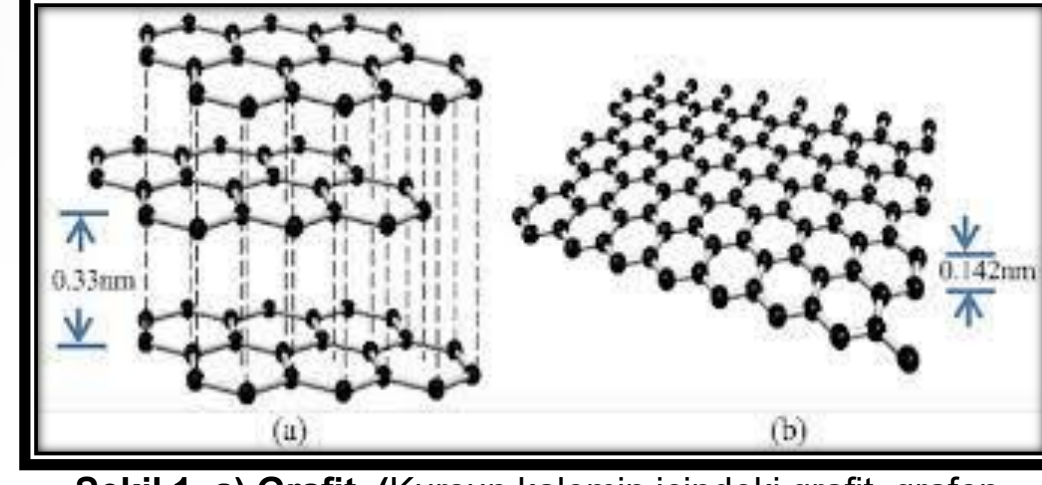
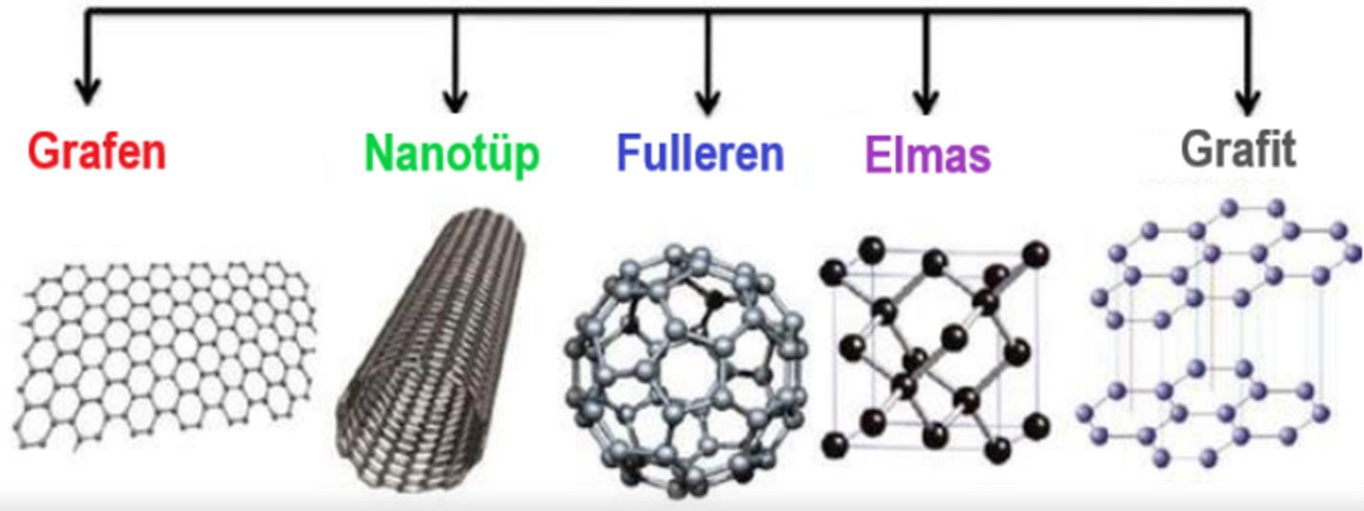


