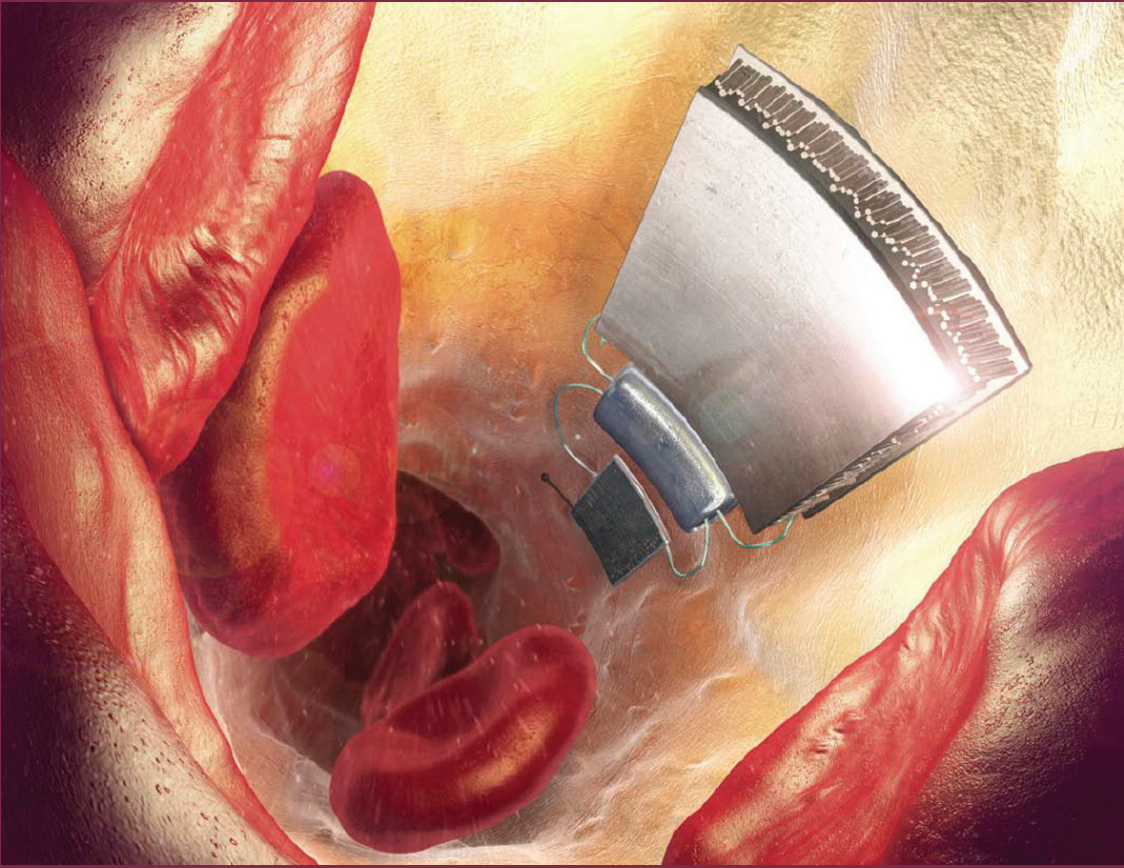


KENDİ ENERJİSİNİ ÜRETEN NANOTEKNOLOJİ



Otomatik kol saatlerini geliştiren 1920’li yılların saat yapımcısı çok parlak bir fikirden yola çıkmıştı: Saati takan kişinin kol hareketlerinden elde edilen mekanik enerjiyi zembereğin kurulmasında kullanmak. Günümüzde de boyutları metrenin milyarda biri düzeyine ancak ulaşan nanoölçekli aygıtların minik dünyasına elektrik enerjisi sağlayabilen son derece küçük enerji kaynakları geliştirmekle uğraşıyoruz.

