

Geleceğin Karbonu

Kesilmemiş elmas parçasını kurşun kaleminin ucuyla çevirerek incelerken kafasının içinde bir ışık yandı. Kaleminin ucu kurşun değil grafitti elbette. Grafit katışıksız karbondur, aynen elmas gibi. Grafit bilinen en yumuşak elementlerden biriyken elmas doğada bulunan en sert maddeydi. İkisinin arasındaki tek farkta kristal yapılarının farklı olmasıydı. Karbon düzenli bir kristal yapıya sahip olmadığında, tüten küçük sobasındaki kurum gibi olurdu. Neyse, artık masaya dönüp elması nasıl keseceğine karar vermeliydi.



Kömür formunda da olsa antik çağlardan beri bilinen sınırlı sayıdaki elementten biridir karbon. Herhalde bu yüzden olacak, karbon dendiğinde gözlerimizin önüne kömür gelir. Zaten Latince “carbo” kömür anlamına gelir. Dünya'nın kabuğunda en çok bulunan elementlerden biri olan karbon hayatımıza biz istemesek de çeşitli hallerde giriyor. Evlerimizi ısıtan doğalgazda ve kömürde. Yemeğimizde ve yemeğimizin yanına katık ettiğimiz ekmekte. Küresel ısınmada sera gazı CO₂ olarak atmosferde. Hepimizin korkulu rüyası organik kimya olarak lise müfredatında.

Karbon temelli yaşam formları olduğumuzu duymuş olmalısınız. Karbon yapabildiği kararlı kovalent bağlar sayesinde Dünyamızdaki hayatın temelini oluşturur. Karbon, atomları arasındaki güçlü ve kararlı bağlar sayesinde uzun zincirler halinde kararlı moleküller oluşturabilir. Bu sayede karbon neredeyse sonsuz sayıda bileşik oluşturabilir, bu da doğadaki binlerce farklı organik molekülün de kaynağıdır. Karbonun bilinen tüm bileşiklerinin sayısı, hidrojen ve karbon hariç diğer tüm elementlerin aralarında yaptıkları bileşiklerin sayısından daha fazla.

Evrende en çok bulunan dördüncü element olan karbon allotroplar açısından da güzel bir örnek. Bu arada, allotropi bir elementin kimyasal özellikleri aynı kalırken farklı fiziksel özellikler göstermesi anlamına geliyor. Karbonun en çok bilinen allotropları elmas, grafit ve amorf karbon. Amorf karbon genellikle doğada grafit ve elmas dışındaki karbon formlarına, örneğin kuruma ve kömüre verilen isim. İkisi de neredeyse tamamıyla karbon atomlarından oluşmasına rağmen grafitin ve elmasın fiziksel özellikleri tamamıyla farklı. Elmas tetrahedral bir kristal yapıya sahipken, grafit bal peteğine benzeyen altıgen yapılardan oluşan düzlemsel katmanlardan oluşur. Elmas doğal olarak bulunan en sert maddeyken, grafit yumuşak olduğu için kurşun kalemlerde uç olarak kullanılır.

Hayatımızın içine bu kadar girmiş olan karbon hâlâ bizi şaşırtmaya devam ediyor. Gün geçmiyor ki karbonun değişik bileşikleri ve allotroplarıyla ilgili yeni araştırma haberleri gelmesin. Araştırmaların çoğunda materyallere özelliklerini geliştirmek ve iyileştirmek için karbon ekleniyor veya çeşitli formlardaki karbonun özelliklerinden faydalanılıyor. Bu yazıda karbonun allotropları ve onlar üzerinde yapılan araştırmalardan bahsedeceğiz. Merak etmeyin, yazı boyunca organik kimyaya ihtiyacınız olmayacak.

Elmas

Karbonun allotroplarından biri olan elmas genelde renksiz ve şeffaf olmasına rağmen içindeki farklı katışıqlarla ve kusurlarla maviden kırmızıya kadar farklı tonlarda olabilir. Elmasın kendine has parlaltısının sebebi görece yüksek olan optik ayrılımdır (farklı renklerin farklı açılarda kırılarak birbirinden ayrılması). Dünyada bir senede çıkarılan 27 ton civarındaki doğal elmasın % 80'i mücevher olarak değerlendirilemediği için endüstride kullanılır. Endüstride kullanılmak üzere 1950'lerden itibaren yüksek basınç ve sıcaklık altında yıllık 110 ton civarında sentetik elmas üretiliyor. Elmasın özellikle sertliği ve yüksek ısı iletkenliği, endüstriyel ve bilimsel alanda kesme, delme, zımparalama ve yüksek basınç gerektiren uygulamalarda kullanılması için ideal.



Yüzüncü Yıl Pırlantası

Pırlanta genelde kesilmiş ve işlenmiş elmasa verilen isim. Yaklaşık 25 sene önce bulunan Yüzüncü yıl pırlantası yaklaşık 274 karatla (55 gr) dünyanın üçüncü büyük elması. (Bir karşılaştırma yapacak olursak, Kaşıkçı elması 86 karattır.) Ünlü elmas şirketi De Beers'in elmas madenlerinde, X-ışını taramasıyla bulunmuştur. Ham olarak çıkarıldığında 599 karat olan elmas, De Beers'in yüzüncü yıl kutlamalarında ilk kez sergilenmiştir. İçinde ve dışında hiçbir kusuru olmayan elmas, mükemmel bir renge sahiptir, yani renksizdir. Bu paha biçilmez elmasın ağırlığı, Gabi Tolokowsky liderliğinde bir ekip tarafından 5 ay gibi bir zamanda 50 karat kadar azaltıldı. 1991'de şu anki haline getirildi. Pırlantanın fiyatı ilan edilmemiş olsa da, modern tekniklerle bulunmuş ve kesilmiş, son zamanların en ihtişamlı pırlantasının 1991 yılında sergilenirken 100 milyon dolara sigortalandığı biliniyor.

