

DIGITAL

NANOTEKNOLOJİ

VE

KİMYA

HAZİRAN 2026 | 15. SAYI

D I G I T A I L

SAYI: 15

YIL: 2026

İMTİYAZ SAHİBİ

Özgür ALPER
FMV Özel Ayazağa Işık ve Fen Lisesi Okul Müdürü

SORUMLU MÜDÜR YARDIMCISI

Leyla KULAKSIZ

YAYIN YÖNETMENİ

Demet ÇAKICI
Türk Dili ve Edebiyatı Öğretmeni
Dr. Fatih Deniz AKYÜZ
Türk Dili ve Edebiyatı Öğretmeni

DANIŞMAN ÖĞRETMEN

Başak KISAALIOĞLU
Kimya Öğretmeni

EDİTÖRLER & GÖRSEL DÜZENLEME - DİZGİ

Tuana KAHRAMAN
Defne Beren DURMAZ

BASKI - CİLTLEME

Şevki SÜTÇÜ

İMTİYAZ SAHİBİ SORUMLUSU MÜDÜR VE YÖNETİM ADRESİ

Büyükdere Caddesi: 194/3 Maslak/İstanbul

Tel: 0212 286 11 30

www.fmv.edu.tr

İÇİNDEKİLER

Nanoteknoloji Nedir?

Mir Salih ABAY

**Tıbbın Görünmez
Mimarı: Nanoteknoloji**

Alp MÜLAYİMSİ

**Nanoteknoloji ve
Biyosensörler**

Emre MENGİ

Görünmeyen Devrim:

**Gıda Endüstrisinde
Nanoteknoloji**

Çağla KAÇAMAK

**CNT: Tekstilin Yeni
Moleküler Zırhı**

Tuana KAHRAMAN

**Uzayda Nanoteknoloji
Kullanımı**

Serhat Ege AKKALYONCU

**Nanoteknolojinin
Teknolojik
Harikaları “Nanoçipler”**

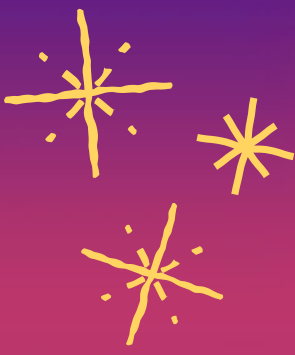
Süleyman Barış SEZGİN

**Kendi Kendini
Temizleyen Binalar**

Defne Beren DURMAZ

**Nanoteknoloji ve Enerji:
Yanma Çağının Ötesi**

Poyraz Emre
BİRDOĞAN



Nanoteknoloji Nedir?

Mir Salih ABAY

Nanometre, metrenin milyarda birine eşit olan bir uzunluk birimi. Gelişen modern toplum sayesinde günümüzde çokça ihtiyaç duyulan bir terim. Peki “nano” kavramı bilim dünyasında neden ve nasıl kullanılıyor? Nanoteknoloji, bu soruyu yanıtlayan bilim dalı.

Maddenin atomik veya moleküler seviyede kontrol ve manipüle edilmesi, nanoteknolojinin temel tanımıdır. Bu teknolojinin amacı, maddeyi atom seviyesinde dizerek doğada bulunmayan yeni malzemeler oluşturmaktır. Nanoteknoloji, genellikle 1 ile 100 nanometre arasındaki uzunluklar arasında yapılan bilimsel uygulamaları ve mühendislik çalışmalarını içerir. Akıllara şu soru gelmesi olağan: Neden bu kadar küçük seviyelerdeki mühendislik yapıtlarına ihtiyacımız var? Nanoteknolojinin en büyük avantajı, maddelerin makro boyutlarda gösterdiği fiziksel ve kimyasal özelliklerden farklı olabilmesidir. Örnek olarak maddelerin erime noktaları değiştirilebilir veya elektriği farklı iletmeleri sağlanabilir [1].

Nanoteknolojinin temelleri, ünlü fizikçi Richard Feynman'ın 1959'da öne sürdüğü “atomların tek tek kontrol edilebileceği ve manipüle edebileceği” fikriyle atılmıştır. Feynman, bu sebeple nanoteknolojinin babası olarak kabul edilir [2]. “Nanoteknoloji” kavramı ise ilk kez 1974'te Japon bilim insanı Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır [3]. Teorinin pratiğe dönüşmesi ise 1980'lerde gerçekleşmiştir. Bu dönemde atomları tek tek görmeyi ve hareket ettirmeyi sağlayan Tarama Tünelleme Mikroskobu (1981) ise bu dönüşümün önemli basamaklarından biridir.

Nanoteknolojinin günümüzde kullanım alanları oldukça çeşitlidir. Tekstil alanında leke tutmayan ve su geçirmeyen kumaşlar, sağlık alanında kanser hücrelerini doğrudan hedef alan nanorobotlar, elektronikte daha küçük ve daha verimli çipler... Aklınıza gelmeyecek alanlardan biri olan kozmetikte bile tercih edilen nanoteknoloji; cilde daha iyi nüfuz eden ve daha yüksek UVA ve UVB ışın koruması sağlayan güneş kremlerinin oluşumunda kullanılmaktadır [4].



Atomların dünyasında çalışmalar yapmak ve günlük hayatta verimliliği sağlayan buluşlar üzerine çalışmak istiyorsanız nanoteknoloji sizin için ideal olabilir. Nanoteknoloji mühendisliği veya nanobilim gibi bölümler dışında, nanoteknolojinin içinde bulunduğu biyomedikal mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği, kimya mühendisliği benzeri bölümleri tercih edebilirsiniz. İlerleyen dünyanın hızını yakalamak istiyorsanız atomların seviyesinde araştırma yapmak tam size göre.

Nanoteknolojinin temelleri, ünlü fizikçi Richard Feynman'ın 1959'da öne sürdüğü "atomların tek tek kontrol edilebileceği ve manipüle edebileceği" fikriyle atılmıştır. Feynman, bu sebeple nanoteknolojinin babası olarak kabul edilir [2]. "Nanoteknoloji" kavramı ise ilk kez 1974'te Japon bilim insanı Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır [3]. Teorinin pratiğe dönüşmesi ise 1980'lerde gerçekleşmiştir. Bu dönemde atomları tek tek görmeyi ve hareket ettirmeyi sağlayan Tarama Tünelleme Mikroskobu (1981) ise bu dönüşümün önemli basamaklarından biridir.

Nanoteknoloji, ilgi çekici ve modern dünyanın parçası hâline gelmiş bir dal. İnsanlığın ve medeniyetlerin geleceği için yapı taşı olma potansiyeli taşıyan bu bilim dalı; gelecekte, hayali bile kurulamayan kapılara bir anahtar olabilir. Unutulmaması gereken şey, her bilim dalında olduğu gibi, nanoteknolojide de etik davranmak ve olası zararların farkında olup bunları minimize etmeye çalışmaktır.

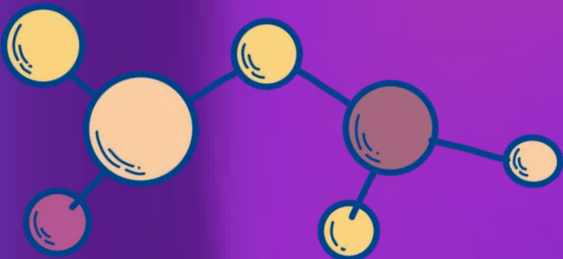
Kaynakça:

[1] "Nanoteknoloji Nedir ve Hangi Uygulama Alanlarında Kullanılır?" *Evrım Ağacı*, 12 Temmuz 2023, www.evrimagaci.org/soru/nanoteknoloji-nedir-ve-hangi-uygulama-alanlarinda-kullanilir-43677.

[2] "Nanoteknoloji Nedir ve Kullanım Alanları Nelerdir?" *Tosla Blog*, 2024, www.tosla.com/blog/nanoteknoloji-nedir-ve-kullanim-alanlari-nelerdir.

[3] "Nanoteknolojinin Tarihi." *Odak Arge Merkezi*, www.odakarge.com/nanoteknolojinin-tarihi/.

[4] "Nanoteknoloji Nedir?" *İncitaş Bilgi Merkezi*, incitas.com.tr/bilgi-merkezi/blog/nanoteknoloji-nedir.

