

Nanoteknolojide Yeni Bir Yöntem Kilometrelerce Uzun Nanoyapılar Üretmek

Kilo ve nano öntakılarının aynı cümle içinde kullanımı çok nadirdir. Aralarında bir trilyon kat fark olan bu iki uç ölçeği, olsa olsa hayret verici bir uzaysal ve zamansal sonsuzluktaki evreni oluşturan, hayal edemeyeceğimiz küçük boyutlar ve zaman ölçeklerindeki olaylar hakkında bir sezgi oluşturmayı hedefleyen doğa bilimi kitaplarının giriş bölümlerinde yan yana görebiliriz. Bu zıtlığın yarattığı gerilim, insanlığın evreni daha iyi anlamak ve ilerlemek için en önemli teşvik ve ilham kaynağı olan hayret ve merak duygularının da kaynağıdır. Kilometrelerce uzunlukta nanoyapılar ifadesi duyulduğunda da işte böylesi çağrışımlara sebep oluyor. Bu yazıda Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) araştırmacıları tarafından geliştirilen ve dünyanın en ünlü bilimsel dergilerinden *Nature Materials*'a kapak olarak seçilen, nanoteknolojide yeni bir fabrikasyon tekniği hakkında detaylı bilgiler bulacaksınız.



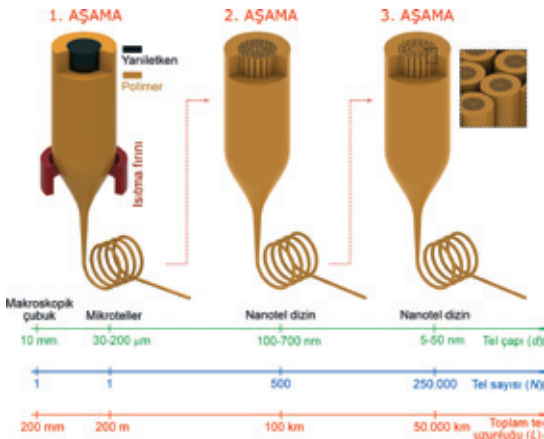
Sadece birkaç nanometre çapında olan ve olağandışı pek çok özellik taşımalarıyla malzeme bilimi ve nanoteknoloji araştırmalarında özel bir ilgi çeken nanoteller, nadiren milimetre uzunluğunda üretilebilir. Bu tek boyutlu yapıların bağlantı ara elemanı, anahtar ve piksel olarak kullanılabilmesi, nanotelleri özellikle ilginç kılar. Teknoloji, boyutların küçülmesini düşük güç ihtiyacı,

hızlı tepkisellik ve yüksek paketleme yoğunluğu gibi nedenlerle sürekli ön plana çıkarıyor, dolayısıyla nanoteller bu alanda umut veriyor. Bununla birlikte bu yarıiletken yapıların bir araya getirilmesi, gerekli değişikliklerin yapılması ve bizim dünyamıza uyumlu hale getirilmesi, çözülmemiş bir problem. Nanotellerin verdiği umut büyük olsa da, boyutları bize göre çok küçük.

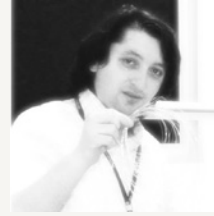
Heterojen malzemelerden istenilen şekilde, hatta dalı budaklı yapılarda nanotel üretimi, bu nanotellerin pek çoğunun transistörler şeklinde bir araya getirilmesi ve bu şekilde yüksek çözünürlükte moleküler sensörler yapılması gibi örnekler göz önüne alındığında, nanotellerin kimyasal sentezinin ve bu nanotellerden fonksiyonel aygıtlar üretilmesinin, belli ölçüde ilerlemiş olduğu söylenebilir. Fakat üretilen bu aygıtların tamamı prototip aşamasında, çünkü nanotel aygıtların seri üretime uygun hale getirilmesi, büyük miktarda nanomalzemenin bir araya getirilmesi, uygun şekilde yerleştirilmesi ve geniş yüzeylere entegre edilmesinde karşılaşılan zorluklar araştırma laboratuvarlarının sınırlarını aşıyor. Kimyasal sentez yoluyla (aşağıdan yukarıya üretim metodu) üretilen nanotelde, üretim sonrası ek aşamalar zorunlu. Yeni bir fabrikasyon yöntemi, bu problemlerin aşılmasına yardımcı olabilir. Kilometre uzunluğundaki nanotel dizinleri, bu alanda yepyeni çözümleri sağlayabilir.

UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi bünyesindeki Bayındır Araştırma Grubu tarafından geliştirilen ve *Nature Materials* dergisinin Temmuz 2011 sayısının kapağında bilim camiasına duyurulacak bu yeni fabrikasyon yöntemi (yukarıdan aşağıya üretim tekniğine bir örnek), temel olarak boyut küçültmeye dayanmaktadır (Şekil 1). Makroskopik bir çubuğun tekrarlı şekilde ve kontrollü olarak ısıtılıp çekilmesi sonucu, çapı nanometre ölçüsünde olan fakat kilometrelerce uzunlukta yapılar meydana getirilmektedir.

Geliştirilen bu yöntemle çeşitli yarıiletken, piezoelektrik ve polimer nanotel, nanotüp ve çekirdek-kabuk yapıları üretilmektedir. Sonsuz uzunlukta milyonlarca paralel ve düzenli nanoyapı, koruyucu bir polimerin içine gömülü olarak hazırlanmaktadır (Şekil 2). Son derece düzenli olan bu yapılar, geniş alan uygulamalarında kullanılmaya hazırdır, hatta fotoiletkenlik veya faz değiştirme ile ilgili aygıtlar



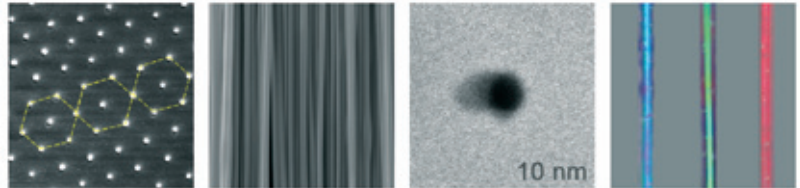
1975 yılında Sarıveliler'de doğan Dr. Mehmet Bayındır, doktora derecesini 2002 yılında Bilkent Üniversitesi'nden almıştır. 2002-2006 yılları arasında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde-



ki (MIT) Elektronik Araştırma Laboratuvarı, Askeri Nanoteknoloji Enstitüsü ve Malzeme Bilimi Merkezi'nde araştırmacı olarak çalışmıştır. 2006 yılından itibaren Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. DPT tarafından finanse edilen Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nin (UNAM) müdür yardımcılığı görevini yürütmektedir. Dr. Bayındır'ın liderliğini yaptığı araştırma grubu farklı disiplinlerden 20 araştırmacıdan oluşmakta, fonksiyonel yüzeyler, metamalzemeler, fotonik kristal fiberler, nanofotonik aygıtlar ve sensörler, kızılötesi

malzemeler, nanoseviyede görüntüleme ve tıbbi uygulamalar için kızılötesi lazerler gibi farklı alanlarda araştırmalar yapmaktadır.

Dr. Bayındır'ın *Nature*, *Nature Materials*, *Advanced Materials* ve *Physical Review Letters* gibi uluslararası prestijli dergilerde ve hakemli konferans kitapçıklarında basılmış 90'ın üzerinde makalesi, *Mekanik Problemleri* adlı (TÜBİTAK) bir kitabı, tescillenmiş 3 adet ABD patenti bulunmaktadır. 2001 New Focus Student Award, 2004 MIT Best Poster, 2006 TÜBİTAK Teşvik ve 2007 Türkiye Bilimler Akademisi Genç Bilim Adamı ödüllerine layık görülen Dr. Bayındır, 10'un üzerinde uluslararası dergide hakemlik yapmasının yanı sıra bir çok ulusal ve uluslararası konferansta davetli olarak konuşma yapmıştır.



ortaya çıkmaya başlamıştır. Bununla birlikte, beklenen uygulamalar sadece elektronikle sınırlı değildir; nanoteller aynı zamanda metamalzemeler, yapısal renklenme ve yeni nesil güneş pillerinde verim artırıcı ışık yoğunlaştırıcılar gibi geniş alan fotonik uygulamaları için de son derece uygundur. Sonuç olarak, fiber çekmenin nanoteknoloji çağında yeniden keşfedildiği söylenebilir.

