

BİLİM ve TEKNİK



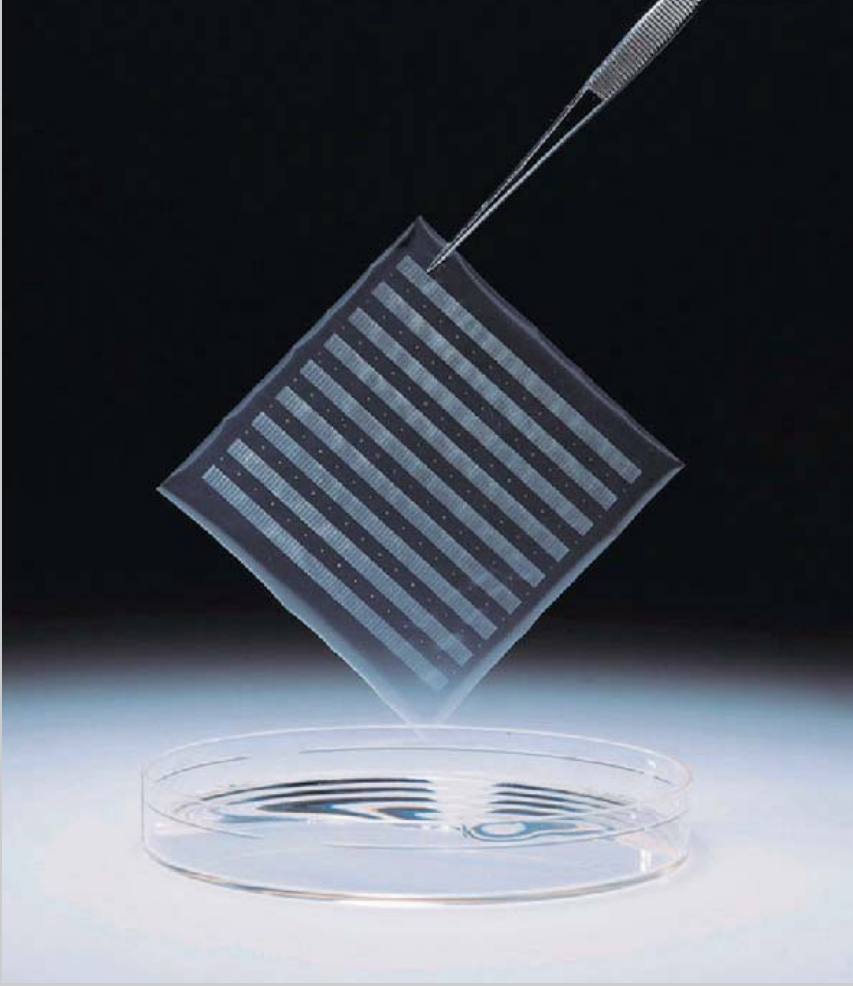
YENİ UFUKLAR

GELECEĞİN MALZEMELERİ

HAZİRAN 2004 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN : PROF. DR. MENEMŞE GÜMÜŞDERELİOĞLU
Hacettepe Üniversitesi - Kimya Mühendisliği Bölümü

KOMPOZİT



Malzeme bilimcilerin üzerinde yoğun biçimde çalıştıkları kompozitler, giderek artan çeşitleri ve değişik uygulamaları ile günlük yaşantımıza girmiş durumdadır.

Uzun yıllar önce, Güney ve Orta Amerika'da yaşayan insanlar, modern basketbol gibi birçok oyunda kullandıkları topları, eldiven ve çizme gibi giyecekleri üretmek için doğal kauçuğu kullanıyorlardı (Doğal bir polimer olan kauçuk, poliizopren olarak da adlandırılır). Eğer kauçuk eldiven giydiyseniz, kauçuktan yapılan bir yağmurluğun gerçekten de çok rahat olmayacağını tahmin edebilirsiniz. Bu durumun farkına varan Charles Macintosh 19. yüzyılın ortalarında parlak bir fikir üretti. İki tabaka pamuk dokuma aldı ve bunları doğal kauçuğa tutturarak üç tabakalı bir malzeme hazırladı. Bilindiği gi-

bi pamuk, doğal bir polimer olan selüloz yapısındadır. Gerçekten de bu şekilde iyi bir yağmurluk üretilmiş oldu. Kauçuk su geçirmezliğini sağlarken, pamuk tabakaları da yağmurluğu rahatlıkla giyilebilecek bir hale getirdi. Yağmurluk, "kompozit" olarak adlandırılan malzeme grubuna verilebilecek örneklerden yalnızca biri ve niçin bu tür malzemelere ihtiyaç duyulduğunu da güzelce açıklıyor. Amaç, iki bileşenin istenilen özelliklerine sahip bir malzeme elde etmek. Yukarıdaki uygulamada kauçuğun suya dirençli oluşu ile pamuğun konforluluk özelliği birleştirilmiş ve böylece amaca uygun bir malzeme elde edilmiştir.

"Kompozit", farklı kimyasal yapıdaki iki yada daha fazla sayıdaki malzemenin, sınırlarını ve özelliklerini koruyarak oluşturduğu çok fazlı malzeme

olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla, kompozit malzeme kendisini oluşturan bileşenlerden birinin tek başına sahip olmadığı özelliklere sahip olur.

Kompozit malzemeler ile ilgili ilk çalışmalar 1900'lerin başında termoset (ısıyla şekillenmeyen) fenol polimerlerinin içerisine parçacık veya lif formunda güçlendirici malzemelerin konmasıyla başlamıştır. İkinci Dünya Savaşı yıllarında özellikle İngilizler tarafından kompozitlerle ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra kompozitlerdeki ilk gelişmeler, cam ile güçlendirilmiş plastikler üzerine olmuştur. Günümüzde kompozitler, çok sayıdaki yeni gelişme ve değişik uygulamaların vazgeçilmez malzemesi konumuna gelmiştir. Örneğin, beton bir kompozit malzemedir. Çimento ve kumdan yapılır ve çoğunlukla dayanımını arttırmak için içerisine çelik çubuklar katılır.

Kompozit malzemelere olan gereksinim, üç temel malzeme grubunun, yani polimer, seramik ve metallerin sahip olduğu özelliklere bakılarak daha iyi anlaşılabilir. Polimerler düşük yoğunluktadırlar, dolayısıyla hafiftirler, kimyasal dirençleri yüksektir, kolaylıkla ve değişik formlarda şekillendirilebilirler. Ancak mekanik dayanımları ve ısı kararlılıkları düşüktür. Ayrıca çevre koşullarında yapılarında bozunmalar, parçalanmalar olabilir. Seramik malzemeler ise düşük yoğunluğa sahiptirler. Isı kararlılıklarının yüksek olması nedeniyle yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme olarak (örneğin ateş tuğlaları) kullanılırlar. En önemli dezavantajları; sert, kırılgan oluşları ve şekillendirilmelerinin zorluğudur. Metaller yüksek yoğunlukları nedeniyle ağır malzemelerdir. Yalnızca magnezyum, alüminyum ve berilyum bu konuda plastiklerle yarışabilir. Görüldüğü gibi her sınıfın kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Özellikle hafif, fakat dayanıklı ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir malzemelere olan gereksinim sonucunda kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır.

MALZEMELER

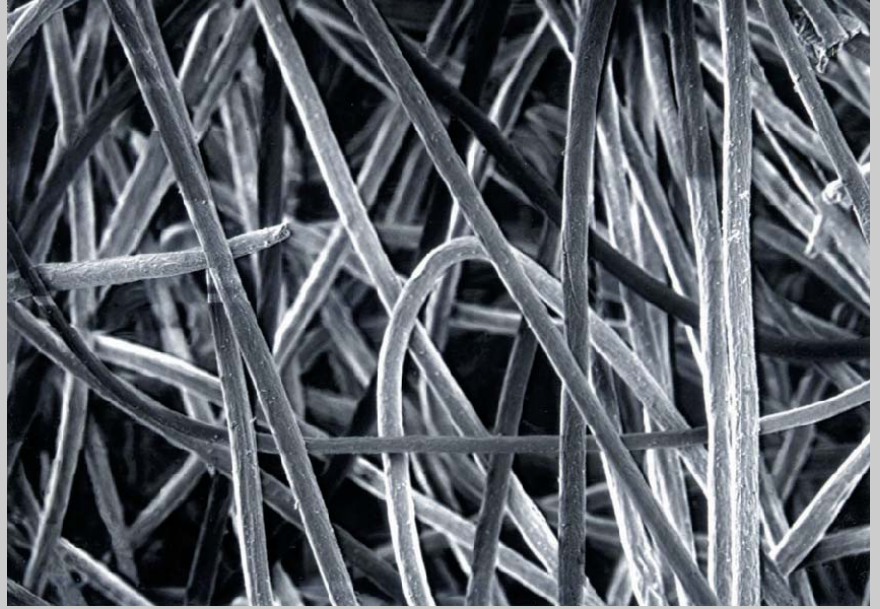
Kompozitlerin Yapısı

Kompozitler temelde bir sürekli ve bir de süreksiz olmak üzere iki fazdan oluşurlar. Sürekli faz "matris", süreksiz faz ise "güçlendirici" (reinforcement) olarak adlandırılır. Güçlendirici faz lif ya da parçacık halinde olabilir. Lif türünün en yaygın örnekleri cam, karbon veya polimer lifleridir. Parçacık türü için mika ve talk örnek olarak verilebilir. Matris ise çoğunlukla epoksi reçine, poliestere/stiren sistemleri veya poliimid türü bir polimerdir.

Güçlendirici Faz Lifler

Lif ile güçlendirilmiş kompozitlerin en çok kullanılanı Fiberglass'dır. Bunun matrisi, poliestere/stiren monomeri ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan çapraz-bağlı bir reçinedir. Lifleri ise camdır. Poliestere-stiren karışımı önceden belirlenmiş miktardaki cam lifin üzerine dökülür, polimerleşme reaksiyonu sonucu karışım sertleşir ve kompozit malzeme elde edilir. Fiberglass, çelikten daha dayanıklı, fakat çok daha hafiftir. Fiberglass'daki lifler tek bir yönde dizilmemiş olup, karışık şekilde yerleşmişlerdir. Tüm lifler aynı yönde dizilerek daha dayanıklı kompozitler hazırlanabilir. Yönlendirilmiş lifler kompozitlere ilginç özellikler katarlar. Kompozit, liflerin yönünde çekildiğinde çok dayanıklıdır, fakat lif yönüne dik bir açı ile çekildiğinde o kadar dayanıklı olmadığı görülür. Bazen kullanılan malzeme yalnızca bir yönde gerilim altında kalacağından tek yönde dayanıklı malzemelere ihtiyaç vardır. Fakat çoğu zaman da birden fazla yönde dayanıklı kompozitlere ihtiyaç duyulur. Bu durum liflerin dokunmasıyla sağlanır.

Cam Lifler: Cam lifler, plastik malzemeleri güçlendirmek için kullanılan en yaygın malzemedir. Bu başarısı, uygun fiyatı (yaklaşık olarak plastiğinkiyle aynı) ve istenilen özellikler ara-



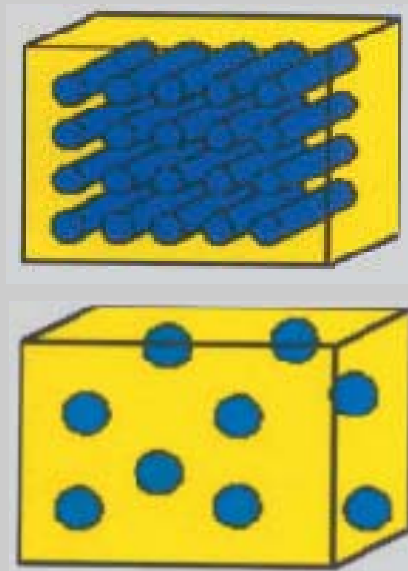
sındaki mükemmel dengenin sonucudur. "Cam" terimi, inorganik camların geniş bir grubunu ifade etmek için kullanılır. Hepsi, silika (SiO₂) temellidir, fakat az miktarda diğer inorganik oksitleri de içerirler. Çok çeşitli bileşimleri mevcuttur ve her biri bir kod harfiyle gösterilir. Plastiklerde en çok kullanılan lif, E-camıdır. Bileşimi; %54 silika, %17.5 kalsiyum oksit, %14 alü-

minyum oksit, %8 bor oksit ve %4.5 magnezyum oksit'den oluşur. Değişik bileşime ve özelliğe sahip karışımlar, değişik reçeteler ile elde edilir. Örneğin, S-camı yüksek dayanıma sahiptir. C-camı ise su ve asitlere dirençlidir.