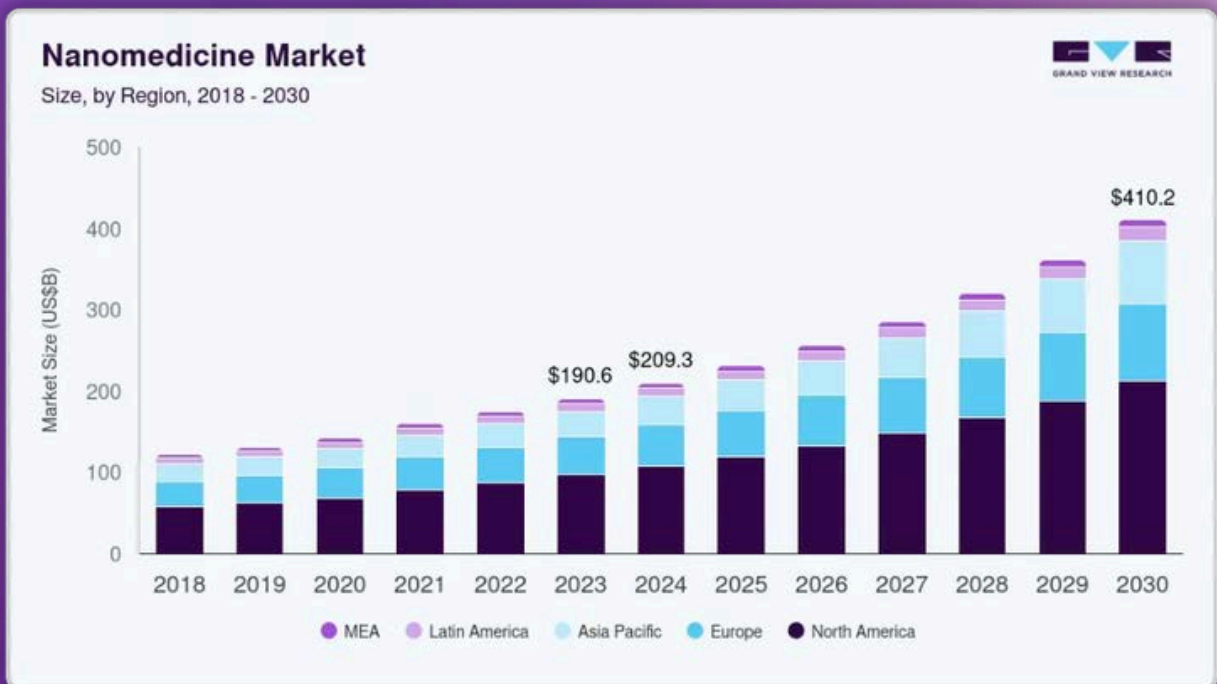


Tıbbın Görünmez Mimarı: Nanoteknoloji

Alp MÜLAYİMSİ

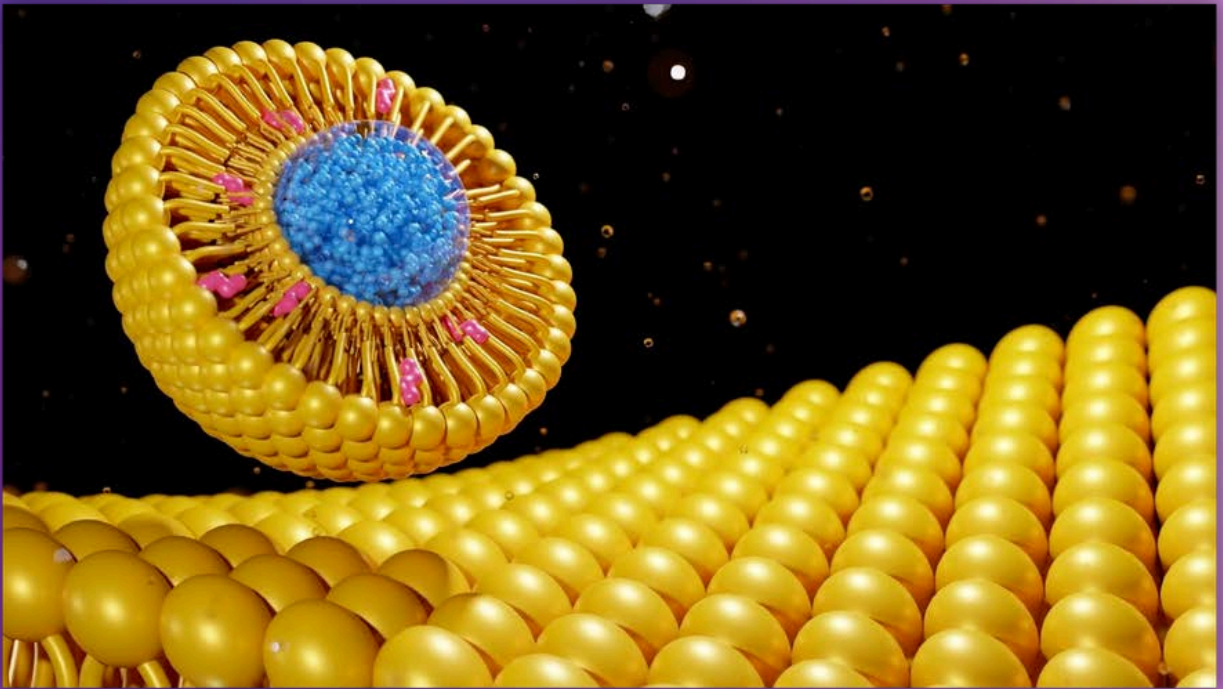
Nanoteknoloji maddeleri atomik, moleküler veya supramoleküler düzeyde, genellikle 1-100 nanometre arası; kontrol etme, değiştirme ve işleme bilimidir. Bir nanometre, metrenin milyarda birine denk gelir. Bu teknoloji; malzemelerin temel yapı taşlarına müdahale ederek üstün fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip yeni işlevsel sistemler üretilmesini sağlamaktadır. Nanoteknoloji, insanlık için önemli bir yere sahip olmakla birlikte tıp başta olmak üzere önemli alanlarda yenilikçi ve inovatif teknolojilerin entegrasyonu için kullanılır.

Bu teknolojik altyapı, tıp dünyasında nanotıp olarak adlandırılan ve geleneksel tedavi protokollerini kökten değiştiren yeni bir disiplinin doğmasına yol açmıştır. Nanotıp; biyolojik sistemlerle moleküler düzeyde etkileşime girebilme yeteneği sayesinde kanser, nörodejeneratif ve kardiyovasküler hastalıklar başta olmak üzere teşhisinden tedaviye kadar geniş bir yelpazede hassas çözümler sunarak pek çok hastalık için daha etkili tedavilerin uygulanmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle hedef odaklı nano ilaç taşıma sistemleri, nanoteknolojinin medikal alandaki en somut yansımalarından biridir. Konvansiyonel yöntemlerde ilaçların sistemik dolaşım yoluyla tüm vücuda dağılması ve sağlıklı dokulara zarar vermesi en büyük risklerden biriyken fonksiyonel hâle getirilmiş lipozomlar, polimerik miseller veya altın nanopartiküller gibi nanopartiküller ilacı doğrudan patolojik (hastalıklı) bölgeye ileterek terapötik indeksi artırmakta ve yan etkileri en az düzeye indirmektedir.



Grafik 1: Nanotıp Piyasa Hacmi (2018-2030)

Nanoteknolojinin tıp alanındaki bilimsel başarısı, laboratuvar ölçekli çalışmalardan çıkarak küresel pazarda devasa bir ekonomik büyüme ivmesi yakalamış ve nanomedikal pazar verileri üzerinden somut bir şekilde gözlemlenebilir hâle gelmiştir. 2018 yılında yaklaşık 120 milyar dolar seviyesinde seyreden pazar hacminin, 2030 yılına kadar 410 milyar doları aşan bir değere sahip olması bu teknolojinin sadece teorik bir devrim değil, aynı zamanda sürdürülebilir ve yüksek getirili bir endüstriyel dönüşüm olduğunu bizlere göstermektedir. Özellikle Kuzey Amerika'nın liderliğinde görülen ve Avrupa ile Asya-Pasifik bölgeleri tarafından takip edilen bu istatistiksel genişleme, yeni nesil nanoteknoloji girişimlerinin ve biyoteknoloji yatırımlarının odak noktasının kişiselleştirilmiş tıp ve akıllı biyomateryaller alanına yoğunlaştığını göstermektedir. Güncel girişimler; özellikle mRNA [*Messenger Ribonucleic Acid*] aşı iletim sistemleri, hedeflenmiş onkolojik tedaviler ve minimal invaziv tanı kitleri gibi alanlarda milyar dolarlık fonlar toplayarak klinik onay süreçlerini yapay zekâ destekli modellemelerle hızlandırmakta ve grafikteki 2024 sonrası ivmelenmenin temelini oluşturmaktadır. Bu ekonomik büyüme, nanoteknolojik müdahalelerin finansal etkinliğinin artması ve seri üretime uygun yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesiyle birleştiğinde tıbbın geleceğinin nano ölçekli robotlar ve akıllı ilaç taşıyıcıları üzerinde yükseleceği bir dönemi işaret etmekte beraber; aynı zamanda sağlık harcamalarının verimliliğini artıran küresel bir ekosistemin temelini oluşturmaktadır.