Elmasın içindeki kuantum bilgisayar

Geleneksel bilgisayarda bilgiler 1 veya 0 olan bitler halinde yazılır. Kuantum bilgisayarın temeli ise hem 1 hem 0 olabilen kuantum bit, kısaca kubittir. Kubitlerin bu "çakışma" özelliği ve kuantum seviyelerinin enerji bariyerlerinden sızabilmesi, bir gün kuantum bilgisayarların optimizasyon problemlerini geleneksel bilgisayarlardan çok daha hızlı çözmesine olanak verecek. Kubitler için önerilen adaylardan biri atomaltı parçacıkların spin özelliği. Fakat spinlerde depolanan bilgi bir süre sonra kaybolur. Güney Kaliforniya Üniversitesi'nden Daniel Lidar'ın liderlik ettiği araştırma grubu bu problemi elmas kullanarak çözmeye çalışıyor. Araştırmacılar elmas kristalindeki iki farklı kusuru kullanarak, bir azot atomunun çekirdeği ile bir elektronu eşleyerek iki kubitten oluşan hibrit bir sistem oluşturdu. Mikrodalgalar yardımıyla sistemdeki bilgiyi korumayı başaran araştırmacılar, sistemde uyguladıkları kuantum algoritmanın, bilginin normalde kaybolması gereken zamanın 100 katı kadar zaman sonra bile % 90 oranda çalıştığını gördü.

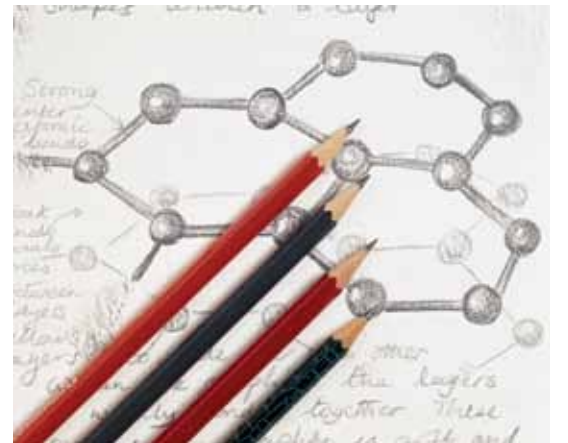
Grafitten süper kapasitör

Rice Üniversitesi'nden Prof. Pulickel Ajayan ve araştırma grubu oksitlenmiş grafit kâğıdı enerji depolayan bir süper kapasitöre dönüştürdü. Araştırmacılar grafit oksitle kaplanmış kâğıtta lazer kullanarak 1 mikrometre hassasiyetle desenler oluşturdu ve bu esnada grafit oksidi indirgeyerek elektrik iletkenliği kazandırdı. Grafit oksit iletildiğinde ağırlığının % 16'sı kadar suyu emerek elektrot olarak kullanılabilirdi. Kapasitör desenlerinde enerji depolamayı ve boşaltmayı başardılar ve kapasitörün zarar görmeden binlerce devir yaptığını gözlemlədiler. Sonuç olarak grafit oksitle kaplanmış kâğıt üzerindeki desenler, dışarıdan hiçbir şey kullanılmadan enerji depolamada kullanılabilir olacak kapasitörler haline geliyor. Üretilen cihaz hiç kimyasal kullanılmadan, yüksek bir elektro-kimyasal performans ve potansiyel gösteriyor. Bu teknolojinin küçük ve orta boy elektronik cihazlara güç sağlamakta kullanılabileceği düşünülüyor. Lityum pillerde ve yakıt hücreleri araştırmalarında yeni imkânlar doğması umuluyor.

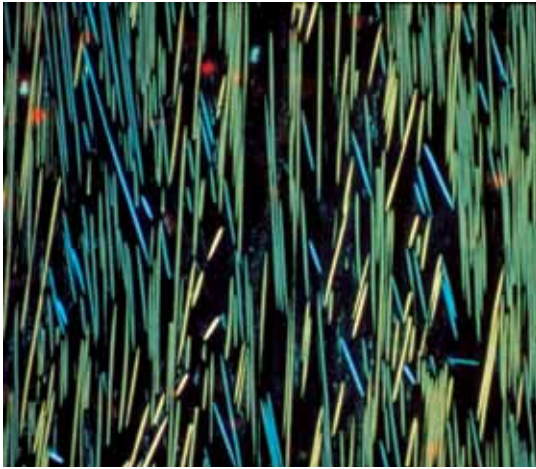
Grafit

Grafit karbonun bir diğer allotropu. Grafitle elmasın zıt kardeşler olduğunu daha ilk bakışta fark edebilirsiniz. Saydam ve sert elmasın yanında ışığa geçit vermeyen grafit yumuşaktır. Grafit yumuşaklığı sayesinde kayganlaştırıcı olarak kullanıldığı halde, katı elmas zımpara olarak kullanılır.

