

ÇÖL BÖCEĞİ VE NİLÜFER ÇİÇEĞİNDEN ÖĞRENDİKLERİMİZ

AKILLI NANOYÜZEYLER



Yılda ancak birkaç kez yağmur yüzü gören Afrika çöllerinde yaşayan bir böceğin hayatta kalmak için su ihtiyacını nasıl giderdiğini biliyor musunuz? Ya nilüfer çiçeğini yapraklarının nasıl her zaman temiz kaldığını? Siz hiç tonlarca ağırlığa sahip deniz hayvanlarının derilerine yapışan küçük deniz hayvanlarından ve yosunlardan dolayı hareket kabiliyetini kaybettiğine şahit oldunuz mu? Yağmur yağdığında sileceklere ihtiyacı olmayan otomobilleri, hiç buğu tutmayan banyo aynalarını, kalp damarlarına takılan ve hiç tıkanmayan stentleri, kendi kendini temizleyen bina cephelerini duydunuz mu? Bu makalede bütün bu soruların cevaplarıyla, akıllı mikro ve nano yüzeylerin hayatımızı nasıl kolaylaştırdığının örneklerini bulacaksınız.

Namib Çölü Böceği Sırtından Laboratuvara: Mükemmel Su Toplama Tekniği

Afrika'nın güneyindeki Namib çölünde yaşayan, kanatları yumrularla kaplı küçük çöl böceği Stenocara, toprağın bir damla suya hasret olduğu aşırı sıcak zamanlarda hayatını nasıl devam ettiriyor dersiniz? Atlantik okyanusu kıyısındaki Namib çölü dünyanın en az yağmur alan bölgelerinden birisi olarak bilinir. Az yağın yağmur da yüksek sıcaklıktan dolayı hemen buharlaşarak havaya karışır. Namib çölündeki tek nem kaynağı sabahın er-

ken saatlerinde Atlantik üzerinden esen rüzgardır. Çöl böceği, sabahın erken saatlerinde bir kum tepciğinin üzerinde kanatları rüzgara 45 derece açıyla bakacak şekilde durur ve nemli rüzgarın esmesini bekler. Rüzgarın içindeki normalden daha küçük su damlacıkları, Stenocara'nın kanatlarındaki yumruların üzerinde toplanmaya başlar. Birleşen su damlacıkları belirli bir büyüklüğe ulaştığında yer çekiminin etkisiyle aşağı doğru hızla yuvarlanıp çok kısa süre içerisinde böceğin ağzına düşerler. Böylece böcek taze sabah suyunu içmiş olur.

Çöl böceğinin hayatta kalmasını sağlayan kanatları üzerindeki mikro ve nano yapılar, bilimadamlarını hayretler içe-

risinde bırakıyor. Stenocaranın sahip olduğu akıllı yüzeylerin varlığı uzun yıllardır bilinmekle birlikte, ilk olarak İngiliz bilimadamları Andrew Parker ve Chris Lawrence tarafından 2001 yılında dünyaca ünlü Nature dergisinde yayımlanarak, gizem açığa çıkarıldı. Böceğin kanatları, işlevsel iki farklı yapıyı barındırmakta (Şekil 1). Kanatları kaplayan yumruların üzerinde 0.5 milimetre çapında yanardağ kraterini andıran çukurcuklar bulunuyor. Suyu sevmeyen süperhidrofobik özelliğe sahip yumrular, kanat üzerinde 0,5-1,5 milimetre aralıklarla dizilmiş ve üzerlerindeki çukurcuklar suyu seven hidrofilik özelliğe sahip bulunuyorlar. Sabah saatlerinde okyanus üzerinden esen rüzgar içeri-



Şekil 1: Çöl böceğinin sırtındaki su toplama mekanizmasının örnekleme.

