



# Kir Tutmayan Yüzeyler

Bir su damlasının davranışının günlük hayatımızda ne denli büyük bir öneme sahip olabileceğini hiç düşündünüz mü? Örneğin ev ve otomobil camlarınızın sürekli temiz kalmasını istemez misiniz? Kışın trafik lambalarının üzerinin buz tutmamasını, uydu anteninizin bir karış karla kaplanması yüzünden televizyondaki görüntünün bozulmamasını? Bütün bu soruların cevabını araştırmak için bir su damlasından başlamak üzere bizimle beraber bir bilgi yolculuğuna çıkmaya hazır mısınız?

## Yüzeylerin Islatılabilirliği

Katı yüzeylerin sıvılar tarafından ıslatılma yeteneğinin belirlenmesi, yüzey kimyası ve fiziğinin ilginç ve önemli konularından biridir. Bir sıvı damlası, katı bir yüzeye temas ettiğinde ya damla halinde kalır ya da ince bir film oluşturacak şekilde yayılır. Damlanın yatay görüntüsü üzerinde teğet çizilerek temas açısı ölçülür.

## Yüzey Gerilimi ve Serbest Yüzey Enerjisi Nedir?

Sıvı içindeki bir molekül, kendisine komşu diğer moleküller tarafından her yönden eşit bir kuvvetle çekilir ve bu molekülü çevreleyen moleküller de genelde simetrik olduğundan, bu moleküle etki yapan kuvvetlerin bileşkesi sıfır kabul edilir. Ancak sıvı yüzeyinde durum böyle değildir. Sıvının yüzeyindeki bir molekül üzerinde başka hiçbir molekül olmadığından, altındaki komşu moleküllerin etkisiyle içeri doğru çekilir. Aynı şekilde, yüzeydeki bütün moleküller üzerinde de onları içeri çeken kuvvetler etkili olduğundan, bunların arasındaki mesafe az miktarda açılır ve sıvı yüzeyindeki moleküller arasındaki ortalama mesafe, sıvı içindeki moleküller arasındaki ortalama mesafeden daha fazla olur. Bu mesafe artışının yarattığı gerilime "sıvının yüzey gerilimi" denir ve sıvı yüzeyi sanki gözle görülmeyen bir zarla kaplıymış gibi davranır. "Serbest yüzey enerjisi" ise sabit sıcaklık koşulları altında, bir sıvının yüzeyini 1 m<sup>2</sup> genişletmek için harcanması gereken enerjidir. Sıvılarda yüzey gerilimi ile serbest yüzey enerjisi arasında nümerik olarak fark yoktur ancak birimleri farklıdır.

Sıvıların yüzey gerilimi doğrudan ölçülebilir. Ölçüm yöntemleri statik ve dinamik yöntemler olarak ikiye ayrılmıştır. Statik yöntemler belirli bir zaman aralığında değişmeden kalan yüzeylerin yüzey gerilimini ölçme yöntemleridir. Kapiler boruda sıvı yükselmesi, damla ağırlığı ve maksimum baloncuk basıncı yöntemleri statik yöntemlere örnektir. Ayrıca sıvı yüzeyinden halka ve plaka koparıma direncine dayanan yöntemler de vardır. Dinamik yöntemler ise genişlemekte ya da daralmakta olan, henüz dengeye gelmemiş yüzeylerin gerilimini ölçmekte kullanılan yöntemlerdir.

Katı yüzeylerde de aynı sıvılardaki gibi moleküllerdeki denkleşmemiş kuvvetlerin etkilerinden dolayı serbest bir enerji meydana gelir, ancak katı yüzeydeki serbest yüzey enerjisi her noktada aynı değildir çünkü sıvı molekülleri sıvı yüzeyinde sürekli hareket halindeyken katı yüzeyinde böyle bir hareket yoktur. Katılar koparma sonucunda da deformasyona uğrar, bundan dolayı katıların yüzey gerilimi sıvılarda olduğu gibi doğrudan kopma direnci testleriyle ölçülemez.