Elmas ısıyı iletip elektriği iletmezken grafit elektriği çok iyi iletir ve ısı yalıtkanı olarak kullanılır. Elmas kristalleri 3 boyutlu tetrahedral (eşkenar dört yüzlü) yapıdayken, 2 boyutlu düzlemlerden oluşan grafitteki düzlemlerin yapısı altıgen tavuk kafesi teline benzer. Ama elmasa en büyük darbe kimya biliminden gelir: Karbonun en kararlı hali elmas değil grafit. Bir başka deyişle yerin üstündeki elmaslar yavaş (ama çok çok yavaş) grafitte dönüşüyor.



Grafiti kille karıştırılarak kullanıldığı kurşun kalemlerden de biliyoruz. Yüksek elektrik iletkenliği sayesinde pillerde ve ark lambalarında elektrot olarak kullanılabilir. Endüstride kuru kayganlaştırıcıların gerekli olduğu uygulamalarda grafit tozu kullanılıyor. Dökümhanelerde yüksek sıcaklıklardaki metallerin dökümü için kalıp olarak veya çelik içindeki karbon oranını artırmak için kullanılıyor. Grafit ayrıca lastikte, otomobil balatalarında, kibritte ve motor yağlarında katkı malzemesi olarak da kullanılıyor.



Fiber Karbon

Karbonun malzemelerin güçlendirilmesi için kullanılması ile ilgili olarak büyük bir olasılıkla fiber karbonla güçlendirilmiş malzemeleri duymuş olmalısınız. Fiber karbonun yani fiber grafitin çapı 5-10 mikron arasında, uzunluğu da 5-10 mm civarındadır. Tamamıyla olmasa da çoğunlukla karbon atomlarından oluşur. Karbon atomları grafit benzeri kristalleri fiberin uzun eksenine paralel olarak oluşturur. Bu kristal yapı, fibere boyutlarına ve ağırlığına göre çok yüksek bir sertlik ve dayanıklılığın yanı sıra kimyasal direnç ve yüksek sıcaklığa karşı direnç kazandırır. Bu özellikleri karbon fiberin tekstilden uzay sanayisine, havacılıktan rüzgâr tribünlerine, yakıt hücrelerinden basınçlı gaz depolanmasına kadar birçok alanda kullanılmasını sağlar. Örneğin en dayanıklı fiber karbonun elastikiyet modülü çelikten on kat kadar büyüktür. (Aynı uzunluktaki fiber karbon ve çeliği iki katına kadar uzatmak için gerekli kuvvet fiber için 10 kat daha fazladır.) Fiber karbon çelikten 5 kat daha hafiftir. Metal yorgunluğu ve oksitlenme açısından da metallere karşı bariz bir üstünlüğü vardır. Fiber karbon genelde diğer maddelerle beraber kompo-

Mikro hava araçları

Mikro hava araçları, insansız hava araçlarının en yeni alt kümesinden biri. Bu kümeye ait olabilmek için tüm boyutları 15 santimetreden küçük olmak zorunda olan bu araçlar, uzaktan kumandalı veya otonom olabilir. Askeri, ticari ve araştırma alanlarında kullanılmak amacıyla geliştirilen bu araçların ileride böcek kadar küçültülebilmesi bekleniyor. Şu an kullanımda olan insansız hava araçlarının en küçüğünün kanat açıklığının 1 metre civarında olduğunu hatırlatarak, hedeflenen gelişmenin ne kadar iddialı olduğuna dikkat çekelim. Bu araçların temel amacı, çeşitli sebeplerle yerden ulaşılması güç olan bölgeler hakkında uzaktan ve gerektiğinde fark ettirmeden bilgi toplamak. Bunun yanı sıra hobi olarak ve hava fotoğrafçılığı için de kullanılıyorlar. Bu alan-



da çalışan araştırmacılar için böcekler ve kuşlar sürekli bir ilham kaynağı. Hafiflik ve dayanıklılığın optimizasyonunun gerekli olduğu bu alanda kullanılan malzemelerin başında fiber karbonla güçlendirilmiş kompozitler geliyor.

zit malzeme olarak kullanılır. Plastikle karıştırılıp kullanıldığında ortaya çıkan güçlendirilmiş plastik, ağırlığına göre çok yüksek bir sağlamlığa ve katılığa ulaşır. Fiber karbon, grafitle veya diğer karbon malzemelerle karıştırıldığında malzemenin yüksek sıcaklığa dayanıklılığını artırır.

Organik Elektronikler

Piknik masasının üzerine serdiğiniz plastik örtüde çocuğunuz çizgi film seyrederken sizin de dün akşam kaçırdığınız dizinin son bölümünü, hem de hiçbir bağlantıya ihtiyaç duymadan, seyredebileceğinizi düşünebiliyor musunuz? Peki ya şarjı biten ucuz masa örtünüzü piknik bittikten sonra çöpe atabilmeyi? Eğer bütün bunları hayal edebiliyorsanız, siz de organik elektronikle uğraşan araştırmacıların hayallerini paylaşıyorsunuz.