sindeki 1-40 mikrometre (saç telinin kalınlığı yaklaşık olarak 50 mikrometredir) boyutlara sahip su damlacıkları, suyu seven çukurcuklarda toplanıp 4-5 milimetre çapına sahip büyük bir damla haline gelirler. Belirli bir büyüklüğe ulaşan bu damlalar yer çekiminin etkisiyle böceğin kanadından aşağı doğru yuvarlanmaya başlarlar. İşte bu andan itibaren üzeri cilayla kaplı süperhidrofobik, sudan nefret eden, yüzeyler devreye girer. Yumruları ve arasındaki olukları altıgen bir yapı oluşturacak şekilde kaplayan 10 mikrometre boyutlarındaki yarı küresel süperhidrofobik yüzey, suyun buharlaşmasına fırsat vermeden böceğin ağzına iletme görevini başarıyla yerine getirir. Suyu iten bu yüzeylerin altıgen şeklinde dizili olmasının nedeni mümkün olduğunca çok yeri bu yüzeyleri üst üste bindirmeden kaplayabilmek; yani az malzemeyle maksimum alanı kaplamak. Eğer oluklar süperhidrofobik olmasalardı, su aşağıya doğru ilerlerken rüzgardan dolayı başka yöne akabilir ya da sıcaklığın etkisiyle buharlaşabilirdi.



Şekil 2: Stenocararın sırtındaki mükemmel su toplama tekniğinin laboratuvar ortamında oluşturulması.

Bir kaç ay önce ABD deki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki (MIT) araştırmacılar tarafından laboratuvar ortamında kopyalanan bu akıllı yüzeylerin, insanoğlunun hayatını kolaylaştıracak uygulamalarda kullanılması beklenmektedir. Bilimadamları, farklı elektrik yüklerine sahip polimerleri katmanlar halinde büyütürken benzer özelliklere sahip fonksiyonel yüzeyleri elde etmeyi başardılar (Şekil 2). Bu çalışmada kullanılan yöntem için PEM kaplama tekniğine bakınız.

Süperhidrofobik ve süperhidrofilik yapıların Stenocara'nın yüzeyindeki dizilişine benzer bir düzenlemeyle elde edilecek yüzeylerde verimli ve ucuz bir su toplama yöntemi geliştirmek mümkün olabilir. Çöl ya da dağ gezilerine giden insanlar, yanlarında günlerce yetecek su taşımaktansa sadece böyle yüzeye sahip bir çadır kullanarak hem su gereksinimlerini hem de barınma ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Suyun az bulunduğu bölgelerde yaşayanlar, bu teknik sayesinde içme sularını verimli ve ucuz bir şekilde elde edebilirler. Ay-

rica düzenli bir şekilde dizilmiş süperhidrofilik ve süperhidrofobik yüzeyler seçici bir şekilde sadece istenilen yere ilaç verebilmek için de kullanılabilirler. Son söz olarak, bilimadamlarının daha verimli ve fonksiyonel yüzeyler elde edebilmeleri için, Stenocarada bulunan ısıyı yansıtan yüzey fonksiyonunu da kopyalayıp su itici-çekici yüzeylerle birleştirmeleri gerektiğini söyleyerek bu konuyu kapatalım.

Kendi Kendini Temizleyen Nanoyüzeyler: Nilüfer Yaprağı

Doğadan süperhidrofobik yüzeylere verebileceğimiz en bilinen örneklerden biri, nilüfer çiçeği (Şekil 3). Nilüfer çiçeğinin yaprakları her zaman temizdir, üzerinde toz barındırmaz. Bu yapraklar, birbirinden 10-15 mikrometre uzaklıkta bulunan ve 5-10 mikrometre çapında olan küçük yumrucuklarla kaplı olurlar. Bunların yanı sıra bütün yüzey 1 nanometre çapındaki hidrofobik tabaka ile örtülüdür. Su damlacıkları yaprak yüzeyine temas ettiğinde, hem hidrofobik kaplamadan, hem de yüzey pürüzlülüğünden dolayı 170 dereceye yakın bir değme açısı oluştururlar. Bir yüzeyin kendini temizleme özelliğine sahip olması için sadece süperhidrofobik olması yeterli değil; bunun yanı sıra su damlasının yuvarlanması için yüzeye verilen açı-

Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzey Nedir?