Cam lifler, erimiş camın yüksek hızlarda, çok sayıda delik (100-1000 arası) içeren platin bir levha üzerinden geçirilmesiyle elde edilir. Elde edilen uzun lifler yüksek hızda döndürülerek camsı geçiş sıcaklığı civarında soğuyup katılaşır. Uygulamalarda cam liflerin aşağıdaki iki özelliği avantaj sağlar: 1) Camın yumuşama noktası yaklaşık 850°C'dir, bu nedenle yüksek sıcaklıklara dirençlidir. 2)Görünür ışığa karşı şeffaftır, böylelikle kompozit matrisin rengini alır.

Camın, kolaylıkla kırılabilirliğine rağmen bir kuvvetlendirici olarak kullanılması garip karşılanabilir. Ancak cam, lif haline geldiğinde farklı özellik gösterir. Cam lifler dayanıklı ve esnek tirler. Cinderella'nın cam ayakkabıları da kırılmadığına göre muhtemelen cam lifle güçlendirilmiş kompozit malzemeydi.

Bazı uygulamalar için cam lifler yeterince dayanım sağlayabilirler. Çok fazla gerilim altında kalan bazı malzemeler için uçak parçalarında ol-



Şekil 1. Kompozit malzemeler iki kısımdan oluşur: Matris ve içerisine yerleştirilmiş güçlendiriciler.
a) lif ile güçlendirilmiş kompozitler
b) parçacık ile güçlendirilmiş kompozitler

duğu gibi yüksek kaliteli liflere ihtiyaç vardır. Fiyat önemli olmadığında, çok pahalı olan karbon yada polimer lifler kullanılabilir.

Karbon Lifler: Karbon lifler genellikle poliakrilonitril'in (PAN), 1000-1500°C'da karbonlaştırılması (havasız ortamda ısıtılması) ile üretilir. Karbon liflerin uygulamadaki avantajları; boyutsal açıdan kararlı oluşları, kimyasal inertlikleri nedeniyle neme ve pek çok kimyasala direnç göstermeleri ve elektriksel/ısısal iletkenliklerinin yüksek oluşudur. Karbon liflerin kullanıcı açısından en önemli dezavantajı ise siyah renginden dolayı kompozit renginin istenilen şekilde korunamamasıdır. Diğer bir dezavantaj olarak yüksek maliyet söylenebilir.

Polimer Lifler: Polimer lifler diğer polimerleri güçlendirmek için yeterince sert ve sağlam değildirler. Yalnızca aramid lifler ve ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (PE) lifler üstün mekanik özellikleri nedeniyle diğerlerinden ayrılırlar. "Aramid", aromatik liflerin genel adıdır. Ticari adı ise Kevlar'dır. Kevlar kompozitleri yüksek dayanım ve sertlikleri, hasar ve yorulma dirençleri nedeniyle çok kullanılırlar. Spektra ticari adıyla piyasada bulunan PE lifler ise karbon liflerden ve Kevlar'dan daha dayanıklı ve serttir. Tüm lifler mükemmellik açısından karşılaştırıldığında karbon'un en iyi olduğu, onu Kevlar'ın ve ardından camın izlediği söylenebilir.

Parçacıklar

Tıp alanında kullanılan kompozitlerde güçlendirici olarak çeşitli seramik malzemeler tercih edilir. Bunun nedeni seramik malzemelerin canlı sistemlerle uyumluluğunun son derece yüksek olmasıdır. Fakat seramikler özellikle metallerle karşılaştırıldığında zayıf ve kırılabilirler. Bu nedenle seramiklerin parçacık formunda kullanılmaları tercih edilir. Kalsiyum fosfat yapılar, alüminyum ve çinko bazlı fosfatlar, cam ve cam seramikler örnek olarak verilebilir.

Matris

Matris, kompozitin temelini oluşturur ve lifleri bir arada tutarak kompozitin sıkışmaya karşı dayanımını artırır.



rır. Kullanım yerine bağlı olarak farklı matrisler seçilir. Fazla para harcamak istenmediğinde sıradan özelliklere sahip ucuz matrisler tercih edilir. Polyester/stiren sistemleri bu tür matrisler olup günlük uygulamalar için yeterlidirler. Örneğin Chevrolet Corvette marka otomobil gövdeleri cam liflerle güçlendirilmiş poliester/stiren kompozitlerden hazırlanır. Ancak bu tür matrislerin bazı dezavantajları da mevcuttur. Isıyla sertleştirildiklerinde büzüşürler, suyu emerler ve sıkışma dayanımları düşüktür. Ayrıca kimyasal dirençleri de iyi değildir.

Bir diğer ucuz sistem vinil ester reçinesidir. Vinil ester reçineleri, polyester-stiren sistemiyle karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir. Çok fazla su emmezler ve kimyasal dirençleri daha yüksektir. Yapısındaki hidroksil gruplarından dolayı cama kolaylıkla bağlanırlar. Cam lifler kullanıldığında bu durum avantaj sağlar.

Fakat ne vinil ester, ne de doymamış poliester-stiren sistemi yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun değildir. Yüksek sıcaklıklarda, epoksi reçineleri gibi matrisleri kullanmamız gerekir. Bunlar 160°C'a kadar olan sıcaklıklarda kullanılabilirler. Ancak 160°C gerçek anlamda çok yüksek bir sıcaklık değildir. Poliimid'ler yüksek sıcaklığa daha dirençlidirler, fakat yapılarını bozacak kadar su emerler. Polibenzoksazol sıcaklığa dirençli bir diğer yapıdır, ancak işlenmesi hemen hemen imkansızdır. Bazı araştırmacılar ise tüm hidrokarbonları yüksek sıcaklığa dayanım açısından incelemektirler.

Kompozit Malzemelerin Kullanımları

Kompozit malzemelerin başarılı uygulamalarından biri yarış kayıkları, yani kano'lardır. Kano'nun yapı malzemesi, epoksi reçinesi içerisine yerleştirilmiş Kevlar ve karbon liflerden oluşmuştur. Her üç bileşenin de önemli rolü vardır. Epoksi reçinesi ekonomik bir yapı malzemesi olmasının yanı sıra, suda mükemmel korozyon direnci ve hafifliği nedeniyle tercih edilir. Kevlar ve karbon lifler ise sağlamlık ve rijitliği sağlarlar. Böylelikle üretilen kano, hızlıdır, rahatlıkla manevra yapabilir ve hafiftir. Bir diğer uygulama, karbon liflerle güçlendirilmiş naylon tenis rakettir. Matris olarak naylon (diğer adıyla poliamid 66) seçilmesinin iki nedeni vardır. Birincisi enjeksiyon kalıplama yöntemiyle seri üretiminin ekonomik biçimde yapılabilmesi; ikincisi ise düşük yoğunluğu nedeniyle hafif oluşudur. Karbon lifler 0,1-1 mm uzunluğunda olup, istenilen dayanım ve sertliği sağlamak için uygundur. Böylelikle üretilen raket saatte 75 km hızla çarpan toptan zarar görmeyecek derecede sağlamdır.

Üçüncü bir uygulama ise kauçuk otomobil lastiğidir. Lastiğin yan cidar-



Şekil 4. Diş hekimliğinde kullanılan kompozit dolguların klasik amalgam dolguyla (koyu renkli olan) karşılaştırılması.

ları esnek olmalı, bükülmelerde deforme olmamalı ve ani yükleri karşılayabilmelidir. Saf kauçuktan üretilen bir lastik bu istekleri karşılayamayacağından güçlendirilmesi gerekmektedir. Güçlendirme, yapıya katılan karbon karası ve poliester lifler ile sağlanır. Poliester lifler yerine çelik lifler de kullanılabilir.

Kompozit malzemelerin en yaygın kullanıldığı alanlardan biri de tıp'dır. Özellikle sert doku implantı olarak ortopedide ve dişçilik uygulamalarında çeşitli kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Ortopedide kırık kemik onarımı için iç ve dış bağlantı sistemi olarak, kemik plakası şeklinde, çivi, çubuk formunda, eklem ve kemik yenilemelerinde, kemik çimentosu olarak hazırlanan kompozitler mevcuttur. Bu malzemeler genelde biyouyumlu kollajen lifler ile güçlendirilmiş epoksi matris, karbon yada poliamid lifler ile güçlendirilmiş polilaktik asit, poliglolikolik asit, cam ile güçlendirilmiş poliüretan, kollajen liflerle güçlendirilmiş ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen seklindedir. Diş hekimliğinde ise diş dolgusu olarak kompozit reçineler, diş destek materyali olarak kollajen lif ile güç-



Şekil 3. Otomotiv teknolojisinde kullanılan kompozit malzemeler

lendirilmiş epoksi reçinesi kullanılmaktadır. Ayrıca ortodontik teller; cam lif ile güçlendirilmiş naylon, polipropilen, polimetilmetakrilattan imal edilirler. Köprü olarak ise düşük maliyeti ve kolay hazırlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı kollajen,

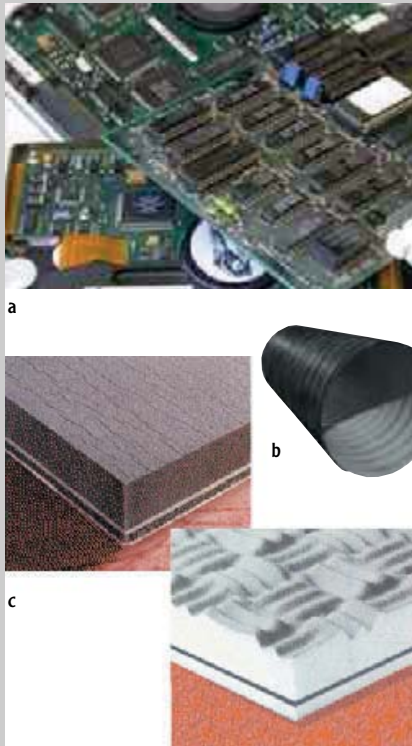


cam yada Kevlar lifler ile güçlendirilmiş polimetilmetakrilat kompozitler kullanılır.

Özellikle son 40 yıldır diş hekimleri kompozit dolgu maddeleri üzerinde çalışmaya başlamışlardır ve bunlar beyaz dolgu olarak adlandırılmıştır. Bu yapı genel olarak camsı reçine ve plastik dolgu maddelerinden hazırlanır. Bu tür dolgu malzemelerini kullanan diş hekimleri kompozit rengiyle diş rengini eşleyerek, klasik amalgam (civa temelli) dolguya nazaran estetik açıdan önemli gelişme kaydetmişlerdir.

Kompozitler konusunda dünyanın her yerinde yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Özel uzay taşıtlarının üretimi bu konuda ilgi odağını oluşturmaktadır. Tokyo'dan Los Angeles'a 3 saatte uçabilecek bir uçağın üretimi hedeflenmiştir. Böyle bir uçağın üretiminde en kritik nokta çok yüksek sıcaklıklara dayanabilecek uygun bir kompozit malzemenin bulunmasıdır.

