kaldığımız ve ilişkilendiremediğimiz bir etkileşimi de çok hassas bir seviyede konfokal mikroskopisi sayesinde ortaya çıkardık. Bu sayede DNA nanoparçacığını hücre yüzeyinde bağlayan ve hücrenin içerisine alınmasını artıran bir proteinin hücre içerisinde hem hangi kompartimente yönlendirildiğini hem de nasıl DNA-protein etkileşiminin yer aldığını kuantum noktacılarına bağlanmış antikorları kullanarak başarıyla görüntüledik (Şekil 4).

Sonuç olarak, DNA'yı gerek sentetik parçacıklar, gerekse genomdan köken alan bir birim olarak elde ederek hem nanotıpta (otoimmün veya profilaktik aşı ajanı ya da antikanser ilaç olarak kullanarak), hem de nanobiyoteknolojik uygulamalarda kullanılacak (nanomakineler, nanodevrelere ve nanoteller gibi) katma değeri çok yüksek yeni ve akıllı ürünlerin oluşumunu sağlayan bir malzeme olarak yakın gelecekte görmeye başlayacağımızı söylemek hayalci bir yaklaşım değildir.

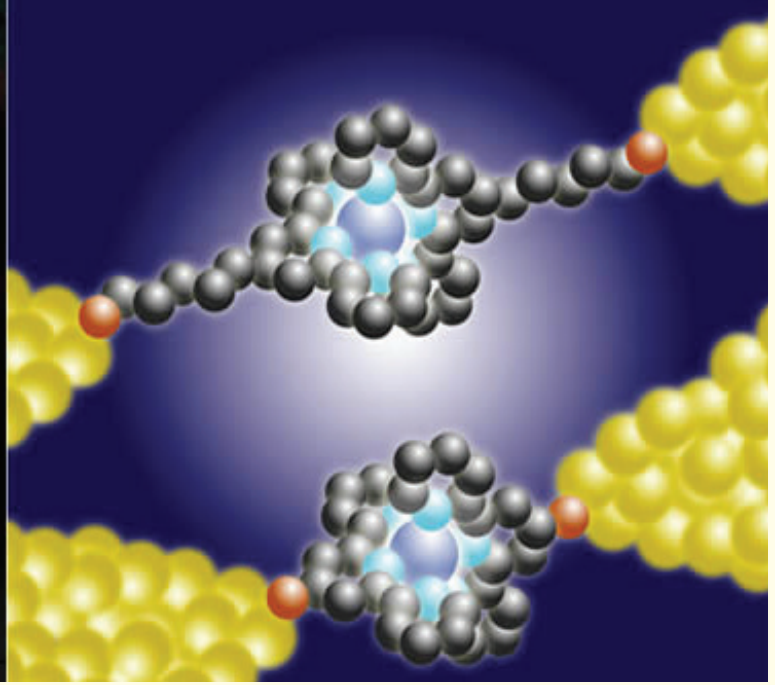
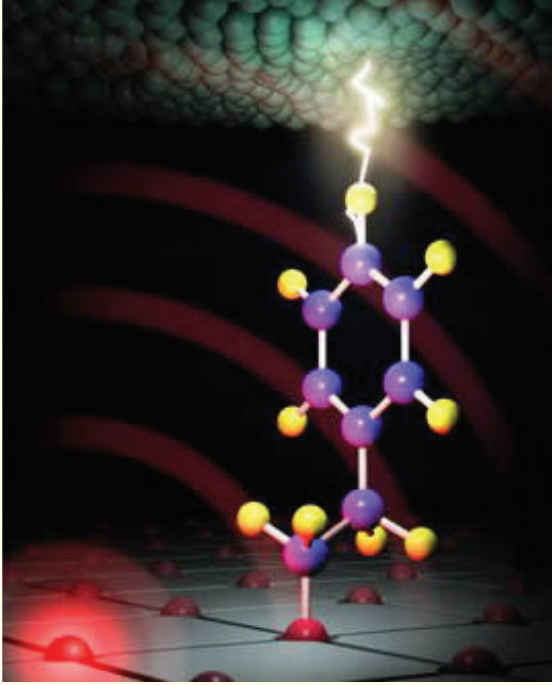
Bu ve bunun gibi çalışmalarımızı daha ileriye götürüp insan klinik çalışmalarına yönelebilmemiz için kamu ve özel sektörün bu konulara ilgi gösterip yatırım yapmasını bekliyoruz. Bu araştırmalardan elde edilecek sadece patent hakları yatırımcı firmalara çok büyük girdiler sağlayacaktır. Yurtdışındaki firmaların uygulamaları hep bu anlayışla yürütülmekte ve bizim girişimci özel sektörümüzün de artık bu stratejileri geliştirmek zorunluluğu vardır, dahası yenilikçi ve yaratıcı fikirleri ürüne dönüştürmeyi öne çıkaran firmalar bu yüksek katma değer sayesinde verimliliklerini de en üst düzeylere çıkarabilmeyi başaracaklardır.

Yard. Doç. Dr. İhsan Gürsel
Bilkent Üniv., Moleküler Biyoloji ve Genetik
Bölümü, UNAM-Ulusal Nanoteknoloji
Araştırma Merkezi

Derlemede kullanılan referansların Listesi:

1. I. Gursel, M. Gursel, K. J. Ishii, DM Klinman, J. Immunol. 167(6):3324-3328, 2001.
2. M. Gursel, D. Verthelyi, I. Gursel, K.J. Ishii, D.M. Klinman J. Leuko. Biol. 71(5):813-820, 2002.
3. I. Gursel, M. Gursel, H. Yamada, F. Takeshita, K. J. Ishii, D. M. Klinman, J. Immunol. 171:1393-1400, 2003
4. K.J. Ishii, K. Kawakami, I. Gursel, B.H. Joshi, D.M. Klinman, R.K. Puri. Clin. Cancer Res. 9(17), 6516-6522, 2003
5. D. M. Klinman, R.A. Zeuner, H. Yamada, M. Gursel, D. Currie, I. Gursel, Ann. N.Y. Acad. Sci. 1002, 112-123, 2003
6. Gao X. et al, Nat. Biotech., 22: 969, 2004
7. H. Shirota, I. Gursel, M. Gursel, DM. Klinman, J. Immunol. 174:4579-4583, 2005
8. H. Xie, I. Gursel, B. Ivins, D.O' Hagan, J. Ulmer, D.M. Klinman, Infect. Immun., 73:828-33, 2005
9. M. Gursel, I. Gursel, H.S. Mostowski, D.M. Klinman, J. Immunol. 173:1575-1580, 2006
10. S. Klaschik, I. Gursel, D.M. Klinman, Mol. Immunol., 44:1095-1104, 2007

MOLEKÜLER TRANSİSTÖRLER GELİYOR NANOELEKTRONİK



Transistörler küçüldükçe küçüldü ve 100 nanometrenin altına indi. Saniyede 1 milyar işlem yapabilen makinaları çantamızda taşıyoruz. Elektronikte küçülme ve hızlanma devam ediyor. Pekki nanoelektroniği, alıştığımız yarıiletken devrelerden farklı kılan nedir? Nanoteknoloji elektronikte büyük bir atlamaya sebep olabilir mi? Yazımızda bu sorulara cevap arayacağız.

Hesaplama, Hız ve Enerji Arasındaki İlişki

Haberleşme devriminin habercisi olan Claude Shannon'un meşhur makalesinden sonra bilgi, gürültü, enerji ilişkilerinin fiziksel temelleri daha iyi anlaşıldı. Bugün biliyoruz ki tersine-

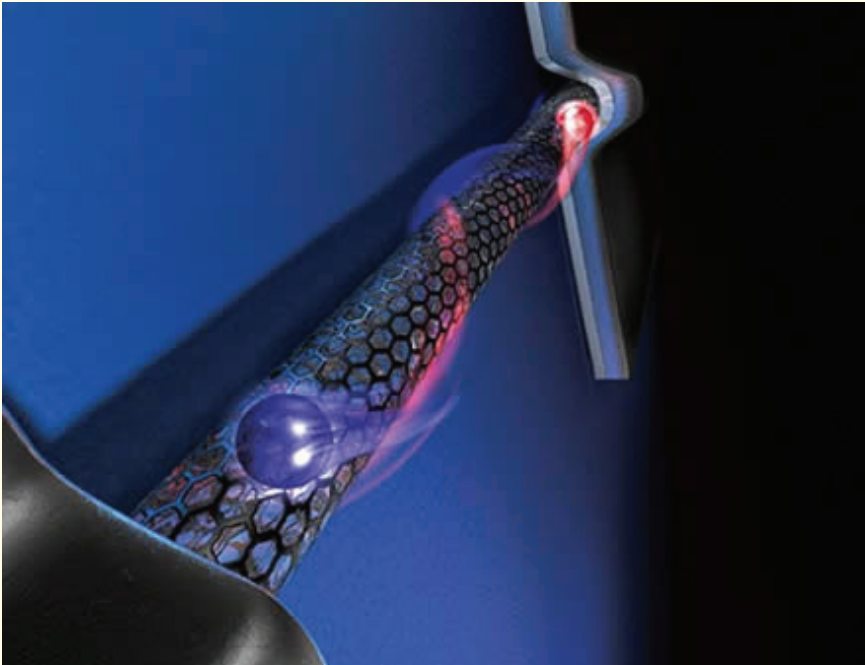
mez hesaplama yapıldığında entropi artacağından 1 Bitlik bilginin, Boltzman sabiti ve ortam sıcaklığının çarpımı kadar bir enerji fiyatı vardır. Yani oda sıcaklığında 1 Bitlik hesap yapıldığında yaklaşık 10-21 Joule enerji harcamak termodinamik olarak zorunludur. Günümüz masaüstü bilgisayarlarındaki işlemciler (Intel Pentium 4 gibi), yaklaşık 40 Milyon transistör içermekte ve 2 GHz civarında çalışmaktalar. Eğer termodinamik sınırlarda çalışmak mümkün olsa bu işlemcilerin 100 mikrowatt güç harcaması beklenir. Günümüz işlemcilerinin 100 Watt civarı güç harcadığı düşünülürse, gelecek bilgisayarlarının bir milyon kat daha az güç harcayarak aynı işi yapmasını bekleyebiliriz. Bu da cep telefonumuzda bugünün süper bilgisayarları ka-

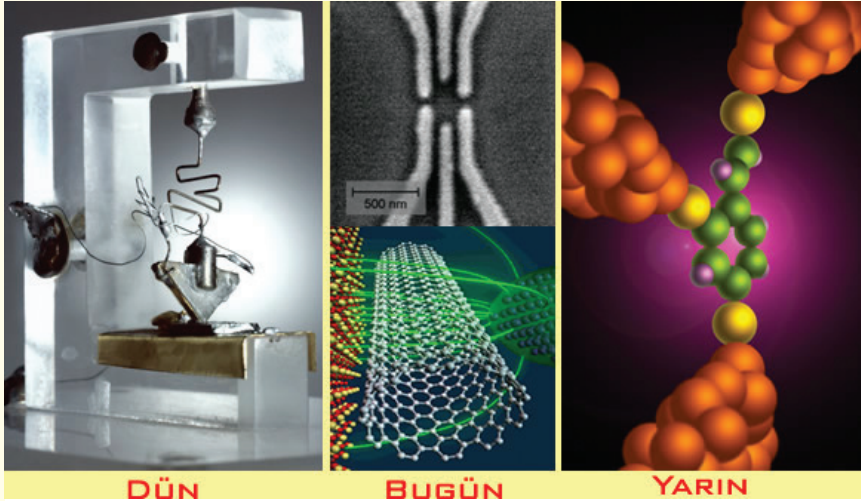
dar güçlü işlemcileri gezdirebileceğimiz anlamına geliyor. Bu nasıl olacak? Bahsedilmesi gereken iki konu var. Birincisi transistör düzeyinde nanoelektronik getireceği yenilikler. İkincisi hafıza ve sistem tasarımı alanında beklenen gelişmeler. Bunlardan kısaca bahsedelim.