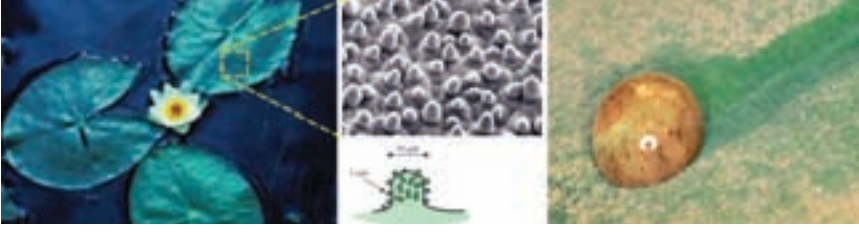
Yunancada "hydro" 'su', "phobos" 'korku', "philia" ise 'arkadaşlık' anlamına gelir. Bunları sırası ile birleştirirsek hidrofobik sudan korkan, yani suyu sevmeyen; hidrofilik ise suyla arkadaş yani suyu seven anlamına geliyor. Süperhidrofobik ve süperhidrofilik ise sudan nefret eden ve suyu çok seven demektir. Bu yüzeyler suyla yaptıkları değme açısına göre adlandırılırlar. Değme açısı bir katının bir sıvı tarafından ıslatılma miktarının nicel ölçümüdür. Değme açısı, (ı), 90 dereceden küçükse sıvı yüzeyi ıslatıyor; ı, 90 dereceden büyükse ıslatmıyor denir. Su damlası yüzeyde yayılma eğilimi gösteriyorsa buna hidrofilik yüzey; damla yayılmak yerine

küresel bir şekilde durma eğilimi gösteriyorsa hidrofobik yüzey adı verilir. Eğer yüzeyler bu eğilimleri çok fazla gösteriyorsa, yani su damlası tamamen yayılıyorsa ve yüzeye yaptığı açı 5 dereceden küçükse (0 dereceye yaklaşıyorsa) buna süperhidrofilik; damla neredeyse küresel bir şekilde duruyorsa ve yüzeye yaptığı açı 150 dereceden büyükse (180 dereceye yaklaşıyorsa) süperhidrofobik yüzeyler denir.

Değme açısını etkileyen en önemli faktörler katının yüzey enerjisi ve pürüzlülüğüdür. Yüzey enerjisi, yüzey gerilimi sonucu ortaya çıkar. Bir kristal yapısı düşünürsek, bu kristalin içindeki bir atom her yönden çekme kuvvetine

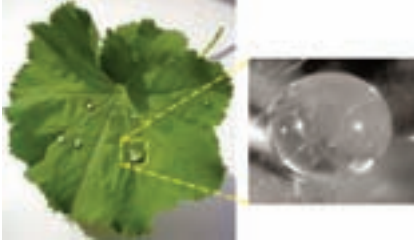
maruz kaldığı için kararlı bir şekilde yerini koruyabilir. Yüzey atomları için aynı durum söz konusu değildir. Yüzey atomu, içerideki bir atoma uygulanan çekme kuvvetinin yarısını hisseder ve bu yüzden yüzeyden kopma eğilimi gösterir bu da yüzey gerilimi yaratır. Yüzey gerilimi düştükçe temas açısı da düşer. Yüzey pürüzlülüğünün artması ise hem hidrofilik hem hidrofobik özelliklerin artmasına neden olur. Hatta pürüzlülük olmadan ulaşılabilecek maksimum değme açısı hidrofobik bir yüzey için 120 dereceyi geçemez. Pürüzlülük yüzeyle su damlası arasında hava sıkışmasını sağladığı için aradaki etkileşme miktarını da düşürür, dolayısıyla değme açısı hidrofobik yüzeylerde artar.





Şekil 3: Nilüfer çiçeğinin kendi kendini temizleyen yaprakları ve yapraklar üzerindeki nano ve mikro yapılar.

nın da 5 dereceden az olması gerekmektedir. Eğer bir yüzey nilüfer yaprağında olduğu gibi hem süperhidrofobik hem de 5 dereceden daha küçük kayma açısına sahipse, yüzeydeki kirler su damlacığının yüzeyine yapışır ve onunla birlikte yuvarlanarak yüzeyi terk ederler.



Şekil 4: Arslanpençesi yaprağı üzerindeki su damlacıkları.

Hidrofobik yapı hemen hemen bütün bitkilerde bulunur. Yağmurdan sonra bir doğa gezisine çıkıp bitkilerin yapraklarına dikkatlice bakarsanız, su damlacıklarının genelde yayılmak yerine farklı bölgelerde toplandıklarını görürsünüz. Ama pek çok bitkide damlacıklar, nilüferdeki gibi küçük bir eğimle kaymak yerine yüzeye yapıştıkları için, bu bitkiler kendi kendilerini temizleyemezler.