Böylesi küçük güç kaynaklarına nanojeneratör adını veriliyor. İnanılmaz küçük ölçeklerdeki aygıtlardan güç elde edebilmek bize bir hastanın kan şekeri düzeyini kesintisiz gözlemleyebilen derialtı biyosensörleri, köprü benzeri yapılarda kullanılacak ve kendi kendine çalışabilen gerilimölçen sen-

sörler ya da toksinleri saptayabilen çevre dostu sensörler -ki bunların hepsi pil değişimine gerek duymayan aygıtlardır-tasarlama düşüncesini veriyor.

Nanorobotlar için, mikroelektromekanik sistemler (MEMS) için, ülke güvenliği ve hatta taşınabilir kişisel elektronik aygıtlar için her zaman bir ke-

sintisiz bir güç kaynağına gereksinim vardır. Bu türden aşırı küçük jeneratörlerin olası kullanım alanlarını düşünmek bile heyecan vericidir.

Araştırmacılar çok küçük ölçekli aygıtlarla enerji üretimini gerçekleştirebilmek için birbirinden değişik yollar izliyor. Bunların arasında rastgele titre-

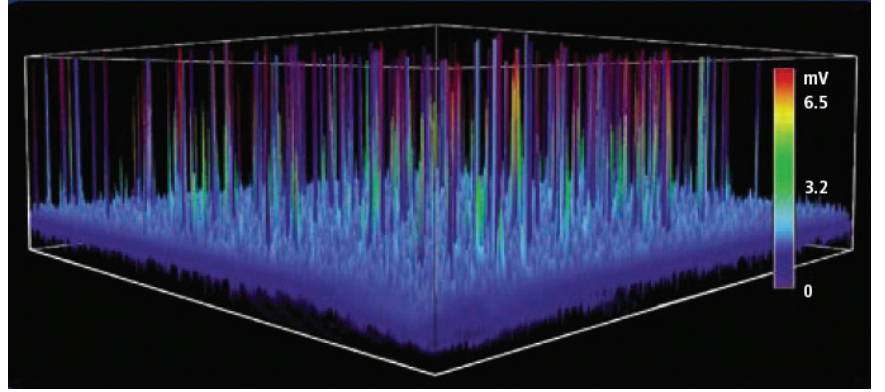
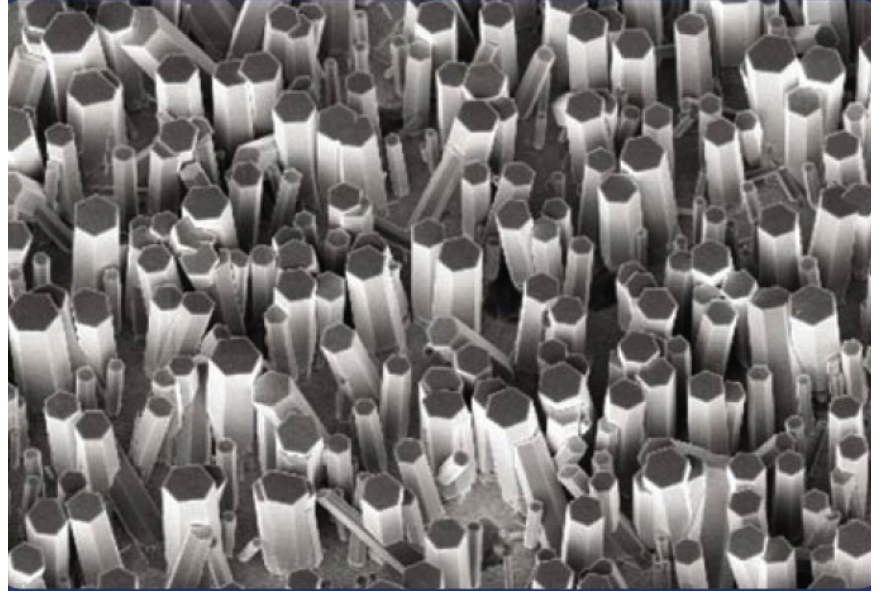
şim ya da hareketlerden (bir otomobilin kenarındaki gibi), sıcaklık farklarından (örneğin yüzeyin birkaç metre altında toprağın sıcaklığı yeteri kadar sabittir), biyokimyadan ya da ultrasonik dalgalar ve hatta gürültü gibi kaynaklardan yararlanmak gibi girişimler bulunuyor.