Prof.Dr.Menemşe Gümüşderelioglu
Osman Okur



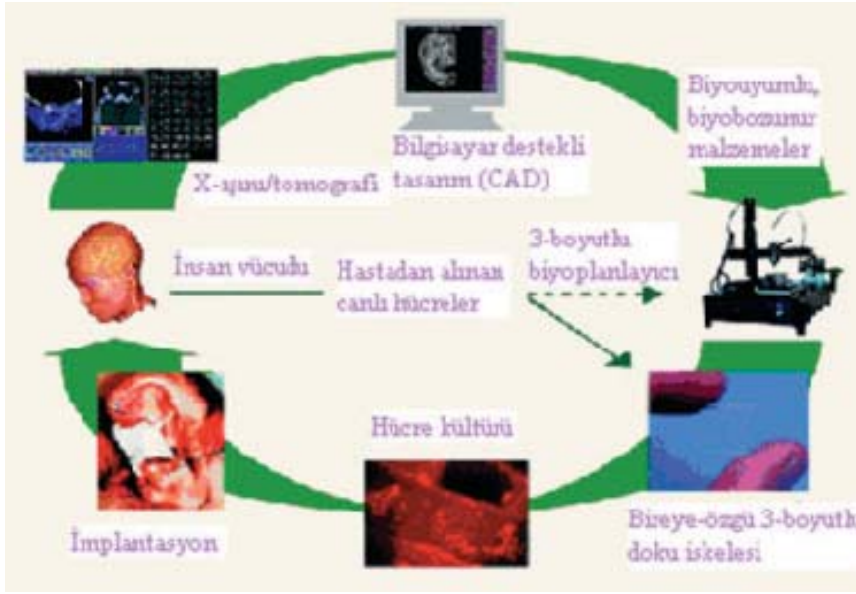
Şekil 5. Günümüz sanayinde kullanılan kompozit yapıları örnekler.

a) Bilgisayar çipi olarak kompozit yapının kullanımı, b) Dayanıklı su borusu olarak kompozit yapının kullanımı, c) Suya dayanıklı köpük kompozit malzemeler, d) Fibreglas plastik reçine, e) Termoset yapı içine sentetik fiber eklenerek yapılan kompozit malzemeler



Kaynaklar
M.Gümüşderelioglu , " Biyomaterial Ders Notları ", Hacettepe Üniversitesi, 2003.
www.btec.cmu.edu/tutorial/biomaterials/biomaterials.htm
www.dent.bis.ac.uk/Biomaterial/kdj.htm
www.skyscan.be/next/application0401.htm
www.indceramictch.com/default.htm
www.ornl.gov/ORNReview/v33_3_00/p12b_sm.jpg
www.asavanant.com/S_Ceramic.html

DOKU MÜHENDİSLİĞİ BİYOMİMETİK

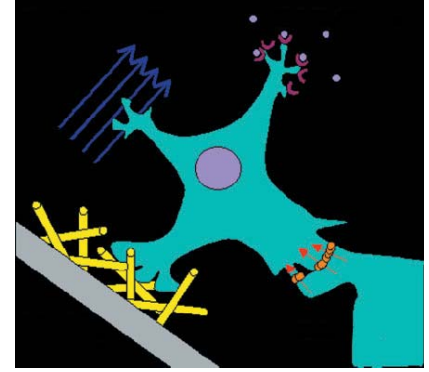


Kişiyi özgü doku iskelesi dizaynı

Doku mühendisliği yaklaşımı ile bir dokunun onarımı ya da üretimi için o dokuyu oluşturan sağlıklı hücreler uygun bir malzeme üzerine tutturularak üretilmekte ve elde edilen ürün hastanın işlev görmesi istenilen doku bölgesine yerleştirilmekte. Bu uygulama için çok az miktarda hücre yeterli oluyor, çünkü dokulardan izole edilen hücre türlerinin pekçoğu yapay besi ortamlarında çoğalabilme, diğer bir deyişle kültür edilebilme özelliğine sahip. Fakat, izole edilen hücrelerin tek başlarına yeni dokuyu oluşturamadıkları düşünülmekte. Çünkü çoğu organın hücreleri yüzeye bağımlı (anchorage-dependent, AD) ve üremeleri için uygun bir çevre sağlayan destek mal-

zemeye ihtiyaç duyuyorlar. Üreyen hücrelerin normal işlevlerini yerine getirebilmeleri ve doku oluşumunu gerçekleştirebilmeleri için bu malzemenin uygun özelliklere sahip olması ve gerçek doku mikroçevresine benzer olarak üç-boyutlu yapıda inşa edilmesi gerekiyor. İşte, doku iskeleti olarak adlandırılan bu yapılar doku mühendisliğinin temel malzemesini oluşturmaktadır.

Doku iskelesi, yapay bir "hücre-dışı matris" (extracellular matrix=ECM) olarak düşünülebilir. Gerçek doku da bulunan ECM, hücreler için fiziksel destek sağlamasının yanı sıra, hücre gelişmesi, farklılaşması ve işlevleri açısından önemli role sahip. Örneğin ge-

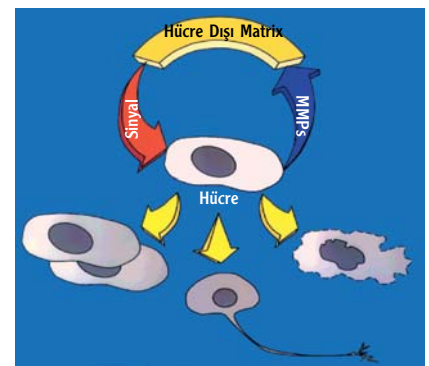


Biyomimetik malzemelerde biyomoleküler tanıma

niş çaplı bir doku hasarının, hasarlı bölgeye yalnızca hücrelerin yerleştirilmesi ile giderilmesi mümkün değil. Bu nedenle yapay bir ECM oluşturacak bir iskeletin hücrelerle birlikte bu bölgeye yerleştirilmesi gerekiyor. Yeni doku geliştikten ve hücreler yeni ECM oluşturabilecek kapasiteye ulaştıkları zaman iskelete ihtiyaç duyulmaz. Bunun için iskeletin vücut ortamında parçalanabilen bir malzemeden (biyobozunur malzeme) yapılması şart. Ayrıca, malzeme biyouyumlu olmalı, yani vücut içerisine yerleştirildiğinde istenmeyen doku tepkilerine yol açmamalı ve aynı zamanda hücre yapışmasını ve işlevini artırıcı yüzey kimyasına sahip olmalı. Malzeme parçalanırken, biyouyumluluğunu kaybetmemeli ve zehirli ürünler oluşturmamalı. Ayrıca, hücrelerin ve besinlerin geçişini sağlayacak gözenekli yapıda olmalı. Bu özelliklere sahip malzemeler arasında doğal polimerler, yapay polimerler, seramikler ve bu malzemelerin birleşimi



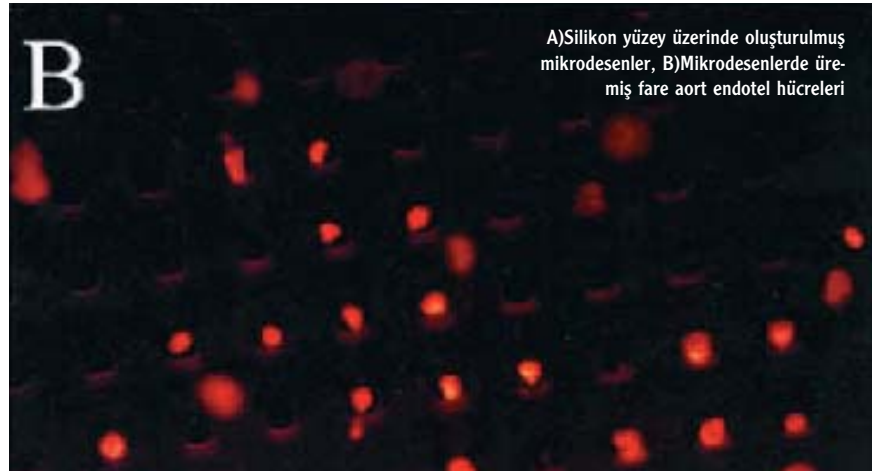
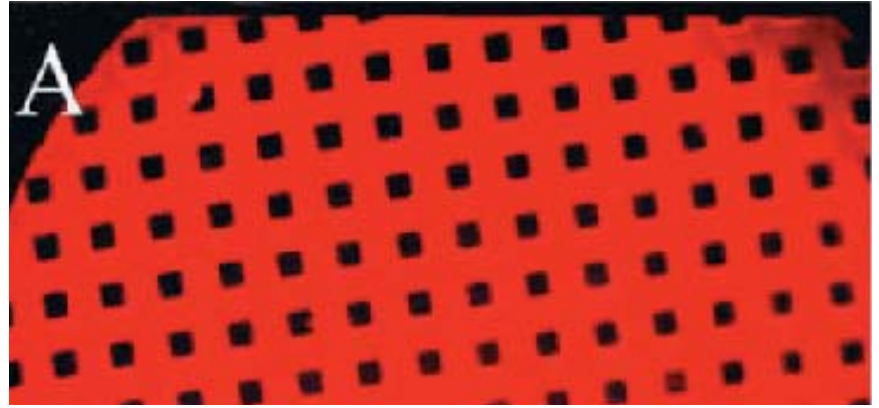
a) Doku iskelesi, b) Hücrelerin doku iskelesine ekimi c) Damarlaşma ve yeni dokunun oluşumu



İÇİN GELİŞTİRİLEN MALZEMELER

ile oluşan kompozitler sayılabilir.

Doku iskeletinin karmaşık doku yapılarını en iyi biçimde taklit etmesi gerekiyor. Yani fizyolojik olarak en uygun hücre ve doku modellerinin oluşturulması son derece önemli. Bu nedenle son yıllarda “biyomimetik malzemeler” in tasarımına yönelinmiş. Bu malzemeler “biyomoleküler tanıma” özelliğine sahipler ve böylelikle çevredeki dokular ile iletişim kurabiliyorlar. Bir malzemeye böyle bir tanıma özelliği nasıl kazandırılabilir? Şüphesiz ki, ECM’de yer alan çeşitli sinyal proteinleri yapıya katarak. Özellikle hücrelerin yapışmasını sağlayan çeşitli proteinler (fibronektin, vitronektin ve laminin gibi) bu amaçla kullanılıyor. Ancak son araştırmalarda bu proteinlerin tamamının değil de belli kısımlarının yapışmada daha etkin olduğu bulunmuş (örneğin fibronektin yerine bunun arjinin-glisin-aspartik asitlerin amino asitlerinden oluşan RGDS sekansı gibi). Bu hücre yapıştırıcı yapılar, biyomalzeme yüzeyine uygun desenler oluşturacak şekilde tutturuluyor. Çünkü, dokuların yapısına baktığımızda, doku tipine göre hücrelerin farklı desenlerde düzenlenmiş oldukları görülüyor. Örneğin deri dokusunda hücreler birbirine çok yakın ve sıkışık biçimde yerleşmiş. Tendonda ise hücreler silindirik eksen boyunca

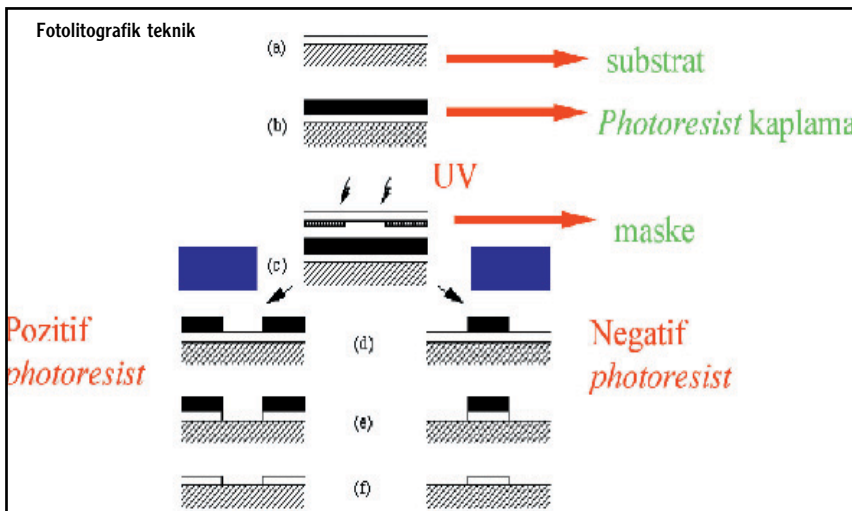


A)Silikon yüzey üzerinde oluşturulmuş mikrodeseşler, B)Mikrodeseşlerde üreşmiş fare aort endotel hücreleri

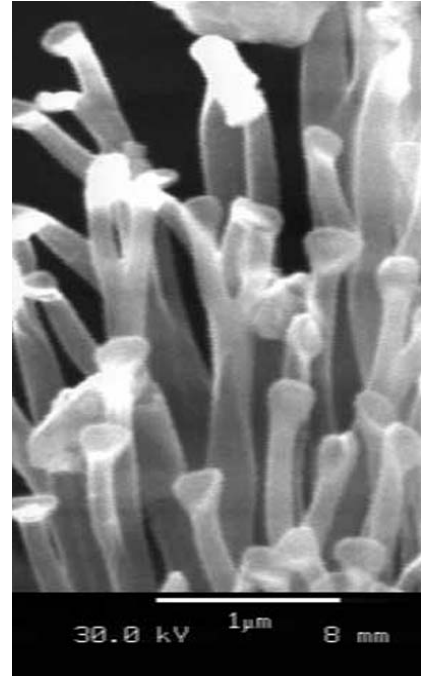
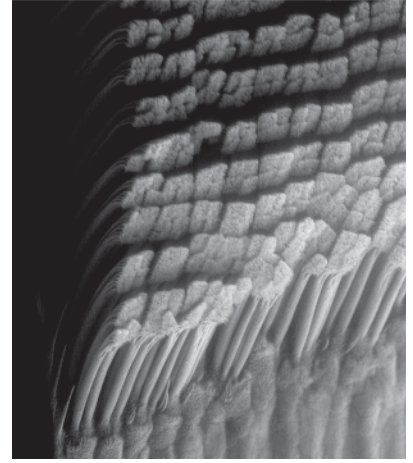
düzenlenmiş. Dolayısıyla, doku oluşumu için hücrelerin iskelete doğru düzende eklenmesi gerekiyor ve bu da yapıştırıcı proteinlerin bulunduğu mikrodeseşler üzerinden gerçekleş-

yor. Mikrodeseşleme olarak adlandırılan bu teknikde deseşler mikro ve nanoteknolojiye dayalı yöntemlerle oluşturuluyor. Bunlar arasında fotolitografik teknikler en çok kullanılanlar. Mikroelektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan fotolitografi temel olarak, ışığa-duyarlı bir maddenin (fotoresist) biyomalzeme yüzeyine kaplanması ve daha sonra deseşni önceden belirlenmiş bir maske üzerinden yüzeye UV ışını uygulanmasıyla, maske deseşnin yüzey üzerinde oluşmasına dayalı bir teknik. Mikrokontakt baskı-lama ve mikroakış teknikleri de sıklıkla kullanılan diğer yöntemler.