Nanotransistörler

Yarıiletken teknolojisi ve evlerimizde kullandığımız bilgisayarlar büyük oranda silisyum CMOS transistörlerden ve mantık elemanlarından oluşur. Bir mantık kapısı açılıp kapandığında milyonlarca elektron yer değiştirerek sinyalin işlenmesini sağlar. Çalışma voltajı (birkaç volt) ve geçen akım (mikroamper civarında) bir işlemi mikrowatt güç harcayarak yapmamızı sağlar. Güç harcamayı veya hızı etkileyen en önemli faktörlerden birisi aygıtın kapasitansı (sığası)'dır. Aygıt küçüldükçe sığa küçülür, ve daha az akımla daha hızlı çalışabilir. Neden transistörler olduklarından daha fazla küçültülemez? Bunun sebeplerinden birisi, boyut küçüldükçe kuantum etkilerinin devreye girmesi ve aygıtın çalışma prensibinin farklılaşmasıdır. Malzeme özellikleri küçük boyutta değişmektedir. Örnek olarak, şu anda kullanılan malzemelerdeki kaçaklar kabul edilemez derecede artmaktadır. Bu sebeple nanometre boyutundaki transistörlere uygun malzemeler ve farklı modellere göre düzenlenmiş tasarımlar gerekmektedir.

Nanotransistörlerde, milyonlarca elektron yerine tek bir elektronun hareketi ile bilgi işleme gerçekleştirilebilir. Bu da enerjiden büyük oranda tasarruf etmeyi mümkün kılar. Buna ek





Şekil 1: Dün: İlk transistör 1957'de yapıldı. Büyüklüğü santimetre boyutlarına yaklaşıyordu. Bugün:Yarıiletken tek elektron transistörler oda sıcaklığında çalıştırılabilir ve karbon nanotüp transistörler hem düşük güçlü hem de hızlı olarak deneme aşamasında Yarın: Moleküler transistörler ile milyarlarca transistörü bir yongaya koymak mümkün olabilir mi?

olarak küçük olduğu için milyarlarca transistör bir santimetre kareye sığdırılabilir ve daha hızlı çalıştırılabilir.

Transistörlerde kullanılabilecek malzemeler içinde karbon nanotüpler ilgi odağı olmayı sürdürmektedirler. Karbondan yapılmış milimetrenin milyonda biri kalınlığında olan bu boruların elektriksel özellikleri silisyum gibi yarıiletkenlere göre çok farklı ve yerine göre avatanlı olabilmektedir. Nanotüplerde yüklerin hareketliliği silisyuma göre çok daha fazladır. Bu sayede hem düşük voltajlarla çalışmak hem de daha yüksek hızlara ulaşmak mümkün olacaktır. Laboratuvar deneyleri ile üretilmiş olan bu tip transistörlerin ticari üretim aşamasına yaklaşıldığı bilinmektedir.

Karbon nanotüpleri takiben, silisyum, germanyum yarıiletkenlerden yapılan nanotellerde de olağanüstü elektronik özellikler gözlenmiştir. Bu konulardaki teorik ve deneysel çalışmalar hızlanarak devam etmektedir.

Gelecekte tek molekülden oluşan transistörlerin yapılması mümkün olabilir. Bu sayede tek elektronla çalışabilen, hızlı, az enerji harcayan, ve çok ucuza üretilen bilgisayarlar cebimize



Şekil 2: HP Laboratuvarları'nda geliştirilen Teramac sistemi geleceğin nanoelektronik bilgisayarları için bir çıkış noktası oluşturuyor. 1000 GHz'lik bir bilgisayarın işlem gücüne sahip olan Teramac kasıtlı olarak hatalı parçalardan yapılmasına rağmen doğru çalışıyor.

girebilecektir. Fakat bunun mümkün olabilmesi için işlemci yapısında ciddi değişikliklere ihtiyaç vardır.

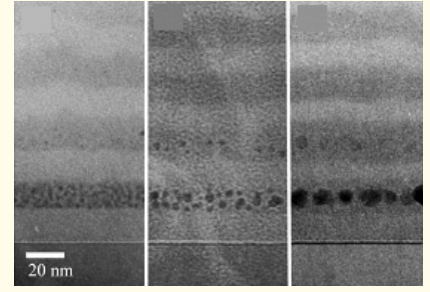
Hata Kabul Eden (Fault-Tolerant) İşlemci Yapıları

Günümüzde mikroelektronik alanında üretim yapmak için olağanüstü temiz koşullarda çalışmak gerekmektedir. Üretim ortamları temiz oda denilen tozdan arındırılmış ortamlarda özel elbiseler giyen personel tarafından yapılmaktadır. Bunun da en önemli sebebi üretim esnasında 40 milyon transistörden birinin üzerine düşecek bir toz parçasının devreyi işlemez hale getirmesidir. Bu tür üretimlerin yapılabilmesi için milyarlarca dolarlık sermaye ve çok gelişmiş laboratuvar ortamları gerekmektedir. Yarıiletken teknolojisinin önündeki engellerden birisi de budur. Günümüzde tasarımlar, bu engeli aşmak için, hataları kısmen kabul edebilir şekilde yapılmaktadır. Elektronik devrenin bazı kısımlarının birden fazla kopyası bulunmakta ve test sırasında çalışan kısımlar belirlenip onların kullanılması sağlanabilmektedir.

Bu ve benzeri yaklaşımlar nanoelektronik için daha büyük önem taşır. Çünkü moleküler seviyede hata ihtimali giderek artar. Transistör sayısının da artmasıyla problem daha ciddi bir hal almaktadır. Nanoelektronik, hataları gözardı edebilen bir elektronik tasarım metoduna ihtiyaç duyar.

Bu konudaki çalışmalar, nanoteknolojiden bağımsız olarak kuramsal olarak devam etmektedir. Bu çalışmaların bir örneği Hewlett-Packard Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiş olan Teramac sistemidir. Bu sistemde kasıtlı olarak hatalı (ve ucuz) üretilmiş bir milyon parçanın saniyede bir milyon işlem yapması ile 1000 GIPS'lik bir işlem gücü elde edilmiştir. Tasarım ve üretim sonrası programlama ile de çalışmayan kısımların sistemin bütününe olan etkisi ortadan kaldırmıştır. Teramac'in yapısal sistemi nanoelektronüğün geleceği için önemli bir temel oluşturur.

Teramac sisteminin önemli özelliklerinden birisi de bilgi işleme teorisinde önemli bir yeri



Şekil 3: Bilkent Üniversitesi laboratuvarlarında nanokristal flash bellekler üzerinde yapılan çalışmalarda değişik malzemelerin, nanokristal özelliklerinin ve aygıt geometrisinin, yük depolama ve tutmaya etkisi incelenmektedir. (Şekilde germanyum nanokristallerin üretim sıcaklığına bağlı olgunlaşması görülmektedir)

olan işlem gücü/hafıza ilişkisinin hesaba alınmasıdır. Bir hesaba yapmak için çok sayıda işlem ihtiyacı olsun. Mesela 10 Milyara kadar olan asal sayıları hesaplamak isteyelim. Bu işlem için basit bir formül olmadığından çok sayıda çarpanlara ayırma yapmamız gerekecektir. Eğer elimizde çok geniş bir çarpım tablosu varsa o zaman çarpmaları tablodan bakarak işlemi çok hızlandırabiliriz. Ama bu, büyük miktarlarda hafıza kullanmayı gerektirir. Bir hesaba yapmak için gereken işlem gücü ile hafıza arasındaki ilişki burada görülebilir. Çok hafızanız varsa işlem gücünden taviz verebilirsiniz.

Hafıza konusunda da nanoteknoloji yardımı koşturmaktadır. Tek bir elektronun hafıza kutusunda bulunup bulunmamasına bağlı olarak çalışan hafızalar nanokristaller yardımı ile üretilmektedir. Nanokristallerin yakın gelecekte Flash ve RAM bellek gibi çalışabilen evrensel hafızaların geliştirilmesinde kullanılması beklenmektedir. Ucuz ve daha kirli üretim ortamlarında yapılabilen nanokristal hafızalar, nanotransistörler ve hata kabul eden tasarımlar sayesinde bilgi işleme teknolojilerinde yüz yılın devrimi gerçekleştirilebilir.

UNAM bünyesinde devam eden projelerde nanokristal belleklerin yüklenme ve yük tutma özellikleri çalışılmaktadır. Kullanılan malzemelerin, dielektrik katsayısının, nanokristal boyunun, nanokristal yoğunluğunun ve aygıt geometrisinin yük taşıma özelliklerine olan etkisi deneysel ve kuramsal olarak incelenmektedir. Bu sayede, RAM bellek hızında çalışabilen fakat bilgiyi yıllarca saklayabilen hafızaların üretimine katkıda bulunmayı ümid ediyoruz. Bunun yanında karbon nanotüp ve nanoteller kullanılarak transistör yapılarının geliştirilmesi de önümüzdeki yıllarda çalışılacak olan konulardandır.

Dr. Aykutlu Dâna

Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü

UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

(İletişim: aykutlu@nano.bilkent.edu.tr)

Kaynaklar

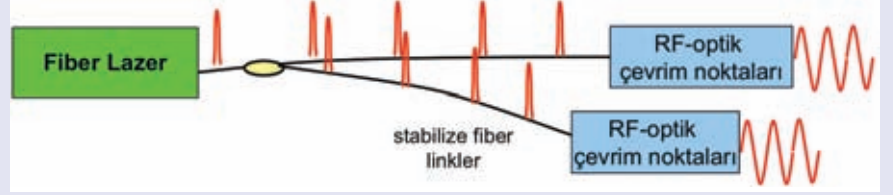
1. J. R. Heath ve meslektaşları, A Defect-Tolerant Computer Architecture: Opportunities for Nanotechnology, Science, 12 Haziran 1998
2. C. P. Collier ve meslektaşları, Electronically Configurable Molecular-Based Logic Gates, Science, 16 Temmuz 1999
3. C. H. Bennett, The thermodynamics of computation—a review, International Journal of Theoretical Physics, 8 Mayıs 1981.
4. A. Bachtold ve meslektaşları, Logic Circuits with Carbon Nanotube Transistors, Science, 9 Kasım 2001.

