

# UMUTLA KABUSUN ARASINDA NANOTEKNOLOJİ

Boyutları giderek küçülen araçlara, aygıtlara, transistörlü radyolara, cep telefonlarına alıştık. Boyutların küçülmesini neredeyse doğal bir süreç olarak benimsedik. Nanoteknoloji de son yıllarda sıkça duyduğumuz bir kavram. Kimimiz bunun metrenin milyarda biri demek olduğunu bilmeyebiliriz. Bilsek bile, nanoteknoloji deyince aklımıza daha küçük walkmenler, yakamıza ilâştirebileceğimiz telefonlar gibi, aslında nanoteknoloji dünyasında yeri olmayan "dev" yapılar gelir. Hadi doğru boyutların farkındayız diyelim. Demek ki, neredeyse mikroskobik aygıtlar da gündemde. Eh, daha iyi değil mi? Teknolojik hünelerimize öylesine güven duyuyoruz ve küçülme süreci de artık öylesine doğal ki, hiçbirimizin bu ürünlerin üç beş yıl sonra piyasada olacağı konusunda kuşkusu yok. Kimimizse bunlarla yetinecek gibi değil. Damarlarımız içinde dolaşan, hücrelerin içine girip onarım yapan yarı mekanik, yarı biyolojik araçlardan tutun, yolları, evleri temizleyecek bir nanorobotlar ordusunun hizmete girmesi için sabırsızlanıyor. Kimimiz de ipin ucunun elimizden kaçacağını, insanlığın, kendi yarattığı makinelerce yok edileceğini düşünüyor. Geçekteyse, nanoteknoloji ne bu türden abartılı beklentileri, ne de temelsiz korkuları körükleyebilecek durumda. Bilim adamları, şaşırtıcı bir ölçeğin beslediği bu iki ters akımın bilimkurgusal fantezilerine karşın, on yıllar boyunca sağlanan gelişmelerin bile nanoteknolojiyi henüz yaşantımızı etkileyebilecek bir düzeye getirememiş olduğunu önemle vurguluyorlar.

Çeviri: Raşit Gürdilek

Princeton Üniversitesi'nden bilim tarihçisi Edward Tenner, "Nanoteknolojinin olumlu olsun, olumsuz olsun, kehanetlerin en uçuk olanlarına kaynaklık etmek gibi olağanüstü bir özelliği var" diyor.

IBM'in California'daki Almaden Araştırma Merkezi'nden Don Eigler'a göre "Nanoteknoloji yalnızca bir vizyon; birkaç atomun uzunluğundaki bir ölçekte bir şeyler yapabilmek için beslenen bir umut". Ve ekliyor: "Anlayacağınız, nanoteknoloji diye birşey yok".

Bilim adamlarının bu yargılarına karşın sanayileşmiş ülkeler, gelecekte bilim ve teknoloji için paradigma olabi-

lecek potansiyelde bir teknolojiye sırtlarını dönmek istemiyorlar. Bu alanın vaat ettiği açılımlar, yalnızca ABD üniversitelerinde bir düzine kadar nanoteknoloji araştırma merkezi kurulması-



na yol açmış bulunuyor. Geçen yılın Ekim ayında ABD Kongresi, Bill Clinton'un yeni bir Ulusal Nanoteknoloji İnisyatifi başlatmak için istediği bütçeyi onayladı. Program çerçevesinde bu yıl nanobilime 423 milyon dolar tutarında kaynak aktarımı yapılacak. Kesenin ağzının ileride de açık duracağına kuşku yok. Bu alanda geri kalmak istemeyen birçok Avrupa ülkesi de gerekli fonları ayırmaya hazır görünüyor. Aslında Avrupa Birliği, kapsamlı nanoteknoloji programları yürütüyor. Bunlardan biri olan Nano Network, nanomalzemeler sentezi üzerinde çalışan 18 araştırma merkezini bir araya getiriyor.

Japonya da bu yıl içinde nanoteknoloji alanında yapacağı harcamaları yüzde 41 oranında artırarak 396 milyon dolara yükseltecek. Çin, Singapur, Avustralya, Kanada, Almanya, İngiltere ve Rusya da nanoteknoloji alanına yatırım yapanlar arasında.