Yukarıda söz edilen mikrofabrikasyon teknikleri, doku iskeletlerinin biyomimetik olarak tasarlanmasına olanak sağlıyor ve hazırlanan yapılar, klasik biyomalzemelere nazaran uygulamada benzersiz avantajlar sunuyor.



MOLEKÜLER BASKILAMA



Bilim adamları doğal düzeni taklit ederek çok sayıda biyolojik molekülü sentezlemeye çalışıyorlar.

Bu moleküllerin başında da enzimler ve antikorlar gibi yüksek seçiciliğe sahip moleküller geliyor. Moleküler baskılama yöntemi kullanılarak yapılan başarılı çalışmalar konunun gelecek açısından önemini vurguluyor.

İnsanoğlunun öncelikle hayatta kalabilmek amacıyla başlayan doğayı taklit etme isteği, geçen zamanla birlikte doğayı aşma, doğanın sunduklarından daha fazlasını elde etme yönüne kayd. Hassas dengeler üzerinde süregelen bu doğal düzeni taklit, çok sayıda teknolojik

gelişmenin de temelini oluşturdu ve halen de oluşturmaya devam etmekte. Kuşkusuz enzimler bu hassas dengenin en kıskanılan, bir o kadar da ilham verici bir grubu. Enzimlerin temel işlevi biyolojik tepkimeleri hızlandırmak. Bu nedenle enzimler “biyolojik katalizörler” olarak adlandırılıyorlar. Birçok tepkimenin vücudumuz içerisinde 37°C gibi düşük bir sıcaklıkta gerçekleşmesi, kimyacıların enzimlere büyük ilgi göstermelerinin en temel nedeni. Şu an kimya ve diğer sanayilerde enzimlere benzer katalizörler var olsa da, enzimlerin gösterdikleri etkinlik ve seçiciliğe hâlâ ulaşılammış. Ayrıca, vücudumuzun savunma

güçleri olan antikorlar gibi, etkileyeceği molekülü tanıyan ve yalnızca ona özgü tepkiler veren, kısacası özgül ve seçici yapılar elde etme isteği, araştırmacıların doğayı taklit etme konusuyla daha fazla ilgilenmelerinde bir diğer etken olmuş. Bu konudaki ilk başarılı çalışma, 1972 yılında Düsseldorf Üniversitesi’nden Günter Wulf ve Mosbach tarafından yapıldı ve tanınması istenen molekülün polimer yüzeyine baskılanması olarak ifade edilen “moleküler baskılama” kavramı yine ilk kez bu çalışmayla gündeme geldi. Enzim ve antikorlar gibi doğal moleküllerin yapay olarak elde edilebilmesi fikri yani biyomimetik molekül (biyolo-

BASKILANMIŞ MALZEMELER

jik moleküllerin taklidi) sentezi, ilk başlarda hayal olarak görülse de daha sonra yapılan çalışmalarla çok daha açık bir şekilde ortaya kondu.

Yukarıdaki tanımından da açıkça görüleceği gibi moleküler baskılama'nın temeli "moleküler tanıma" kavramına dayanır. "Moleküler tanıma" kavramı Cram, Lehn ve Pederson'ın 1987 yılında Nobel Ödülü'nü almalarıyla tüm dünyada öğrenildi. Ancak bu konunun temelleri çok daha eskilere, 1890'lı yıllarda Fischer'in öne sürdüğü meşhur "anahtar-kilit modeli"ne kadar gidiyor. Bir anahtarın kilidi açabilmesi için nasıl geometrik olarak onun tamamlayıcısı olması gerekiyorsa, enzimler de ancak geometrik açıdan tamamlayıcısı olan moleküllerle (ya da moleküllerin uygun bölgeleriyle) tepkimeye girerek katalizleme görevlerini yerine getirebilirler. Moleküler tanıma, yalnızca enzimlerin değil, tüm biyolojik işlevlerin temeli olduğundan, moleküler tanıma özelliğine sahip yapay moleküllerin sentezlenmesiyle, biyolojik işleve sahip biyomimetik moleküller hazırlanmış olacak. Bu biyomimetik moleküllerin, biyoteknoloji, tıp ve biyoanalitik alanlarında son derece yararlı olacağı açık. Özellikle yapay almaçların (reseptörlerin) hazırlanması konusunda, günümüzde pek çok laboratuvarında çalışmalar yapılmakta.

Peki moleküler baskılama nedir ve nasıl yapılır? Moleküler baskılama kısaca,

üzerinde hedef molekülü tanıma özelliği taşıyan merkezler içeren polimerlerin sentezlenmesi işlemi. Sentez için iki temel gereksinim var: 1) hedef molekül ya da diğer bir deyişle baskılanacak molekül 2) hedef moleküle etkileşebilecek (kovalent veya kovalent olmayan bağlanmayla) işlevsel bir monomer (monomerler polimerlerin yapı taşlarıdır). Bu temel gereksinimlerin yanısıra çözücü, çapraz-bağlayıcı gibi yan gereksinimler de söz konusudur.

Moleküler baskılama işlemi üç basamaktan oluşur. İlk basamakta baskılanacak molekül ile monomer etkileşerek bir bileşik oluştururlar. İkinci basamakta bu bileşik yapı, işlevsel monomer üzerinden polimerleştirilir. Polimerleştirme gerçekleştikten sonra kalıplanan molekül, yıkama işlemiyle polimerik yapıdan uzaklaştırılır. Böylelikle geride baskılanmış bağlanma bölgelerine sahip bir polimer kalır. Artık bu polimer hedef molekül için yüksek seçicilik ve ilgiye sahiptir. Örneğin, hedef molekülü de içeren bir karışım, baskıladığımız polimer ile etkileşecek olursa, sahip olduğu bağlanma bölgeleri nedeniyle yalnızca hedef molekülü tanıyarak ona bağlanacak ve böylelikle hedef molekülün karışım ortamından uzaklaştırılması, yani saflaştırılması sağlanacak.

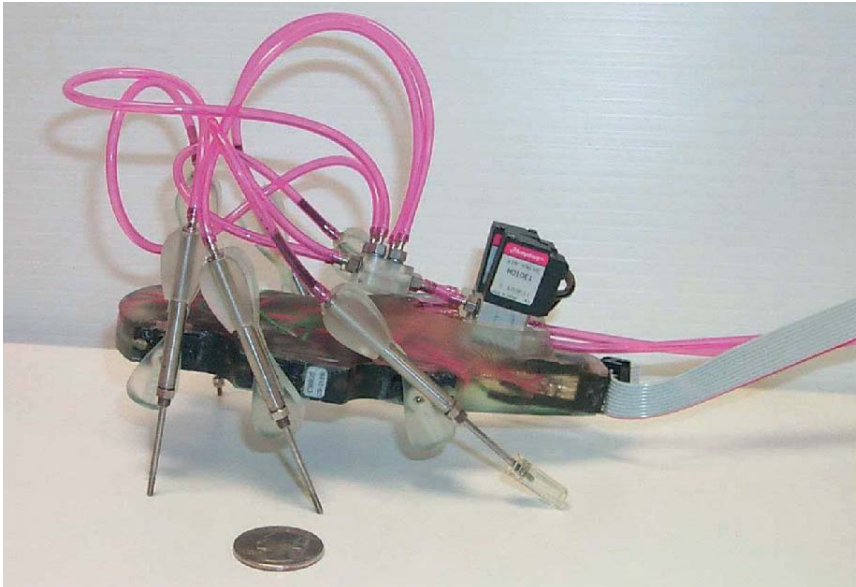
Moleküler baskılama son derece basit bir işlem olarak gözüküyor olsa da, yöntemin başarısı bazı noktalara dikkat

edilmesine bağlı. En temel nokta, polimerleşme sırasında monomer ve hedef molekül etkileşimlerinin kararlı olması. Kararsızlık, seçicilik ve ilgiyi olumsuz yönde etkiler. Bu yüzden moleküler baskılama işlemlerinde kullanılan çözücü çok önemli ve kararlılığı artırmak amacıyla pek çok uygulamada su benzeri organik çözücüler kullanılır. Hazırlanan baskılanmış polimerlerin rijid, yani mekanik açıdan kararlı yapıda olması da baskılamanın başarısını etkileyen bir diğer nokta ve kararlı bir yapı için, ortama çapraz bağlanmayı sağlayacak bir molekülün de, yüksek oranda eklenmesi gerekiyor. Çözücü seçimi, polimerleşme sırasında yapının gözenekliliğini kontrol etmek açısından da önemli. Metakrilik monomerleri çok farklı etkileşimler sağladıkları için tercih edilir. Bunun yanı sıra poli (etilen) glikol katılarak hem işlevsellik sağlanıyor, hem de immünojenite (bağışıklık sisteminde tepkiye yol açma özelliği) düşürülür.

Moleküler baskılama alanında yapılan çalışmalarla, pek çok molekül başarılı bir şekilde baskılanmış durumda. Ancak bu konudaki en önemli kısıtlama, baskılanacak molekülün küçük olması gerekliliği. Baskılanan molekülün daha sonra polimerik yapıdan uzaklaşması gerektiğinden, polimerin gözeneklerinden geçebilecek kadar küçük olması koşulu aranır. Şimdiye kadar baskılanmış moleküller arasında çeşitli ilaçlar, hormonlar, proteinler, aminoasitler, karbonhidratlar, boyalar, böcek ilaçları, nükleotidler, koenzimler ve kolesterol gibi steroidler sayılabilir.

Moleküler olarak baskılanmış polimerlerin doğal almaçlara benzer bir ilgi (afinite) ve seçicilik göstermelerine karşılık değişik ortam koşullarına karşı (örneğin; pH ve sıcaklık) daha kararlı olmaları ve kolay elde edilebilmeleri, bu konuyu daha da ilgi çekici hale getiriyor.

Moleküler olarak baskılanmış polimerlerin, yukarıda da bahsedildiği gibi en temel uygulama alanı ayırma işlemleri. Bu polimerlerin, baskılanan molekülü, ona çok benzer birçok molekül arasından (hatta bazı moleküllerin L ve D formlarının ayrılması gibi) tanıyabilme özelliği, pek çok ayırma ve saflaştırma iş-

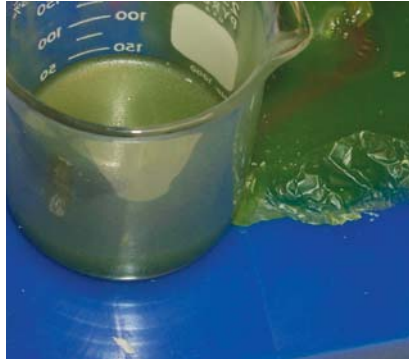


lemi açısından ilgi çekici. Naproxen, Timolol gibi ilaçların ayırma işlemleri, ilaçlarda molekülün tek bir formunun kullanılması gerektiğinden, en önemli ayırma işlemlerinden biri ve baskılanmış polimerler kullanılarak yapılan ayırma işlemlerinde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş durumda.