Nano aygıtların ve nano sistemlerin en önemli üstünlüklerinden biri genellikle nanowatt ile mikrowatt arasında değişen çok düşük güç düzeylerinde çalışmaları sayesinde nanogeneratörlerin birer enerji kaynağı olarak günlük yaşamımızın parçası olma olasılığını arttırmalarıdır. İnsan bedeninin ürettiği potansiyel güç kaynaklarını şöyle bir düşünmemiz yeterlidir: Mekanik enerji, ısı enerjisi, titreşim enerjisi, kimyasal enerji (glikoz olarak) ve dolaşım sisteminin hidrolik enerjisi. Bu söz konusu enerjilerin çok küçük bir miktarının bile elektriğe dönüştürülmesi birçok küçük aygıtın çalıştırılması için yeterli olacaktır.

Küçük Olanın Gücü

Küçük aygıtlar için güç üretmeye yönelik çalışmalar (elektronik aygıtların hızla çoğalmasının araştırmacıları onlar için enerji kaynakları geliştirmeye yönelttiği) 1990'lı yıllarla birlikte çok büyük ilerlemeler kaydetti. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün Medya Laboratuvarları'nda çalışan araştırmacılar, örneğin mekanik bir basınç uygulandığında pizelektrik etkiden yararlanarak kendi enerjisini toplayıp işleyen bir ayakkabı geliştirmişlerdi. Ancak işe yaracak ölçülerde enerji elde etmenin güçlüğü çok geçmeden bilim insanlarını MEMS'lerin çok daha düşük düzeylerdeki elektrik gereksinimini karşılayacak jeneratörler peşinde koşmaya yöneltmiştir. Boyutları mikrometrelerle (metrenin milyonda biri) ya da milimetrelerle (metrenin binde biri) anlatılan silikon temelli bu aygıtlar otomobillerdeki havayastığı sistemleri için hızölçer ve mürekkep püskürtücü yazıcılar için püskürteç gibi birçok kullanım alanı bulmuştur. Biyoloji ve kimya da bu yöntemle güç üretmek için de birçok yöntem vardır.

Son yıllarda bilim insanları hem pizelektrik hem de elektromanyetik dönüştürücüleri kullanarak titreşim tabanlı küçük jeneratörler geliştirmişler-



Taramalı elektron mikroskobu ile çekilen görüntüdeki çinko oksit nano tellerinin çapları 30 ile 100 nanometre arasındayken, uzunlukları da 3 mikrondur (üstte). Bir dizinin milivoltlarla ifade edilen gerilim çıktıları da değişkenlik gösterir (altta).

dir. Bir elektromanyetik mikrojeneratör, alternatif elektrik akımı üretmek için hareket halindeki bir mıknatıs ya da bobin kullanır. Her ne kadar mikro-

jeneratörlerin bazıları MEMS ölçeğinde üretilmişse de söz konusu teknoloji genellikle 50 Hz ile 5 kHz arasındaki bir titreşim alanında çalışır ve 1-75 santimetreküp arasında değişen boyutlardaki yapılara gereksinim duyar. Pizelektrikle çalışan titreşim tabanlı sıradan bir jeneratörde, destekten yoksun ucuna yerleştirilmiş bir kütleli olan iki katmanlı ve kurşun zirkonyum titan alaşımli bir kiriş kullanılır. Bu tıpkı atlama tahtasının ucunda duran bir yüzücü andırır. Yerçekimi nedeniyle kirişin aşağıya doğru eğilmesiyle birlikte basınç yüzünden üstte kalan pizelektrikli katman esnek, alttakiyse çok gergin bir yapıya kavuşur. Bunun sonucunda da kiriş boyunca pozitif ve negatif bir gerilim ortaya çıkar. Kütle ileri ve geri salındıkça alternatif bir gerilim üretilir. Ne var ki bu enerji üretici görece büyük olduğu için salınım halindeki kütle hareket ettirmede yerçekimi büyük bir önem taşır.