Nanoteknolojiye bağlanan umutlar, yalnızca işe yarayan mikroskobik makinelerle ilgili değil. Beyaz Saray iktisat danışmanlarından Tom Kalil, bu alanın, elektrik ve transistörün yaptığı gibi, günlük yaşam ve sanayi için çok büyük potansiyel yararlar sağlayabileceğini söylüyor. Nobel Ödüllü kimya araştırmacısı Richard Smalley ise nanoteknoloji araştırmalarının, gençliğin bilime azalan ilgisini yeniden canlandıracağını umuyor. "Araştırmacı, "beni bilime sürükleyen Sputnik olmuştu" diyor.

Böylesine yoğun ilgi ve destek gözönünde tutulduğunda, nanoteknoloji-

nin geleceğinin açık olduğu kesin. Pe ki bugünü ne durumda? Bilim adamları, bu teknolojinin bilimkurgu alanından gerçeğe taşınması için olağanüstü bazı güçlüklerin aşılması gerektiğini vurguluyorlar. Her şeyden önce nanoteknoloji araştırmacıları, şimdi yaptıkları gibi atomları bir yerden ötekine taşıyabilmenin ötesinde, nano ölçekli cisimlerin seri üretimini gerçekleştirecek yollar bulmak ve bir şekilde bu ürünlerin, çevrelerinde bulunan çok daha büyük, insan ölçeğindeki cisimlerle bağlantısını sağlayabilmek zorundalar. Bu da tabii, çeşitli bilim dalları arasında sağlanması zaten güç olan işbirliği ve eşgüdümün çok daha ileri boyutlara taşınmasını gerektiriyor.

## Nanoteknoloji Nedir?

Nanoteknoloji, günümüzdeki anlamıyla nanoölçekli (metrenin 1 milyar-

da biriyle 100 milyonda biri arasındaki) malzemelerin üretim, montaj ve kullanımının sözkonusu olduğu alanları kapsıyor. Bu uzunluk, birkaç atomun bir araya getirildiği gruplarınkinden tutun, geliştirildiği söylenen protein motorlarının boyutlarını da içine alacak bir eşik oluşturuyor. Kimya, fizik, malzeme bilimi ve moleküler biyolojiyle uğraşan bilim adamları, bu alandan kendilerine pay biçiyorlar. Bu durum, nanoteknolojiyi psikiyatristlerin hastalarına tanı koyabilmek için kullandıkları mürekkep lekelerine benzer kılıyor. Yani bu alana neyin girdiği, soruyu kime sorduğunuza bağlı.

Pittsburgh'daki Carnegie Mellon Üniversitesi'nden iktisatçı Lester Lave bu yeni teknolojinin kendine henüz net bir kullanım alanı bulamamış olmasına dikkat çekiyor. "Elinde bir çekiç tutan beş yaşındaki bir çocuk için tüm dünya bir çividir" diyor ve sözlerini şöyle bağlıyor: "Nanoteknoloji bir çekiçten, nanoteknologlara bu çekiçe vuracak birşeyler arayan kimselerden başka bir şey değil."

## Basit Yap, Kazan...

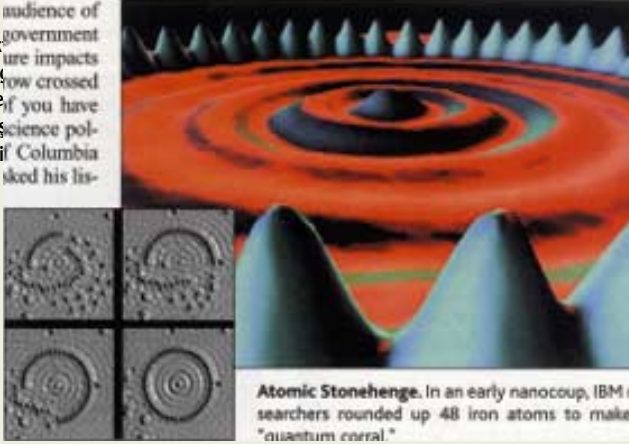
Nanoteknoloji alanındaki ilk ilerlemeler, atomları oraya buraya taşımaktan ibaret kalmadı. Teknolojinin değişik malzemeler sentezleme konusunda kanıtlanan gücü, araştırmacılara nano ölçeklerde pek çok malzemenin biçimini ve boyutlarını kontrol etme olanağı sağladı. Araştırmacılar, nanoölçekli malzemelerin yüzeylerinin, hacimlerine göre büyük olmasının, bunlara büyük ölçekli malzemelerde bulunmayan özellikler kazandırdığının farkına vardılar. Örneğin, kadmiyum selenit gibi yarı iletken malzemeden yapılan nanoölçekli kristalitler, değişen boyutlarına bağlı olarak ışığın değişik renklerinde parıldıyorlar. Bu özellikleri nedeniyle biyoloji deneylerinde ışılan bir "boya" olarak yağın kullanım kazandılar. Şimdiyse birçok firma bu teknolojinin ticari kullanım hakkını elde etmek için yarışıyor.