Baskılanmış polimerler, katalizör olarak da kullanılıyorlar. Bu tür uygulamalar için geliştirilmiş baskılanmış polimerler "plastik enzimler" olarak adlandırılıyorlar. Plastik enzim, hedef molekülü tanıır ve ona bağlanarak kimyasal tepkimenin aktivasyon enerjisini düşürür, böylece tepkimenin daha hızlı, daha düşük sıcaklıkta ve daha verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Shea tarafından hidrojen florürün bir molekülden ayrıldığı tepkimeyi katalizleyen bir plastik enzim elde edilmiş durumda. Bu uygulamadaki sistem oldukça basit olduğu halde, doğal enzimlerden çok daha avantajlı. Bilindiği gibi, enzimler protein yapıdadır ve bu yüzden sıcaklık ve pH gibi dış ortam koşullarından çok fazla etkilenirler. Enzimler, yüksek sıcaklık ve organik çözücüler içinde denatüre olur (üç boyutlu yapılarını kaybederler) ve işlevlerini yitirirler. Ancak enzimlerin plastik taklitleri, organik çözücüler içinde oldukça geniş bir pH aralığında ve 150°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmeksizin güvenle kullanılabilirler.

Moleküler olarak baskılanmış polimerlerle ilgili en ilgi çekici gelişmelerin yaşandığı bir başka uygulama alanındaysa, bu yapılar biyo-algılayıcı ve benzeri cihazlarda tanıma elemanı olarak kullanılıyorlar. Bilindiği gibi biyo-algılayıcılar, enzimler veya antikorlar gibi belirli molekülleri tanıma özelliği taşıyan yapılar kullanarak, çeşitli moleküllere karşı özgül olarak elde edilen tepkilerin uygun cihazlar yardımıyla (transducerlar) fiziksel ve ölçülebilir verilere dönüştürülmesini sağlayan düzenekler. Biyo-algılayıcılar, günümüzde çeşitli teşhis kitlerinde sıklıkla kullanılmaktalar. Bunlar içerisinde en yaygın kullanılanlardan bir grup, kan şekeri, yani kandaki glukoz miktarını ölçen cihazlar. Bu sistemde biyo-algılayıcı, içerdiği tanıma elemanı aracılığıyla glukozla etkileşime girer. Bu etkileşimlerle elde edilen tepkiler, daha sonra uygun cihazlar yardımıyla ölçülebilir, fiziksel tepkilere dönüştürülür ve biz de sonuç olarak kanımızdaki glukoz mikta-

rını sayısal bir değer olarak elde edebiliriz. İşte baskılanmış polimerler biyo-algılayıcılardaki tanıma elemanlarına seçenек olarak kullanılabilirler. Bu cihazlarda baskılanmış polimerlerin kullanılması hâlâ doğal yapıların yerini tümüyle almasa da polimerler gösterdikleri kararlılık ile oldukça ilgi çekici bir seçenек oluştururlar. Daha önce de söz edildiği gibi, polimerlerin doğal yapılara göre gösterdikleri yüksek dayanıklılık ve kararlılığın yanısıra doğal yapılardan daha ucuz olmaları da, avantajları arasında. Buna ek olarak polimerler, doğal almacı elde etmenin çok zor veya mümkün olmadığı durumlarda yarar sağlarlar. Tüm bunların yanısıra baskılanmış polimerlerin elde edilme maliyeti, doğal antikor ve almaçlardan düşüktür ve poliklonal antikor elde etmek için hayvan gereksinimini ortadan kaldırır.



Moleküler baskılamanın temel uygulama alanları, yukarıda sayılanlar. Ancak, baskılanmış polimerler başka alanlara da uygulanabilirler. Örneğin, baskılanmış polimerlerin su arıtımında, su içerisindeki istenmeyen molekülleri tutucu bir eleman olarak kullanılması mümkün. Baskılanmış polimerler, çeşitli savunma sistemlerinde de kimyasal ve biyolojik silah tehdidine karşı kullanılabilirler. Bu sistemlerde polimerlerin tanıma özelliğinden yararlanılarak kimyasal veya biyolojik silah moleküllerinin polimer tarafından tespit edilmesi sağlanabilir ve erken uyarı sistemleri geliştirilebilir.

Moleküler olarak baskılanmış polimerlerin son yıllarda hızla gelişen bir diğer uygulama alanı da, hidrojeller. Hidrojeller büyük ölçüde sıvı emme özelliğine sahip, düşük çapraz bağlı ağ-benzeri yapılar ve ilaç salım sistemleri, kontakt lensler gibi değişik uygulama alanlarına sahipler. Ancak hidrojellerde moleküler baskılama yapılması, farklı bir yöntem gerektirir; çünkü bu yapıların kararlı olmaması, esnek yapılar olması gerekir.

Bu nedenle, moleküler baskılamayla hidrojellerde şu an için, diğer polimerlerde olduğu gibi etkin bir tanıma elde edilebilmiş değil. Ancak hidrojellerle yapılan moleküler baskılama çalışmaları, moleküler baskılamanın, hidrojellerin ilaç yükleme ve salım davranışı üzerinde olumlu gelişmeler sağladığını gösteriyor. Moleküler baskılamayla hidrojellerde daha fazla ilaç yüklenmesine olanak sağlayacak bölgeler ve bağlanma merkezleri elde ediliyor. Göz kuruluğu, konjunktivit gibi göz rahatsızlıklarında hepimizin bildiği gibi en çok kullanılan tedavi biçimi, damla kullanımı. Damla kullanımı kolay uygulansa da, ilacın çok azının gözün istenilen bölgesine ulaşması ve bir anda çok yüksek dozlar kullanılarak sık sık tekrarlanması gerekliliği, bir dezavantaj. Bu nedenle, araştırmacılar buna seçenек olacak çeşitli yöntemlere yönelmiş durumdadır. Kontakt lenslere ilaç yüklenmesi en yeni seçeneklerden biri. Bu yöntemle hasta, lense gözüne yerleştirdiğinde lens yüklenen ilacı kontrollü bir şekilde göze salar. Bu yöntemin eksik yönü, lense yüklenen ve lens tarafından salınan dozun, istenen dozun altında olması. Baskılanmış hidrojellerin ilaç salımında kullanımıyla ilgili yapılan bir çalışmada göz kuruluğu ve konjunktivit gibi göz rahatsızlıklarında kullanılan Timolol adlı ilaç, moleküler olarak baskılanmış kontakt lenslere yüklenmiş ve moleküler olarak baskılanmış kontakt lenslerin baskılanmamışlardan daha iyi ilaç yükleme ve salım özelliğine sahip oldukları ortaya konmuş.

Yukarıdaki bilgilerden de anlaşılacağı gibi moleküler baskılama oldukça ilgi çekici ve gelecekte önemli gelişmelerin yaşanacağı bir konu. Belki de bu yöntemin geliştirilmesiyle, çok daha iyi tanıma özelliklerine sahip yapılar elde edilebilecek ve şu an aklımıza gelmeyen birçok işlevin gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir.

Prof. Dr. Menemşe Gümüşderelioğlu
Sezin Ertan
HÜ Kimya Mühendisliği Bölümü

Kaynaklar
Molecular imprinting within hydrogels *Advanced Drug Delivery Reviews*, 54 (2002) 149-161. M.E. BYRNE, K.Park, N.A. Peppas
Toward the next generation of molecular imprinting with emphasis on the formation, by direct molding, of compounds with biological activity (biomimetics), *Analytica Chimica Acta*, 435, 1, (2001), 3-8. Klaus Mosbach
Molecular imprinting: at the edge of the third millennium, *Trends in Biotechnology*, 19, 1, 2001, 9-12, S.A. Piletsky, S. Alcock and A. P. F. Turner.
<http://pubs.acs.org/hotartcl/ac/97/jun/mol.html>
www.foresight.org/Conferences/MNT7/Papers/Cagin3

YILDIZ POLİMERLER

Monomer adı verilen çok sayıda küçük molekülün birleşmesiyle elde edilen büyük moleküller yani polimerler kuşkusuz hayatımızın çok önemli bir parçası. Mutfağımızda kullandığımız pek çok malzemeden arabalarımızın lastiklerine, ameliyat ipliklerinden ilaç kapsüllerine kadar çok sayıda ürün polimerden oluşuyor. Araştırmacılar ise bu geniş ürün yelpazesini daha da genişletmeye çalışıyor. Yıldız polimer olarak adlandırılan polimerler sağladıkları yeni özellikler ile araştırmacılar için oldukça ilgi çekici bir konu.

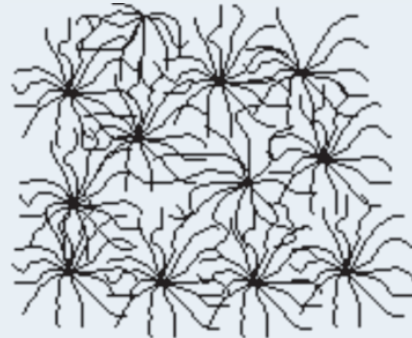
Yıldız polimerlerin özelliklerini daha iyi anlamak için öncelikle doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlı polimerik yapıları anlamak gerekir. Doğrusal polimerler, monomerlerin birbirleri ardına dizilmesiyle düz, uzun zincirler oluştururlar. Bu tip düz zincirlere yan kolların bağlanmasıyla dallanmış yapılar elde edilir. Bu düz ve dallanmış zincirler, aralarında oluşan bağlar (çapraz bağlar) ile birbirine tutunabilirlerse üç boyutlu bir yapı elde edilir ki, bu çapraz-bağlanmış polimerdir. Çapraz bağ sayısı arttıkça polimerin sertliği artar. İşte elimizde tuttuğumuz sert plastikler çok sayıda çapraz bağ içeren yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. Çapraz bağ sayısını ayarlayarak polimerlerin istediğimiz sertlikte olmasını sağlayabiliriz.

Yıldız polimerler yukarıda sözü edilen doğrusal veya dallanmış yapılardan oldukça farklılar. Yıldız polimerlerin merkezinde bir çekirdek bulunuyor. Doğrusal polimer zincirleri bu çekirdeğe bağlanıp üç boyutlu bir yapı oluşturuyor. Polimer zincirleri, aynı veya farklı uzunlukta olabileceği gibi, tümüyle farklı monomerlerden oluşabiliyor. İlk yıldız polimerin sentezlenmesi 1948 yılında polikondenzasyon yöntemiyle gerçekleşmiş ve o tarihten bu yana polistiren (PS), poliizopiren (PI), polibutadien (PB) ve polietilenglikol (PEG) gibi çeşitli polimerler yıldız polimer olarak sentezlenmiştir. Ancak, özellikle polimerlerin tıp ve eczacılık alanlarında giderek artan bir kullanıma

sahip olması, bu uygulamalara yönelik yıldız polimerlerin sentezini gündeme getirmiş ve özellikle son 5 yıl içerisinde bu konudaki araştırma ve yayınlanan makale sayısı tırmanışa geçmiştir.

Diğer polimerlerden oldukça farklı olan yapıları yıldız polimerlere, çok değişik özellikler kazandırıyor. Yıldız polimerler, küçük bir hacimde yüksek miktarda fonksiyonel grup yoğunluğuna sahiptirler. Fonksiyonel grup sayısındaki artış polimerin farklı moleküllerle reaksiyona girme özelliğini artırıyor. Doğrusal polimerlerle bu kadar çok fonksiyonel grup elde etmek için çok sayıda kısa zincir kullanmak gerekir ki bu da polimerin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Yıldız polimerler çapraz bağlandığında bile hala pek çok sayıda fonksiyonel grup serbest halde bulunur. Bu serbest gruplar yapının farklı moleküllerle etkileşime girme özelliğini korumasını sağlar.

