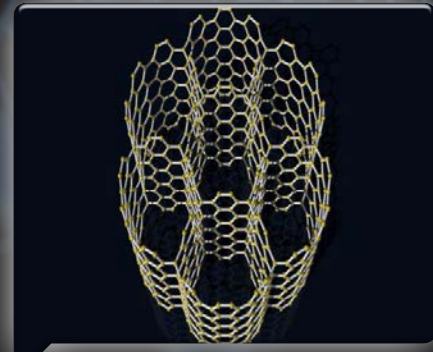
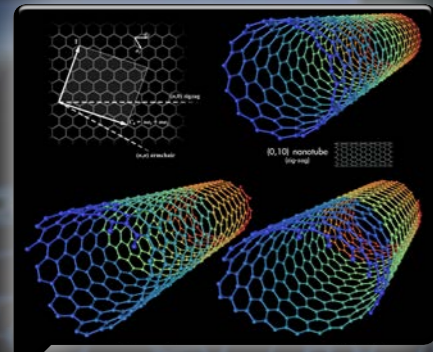


# NANOTEKNOLOJİDE KARBON NANOTÜPLER VE UYGULAMA ALANLARI

Teknolojinin son yirmi yılda hızla değişimini ve gelişimini neye borçluyuz? Teknolojik açıdan bakıldığında günümüzdeki değişimler önü alınamaz bir hızla büyümeye devam ediyor. Teknolojinin gelişmesiyle verimlilik artışları, boyutların küçülmesi, çevre donanımlarının artması gibi gelişmeler ortaya çıkıyor. Ayrıca bu gelişimle paralel olarak bilgisayarların, akıllı telefonların, biyolojik belleklerin, akıllı ilaçların, sürtünme, basınç ve darbeye dayanıklı malzemelerin, nano ölçekli görüntü alan malzemelerin boyutunun küçülmesi ve ucuzlaması olağan bir sonuç olsa gerek.



Duygu Çimen, Fatma Kartal, Nilay Bereli, Adil Denizli  
Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü

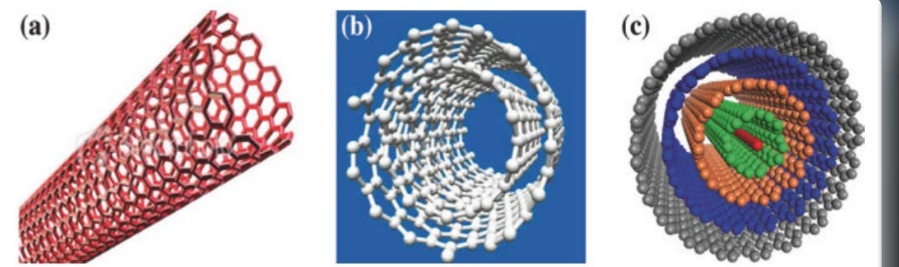
Teknolojinin son yirmi yılda hızla değişimini ve gelişimini neye borçluyuz? Teknolojik açıdan bakıldığında günümüzdeki değişimler önü alınamaz bir hızla büyümeye devam ediyor. Teknolojinin gelişmesiyle verimlilik artışları, boyutların küçülmesi, çevre donanımlarının artması gibi gelişmeler ortaya çıkıyor. Ayrıca bu gelişimle paralel olarak bilgisayarların, akıllı telefonların, biyolojik belleklerin, akıllı ilaçların, sürtünme, basınç ve darbeye dayanıklı malzemelerin, nano ölçekli görüntü alan malzemelerin boyutunun küçülmesi ve ucuzlaması olağan bir sonuç olsa gerek. Son yıllarda minyatürleştirilmiş ürünler hayatın her alanına giderek hakim hale gelmektedir. Daha küçük parçaları ve

dolayısıyla gelişmiş yetenekleri ve işlevleri ile bir cihazın faydaları mühendislik bakımından oldukça açıktır. Küçük cihazları geliştirmek için yeni üretim tekniklerinin ve malzemelerinin gelişiminde son yirmi yılda büyük bir ilerleme görülüyor. Bu gelişmelerden biri de boyutların küçültülmesiyle başlayan ve malzemelerin özelliklerini iyileştirmeye yönelik olan "nanoteknoloji"dir. Nanoteknoloji ile ilgili kavramlar ilk olarak 1959 yılında ünlü fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilecekler üzerine yaptığı konuşması "There's Plenty of Room at the Bottom" ile ortaya çıkmıştır. Genel olarak mikroteknolojiden daha küçük teknoloji olarak tanımlanan nanoteknolojinin en önemli yapı taşlarından biri kendilerine özgü yapıları ve üstün özellikleriyle karbon nanotüpleridir.