Nanoparçacıkların geniş yüzeyleri, bunları kimyasal tepkimeler için ideal katalizörler durumuna getiriyor. . Nedeni, geniş yüzeylerindeki atomların, tepkimeleri etkin biçimde denetlemeleri. Örneğin, külçe altın oda sıcaklığın-

## İlk Adımlar

Nanoteknoloji bugün bulunduğu nokta, ilerlemelerin başlangıcı. 1980'li yıllar gösterilerde ilk kilometre taşını atan IBM'in İsviçre'deki Laboratuvarı'nda görevli fizikçiler Heinrich Rohrer ve Gerd Binnig'in, tarayıcı tünelleme mikroskobu (scanning tunneling microscope - STM) diye adlandırılan ve atomları tek tek görüntüleme be-

cerisine sahip yeni bir mikroskop geliştirmeleri. Mikroskobun yaptığı, son derece ince bir tarama ucundan, bir yüzey üzerine serilmiş atomlara iletilen son derece küçük bir elektrik akımını izleyerek yüzeyde atomların oluşturduğu engebeleri ve aralarındaki çukurları belirlemek. Üç yıl sonra Binnig, Stanford Üniversitesi'nden elektrik mühendisi Calvin Quate ile birlikte, elektrik iletmeyen yüzeylerin de görüntülenmesine olanak sağlayan atom güçlü mikroskobu geliştirdi. O zamandan bu yana da bu mikroskopların, atomların manyetik ve kimyasal imzalarını duyarlı biçimde belirleyen çok çeşitli modelleri geliştirildi. Görüntülemeyen sonra sıra, atomların tutulup yerlerinin değiştirilmesine geldi. 1990 yılında Eigler ve gene bir IBM araştırmacısı olan Erhard Schweizer, bir STM aracılığıyla 38 xenon atomu kullanarak ni-



Atomic Stonehenge. In an early nanocoup, IBM researchers rounded up 48 iron atoms to make "quantum cereal."

elektronlarının dalga özelliklerini göstermek amacıyla tek sıra dizilmiş atomlardan yapılabilecek dairesel yapıları oluşturdu. Eigler'e göre "elektronları kuantum durumlarında izleyebilmenin bilim adamları üzerindeki psikolojik etkisi, deneyin pratik yararından kat kat fazla oldu". Bu psikolojik etkinin dayandığı temelse araştırmacılara atomları teker teker tuğla gibi kullanarak çeşitli yapılar oluşturabileceklerinin gösterilmiş olmasıydı. Nitekim kısa süre sonra bu alanda yeni girişimler ortaya çıkmaya başladı. 1999 yılında California Üniversitesi'nden (Irvine) fizikçi Wilson Ho, bir STM kullanarak demir atomlarıyla karbon monoksit molekülleri arasında kimyasal bağlar kurmayı başardı. Başka araştırmacılar da benzer teknikler kullanarak bir yüzey üzerindeki silisyum atomlarının kimyasal özelliklerini değiştirip bir transistör parçasına dönüştürdüler.