Nanoteknolojide yeni bir üretim tekniği. Makroskopik yapıların yukarıdan aşağıya küçültülerek üretilmesiyle kalınlıkları azaltılarak uzunlukları artırılıyor. Birinci aşamada kurşun kalem büyüklüğündeki yarıiletken (metal, piezoelektrik veya dielektrik de olabilir) çubuk etrafına polimer katman sarılarak vakum fırınında tek bir çubuk haline getirilir. Sonrasında çubuk, tamamen yerli imkânlarla imal edilmiş bilgisayar kontrollü fiber kulesinde termal olarak ısıtılarak bir uçundan çekilip inceltir. İşlem sonunda saç teli kalınlığında yüzlerce metre uzunlukta mikro yapı elde edilir. Mikroteller kalem uzunluğunda kesilerek, altıgen dizilişe sahip düzenli makroskopik çubuk yapısına dönüştürülür ve tekrar fiber kulesinde inceltir. Üçüncü aşamanın sonunda polimer matrisi içine gömülmüş, çapları 5-10 nanometreye kadar inen nanotel dizinleri üretilmiş olur. Bir saç teli kalınlığındaki fiber içinde birbirine paralel, kilometrelerce uzunlukta binlerce nanotel dizini bulunur. Bu teller uca eklendiğinde Dünya'nın çevresini (40.000 kilometre) dolayacak bir uzunluğa ulaşılmış olur.

Yukarıdan aşağıya üretim tekniğiyle elde edilmiş nanoyapılar, metrelerce boyunca periyodik dizilişte düzenlilik ve çap büyüklüğünde mükemmel bir homojenlik göstermektedir. Nanotellerin çapları 10 nanometreye (saç telinin kalınlığının beş binde biri) kadar indirilebilmekte, daha küçük moleküler tellerin elde edilebilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Normalde siyah olan teller belirli bir kalınlığın altına inildiğinde fonksiyonellik kazanarak farklı renklere bürünmektedir. Örneğin 200 nanometre uzunluğundaki teller kırmızı iken kısalıp 50 nanometreye indiğinde nanotel mavimsi doğru kaymaktadır.

KİLOMETRE UZUNLUĞUNDA NANOYAPILARLA ÇALIŞMAK

BİLİM ADAMLARIYLA SOHBET

Nature Materials'in 2011 Temmuz sayısının kapağı, nanoteknolojide önemli bir gelişmeye ev sahipliği yapıyor. Bilkent Üniversitesi UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde çalışmalarını sürdüren ve Doç. Dr. Mehmet Bayındır'ın liderliğini yaptığı Bayındır Araştırma Grubu, geçtiğimiz günlerde koruyucu bir polimer fiberin içine gömülü sınırsız uzunlukta nanoyapılar üretti. Geliştirdikleri yöntemin, nanotel araştırmalarına önemli bir katkı olacağı düşünülüyor.



Makalenin ilk yazarı olan Dr. Mecit Yaman, yaptıkları çalışmanın önemini şu şekilde anlatıyor: "Fiberler ve fiber üretimi, her zaman çok önemli olmuştur. Burada, tarihte ilk karşılaştığımız fiber yapısı olan Çin'deki ipekten ve ticareti geliştirmek için oluşturulan ve aynı ismi taşıyan ticaret rotasından bahsedebiliriz. Çin'i geçip İngiltere'ye gelelim. 19. yüzyılda hem matematikte hem de deneysel alanda az rastlanır bir dâhi olan Sir George Stokes'un, günümüzde Navier-Stokes denklemi olarak bilinen, fiber çekmenin viskoelastik davranışlarını açıklamakla ilgilendiğini görürüz.

Tek boyutlu yapılara olan ilgi 1970'lerde, bu sefer farklı bir nedenle tavan yapmıştı. Preformlardan çekilen kilometrelerce uzunlukta cam iplikler yüksek hızlı, yüksek bant aralıklı telekomünikasyonda ve yüksek hızlı internette kullanılma potansiyelleri nedeniyle mercek altına alınmıştı, yani yine ticaret. Fiber optik kablo yapımındaki çabaları, Charles Kao'ya Nobel Ödülü getirdi. Sadece yirmi yıl sonra, fotonik kristallerin ortaya çıkması, birkez daha olağan dışı cam telleri araştırma laboratuvarlarına soktu. Anlatmaya çalıştığım, fiberlerin, çok çok uzun ve ince fiberlerin, değişen zamanın ruhuna bağlı olarak her zaman yeni, bambaşka bir şey anlamına gelmesidir. Dolayısıyla nanoteknoloji çağının fiberlerini 'sonsuz uzunlukta nanoteller' olarak düşünmek doğaldır. Bu çok farklı, şaşırtıcı derecede zengin bir şeylerin başlangıcı."