2000 yılında Nobel Kimya Ödülü iyot katkılı poliasetilen iletkenliği ile ilgili çalışmalarından ötürü Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid ve Hidaki Shirakawa'ya verilmişti. Pahalı olan inorganik iletken ve yarı iletkenler yerine etrafımızda bolca

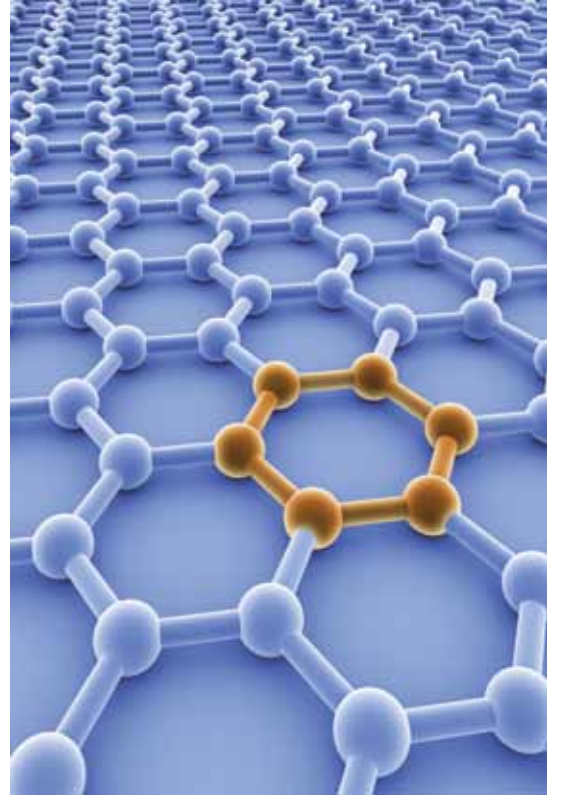
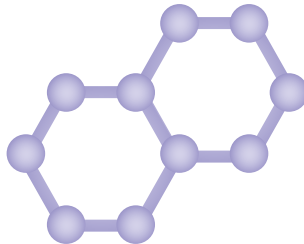
Elektronik kâğıt ve mürekkep

Elektronik kâğıt ve mürekkep, sıradan kâğıt ve mürekkep gibi görünen çok kullanımlık bir görüntüleme teknolojisidir. Elektronik kâğıt üzerindeki işaretleri ve yazıları göstermek için ışık yaymak yerine normal kâğıttaki gibi dışarıdan gelen ışığı yansıtır ve üzerindeki çok uzun bir süre herhangi bir güç kaynağına bağlanmadan muhafaza eder. Fakat üzerindeki görüntüler istendiği zaman silinebilir ve değiştirilebilir. Sürekli olarak yenilenmediği için görüntü daha sabit durur ve okunması daha rahat olur. Şu an için mürekkep tüm renklerde olmasa da elektronik kâğıt güneş ışığında rahatlıkla okunabilir ve mürekkebin kâğıtla kontrastı normal bir gazeteninkiyle aynıdır. Bu teknolojinin çok yakın zamanda elektronik etiketlerde, ilan panolarında, otobüs duraklarında ve elektronik kitaplarda kullanılması bekleniyor.

bulunan karbonu ve hidrojeni temel alarak, ucuz ve hatta tek kullanımlık elektronik cihazlar yapmak organik elektronik alanındaki araştırmacıların odak noktası. Bunları duyduktan sonra, eskiden annelerimizin kullandığı plastik tabakların hammaddesi melaminin uygun işlemlerden geçirildikten sonra elektrigi ilettiğini duymak sizi şaşırtmayacaktır. İletken polimerler kullandığımız inorganik iletkenlere göre daha hafif, esnek ve tabii ki daha ucuz olacak. Organik elektronik araştırmaları, sadece iletkenleri ve yarı iletkenleri değil organik ışık yayan diyotları, dielektrik maddeleri de araştırıyor.

Organik elektronik polimerler inorganik elektroniğe bazı alanlarda alternatifler ve hatta inorganik elektroniğin yetersiz kaldığı bazı alanlarda da yeni seçenekler sunuyor. Fakat organik iletkenlerin inorganik maddelere göre dirençleri yüksek ve iletkenlikleri düşük olduğu için her alanda inorganik eşleniklerinin yerlerini almalarını beklemek, en azından şimdilik, imkânsız.

Organik elektronik uygulamalardan biri akıllı cam. Organik bir filmle kaplanmış bir camın ışık geçirgenliği voltaj uygulanarak kontrol edilebilir. Uygulanan voltajla organik filmin optik özellikleri değiştirilerek ışığın geçişi kısmen veya tamamen engellenir. Bu sayede bir odanın ışıklandırması, dolaylı olarak da sıcaklığı kontrol altına alınabilir. Öngörülen diğer bir uygulama ise organik güneş pilleri. Organik güneş pilleri hem ham madde, hem işleme, hem de kurulum açısından çok daha ekonomik.