Tanısal açıdan ise nanoteknoloji, görüntüleme tekniklerinin duyarlılığını mikroskobik düzeyden moleküler düzeye taşımıştır. Örneğin, manyetik nanopartiküller ve kuantum noktaları [quantum dots], manyetik rezonans görüntüleme (MRG) gibi tekniklerde kontrast elemanı olarak kullanılarak tümörlerin henüz oluşum aşamasındayken tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde teranostik adı verilen bütünleşik sistemler, tek bir nanoyapı içerisinde hem tanısal görüntüleme hem de tedavi edici eleman olarak barındırılarak hastaya özel tasarlanmış ve üretilmiş tıp uygulamalarında çığır açmaktadır. Rejeneratif tıp alanında da nanoteknoloji, doku mühendisliği için doğal hücre dışı mekanizmalarını taklit eden biyoyumlu iskelelerin [scaffolds] geliştirilmesini sağlamıştır. Karbon nanotüplerin sinir dokusu onarımındaki iletkenliği veya nano-lifli yapıların kemik rejenerasyonundaki başarısı, kronik rahatsızlıkların ve ağır yaralanmaların tedavisinde yeni bir dönemi başlatmıştır.

Tüm bu etkenler göz önüne alındığı zaman nanoteknolojinin nanotıp alanındaki kullanımını, sadece mevcut tıbbi araçların iyileştirilmesi amacıyla değil; genetik materyallerin hücre içine güvenle taşınmasından, nanorobotlar aracılığıyla cerrahi müdahalelerin mikro düzeye indirgenmesine kadar tıbbın geleceğini şekillendiren en temel itici güç olarak geleceği şekillendiriyor ve şekillendirmeye de devam edecek.

Kaynakça:

1. "Nanomedicine Market Size, Growth | Global Industry Report, 2018-2025."

www.grandviewresearch.com, www.grandviewresearch.com/industry-analysis/nanomedicine-market.

2. Durgam, Lavan K, and Terry L Oroszi. "Revolutionizing Healthcare: The Transformative Potential of Nanotechnology in Medicine." *Frontiers in Drug Delivery*, vol. 5, 30 May 2025, <https://doi.org/10.3389/fddev.2025.1556426>.

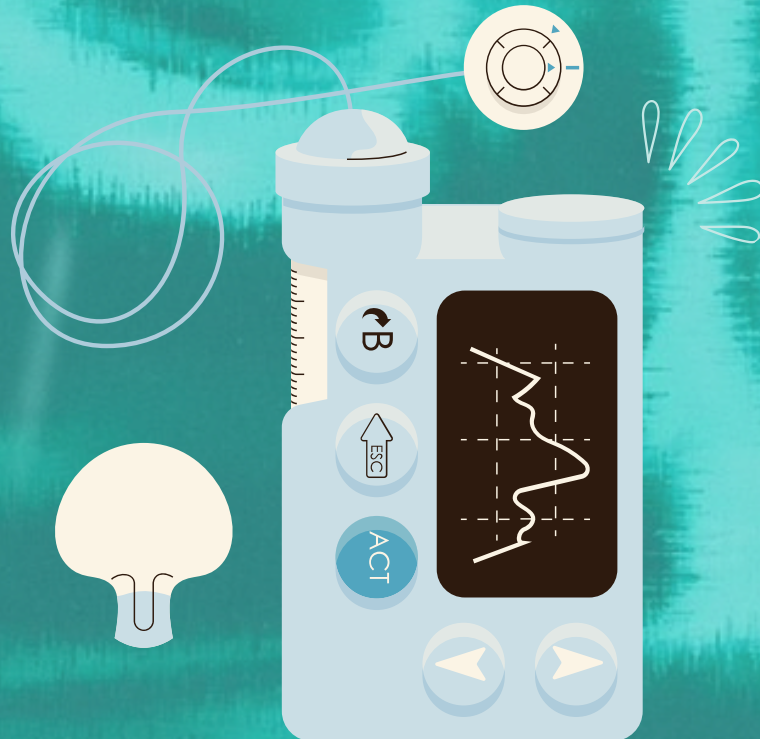
3. Malik, Shiza, et al. "Emerging Applications of Nanotechnology in Healthcare and Medicine." *Molecules*, vol. 28, no. 18, 14 Sept. 2023, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10536529/, <https://doi.org/10.3390/molecules28186624>.

Nanoteknoloji ve Biyosensörler

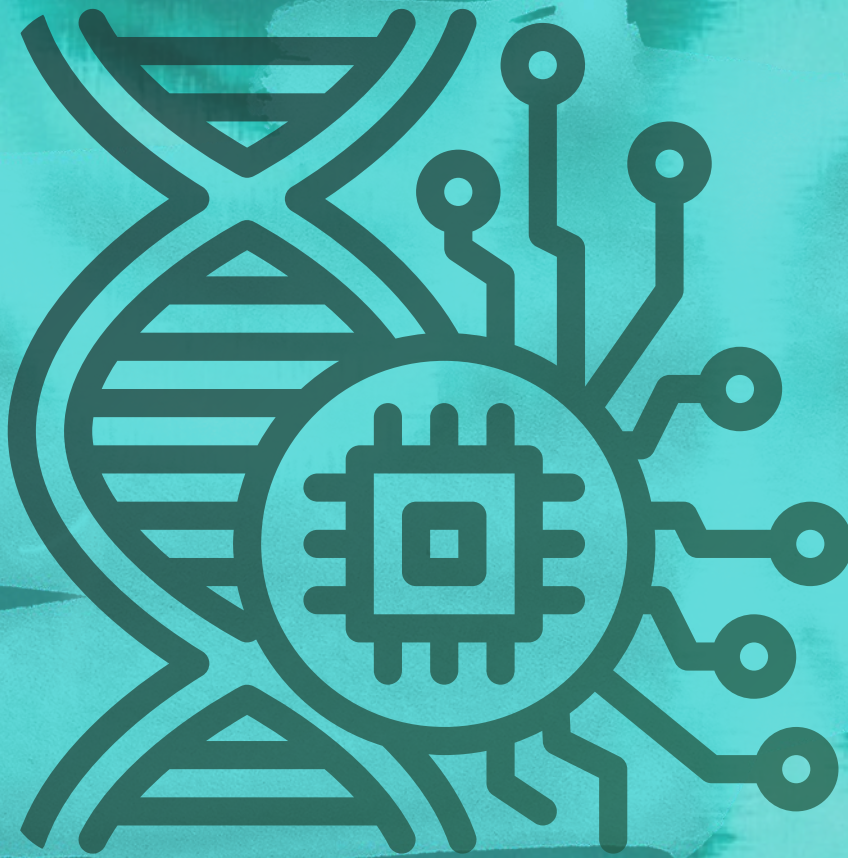
Emre MENGİ

1959 yılında Richard Feynman'ın "Aşağıda Daha Çok Yer Var" konuşması ile temelleri atılan nanoteknoloji alanı (Feynman 22), 1981 yılında Taramalı Tüneli Mikroskop'un (STM) ve ardından Atomik Kuvvet Mikroskobu'nun (AFM) icadı ile uygulamaya geçirilmeye başlanmıştır (Binnig and Rohrer 726; Binnig et al.930). Nanoteknoloji, esasında nanometrik boyutta malzeme tasarlama, üretme ve kontrol etmeyi temel alan bilim olarak tanımlanabilmektedir. Bu bilimin önem kazanmasındaki en temel sebep ise maddenin en doğal ve küçük hâlinde onu işleme imkânı sunmasıdır.

Özellikle DNA'nın çapının yaklaşık 2 nm olduğu ve nanoteknolojinin nanometrik boyutta çalıştığı göz önünde bulundurulursa tıp ve genetik alanında büyük potansiyele sahip olduğu aşikârdır. Bu durum, nanoteknolojinin hızla yaygınlaşmasını sağlamakla beraber onu disiplinlerarası bir dal olmaya yönlendirmiştir. Bir yandan 1967'de ilk işlevsel biyosensörün geliştirilmesiyle iki alan arasındaki entegrasyon olasılığı artmaktadır (Turner 1315). 1999'da "Electrostatic Deflections and Electromechanical Resonances of Carbon Nanotubes" adlı çalışmanın yayınlanmasıyla aradaki bu entegrasyon netleşmeye başlamıştır. Günümüze gelindiğinde ise dünyada 2025 yılında küresel biyosensör pazar büyüklüğü 32,6 milyar dolar iken 2032 yılında bu miktarın 51,9 milyar dolar seviyelerine çıkması beklenmektedir. Bu alandaki devasa pazar hacmini yaratan nano-biyosensörleri kavrayabilmek için öncelikle bu sensörlerin arkasındaki teknik temelleri ve gündelik hayattaki uygulamalarını incelemek gerekmektedir.