Prof. Dr. H. Yıldırım Erbil, İÜ Kimya Fak., Kimya Yüksek Müh. Bölümü'nü 1977'de bitirdi. Yüksek Lisansını, 1977-1978 yıllarında İngiltere, Aston Üniversitesi'nde yaptı. 1982-1985 arasında İTÜ'de doktorasını tamamladı. 15 yıl TÜBİTAK-MAM'da çalıştı ve burada 1988'de Doçent oldu. 2004 yılından beri GYTE Kimya Mühendisliği Bölümü'nde çalışmalarını sürdürüyor. Temel çalışma konusu polimerlerin yüzey özellikleridir. İngiltere ve Amerika'da yayımlanan 2 kitabı ve muhtelif kitap bölümleri var.



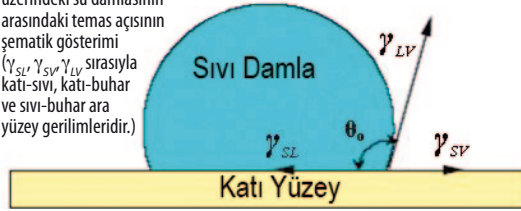
Arş. Gör. İkrime Orkan Uçar, Kocaeli Üniversitesi, Kimya Bölümü'nü 2003 yılında bitirdi. Yüksek lisansını Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü'nde 2006 yılında tamamladı. Aynı yıl, aynı bölümde Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak doktora eğitimine başladı ve halen devam etmektedir.

Şekil 2. Su damlası ile verdiği açığa göre karakterize edilen yüzey çeşitleri

## Temas Açısı Nedir?

Katıların yüzey gerilimi sıvılarınki gibi doğru- dan ölçülemediği için katı bir yüzey bir sıvı ile temas ettiğinde meydana gelen etkileşimleri göz- lemlemeye dayanan yöntemler geliştirilmiştir. “Te- mas açısı”, düz ve yatay duran bir katı yüzey ile bu katı yüzey üzerinde oluşturulan sıvı damlası ara- sında katı, sıvı ve hava (buhar) fazlarının kesiştiği noktada oluşan teğetin açısıdır (Şekil 1).

Şekil 1. Katı yüzey ile üzerindeki su damlasının arasındaki temas açısının şematik gösterimi ( $\gamma_{SL}$ ,  $\gamma_{SV}$ ,  $\gamma_{LV}$  sırasıyla katı-sıvı, katı-buhar ve sıvı-buhar ara yüzey gerilimleridir.)



Temas açısı ölçümlerinde çok fazla uçucu ve kı- vamlı olmayan herhangi bir sıvı damlası (su, organik sıvılar, cıva gibi sıvı metaller dahil) kullanılabilir. Dam- la hacmi, yerçekiminden kaynaklanan etkiyi kaldır- mak için 5-15 µl gibi küçük bir hacimde tutulur.

Temas açısının büyüklüğü, sıvının kendi molekül- leri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetle- ri) ile sıvı-katı arası çekim kuvvetlerinin (adezyon kuv- vetleri) göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Kohezyon kuv- vetlerinin büyüklüğü, adezyon kuvvetlerinin büyük- lüğünden ne kadar fazla ise, sıvı-katı arasındaki temas açısı da o denli fazla olur. Yani düşük açı değerleri güç- lü bir katı-sıvı etkileşmesini gösterir. Bu durumda sı- vı katıyı iyi ıslatır ve katı üzerinde yayılır. Yüksek te- mas açısı değerleri ise zayıf katı-sıvı etkileşimini gös- terir. Temas açısı eğer 90°den küçükse su katıyı ıslatı- yor demektir ve böyle yüzeyler “hidrofilik” olarak nite- lendirilir. Temas açısı 90°den büyük bir yüzey ise ıslan-mayan yani “hidrofobik” bir yüzeydir. Tam küresel bir damla için temas açısı değeri 180°dir ve pratikte nadi- ren gözlenir. Bunun tersine, mükemmel (tam) bir ıslat- ma için temas açısının 0° olması gerekir. Bu durum- da olan bir sıvı, katı yüzey üzerine ince bir tabaka ha- linde yayılır. Diğer taraftan, sıvıların ölçülen yüzey ge-

rilimlerinden ve katı üzerinde bu sıvıların temas açıla- rından yararlanılarak türetilen denklemlerle katıların yüzey gerilimleri de hesaplanabilir.