ANA HATLAR

- Nanoteknoloji inanılmaz bir gelecek vaat ediyor; ancak söz konusu minik aygıtların bir pilden çok daha nitelikli güç kaynaklarına gereksinimi olacak.
- Titreşimler ve hatta insanın nabız atışları gibi boşa harcanan enerjiler bu türden küçük aygıtları çalıştıracak yeterli gücü sağlayabilir.
- Pizelektrikle çalışan nanotel dizileri bu boşa harcanan enerjiji nano aygıtlar için toplayıp aktarabilir.
- Tıp aygıtları nanoteknoloji için çok önemli bir uygulama alanı olacaktır. Kalp pilleri rahatlıkla şarj edilebileceği için değiştirilmelerine gerek kalmayacak ya da şeker hastalarında deri altına yerleştirilen kabloşuz nanosensörler kan şekerini sürekli izleyebilecektir.

Georgia'daki Ekibin Başarıları

Georgia Teknoloji Enstitüsü'ndeki bir araştırma grubu nanoölçekli bir pizoelektrik güç üretici üzerinde çalışıyor. Nanoölçek söz konusu olduğunda olayların akışı da değişiyor. Örneğin daha büyük ölçeklerde çok önemli bir rol oynayan yerçekimi, kimyasal bağlar ve moleküller arası çekimde görülen kuvvetlerle karşılaştırıldığında nanodünyada pek de adı geçmeyen bir etken oluyor. Yerçekimi kuvvetinin nanodünyada işleri kolaylaştırıcı ya da katkıda bulunucu bir etkisi olmaz. Nanometre ölçeğinde bir kirişi olan pizoelektrikli bir jeneratör üretmeye kalkışıldığında, yerçekimi kirişin salınımına herhangi bir katkıda bulunmaz ve dolayısıyla da aygıt çalışmaz. Bu açıdan kendi kendine çalışan aygıtlara güç verebilecek nanojeneratörleri üretmek için başka yöntemlere gereksinim duyulur. Georgia ekibi nanoaygıtları çalıştırmak üzere mekanik enerjiyi (beden hareketleri ve kas gerilmeleri gibi), titreşim enerjisini (akustik ve sesötesi dalgalar gibi) ve hidrolik enerjiyi (kanın akışı ve bedeni-mizdeki başka sıvı akışları gibi) dönüştürecek yenilikçi nano yöntemler üzerinde çalışıyor. Yerinde misroskoplama yöntemini kullanarak bağımsız karbon nano tüplerin mekanik, elektriksel ve alan emisyonu özelliklerini ölçmek üzere de kimi yöntemler geliştirmişler. Bir süre sonra da metal oksitlerin yepyeni bir evren olduğunu fark edip bu nano yapıların araştırılması gerektiğini düşünmüşler. Bunun üzerine 2001'de çinko oksidin argon gazı yardımıyla 900 ile 1200°C arasındaki bir sıcaklıkta ısıtılmasıyla elde edilen yün benzeri beyaz malzemeler olan nanokayışlar ve nanotellerle işe koyulmuşlar.

Çalışmaları özellikle her biri kusursuz bir altıgen ve sütunvari bir kristal şeklinde olup küçük bir deney tüpü ocağında standart bir buhar-sıvı-katı işleminden geçirilerek katı bir iletken substrattan elde edilen hizalanmış çinko oksit nanoteller üzerinde yoğunlaşmış. Bir nanotelin çapı 30-100 nanometre arasındadır ve uzunluğu da 1-3 mikrometre arasında değişir.

Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme düşüncesi, ekibin aklına tellerin elektromanyetik birleşme özelliğini inceledikleri Ağustos 2005'te gel-

miş. Önce bir atom kuvveti mikroskopyu (AFM) kullanarak bazı gerilim çukurluklarına tanık olmuşlar ancak bunların ne olduğunu pek de anlayamamışlar. Aynı yılın Kasım ayında sistemli çalışmalarla söz konusu gerilimin, çinko oksidin tetiklediği pizoelektrik etkinin bir sonucu olduğunu gözlemişler. Elde edilen sonuçlarda sürtünme, dokunma ya da başka yapay dış etkenleri gözardı etmişler. Bir sonraki adımda da amaçları tek bir nanotelden elde edilen yük çıkışının nasıl bir süreçten geçerek oluştuğunu belirlemeye çalışmak olmuş. Bir süre yarıiletken aygıtlarla ilgili araştırma yaptıktan sonra, ileride nanojeneratörlere dönüşecek mekanizmalara ilişkin ilk düşünceleri de belirlemeye başlamışlar.

Çinko oksite çok ender görülen bir şekilde nanotellerde pizoelektrik gerilim üretmek ve biriktirmek üzere başvurulur; çünkü hem pizoelektrik hem de yarıiletkenlik özellikler taşır. Ekip bir AFM'nin iletken ucunun düz, dikey durumdaki bir nanoteli eğmesi halinde esnek yüzeyin pozitif gerilimi ve gergin yüzeyin de negatif gerilimi gösterdiği bir gerilim alanının yaratılacağını daha önceden göstermiş. İletken ucun çinko oksit nanotellerin üstünde salınmasıyla birlikte her bir dokunma anına karşılık gelen gerilim üretiminde birçok doruk noktası olduğunu gözlemişler. Pizoelektrik etki nanotelin hacmi içinde bir elektrik alanı yaratırken telin gergin ve esnek yanları da pozitif ve negatif gerilimler göstermiş.

Bedeniniz Ne Kadar Güç Üretiyor?

Kan akışı: 0,93 Wat mekanik güç, 0,16 W elektriksel güç, her devrim başına 0,16 jul elektrik enerjisi

Soluk Verme: 1 W mekanik güç, 0,17 W elektriksel güç, devrim başına 1,02 jul elektrik enerjisi

Soluk Alma: 0,83 W mekanik güç, 0,14 W elektriksel güç, devrim başına 0,84 jul elektrik enerjisi

Üst Kol: 3 W mekanik güç, 0,51 W elektriksel güç, devrim başına 2,25 jul elektrik enerjisi

Yürümek: 67 W mekanik güç; 11,39 W elektriksel güç, devrim başına 18,90 jul elektrik enerjisi

Klavyeyle yazmak: 6,9-19,0 W mekanik güç; 2-3,2 mW elektriksel güç, devrim başına 226-406 mikrojul elektrik enerjisi

Daha ilk aşamada ortaya atılan bu düşünceleri desteklemek için bazı deneylere gereksinim duymuşlar. Aralık 2005'in ortalarında optik ve AFM mikroskopyu altında büyükçe bir telin ürettiği gerilimi görsel olarak saptamak üzere bir deney tasarlamışlar. Kasım sonunda modeli tam anlamıyla destekleyen birkaç video çekimiyle de çalışmalarının karşılığını fazlasıyla almışlar. Sonra da hazırladıkları bir makaleyi basılması için Science dergisine göndermişler.