1991 yılında Sumio Iijima tarafından keşfedilen karbon nanotüpler, karbonun silindirik şeklinde bükülmesiyle elde edilen, insan kılınının 10 binde biri kalınlığında, nanometre çaplı,  $\mu\text{m}$  boylu silindirik yapılardır. Karbon nanotüpler, karbon atomlarının, beşgen ve altıgen yüzeyler oluşturmalarından kaynaklanan küre şeklinde bir kafes yapısına sahiptir.

Nanomalzemelerde, boyut küçüldükçe kuantum etkiler daha baskın hale gelmektedir. Karbon nanotüpler, nanomalzemeler içinde küçük çaplara sahip olmalarına karşın inanılmaz derecede uzun olmaları ve kendilerine özgü kristal yapıları sahip olmaları onların "eşine çok az rastlanır" denebilecek sayısız davranış göstermelerini sağlamıştır. Karbon nanotüplerin yüksek dayanıklılığı,

*"Eğer mevcut tüm uygulamaları yazacak olsaydım bu, fullerenler için bir sayfa, karbon nanotüpler için ise bir kitap tutardı."*



Şekil: Tek duvarlı (a), çift duvarlı (b) ve çoklu duvarlı (c) karbon nanotüplerin şematik yapıları



eşsiz elektriksel özellikleri ve ısıyı etkin olarak iletebilmesi gibi üstün özelliklere sahip olması, onların araştırmacılar ve şirketler tarafından tıp, biyoloji, enerji, çevre, elektronik, ileri malzeme gibi geniş uygulama yelpazesıyla kullanımını sağlıyor.

Karbon nanotüplerin uygulama alanlarının artması ile birlikte düşük maliyetli yüksek kazançlı nanotüp üretmek ve ticari ölçekte üretilebilecek sürekli bir sistem haline getirmek için farklı üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Karbon nanotüpler, ark boşaltımı, lazerle kesim ve çıkartma, kimyasal buhar biriktirme, silan çözeltisi yöntemi ve alev sentez yöntemleri kullanılarak üretilmektedir.

1996 yılında California Berkeley Üniversitesi'nde önemli bir araştırmacı olan Alex Zettl ilk kez moleküler diyotu kullanarak geliştirdiği karbon nanotüplerin uygulamaları için "Eğer mevcut tüm uygulamaları yazacak olsaydım bu, fullerenler için bir sayfa, karbon nanotüpler için ise bir kitap tutardı" demiştir. Karbon nanotüpler; elektronik malzeme olarak manyetik ve optik nano aygıt yapımında (lityum-iyon pil, elektrikli çift katmanlı kapasitör yakıt hücresi), polimer kompozit çok fonksiyonlu dolgu malzemesi ve tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır.

### Nanotüplerin Uygulama Alanları

**Mikroskop Problemleri;** tek duvarlı karbon nanotüpler yüksek dayanım ve iletkenlik özelliklerine sahip olduklarından dolayı taramalı uç mikroskoplarında (SPM), atomik kuvvet mikroskobu ve elektrostatik kuvvet mikroskobu gibi mikroskop uçlarında tarama sondası olarak kullanılmakta ve yüzeyler daha yüksek çözünürlükle incelenebilmektedir. Bu tip uygulamalarda, geleneksel olarak kullanılan seramik uçlu kuvvet sensörleri yerine çok duvarlı nanotüpler tercih edilmektedir.

**Kimyasal Sensörler;** küçük boyutları ve geniş yüzeyleri ile yüksek duyarlılık, hızlı yanıt verme karbon nanotüpleri gaz molekül sensörü olarak kullanılmaktadır.

**Karbon nanotüp bazlı sensörler;** standart sensörlerden daha hassastırlar. Çünkü yarı iletken tek duvarlı karbon nanotüplerin oda sıcaklığında kendilerini çevreleyen atmosferdeki kimyasal değişimlere karşı oldukça hassastırlar. Fakat nanotüp bazlı sensörler standart sensörlerden çok daha küçük basit yapılar olup sahip oldukları seçicilikle farklı birçok uygulama için kullanılmaktadır.