# Nanoteknoloji Tehlikeli mi?

Bilim adamları, nanoölçekli parçaları bir araya getirip bazı basit araçları geliştirmeye çalışırsanız, bu teknolojinin varabileceği uç noktalarla ilgili korkular, Amerikada büyük gazeteleri, televizyon kanallarını ve hatta Nobel Ödüllü araştırmacıları da içine çeken büyük ölçekli tartışmalara neden oldu. Tartışmaların boyut kazanmasının nedeni, Sun Microsystems adlı tanınmış bir minyatür alet firmasının kurucularından biri ve baş araştırmacısı olan Bill Joy adlı bir teknoloji düşününün, ani bir çıkışla nanoteknoloji, genetik mühendislik ve robot geliştirme çalışmalarının insanlığın sonu demek olacak bir kazayla sonuçlanmadan tümüyle yasaklanması yolunda yaptığı çağrı. Joy'un teknik ve bilimsel geçmişi, Nisan ayında yaptığı çağrının medyada ve kamuoyunda yankı bulmasına neden oldu. Bunun üzerine, önceleri sessiz kalan nanoteknoloji savunucuları da karşı saldırıya geçtiler. Tartışmaların tonu hayli sert. Örneğin, Stanford Üniversitesi biyofizikçilerinden Steven Block'a göre "Gerçek araştırmacı toplumunun, artık kıyı bucaktaki zirdelilerle yollarını ayırması gerekiyor".

Nanoteknoloji karşıtlarının korkuları, kendisi de bir kuramcı ve Foresight Institute adlı bir nanoteknoloji araştırma kurumunun başkanı olan Eric Drexler'in 1986 yılında yazdığı Engines of Creation (Yaratılışın Motorları) adlı kitabına dayanıyor. Kitapta Drexler, geleceğin nanoteknoloji dünyasının yaratacağı bir ütopya tablosu çiziyor. Anlatılan gelecekte minyatür "montajcılar", atom ölçekli montaj hatları kullanarak gerek duyacağınız ve aklınıza gelebilecek her şeyi (otomobil, halı, ya da istediğiniz boyutta bir biftek) atomları teker teker bir araya getirerek üretiyorlar. Tabii yazar düzenin rayından çıkabileceğini de gözardı etmiyor. Kabus senaryosundaysa montajcılar kendi kopyalarını sonsuza kadar üretmeye başlıyorlar ve yollarına çıkan herşeyi, ağaçları, hayvanları ve insanları yiyerek yok ediyorlar.

Bill Joy, Wired dergisinde yer alan makalesinde "önceleri bilimadamı dostlarımın tavsiyeleriyle Drexler'in nanodüş ve nanokabus niteliğindeki kehanetlerini ciddiye almadım" diyor. Ancak daha sonra geleceğin mikroskobik makinelerinin parçalarının gerçekleştiğini görmeye başlamış. Joy'a göre bunlardan bir tanesi, molekül boyutunda elektronik aygıtlar. İkincisiyse, nanomakinelerin kendi kendilerini kopyalayabilme becerileriyle ilgili. Joy, Drexler'in kitabının ana temalarından birini oluşturan bu becerinin, biyolojik sistemlere özgü olmaktan çıktığını, araştırmacılara göre basit peptid moleküllerinin kendi kendilerini kopyalayabildiklerini belirtiyor.

Block ve bazı başka araştırmacılar, Joy'un dile getirdiği korkuların temelsiz olduğu konusunda ısrarlılar. Block, bazı moleküllerin kendilerini kopyalayabilmelerinin, bilim adamlarının

aynı beceriye sahip makineler üretebilecekleri anlamına gelmediğini söylüyor. "Bırakın kendi kendine üreyebilen birini, basitinden bir nanomontajcının nasıl yapılabileceği konusunda kimenin bir fikri yok" diyor.

Washington Üniversitesi nanoteknoloji araştırmacılarından Viola Vogel de tartışmaya karşılanlardan. Vogel, biyolojik sistemlerin doğal olarak kendilerini kopyalayabildiklerini, ama bunu yapabilmek için hem nanölçülerden çok daha büyük olan boyutlarından, hem de son derece karmaşık sistemlerinden yararlandıklarını söylüyor. Bu organizmalarda örneğin, genetik bilgiyi depolayıp kopyalayabilmek için ayrı, enerji üretimi için ayrı, proteinleri sentezlemek için ayrı, besinleri taşımak için ayrı vb. sistemler bulunuyor. Buna karşılık, virüs, nanoölçekli bir organizma ve ancak canlı bir hücrenin sistemlerinden yararlanarak üreyebiliyor. Vogel, "doğa bile kendi ken-



dini kopyalayabilen nanoölçekli bir yapı yaratmamış" diyor.