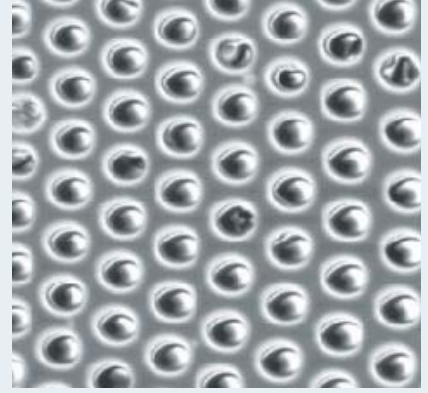
Diğer polimerlerden farklı özellikler gösteren



PEG yıldız polimerin şematik görünümü.

yıldız polimerlerin sentezlenmeleri de diğer polimerlerden farklı. Yıldız polimer sentez yöntemleri "içeri" ve "dışarı doğru" olarak iki gruba ayrılır. Bunların ilkinde, öncelikli olarak ön polimerleşmesi gerçekleşmiş kollar hazırlanır ve daha sonra çekirdeğe, yani içeri doğru bağlanır. İkinci yöntemde ise ilk olarak üzerinde çok sayıda fonksiyonel grup bulunan çekirdek sentezlenir ve kolların polimerizasyonu bu gruplar üzerinden gerçekleşir. Kollar çekirdekten dışarı doğru sentezlendiğinden bu yöntem "dışarı doğru" olarak adlandırılır. Yıldız polimer sentezi anyonik ve katyonik olarak da sınıflandırılabilir.

Yıldız polimerlerin sahip oldukları yüksek fonksiyonallite (işlevsellik), özellikle akıllı-hidrojel uygulamalarında önem taşıyor. Kontrollü ilaç sa-



Yıldız polimer çözeltisinin Taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafı.

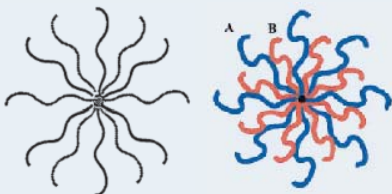
lımında kullanılan akıllı-hidrojellerin fonksiyonallitesi, uyarıya hassas cevap verebilmeleri açısından önemli. Fonksiyonel grup sayısı arttıkça ortamla etkileşime girecek grup sayısı artıyor ve daha hassas sistemler elde edilebiliyor. Bunlara ek olarak uç grupları değiştirerek farklı işlevsel özellikler elde etmek de mümkün.

Yıldız polimerlerin sahip oldukları fonksiyonallite düzenlendiğinde, bu polimerler süper güçlü yapıştırıcı, kimyasal/biyolojik molekül tayin edici olarak kullanılabilirler. Ayrıca, bu sistemler mikro- veya nanopartikül taşıyıcılar olarak ilaç salım sistemlerinin gelişmesini sağlar. Bunlara ek olarak yıldız polimerler çok sayıda serbest kollarıyla ilaçların, hücrelerin, enzimlerin veya antikorların immobilizasyonunda kullanılabilir. Bu şekilde çok küçük bir hacimde yüksek biyolojik ajan yoğunluğu elde edilebilir. Oksijen geçiren yıldız polimerler, yumuşak kontak lens uygulamaları için de kullanılabilir.

Kağıt ve tekstil ürünlerinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi de yıldız polimerler için geçerli olabilecek uygulama alanlarından birisidir. Bu yüzeylerin özelliklerini değiştirerek kolay ıslanmamasını ve kir tutmamasını sağlayan florlu kaplamalarda yıldız polimerlerin kullanılması denemektedir. Bu yöntem yüzey özelliklerini geliştirilmede olumlu sonuçlar vermiştir.

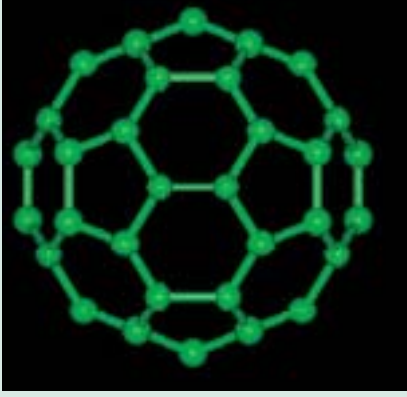
Yıldız polimerlerin en ümit verici uygulamalarından biri de moleküler baskılamada kullanımıdır. Moleküler baskılamada, belli bir hedef molekül varlığında (ilaç, enzim, protein, vb) polimerizasyon gerçekleştirilir ve hedef molekül yapıdan uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen polimer, merkezinde hedef molekül için özel bağlanmış merkezlerini taşımaktadır. Bu yöntemin hidrojelere uygulanması istenilen seçiciliği verememiştir. Ancak yıldız polimerler, doğrusal polimerlerden farklı yapıları nedeniyle bu işlem için daha uygundur. Keys, yaptığı çalışma ile yıldız polimerlerin, hidrojellerin etkili bir şekilde baskılanmasına olanak verdiğini ortaya koymuştur. Yıldız polimerler, çapraz bağ sayısı artırılmaksızın, etkili moleküler baskılama yapılmasını sağladı. Elde edilen hidrojel baskılanmış ilacı benzerlerinden ayırt edebiliyordu. Bu umut verici sonuçların ardından konuyla ilgili araştırmalar yoğun bir biçimde devam etmektedir.

Prof.Dr. Menemşe Gümüşderelioğlu
Sezin Ertan
Hacettepe Üniv. Kimya Mühendisliği Bölümü



Yıldız polimer ve kopolimerler

ELMAS ÇA



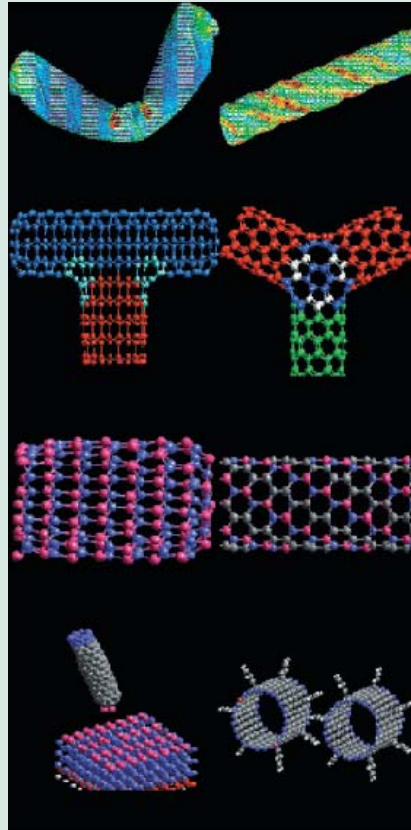
Şekil 1: C₆₀ Buckminsterfulleren/Fulleren

Arabalardan uçaklara, oradan uzay mekiklerine, ev aletlerinden binalara, cep hesap makinalarından süper kompütürlere malzemeler gün geçtikçe iyileşmekte ve bunun sonucunda bu yapılar daha üstün özelliklerle karşımıza çıkmakta. Şöyle bir yaklaşımla aslında bu yazıya giriş yapmak istiyorum. İnsanlık önce taş devrini, sonra bronz devrini ve daha sonrada çelik çağını yaşadı. Artık bundan sonra ise elmas çağını yaşamaya başlıyor. Bunun gerçekliğinin adına ise NANOTEKNOLOJİ diyoruz. Zamanımızda nanoteknoloji sayesinde elmas benzeri malzemeler (diamondoids) sentezlenebilmekte ve gün geçtikçe ilerleyen bir hızla kullanım alanı bulmaktadır. Bu nedenle çağımıza elmas çağı denmesi garipsenmemelidir. Nanoteknoloji hakkında kısmi bir bilgi verdikten sonra esas konumuz olan karbon ve türevlerine bakış atacağız.

Nanoteknoloji, diğer deyişlerle moleküler nanoteknoloji veya moleküler üretim, gerçekte ayrı bir teknoloji alanı olmayıp mevcut teknolojilerin doğmasına yatkınlık eden günümüz teknolojisinin çok küçük boyutlarda (mm nin milyonda biri) çalışmayı ifade eden fantastik bir kavram gibi görünmekte. Bir üretimin, şekillendirilmenin, sentezin ilk başlangıç anında neler olup bittiğini ve bu aşamadaki mekanizmaları çözme veya bunları kullanarak işlem yapma anlamını da ihtiva eder. Tüm bu işlemleri gerçekleştirebilecek makina parkı, cihazlar, enstrümantasyon geliştikçe nanoteknolojide yol alınmış olacaktır. Yani aslında gelişen nano boyutta analiz ve sentez yapabilen cihazlar olmuştur. Teknoloji ve bilim ayrı anlamlar içerdiğine fakat birbirini tamamladığına dikkat edilmesi gerek.

Nano... başlığını tercih edilişi de boşuna olmayıp bu hakikati ifadeye bir kapı açması içindir. Yani bu kelimenin sonuna ekleme yapmak sureti ile üretilen kavram-

lar o boyutta yapılan faaliyetlere, malzemeye, vs. atıftır. Olayın başlangıcını, 1965 yılında Fizik Nobel'i de alacak olan Richard Feynman'ın 1959 yılında Amerikan Fizik Sosaitisi yıllık toplantısında yaptığı ufuk açıcı konuşmaya kadar götürülebilir. Bu konuşmasında Feynman "fizik kanunlarının mevcut hali ile atom atom dizilerek yeni bir yapı oluşturulmasına ters düşmediğini" ifade ile değişik örnekler vermektedir. Daha sonraları değişik modlarda atomik kuvvet mikroskobunun geliştirilmesi ile 1990 dan sonra büyük bir ivme kazanmıştır. Öncelikle yeni fonksiyonel malzemeler sentez etme, nano boyutlu cihazlar ve sistemler geliştirme, ve bu boyutlardaki maddeyi kontrol etme esas gaye olmaktadır. Neticede üretilen parçalar, aletler, malzemeler hepsi atomlardan oluşmakta. Malum karbon atomlarını uygun bir şekilde düzenlemekle elmas elde edilmiş olur. Kum tanelerindeki atomları düzenleyince kompüter çipi, kirli sudaki atomları düzenleyince temiz su elde edilmesi gibi. Teorik olarak moleküler se-



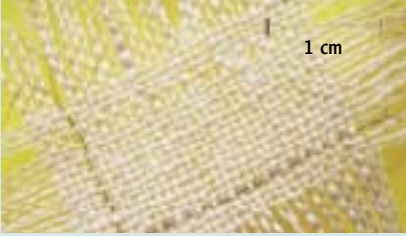
Şekil 2: Karbon-nano-tüp

viyede kontrolü mümkün olması halinde her ürün muazzam geliştirilebilir. Fakat esas mesele tek tek atomları dizmeye kalkarsak bunun ne kadar zaman alacağı olsa gerek. Bu nedenle burada farklı masif üretim mekanizmalarına ihtiyaç hasıl olmaktadır. Tabi, bu üretimin fizibil olması da zorunluluk. Bu boyutta üretimin veya araştırmanın en önemli handikaplarını sıralayacak olursak herhalde atomik boyuttaki yapışma, sürtünme ve aşınma en önde gelir. Sonrasında termal titreşimler, cihazın rijitliği, pozisyon bulma ve kontrol mekanizmaları, kuantum etkisi dikkatle kaydeldmelidir.

Yeni bir teknolojik alanda gelişme olurken o konuda pek çok otorite odaklanıp konu etrafında detaylı beyin fırtınaları gerçekleştirmekte, enine boyuna tartışmakta ve bu saha için kullanılması düşünülen finans kaynakları oluşturulmaya çalışılmaktadır. Dünyaya bu açıdan bakıldığında pek çok ülke konunun geleceğinin önemini farkına varmış, bilim kurumları (üniversiteleri, araştırma laboratuvarları, teknoloji şirketleri ve vakıfları) ile bu sahaya yönelmiş ve hızla bu alana yatırım yapmaktadırlar. 1997 de sırası ile ABD, Batı Avrupa, Japonya, Güney Kore, Tayvan, Avusturalya, Çin ve dünyadaki diğer ülkelerin nanoteknoloji araştırma geliştirmelerine yıllık bazda ayırdığı finansman 432, 126, 120, 0, 0, 0, 0, 0 milyon USD iken 2002 yılında bu rakamlar 604, 400, 750, 100, 70, 40, 40, 270 milyon USD olmuştur. Şu ana kadar ciddi başarılar elde edilmiştir. Fakat kütle veya seri üretim henüz söz konusu olmamasına rağmen başarılması an meselesidir. Evet ülke olarak elmas çağını da kaçırmak istemiyorsak, gerekli adımları atmanın ve uygun araştırma ortamı oluşturmanın kaçınılmaz bir zorunluluk olduğunu aşıkardır.

Şimdi kısmen nanoteknolojinin geldiği noktadan bahsedip ve sonra hangi alanlarda uygulama bulabileceğini veya etkili olabileceğini irdeleyelim. Mikroskoplarda, malzeme bilminde, moleküler seviyede konum kontrolünde ve kuantum mekaniğinin klasik ve modern sınırları arasındaki farkı anlamada elde edilen gelişmeler ciddi kazanımlar getirmiştir. Ana hedef bu sayede çok hafif, yüksek mukavemetli,

AĞI VE NANO...