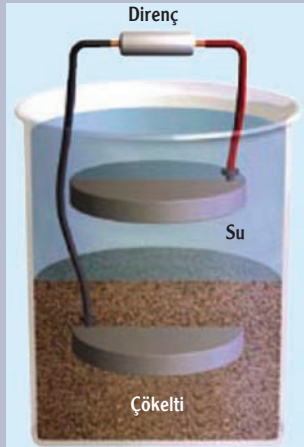
Pratik uygulamalarda yararlı olabilmesi için geliştirilen nanojeneratörün, her biri topladığı enerjiyi bir aygıtta yönlendirebilen süregelen bir elektrik üretici işlevi gören bir dizi nanotel içermeliymiş. Dahası, nanojeneratörün kendi başına ve kablosuz olarak çalışabilmesi için elektrige dönüştürülecek enerjinin ilgili ortamdan dalgalar ya da titreşimler halinde gelmesi gerekiymiş. Bunun üzerine onlar da bu türden gereksinimleri karşılamak üzere yeni bir aygıt geliştirmişler. Sonra da nanojeneratörün gücünü arttırmaya çalışmışlar. Bu doğrultuda üç ayrı hedefe ulaşmak için çalışmışlar: AFM kullanımını devreden çıkarmak, birçok nanotelin birbirinden bağımsız ve sürekli olarak elektrik üretmesini sağlamak ve nanotelleri sesüstü bir dalga gibi dolaylı bir dalgaboyunda çalıştırmak. AFM uçlarının yerini alacak çıkıntılı bir elektrot kullanan yeni bir tasarım geliştirmişler. İlk verileri ancak dört ay süren bir dizi deneyin sonucunda elde edebilmişler. Mayıs-Ocak 2006 arasında ürettiği gerilimi arttırmak amacıyla nanojeneratörün en uygun şekilde nasıl kutulanacağı üzerinde odaklanmışlar.

Deneylerle destekledikleri düzlekle bir pizoelektrik nanojeneratörün kesintisiz doğru akım ürettiğini göstermişler. Bu düzenekte bir dizi paralel çinko oksit nanotel ile birlikte mikroskop ucunun yerine platin kaplı silikon bir elektrot kullanmışlar. Elektrodu platinle kaplamak hem iletkenliğinin artmasını hem de akımın yalnızca tek yönde, metalden yarıiletkenine doğru akmasına izin vererek bir diyot gibi işlev görmesini sağlamış. Elektrot denetlenilebilir bir uzaklıkta olmak üzere nanotel dizisinin üzerine yerleştirilmiş; nanoteller de bir yönden ötekine bukecek şekilde yan döndürebilir bir esneklikteymiş. Yüzeyindeki pürüzler sayesinde

Çevremizdeki Enerji Hasatçıları

Titreşim kaynaklı piezoelektrik kullanan nanojeneratörler gelecek vaat ediyor ancak çevremizden enerji toplamanın başka yolları da var.

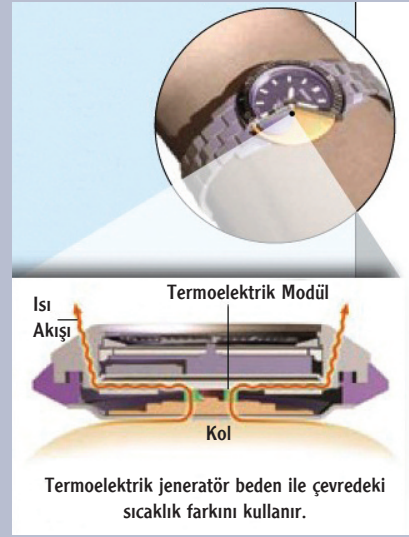
En verimli enerji hasatçıları, yaşamda kalmak için bu işlemi gerçekleştirmeye zorunlu olan mikroorganizmalar gibi doğanın doğrudan parçası olanlardır. Amherst'teki Massachusetts Üniversitesi'nden Derek R. Lovley ile çalışma arkadaşları *Desulfuromonas acetoxidans* adlı bir açık deniz organizmasının, başka organizmalar tarafından deniz suyundaki çöktelerde üretilen asetatta bulunan elektronları bir grafit elektroda aktarabildiğini ortaya koymuş. Bunun sonucunda da ortaya çıkan, suyun içinden bir başka elektroda doğru akan bir elektrik akımıdır. Bu türden "çökteli pilleri" toksik atıkların biyoremediasyonu (sudaki ve topraktaki kirliliğin biyolojik ajanlar yoluyla temizlenmesi) için kullanılabilir. Aynı şekilde, mikroorganizmaların katalitik eylemleri farklı karbonhidrat ve substratlardan elektrik enerjisi üretilmesini sağla-