Joy'un açtığı kampanyaya dudak bükken bilim adamlarından biri de Houston'daki Rice Üniversitesi'nden Nobel Ödülü sahibi kimyager Richard Smalley. Araştırmacı, Drexler ve yandaşlarının hayal ettikleri türden, atomları teker teker yakalayıp bunları istenen düzende montajlama düşüncesine üç bilimsel engel bulunduğunu söylüyor. Smalley'e göre her şeyden önce, tek bir atomu alıp bir yere bırakmak, sonra dönüp ikincisini almak, olabilecek bir şey değil. Kimyasal süreçler böyle işlemez. Bir atomu alıp başka yere, ancak komşularıyla bir arada taşıyabiliyorsunuz. "Kimya, en azından 10 atomun eşgüdümlü hareketiyle işliyor". Dolayısıyla bir atomu nakledebilmek için 10 atomu birden taşıyacak parçalar olacak nanoaletlere gereksiniminiz var. İkincisi, bir nanometre, yalnızca sekiz oksijen atomunu içine alabilecek bir uzunluk. Dolayısıyla yüzlerce nanometre boyutunda yapılarla uğraşılıyor olsanız bile, böylesine 10 parmaklı nanovinciyle, taşıdıkları atomların birlikte sığabilecekleri yapılar yok demektir. Üçüncüsü, böyle nanovinci atom yükleriyle birlikte montaj hattına getirmiş olsanız bile, bir komutunuzla vinçlerin yüklerini salmaları gerekiyor. "Sizen iyisi kafanızı kendilerini kopyalayan nanobotlara falan takmayın" diyor Smalley, "bunların bugün gerçekleştirilme şansı yok, gelecekte de hiç olmayacak".



Nanoölçekli yarıiletkenlerden yapılan fosforlu boyalar biyolojik işaretçiler olarak kullanılıyor.

da tepkimeye girmezken, 3-5 nanometre boyutlarındaki altın parçacıkları, pek çok tepkimeyi tetikleyebiliyor. Nanoaltınların bu özelliğini keşfeden bir Japon firması, bunlardan tuvaletlerde kullanılmak üzere "koku yiyiciler" geliştirmiş.

Malzemelerin nanoölçeklerde kazandıkları değişik özellikler, bunlara giderek artan bir endüstriyel değer kazandırıyor. Bazı şirketler, sıradan plastiğin üzerine nanoölçekli çubuklar yerleştirerek malzemenin gücünü ve darbeye direncini güçlendirmeye çalışıyorlar. Askeri laboratuvarlar, anthrax gibi biyolojik silahları belirleyen nanoölçekli sondalar geliştiriyorlar. Ve bir-iki nanometre çapında, kamış biçimli moleküller olan karbon nanotüpler, biçimlerine bağlı olarak elektriği metal ya da yarı iletken özellikte taşıyabiliyorlar ve daha şimdiden transistör ve diot gibi elektrik malzemelerinde yaygın kullanım kazanmış bulunuyorlar.

Bir nanoölçekli malzemenin endüstriyel başarısının sırrı, basitliğinde yatıyor. Yapılacak şey, malzemeyi, boyutları çok iyi belirlenmiş küçük taneçikler ya da katmanlar halinde üretebilmenin yolunu bulmak. Öyle ki, bu parçacık ya da taneçiklerin her biri, bir güneş piline, ya da bir plastik yüzeye yerleştirildiğinde bunların elektronik, optik ve mekanik özellikleri birbirleriyle tamı tamına aynı olacak. Bu basit ürünler, aslında şimdiden piyasanın yolunu tutmuş bulunuyor ve üretilmelerinin kolay olması, bu malzemelerin pazarlanma şansını, daha karmaşık olanlarına göre bir hayli yükseltiyor.