**İnce Ekranlar;** karbon nanotüpler televizyon ve bilgisayarda kullanılmak üzere büyük, parlak, düşük enerji tüketen, sağlam, net görüntülü ekranlar için yeni nanomalzemelerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

**Elektron Yayılımı Temelli Cihazlar;** karbon nanotüplerin, nanometre boyutundaki çapları, yüksek elektrik iletkenlikleri ve kimyasal kararlılık gibi özellikleri ile elektron yayıcısı olarak kullanılmaktadır. Bu özellikleriyle televizyon ve bilgisayar ekranlarında, elektron üretmesi gereken bir katota ihtiyaç duyulan her türlü uygulamalarda, ince ekranlar için elektronik kaynaklar, lambalar, X-ışını ve mikrodalga üreteçlerde kullanılmaktadır.

**Biyosensörler;** karbon nanotüpler, ilk kez Dr. Meyyappan tarafından yarı iletken özellikte biyogılgılayıcıların mikroelektronik birleşmesiyle biyolojik sistemlerdeki elektronik sinyallerin tanınması ve okunmasında kullanılmaktadır.

**Katalizör Desteği;** karbon nanotüpler, morfolojileri, boyutları, özellikle boy-en oranlarının çok büyük olması, katalitik olarak aktif olan metal parçacıklar üzerine kolaylıkla yayılmaları gibi üstün özellikleriyle katalizör desteği malzemeler olarak kullanılmaktadır.

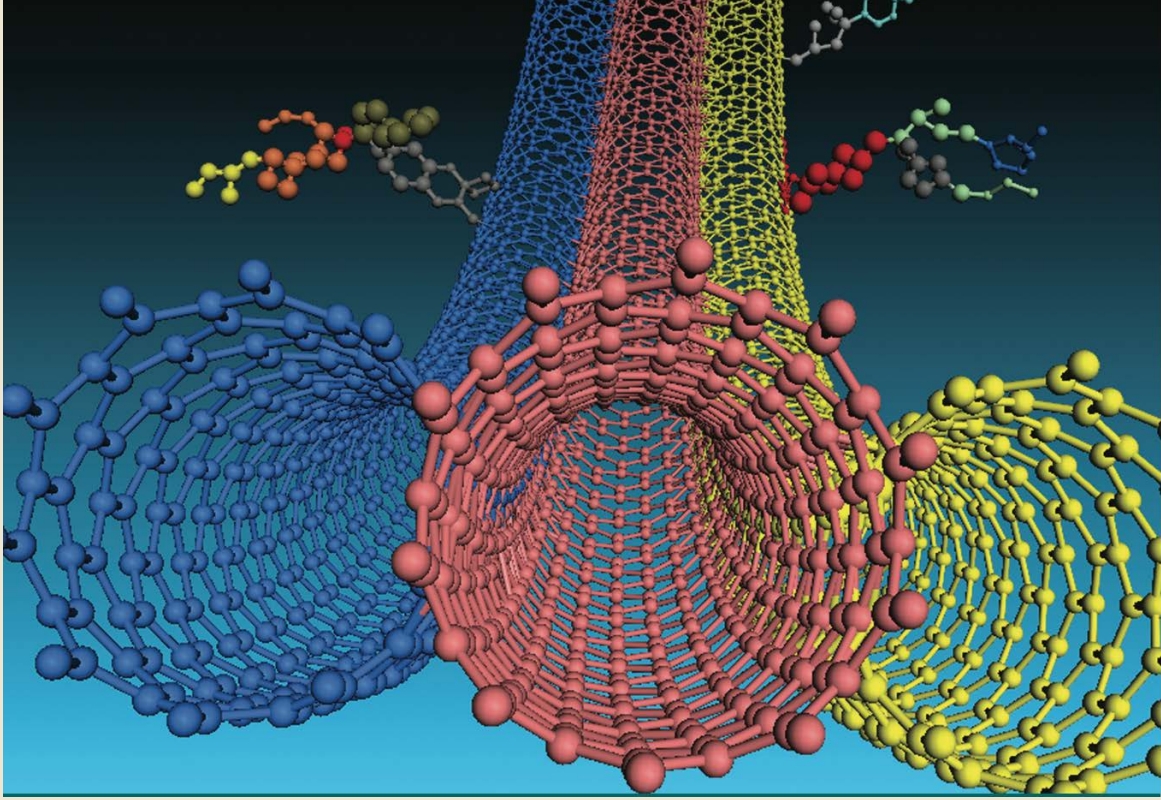
**Biyotıp;** karbon nanotüpler ile kanser tedavisinde kanser ilaçlarının canlı hücreler üzerindeki etkisi incelenmektedir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Michael Strano karbon moleküllerinin ince iplikçiklerinden yapılan karbon nanotüpler ile DNA kaplanan algılayıcının

insan vücudundaki canlı hücrelerden çok daha küçük olduğunu ileri sürmüştür. Çok düşük miktardaki kimyasalların vücuda etkilerini saptamak için kullanılmaya başlandığı ve algılayıcının zamanla insan vücudunun görüntülenmesinde alternatif bir yöntem olarak kullanılacağını gösteren çalışmalar yapılmaktadır.