«Tüm Dünyada bilim insanları, esnek aynı zamanda çelikten yüzlerce kat daha güçlü ve sadece bir atom kalınlığında yeni bir malzeme üretmek ve kullanım yöntemlerini geliştirmek için yarışmaktadır. Başarılı oldukları takdirde Grafen, plastik ve hatta demirin kullanımının Dünyayı değiştirdiği ölçüde Dünyamızı değiştirebilir»

## GRAFEN NEDİR ?

Grafen, karbon atomlarının  $sp^2$  hibritli altıgen yapıların bal peteği şeklinde dizilmesi ile oluşan düzlemsel iki boyutlu bir nanomalzemedir. Grafen yapısında karbon-karbon arası bağ uzunluğu 0,142 nm'dir (Şekil 1.) Karbonun allotropu olan grafitten çeşitli yöntemlerle sentezlenen grafene, fizik, kimya ve malzeme bilimi gibi tüm bilim alanları, eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri ve farklı alanlardaki potansiyel uygulamaları nedeniyle yoğun ilgi göstermektedir [1-4].

### Karbonun Allotropları



Şekil 1. a) Grafit (Kurşun kalem içindeki grafit, grafen tabakalarının üst üste binmesi ile oluşmuştur) b) Grafen yapısı



Şekil 2. Grafen ile ilgili çalışmalarını 2010 yılında Nobel ödülü alan iki bilim insanı; Andre Geim ve Konstantin Novoselov

## GRAFENİN TARİHÇESİ

İngilizce "Graphite" ve "ene" kelimelerinden türetilen "Graphene" terimi Türkçe'de "Grafen" olarak karşılık bulmuştur. Grafen, aslında diğer tüm karbon allotroplarının yapı taşı olmasına rağmen, grafitin yani kurşun kalemin icadından 440 yıl sonra elde edilmiştir. Yani grafen aslında hep hayatımızda olmasına rağmen ancak 2004 yılında Manchester Üniversitesinden iki profesör Konstantin Novoselov ve Andre Geim'in (Şekil 2) çalışmalarıyla keşfedilebilmiştir. İki bilim insanının grafit kristallerini oluşturan altıgen şeklinde dizilmiş karbon atomu katmanlarını sıradan bir yapışkan bant yardımıyla ayırarak elde ettiği grafenin beklenenden çok daha farklı elektronik ve fiziksel özelliklere sahip olduğunu bulmuşlardır. Grafen, yüksek iletkenliği, esnekliği ve sağlamlığı ile dikkatleri üzerinde toplamış ve kısa süre sonra "mucize malzeme" olarak anılmaya başlanmıştır. Geim ve Novoselov 2010 yılında "Grafen materyali ile yaptıkları bu çığır açan çalışmalarından dolayı" Nobel Fizik ödülüne layık görülmüşlerdir. Özellikle Nobel ödülünden sonra konunun popülaritesi artmış ve yüzlerce akademisyen, sanayi ve hükümet kurumu bu mucize malzeme ile ilgili projeler vermeye başlamışlardır [5,6].

## GRAFENİN ÖZELLİKLERİ ve UYGULAMA ALANLARI

- Yaklaşık  $2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  lik bir geniş yüzey alanına sahiptir.
- $5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  termal iletkenliği ile karbon nanotüpler ile altın ve bakır gibi metallerden daha iyi iletkenliğe sahiptir.
- Tek tabakalı grafenin optik geçirgenliği %97,7'dir. Yüksek şeffaflığa sahiptir. Tek bir tabaka, beyaz ışığın % 2.3'ünü soğurmakta ve tabaka sayısı arttıkça da rengi değişmektedir.
- Elmas kadar sert bir malzeme olup, yüksek "young modulus"e sahiptir ve tek bir tabaka grafen için bulk modulus 34 Gpa'dır.
- Esnektir (uzunluğunun %25'i kadar esneyebilir).
- Yüksek sıcaklık direncine sahiptir (-75 ile 200 °C arasında grafenin özelliklerinde bir değişiklik gözlenmemektedir).