GÖLGESİNDEN HIZLI ATEŞ EDEN LAZERLER: FEMTOSANIYE IŞIK DARBELERİ, OPTİK SAATLER VE NANOTEKNOLOJİ

“Ultrahızlı” Femtosaniye Lazerler: Gürültünün İçinden Kendiliğinden Doğan Düzen

Ultrahızlı olarak bilinen ve tipik olarak 10-100 femtosaniye uzunluğunda ışık darbeleri üreten lazerler yoğun araştırmalar sonucunda, son 3-5 yıldır araştırma laboratuvarlarından çıktılar ve endüstride, askeri teknolojilerde ve tıp alanında hızla kendilerine yer bulmaya başladılar. Kuşkusuz önemli etkenlerden biri daha küçük, kullanımı kolay ve ucuz olan fiber lazerlerde (Şekil 1) yaşanan gelişmelerdir.

Peki, femtosaniye saniyenin milyon kere milyarda biri olduğuna göre ve bu en hızlı elektronik devrelerden 1000 kat hızlı olduğuna göre, bu lazerler nasıl çalışıyor? İşin sırrı, bazı doğrusal olmayan sistemlerde görülebilen kendiliğinden organizasyon: böyle bir lazer baştan o şekilde kurulur ki, ışık lazerin içerisinde kendi kendini şekillendirerek, soliton tipi dalgalar oluşturur. Yani, darbe lazer içerisinde bulunan gürültü içinden doğar ve kısa sürede kararlı duruma geçer, bu noktadan sonra bir daha değişmez. Dolayısıyla, bu çalışmalarda araştırmacının mahareti doğru şartları baştan oluşturma sırrını keşfetmektedir. Fiziksel ve matematiksel açıdan büyüleyici olan darbe oluşumu daha iyi anlamak için dünya üzerinde pek çok araştırma grubu gibi biz de en hızlı bilgisayarlar günler süren simülasyonlar yapmaktayız. Günümüzde hala bu zengin mekanizma her



Şekil 2. Dördüncü kuşak hızlandırıcılar için geliştirdiğimiz optik senkronizasyon sisteminin şeması.

yönüyle anlaşılmış olmaktan uzaktır; gizemlerini koruyan bu mekanizmayı anlama yönünde şimdiye kadar atılan her önemli adım birkaç yıl içinde önemli teknolojik sonuçlar doğurmuştur.

Optik Saatler

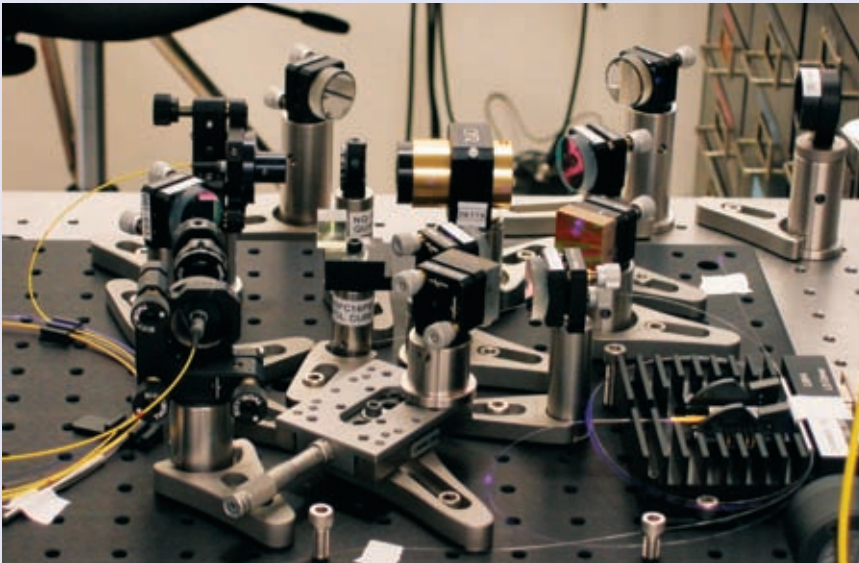
2005 yılı Nobel Fizik Ödülü'ne konu olan ve femtosaniye lazerleri kullanarak gerçekleştirilen optik saatler, zamanı atom saatlerinden 1.000 kat daha hassas ölçerek yeni bir çağ açmaktadır. Atomik saatlere kıyasla en az 10.000 kat daha yüksek frekanslara (10 GHz yerine 300 THz) denk gelen kuvantum geçişlerini kullanarak çalıştıkları için daha hassaslar. Yüksek frekansın avantajı onlarca yıldan beri bilinmekteydi, ancak daha önce kimse 300 THz'lük bir sinyali nasıl takip edebileceğini bilmiyordu. Prof. T. Hänsch femtosaniye lazerin frekansı 1:1.000.000'lük mutlak tamsayı olan bir oranla bölebildiğini, böylelikle 300 MHz gibi kolaylıkla takip edilebilen frekanslar üretebileceğini keşfederek optik saatler çağını başlattı ve Nobel ödülüne hak kazandı.

Genellikle ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinde, Türkiye'de de TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde bulunan ve kullanılan optik saatler konusunda benim grubumun bir vizyonu var: Optik saatler büyük, karmaşık ve pahalı oldukları için UME gibi büyük merkezlerin dışında kendilerine yer bulmaları çok zor. Hedefimiz 3-5 yıl içerisinde küçük bir çalışma masasının üstüne sığacak ve düşük maliyetle üretilebilecek optik saat sistemlerini UNAM'da geliştirmek, böylelikle bu saatlerin fiber-optik iletişim ve askeri alanlar gibi teknolojik kullanımlarının yolunu açmak.

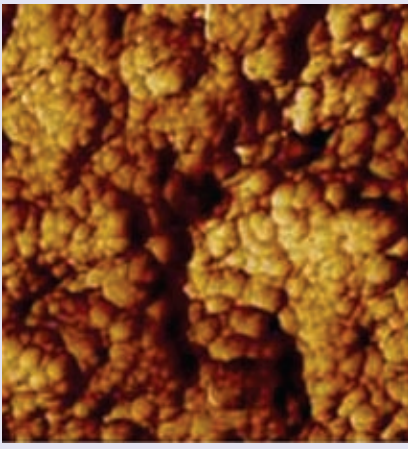
Geleceğin Hızlandırıcılarının Ritim Şefi Olarak Fiber Lazerler

Avrupa ve ABD'de kurulmakta olan dördüncü kuşak serbest elektron lazeri tabanlı hızlandırıcı merkezleri femtosaniye darbeleri x-ışınlarına taşıyarak çok önemli gelişmelere kapıyı açacaklar. Her biri en az 1 milyar YTL'ye mal olan bu merkezlerden en üstünü DESY merkezinde (Hamburg, Almanya) kurulmakta olan Euro-XFEL. Birkaç femtosaniye uzunluğunda x-ışını darbeleriyle, belki tek bir molekülün 3 boyutlu yapısının çıkartılması mümkün olacak, moleküler biyoloji ve malzeme biliminde çığır açılacak. Ancak, bu sistemin planlandığı gibi gerçekleştirilmesi için önemli bir problemin çözülmesi gerekmektedir: 3.5 km uzunluğundaki bu devasa sistemin her noktasında olan olayları birbirinden en fazla 1 femtosaniye sapmayla senkronize edebilir miyiz? Diğer bir değişle, 3.5 km uzunluğundaki bu dev makinanın boyu en fazla 100 nanometre kadar oynayabilir.

Yaklaşık iki yıl önce MIT'de (ABD) başlattığımız ortak çalışma bugün UNAM'da devam etmektedir. Femtosaniyeler uzunluğunda optik darbeler üreten fiber lazerler ve stabilize edilmiş fiber-optik linkler kullanarak ilk optik senkronizasyon sistemini geliştiriyoruz. Tek bir fiber lazerden üretilen darbeler kilometrelerce uzunluktaki hızlandırıcı için tıpkı bir metronom gibi ritim belirleyici olarak görev yapıyor (Şekil 2). Geliştirmekte olduğumuz sistemin Euro-XFEL'de kullanılmasına karar verildi. Aslında basit bir optik saat olan bu siste-



Şekil 1. MIT'de geliştirdiğimiz femtosaniye lazerlerden bir tanesinin iç yapısı gözüküyor.



Şekil 3. Femtosaniye lazer ile oluşturulmuş GaAs nanokristal film görüntüsü (L. N. Dinh, T. Trelenberg, B. Torralva, B. C. Stuart, M. Balooch, UCRL-ID-150296).

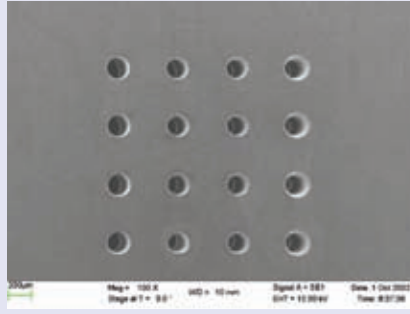
min dev radyo-teleskoplara ve ileri askeri radarlara önemli uygulamaları var.

Femtosaniye Lazerler ve Nanoteknoloji

Femtosaniyeler uzunluğundaki ışık darbeleri enerjiyi çok kısa bir zaman dilimi içine sıkıştırdıkları için anlık olarak son derecede yüksek güçlere ulaşabilmektedirler. Böyle bir lazerin darbesi 1 GW (1 milyar Watt) güce (büyük bir nükleer santralin ortalama güç üretimine denk) ulaşır. Bu muhteşem güç bir mercek ile iğne ucundan daha küçük bir noktaya odaklandığında elmas dahil en sert malzemeler anında buharlaştırılır. Ancak, "gölgesinden hızlı ateşe eden" lazerin darbesi o kadar kısa bir içinde bu işlemi yapar ki, malzeme ısınmaya ve patlamaya fırsat bulmadan buharlaşır. O kadar ki, C-4 gibi bir patlayıcıyı bile patlatmadan kesilebilir. Son birkaç yıldır bu darbelerin nanoteknolojide kullanılmasında büyük ilerlemeler kaydedildi.

UNAM bünyesinde, Prof. Atilla Aydınli ve Doç. Erman Bengü ile birlikte femtosaniye lazerlerle nanometre seviyesinde malzeme işleme ve nanokaplamalar üzerine çalışmalara başlatılmaktadır. Elektronik sanayi için önemli olan GaN gibi kaplamalardan, askeri açıdan önemli olan ultra-sert kaplamalara kadar çok çeşitli ve heyecanlı fırsatlar bizi bekliyor.