Şekil 3: KNT'nin tekstil malzemesi olarak örülmesi sonucu elde edilen süperkapasitör zırh.

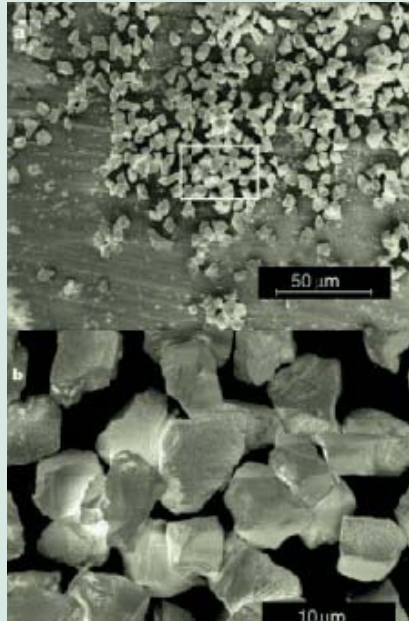
akıllı(!), ucuz ve temiz malzemeler elde etmektir. Şu ana kadar organik nikelden biyomoleküler motor yapılabilmiş, özellikle elektronik sistemlere yönelik tek moleküllü transistör yapılmış, nano partiküller oluşturulabilip bunlar kan vasıtası ile beyne kemoterapi amacı ile taşınabilmiş, oluşturulan altın nanopartiküller sayesinde biyolojik savaşın en kritik kısmı olan DNA tesbiti gerçekleştirilmiş, moleküler kısıpçalar yapılmış ve karbon nanotüplerden (geleceğimizin en stratejik malzemesi olmaya aday) lojik kapılar elde edilebilmiştir. Bunlara daha ilave edilebilecek çok şeyler mevcut olmasına rağmen bu kadarlıkla iktifa ediyoruz.

En yaygın kullanılabileceği alanlara gelince kısmen belirttiğimiz gibi, tüm bilimlerin esasını teşkil eden malzeme bilimi, tıp, askeri sanayii, temiz enerji kaynakları, kompütür, çevre ve gıda alanlarında nanoteknolojinin büyük payı alacağı bir kehanet olmasa gerek. Nanoteknolojide öngörülen üretim mekanizmalarından biri, anlamlı en küçük kütle birimi olan moleküllerin biyolojik sistemlerden esinlenilerek kendi kendini tekrar etmesidir. Dikkatimizi çekelim bu bir kendini kopyalama hadisesi olmayıp kontrollü olarak aynı tip moleküllerin birbirine eklenmesidir. Burada ki esas getiri biyolojik sistemlerdeki gibi en düşük maliyetle, en az emekle muazzam miktarda üretimdir. Tabii olarak bu kendi kendine tekrarlama hadisesi insanlarda biraz endişeyide beraberinde getiriyor. Bunda hakikat payı yüksek denebilir. Çünkü bu güne kadar insanoğlunun elinin değdiği yerlerde doğal düzen bozulmuş ve entropi (düzensizlik) artmıştır. Gerçekte bu mekanizma kendi haline bırakıldığında muntazam çalışırken ve kimse ondan endişe etmezken, insanoğlunun bu mekanizmayı kullanmasından endişe et-



Şekil 4: Uğruna canlar verilip canlar alınan tabii elmas

mek ne kadar manidar. Her alanda olduğu gibi bu alanda da nanoteknolojinin kötü amaçla kullanılabilmesi (insan klonlama gibi) veya kontrol dışına çıkması (nükleer santral faciaları) söz konusudur. Bu nedenle nanoteknolojinin gelişimi düşünülürken emniyet mekanizmalarının da paralel olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bu meyanda düşünülen; kendi kendini tekrarlayan üretim mekanizmasında en küçük birimlerin tabii ortamda ve kontrolsüz çevrede üremesi mümkün olmayacak şekilde geliştirilmeli ve bu mekanizmanın işlemesi için mutlaka dışardan enerji ihtiyacı olması temin edilmelidir. Mutlaka uygun hata tesbit kodları ve gayrı ihtiyari kod değişiminin önlenmesi temin edilmelidir. Özellikle meşhurluk hastalığına tutulmuş araştırmacılara bu konuda çalışmanın



Şekil 5: Yüksek yoğunluklu karbon buharı fazı içinde kısa aralıklarla ve şiddetli ısı impulsarı ile düşük kararsız/değişken basınç altında oluşan yüksek saflıktaki kübik elmas taneleri Al matrisi üzerine çöktürülmesi

demek hem işe yaramaz hemde zorunluluk halinde yer altına inme büyük bir ihtimal dahilindedir. M. Crichton ise nanorobotların dünyaya hakim oluşunu konu edilen Prey adlı kitabını çoktan kaleme almış bulunuyor.

Elmas Çağı

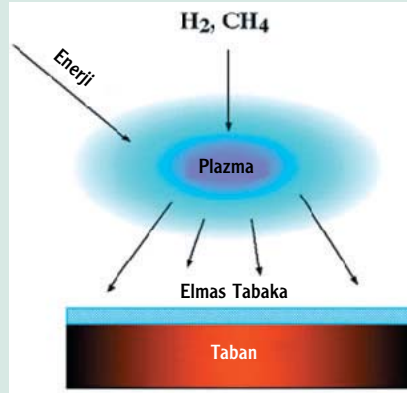
Periyodik tabloda atom numarası 6 olan ve 6 harften oluşan, en kararlı dizilişini altıgen şeklinde yapan element olan KARBON dan bahsetmek bu yazının diğer hedefi olarak düşünüldü. Bu element pek çok bileşik şeklinde bulunabilir. Ezcümle; yiyeceklerimizde, elbiselerimizde, kullandığımız kozmetiklerimizde, bindiğimiz arabanın yakıtı olarak vs. Günlük yaşantımızdaki kimyevi olaylarda da başrolü oynaması ise cabası. Tabiatla bilinen en sert malzeme (elmas) ve çok yumuşak ve kaygan bir fazı olan grafit çok uzun zamandır bilinen formları. Öyleyse bu elementin son teknolojiler ışığında keşfedilen ve geliştirilen yapılarını tanımak fazla abes olmasa gerek. Aslında birtek atomdan bu kadar farklı yapılar elde edilmesi üzerinde çokça düşünülmesi gereken bir olgu. Tüm bunların görünen izahı ise karbon atomlarının biri birleri ile yapmış oldukları bağlarda gizli. Kısaca değinecek olursak; son yörüngesinde iki elektron bulunan C atomlarının bir araya gelmesi ile oluşan yapı grafitik iken üç elektrondan oluşan yapı ise elmas olarak karşımıza çıkıyor. Canım ne olacak bir tane elektronun lafımı olur dersanız olayı anlamak mümkün olmaz. Şimdi sırası ile C elementinden son zamanlarda sentezlenen yeni malzeme türlerine bakalım.

Öncelikle 60 tane C atomunun beşgen ve altıgenler bazında küresel bir şekilde oluşan C60 (Buckminsterfulleren veya fullerene) den bahsedelim. Karbonun allotroplarından biridir ve moleküler yapıda magnet özelliği gösterebilmektedir. Bilindiği üzere magnetik özelliğe sahip malzemeler genellikle metallerdir ve bu özellik sıcaklıkla değişir. Bilim adamları metalik olmayan moleküler yapıli magnete elektriki iletken olması zorunlu parçalarda enerji kaybını önlemek amacı ile ihtiyaç duymaktadır. C60 polimerik yapısı ile oda sıcaklığı

ğından 500 °K e kadar magnetik özellik kazandırılabilir. Her ne kadar metalik türlerine göre 100 kat daha düşük magnet kuvveti elde edilebilse bile bu fazın sentezlenme sıcaklık ve basınç faktörleri ile iyileştirilebileceği öngörülmesine binaen ümid vaatmektedir. Şekil 1

2. olarak 90 lı yılların başından itibaren sentezlenebilmiş C fazı olan ve geleceğin malzemesi olmayı şimdiden hakeden Karbon-nano-tüp (KNT) den bahsetmek istiyorum. Bu malzemeyi kullanarak dünyadan uzaya asansör tesis etmeyi ciddi ciddi NASA bilim adamları tarafından tartışıldığını söylersek olayın boyutunu anlatmış olabilir miyiz bilmem? İlk olarak Japon NEC firması laboratuvarında Sumio Iijima tarafından çok katlı KNT olarak gözlemlenmiş ve akabinde iki yıl içinde tek katlı KNT de elde edilebilmiştir. Bilim dünyası bu malzeme türüne gereken ilgiyi gösterdi ve ciddi bir uygulama potansiyeli olduğu ortaya çıktı. Fiziki şekli balpeteği dokusundaki levhanın silindirik olarak kıvrılmış kapalı bir tüp şeklindedir. Bu altıgen yapı mekanik sistemlerin bilinen en optimum yük taşıma yapısı olduğu gerçeği pek çok şeyi anlatır. Böyle bir yapı sadece C elementinde değil diğer bileşiklerde de rastlanmakla birlikte (BN veya BN/C) en yaygın şekli C elementinin kendi başına oluşturmaktadır. Şekil 2

Molekül-katı arası bir yapısı olması sebebiyle şimdiye kadar kullanıla gelen malzemelerden çok daha farklı özellikler göstermesi beklenmektedir ve bu zamanla daha da vuzuha kavuşmaktadır. Nano ve meso ölçekli bilim alanında müthiş bir sıçramanın eşiğinde olduğu muhakkaktır. Tek katlı şekilde olabileceği gibi 20 ye kadar iç içe katlardan da oluşabilir. Tüp içerisinde C60 yerleştirilebilmekte, ilaveten C60 parçalanıp tüp yapısına transform edilebilmektedir. Tüpün geometrik şekline bağlı olarak KNT hem yalıtkan hemde yarı iletken olabilir. Dual özelliğin aynı parçada düşünülmesi bile başlı başına bir hadisedir. Elektronik olarak bu yapının tek boyutlu "kuantum kablosu" olarak davranması beklenmektedir. Eger bir AFM tipi ucunda büyütülürse bir kaç nm lik bir uç elde edilmiş olacaktır. Malzemenin bir reaksiyonu olarak elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürebilmesi pek çok hassas teknoloji sahasında (robotik, optik fiber anahtarlar, sonar projektorler, mikroskobik pompalar vs.) kritik ilerlemenin eşiği sayılır. Fakat mevcut piezolardaki sıcaklık ve yüksek gerilim ne-



Şekil 6: CVD yöntemi ile suni elmas kaplama

deni ile sınırlı olarak kullanılabilir. Bu aşamada tek cidarlı KNT'lerin elektromekanik aktuatör olarak tabii kaslardan daha fazla gerilim oluşturabildiği ve yüksek rijitlikli ferroelektrik malzemelerden daha fazla şekil değişimine dayanabildiği görülmüştür. Bunun dayandığı neden ise, KNT'lerin tabii kas liflerinden daha ince olması ve aynı hacimde daha büyük yüzey alanı teşkil etmeleridir. Elektrik iletkenliğinin yanında mekanik özelliklerinin beklenenin üzerinde performans göstermesi ile KNT malzemesinin, düşük operasyon voltajının zorunlu olduğu tıbbi ameliyat aletleri, jet motorlarının yüksek sıcaklıkta çalışması gereken hava akım kontrol ekipmanları, deniz suyu ve kan gibi farklı iyonik ortamlarda aktuatörler gibi daha pekçok alternatif uygulama alanları gün geçtikçe ve araştırmalar arttıkça öğreneneğe benziyoruz.

Nasıl üretildiğine gelince; ortamda C sağlayacak bir madde olmalı, bundan C atomları enerji verilerek ayrıştırılıp bir matris üzerine çöktürülür (katalizörlü veya katalizörsüz). Sonra Ar gazı ile süpürülüp dışarı alınır veya ortamda jel şeklinde oluşturup sonra filtre ederek ayrıştırılır. Katı fazdan buharlaştırma lazer veya elektrik ark yardımı ile yapılabilir. En küçük çaplı KNT (4 Å) elektrik arkı ile buharlaştırma yöntemi ile elde edildiği rapor edilmektedir.