Grafen sahip olduğu bu üstün özellikler nedeniyle bir çok uygulama alanı bulmaktadır. Bunlardan bazıları grafen esaslı kompozit malzemeler, sensörler, alan etkili transistörler, alternatif enerji aygıtları, giyilebilir elektronik tekstiller ve çok işlevli kumaşlarda kullanımıdır. Bu yeni nesil nanomalzemenin olağanüstü özellikleri sayesinde medikal uygulamalarda da büyük potansiyeli vardır [1,2,4].



Şekil 3. Grafen içeren kompozit malzemelerden üretilen ilk tenis raketi



Şekil 4. Grafenle kaplanmış ilk hava aracı



Şekil 5. Grafenle güçlendirilmiş tekerlekler



### 2022 yılı ve öncesinde:

- Fonksiyonel kaplama ve yüzey dönüşümü malzemeleri,
- Güçlendirilmiş yapı malzemeleri,
- Hızlı şarj olan bataryalar,
- Gelişmiş fotovoltaik cihazlar,
- Gelişmiş uzun mesafeli optik iletişim,
- Düşük maliyetli basılabilir elektronik ürünleri,
- Işık dedektörleri, fiziki ve kimyasal dedektörler,
- Geniş bant kameralar ve spektrometreler,
- Biyosensörler.

### 2023-2029 döneminde:

- Çok fonksiyonlu inşaat malzemeleri,
- Su arıtma ve deniz suyunu tuzdan arındırma,
- Depo lojistiği için süperkapasitörler,
- Esnek perovskit güneş hücreleri,
- Perovskit çok eklemli fotovoltaik paneller,
- Gelişmiş ağ yapıları,
- Yüksek frekanslı elektronik cihazlar,
- Esnek elektronik cihazlar,
- Beynin bilişsel ve duyu motor fonksiyonlarına yardımcı beyin-bilgisayar ara yüzleri

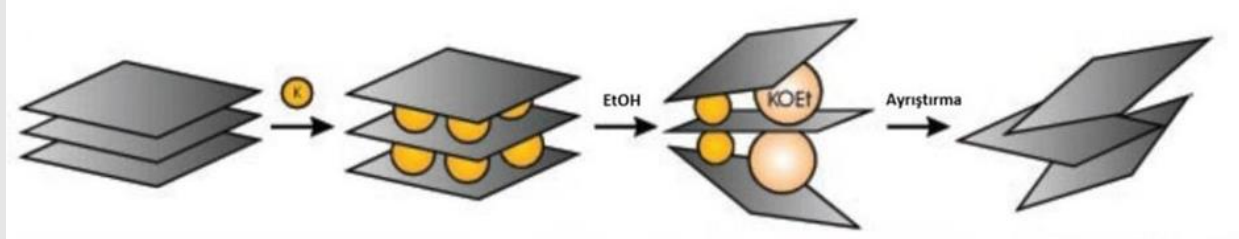
### 2030 sonrası:

- Taşıtlar için yakıt pilleri,
- 6G ve sonrası için kablosuz ağlar,
- Çip üzeri optik veri (On-chip optical data),
- Düşük enerji harcayan "spin logic" elektronik cihazlar,
- Vücut içinde hareket edip hedefini bulan ilaçlar,
- Vücut elektrikli okuyup değiştirerek (Biyoelektrik tıp) gerçek zamanlı tedavi [8].

## GRAFEN ELDESİ

Grafen ilk olarak oldukça basit bir metod olan seloteyp metodu ile bulundu. Grafit içerikli bir kurşun kalem ile kağıt karalandı ve seloband yapıştırılıp çekilerek grafen katmanları elde edilmiş oldu. Ancak bu yöntemle elde edilen grafen tabakaları diğer yöntemlerle elde edilenlere göre çok kalındır ve yüzey alanı düşüktür. Bu sebeple bu yöntem grafen elde etmek için çok uygun değildir.