Femtosaniye lazerler ile materyal işlemenin ısı yaratmadan gerçekleşmesinin en dramatik öneme sahip olduğu uygulama yüksek güçlü patlayıcıların bu yöntemle kesilmesi ve şekillendirilmesi olabilir (Şekil 4 ve 5). Hem ömrünü doldurmuş patlayıcıların imha edilmesi hem de güçlü patlayıcıların



Şekil 6. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve askeri açıdan önemli bir alaşım olan inconel bir yüzeye 15° ile açılmış 100 µm (0.1 mm) çaplı delikler bu teknolojinin gücünü gösteriyor: (a) tepeden görünüş, (b) yan kesit.

rın istenildiği şekillere sokulması için femtosaniye lazerlerle işleme kapasitesi büyük öneme sahip olabilir. Bazı geometrik şekillerde üretilmiş patlayıcıların patlama anındaki etkiyi arttırmak için de kullanıldığı günümüzde bu kapasite yeni ve özel mermilerin dizayn ve üretim aşamasında da kullanılabilir.

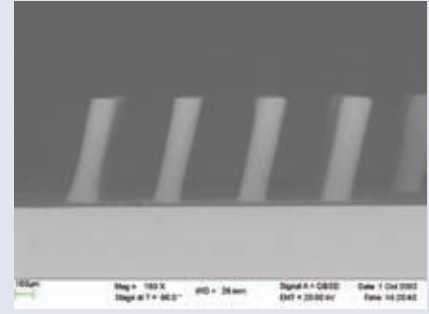
Çelik, elmas, seramik gibi çok sert malzemeler dahil ve hatta öncelikli olmak üzere, çok çeşitli endüstriyel uygulamalara yönelik olarak malzeme delik, kanal açılması, işaretlenmesi ve çeşitli şekillerin oluşturulmasına yönelik olan bu uygulama alanı, günümüz itibarıyla en ileride olan ve aktif olarak bugün gelişmiş ülkelerin endüstrile-



Şekil 4. Femtosaniye lazer ile bir kibrit başına kibrit alev almadan yazılmış bir yazı.

rinde kullanıma girmiş durumdadır. Bu uygulamalara tipik olarak 10 mikron seviyesinde hassasiyet yeterli olduğundan femtosaniye darbelerin hassasiyeti fazlasıyla yeterlidir. Burada en önemli avantaj, darbelerin düştüğü alanın dışında neredeyse hiç etki oluşmaması sonucu çok temiz, pürüzsüz ve malzemeye zarar vermeden işlem yapılabilmesidir (Şekil 6).

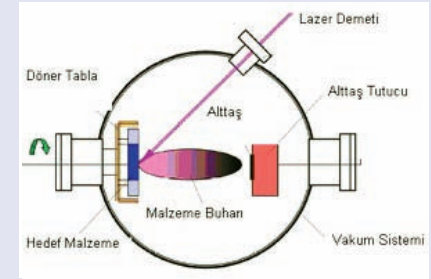
Henüz çok yeni olmakla birlikte, nanometre seviyesinde malzeme işlenmesi de bu lazerler sa-



Şekil 7. Lazer ile kristal büyüme düzeneği çizimi.

yesinde yapılmaktadır. Karbon nanotüplerin üretilmesi endüstriyel olarak kullanıma girmiş olup, diğer nanoteknoloji çalışmaları açısından önümüzdeki yıllarda büyük çok önem kazanma potansiyeline sahiptir. Özellikle metal yüzeylerde nano-yapıların (nanooyuklar, nanosütunlar, nanodelikler) oluşturulması fotonikten malzeme bilimine kadar geniş bir yelpazede fırsatlar sunmaktadır.

Gölgesinden hızlı ateşe eden bu lazerlerin nanoteknolojide kuşkusuz en ileri seviyede ve kendini ispatlamış uygulama alanlarından biri nanokaplamalardır. Başka yöntemlerle elde edilmesi çok zor olan ve günümüzde büyük önem kazanmış olan bazı özel kaplamalar için femtosaniye la-

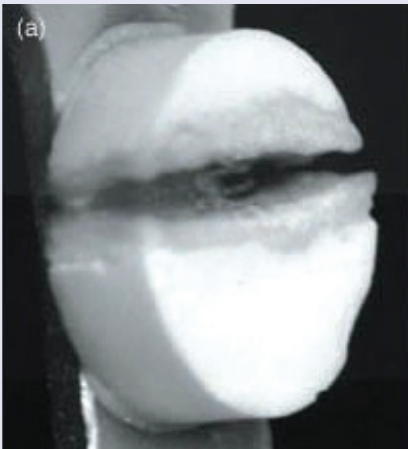


Şekil 7. Lazer ile kristal büyüme düzeneği çizimi.

zer darbeleri çok iyi sonuçlar vermektedir. Bu uygulamada yüksek vakumlu bir odacık içerisinde bulunan bir hedefe dışarıdan yönlendirilip odaklanan femtosaniye darbeler aynen mikroişlemede olduğu gibi malzemeyi buharlaştırırlar. Ancak burada amaç malzemeye belli bir şekil vermek değil, sadece homojen bir yapıda buharlaştırmaktır. Malzemenin karşısında nanokaplama uygulanması arzu edilen alıtış bulunur. Buharlaşan malzemenin bir kısmı bu yapının üzerini kaplaması suretiyle amaca ulaşılır (Şekil 7). Genel olarak darbeli lazer deposisyonu olarak adlandırılan bu yöntem için, femtosaniye lazerin sunduğu en büyük avantaj çok küçük, nanometrik seviyede parçacıklardan oluşan bir buhar oluşturduğu için kaplamanın daha hassas ve daha sağlam olmasıdır.

Femtosaniye darbeli lazerlerle malzemenin ısıtılmadan, dolayısıyla civar bölgelere etki etmeden işlenebilmesinin potansiyel getirilerinin en büyük olduğu alanlardan biri şüphesiz tıbbi uygulamalardır. UNAM biliminsanlarından Yar. Doç. Uygur Tazebay ve grubuyla ortak yürüteceğimiz bu çalışma Bilim ve Teknik Dergisi'nin yine bu sayısında yer alan diğer bir yazıda anlatılmaktadır.

Yrd. Doç. Dr. F. Ömer İlday,
Bilkent Üniversitesi, Fizik Bölümü
UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi



Şekil 5. (a) Nanosaniye darbelerle kesilirken lokal olarak yanmış ve (b) femtosaniye darbelerle yanmadan kutsuz kesilmiş bir patlayıcı madde görüntüsü.

ÖNCE İNSAN NANOTEKNOLOJİ DEVİRİMİNE HAZIR MIYIZ?



Yeni yüzyılda kritik bir teknoloji devrimi olarak görülen nanoteknoloji hala kuluçka döneminde; nanoteknolojinin, 2025 yılına kadar gelişmesini tamamlaması ve hayatımızın her alanına girmesi beklenmektedir. Peki ülkemiz nanoteknoloji devrimine ne kadar hazır? Mikroelektronik devrimini kaçırdık, şimdi en kritik ihtiyaçlarımızda bile dışa bağımlı haldeyiz. Nanoteknoloji ülkemiz için bir yükselme rampası olabilir; yeter ki yapılması gerekenleri zamanında yapalım. Bu yarışta olmak veya olmamak bizim elimizde; gerekli alt yapımızı kısa süre içerisinde tamamlayıp, önümüzdeki 20 yılda ihtiyacımız olacak insan gücünü yetiştirirsek, nanoteknoloji yarışında gelişmiş ülkelerle rekabet edebilir hale geleceğiz. Bilkent Üniversitesi tarafından Devlet Planlama Teşkilatı'na sunulan eğitim projesi; doktoralı uzmanların yetiştirilmesini, yurt dışındaki bilimadamlarımızla etkileşimin artırılmasını, üniversite-sanayi işbirliğinin geliştirilmesini, katma değeri yüksek ürünlerle ekonomimizin güçlendirilmesini ve insanımızın refahını hedeflemektedir.

Ülkemizin Bilim ve Teknolojideki Yeri

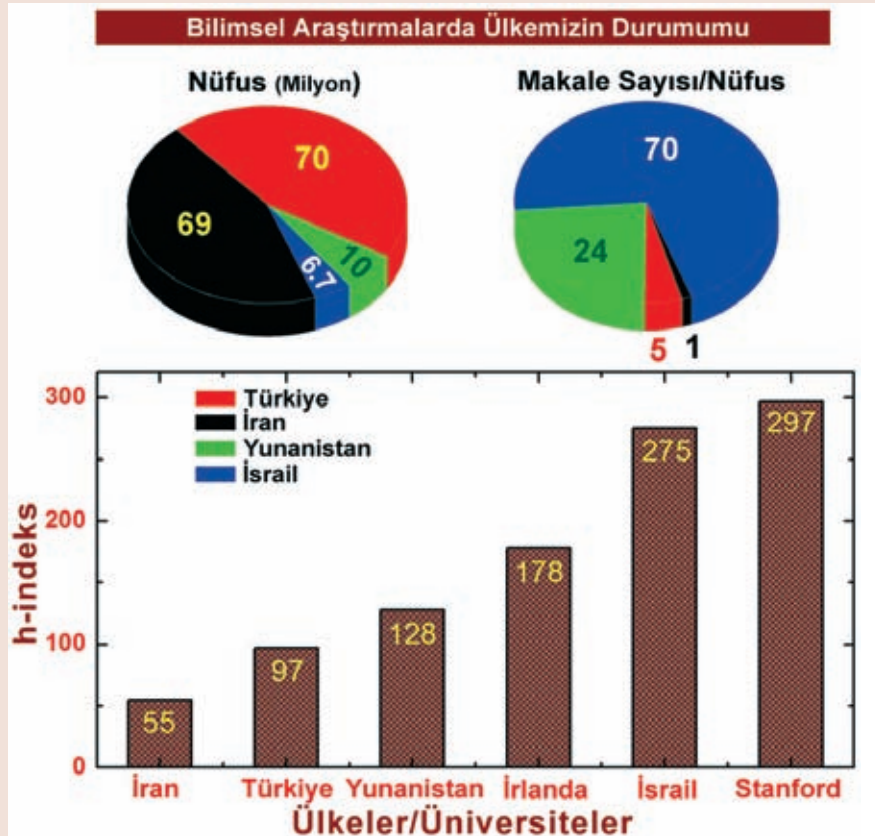
Gelişmiş ülkelerde ekonomi, genel itibarıyla üniversiteler ve araştırma merkezlerindeki bilimsel çalışmalardan beslenmektedir. ABD'de yüksek teknoloji şirketleri üniversiteler etrafında kümelenmekte ve bu şirketler dünya ekonomisine yön vermektedirler. Ülkemizde, üniversitelerimiz ve araştırma merkezlerimizde yapılan araştırmaların, teknolojiye aktarılıp, ekonomimize katma değer olarak kazandırılmamasının altında yatan nedenlerin başında araştırmaların kalitesinin uluslararası ölçütlerle kıyaslandığında yetersiz olmasıdır. Basit bir istatistiksel araştırma yukarıdaki yargıyı desteklemektedir. 1996-2005 yıllarını kapsayan 10 yıl içerisinde uluslararası dergilerde yayımlanan Türkiye adresli bütün makalelerin etkin-değer indisi (h-İndeks) sadece 97'dir (Şekil 1). 55 h-İndise sahip İran'dan daha iyi olan ülkemiz, komşu-

muz Yunanistan ve 3,6 milyon nüfusa sahip İrlanda'nın gerisindedir. Uzun yıllardır nanoteknolojiye yatırım yapan 6,7 milyon nüfusa sahip İsrail'in etkin değer indisi 275'e ulaşmıştır. Araştırmadan çıkaracağımız iki önemli sonuç vardır. Birincisi, h-İndisi 297 olan Stanford Üniversitesi (ABD), bütün Türkiye'nin yaptığı araştırmadan 30 kattan daha fazla etkili araştırmalar yapmaktadır. İkincisi, h-İndisimizin 80'i, uluslararası ortak çalışmalara

rın sonucunda elde edildiği göz önüne alındığında, bilim adamlarımızın yurt dışındaki meslekdaşlarıyla etkileşmelerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, başına düşen makale sayısına baktığımızda; ülkemiz, Yunanistan'dan 5, İsrail'den 12 kat daha düşüktür.