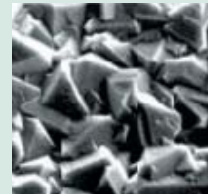
Geleceğin mikroelektronik endüstrisi KNT malzemesinde sağlanacak ilerlemeye dayalı olacak. Günümüzde ise Si'ye dayalı olan bu endüstri sınırların sonuna dayanmıştır. Yeni bir atılım ancak yeni malzeme ile sağlanabilir. Si ve C aynı sayıda valans elektronuna sahip olmasına rağmen C'nun diğer elementlerle bağ yapabilme kabiliyeti daha esnek olması nedeni

ile üstünlük sahibidir. Daha öncede bahsettiğimiz gibi C sp2 (grafit) ve sp3 (elmas) elektron dizimine sahip. İlk bakışta bu iki formunda elektronik için uygun olmadığı görülür. Elmas bir yalıtkan (yüksek sıcaklık uygulamalarının tartışmasız lideri) ve grafit bir yarı metaldir. Bal peteği yapısındaki grafitin kıvrılıp tüp şeklini alması ile elektronların tüp etrafında ve aks yönünde müthiş bir momentumla hareketini sonuç vermiştir ki, KNT tek boyutlu bir metalik veya yarı iletken malzeme olarak değerlendirilmektedir. Bu tüp yapısına bir P atomu ilave ederek elektronik sistem oluşturulabilir.

Sıvı C bileşiklerinden (polivinil alkol) lityum sülfat katalizörü ile jel şeklinde sentezlenip daha sonra filtre edilmesi sonucu üretilen KNT fiberleri ip şekline getirilebilmiştir. Şekil 3 Bu proses tabii ipeğin kozasından ip haline getirilmesi mekanizmasının aynısıdır. , Bu sayede bilinen en tok malzeme üretildiği iddia edilmekte ve bu malzemeden dokunacak kuşağın süper kapasitör yani mermi geçirmez zırh olarak değerlendirileceği gösterilmiştir. Kolaylıkla üretilip dokunabilmeside ayrı bir avantaj. Ayrıca bu yapının elektromagnetik dalgaları bloke edeceği de varsayılmaktadır.

Diğer bir C esaslı malzeme türü olan elmasın suni olarak sentezlenip endüstriyel kullanımına bakacak olursak, tarih boyunca ona sahip olmak isteyen iktidar sahipleri (her ne kadar onlar teknolojik faydalarından bihaber olsalar da) Şekil 4 ne kadar haklılar mı (!) demeden edemiyor insan.

1950 li yıllarda anlık yüksek basınç ve sıcaklık altında (bu çok yüksek miktarda bir patlayıcı ile sağlanabilir) denemeler yapılmış fakat verimli olmadığı için rafa kaldırılmıştır. Fakat bu kadar kıymetli bir malzemenin üretimi çalışmaları hemen terk edilmesi düşünülemezdi. Her ikisinde C olan grafitten elmasa dönüşme çalışmaları devam etti. Yapılacak olan iş, teorik olarak, grafitten elmasa dönüşümü sağlayacak martenzitik dönüşümü (askeri dönüşüm) temin edecek sıcaklık ve basıncı oluşturmak idi. Bu aşamada tabii elmas ne şartlarda oluşuyor acaba denirse; analizler sonucu tabii elmasın 5-6 GPa da ve 900-1400 °C sıcaklıklarında çok uzun dönem içerisinde karbonatların bol miktarda muhafaza edildiği magmatik ve metamorfik kayalıklarda sabit tutulması gerektiği anlaşılmıştır. Suni

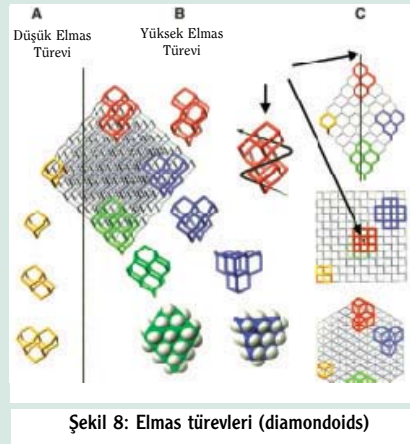


Şekil 7: CVD yöntemi ile elde edilmiş nanokristal elmas

karbonhidratlarla denemeler yapılmış, fakat normal insan ömrüne sığmayacak bu işlemde verimli sonuç alınamamıştır. Gene yapılan çalışmalarda çok kristalli elmasın tek kristalli elmasa nazaran daha sert olduğu anlaşılmıştır. Grafitten elmas elde etme çalışmalarına devam edilmiş ve bunda belli oranda başarıya ulaşılmıştır. Bu çalışmada saflık oranı %99,995 grafit kullanılarak birkaç dakikalık bir süre içerisinde 2300-2500 °C te ve 12-25 Gpa basınç altında kübik ve hegzagonal elmas kristallerinin 100 nm-1 mm boyutlarında opak ve gri renkli taneler şeklinde oluşabildiği gözlenmiştir. Elmas tanelerinin sinterlenmesi çalışması ise taneler arası gerilme dağılımının heterojen olması nedeniyle başarılı olamamıştır. Başka bir çalışmada ise yüksek yoğunluklu karbon buharı fazı içinde kısa aralıklarla ve şiddetli ısı impulsları ile düşük kararsız/değişken basınç altında oluşan yüksek saflıktaki kübik elmas taneleri Al matris üzerine çökeltilmiş ve akabinde hekzan içerisinde hassas bir şekilde çalkalanıp matris yüzeyinden ayrıştırılabilmektedir. Şekil 5 Grafit ile yapılmaya çalışılan bu işlemler benzer yöntemlerle SiC ile de denenmiş ve bu malzemedeki Si atomları ayrıştırılıp uzaklaştırıldıktan sonra kalan C atomlarının kübik ve hegzagonal nano-mikro elmas taneleri şeklinde oluşumu atmosfer basıncında ve 1000 °C aşmayan sıcaklıklarda olumlu sonuçlar vermiştir. Tüm bu işlemlerde en önemli nokta yapılan işlemin verimi ve genel uygulanabilirliği hala tartışılmaya devam edilmektedir.

Son 15-20 yıl içinde CVD (chemical vapor deposition) Şekil 6 yönteminde elde edilen ilerleme ile suni elmas üretiminde tercih edilmeye başlamıştır. Demek ki, klasik düşünceden yola çıkarak elde edilemeyen sonuçlar yeni argümanlar geliştirilmek sureti ile sonuca gidilmesi daha elverişlidir. Burada da gene ihtiyacı karşılayacak yeni bir yöntem uygulanması zorunlu olmakta. Rölatif olarak daha düşük sıcaklık ve basınç gerektiren bu metotta C kaynağı H/Hidrokarbon gazlardır. Elmas kristallerinin epitaksiyal(matris atomik dizilişini taklit ederek) ve/veya heteroepitaksial olarak oluşup ve random olarak büyümesi şeklinde işlem, istenen film kalınlığına varıncaya kadar devam ettirilir. Şekil 7 Çekirdekleşmenin başlangıcında matris malzemeye bias voltaj uygulanır. Elmas olmayan yüzeylerde çekirdekleşmenin başlangıcı karmaşık ve nerde başladığını tesbit etmek çok zordur. İyon-

laşmış gaz karışımında çok karmaşık kimyevi reaksiyonlar pikosaniyelerde meydana gelir. Eğer şartlar iyi ayarlanamazsa yüzeyde elmas yerine grafit oluşur. Reaksiyon esnasında gaz karışımı içine belli oranda bor karıştırılacak olursa (Bor elementi de zatında çok enteresan olduğunu işaretleyelim) elektrik iletken bir elmas kaplama elde edilir. Genelde elmas kaplanmış parça olduğu gibi kullanılır. Çünkü işlenmesi zordur. Teknolojideki uygulama yerlerine bakılacak olursa CVD yöntemi ile elde edilen elmasın ne kadar yaygın bir alana hitap ettiği anlaşılır. En başta gelen uygulama sahası ise elektronik endüstrisidir. Malum elektronik devrelerde çalışma esnasında büyük miktarda ısı üretimi nedeni ile sistem yavaşlar ve/veya arızalanır. Elmasın ısı iletim katsayısı gümüşe nazaran 5 kat daha üstündür. Buna ilaveten termal genleşme katsayısı ise çok düşük olması nedeni ile alternatifsizdir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan lazer diyot-



larda, mikrodalga transistörlerinde, her türlü haberleşme aletlerinin ısı kaynağı yerlerinde ağırlık tasarrufu, soğutma, yüksek performans, düşük maliyeti ile tercih nedenidir.

Mekanik sistemlerin (plastik şekillendirme, yataklama, kesme vb.) en önemli problemi olan sürtünme ve aşınma problemine karşı da bilinen en sert malzeme olmasından ötürü büyük bir kolaylık olarak suni elmas karışımıza çıkıyor. Bu sayede matris malzemesi daha hafif malzeme yüzeyi sert elmasla kaplanarak ağırlık tasarrufu ve ekonomiklik sağlanmış olmaktadır. Akustistik özellikleri bakımından da çok üstün özelliklere sahip olan bu malzeme bilinen en yüksek ses hızına sahip olduğundan yüzey akustik ekipmanlarında çok yüksek frekanslara çıkabilme-yi mümkün hale getirmiştir.

Gelelim bir diğer karbon formu olan ve elmasın kardeşleri mesabesindeki moleküllere. Bunlara İngilizcede "diamondoid" ler adı veriliyor. Türkçesi için bir şeyler uydurmak zorundayız. Bilimi üreten olamayınca bu tür kavram bulma zorluklarımız olması kaçınılmaz oluyor haliyle. Biz şimdilik buna elmas türevleri adını verelim. Bu türevler elmas kristallerinin H atomu ile sonlandırılması sonucu oluşmakta. İlk olarak J.E. Dahl ve arkadaşları tarafından ham petrol kaynak araştırmaları esnasında fark edildi. , Önceleri düşük sınıf türevler bilinmekte iken son zamanlarda yüksek sınıfları (4 veya daha fazla klastırın birleşmesi sonucu oluşan moleküller) tesbit edildi. Bunlara bir bakıma Hidrokarbon fazlar adıda verilmekte. Klastır adedine bağlı olarak düşük sınıflar adamantane, diamantane ve trimantane diye, yüksek sınıflar ise pentamantane, heptamantane vs diye adlandırılmaktadır. Şekil 8

Bu elmas türevleri elmasın varisleri olarak rijitlik, dayanıklılık, sıradışı pek çok kimyevi ve fiziki özellikler, kendi kendine eklenebilme potansiyelleri ile nanoteknolojinin ve moleküler boyutlu makinaların imalatının en gözde malzeme grubu olarak kabul edilmektedir. Bu demektir ki, nanoteknoloji aradığı malzemeyi bulmuş görünüyor. Geriye kalan bu temel bilgilerin pratiğe yani teknolojiye dönüştürülmesidir. Bu yüzden yazının başında belirttiğimiz gibi çağımız elmas çağı diye adlandırılrsa yeridir. Çünkü Nanoteknolojinin potansiyeli o kadar geniş ki, şu anda bununla insanoğlunun nerelere varacağını kestirmesi zor. Eğer bir konuda atılım, ilerleme sıçrama gerekiyorsa birinci olmazsa olmaz şartı bu hedefi taşıyabilecek/temin edecek malzeme ve uygulanabilir yöntem olacaktır. Böyle bir malzemenin ortada olmaması veya yöntemin geçersiz olması durumunda mefkurenin büyüklüğü, göz kamaştırıcılığı, inandırıcılığı bir kuru/ham hayal olmaya mahkumdur.

Dr. Yılmaz Özmen

AIST, Nanotechnology Research Institute,
Collaborative Research Team of Mesotechnology, JAPAN
yozmen@yahoo.com

Kaynaklar

- R. Feynman, Annual Meeting of APS, Caltech, Dec. 29, 1959.
- A. Mnyusiwalla, et.al., Nanotechnology, 14(2003)R9-R13
- F. Palacio, Nature, 2001, V. 413, s690
- L.C. Qin et al., Nature, 2000, V.408, s50
- K. Tsukagoshi et al., Nature, 1999, V.401, s572
- A.B. Dalton et al., Nature, 2003, V.423, s703
- K. Jiang et al., Nature, 2002, V.419, s801
- S.T. Lee et al., Science, 2000, V.287, s104
- T. Irifune et al., Nature, 2003, V. 421, s600
- Y. Gogotsi et al., Nature, 2001, V.411, s283
- J.E. Dahl et al., Nature, 1999, Nature, V.399, s54
- J.E. Dahl et al., Science, 2003, V.299, s96