Çökteli pili gücünü deniz organizmalarından alır.

yabilir. 2004'te başını Hindistan'daki Merkezi Elektrokimyasal Araştırmalar Enstitüsünden A. K. Shukla'nın çektiği bir grup araştırmacı biyolojik yakıt pillerinin elektrik akımı üretmek amacıyla organik maddeleri ve metabolik işlemleri kullandığını göstermiştir. İlaç dağıtım sistemleri, kalp pilleri ve teşhis aygıtları gibi bir dizi tıbbi aygıtı çalıştırmaya yetecek enerjiyi üretmek üzere hücrelerimizin metabolik özellikleri gibi bizzat bedenimizin kendi kaynaklarına başvurmak da olası görünüyor. Mikrobik yakıt pillerinin sakıncası, boyutlarının çok küçük olması ve ortaya çıkaracakları enerjinin de biyolojik olmayan uygulamaları çalıştırmaya yetecek güçte olmamasıdır. Bir başka seçenek de her ikisi de farklı sıcaklık düzeylerinde olan, birbirinden tümüyle farklı iki metalin temasından doğacak bir potansiyel elektrik düşüncesine dayanan Seebeck etkisiyle çalışan termoelektrik jeneratörlerdir. Üretilen gerilim her iki uçtaki sıcaklık farkıyla doğru orantılıdır: Bu ilkeye dayanan termoelektrik jeneratörler genellikle sıcaklığı ölçmede kullanılır. Sıcaklık farkı durumunda elektrik yükü sıcak olandan soğuk olana doğru taşınır. Soğuk tarafa doğru hareket eden mobil yükler termoelektrik gerilimde bir artışa yol açarak geride kendileriyle zıt bir elektrik yükünün yanı sıra,

hareketsiz çekirdeği de bırakır. Termoelektrik heyecan verici bir çalışma alanı olsa da aygıtın iki ucu arasında belirgin bir sıcaklık farkı yaratma gereksinimi yüzünden söz konusu jeneratörler gereğinden çok büyüktür. Sonuç olarak termoelektrik jeneratörler nanosistemlere ilaştırılabilecek güç kaynakları olarak sınırlı bir kullanım alanı bulacak gibi görünüyor. Yine de 1998'de tanıtılan ve saati takan kişinin beden ısısıyla çevredeki sıcaklık arasındaki çok küçük farktan bile mekanik yapısını çalıştırmaya yetecek kadar (mikrowatt düzeyinde) güç üretmek üzere termoelektrik modüller kullanan Seiko'nun Thermik adlı kol saati gibi bazı ticari kullanım alanları bulunmuştur kendine.



Termoelektrik jeneratör beden ile çevredeki sıcaklık farkını kullanır.

ra, hareketsiz çekirdeği de bırakır.

Termoelektrik heyecan verici bir çalışma alanı olsa da aygıtın iki ucu arasında belirgin bir sıcaklık farkı yaratma gereksinimi yüzünden söz konusu jeneratörler gereğinden çok büyüktür. Sonuç olarak termoelektrik jeneratörler nanosistemlere ilaştırılabilecek güç kaynakları olarak sınırlı bir kullanım alanı bulacak gibi görünüyor. Yine de 1998'de tanıtılan ve saati takan kişinin beden ısısıyla çevredeki sıcaklık arasındaki çok küçük farktan bile mekanik yapısını çalıştırmaya yetecek kadar (mikrowatt düzeyinde) güç üretmek üzere termoelektrik modüller kullanan Seiko'nun Thermik adlı kol saati gibi bazı ticari kullanım alanları bulunmuştur kendine.

elektrotlar bir dizi hizalanmış mikroskop ucu gibi çalışmış.