Arslanpençesi (Lady's Mantle) doğadan verebileceğimiz süperhidrofobik ya da süperhidrofilik olmamasına rağmen 180 dereceye yakın değme açısı gösteren bir çiçek (Şekil 4). Bu çiçeğin yapraklarının yüzeyi (katikula tabakası) saçsı yapılarla kaplıdır. Bu yaprak



Şekil 5: Yağmur damlalarının tutunmasını engelleyen, suyu iten renk cümbüşü kelebek kanadı.

üzerine düşen bir su damlası, yüzeye temas ettiğinde yüzey tarafından itilir ve yuvarlak bir şekil alır. Saçcıklar ve su damlası arasında çekme kuvveti olduğundan, damlanın düşmesinden kısa bir süre sonra etrafında damlayla temas halinde bir saç demeti oluşur ve bu saçlar damlayı yüzeyden yukarı kaldırarak yüzeye temasını neredeyse tamamen keser. Bu damlanın da yuvarlanmasıyla ne yüzeyde ne de saçcıklarda hiç toz kalmaz ve bu bitki de kendi kendini temizlemiş olur.

Süperhidrofobik yüzeyler kanatlı bir çok hayvanda da mevcuttur. Bazı

kelebeklerin kanatları suyu iten nano yapılarla sahip olmanın yanında, üzerine düşen ışığı yansıtan veya saçtıran nanofotonik örgülere sahip olurlar (Şekil 5). Bu düzenli örgüler (nanofotonik kristal) sayesinde, kelebeğin kanadı rengarenk görünür (Detaylı bilgi için Aralık 2006 Bilim Teknik dergisinin Yeni Ufuklara ekine bakınız).

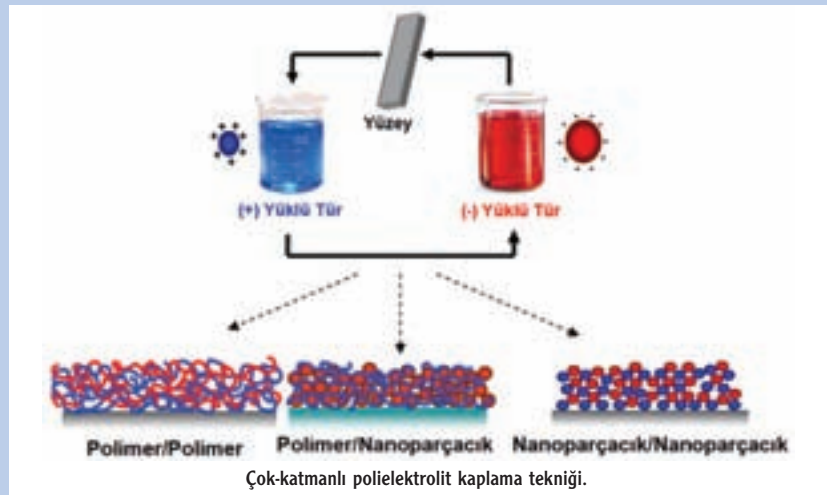
Akıllı Nanoyüzeyler: Kendi Kendini Temizleyen Boyalardan, Tıkanmayan Kalp Stentlerine

Son yıllarda akıllı mikro ve nanoyüzeyler üzerinde yapılan araştırmaların artmasının en önemli nedeni bu yüzeylerin pek çok uygulama alanına sahip olması. Süperhidrofobik ve süperhidrofilik yüzeylerin en belirgin özelliği, kendi kendini temizleyebilmeleridir. Süperhidrofilik yüzeylerde temizlenme