Grafen

Karbonun en çok bilinen allotropları elmas, grafit ve amorf karbon hakkında konuştuğuktan sonra yakın zamanlarda bulunan ve doğada saf olarak büyük miktarlarda bulunmayan diğer allotroplardan bahsedelim. İlk önce size, üstün özellikleri sebebiyle geleceğin malzemeleri arasında gösterilen, karbonun 2 boyutlu formu grafenden bahsedelim. Grafitin bal peteğine benzeyen iki boyutlu düzlemlerin üst üste gelmesinden oluştuğunu söylemiştik. Bu düzlemlerden sadece tek bir atom kalınlığındaki bir katmanın diğer katmanlardan ayrıştırılmasıyla ortaya çıkan iki boyutlu kristal yapı grafen olarak adlandırılıyor. 2010 yılında Manchester Üniversitesi'nden Andre Geim ve Konstantin Novoselov "grafen isimli iki boyutlu materyal üzerinde yaptıkları çığır açan deneyleri için" Fizik dalında Nobel Ödülü'nü aldılar. Özellikle ilk başlarda araştırmacıların bu tek atom kalınlığındaki yapıyı nasıl elde ettiğine ise inanamayacaksınız. Uygulanan süreçte "para bandı" olarak adlandırdığımız şeffaf yapışkan bantlar kullanılarak grafit atomik seviyeye kadar inceltiliyor ve daha sonra elde edilen grafen örnekleri incelenmek üzere hazırlanıyordu. Daha önce tek atom kalınlığında düzlemlerin var olabileceğinden bile şüphe duyulurken hiç umulmayacak bir şekilde para bandı imdadımıza yetişti, ama bant bu sefer birleştirmiyor, ayırıyordu.

2004 yılında yayımlanmaya başlanan öncü araştırmalarda, grafene ait üstün ve yeni teknolojik uygulamaya imkânları vaat eden özellikler bulununca, grafene hücum başladı. Şu an çok farklı alanlarda grafenin olağanüstü özelliklerini kullanmayı amaçlayan birçok çalışma yürütülüyor. Üç boyutlu materyallerden farklı olarak, elektronlar grafen üzerinde çok daha fazla hareket edebiliyor. Bunun sonucunda grafen elektrik akımını yarı iletkenlere kıyasla 10-100 kat kadar daha iyi iletiyor. Bu özelliği onu geleceğin elektronikleri için uygun bir aday haline getiriyor. Şu an MIT ve Hughes araştırma laboratuvarları gibi enstitülerde grafenden entegre devre ve transistor üretme çalışmaları devam ediyor. Yüksek elektrik iletkenlikleri ve optik geçirgenlikleri nedeniyle şeffaf elektrotların kullanılabileceği olası uygulamalar arasında dokunmatik ve LCD ekranlar, organik LED'ler ve güneş pilleri yer alıyor. Enerji yoğunluğu yüksek ultra kapasitör yapımından elektronların yükleri yerine spinlerinin kullanıldığı "spintronik" cihazların yapımına kadar farklı alanlarda kullanılmak üzere grafen inceleniyor.

Tek atom kalınlığındaki grafen helyum da dâhil olmak üzere gaz ve sıvıların geçişine izin vermiyor. Tek bir istisna dışında: Su. Su grafen yokmuşçasına buharlaşabiliyor, su buharı molekülleri grafenin içinden geçebiliyor. Bu özellik alkolün ısıtılması ve vakum kullanılmadan oda sıcaklığında saflaştırılmasında çığır açabilir. Maliyetlerin düşürülmesinin alkollü içecek ve özellikle biyolojik yakıt endüstrisinde önemli etkileri olacaktır.

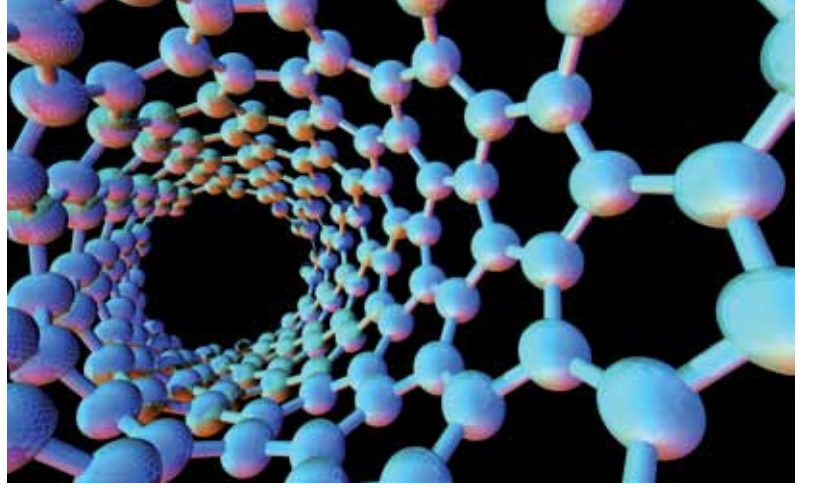
Yakın gelecekte grafeni görmeyi beklediğimiz alanlardan biri de biyoloji. Grafeni kullanarak hastalık tanısı ve bakteri tespitinde kullanılacak sensörler yapılabileceği öngörülüyor. Bu konuda en iddialı projelerden biri grafeni nano elektrot olarak kullanarak DNA dizilimini araştırarak ucuz cihazlar yapmak. Grafenin özelliklerini kullanarak bakterileri öldürmekse başka bir araştırma alanı.

Bu kadar farklı konularda araştırılan grafeni günlük hayatta görmememizin en büyük sebebi grafenin endüstriyel olarak kullanıma uygun bir üretiminin olmayışı. Şu an üretilen grafen endüstriyel kullanım için pahalı olsa da bu konudaki araştırma geliştirme çalışmaları hâlâ sürüyor.