Nano-biyosensörlerin ortaya çıkmasını sağlayan en kritik nokta, sensörlerin icadını gerçekleştirebilecek nanomalzemelerin üretilebilmesidir. Nanomalzemeler maddenin en küçük, saf ve işlevsel hâli olarak tanımlanabilirler. Bu malzemelerin boyutları 1-100 nm arasında değişmekte olup bu boyutlar malzemelerin özelliklerinin klasik fizik kuralları yerine kuantum fiziği çerçevesinde değerlendirilmesine sebep olmaktadır. Nano-biyosensörlerin üretilmesinde ise sıklıkla kullanılan nanomalzemeler olarak karbon nanotüpler ve grafen örnek verilebilir (Bhalla et al. 2). Özellikle grafenin tercih edilmesi ise onun altıgen biçimindeki molekül şeklinden kaynaklanmaktadır. Altıgen kafes yapısı (heksagonal), grafene dayanıklılık kattığı gibi onu elektrik ileten bir madde hâline getirmektedir. Sahip olduğu bu yüksek elektriksel iletkenlik sayesinde hastalıkların teşhisinde önemli rol oynamaktadır. Bireyin vücudunda bulunan patojenler altıgen halka yığınının üzerine yapışarak elektrik akımını bozmaktadır. Bu sayede vücutta patojenin bulunup bulunmadığı kolayca anlaşılabilir. Tek katmanlı grafen tabakaları âdeta bir rulo formunda sarılarak silindirik hâline getirilmiş karbon nanotüpler oluşturulmaktadır. Bu nanotüplerin oluşumu yüzey alanı/hacim oranını artırarak patojenlerin ve ilgili moleküllerin yakalanmasını kolaylaştırır. Bu sayede çok düşük miktardaki patojenler bile algılanabilmektedir.



Bu sensörlerin nanoteknoloji sayesinde katettiği gelişim, bu teknolojinin günlük hayata yansımaları oldukça kolaylaştırmıştır. Günümüzde nano-biyosensörler sayesinde ve özellikle de nanomalzemelerin bu sensörlere kazandırdığı ultra yüksek tespit hassasiyeti (LOD) sayesinde klinik uğraş gerektiren teşhisler artık hızlıca minik bir cihaz tarafından yapılabilmektedir (Bhalla et al.3). Bu sistemler kısaca çip üstü laboratuvar (lab on a chip) olarak tarif edilmektedir. Bunun yanı sıra akıllı kontakt lensler sayesinde göz yaşındaki veriler anlık olarak analiz edilerek kandaki glukoz oranına kadar çoğu hayati veri analiz edilebilmektedir. Aynı zamanda akıllı ter bantları sayesinde insan terindeki biyobelirteçler analiz edilerek fizyolojik stres durumu giyilebilir bir sensör aracılığıyla takip edilebilmektedir. Sonuç olarak nanoteknolojinin biyosensörler ile olan entegrasyonu hem mühendislik hem de tıp dünyasını derinden etkilemeyi başarmıştır.

Kaynakça:

- Bhalla, Nikhil, et al. "Introduction to Biosensors." *Essays in Biochemistry*, vol. 60, no. 1, 2016, pp. 1–8.
- Binnig, Gerd, et al. "Atomic Force Microscope." *Physical Review Letters*, vol. 56, no. 9, 1986, pp. 930–933.
- Binnig, Gerd, and Heinrich Rohrer. "Scanning Tunneling Microscopy." *Helvetica Physica Acta*, vol. 55, no. 6, 1982, pp. 726–735.
- Feynman, Richard P. "There's Plenty of Room at the Bottom." *Engineering and Science*, vol. 23, no. 5, 1960, pp. 22–36.
- Geim, A. K., and K. S. Novoselov. "The Rise of Graphene." *Nature Materials*, vol. 6, no. 3, 2007, pp. 183–191.
- Novoselov, K. S., et al. "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films." *Science*, vol. 306, no. 5696, 2004, pp. 666–669.
- P&S Intelligence. "Biosensors Market Size & Share Analysis (2025–2032)." PS Market Research, www.psmarketresearch.com/market-analysis/biosensors-market. Accessed 19 Apr. 2026.
- Turner, Anthony P. F. "Biosensors—Sense and Sensitivity." *Science*, vol. 290, no. 5495, 2000, pp. 1315–1317.

Görünmeyen Devrim: Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji

Çağla KAÇAMAK

Bilim dünyası uzun yıllar boyunca büyük ölçekli keşiflere odaklandı; ancak son dönemde asıl devrimin gözle görülmeyen dünyada, yani nano ölçekte gerçekleştiği anlaşılmış durumda. Metrenin milyarda biri ölçeğinde maddelerle çalışan nanoteknoloji, artık yalnızca laboratuvarların değil, günlük hayatın ve hatta sofralarımızın da bir parçası.

Gıda endüstrisi bu dönüşümden en çok etkilenen alanlardan biri. Bugün mesele yalnızca ne yediğimiz değil, yediğimiz gıdanın moleküler düzeyde nasıl tasarlandığıdır.

Nanoteknolojinin en belirgin kullanım alanlarından biri ambalajlama teknolojileridir. Geleneksel paketlenme yöntemleri, gıdayı yalnızca dış etkenlerden korurken nano-malzemelerle güçlendirilmiş yeni nesil ambalajlar aktif bir koruma sistemi gibi çalışır. Örneğin gümüş nanoparçacıklar, bakteri oluşumunu engelleyerek ürünlerin raf ömrünü kimyasal koruyuculara ihtiyaç duymadan uzatabilir. Ayrıca bazı “akıllı ambalajlar”, gıda bozulmaya başladığında renk değiştirerek tüketiciyi uyarır ve gıda güvenliğini bir üst seviyeye taşır.



Değişim yalnızca ambalajlarla sınırlı değildir, gıdanın içeriği de nanoteknoloji ile yeniden şekillenmektedir. “Nanokapsülasyon” adı verilen yöntem sayesinde vitaminler, mineraller ve besin bileşenleri tat ve kokuya etki etmeden gıdaların içine yerleştirilebilir. Bu sayede örneğin balık yağının yoğun tadı hissedilmeden fonksiyonel besinlerden faydalanmak mümkün hâle gelir. Aynı zamanda bu teknoloji, besinlerin vücutta daha etkili ve kontrollü bir şekilde emilmesini sağlar.

Bununla birlikte, bu yenilikler bazı soru işaretlerini de beraberinde getirir. Nano boyuttaki parçacıkların insan vücudunda uzun vadede nasıl davrandığı, hücrelerle etkileşimi ve olası birikim etkileri hâlâ araştırılmaktadır. Bu nedenle nanoteknoloji, büyük fırsatlar sunduğu kadar dikkatli yönetilmesi gereken bir alan olarak da görülmektedir.

Sonuç olarak nanoteknoloji, gıda endüstrisini daha güvenli, verimli ve işlevsel bir yapıya dönüştürürken tüketim alışkanlıklarımızı da yeniden şekillendirmektedir. Gelecekte mutfaklar yalnızca yemek hazırlanan alanlar değil, bilimin mikroskobik düzeyde hayatla buluştuğu merkezler haline gelecektir.

Kaynakça:

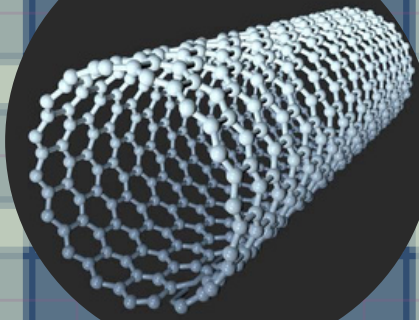
- **DergiPark (Akademik Gıda):** "Gıda Endüstrisi ve Nanoteknoloji: Durum Tespiti ve Gelecek"<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1189307>
- **ResearchGate:** "Gıda Ambalajında Nanoteknolojinin Uygulanması: Güvenlik, İşlevsellik ve Gelecekteki Trendler"<https://www.researchgate.net/publication/396934149>
- **DergiPark (Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi):** "Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları"<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/627345>
- **PMC (National Library of Medicine):** "Future of Nanotechnology in Food Industry: Challenges in Processing, Packaging, and Food Safety"<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10069304/>

CNT: Tekstilin Yeni Moleküler Zırhı

Tuana KAHRAMAN

CNT olarak da bilinen karbon nanotüpler, grafen tabakasının silindirik şeklinde katlanması ile oluşan içi boş bir karbon allotropudur. Çapı yalnızca 1 ila birkaç nanometre olan bu tüpler, tek bir grafen tabakasının kendi etrafında sarılmasıyla oluşan tek duvarlı (SWCNT) ya da birden fazla grafen tabakasının iç içe geçmesiyle oluşan çok duvarlı (MWCNT) biçimde sınıflandırılır.