Katman Katman Eklenebilen İşlevsellik: PEM Kaplama Tekniği

Çok-katmanlı polielektrolit kaplamalar, artı ve eksi yüklü polimer veya nanoparçacıkların sırası ile, kat kat yüzeylere elektrostatik kuvvetler aracılığıyla yapılandırılmaları ile oluşurlar. Örneğin eksi yüklü bir yüzey artı yüklü bir polimer çözeltisine daldırıldığında, polimer zincirleri yüzeye yapışır. Fakat doğru şartlar altında yüzeydeki eksi yükü nötralize etmek için yeterli miktardan fazla polimer zinciri yapışır ve yüzey artı bir yük kazanır. Ardından, bu artı yüklü yüzey eksi yüklü silikon dioksit nanoparçacığı çözeltisine daldırıldığında bu defa nanoparçacıklar yüzeye yapışır ve yüzey ilk baştaki eksi yüklü haline dönerek halkayı tamamlar. Bu şekilde çok farklı fonksiyonlara sahip polimerler ve nanoparçacıklar, ilginç işlevleriyle beraber, yüzey-

lere katman katman kaplanabilirler. Daha önce bahsettiğimiz buğu yapmayan kaplamalar bu teknikte elde edilebilmektedir. Eğer artı yüklü solüsyon, polimer yerine titanyum dioksit nanoparçacığı solüsyonu olursa organik kirlere karşı koruyucu özelliğini kendi kendine koruyabilen bir kaplama elde edilir. Yeterince pürüzlü bir buğu yapmayan yüzey Teflon-benzeri bir floropolimerle kaplandığında süperhidrofobik özelliklere ulaşılabilir. Zira makalenin başlangıcında sözünü ettiğimiz çöl böceğinin sırtını taklit eden yüzeyler çok-katmanlı polielektrolit kaplamaları desenlendirerek elde edilmişlerdir. Bahsettiğimiz kaplamaların bir büyük avantajı da hayale gelen tüm yüzey geometrilerine uygulanabilir olmalarıdır.





Şekil 6: Buğulanmayan banyo aynası ve açık havada durmasına rağmen kendi kendini temizlediği için kirlenmeyen çadır.

yayılan suyun akarken yüzeydeki kiri de beraberinde sürüklemesiyle gerçekleşirken; süperhidrofobik yüzeylerde ise yuvarlanan damlacıkların üzerine kirin tutunmasıyla gerçekleşir.

Süperhidrofobik ve süperhidrofilik yapılar, kaplama yöntemiyle şeffaf bir şekilde camlara kaplanabiliyorlar. Süperhidrofilik bir kaplamaya sahip bir ayna hiç buğulanmaz; çünkü su damlacıkları ayna yüzeyini tamamen kaplar. İnce bir su tabakasının altındaki aynadaki görüntü rahatlıkla görülebilir (Şekil 6). Araba camlarının iç yüzeyi aynı şekilde kaplandığı takdirde hava ne kadar soğuk olursa olsun, cam içten buğulanmaz. Dış mekanda kullanılan camlarsa süperhidrofobik kaplamalarla kaplandıkları takdirde hem hep temiz kalır hem de üzerlerine gelen su damlacıkları hemen yuvarlanıp gideceği için görüşü olumsuz etkilemez.

Boyalara çapları nanometre mertebesinde süperhidrofobik ve hidrofilik parçacıklar katılarak, binaların dış cephe duvarlarının her zaman temiz kalmaları sağlanabilir. Kalp damarlarına takılan stentlerin iç yüzeylerinin süperhidrofobik malzemeyle kaplanmasıyla, stentlerin iç çeperleri daha kaygan hale geldiğinden, stentlerin tıkanması engellenmiş olur. Son zamanlarda kullanılmaya başlanan bu yeni nesil

stentler, bütün dünyada yıllık 3 milyar dolar düzeyinde pazar payı yakalamış bulunuyor.