21. yüzyılı şekillendireceğine kesin gözü ile bakılan nanoteknolojide de ülkemizin durumu çok iyi değildir. Yine son 10 yılda nanobilim ve nanoteknoloji üzerine yayımlanan makalelerimizin hem nicelik hem de nitelik olarak komşu veya gelişmiş ülkelerden yayımlanan makalelere kıyasla zayıf olduğu görülmektedir (Şekil 2). 2005 yılındaki kişi başına düşen makale sayısında, ülkemiz Yunanistan'dan 10 kat, İsrail'den 30 kat daha geridedir.

Son yıllarda ülkemizde bilim ve teknolojiye aktarılan kaynakların beklenmedik bir şekilde artması (2005 yılı içerisinde TÜBİTAK tarafından Ar-Ge için aktarılan toplam kaynak miktarı 435 milyon YTL'e ulaşmıştır), bu durumun önümüzdeki yıllarda iyi yönde değişeceği konusunda bizlere ümit vermektedir. Ayrıca gerekli insan gücünün yetiştirilmesi için TÜBİTAK tarafından başlatılan



Şekil 1: 1996-2005 (10 yıl) arasında Bilimsel Atıf İndeksi (Science Citation Index - SCI) dergilerinde yayımlanan makalelerde ülkemizin durumu. H-İndeks, etkin-değer indisi, bir araştırmacının uluslararası camiada ne kadar etkili olduğunu gösteren bir faktördür.

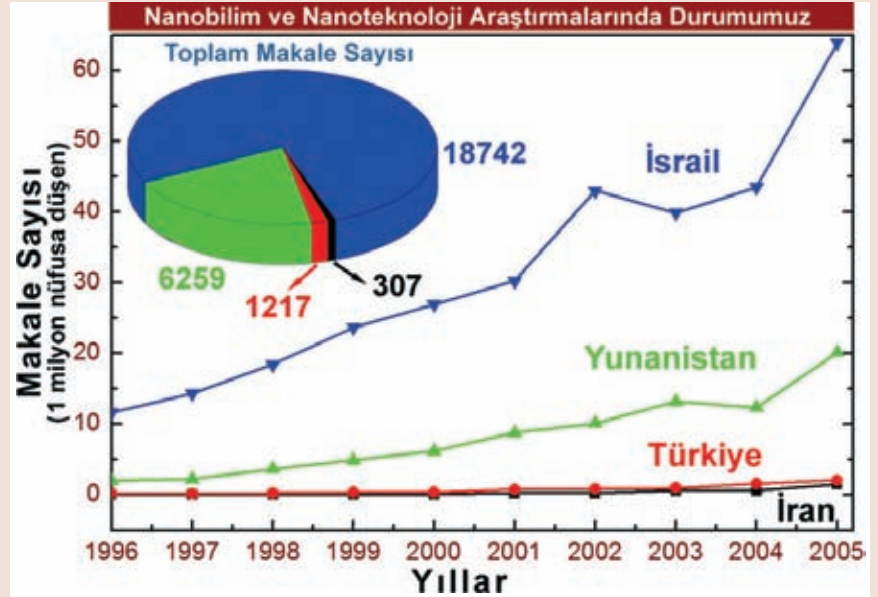
yüksek lisans ve doktora burs programları son derece faydalı olacaktır; insana yapılan yatırımın meyvelerini ülkemiz kısa süre içerisinde toplamaya başlayacaktır. Nanoteknoloji alanında da ülkemiz yatırım yapmaya başlamış, kısa süre içerisinde altyapının tamamlanması beklenmektedir.

Türkiyede Nanoteknoloji: Eğitim ve Araştırma Programları

Gelişmiş ülkeler tarafından öncelikli ve kritik araştırma alanı olarak desteklenen nanoteknolojiye, bütün dünyada 2005 itibarıyla yıllık 6 milyar ABD doları yatırım yapılmaktadır. Yıllardır yapılan bu yatırımlar meyvelerini vermeye başlamıştır. Örnek olarak, nanoteknolojinin ülke ekonomisi ve güvenliği için ne kadar önemli olduğunu kavrayan İsrail, nanoteknoloji altyapısını ve insan gücünü kısa sürede tamamlamıştır. Önümüzdeki 5 yıl içerisinde yıllık ortalama 50 milyon dolar yatırım yapılması planlanan İsrail’de, üniversiteler ve araştırma merkezlerinde 250 grup nanoteknoloji araştırmalarına devam etmektedir. Bu araştırmaların sonunda 45 nanoteknoloji şirketi kurulmuş, ekonomiye katma-değeri yüksek ürünlerle katkı sağlamaya başlamıştır.

Ülkemizin de nanoteknoloji alanındaki eksikliklerini zaman kaybetmeden hızlı bir şekilde gidermesi gerekmektedir. Bu maksatla Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından Bilkent Üniversitesi’nde kurulan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM), ülkemizde bu alanda bir mükemmeliyet merkezi olacaktır. Nanoteknolojide uzman bilimadamlarının yetiştirilmesi, araştırma altyapısının tamamlanması, şirketlerin katma değeri yüksek nanoteknoloji tabanlı ürünlere yönelmesi ve halkımızın nanoteknoloji konusunda bilinçlendirilmesi, başarıyla geçilmesi gereken nanoteknoloji yarışında var olmamızı sağlayacaktır. UNAM bünyesinde yapılacak yüksek lisans ve doktora tezlerinin evrensel boyutlarda nanobilimin gelişmesine katkıda bulunması ve kısa sürede nanoteknoloji ürününe dönüşmesi beklenmektedir. Bu bağlamda geliştirilen ‘knowhow’ ya kamu ve özel sanayi kuruluşlarına transfer edilecek ya da tez öğrencisinin geliştirdiği prototip civar Cyberpark veya Teknoloji Araştırma Bölgesi Kuluçka Merkezlerinde spin-off yöntemi ile üretilip pazara sunulacaktır. Ayrıca, yüksek lisans dersleri, teknik çalıştay ve ulusal ve uluslararası konferanslar yoluyla merkezimizde üretilen bilgi ve kazanılan deneyim ilgili bilim adamları ve araştırmacılara aktarılacaktır.

Nanoteknolojide ihtiyacımız olacak insan gücünü yetiştirmek için DPT’ye verdiğimiz eğitim projesi, üç sac ayağından oluşmaktadır. Altyapı, eğitim, üniversite-sanayi etkileşimi. Altyapı çalışmaları; eğitim altyapısı, araştırma altyapısı ve üniversite-sanayi birliğini sağlayacak şekilde planlanmıştır. Eğitim; ortaokul ve lise öğrencilerinden başlayarak nanoteknoloji eğitiminin verilmesi, basın-yayın ve konferanslar yoluyla halkımızın bilgilendirilmesi, yüksek lisans ve doktora öğrencilerinin yetiştirilmesi, yurt dışındaki bilim adamlarımızın nanoteknoloji eğitimine katkılarının sağlanmasını kapsamaktadır. Yüksek lisans ve doktora tezlerinden yüksek teknoloji şirketlerinin kurulması ve üniversite-sanayi etkileşmesi netice-



Şekil 2: Bazı ülkelerin, 1996-2005 yılları arasında nanobilim ve nanoteknoloji alanlarında SCI dergilerinde yayımlanan makalelerin yıllara göre durumu.

sinde KOBİ’lerimizin katma-değeri yüksek ürünlerle uluslararası rekabet gücünün artırılması bu projenin kapsamı dahilindedir.

Bu araştırmaların; ülkemize kısa, orta ve uzun vadede birçok alanda getirileri olacaktır. 21. yüzyıla hem bilimsel hem de ekonomik sonuçları dolayısıyla damgasını vuracağı öngörülen nanobilim, nanoteknoloji ve malzeme bilimi alanlarında ihtiyacımız olan araştırmacı insan gücünün artırılması en önemli kazancımız olacaktır. Askeri projelerle ülkemizin ihtiyacı olan bazı kritik teknolojilerin ve malzemelerin geliştirilmesi ve nanoaygıtların üretilmesi mümkün olabilecektir. En önemli ihracat ürünlerimizden biri olan tekstil endüstrisi, nanoteknoloji kullanarak üretilen kirlenmeyen, antimikrobiyal, vb. tekstil ürünleriyle pazarda daha güçlü hale gelecektir. Ülkemiz bor madeni kaynakları açısından oldukça zengindir. Bor madeni, geleceğin enerji kaynaklarında hammadde olarak kullanılması varsayıldığından bu konuda yapılacak araştırmaların ekonoimize çok ciddi katkılar sağlaması beklenmektedir. Bütün dünyadaki örneklerinde olduğu gibi nanoteknoloji ve malzeme bilimi, endüstriye ve ekonomiye çok önemli katkılar yapacaktır. Ülkemizde özel amaçlı malzeme yapımında eksikliği hissedilen uzmanlık ve deneyim geliştirecektir

Bilim Politikamız ve Nanoteknoloji

Artık bilim ve teknoloji politikamızda bir paradigma değişikliğine gitme zamanı gelmiştir. Teknoloji transferinden vazgeçip, ihtiyacımız olan teknolojiyi ortaya çıkaracak bilimi kendimiz, ülkemizde üretmek zorundayız. Başdöndürücü bir hızla ortaya çıkan ve gelişen yeni teknolojilere yaptığımız araştırmalarla katkı sağlamalıyız. Yakın, orta ve uzun vadede sonuçlar alabileceğimiz kritik alanlar belirlenmeli (bu alanların başında nanoteknoloji gelmektedir), kaynakların ayrılmasında bu alanlara öncelik verilerek, ihtiyacımız olan beyin gücü ve altyapı hazırlanmalıdır. Aksi takdirde, yüksek teknolojiye ödediğimiz miktar gittikçe artacak, ülkemizin kaynakları yetersiz hale gelerek gün geçtikçe daha fakir bir ülke haline geleceğiz.