Ancak nanoteknolojinin bilim dünyasında ve kamuoyunda uyandırdığı ilgi, nanomalzemenin elektronik aygıtlar ya da kimyasal algılayıcılar gibi daha karmaşık kullanımları üzerinde odaklanmış bulunuyor. Burada karşılaşılan açmaz, gösteri amacıyla geliştirilmiş tek tük aygıt, işlevsel bir teknolojiye dönüştürebilecek bir yolun henüz bulunamamış olması.

Harvard Üniversitesi'nden kimyager George Whitesides, "maddeyi, temelindeki atomlara ayırıp sonra tekrar birleştirebiliyoruz" diyor. Ama, araştırmacıların bu hüneri öyle çok da ciddiye almamaları gerektiğini vurguluyor. Söylemek istediği, atomlarla tek tek oynamanın kolaylığına karşın, bunu büyük ölçeklerde yapmanın güçlüğü. Örneğin, 1998 yılında Hollanda'nın Delft Teknoloji Üniversitesi'nden Cees Dekker, temel parçası bir karbon nanotüp olan ilk transistörü geliştirdiğini açıkladı. Daha sonra bu türden transistörlerin elektronik performanslarının, silisyum temelli sıradan transistörlerine eşit, hatta daha da ileri olduğu gösterildi. Ancak, IBM'in New York'taki Thomas J. Watson Araştırma Laboratuvarı'ndaki fizik araştırmalarını yöneten Tom Theis'e göre "sorun şu: bu türden milyonlarca transistörün yerleştirilmesi gereken bilgisayar çiplerini yapmak olanaklı değil."

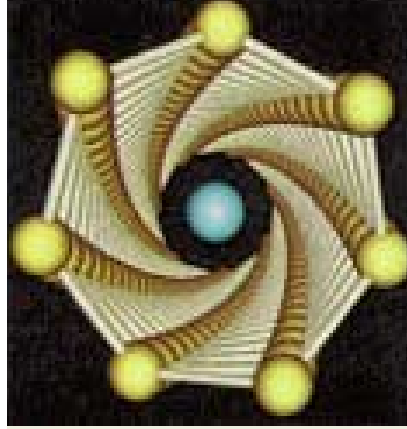
Üretilebilirlik sorunu, nanoteknoloji için "Aşıl'ın topuğu" olmaya devam ediyor. Bu zaaf, kamuoyunun abartılı beklentilerine hedef olan nanomakineler üretimi için özellikle sözkonusu.

## Gerçekçiler ve Vizyonerler

Bu konuda iki görüş çarpışıyor. Palo Alto'daki (California) Xerox Araştırma Merkezinin yöneticisi John Seely Brown, "gerçekçi" kampı temsil ediyor. Brown, nanomakinelerin önde gelen savunucuları olan Ralph Merkle ile Eric Drexler'in nanoölçekli aletler için bilgisayar destekli tasarımlar hazırladıklarını ve bunların çalışıp çalışmayacaklarını belirlemek için bilgisayar simülasyonları yaptıklarını söylüyor. Brown, simülasyonların aletlere geçer not verdiğini de belirtmekle birlikte, "ancak bir şeyin teorik olarak gerçekleştirilebilmesiyle, pratik gerçekleştirilebilirliği tümüyle farklı şeyler" diyor. Xerox yöneticisi ayrıca şimdiki kadar kimsenin çıkıp da laboratu-



Telleri 100 silisyum atomu genişliğinde olan dünyanın en küçük gitarı, nanoteknoloji standartlarına göre dev bir yapı.



Tokyo Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilen 1 nanometre çaplı altın teller, elektronların normalden çok daha hızlı akmasına sağlıyor. Araştırmacılar, bu tellerle devreler yapılabilmesi halinde çok daha hızlı süperbilgisayarların ortaya çıkabileceğini söylüyorlar.

var simülasyonları ya da kimyasal olarak geliştirilmiş basit nanoaygıtlardan başlayarak bunların pratik olarak geliştirilmesine kadar uzanan bir rota çizilebilmiş olmadığına dikkat çekiyor.