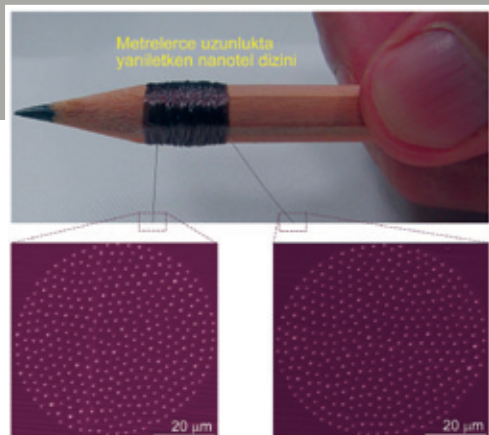
Bu çalışma, ısı çekme işlemini, bu kez tekrarlı bir şekilde nanoteknolojiye yeniden sokuyor. Her bir ısı çekme evresinin sonucunda elde edilen ürünü tekrar ısıtıp çekerek ve bu işlemi art arda uygulayarak, kilometrelerce uzunlukta nano yapılar elde edildi. Fiberleri çekmek için geceli gündüzlü çalışan bir lisansüstü öğrencisi olan Mehmet Kanık yaklaşımlarını açıklamak için "Sonsuz uzunluk oranlı, kolayca kullanılacak nanotel ve nanotüpler üretmek için yeni bir yöntem geliştiriyoruz. Bu yöntemle sonsuz uzunlukta, polimer kaplı yarı iletken ve metal nanoteller ve piezoelektrik nanotüpler ürettik" diyor. Mecit Yaman ise şunu söylüyor: "Oluşan yapılar pek çok açıdan kendine özgü. Çap olarak nano büyüklükte ve esnek bir polimer kılıfın içine gömülü durumdadır. Son derece düzenli ve boyları metrelerce. Yapı, doğada bulunan ve etrafımızda gözlemlediğimiz organik yapı taşlarını andırıyor, örneğin bir ağacın sağlam gövdesini oluşturan küçük fiberleri. Yapının aktif bir aygıt olarak kendi çalışmasını düzenleme potansiyeli de var. Örneğin iyon geçişini sağlayacak nanoakışkan kanallar, mikroakışkan reaktörler ve ışığı enerjiye çeviren aygıtlar olarak kullanılabilirler. Optik özellikleri böceklerde ve tavuskuşunda bulunan parlak renkleri taklit etmek için kullanılabilir. Bana göre fiber içindeki nanotellerin en ilginç özelliği, geniş alan nanoyapılar olmaları."

Daha yapılacak çok iş var. Araştırmacılar bu nanoyapıların daha önce gösterilmemiş yeni uygulamalarda kullanılması üzerine çalışmaya



makale daha sunulmadan başlamış. Makalenin bir diğer yazarı olan Dr. Hakan Deniz "Burada geliştirdiğimiz teknolojinin, nanoteknolojinin rotasını değiştirmeye şansı çok fazla; yaklaşık on yıl içerisinde bunu net bir şekilde görürüz" diyor. Optik ve fotonik üzerine araştırma yürüten, ama kendi fiberlerini kendi üretebilen bir diğer lisansüstü öğrencisi Tural Khudiyev "Bu tek boyutlu yapılar mevcut nanotel temelli mikro/nanofotonik uygulamalarda kullanılabilirlerinin yanı sıra yepyeni optik uygulamaların da kapılarını açacak. Nanotellerde farklı mekanizmalarla oluşan yapısal renklenme, nanotel dizilerinin uygun şekilde yerleştirilmesi sonucu optik cimbizleme için Gauss-Legendre türü ışınların oluşturulması, biyobenzetim, doğrusal olmayan nanofotonik, nanotellerde gözlediklerimizden sadece birkaçı" diye anlatıyor.

Elektronik, ucu bucağı olmayan başka bir ilgi alanı. Erol Özgür ve Ozan Aktaş, birlikte nanotellerin yarı iletken özelliklerini açıklamaya çalışan iki doktora öğrencisi. Erol şöyle bir yorumda bulunuyor: "Yarı iletken nanoteller üretip onları işlevsel aygıtlar haline getirebilmek, nanoteller üzerine çalışıyorsanız olmazsa olmaz arasında, çünkü aksi halde yaptığınız çalışmanın değeri anlaşılabilir. Biz şu anda yeni geniş alan sensörler ve nanotel faz değişim hafıza aygıtları üzerine çalışıyoruz ve Nature Materials makalesinde gösterdiklerimiz sadece bir başlangıç." Bu yöntem aynı zamanda piezoelektrik nanotüplerin üretimi için de kullanılabilir. Mehmet Kanık "Bu tüpler biyomekanik ve robotik uygulamalarında yapay kas olarak kullanılabilir. Eğer kas yapısına dikkatli şekilde bakılırsa, polimer kılıf içindeki nanotüplerimizin kas dokusunun yapısı ile aynı olduğu görülecektir" diyor.