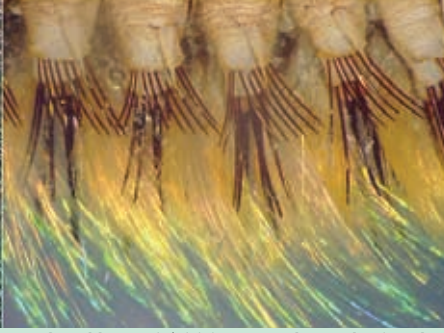
Yüksek teknoloji yeryüzünü global bir köy haline getirdi. İnsanoğlu her geçen gün daha fazla sayıda teknoloji ürününün esiri oluyor. MP3 çalar İpod Nano daha piyasaya çıkmadan bütün dünyada internette milyonlarca sipariş edildi. 10 sene önce hayatımıza girmeye başlayan ve kısa süre içerisinde halkımızın büyük bir çoğunluğu tarafından benimsenip kullanılmaya başlanan cep telefonuna bugüne kadar toplam 45 milyar YTL civarında para harcadık. Önümüzdeki yıllarda daha fazla sayıda yüksek teknoloji ürünü hayatımızın vazgeçilmez parçaları haline gelecek ve yurt dışına çıkan milli kaynaklarımızın miktarı artacaktır. Üretim maliyeti 10 YTL’yi geçmeyen kalp damarlarına takılan bir stent için 10.000 YTL ödeyen bir çiftimiz, 7 ton kiraz ihraç ederek bu parayı denkleştirebilecektir. Devamlı kullanmak zorunda olduğumuz bir kutu kanser ilacını almak için her seferinde 5 buzdolabı satmak zorunda kalacağız.

Kendi kendini temizleyen boyalardan, kirlenmeyen kumaşlara; esnek ama daha dayanıklı betonlardan, elmas kadar sert kaplamalara; kanserli hücrelerin vücuda zarar vermeden öldürülmesinden, günlerce etkisini kaybetmeyen kremlere; tek şarbon mikrobunu bile algılayabilen sensörlerden, mikrop barındırmayan buzdolaplarına kadar hayatımıza giren nanoteknoloji yeni bir teknoloji devrimi olarak algılanmaktadır. Sonuçları itibarıyla küresel ekonomiyi etkileme potansiyeline sahip nanoteknoloji henüz gelişme fazındadır. Nanoteknolojiye bugün yatırım yapan ülkeler, kısa süre içerisinde meyvelerini toplamaya başlayacaktır.

Yarıletken devrimini kaçırdık, şimdi en kritik ihtiyaçlarımızda bile dışa bağımlı haldeyiz. Önümüzdeki asrı şekillendireceğine kesin gözü ile bakılan nanoteknoloji, ülkemiz için bir yükselme rampası olabilir; yeter ki yapılması gerekenler zaman geçirmeden hayata geçirilsin. Bu yarışta olmak ya da olmamak bizim elimizde, bu fırsatı da kaçırmayalım...

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Bayındır
Bilkent Univ. Fizik Bölümü,
UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi
(İletişim: mb@nano.bilkent.edu.tr)

ZAMANLARININ ÖTESİNDEKİ CANLILAR DOĞADAN BÜYÜLEYİCİ NANOFOTONİK YAPILAR



Kendilerine hayranlıkla baktıran ve aslında pigmente sahip olmayan bazı kelebek kanatlarının ve tavus kuşu tüylerinin nasıl olup da bu kadar güzel renklere sahip olduklarını biliyor musunuz? Hatta kimi canlılarda sabit bir renk olmayıp bakma yönünüzü değiştirdikçe renk değiştiren (yanardöner olan) yapılar bile var! Bunlara yüksek çözünürlüklü mikroskoplarla baktığımızda değişik optik özelliklere sahip periyodik yapılar olduğuna ve tüm bu muhteşem renklerin fotonik kristaller sayesinde gerçekleştiğine şahit oluruz. Işığın kontrolünü sağlayan bu yapıların laboratuara taşınması ise farklı birçok uygulama için önemli kapılar aralayacaktır. Gelin doğadaki nanofotonik kristallere ve bunların insanoğlunun yaşamına olan yansımalarına birlikte göz atalım.

Doğada her şeyin bir rengi var, bu görünen bir gerçek. Ama bu renkler ortaya çıkma biçimlerine göre farklılık gösterebiliyor. Örneğin bitkilerdeki yeşil rengin sebebi klorofil pigmentidir. Klorofilin yeşil olmasının sebebi ise magnezyumun güneş ışığıyla uyarıldıktan sonra dışarıya verdiği ışığın dalga boyunun, yeşil ışığın dalga boyuyla aynı olmasıdır. Bu tip renklenme pigmentle renklenmeye bir örnektir. Bunun yanında yapısal renklenmeler vardır. Burada ışık, herhangi bir emilim-emisyon sisteminden ziyade, kırılma, saçılma, girişim ve benzeri optik olaylarla belli dalga boylarında geri yansımaktadır; tıpkı sabun köpüğünün üzerinde karmaşık renklerin oluşması gibi. Yapısal renklenmeye birçok canlıda rastlamak mümkündür; kelebek ve böcek türlerinin birçoğunda, kuşların tüylerinde ve birçok deniz canlısında. Son yıllardaki görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler ve fotonik kristal yapılara olan aşırı ilgi, canlılarda bulunan nanofotonik yapılar üzerine yapılan araştırmaların artmasına sebep olmuştur.

Renk Cümbüşü Kelebekler

Kelebekler çok farklı renklere ve desenlere sahip olmaları sebebiyle insanoğlunun her zaman ilgisini çekmiştir. Savunmada ve çiftleşmede önemli rolü olan bu renk ve desenlerde hem pigmentel hem de yapısal renklenmeye rastlamak mümkündür (Şekil 1). Kelebek kanatlarında yapı-

sal renklenmeyi (girişim ve saçılım mekanizmaları ile) sağlayan küçük pulcuklar vardır. Bu pulların yüzeyindeki damarların kesiti çam ağacının karakteristik şekline benzemektedir. Bu sayede yüzeyde lamelli bir yapı oluşmakta ve yansıtılan dalga boyundaki ışığın en yüksek değeri artmaktadır; bu da rengin daha parlak görünmesini sağlamaktadır. Bu lameller kütükülden (ölü hücrelerden oluşan yapı) olup kırılma indisi; $n=1,56 \pm 0,06$ 'dır (kompleks kısım soğurulma olduğunu gösterir).

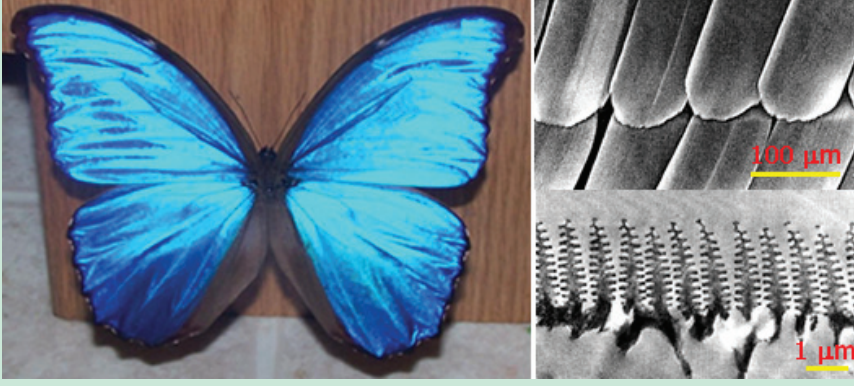
Morpho rhetenor türü kelebeklerde lameller tabana paraleldir ve pullarındaki lamel sayısı 12'ye kadar çıkmaktadır; bu türlerde mavi ışıktaki

%80'e varan yansıma ulaşabilmektedir (Şekil 2). Sahip oldukları yüksek parlaklık sayesinde alçaktan uçan bir uçaktan görülmeleri mümkündür.

Kelebeklerin bu özelliklere sahip olmasının sebebi sadece güzel bir renk cümbüşü oluşturmak değil elbette. Yapılarındaki fotonik kristaller birçoğunda belki de henüz bilmediğimiz bir şekilde çevreye uyumlarını kolaylaştırıyor. Bilinenlerden gidersek, Lycaenidae kelebek ailesinin bazı türleri sahip oldukları fotonik kristal yapılar sayesinde sabah erken saatlerde hızlı bir şekilde ısınabilmektedirler. Yapılan araştırmalara göre, genellikle yüksek rakımlı bölgelerde yaşayan bu özelliğe sahip kelebeklerin, daha az rakımlı bölgelerde ya-



Şekil 1: Yapısal ve pigmentel renklenmeye bir örnek.



Şekil 2: Morpho rhetenor türü kelebek ve kanatlarındaki parlak mavi rengi veren fotonik yapı (pullar ve pulların kesiti).

şayan türlerle eşit koşullarda karşılaştırıldığında ulaştıkları sıcaklık 1,3 - 1,5 kat daha büyüktür.

Nanofotonik Kristallerle Işık Saçan Deniz Faresi

Literatürdeki adı Aphrodita olan deniz faresi siğ sularından 2 kilometre derinliklere kadar geniş bir yaşama alanına sahiptir. Yaklaşık boyu 15-20 cm ve genişliği 5 cm olan Aphroditanın üzerinde rengiyle düşmanlarını korkutmasını sağlayan dikenler vardır. Bu dikenler savunmanın yanında, derin sulara yaşayanlar için var olan az ışığın en verimli şekilde kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Normalde koyu kırmızı olan dikenler eksenlerine dik açıyla gelen ışık altında yanardöner özellik kazanmakta ve resimlerde gördüğümüz muhteşem görüntüyü oluşturmaktadır (Şekil 3). Dikenlere eksenlerine dik ışıktaki baktığımızda rengârenk, çok ince ve uzunlamasına şeritler görülmektedir. Bu konudaki önemli ilk çalışmayı yapan ve

bu çalışmaları 2001 yılında Nature dergisinde yayımlanan Andrew R. Parker ve meslektaşları, Avustralya'da yaşayan deniz faresinin dikeninin kesitini elektron mikroskobu ile incelemiş ve dikenin içi deniz suyu ile dolu, altıgensel dizilime sahip mikro boyutlu silindirlerden oluştuğunu görmüşlerdir (Şekil 3). Yaklaşık yarıçapı 20 nanometre olan bu silindirlerin çeperleri tahmin edileceği gibi dikenin yüzeyine doğru kalınlaşmaktadır. Resimden de görüldüğü gibi bu silindirler yüzeye paralel katmanlar oluşturmaktadır. İki silindir katmanı arasındaki mesafe her yerde aynı ve 500 nanometredir. Silindirlerin kenarları kitin (böceklerin üzerinin kaplayan madde) olup kırılma indisi 1,54, deniz suyunun kırılma indisi ise 1,33'tür. Normalde buna benzer fotonik sistemlerde indis farkı genellikle fazladır, hatta yapısal renklenme ve benzeri olaylar fazla indis farkının varlığında meydana gelmektedir. Kitin ile deniz suyu arasındaki fark ise aslında gerektiği kadar fazla değildir. Buna rağmen, dikenin sahip oldu-

ğu oldukça düzenli ve harika nanofotonik kristal sayesinde mükemmel renklemeler gözlemlenmektedir.