Tartışmanın karşı tarafındakilerse, ileri görüşlü araştırmaların da tümüyle yetersiz sayılmayacağını dile getiriyorlar. NASA'nın Ames Araştırma Merkezi'nde bilgisayar nanoteknoloji tasarım grubu başkanı olan Deepak Srivastava, henüz nanodışlılar ve nanopistonlar üretilmiyor olsa da, bilgisayar tasarımlarının, deneycileri doğru yerlere yönelttiği görüşünü savunuyor. Araştırmacıya göre eğere düşünceler gerçek fizik ve gerçek kimya üzerine kuruluyorsa, araştırmacının da gerçek olanakların ne olduğunu bilmesi gerekli.

Deneysel bilimse, mümkün olanın sınırlarını sürekli olarak genişletiyor. Whitesides ve Princeton Üniversitesi'nden Stephen Chou, yüzeylere 10 nanometre küçüklüğünde şekiller yerleştirebilecek yeni bir kauçuk baskı tekniği geliştirdiler. Bu ölçek, bilgisayar çipi sanayiinin başlıca aracı olan fotolitografi (ışıkla baskı) teknolojisinde kullanılan en küçük çip parçalarının uzunluğu olan 200 nanometrenin çok altında. Ne var ki, lastik mühür teknolojisi, bilgisayar çipleri yapabilmek için gereken farklı malzemeleri üst üste yerleştirmekte ve malzeme katmanlarını hatasız olarak dizmekte zorlanıyor.

Çiplere örüntü koyma konusunda daha başarılı bir seçenek, moleküllerin kendi kendilerini inşa etmeleri. Araştırmacılar malzemeleri, kendi

kendilerini önceden belirlenen yapılarla uygun biçimlerde birleştirecek biçimde tasarlıyorlar. Örneğin, 1999 yılında kimyager Christopher Murray başkanlığında bir IBM ekibi, 3 nanometre boyutunda metal parçaları üretmenin ve daha sonra bunları üç boyutlu bir dizge haline getirmenin yolunu göstermiş. Araştırmacılar bu türden parçacıklarla, içindeki her nanoparçacığın 1bit veri depolayabileceği bilgisayar diskleri yapımında kullanılacak malzemeler üretilabileceğini düşünüyorlar. Ancak bu türden başarılarla nanoteknoloji alanında henüz fazlaca rastlanmıyor.

## Küçük-Büyük Uyuşmazlığı

Nanoteknolojinin daha ileri uygulamaları karşısına dikilen bir engel de, seri üretilebilmeleri halinde bile, bunların uygun yüzeylere ya da başka yapılara nasıl yerleştirileceğinin bilinmemesi. Örneğin nanoölçekli elektronik parçaları, tellerle "makro dünya" ya ait öteki parçalara irtibatlandırmanın olanaksızlığına çözüm bulmak gerekecek. Bunları büyük ölçekli parçalarla bağlantılandırmak bir yana, birbirlerine bağlamak bile aşılması gereken bir engel.

Nihayet önemli bir sorun da nanoteknolojinin meyvelerini verebilmesi için gerekli bilim dalları arasındaki işbirliği ve eşgüdümün sağlanmasında karşılaşılan güçlükler.

Bu türden sorunlar karşısında açığı "nanogerçek", "nanohayal"ın gerisinde kalacak. Ama, ABD Ulusal Nanoteknoloji İniyatifi'ni yöneten Mihail Roco'ya göre asıl tehdit, beklentilerle, bunlara verilebilen yanıt arasındaki uçurumun alana akan para musluklarını kapatması. 1980'lerde uyandırdığı heyecana yeterince cevap vermekte zorlanan süperiletkenlik araştırmalarının başına gelen buydu. Ancak Srivastava'ya göre, süperiletkenlik, görece dar bir alan olduğundan, başarı ya da başarısızlığının etkileri zaten fazla büyük olamazdı. "Oysa" diyor aynı araştırmacı, "nanoteknoloji bu noktada bile genişliğinden yararlanabilir". Ve ekliyor: "Ağımız büyük olduğuna göre birkaç balık tutma şansınız daha fazla".

Service, R. F., "Atom-Scale Research Gets Real", Science, 24 Kasım 2000