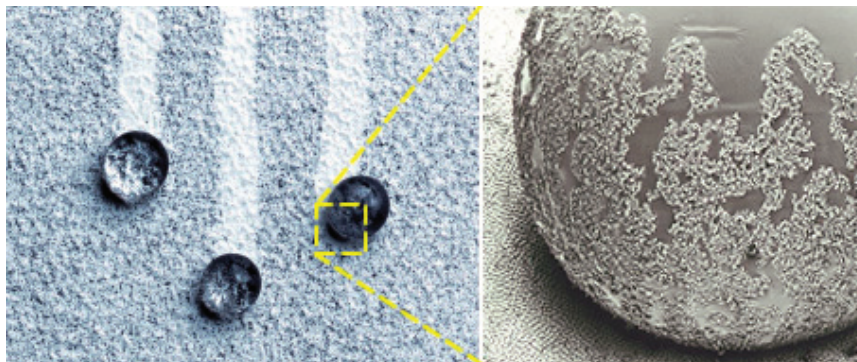
Bazı süperhidrofilik yüzeyler (titanyum dioksit kaplı yüzeyler) morötesi ışıktaki (UV) aktive olup radikaller oluşturabilirler. Oluşan bu radikaller yüzeye tutunmuş organik kirleri parçalama yeteneğine sahiptirler ve böylelikle kirlerin suyla uzaklaştırılmasını kolaylaştırırlar (Şekil 7). Titanyum dioksit içeren kaplamalar, kirlerin temizlenmesinin yanı sıra dezenfektasyonun da kendiliğinden olmasını sağlıyorlar. Güneş ışığı titanyum dioksit parçacıklarını aktive eder ve oluşan radikaller yüzeydeki bakterileri ve mikropları öldürür.

Titanyum dioksit, içindeki bazı oksijen atomları azot atomları ile değiştirildiği zaman görünür ışıktaki da aktive olur, böylelikle çok daha aktif olmanın yanı sıra güneş ışığına olan bağımlılıktan da kurtulmuş olunur. Titanyum dioksit güneş ışığı olmadığı sürece hidroforobik özellik gösterip kirlerini temizleyemezken azot katkılanmış yüzey, lamba ışığında bile aktif hale gelip kendini temizleyebilir.

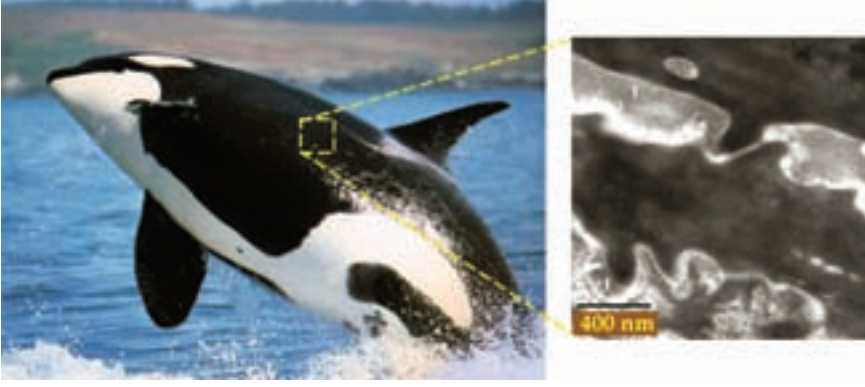
Süperhidrofobik ve süperhidrofilik yüzeyler mikro akışkanlarda karışmayı sağlamak ya da engellemek için kullanılabilirler. Mikro akışkanlar, içerisinde

de nanolitre ya da pikolitre mertebesinde sıvı bulunduran kanallardır. Bu mikro seviyedeki sistemler makro seviyedekilere göre çok farklı özellikler gösterirler. Bu farklılıktan ötürü makro kanallarda gerçekleşen karışma gibi olaylar, mikro kanallarda aynı şekilde gerçekleşmeyebilir. Örneğin mikro kanalın içinden aynı anda dört farklı sıvıyı bir uçtan verirseniz, kanalınız düzgünse ve içeride hava kabarcığı kalmadıysa diğer ucundan çıkarken hiç karışmadıklarını görürsünüz. Bu sistemlerde karışmayı desteklemek için süperhidrofobik ve süper süperhidrofilik yüzeyleri kullanabiliriz. Kıvrım noktalarında uzun olan bükümde sıvılar kısa olana göre daha uzun zaman kaybettikleri için, karışma bu noktalarda daha fazla olur. Büküm noktalarında gerek uzun kısma süperhidrofilik kaplama yaparak gerekse kısa kısma süperhidrofobik kaplama yaparak karışmayı desteklemek mümkündür. Bu mekanizma, mikro akışkanlarda hızlı reaksiyon gerçekleştirmek için de kullanılabilir.