Tavus Kuşu Çekiciliğini Nanofotonik'e Borçlu

Birçoğunuz hayvanat bahçesine gittiğinizde tavus kuşlarının kafesini daha bir merak etmişsinizdir; "kabarırken görmek mümkün olacak mı acaba?" diye. İster hayvanat bahçesinde isterse televizyonda veya resimlerde görmüş olalım tavus kuşlarının tüylerindeki, büyük bir gözü andıran deseninin ve renklerinin güzelliğine hayran kalmıyorsunuz. Peki, o renklerin de fotonik kristaller sayesinde ortaya çıktığını biliyor musunuz?

Dişilerini etkilemek ve hemcinslerine gözdağı vermek amacıyla kabaran tavus kuşlarının bir türü olan *Pavo muticus*'un tüyleri dört renkten oluşmaktadır: mavi, yeşil, sarı ve kahverengi. Bu renklerin oluşumu tüyü oluşturan ve tüy sapından yanlara doğru uzanan tüycüklerin üzerlerinde bulunan fotonik yapılarla sağlanmaktadır (Şekil 4). Bu tüycüklerin üzerinde ışığın alttaki fotonik kristal yapıya saçılarak geçmesini sağlayan yuvarlak, yaklaşık 20-30 µm derinliğe sahip çukurluklar vardır. Tüycüklerin kesitleri taramalı elektron mikroskobuyla incelendiğinde iç kısımda 3 µm çapa sahip bir öz bölgesinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu öz, melanin (canlılara koyu kahverengi veya siyah rengi veren pigment) çubukçuklar ve bunları birbirine bağlayan keratinden oluşan iki boyutlu fotonik kristallerle kaplıdır. Buradaki melanin çubukların boyu yaklaşık 700 nm'dir. Bu kristallerin yapısı, tüycüklerin rengi farklı olsada oldukça benzerdir. Mavi, yeşil ve sarı renkli tüycüklerde melanin çubuklar karesel bir dizilim izlemektedir. Bu dizilimler mavi olanlarda 140, yeşil-

Fotonik Kristaller

Işığın Hareketini Kontrol Etmek Mümkün Mü?

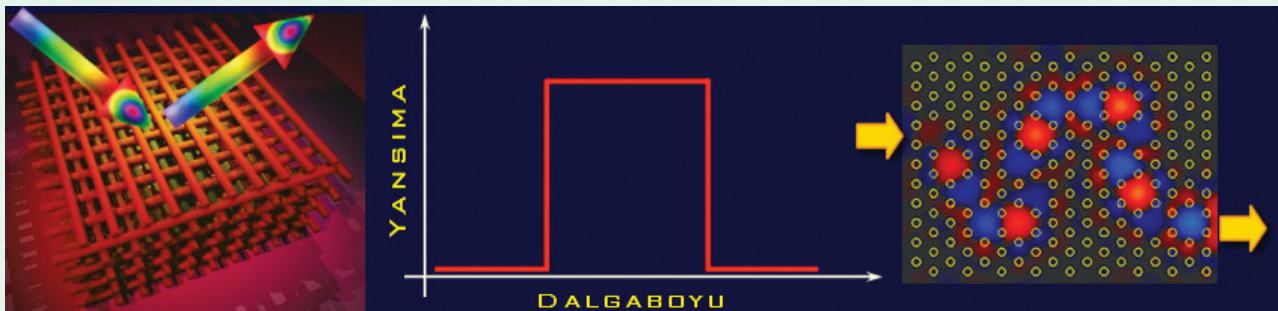
Fotonik kristaller, dielektrik veya metalik malzemelerin, bir-, iki-, veya üç-boyutta periyodik olarak düzenlenmesiyle elde edilir. İçerisinde farklı dalgaboylarını barındıran bir ışık demeti, fotonik kristaller üzerine düşürüldüğünde, belirli dalgaboyu aralığındaki ışık, kristal içerisine girememekte ve fotonik kristal yüzeyinden tamamen geri yansımaktadır. Ayrıca, ışığın fotonik kristal fiberler içerisinde hapsedilerek ilerlemesinin sağlanmasıyla, kanserli dokuların vücut içerisinde lazerle yakılarak yok edilmesinden, fiber tabanlı

lazerlere kadar bir çok yeni uygulama sahaları açılmıştır.

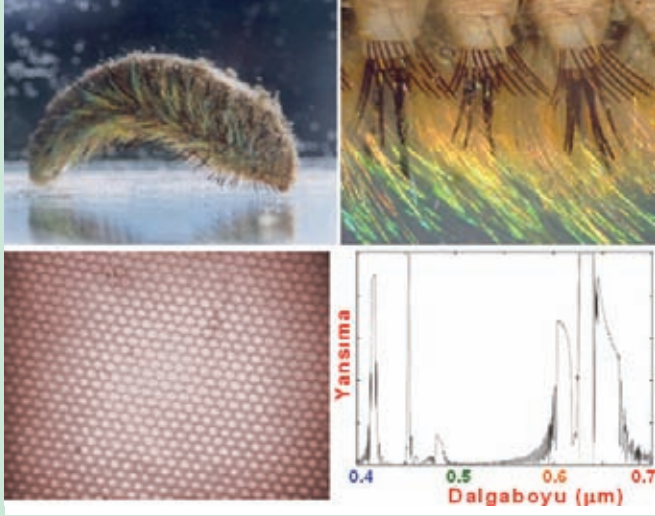
Elektronların hareketinin yarıiletken kristallerde kontrol edilmesi, yeni bir teknoloji devrimine yol açmıştır; ve bu teknoloji sayesinde insanlığın yaşamı inanılmaz ölçüde kolaylaşmış, bilgisayar, CD çalar gibi bir çok elektronik alet hayatımıza girmiştir. Fakat elektronlar arasındaki etkileşimler ve elektronların düşük hızlara sahip olmaları, bilimadamlarını yeni arayışlara itmiştir. 1987 yılında periyodik fotonik yapılarda ışığın yasak banda sahip olduğunu gösterilmesi, ışığın hareketinin kontrol edilmesinde bir çığır açmıştır. Fotonlar (ışık kuantaları) hem birbirleriyle etkileşmemekte hem de elektronlara göre binlerce kat daha yüksek hızlara sahip olmaktadır. Dolayısıyla, hepsi-optik devrelerin,

elektronik devrelere göre çok daha hızlı çalışacağından, yakın bir gelecekte elektronik çağının yerini fotonik çağa bırakacağı beklenmektedir.

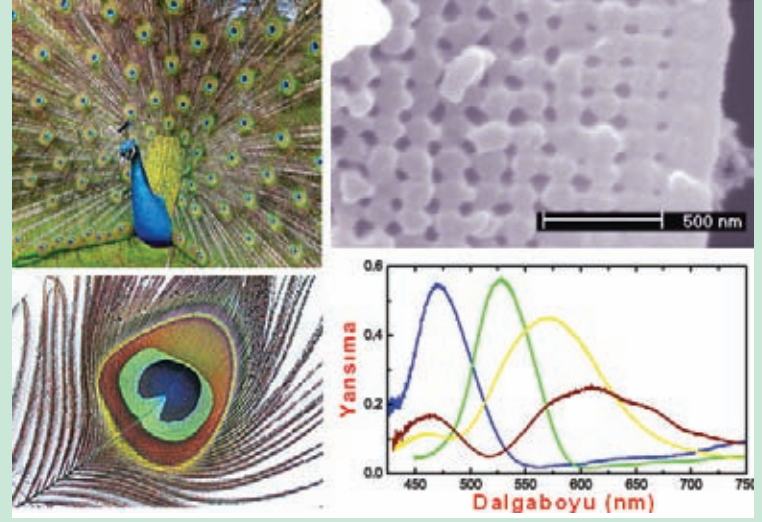
Ey ışık! Nereye istersem oraya git. Işığın fotonik kristaller içerisinde keskin virajlara sahip dalga klavuzlarında kayıpsız bir şekilde ilerlemesini sağlamak, optik devreler için son derece önemlidir. 2000 yılında Bilkent Üniversitesinde Mehmet Bayındır tarafından keşfedilen yeni bir hareket mekanizması, ışığın bir noktadan diğerine kayıpsız olarak taşınmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca bu yeni yöntemle, ışığın yavaşlatılması, hatta durdurulması, mümkün olmaktadır. Fotonların, yerleşmiş modlar üzerinden bir kaviteden diğerine atlayarak hareket etmesi üzerine kurulu bu mekanizma, bir çok yeni araştırma alanının açılmasına yol açmıştır.



Fotonik kristallerden ışığın yansıması. Fotonların, nanofotonik yapılarda yeni bir hareket mekanizmasıyla (bir kaviteden diğerine hoplayarak) ilerlemesi.



Şekil 3: Deniz faresi ve dikenleri. Dikenlerin üzerindeki fotonik kristal yapı belirli dalgalı boyundaki ışığı yansıtmaktadır.



Şekil 4: Bütün çekiciliğiyle seyredenleri büyüleyen tavus kuşu ve kanadından bir tüy. Tüyler üzerindeki fotonik kristal yapı ve tüyün farklı bölgelerindeki fotonik kristallerin yansıma spektrumları.

lerde 150 ve sarılarda 165 nm aralıklara sahiptir. Buradan görülmektedir ki melanin katmanlar arasındaki mesafenin yansıtılan dalga boyu, yani görünen renk, üzerinde önemli etkisi vardır.

Öte yandan, yapılan araştırmalarda görülmüş tür ki mavi ve yeşil renkli tüycüklerde 10 melanin katmanı varken sarı renklilerde 6 katman vardır. Periyot sayısının etkisini ise grafikte görebiliriz (Şekil 4). Sarıya göre daha fazla katmanlı kristalden oluşan mavi ve yeşil renklerin grafikleri daha dar iken sarı rengin grafiği daha geniştir ve yeşilden turuncuya kadar olan renk aralığını içine almaktadır. Yani katman sayısı arttıkça renklerin belirginlikleri artmaktadır. Çıplak gözle baktığımızda sarı rengin de mavi ve yeşil kadar belirgin olduğunu görmekteyiz. Bunun sebebi ise sarı renkli tüycüklerde ayrıca Fabry-Perot girişiminin görülmesidir.