Karbon nanotüpler

Grafenin iki boyutlu olduğunu söylemiştik. Şimdiyse bir boyut daha aşağı iniyoruz. Şerit halindeki grafenin iki ucunun uzunlamasına ince bir silindirik oluşturacak şekilde bir araya getirildiğini hayal edin. Gözünüzün önüne gelen 1 boyutlu mucize

materyal karbon nanotüp. Burada bahsettiğimiz yapıyı neden 3 boyutlu değil de 1 boyutlu diye tanımladığımıza gelince: Karbon nanotüplerin yarıçapları genelde 1 nanometreden küçüktür (1 nm = 1 mm'nin milyonda biri). Fakat nanotüplerin boylarının yarıçapa oranı yüz otuz iki milyonda bire (132.000.000:1) kadar çıkar ki bu bilinen tüm materyallerinkinden daha yüksektir.



90'lı yıllarda tek duvarlı karbon nanotüplerin olağanüstü iletkenlik özelliklerini tahmin eden kuramsal makalelerin yayımlanmasıyla birlikte, ark deşarjında bulunan karbon nanotüplerin keşfi bir anda nanotüpleri popüler bir araştırma konusu yaptı. 90'lı yılların nanotüp araştırmalarının başlangıcı olarak kabul edilmesine rağmen, Sovyet Rusya'da 1950'li yıllarda yayımlanan makalelerde nanotüp görüntüleri kullanılmıştı ve farklı grupların nanotüpler hakkında araştırmaları vardı. Ama nanotüpler meşhur olmak için 90'lı yılları beklemek zorunda kalacaktı. Diğer karbon bazlı materyallerde de bahsettiğimiz sağlamlık, dayanıklılık elektrik ve ısı iletkenliği nanotüpler için de fazlasıyla geçerli. Nanotüpün metal veya yarı iletken özellik göstermesi, üzerindeki karbon atomlarının birbirine göre konumlarına bağlı olarak değişir. Nanotüplerdeki duvarlar bir veya daha fazla katmandan oluşabilir. Birbirinden bağımsız, iç içe geçmiş ortak merkezli silindirelerden oluşabilecekleri gibi, eskiden defterlerimizi ve kitaplarımızı kapladığımız kap kâğıtları gibi kendi üzerlerine kıvrılmış, rulo benzeri bir yapıda da olabilirler. İç içe geçmiş ortak merkezli silindirler neredeyse sürtünmesiz olarak birbirlerine göre hareket edebilir. Bu özellik kullanılarak nanometre büyüklüğünde bir rotor ve uzayıp kısalan nanomekanik kollar yapılabileceği düşünülüyor. Tek duvarlı karbon na-

Karbon nanotüpler ve Şam çeliği

Haçlılar Müslümanlarla karşılaştıklarında Müslümanların özellikle esnek fakat keskin kılıçlarına hayran olmuşlardı. Her birinde de farklı desenler vardı. Bu kılıçlar o zamanın en iyileriydi ve etraflarında birçok efsane oluştu. Bunlardan en ünlüsünü siz de tarihi filmlerde görmüş olabilirsiniz: Böyle bir kılıç üzerine düşen bir ipek mendili ikiye bölüveriyordu. Haçlılar bu kılıçlarla bugünkü Suriye civarında karşılaştıkları için kılıçların yapıldığı çeliği ve desenleri Damascus (Şam) olarak adlandırmışlar. Bu kılıçların yapıldığı malzemenin en büyük sırrı, farklı karbon oranlarına sahip çeliklerin beraber kullanılmasıydı. Bu çeliklerden biri Hindistan ve Sri Lanka'dan gelen Wootz'du. Bu yöntem 17. ve 18. yüzyıla kadar kullanıldıysa da orijinal reçete ve tekniklerin 13. yüzyıl civarında kaybolduğu düşünülüyor. Kılıçlar tamamlandıktan sonra asitle aşındırılıyor ve farklı karbon oranlarına sahip çelikler ışığı farklı yansıtıyor ve desenler ortaya çıkıyor. Her ustanın kendine ait deseni olduğu da rivayetler arasında. Desenlerden bazıları Türk kıvrımı, Muhammed'in merdiveni, gözyaşı, yağmur damlası isimleriyle biliniyor. Titizlikle saklanan bu tekniğin kaybolmasının en önemli sebebinin Hindistan'dan gelen hammaddenin ticaretinin zamanla azalması ve yok olması olduğu düşünülüyor.

Bu kılıçların sırrını çözmek için 17. yüzyıldan kalma numuneler üzerinde yapılan araştırmalarda karbon nanotüplere rastlandı. Bu çok şaşırtıcıydı. Yapım sırasında yüzlerce kat olacak şekilde kendi üzerine katlanan bu çelikte karbon nanotüplerin oluşmasında, hammadde olarak kullanılan, özellikle de Hindistan'dan gelen çelik külçelerdeki katışıkların rolü olduğu düşünülüyor.

notüpler günümüz elektroniklerini küçültmekte kullanılabilir. Metalik nanotüpler yüksek iletkenlikleri sayesinde kolaylıkla elektrik tellerinin görevini üstlenebilir. Nanotüplerden yapılmış alan etkili transistörler kullanılarak 2001 yılında molekül büyüklüğünde "Değil" mantık kapısı gösterildi. Şu an nanotüplerin elektronik uygulamaları, iletken veya yarı-iletken özellik gösteren nanotüplerin seçici olarak üretilmesine bağlı. Üzerinde çalışılan ve prensipte çalıştığı gösterilen karbon nanotüplerden yapılmış başka elektrik devre elemanları hatta nano büyüklükte bir radyo alıcısı da var.