Grafit, grafen tabakalarının Van der Waals bağları ile birbirine bağlanmış kat kat paketlenmiş halidir. Bu nedenle yüksek safılıkta grafit kullanılarak aradaki zayıf bağların kırılmasıyla grafit hammaddesinden grafen elde edilebilmektedir. Bu zayıf bağların kırılması için mekanik veya kimyasal enerjiler kullanılabilir. Bu konuda ilk çalışma 2004 yılında Viculis ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Viculis ve ekibi grafit ve potasyumu belli bir oranda karıştırarak inert atmosferde 200 °C işleme tabi tutmuş ve K atomlarının grafen tabakalar arasında bulunduğu KC8 malzemesini sentezlemişlerdir (Şekil 6). Sentezlenen bu malzeme daha sonra etanol içerisinde alınıldığında potasyum ile etanol arasında gerçekleşen reaksiyon sonucunda grafen tabakalarının birbirinden ayrıldığı gözlenmiştir. Ancak, birçok alanda kullanılacak kalitede ve miktarda grafen üretmek oldukça zordur. Grafen tabakalarındaki kusurların, safsızlıkların, tane sınırlarının, çoklu alanların, yapısal bozuklukların ve kırışıklıkların varlığı, grafenin elektronik ve optik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceğinden, endüstrilerde üretilmeye dahil edilebilecek nitelikte katmanların kalitesi çok sayıda değişkene bağlıdır [1,7].



Şekil 6. KC8 malzemesinin sentezi

## DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE GRAFEN ÇALIŞMALARI

2017 sonu itibarıyla alınan grafen bağlantılı patentler üzerine yapılan bir incelemede Çinli kurum ve kuruluşlarca alınan 32.000'den fazla patentin %63,5'inin "büyüme safhasındaki" bir grafen teknolojisine işaret ettiği görülmektedir. Bu oran Güney Koreli firmalar tarafından alınan grafen patentlerinde %12,8, ABD'li firmalarca alınanlarda ise %10,1'dir. AB üyesi İngiltere, Almanya ve Fransa'nın gelişme evresindeki grafen patentlerinin oranı yüzde 2'nin altındadır. Grafen alanında bu hızlı gelişim yaşanırken Türkiye'de henüz emekleme devresi yaşandığını söylemek mümkündür. Grafen araştırmalarına Türkiye'de destek sınırlı kalmıştır. Araştırmalara destek açısından en önemli adım, 2013'te TÜBİTAK tarafından atılmıştır. TÜBİTAK, "1003-Öncelikli Alanlar Ar-Ge Projeleri Destek Programı" kapsamında, bir Grafen Çağrısı açmıştır. Ardından TÜBİTAK bu çağrısını 2018 yılında yenilemiştir. Çağrı sonrası 48 grafen bağlantılı projenin desteklenmesine karar verilmiştir. Desteklenen projelerden biri grafenin dış implantlarında kullanılmasına ilişkindir. Samsun 19 Mayıs Üniversitesinden Dr. Mevlüt Gürbüz başkanlığındaki bir ekip, dünyada ilk kez, grafen ile güçlendirilmiş yeni nesil titanyum kompozit implant geliştirmiştir. Ankara Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (UNAM), grafen dahil nanomalzemelerin geliştirilmesi ve uygulamaları konusunda çalışmalar yapılmaktadır [8]. Türkiye'de ilk grafen seri üretim tesisi açıldı. Sanayi ve Teknoloji Bakanı Mustafa Varank, bu ürün sayesinde yapılabilecekler değişerek, "Grafen sayesinde daha uzun ömürlü malzemeler, ultra hızlı şarj edilebilen bataryalar, daha hızlı ve hafif uçaklar, vücuttaki nöronlara bağlanabilen biyonyik cihazlar üretilebilecek, korozyon, ısınma ve iletim sorunlarına da çözümler getirilebilecek" açıklamasında bulundu [9].