Patent alma çalışmalarının devam ettiğini belirten grup lideri Dr. Bayındır, tamamen yerli bir çalışmanın tarihte ilk kez etki faktörü 29,5 olan dünyaca ünlü bilim dergisi *Nature Materials*'a kapak olarak seçilmenin gururunu yaşadıklarını ifade ediyor. "UNAM gibi son teknoloji ile donatılmış bir merkez olmasaydı biz bu çalışmaları yapamazdık" diyen Dr. Bayındır, başta sayın Başbakanımız olmak üzere UNAM'ın kurulmasına emeği geçen herkese minnettar olduğunu söylüyor. Çalışmanın TÜBİTAK, TÜBA ve DPT'den alınan kaynaklarla gerçekleştirildiğini ifade eden Dr. Bayındır "dünyadaki küresel ekonomik krize rağmen gelişmiş ülkelerdeki bilim adamlarından daha fazla proje almanın keyfini çıkarıyoruz" diye de ekliyor.

Son olarak bu çalışmanın yapıldığı ortamdan bahsedelim. UNAM, ülkemizin ilk ulusal merkezi olarak farklı disiplinlerden 120'si lisansüstü öğrencisi olmak üzere günlük 200'den fazla kullanıcıya teknolojinin sınırlarındaki cihazlarıyla hizmet veriyor. Bayındır Araştırma Grubu, UNAM bünyesinde mikro ve nanofotonik, yeni nesil fiberler ve fonksiyonel yüzeyler konusunda araştırmalar yürütüyor. Grubu yönlendiren Dr. Mehmet Bayındır dahil olmak üzere genç araştırmacılar, kusursuz bir takım çalışması içinde. Tural Khudiyev şunları söylüyor: "Bu çalışmanın iyi organize olmuş, disiplinli ve çok çalışan araştırmacılar sayesinde hedefe ulaştığını düşünüyorum. Aramızdaki güçlü etkileşim ve grup çalışması, bu üst düzey çalışmanın başarılı olmasındaki en önemli etmenlerden biriydi. Mecit Yaman'ın bu konudaki yorumu ise şu: "Bizler, ki bu elbette bir ekip çalışmasıydı, elimizde geliştirdiğimiz takdirde çok önemli sonuçlar doğurabilecek bir şey olduğunu fark ettik: Fiber çekerek nanotel yapmak. Bu kavrayışın, birkaç yıllık yorucu bir odaklanmayla, biraz da talihin eşlik etmesiyle önemli sonuçlara dönüşmesi olağan dışı değil. Kaldı ki, deneysel çalışma her zaman sürprizlerle doludur."

Kaynaklar

Yaman, M., Khudiyev, T., Özgür, E., Kanık, M., Aktas, O., Özgür, E. O., Deniz, H., Korkut, E. ve Bayındır, M., "Arrays of indefinitely-long, uniform nanowires and nanotubes", *Nature Materials*, Cilt 10, Sayı 7, Temmuz 2011.
Yildirim, A., Vural, M., Yaman, M. ve Bayındır, M., "Bio-inspired optoelectronic nose with nanostructured wavelength scalable hollow-core infrared fibers", *Advanced Materials*, Cilt 23, s. 1262, Temmuz 2011.
Abouraddy, A. F., Bayındır, M. ve diğ., "Towards multimaterial multifunctional fibres that see, hear, sense and communicate", *Nature Materials*, Cilt 6, s. 336, 2007.



Dr. Mecit Yaman, 1998'de Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden mezun olduktan sonra yüksek lisans ve doktora çalışmalarına University of Cape Town'da devam etti. Mühendislik malzemelerindeki mekanik stres üzerine yaptığı çalışmalarla 2002'de yüksek lisans, 2007'de doktora derecesine layık görüldü. 2008-2011 yılları arasında UNAM-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi, Bilkent Üniversitesi'nde doktora sonrası araştırmacı olarak fotonik sistemler, kimyasal sensörler ve nanomalzemeler üzerine çalışmalar yaptı.