Karbon nanotüplerin, bakırdan daha güçlü ama daha hafif bir fiziksel hâle sahip olduğundan elektronik ve enerji sektöründe ticari kullanımı mevcuttur. Lityum pillerinin üretimi, tenis raketlerinin kaplaması gibi spor malzemelerinde de bulunması dışında ısı yönetim katmanı özelliği ile geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Daha önce tekstilde kullanılmamasının temel sebebi bir kumaşın işlevsel olabilmesi için esnek, sürekli, işlenebilir ve ölçeklenebilir bir yapıya ihtiyaç duymasından dolayıdır. Toz formunda bulunan CNT, bu işlemlerle doğrudan uyumlu değildir. Daldırma veya kaplama yöntemleriyle kumaş yüzeyine uygulanan CNT kaplamaları ise işe yararken yıkama dayanıklılığı ve mekanik esneklik açısından ciddi kısıtlamalar oluşturmaktadır. Bu kısıtlamaları aşmak adına laboratuvar koşullarında filament formunda üretimi bulunsa da tekstil makineleri ile uyumlu olarak çalışmama durumu sonucunda sektörde tercih edilmeyen bir madde hâline gelmiştir.



Karbon nanotüplerin tekstil alanında yarattığı en büyük farklardan biri ise buruşmamazlıktan gelir. Geleneksel kumaşların selülozik yapısı sonucunda iplikler büyük bir zorluk olmadan zincirlerin üzerinden kayabilmektedir. Bu durumun sonucunda kıyafetlerde buruşma gerçekleşir. Geleneksel buruşmazlık yöntemlerinde çapraz bağlayıcı kimyasallar kullanılarak selüloz zincirleri birbirine sabitlenmektedir, böylece liflerin tekrar eski konumuna dönmesi kolaylaşmaktadır. CNT ve karboksile edilmiş CNT (COOH-CNT), çapraz bağlayıcılar aracılığıyla pamuk liflerinin selülozik zincirleri arasına işlenmesini sağlar. Bu entegrasyon sonucunda liflerin deformasyona karşı direncini artırmakta ve baskı kaldırıldıktan sonra geri dönüş açısını yükseltmektedir. Bunun yanı sıra CNT kaplaması pamuk yüzeyinde lotus yaprağı yapısına benzer bir mikro-pürüzlülük durumu oluşturmaktadır. Bu yüzey geometrisi sonucunda su ve yağ damlacıklarının kumaşa temas açısını 150 derecenin üzerine taşınması ile ise sıvı kumaşa işlemek yerine yüzeyden kayarak uzaklaşmaktadır. Bu süper hidrofobik etki ek bir kimyasal işlem gerektirmeksizin yalnızca CNT'nin yüzeye kazandırdığı yapısal değişimden kaynaklanmaktadır. Pratik uygulamada bu özellik kir tutmazlık, leke direnci ve sıvıya maruz kalan iş giysilerinde koruyucu bariyer işlevi olarak öne çıkmaktadır.

Kaynakça:

1. "Nanomedicine Market Size, Growth | Global Industry Report, 2018-2025." www.grandviewresearch.com, www.grandviewresearch.com/industry-analysis/nanomedicine-market.
2. Durgam, Lavan K, and Terry L Oroszi. "Revolutionizing Healthcare: The Transformative Potential of Nanotechnology in Medicine." *Frontiers in Drug Delivery*, vol. 5, 30 May 2025, <https://doi.org/10.3389/fddev.2025.1556426>.
3. Malik, Shiza, et al. "Emerging Applications of Nanotechnology in Healthcare and Medicine." *Molecules*, vol. 28, no. 18, 14 Sept. 2023, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10536529/, <https://doi.org/10.3390/molecules28186624>.

Uzayda Nanoteknoloji Kullanımı

Serhat Ege AKKALYONCU

İnsanlık kendi gezegenine hâkim olduktan sonra, yeni ufuklar keşfetmek amacıyla bakışlarını doğal olarak dış uzaya çevirmiştir. Soğuk Savaş Dönemi'nde iki dev olan Amerika Birleşik Devletleri ve Sovyetler Birliği'nin uzay yarışı sırasındaki rekabeti sayesinde uzay araştırmalarına devasa bütçeler ayrıldı. Ancak Amerika Birleşik Devletleri'nin uzay yarışını kazanmasının ardından, uzay sektörüyle ilgili teknolojik gelişmelerdeki büyüme ciddi bir duraklama dönemine girdi. Nanoteknoloji; uzay görevlerinde kütle, hacim, güç tüketimi ve genel maliyet açısından önemli düşüşler sağlar. Bu durum, insanlığın bir kez daha yıldızları hedeflemesine olanak tanıyarak uzay araştırmalarında yeni bir çağ başlatabilir.

Karbon nanotüpler, nanoteknolojik gelişmelerle en çok ilişkilendirilen temel malzemelerden biridir. Bu karbon nanotüpler (CNT'ler), çeliğin 100 katına kadar çıkabilen bir mukavemet-ağırlık oranına sahiptir ve çeliğe kıyasla çok daha hafiftir. Uzay roketlerinin en büyük kısıtlamalarından biri ağırlık sınırlarıdır; uzay aracının ağırlığı arttıkça daha fazla yakıt kullanılması gerekir ve atmosferden çıkmak fiilen zorlaşır. Ancak nanoteknolojinin makroskobik ölçekte uygulanmasıyla uzay araçları çok daha dayanıklı ve hafif hâle getirilebilir; bu da yakıt tüketiminin daha verimli olması gibi ek bir fayda sağlar.



Nanoteknoloji aynı zamanda özel kalkan sistemleri aracılığıyla güneş radyasyonu, aşırı sıcaklıklar ve hatta mikrometeoroid çarpmaları gibi uzaydaki tehlikelerin etkilerini hafifletmek için de kullanılabilir. Karbon fenolik ısı kalkanlarına nano-elyaf (nano-fiber) eklemek, bu kalkanların pasif ısı dağılımını artırırken genel ağırlıklarını da yaklaşık %8 oranında azaltacaktır. Nanomateryallerin kullanımına bir başka örnek ise TRIPS (Termal, Radyasyon ve Çarpışma Koruyucu Kalkanlar) gibi sistemlerdir. Bu kalkanlar, içine karbon nanotüpler entegre edilmiş seramik bir dış muhafaza ile tasarlanmaktadır. Bor Nitür Nanotüpleri gibi nanomateryallerin bir diğer umut verici yönü ise yüksek nötron emme yetenekleri sayesinde astronotları nötron radyasyonundan koruma kabiliyetleridir.

Tüm bu potansiyel mühendislik projeleri umut verici olsa da daha sıra dışı bir fikre ne dersiniz? Muhtemelen birçoğunuz hayatınızın bir noktasında "uzay asansörü" ifadesini duymuşsunuzdur. Bu son derece absürt duran mühendislik önerisini geçmişte okulda sunsaydınız muhtemelen alay konusu olurdunuz; çünkü çeliğin çekme mukavemeti yetersiz kalacağından dolayı böyle bir yapı kendi ağırlığı altında parçalanırdı. Ancak karbon nanotüp adı verilen bu süper malzeme sayesinde bu mega proje, uzay araçlarının daha verimli fırlatılmasına ve ikmal görevlerinin çok daha kolay yapılmasına olanak tanıyan uygulanabilir bir girişime dönüşebilir.

Nanoteknoloji büyük umutlar vadetse de yukarıda bahsedilen mühendislik projelerini şu an için pratiklikten uzak ve imkânsız kılan ciddi dezavantajlara sahiptir. Bu az sayıdaki ancak büyük olan sorunlar çözülene kadar, söz konusu projelerin hayata geçirildiğini yakın zamanda göremeyeceğiz.