Süperhidrofobik kaplamalar gemilerin suda kalan yüzeylerinde hem denizdeki canlıların yüzeye tutunmasını hem de sürtünmeyi engellemek için kullanılabilirler (Şekil 8). Bunun için balinalar örnek alınabilir. Balinaların yüzeyleri her zaman temizdir ve büyük küsselerine göre çok hızlı hareket ederler. Bunun sırrı, yüzeylerinde bulunan 30 nanometre boyutlarındaki pürüzler ve 0.1-200 mikrometre çapındaki sırayla tekrarlanan hidroforobik ve hidrofilik tabakalardır. Balinanın jel kaplı kaygan yüzeyi mikro organizmaların tutunmasına izin verecek oyuklar barındırmadığı için balinanın derisine yapışmaya çalışan organizmalar suda bulunan hava kabarcıklarının araya girmesi ya da balinanın atlaması sonucu tamamen yüzeyden uzaklaştırılmış olur. Aynı zamanda hidroforobik deri tabakası sürtünmeyi de azaltmış olduğu için balina iri küssesinden beklenmeyecek hıza ulaşabilir. Uçak ve arabalar için de süperhidrofobik kaplamalar nemli havayla olan sürtünmeyi azaltmak için kullanılabilir. Bunun dışında yağlara karşı çok yüksek değme açısına sahip yüzeyler geliştirilip makine ve motorlarda sürtünmeden kaybedilen enerjiden tasarruf sağlanabilir.



Şekil 7: Süperhidrofobik yüzey üzerinde su damlacıklarıyla birlikte yuvarlanan tozlar.



Şekil 8: Deniz canlılarının ve yosunların tutunamadığı nanoyapıya sahip jel kaplı deri.

Geleceğe Yönelik Beklentiler

Yakın bir gelecekte akıllı yüzeyler hemen her yerde karşımıza çıkacak. Yer kürenin dörtte üçünün suyla kaplı olmasının yanı sıra suyun insanlar için hayati bir öneme sahip olması da onu hayatımızın her safhasına sokuyor. İleride giysiler, camlar, betonlar, boyalar, elektronik aletler, iç ve dış cephe kap-

lamaları, dış etkenlere maruz kalacak ve temiz kalmasını istediğimiz her şey süperhidrofobik ve süperhidrofilik parçacıklar içerecek ya da tamamen bunlarla kaplanmış olacak. Bunun yanı sıra tıbbi ve kimyasal alanda da çeşitli uygulama alanlarına sahip olmaları beklenmekte. İlaçlar bu yüzeylere enjekte edilip hastalıklı bölgeye istenilen miktarlarda ve şimdikinden daha etkili bir şekilde verilebilir. Reaksiyonlar bu

yüzeylerde gerçekleştirilerek daha yüksek verim sağlanabilir. Sürtünmeden dolayı kaybolan enerji minimuma indirilebilir ve böylelikle yakıttan da tasarruf sağlanabilir. Temizlik için kullanılan malzemelerden ve bunlara harcanan paralardan tasarruf edilebilir ve bunun yanı sıra temizlik malzemelerinin çevrede yarattığı kimyasal kirlilik de önlenmiş olur. Temizlemeden kaynaklanan yüzey aşınması da engelleneceği için malzemelerin ömrü de artış gösterir.

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde Neler Yapılacak?

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (UNAM) akıllı mikro ve nano yapıları yüzeylerin elde edilmesi için çalışmalar başlamış bulunuyor. Bu yüzeylerin; suyu iten, çeken ve kendi kendini temizleyen özellikleri sayesinde farklı uygulamalarda kullanılması düşünülmekte. İlk etapta aerojeller sentezlenerek, üzerlerinde süperhidrofobik ve süperhidrofilik yüzeyler yaratılacak. Benzer yüzeylerin optik veya elektron-demeti litografi yöntemiyle çip üzerinde üretilmesi için çalışmalar devam etmekte. Suyu itme özelliğine sahip liflerin termal-çekme yöntemiyle üretilerek, kirlenmeyen kumaşlarda kullanılması; en önemli ihracat kaynağımız olan tekstil endüstrimize katma değer sağlayacak. Buğulanmayan uçak camları, yosun tutmayan denizaltı periskopları, kaydırıcı, kir tutmayan ve antimikrobiyel boyalar için bu akıllı nanoyüzeylerin kullanılması düşünülüyor.