**Tekstil;** karbon nanotüpler tenis raketi, beyzbol sopası gibi ürünlerde kullanılırken son olarak Adidas, Lone Star adını verdiği, dünyanın ilk karbon nanotüple kuvvetlendirilmiş tabana sahip ayakkabısını geliştirdiklerini duyurdu. Karbon nanotüplerin mekanik ve kimyasal bağları altlığın ömrünü ve bütünlüğünü arttırdığını göstermektedir.

**Karbon nanotüpler;** hafif olmalarına karşın yüksek gerilme direncine sahip olmaları, dayanıklı ve kararlı yapıları, yüksek iletkenlik ve esneklik gibi özellikleri analitik kimyadaki uygulamalarda kullanılmaktadır. Karbon nanotüplerin hidrojen depolama ve kromatografik uygulamaları gibi analitik uygulamaları da bulunmaktadır.

Son yıllarda boyutlarından beklenmeyecek kadar büyük etki yaratan karbon nanotüpler özellikle katı faz adsorban malzemesi olarak kullanılmasıyla dikkat çekmektedir. Karbon nanotüplerin; mekanik kararlılığı, geniş yüzey alanları,  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri ve güçlü fiziksel adsorpsiyon yeteneğine sahip olmaları katı faz ekstraksiyonunda adsorbanlar olarak kullanılmaktadır. Karbon nanotüp yüzeyleri çeşitli kovalent ve kovalent olmayan yöntemlerle modifiye edilmektedir. Böylece farklı moleküller yapıya bağlanmaktadır. Bu özellikleriyle karbon nanotüpler metalik türler, organik ve organometalik bileşikler gibi farklı türlerin katı faz ekstraksiyonu ile analiz edilebilmektedir. Özellikle son yıllarda karbon nanotüpler, adsorpsiyonun gerçekleştiği büyük yüzey alanlarına sahip olduklarından metallerin, inorganik veya organik türlerin katı faz ekstraksiyonu ile analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Sonuç olarak 1990'lı yıllarda karbon nanotüplerin özelliklerinin keşfedilmesi ile birlikte özellikle nanobilim başta olmak üzere birçok farklı alanda çalışmalarını sürdüren dünya çapındaki sayısız araştırma grubunun yanında büyük şirketler karbon nanotüp esaslı ürünleri piyasaya sürmek için yarışmaktadır. Fakat literatür malzeme ve cihaz şeklindeki karbon nanotüplerin uygulamaları açısından oldukça zengin olsa da karbon nanotüplerin üretiminde tür ve çap, yüksek saflıkta sentez ve ayırma işlemleri açısından serimler mevcuttur. Bu çabalar teknolojik süreç ve sistemlere dönüştürülemediği. Doğal olarak kabul edilmelidir ki karbon nanotüpler için katedilmesi gereken uzun bir yol vardır.

#### Kaynaklar

1. Hsu, T.R., MEMS and Microsystems: Design and Manufacture. McGraw-Hill, Newyork, 2002.
2. Sinha N., IEEE, Carbon Nanotubes for Biomedical Applications, IEEE Transactions on Nanobioscience, 2005, 2 (4),180-195.
3. Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Jorio A., Unusual properties and structure of carbon nanotubes, Annual Review of Materials Research, 2004, (34), 247-278.
4. Charlier J.C., Blase X., Roche S., Electronic and transport properties of nanotubes. Reviews of Modern Physics, 2007, 2 (79), 677-732.
5. Ganesh E.N., Single Walled and Multi Walled Carbon Nanotube Structure, Synthesis and Applications. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2013, 4 (2), 311-318.
6. He Z.B., Maurice J.L., Lee C.S., Cojocaru C.S., Privat D., Nickel catalyst faceting in plasma-enhanced direct current chemical vapor deposition of carbon nanofibers. Arabian Journal for Science and Engineering, 2010, 35 (1C), 11-19.
7. Fotopoulos N, Xanthakis J.P., A molecular level model for the nucleation of a single-wall carbon nanotube cap over a transition metal catalytic particle. Diamond and Related Materials, 2010, 19 (5), 557-561.
8. Brown B, Parker C.B., Stoner B.R., Glass J.T., Growth of vertically aligned bamboo-like carbon nanotubes from ammonia/methane precursors using a platinum catalyst. Carbon, 2011, 149, 266-274.