Bu kadar farklı özelliklere sahip bu yapıların laboratuvar ortamında bin bir zorlukla sentezlendiğini düşünüyorsanız haklısınız, ama kısmen. Laboratuvar ortamındaki üretim yöntemleriyle ilgili kısa bir bilgi vermeden belirtelim: İşte ve dumanda, ama özellikle metan, etilen ve benzen gibi maddeler yakıldığında ortaya çıkan iste ve dumanda, çeşitli büyüklük ve kalitede nanotüpler vardır. Tek bir süreçte çok sayıda nanotüp üretmek için ark deşarjı, lazerle aşındırma, yüksek basınçta karbon monoksit ve kimyasal buhar biriktirme gibi yöntemler kullanılır. Nanotüpler 90'lı yılların başında, esnasında grafit üzerinde biriken iste bulunmuştu.

O tarihten bu yana da ark deşarjı nanotüp üretiminde en yaygın yöntemlerden biri olarak kullanılıyor. Atımlı lazerler grafit hedefe odaklandığında grafiti buharlaştırır. Gaz halindeki karbon atomları daha soğuk yüzeylerde bir araya gelerek nanotüpleri oluşturur. Kimyasal buhar biriktirme yöntemindeyse buharın biriktirileceği yüzey metal katalizörlerle kaplanarak yüksek sıcaklıktaki bir bölme eklenir ve karbon atomları metal parçalara tutunarak nanotüpleri oluşturur. Kimyasal biriktirme yöntemleri şu an endüstriyel üretim için en elverişli yöntem olarak görünüyor. Farklı özelliklere sahip nanotüpler değişik yöntemlerle ayrılabilir, ancak henüz endüstriyel ihtiyaçlara cevap verebilecek bir süreç yok. Şu an kullanılan en etkili yöntem olan ultra santrifüj tekniklerinin geliştirilmesi, bu ihtiyaca cevap verebilir.

Şu an karbon nanotüpler nano-mühendisliğinin hayali olan "tek tek kullanım" noktasından uzak. Karbon fiberler gibi diğer materyalleri güçlendirmek için genelde toplu halde katkı maddesi olarak kullanılıyorlar. Rüzgâr tribünlerinden spor malzemelerine, botlardan bisiklet parçalarına kadar karbon nanotüpler kullanılıyor. Çoklu duvarlı karbon nanotüplerin, atomik kuvvet mikroskoplarında ölçüm ucu olarak kullanılmaya ve satılmaya başlanması ise nano büyüklükte kullanımın örneği. Atomik kuvvet mikroskobu, nano büyüklükte bir ölçüm ucunun herhangi bir yüzey üzerinde hareket ederek yüzeyle etkileşmesi sonucunda oluşan kuvveti ve kuvvetteki değişiklikleri ölçerek yüzey hakkında bilgi verir. Bu ölçümün çözünürlüğü 1 nanometrenin altında, yani optik yöntemlerle ulaşılabileceğimizin çok üstündedir.

Potansiyel olarak karbon nanotüplerden beklenti çok yüksek. Karbon nanotüplerin üstün mekanik özellikleri sayesinde gündelik giysilerimizden kurşungeçirmez yelek ve benzeri askeri ekipmanlara kadar farklı eşyaları hafifletirken güçlendirmesi bekleniyor. Bir yandan da uzay asansörü gibi, şu an ancak bilim kurgu eserlerinde görülen fikirleri gerçeğe dönüştürmesi umuluyor. Kontrol edilebilen iletken ve yarı iletken özellikleri sayesinde karbon nanotüplerden yapılacak elektrik kabloları, kâğıt üzerine yazılabilen piller, süper hatta ultra kapasitörler yakın gelecekte hayatımıza girmesini beklediğimiz icatlar. O kadar ki karbon nanotüplerde süper iletkenlik gözlemlendiğini düşünen araştırma grupları var. Dokunmatik şeffaf ekranlar başka bir kullanım alanı olarak öngörülüyor. Diğer bir yandan güneş enerjisini kolaylıkla ve yüksek bir yüzdeyle emebilmeleri saye-

sinde belki de yakında nanotüplerden yapılmış güneş panelleri de göreceğiz. Aynı şekilde yüksek emilim özelliği sayesinde, radar dalgalarını yansıtmayan hayalet uçak kaplamalarında kullanılması önerilen maddelerden biri çoklu duvarlara sahip karbon nanotüpler. Benzer prensiple, kanserli hücrelerin içine sokulan karbon nanotüplerin radyo dalgalarıyla uyularak etraflarındaki kanserli hücreleri yakarak yok etmesi de kanserle mücadele için önerilen bir yöntem. İlaçların karbon nanotüplerden yapılan kapsüllerle sadece gereken dokulara ve hücrelere ulaştırılması başka bir araştırma konusu. Elektrik enerjisini depolamak için farklı yöntemlerle nanotüp kullanılmasını önerenler var, ama daha da ilginç hidrojenin de nanotüplerle depolanması mümkün görünüyor. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasının önündeki en büyük engellerden biri hidrojeni verimli bir şekilde depolayamamak. Hidrojen genelde sıvıya dönüştürülerek depolanıyor, bu da hidrojenin yakıt olarak verimini düşürüyor. Eğer nanotüpler beklediği gibi kullanılabilirse hidrojeni gaz halinde, yüksek yoğunlukta depolamak mümkün olacak.