Kahverengi tüycükler kristal yapısı bakımından diğerlerinden biraz farklıdır. Dikdörtgenel bir dizilime sahiptir ve aralıkları tüy yüzeyine paralel doğrultuda ~150 nm, tüyün içine doğru ise ~185 nm'dir. Diğer renklerden farklı olarak kahve renkli tüycüklerde en üstteki melanin çubuklarının arası hava ile değil keratin (saçın hammadde) ile doludur ve ilk iki melanin katmanı arası boşluk alt katmanlardan farklı olarak ~235 nm'dir. Ayrıca toplam melanin katmanı sayısı 4 ya da 5'tir. Bu tüycüklerin yansıma grafiğine baktığımızda mavi dalga boyunda ve yeşilden kırmızıya kadar olan aralıkta grafiğin yükseldiğini görmekteyiz. Bu renklerin karışımı bize kahveren-

gini vermektedir.

Sonuç olarak tavus kuşu sadece tüylerinin güzelliği ile değil, sahip olduğu bu fotonik kristallerle de bizleri kendisine hayran bırakmaktadır. Kibarmak hakkı değil mi?

Denizanasındaki İki-boyutlu Nanofotonik Kristal: Verimli Işık Saçıcılar

Literatürdeki adı *Ctenophore* olan bu canlılar hareketlerini sağlayan yapılar üzerinde kirpikler olması sebebiyle "taraklı" sınıfla nitelendirilmektedir. Taraklı bir denizanası olan *Beroë cucumis*'in sahip olduğu lokomotif yapılar sekiz sıra halinde olup canlının bir tarafından diğerine uzanmaktadır. Dokularının kırılma indisi tuzlu suyun indisine oldukça yakın olduğu için fark edilmeleri oldukça zordur. Ancak yoğun ışık altında veya vücutlarında herhangi bir deformasyon varsa görmek mümkün olur. Hareketi sağlayan yapılar ise vücuduna göre daha kolay görünebilir bir yapıdadır ve canlı hareket ettikçe gökkuşağı renklerini göstermektedir. Bunun sebebi üzerine gelen ışığı kırması veya saçmasıdır. *Beroë cucumis* aslında biyo-aydınlatma özelliğine de sahiptir. Yani sahip olduğu optik yapılar sadece gelen ışığı kırmakla kalmıyor aynı zamanda kendi ürettiği ışığı daha iyi yaymasına yardımcı oluyor (Şekil 5).

Victoria Welch ve meslektaşlarının geçen Nisan ayında yaptıkları araştırmaya göre *Beroë cucumis* kirpikleri deniz faresinin dikenleriyle boyut ve yapı bakımından benzerlikler göstermektedir. Bu araştırmada, elektron mikroskobuyla alınan görüntülerde yanardöner özelliğe sahip organların iki boyutlu fotonik kristaller halinde yapıldığını gözlemlenmiştir. Görüntülere göre bu yapılar mikro tüplerden oluşan silindirik, daha büyük tüplerden meydana gelmiştir. Mikro tüplerde (yaklaşık çap 40 nm) kırılma indisi çok yüksek olup dolgu maddenin kırılma indisi deniz suyunun kırılma indisine oldukça yakındır ($n=1,34$). Ancak bu mikro tüplerin kırılma indisini ölçmek oldukça zor olduğu için indis değeri 1,57 olarak tahmin edilmektedir. Bununla birlikte silindirik tüpler oldukça düzenli bir dizilime sahiptirler. Her bir si-

lindirik tüp yaklaşık olarak 10 mikro tüpten oluşmakta ve bunların dokuzu yarıçapı yaklaşık 73 nm olan çembersel bir dizilim göstermektedirler. Bu çemberin merkezinde ise yine 40 nm çapa sahip olan başka bir mikro tüp bulunmaktadır.

Üzerindeki nanofotonik yapılar sayesinde ışığı kontrol edebilen denizanası, biz araştırmacılar daha verimli ışık kaynakları elde edilmesi konusunda fikirler vermektedir.

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde Neler Yapılacak?

Fotonik kristaller, ışığın kontrol edilebilmesini sağlaması sebebiyle giderek daha çok ilgi çekmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların birçok alanda büyük devrimsel açılımlar sağlayacağı tahmin edilmektedir. Işığın fotonik kristaller yardımıyla yavaşlatılması (hatta durdurulması) birçok uygulama için son derece önemlidir. Mesela, fotonik kristal tabanlı hepsi-optik devrelerle, optik aygıtların hızlarının kat kat artması öngörülmektedir. Bu konuyla ilgili ülkemizde de önemli çalışmalar yapılmıştır. Bilkent Üniversitesi İleri Araştırma Laboratuvarı edindiği bilgi birikimini ve tecrübeyi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde hayata geçirip, verimli ışık kaynakları, nanolazerler, hepsi-optik aygıtlar ve güvenli iletişimi sağlayan lazer sistemlerin geliştirilmesini hedeflemektedir.

Özlem Köylü

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Bayındır

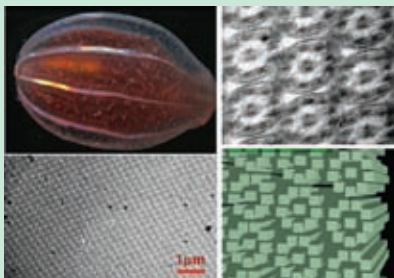
Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü

UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

(İletişim: mb@nano.bilkent.edu.tr)

Kaynaklar

1. P. Vukusic ve J. R. Sambles, Photonic structures in biology, Nature, 14 Ağustos 2004.
2. R. O. Prum, T. Quinn ve R. H. Torres, Anatomically diverse butterfly scales all produce structural colours by coherent scattering, Journal of Experimental Biology, 15 Şubat 2006.
3. A. R. Parker, R. C. McPhedran, L. C. Botten ve N. A. Nicoroviç, Aphrodite's iridescence, Nature, 4 Ocak 2001.
4. R. C. McPhedran ve N. A. Nicoroviç, Learning optics in Nature's school, Australian Optical Society News, Haziran/Eylül 2001.
5. S. K. Blau, Light as a feather: Structural elements give peacock plumes their color, Physics Today, Ocak 2004.



Şekil 5: Denizanasının sahip olduğu iki-boyutlu fotonik kristal yapı, biyolojik olarak ürettiği ışığı en verimli bir şekilde dışarı vermesine yardımcı olur.

Türkiye'nin Bilim Çeşmesi:

www.biltek.tubitak.gov.tr

Yenilendi!

**BİLİM
TEKNİK**

Bilim ve Teknik Kulübü Bilim&Teknik Dükkanı Gökbilim Fotoğraf Oyunlar Sandık Odası

Bilim Paketleri
Bilim ve teknoloji konularında yazışmak isteyenler için

Matematik Bir Oyundur
Matematiğin büyük dünyasında bir gezintiye ne dersiniz?

Kendinizi Yapalım
Elektronik bağınızı önüne döndürmek ister misiniz?

Sonsuz Takvim
Doğduğunuz günün hayatın her gününe denk geldiğini merak ediyor musunuz?

Haydi Çevir
Kuş pound açıldığında olduğumuzu merak ettiniz mi?

Sınırsız Sayılar
On, yüz, bin, milyon, milyar, ya sonsa? Yazın, sizin için okuyalım.

Orada Saat Kaç?
Dünyanın farklı yerlerinde saatın kaç olduğunu öğrenmek için

Psikoloji
Kendinizi tanımak mı istiyorsunuz? Fobiler, kompleksler Psikolojik boyutları Psikolojiyle ilgili herşey...

Sanal Sergi
BİLİM ve TEKNİK sizin içinliği fotoğraflar sergilenen **sanal fotoğraflar sergileri** düzenliyor

Zaman Tünelinde Türkiye
Türkiye, büyümesi devam eden, herdeni halen gelişen bir diktatör olarak tarihtir. Önce, gazanmışlık denizleri, değişim...

Hava Trafik Kontrolörleri
Uçağı birip gideceği yam, uçan yokları yamı ca kaben gövdesi ya da pilotu günler ama, uçağı uçağı arasında loşak kabinin günü yayıncı çok da dölünmedir. Oysa bir uçağı neçlerden kalkanlar önce hepçeyen...

Orta
Genellikle üç ayıyında görülen ve influenza virüsünün yol açtığı üst solunum yolu hastalıklarına **İngiliz** deniyor

Formula '06

FOTOĞRAFLAR VE SONUÇLAR İÇİN TIKLAYIN...

Merak Ettikleriniz
Santromer bölgesi neden boğumudur? İnsan kromozomlarının kağı ve hangileri **metayin...**
Balıkların neden göz kapakları yoktur? (Emre Işıklar) **tiklayın...**
Dünya cisimlerinde atalet momenti nedir? (Sabit Nom) **tiklayın...**

Bilim ve Teknoloji Haberleri
Yörüngeyle Değişen Yaşam
Dünya'nın yaşadığı yörüngeye göre küçük bir değişim, canlıları ya da canlı gruplarının yaşa oluşuyla sonuçlanabilir mi? Yeni bulgular, bütün mümkün olasılıkları yolunda. En azından İspanya'nın karnelleri için, **tiklayın...**

EN ÇOK MERAK EDİLENLER
(Cevaplar için, üzerlerine tıklayınız)

Atom Bombası
Nasıl yapılır?

Beynimin % kaçını kullanıyorum?

CAM
Kötü müdür?

Kuş gribi NEDİR?

Boyum daha Uzun mu?

Genel görecilik

Özel görecilik

Sürtünme kuvveti NEDİR?

Devr-i doim makineleri neden çalışmaz?

KENEden ne kadar korkulmalıdır?

Bilgi Paketleri
Ders kitaplarında okuduğunuz zihinlerde canlandırıyor musunuz Bu köşe sizin için...

Dijital Elektronik

Evren

Duyular

Dünyamız

Üreme

Hücreye Yolculuk

Genler ve DNA

Klonlama

Canlılar Dünyası

Periyodik Tablo

Temel Kimya

Ekosistem

Jeolojik Devirler

Robotik

Maddenin Yapısı

TÜBİTAK BİLİM VE TEKNİK DERGİSİ
39 YILLIK BİLGİ HAZINESİ DVD'Sİ KULLANIM KILAVUZU
TIKLAYINIZ !!

Yeni Ufuklara Cilt-2 KİTAPÇILARDA!!

Kullanıcı Adı
Şifre
Anıvı

Arşiv Göz
Abone Ol

Etkinlikler & Şanıklık
Formula '07
Başvurular başlatıldı
Gökyüzü Gözlem Şenliği
TÜBİTAK BİLİM KAMPİ
Başvurular devam ediyor!
Biyoloji - Tıp Veterinerlik Fenleri
Buluş Şenliği
Nerede Ne Var?
Üniversitelerin, kamu kurum ve kuruluşlarının, destek, vakıf ve meslek odalarının düzenlediği etkinlikler.
Bilim İnsanları
Tarih boyunca bilime katkı yapanlar...
Geçmiş ve günümüz Türk bilim insanları...