Nanoteknolojinin ilk büyük dezavantajı ise işlemlerin son derece küçük bir ölçekte gerçekleşmesi ve olağanüstü düzeyde bir hassasiyet gerektirmesidir. Mevcut teknolojik cihazlarımızla bu hassasiyet seviyesine ulaşamamaktadır; bu durum nanoteknolojinin şimdilik mikroskobik düzeyde kısıtlı kalmasına ve makroskobik uygulamalarının uzak bir vizyon olarak görülmesine neden olmaktadır. Şu an için teknolojik hedeflerimizde kullanabileceğimiz nanomateryalleri seri olarak üretecek doğru araçlara sahip değiliz.

Bir diğer büyük dezavantaj ise üretilen nanomateryallerin performansının, genellikle laboratuvar ortamında tekil atomlar düzeyinde gözlemlenen o muazzam güç ve yeteneklerin çok gerisinde kalmasıdır.

Nano ölçekli dünya ile makro ölçekteki dünya arasındaki bu uçurumu başarıyla kapatabilmek için mühendislerin; nano ölçekli üretimin doğasından kaynaklanan anomalileri yönetebilecek tamamen yeni teknolojilere, standartlaştırılmış ara yüzlere ve yüksek hata toleransına sahip tasarımlara ihtiyacı vardır.

Öte yandan, uzaya yerleştirilecek olan nanomateryal yapıları hâlâ çok ciddi çevresel tehlikelerle karşı karşıyadır. Örneğin, karbon nanotüplerden yapılmış varsayımsal bir uzay asansörü kablosu; atomik oksijen, mikrometeorlar, uzay enkazı, radyasyon, yüksek irtifa rüzgarları, yıldırımlar ve manyetik alanın indüklediği elektrik akımları gibi aşındırıcı ve zarar verici etkenlere maruz kalacaktır.

Sonuç olarak nanoteknoloji, insanlığın uzay araştırmalarında yeni bir çağa girebilmesi için ihtiyaç duyduğu o büyük bilimsel atılım olabileceği gibi hâlihazırda kısıtlı olan zaman ve maddi kaynaklarımızın boşa harcanmasına neden olan devasa bir yanıltmaca da olabilir. Dolayısıyla, nanomateryaller uzay teknolojisinin gelişiminde yeni bir kapı aralasa da sahip oldukları birçok eksiklik nedeniyle yakın gelecekte tüm ilgiyi üzerlerinde toplayamayacak gibi görünüyor. Tüm bunlara rağmen, gezegenimizin kaynakları tükendikçe yüzümüzü gökyüzüne çevirmekten ve havacılık-uzay teknolojilerinde yeni bir çağ açmaktan başka çaremiz kalmayabilir; kim bilir, belki de çok yakında nanoteknolojiyi günlük yaşamımızın sıradan bir parçası olarak görmeye başlayabiliriz.

Kaynakça:

Terranova, M. L., and E. Tamburri. *Nanotechnology in Space*. Jenny Stanford Publishing, 2021. Google Books, books.google.com.tr/books?id=Ppk5EAAAQBAJ.

Nasrollahzadeh, Mahmoud, et al. "An Introduction to Nanotechnology." *Interface Science and Technology*, edited by Mahmoud Nasrollahzadeh et al., vol. 28, Elsevier, 2019, pp. 1–27.

"Library." *MRS Bulletin*, vol. 30, no. 5, 2005, pp. 394–95. SpringerLink, <https://doi.org/10.1557/mrs2005.114>.

Malik, Shiza, et al. "Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry." *Molecules*, vol. 28, no. 2, Jan. 2023, p. 661. MDPI, <https://doi.org/10.3390/molecules28020661>.

Phogat, Peeyush, et al. "The Role of Nanotechnology in Space Exploration and Colonization." *Nanotechnology in Societal Development: Advanced Technologies and Societal Change*, edited by Sabu Thomas George and Benjamin Tawiah, Springer, 2024, pp. 395–437. https://doi.org/10.1007/978-981-97-6184-5_12.

Sinha, Ayush, and Ajit Behera. "Nanotechnology in the Space Industry." *Nanotechnology-Based Smart Remote Sensing Networks for Disaster Prevention*, edited by Adil Denizli et al., Elsevier, 2022, pp. 139–57. *Micro and Nano Technologies*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91166-5.00005-7>.

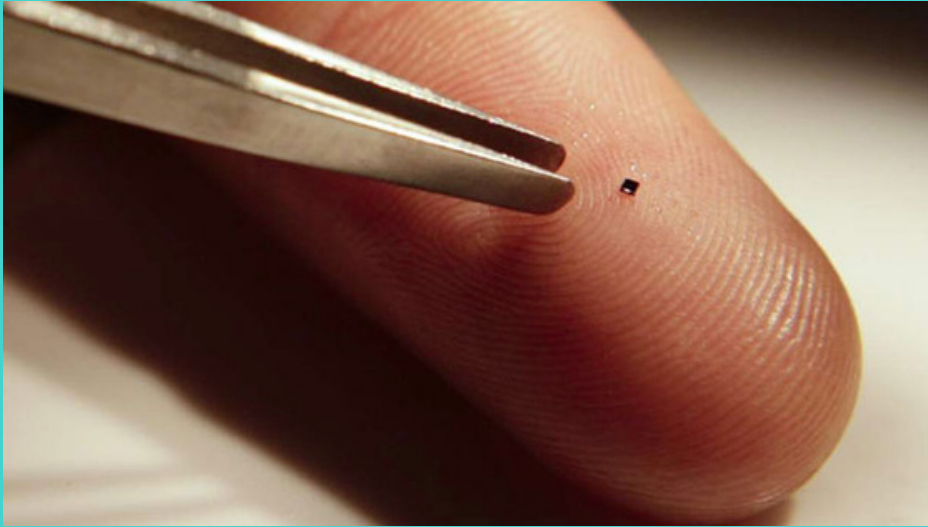
Globus, Al, et al. "NASA Applications of Molecular Nanotechnology." *Journal of the British Interplanetary Society*, vol. 51, 1 Jan. 1998, pp. 145–52. NASA Technical Reports Server, Report no. NAS-97-029.

Nanoteknolojinin Teknolojik Harikaları “Nanoçipler”

Süleyman Barış SEZGİN

Yeni çağda teknolojinin gelişmesiyle birlikte telefonlar, tabletler gibi teknolojik cihazlar iyice hayatımıza girdi. Peki bu cihazların nasıl çalıştığını biliyor musunuz? Bu sorunun cevabı nanoçipler. Nanoteknolojinin gelişmesiyle hayatımıza giren bu çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük (yaklaşık 3 ila 5 nanometre arası değişen büyüklüklerde) olan ancak içerisindeki üstün teknoloji sayesinde eski teknolojiyle yapılmış oda boyutundaki bir bilgisayarlarla aynı güce sahip olan nanoçipler, milyarlarca mikroskobik transistörün bir araya gelmesiyle oluşan ultra komplike elektronik devrelerdir. Bu devreler o kadar küçüktür ki bir insan saçı teli tipik bir nano çip devresinin yaklaşık 100.000 katı kalınlığındadır.

Nanoçipler ilk çıktıklarında sadece telefonlar, tabletler ve bilgisayarlar gibi cihazlarda kullanılmış olsa da günümüzde kullanım alanları çok geniştir. Bu alanların bazıları kalp pilleri, tarım sensörleri (çiftçiye toprağın nem oranını anlık bildiren toprak sensörleri vb.), spor saatleri ve ilaç kapsüllerinin içi (kanseri ilacının doğrudan tümör hücrelerine ulaşmasını sağlayan akıllı ilaç taşıyıcılar)... Bu alanların yanı sıra günümüzde bu teknolojinin hızla geliştiği alanlardan biri de savunma sanayisidir. Küçük boyutları sayesinde bu alana da hızla adapte olan nanoçipler, görünmez gözetleme sistemlerinden otonom araçlara kadar geniş bir yelpazede gelişmeye devam ediyor.



Nanoçipler alanında yapılacak gelişmeler gelecekte özellikle sağlık alanında büyük umut vadediyor. Bu teknolojiyle insanların vücuduna yerleştirilebilecek olan nanoçipler sayesinde kişinin sağlık durumuna (tansiyonuna, kalp atış hızına, vücudundaki vitamin eksikliklerine vb.) kolaylıkla bakılabilecek ve bu kişinin yaşadığı olası bir sağlık sorununa erken teşhis konulabilecek. Ancak bu durumun sadece pozitif yanları yok. İnsanların vücuduna yerleştirilen çipler onların verilerine kolaylıkla ulaşabilecek. Bu verilerin büyük şirketlerin ellerine geçmesi durumunda asıl kaos başlayacak, insanların özellikleri kalmayacak ve kişisel verileri tehlikeye girecek. Bunun yanında büyük şirketler daha da büyümeye devam ederken bu verilere sahip olmayan bir şirketin büyümesi neredeyse imkânsız hale gelecek.