## GRAFİT ÇOK KIRILGAN OLMASINA KARŞIN NEDEN GRAFEN ÇOK SAĞLAM BİR MALZEMEDİR?

Grafen, karbon atomlarının birbirlerine altıgen oluşturacak şekilde bağlanmaları sonucu oluşur ve tek atom kalınlığında bir malzemedir. Ancak aynı kalınlıktaki çelikten yaklaşık iki yüz kat daha güçlüdür. Grafit ise grafen katmanlarının bir araya gelmesiyle oluşur. Bir malzemenin sağlamlığı atomlarının birbirlerine ne kadar güçlü bir şekilde bağlı olduğuyla ilişkilidir. Katı malzemelerde atomlar birbirlerine düzenli olarak tekrar eden yapılar oluşturacak şekilde bağlıdır ve bu yapı kristal örgü olarak isimlendirilir. Elmasta üç boyutlu kristal örgüyü oluşturan karbon atomları arasındaki bağlar çok kuvvetlidir. Grafitte ise, iki boyutlu yapıyı oluşturan atomlar birbirlerine kuvvetli bir şekilde bağlı olmalarına rağmen, grafen katmanlarını birbirine bağlayan karbon atomları arasındaki etkileşimler zayıftır. Yani grafitin yapısındaki karbon atomları arasında, farklı iki etkileşim olduğu söylenebilir. Grafitte, iki boyutlu grafen yapısındaki karbon atomları arasındaki mesafe (1,418 x 10<sup>-10</sup> metre), grafen katmanlarını birbirine bağlayan karbon atomları arasındaki mesafeden (3,347 x 10<sup>-10</sup> metre) daha kısadır (Şekil 1). Bu durum grafitin fiziksel özelliklerindeki farklılığın nedenidir. Dolayısıyla grafiti oluşturan bu katmanlar birbirinden kolayca ayrılabilir [5].

## SONUÇ

Dünyada bu malzemenin ticarileştirilmesi yönündeki çabalar ancak 2017 yılında, grafene ilişkin ilk standartların belirlenmesi ve potansiyel kullanıcıların farklı grafen ürünleri ve uygulama alanlarına ilişkin farkındalığının artmasıyla mümkün olabildiği, grafen teknolojisinin emekleme evresini geride bırakıp hızla büyümeye başladığı anlaşılmaktadır. Grafen malzemesi 40'tan fazla ekonomik sektörün ilgi alanına girmiştir. Grafenin 2020 sonrası dönemde üretimde en çok tercih edilen malzemelerden biri olacağı düşünülmektedir. Grafen teknolojisinin ilerlemesinin arkasındaki güç ise devletler ve akademik kuruluşlardır. Günümüzde grafen konusunda en çok Ar-Ge yapan ülkeler, henüz küçük bir pazar olmasına rağmen hızla büyüme potansiyeline sahip grafen piyasasına hakim ülkelerdir [8].

## KAYNAKLAR

- [1] Adlı, E., «Grafen ve Özellikleri», Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, 2019.
- [2] <https://muhendistan.com/grafen-nedir-grafenin-ozellikleri-ve-kullanim-alanlar>
- [3] <https://www.plastikciyiz.biz/bilgi-kutuphanesi/teknik-bilgi-kutuphanesi/454/super-malzeme-grafen->
- [4] Dörtoğul, C., Grafen Oksitin Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi FBE Kimya Anabilim Dalı, 2018.
- [5] <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/grafen-cok-saglam-bir-malzeme-olmasina-ragmen-neden-grafit-cok-kirilgandir>
- [6] <https://www.herkesebilimteknoloji.com/haberler/teknoviyasam/grafenin-oykusu>
- [7] Bedeloğlu, A., Taş, M., Grafene ve Grafen Üretim Yöntemleri, AKU J. Sci. Eng. **16** (2016) 031203 (544-554).
- [8] [https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/3012201912238665\\_stm\\_grafen\\_teknolojisi\\_ve\\_sav\\_unma.pdf](https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/3012201912238665_stm_grafen_teknolojisi_ve_sav_unma.pdf)
- [9] <https://www.trthaber.com/haber/gundem/grafen-uretebilmek-turkiyeye-cag-atlatir-569293.html>