“Buckyball”

İki boyutlu grafenle başladığımız yolculuğumuzda tek boyutlu karbon nanotüplere uğradıktan sonra sıfır boyutlu moleküllere geldik. 1 nm boyunda bir futbol topu düşünün. 60 tane karbon atomundan oluşan bu yapı fullerenlerin en meşhurlarından “buckyball”. Eğer “Fulleren de ne?” dersiniz: Fulleren tamamıyla karbondan oluşan, içi boş moleküllere verilen ortak isimdir. 1985 yılında Richard Smalley, Robert Curl, James Heath, Sean O'Brien ve Harold Kroto bu küresel yapıyı ilk keşfettiklerinde, yaptığı küresel kubbelerle meşhur Buckminster Fuller'e ithafen, yapıya “buckminsterfullerene” olarak adlandırdılar. Bu yapıların genel ismi Fulleren olarak kalırken 60 karbon atomundan oluşan dünyanın en küçük futbol topunun adı “buckyball” olarak kısaltıldı. Biz de karbonun yeni allotroplarının farkına vardık. Kâşifler Kroto, Curl ve Smalley bu yeni molekül sınıfının keşfindeki rollerinden ötürü 1996 Nobel Kimya Ödülü'nü kazandı. Daha önce bahsettiğimiz silindirik karbon nanotüpler fullerenlere bir örnek. Silindirden başka küresel ve elipsoid şeklinde fullerenler de var. En küçük fakat kararsız fulleren, 20 karbon atomundan oluşur, ancak yüzlerce atomdan oluşmuş yapılar da var. İlk başlarda doğal olarak bulunmadığı sanılan bu yapılar daha sonra uzayda, atmosferde ve yeryüzünde yapılan araştırmalarda keşfedildi. Atmosferde çakan yıldırımlar esnasında oluştuğu dü-

şünülrken, kurum ve iste de çok az miktarlarda bulunduğu görüldü. Rusya'da karbon bakımından zengin madenlerde de fullerenler bulundu. Uzayda da 2010 yılında fullerenler keşfedildi. Hatta bazı gökbilimciler Dünya'ya hayatın “buckyball” yapılar içinde gelmiş olabileceğini iddia etti.

İlk başta aklınızı kurcalayan soruyu cevaplayalım. Evet, bu küresel bir kafese benzeyen, içi boş moleküllerin içine farklı atom ve iyonlar hapsedilebiliyor. İçlerindeki boşluklarda atom ve iyon hapsedilenler endohedral fulleren olarak adlandırılıyor. Bu yeni moleküller farklı özellikler gösteriyor. Tıbbi araştırmalarda, aynen nanotüplerle olduğu gibi, etiketleme ve ihtiyaç duyulan molekülleri hücrelere bozulmadan ulaştırmada kullanılma ihtimalleri araştırılıyor. Hidrojenin yakıt olarak depolanmasında da “buckyball” önerilen maddelerden biri. Rhodite adı verilen, yeni geliştirilen bir çelik türünde “buckyball” yapılar ipe dizilmiş tespih taneleri gibi diziliyor ve çelik dayanıklılığını üç kat artırıyor.

Yapısının son derece kararlı olması, ilginç şekli ve kısmende bahsettiğimiz özellikleri sayesinde, “Buckyball”dan birçok bilim kurgu romanda geleceğin malzemesi olarak bahsedilir. Nanoteknoloji, süper iletkenlik, güneş pilleri ve ısıya dayanıklılık gibi alanlarda fullerenler üzerinde çalışmalar devam ediyor. Bilim adamları fonksiyonel grup veya metalik katkı ekleyerek “buckyball”un farklı özelliklerini inceledi. Alkali metalik katıksız “buckyball”lar, bir molekül için yüksek sayılabilecek sıcaklıklarda süper iletkenlik gösterdi. “Buckyball” aynı zamanda dalga parçacık ikiliğine sahip olduğu gösterilen en büyük moleküldür. Karbonun allotropları arasında oda sıcaklığında çözünenler sadece fullerenler. Katı haldeki “buckyball” normalde grafit kadar yumuşakken, sıkıştırıldığında elmadan daha sert hale geliyor.

Gelişimin önündeki engellerden biri de artık bulunacak ve öğrenilecek yeni bir şey kalmadığını sanmaktır. Yüzyıllardır gözümüzün önünde olan ve hakkında her şeyi bildiğimizi düşündüğümüz karbonla ilgili çalışmalara son 20 sene içinde üç Nobel Ödülü verildi. Hiç ummadığımız bir şekilde karbon hayat kalitemizi değiştirmeye ve geliştirmeye başladı. Yapılan araştırmalara bakılırsa da karbon tekrar tekrar keşfedilerek hayatımıza daha da çok girecek. Ne diyelim? Tekrar hoş geldin karbon.

Kaynaklar

<http://oolong.co.uk/oo/carbon>
<http://www.chemicool.com/elements/carbon.html>
<http://www.compositeshop.com/mainmenu.html>
<http://www.carbonfiberglass.com/blog/>
<http://www.personal.reading.ac.uk/~scsharip/tubes.htm>
http://www.electrochem.org/dl/interface/sum/sum06/sum06_p23.pdf