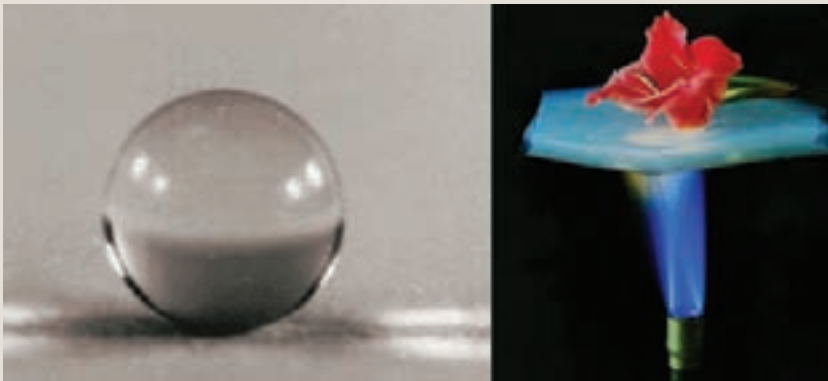
Çok İşlevsel, Akıllı Nanoyüzeyler: Aerojeller

Aerojeller genel olarak yarı şeffaf, beyaz ve köpük gibi görünen malzemelerdir. Yapıları 3 boyutlu bir ağa benzer; 3-4 nanometre çapındaki küresel taneciklerin birbirine tutunmasından oluşmuş 30-40 nanometre çapındaki deliklerden oluşurlar. Çok gözenekli bir yapıya sahip aerojellerin bazıları bir gramında 1000 m² yüzey alanına sahiptir. 1931 yılında keşfedilen aerojellerin üretiminde temel olarak kullanılan malzeme silika olsa da günümüzde değişik uygulamalar için karbon ve organik içerikli aerojeller de üretilmektedir. Sahip oldukları bazı alternatifsiz özelliklerinden dolayı bir çok uygulamalarda kullanılıyor.

Aerojeller, hem süperhidrofobik hem de süperhidrofilik olarak sentezlenebilirler. Hatta süperhidrofobik bir aerjel elde edip sonra yapılarındaki birkaç hidrofobik grubu kopartarak ka-

dar ısıtarak aynı yüzeyi hidrofilik hale getirmek de mümkündür. Isı iletkenliklerinin çok düşük olmasından dolayı aerojeller, bina dış cephe kaplamalarında ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında, aerojeller, katı maddeler içerisinde en düşük kırılma indisine ($n=1.0-1.05$) sahip malzemelerden birisi; bu özelliği görünür ışığı %95 oranında geçirmesiyle birleşince, nanoseviyede görüntüleme dahil bir çok uygulamada kullanılabilir.

Aerojellerin diğer bazı özellikleri düşük ses geçirgenlikleri, radyasyona karşı dayanıklı olmaları, bazı dalgaboylarında ışığı soğurmalara, çok düşük yoğunluğa sahip olmaları, içlerinde aktif karbondan iki kat fazla parçacık tutabilmeleri, esnek olarak elde edilebilmeleri, en düşük elektriksel yalıtıcılık sabitine sahip olmaları olarak sayılabilir.



Süperhidrofobik özelliğe sahip aerjel yüzeyindeki su damlası. Aerojeller, çok düşük ısı iletkenliğine sahip olduklarından, ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Hülya Özgür^{1,4}

Zekeriyya Gemici²

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Bayındır^{3,4}

¹Bilkent Üniversitesi Kimya Bölümü

²Massachusetts Teknoloji Enstitüsü

³Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümü

⁴Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (İletişim: mb@nano.bilkent.edu.tr)

Kaynaklar

1. A. R. Parker ve C. R. Lawrence, Water Capture by a Desert Beetle, *Nature*, 1 Kasım 2001.
2. R. Blossey, Self-Cleaning Surfaces-Virtual Realities, *Nature Materials*, Mayıs 2003.
3. A. Otten ve S. Herminghaus, How Plants Keep Dry: A Physicist's Point of View, *Langmuir*, 16 Mart 2004.
4. L. Zhai ve meslektaşları, Patterned Superhydrophobic Surfaces: Toward a Synthetic Mimic of the Namib Desert Beetle, *Nano Letters*, 2 Mayıs 2006.
5. D. Lee, M. F. Rubner, R. E. Cohen, All-Nanoparticle Thin-Film Coatings. *Nano Letters*, Yakında çıkacak.