Sonuç olarak nanoçipler, tıptan tarıma, savunma sektöründen enerjiye kadar pek çok alanda insanlığa gelecek ve gelişim vadediyor. Özellikle hastalıkların erken teşhisi, kişilerin sağlık durumlarının ölçülmesi gibi alanlarda çağ atlatma potansiyeli taşıyor. Ancak bu küçük yapıların büyüyen gücü, beraberinde göz ardı edilemez riskleri de getiriyor. Kişisel sağlık verilerinin büyük şirketlerin eline geçmesi, eşitsiz teknolojik erişimin şirketlerin ekonomileri arasında uçurum yaratması gibi faktörler gelecekle ilgili endişeleri de beraberinde getiriyor. Önümüzdeki on yıllarda nanoçiplerin hayatımızın daha da derinine işlemesi muhtemel. Asıl mesele bu teknolojiyi kimin, nasıl şekillerde kullanacağı.

Kaynakça:

<https://www.velocenet.com/tech/what-is-a-nanochip/>

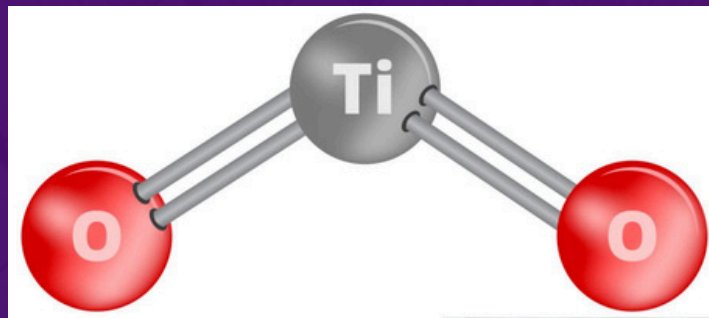


Kendi Kendini Temizleyen Binalar

Defne Beren DURMAZ

Günümüzde şehirlerin silüetlerini oluşturan gökdelenlerin nasıl temizlendiğini hiç düşündünüz mü? Gökdelenlerin temizliği oldukça meşakkatli ve zaman alan bir süreç. İşçiler metrelerce yüksekten halatlarla veya özel vinç sistemlerinden faydalanarak bu binaları temizliyor. Sürekli olarak gerçekleştirilen bu tarz işlemler maddi tarafı, harcanan su miktarı ve olası iş kazaları düşünüldüğünde sürdürülebilir yöntemler değiller.

Klasik yöntemler büyüyen şehirlerimiz ve azalan kaynaklarımız göz önünde bulundurulduğunda oldukça yetersiz kalıyor. Peki bu soruna bir çözüm yok mu? Bu soruna karşı geliştirilen en etkili çözüm fotokataliz adı verilen bir yöntemdir. Işık anlamına gelen “foto” ve hızlandırma anlamına gelen “kataliz” kelimelerinden oluşan fotokatalizörler, gökdelenleri ve daha birçok yapıyı temizlemek için hâlihazırda kullanılıyor. Bu yöntemde tercih edilen titanyum dioksit (TiO_2) benzeri maddeler, üzerlerine güneş ışınlarının çarpmasıyla kararsız hâle geçerler. Fotonlardan kazandıkları enerji ile normalde boş olan iletkenlik bandına çıkan elektronlar terk ettikleri yerde pozitif yüklü bir boşluk oluşmasını sağlarlar. Elektronlar ve elektron boşlukları havadaki nem ve oksijenle etkileşime girerek hidroksil radikalleri ve süperoksit iyonları üretirler. Bu radikaller oldukça kararsız ve reaktiftir. Normalde camların yüzeyine tutunan parmak izi, egzoz dumanı kalıntısı ve kuş pisliği gibi organik kirlerle reaksiyona girerek onları karbondioksit ve su gibi zararsız bileşiklere dönüştürürler. Bu yöntemi sürdürülebilir kılan en önemli nokta ise bu süreçte kullanılan titanyum dioksit bileşiğinin hiç harcanmıyor oluşudur. Titanyum dioksitin görevi yalnızca ışık enerjisini yüzeye tutunan kirleri parçalayan radikallere dönüştürmektir. Yani bu tarz kaplamalar yenileme gerektirmez ve teorik olarak sonsuza kadar kullanılabilir.



Görsel 1: Titanyumdioksit (TiO_2)

Fotokatalist cam kaplamalarında tercih edilen titanyum dioksit; kokusuz, beyaz, toz hâlinde bir maddedir. Güneş kremlerinde ve diş macunlarında da kullanılan bu madde, insan sağlığı için tehlikeli değildir. Bu tarz kaplamalarda titanyum dioksit kullanılmasının sebepleri arasında nispeten ucuz olması ve kimyasal olarak kararlı olması yer alır. Bu madde ham hâliyle kaplamalar için kullanılmaz bu yüzden çeşitli işlemler sonucunda saflaştırılır ve nano ölçeğe indirilir. Bu sayede cam ışığı geçirmeye devam ederken kendi kendini temizleyeceği fotokataliz işlemini de gerçekleştirebilir.

Kendi kendini temizleyen camlar, bugün dünya çapında birkaç şirket tarafından üretiliyor. Gökdelenler ve havalimanları gibi binaların geleneksel yöntemlerle temizlenmesi zaman, para ve kaynak kullanımını açısından sürdürülebilir değildir. Kendi kendini temizleyen camlar ise havadaki nem ve oksijeni kullanarak bu süreci bedavaya gerçekleştiriyor. Ayrıca kaplamanın yenileme gerektirmeyen yapısı da maliyetleri uzun vadede oldukça düşürüyor. Bu kaplamaların belki de en büyük avantajı, uygulandıkları binanın çevresindeki havayı da temizliyor olmaları. Bu sayede yakın bir gelecekte binaların da ekosistemin bir parçası hâline gelmesi söz konusu olabilir.

Kaynakça:

Hassaan, Mohamed A., et al. "Principles of Photocatalysts and Their Different Applications: A Review." *Topics in Current Chemistry*, vol. 381, no. 6, 2023, p. 31. *SpringerLink*, <https://doi.org/10.1007/s41061-023-00444-7>.

"Suyu Temizleyen Işık: Fotokataliz Nedir?" *TÜBİTAK Bilim Genç*, bilimenc.tubitak.gov.tr/makale/suyu-temizleyen-isik-fotokataliz-nedir. Erişim tarihi 21 Nisan 2026.

Fujishima, Akira, and Xintong Zhang. "Titanium Dioxide Photocatalysis: Present Situation and Future Approaches." *Comptes Rendus Chimie*, vol. 9, no. 5-6, 2006, pp. 750-60.

Nanoteknoloji ve Enerji: Yanma Çağının Ötesi

Poyraz Emre BİRDOĞAN

Milenyumlar boyunca insanlık, enerji ihtiyacına tek bir çözüm sunmuştur: bir şeyleri yakmak. Odun, kömür, petrol, gaz... Maddeler değişse de mantık aynı kalmıştır. Yakıtın çıkarılması, yakılması ve ortaya çıkan ısının elde edilmesi, şimdiye kadar gerçekleşen tüm sanayi devrimlerinin temelini oluşturmuştur. Ancak bu süreç, her zaman olağanüstü derecede verimsiz olmuştur. Yakıt yakıldığında, yüksek düzeyde organize edilmiş kimyasal enerji, en düzensiz enerji biçimi olan ısıya dönüşür. Geleneksel bir kömür santrali, yakıt enerjisinin yalnızca %35-40'ını kullanılabilir elektriğe dönüştürebilmekte; geri kalanı atık ısı olarak kaybolmaktadır. Bir başka deyişle, yüzyıllardır potansiyel enerji israf edilirken aynı zamanda bağımlı olunan rezervler de tüketilmektedir. Geleneksel petrol üretiminin birkaç yıl içinde zirve noktasına ulaşması beklenmektedir ve mevcut gidişatın çevresel maliyeti artık uzak bir uyarı olmaktan çıkmıştır. Günümüzdeki asıl mesele değişime ihtiyaç olup olmadığı değil, bu değişimin nasıl gerçekleştirileceğidir. Maddenin atom ve molekül düzeyinde, yani metrenin yaklaşık milyarda biri ölçeğinde mühendisliğini kapsayan nanoteknoloji, bu soruya olumlu bir yanıt sunmakta; son yirmi yılda kaydedilen ilerleme ise ikna edici bir tablo ortaya koymaktadır.