Ekip Ocak 2007'den bu yana yalnızca nanojeneratörü daha da geliştirmeye çalışıyor. Nanotellerin kendi başarılarına ve kesintisizce elektrik üretmesi ve üretilen elektriğin tamamının verimli bir şekilde toplanıp dağıtılması gerekiyor. Çinko oksit nanotelleri daha büyük ölçeklerde üretme girişimi yüksek ısı gerektiren çok pahalı işlemlere gerek duyulmayacağı için çok daha az maliyetli olabilir. Araştırmanın önündeki önemli engellerden biri, her biri elektrik üretecek ve eşsiz bir uyum içinde çalışacak bir örnek nanotel dizilerinin nasıl üretileceğini ve ömürlerinin nasıl uzatılacağını bulmak. Var olan nanojeneratörün ortalama ömrü 50 saat. Aygıtın bu kadar çabuk bozulması, en üstteki elektrot ile nanotel dizilerini bir arada düzenlemekte kullanılan kutulama teknolojisinin yetersizliğinden kaynaklanıyor gibi gözüküyor. Örneğin elektrot, nanotelleri çok sıkarsa akım elde etmek olanaksızlaşır. Bu açıdan,

ekip kutulamadaki bu sorunu aşmak üzere yoğun bir çaba harcıyor.

Dizileri üretmede kullanılan işlemlerden biri de buharlaştırma yöntemiyle substratın üzerinde nanotel üretiminde bir katalizör işlevi gören kalınca bir altın tabakası oluşturmaktır. Çinko oksit kristalleri dalları olmayan ağaçlardan oluşan bir orman gibi görünür. Ekip nanotellerin substratla birbirine sıkıca tutunmasını sağlamak için substratın üzerine kalınca bir tabaka polimer ekleyerek nanotellerin köklerinin substratın içine iyice yerleşmesini sağlamaya çalışmış. Aşağı yukarı 6 mm'lik boyutu olan bir nanonano jeneratörden yaklaşık 10 mV ve 800 nA elektrik elde etmişler. Aynı zamanda, tıpkı pil ya da yakıt pili gibi güç kaynaklarında da olduğu gibi, nanojeneratörlerin gerilim üretimini arttırmak üzere seri olarak; akım üretimini arttırmak üzere de paralel olarak bağlanabileceğini göstermişler. Ancak şimdi yapılması gereken daha yüksek gerilimlere ulaşmak için nanotelleri

birbirine özdeş yükseklik ve çaplarda üretebilmeyi başarmak.

Nanojeneratörler belki de hiçbir zaman evlerimizi ya da elfenerlerimizi bile aydınlatamayabilir; onlardan elde edeceğimiz güç çok küçük kalabilir. Öte yandan nanotel dizileri bir dakikanın yalnızca bir saniyesinde veri toplayıp aktaran sensörler gibi aralıklı olarak çalışan aygıtlar için son derece elverişli jeneratörler olabilir. İleriki yıllarda nanojeneratörler bir araba lastiğindeki basınç değişikliklerinin, hareket halindeki bir aracın mekanik titreşimlerinin ya da rüzgarda salınan bir kamp çadırının ürettiği ve günlük yaşamımızda sürekli boşa harcanan enerjilerin toplanıp yeniden kullanıma sokulmasında çok yararlı olabilir. Çevremizde ne kadar çok küçük enerji kaynağı olduğu düşünülürse, bunun hiç de yabana atılamayacak bir düşünce olduğu anlaşılacaktır.

Wang, Z. L., "Self-Powered Nanotech", Scientific American, Ocak 2008

Çeviri: Çağatay Gülabioğlu