Bahsedilmesi gereken ilk bölüm, enerji üretiminin kendisidir. Bir zamanların pahalı ve verimsiz teknolojisi olan güneş enerjisi, nanoteknoloji sayesinde uygulanabilirlik aşamasına yaklaşarak bu alanda büyük bir gelişme sağlamıştır. Geleneksel silikon güneş pilleri, fizikçilerin Shockley-Queisser sınırı olarak adlandırdığı ve silikonun ışıkla etkileşimi nedeniyle ortaya çıkan yaklaşık %33'lük teorik verimlilik tavanı ile limitlidir. Günümüzde nanoyapılı malzemeler bu tavanı aşmaya başlamıştır. Elektronik özellikleri sadece boyutları değiştirilerek ayarlanabilen, "kuantum noktaları" adı verilen nano ölçekli yarı iletken kristaller, güneş pillerinin güneş ışığının çok daha geniş bir spektrumunu (görünür spektrumla sınırlı olan silikon pillerin aksine UV ve kızılötesi dâhil) emmesine olanak tanımaktadır. Laboratuvar ortamındaki bazı deneysel hücrelerde verimlilik %40'ı aşmış durumdadır. Bu arada, nano ölçekli kristal yapılar kullanılarak inşa edilen perovskit güneş pillerinin verimliliği 2009'da %3'ten bugün yaklaşık %30'a yükselmiş olup daha önceki hiçbir güneş enerjisi teknolojisinde görülmemiş bir gelişim hızını yakalamıştır. Nanoteknoloji, fotovoltaiğin (ışığın elektriğe dönüştürülmesi) ötesinde, su moleküllerini güneş ışığı kullanarak ayrıştırmak için titanyum dioksit gibi nanoyapılı yarı iletkenlerden yararlanan ve doğrudan hidrojen yakıtı üreten "yapay fotosentez" sürecine de imkân tanımaktadır. Elektriğin aksine hidrojenin depolanabilmesi ve taşınabilmesi, güneş enerjisinin en eski sorunlarından birini tek adımda çözmektedir. Rüzgâr ve hidroelektrik enerjisi ise karbon nanotüp takviyeli polimerler gibi yüksek mukavemetli nanokompozit malzemelerden faydalanmaktadır. Bu malzemeler, türbin kanatlarının ve jeneratör bileşenlerinin geleneksel üretimin sunduğundan daha hafif, güçlü ve dayanıklı olmasını sağlayarak enerji üretim verimliliğini artırmaktadır.



Ancak temiz enerji üretmek, sorunun sadece yarısını çözmektedir. Diğer yarısını oluşturan enerjinin yönetimi konusu ise daha karmaşık bir süreçtir. Yenilenebilir kaynaklar doğası gereği kesintilidir; güneş gece parlamaz ve rüzgar her zaman esmez. Etkili depolama yöntemleri olmaksızın yoğun üretim dönemlerinde elde edilen fazla enerji kaybolmaktadır. Geleneksel depolamanın sınırlarına ulaştığı bu noktada yine nanoteknoloji devreye girer. Telefonlardan elektrikli araçlara kadar her şeye güç veren lityum iyon piller, şarj ve deşarj sırasında lityum iyonlarını hareket ettiren elektrotlara dayanmaktadır. Nanoyapılı elektrot malzemeleri (özellikle silikon nanoteller ve metal oksit nanopartikülleri), bu reaksiyonlar için mevcut olan yüzey alanını büyük ölçüde artırarak enerji yoğunluğunu yükseltmekte ve şarj sürelerini kısaltmaktadır. Nano ölçekte yapılandırılmış silikon anotlar, teorik olarak geleneksel pillerde kullanılan grafit anotlardan on kat daha fazla lityum depolayabilmektedir; ancak şarj sırasında meydana gelen genişlemenin kontrol altına alınması hâlâ aktif bir mühendislik zorluğudur. Enerjiyi kimyasal yerine elektrostatik olarak depolayan süperkapasitörler de benzer şekilde, kompakt bir hacim içinde devasa yüzey alanları sağlayan nanopöroz karbon elektrotlar sayesinde anlık güç patlamaları gerektiren uygulamalar için ideal olan hızlı şarj-deşarj döngülerine olanak tanımaktadır. Termal enerji depolama alanında ise içinde nanopartiküllerin asılı olduğu "nanoakışkan"lar, temel sıvılara kıyasla %40'a varan termal iletkenlik artışı göstermektedir. Bu, güneş panellerinden veya endüstriyel süreçlerden elde edilen ısının her zamankinden çok daha etkili bir şekilde aktarılmasını ve depolanmasını sağlamaktadır.

Buna rağmen, bu gelişmelerin tamamlanmış bir çözüm olarak görülmemesi gerekir. Nanoteknolojinin enerji uygulamaları, mevcut iyimserliği dengeleyen önemli engellerle karşı karşıyadır. Materyallerin kararlılığı bir problemdir; birçok nanoyapılı malzeme, özellikle tekrarlanan şarj döngüleri veya uzun süreli UV maruziyeti altında makro ölçekli muadillerine göre daha hızlı bozulmaktadır ve bu nedenle uzun vadede güvenilirlik sağlanması malzeme biliminde hâlâ çözülmemiş bir zorluktur. Yüksek kaliteli nanomalzemelerin endüstriyel ölçekte sentezlenmesi ise bir diğer sorundur. Laboratuvar ortamında başarıyla işleyen süreçler, seri üretim için gereken hacimlere ulaştırılmaya çalışıldığında çok daha karmaşık ve maliyetli hâle gelmektedir. Kuantum noktası formülasyonları dâhil olmak üzere en gelecek vadeden malzemelerden bazıları, tedarik zincirleri çevresel maliyetler barındıran nadir veya toksik elementlere bağımlıdır. Ayrıca tüketici ürünlerindeki nanomalzemeleri düzenleyen yasal çerçevelerin çoğu ülkede yetersiz kalması, ticari yatırımları yavaşlatan bir belirsizlik yaratmaktadır.

Sonuç olarak nanoteknoloji, bitmiş bir çözümden ziyade, iyimser spekülasyonlara değil, ölçülebilir ve tekrarlanabilir bilime dayanan güvenilir bir gelecek planı sunmaktadır. Verimlilik artışları gerçektir, depolama iyileştirmeleri kanıtlanabilir niteliktedir ve son yirmi yıldaki ilerleme hızı tahminlerin ötesine geçmiştir. Ateşe olan bağımlılık henüz sona ermemiş olsa da insanlık tarihinde ilk kez, bu bağımlılığın ötesine geçecek araçlar sadece teorik düzeyde değildir. Bu araçlar dünyanın dört bir yanındaki laboratuvarlarda ve üretim tesislerinde inşa edilmekte, geliştirilmekte ve ölçeklendirilmektedir. Bu ilerlemenin bir fark yaratacak kadar erken gerçekleşip gerçekleşmeyeceği bilim dışı faktörlere de bağlı olsa da bilimsel çalışmalar en azından bu hedefe doğru emin adımlarla ilerlemektedir.

Kaynakça:

Mourdikoudis, S., et al. (2011). Preparation and characterization of nanomaterials for sustainable energy production. *ACS Nano*, 5(4), 2518–2531. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn102420c>

Song, Y., & Zhu, W. (2024). Application of nanomaterials in solar cells. *MATEC Web of Conferences*, 404. https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2024/16/mateconf_menec2024_03007.pdf

Buonomano, A., et al. (2025, February 14). Nanomaterials for energy storage systems — A review. *Molecules*, 30(4), 883. <https://doi.org/10.3390/molecules30040883>

Karimi, A., et al. (2024, September 14). Nanotechnology for thermal comfort and energy efficiency in educational buildings with a simulation and measurement approach in BSh climate. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72853-7>

Al Mamun, M. A., et al. (2024). Nanotechnology in renewable energy: Improving solar cells, batteries, and supercapacitors. *Library Progress International*, 44(3), 22299–22319. <https://bpasjournals.com/library-science/index.php/journal/article/download/2766/2296/5822>

Murshed, S. M. S. (2023, March 27). Heat transfer and fluid properties of nanofluids. *Nanomaterials*, 13(7), 1182. <https://doi.org/10.3390/nano13071182>

Ejeromedoghene, O., et al. (2024, December 7). Nanofluids for heat transfer enhancement: A holistic analysis of research advances, technological progress and regulations for health and safety. *Cogent Engineering*, 11. <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2434623>

Rai, U., et al. (2007). Potential impacts of nanotechnology on energy transmission applications and needs. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/236480385>