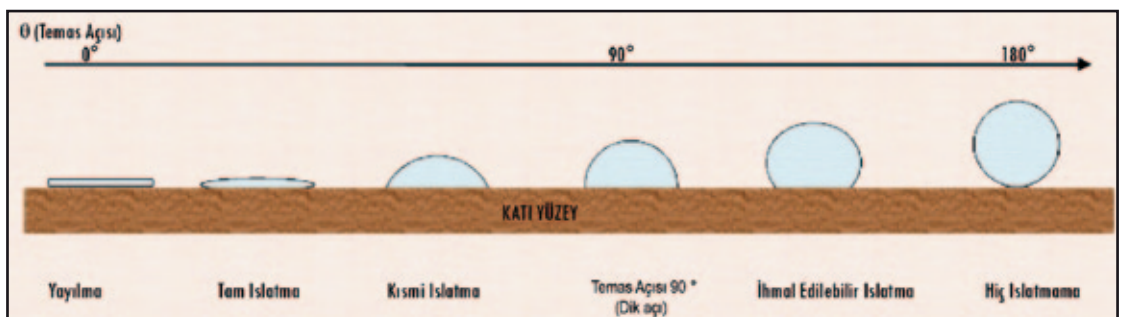
Katı bir yüzey üzerinde su damlasının temas açısı 150°den büyükse, o zaman bu yüzey “süperhidrofo- bik”, söz konusu sıvı bir yağ (hidrokarbon) damlası olduğunda ve bu açı 150°den büyük olduğunda ise “süperoleofobik” olarak adlandırılır. (Şekil 2).

## Kayma Açısı Nedir?

Katıyı hiç ıslatmayan bir damla, hafifçe eğim veri- len bir yüzey üzerine bırakıldığında, tıpkı katı bir top gibi kaymadan ve yapışmadan yuvarlanma özelliğine sahiptir. Katıyı kısmen ıslatan damlalar ise bir zemin üzerine yapışır ve yuvarlanarak değil kayarak yer de- ğiştirir (Şekil 3). Yüzeye bir eğim verildiğinde damla- nın temas açısı, ilerleyen sıvı kenarında maksimum, gerileyen sıvı kenarında ise minimum değerine ula- şır ve damla hareketine devam eder. Bu maksimum ve minimum değerler sırasıyla “ilerleme” ve “gerileme” temas açıları, aralarındaki fark da “temas açısı karma- şası” olarak adlandırılır (Şekil 4). Temas açısı karma- şası değeri, ideal bir yüzey halinden sapmayı gösterir. Yüzey ne kadar düz, homojen, temiz ise o kadar ideale yakın olur; ilerleme ve gerileme açıları arasındaki fark da o kadar az olur. Katı yüzeydeki pürüzlülük, kimya- sal heterojenlik ve kirlilik, ölçülen temas açısı karma- şasını artıran faktörlerdir. En önemli faktör olan yüzey pürüzlülüğü arttıkça, ilerleme ve gerileme açıları arasındaki fark da artar. Damlanın yüzey üzerinden kayabilmesi için gerekli açı ise “kayma açısı” olarak tanımlanır ve süperhidrofobik yüzeyler için 5°den küçüktür.

## Doğal Süperhidrofobik Yüzeyler: Nilüfer (Lotus) Etkisi

Süperhidrofobikliğin bilim dünyası ile tanışma- sı, çamurlu ve kirli ortamlarda yapraklarının hep tem- iz olması ile bilinen nilüfer çiçeğinin yaprakları- nın incelenmesi ile başlamıştır. Nilüfer çiçeği, yap- raklarının kendini temizleme özelliğinden dolayı





Şekil 3. Su damlası süperhidrofobik yüzey üzerinde adeta bilya gibi yuvarlanarak toz ve pislikleri temizliyor. ( $\theta$  = kayma açısı)



Şekil 4. Temas açısı karmaşasının şematik gösterimi ( $\theta$  = denge temas açısı,  $\theta_A$  = ilerleme temas açısı,  $\theta_R$  = gerileme temas açısı)

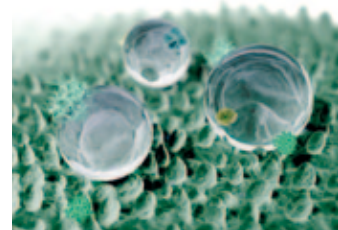
pek çok Asya kültüründe saflığın ve temizliğin sembolü kabul edilir. Bilim adamları, bu bitkinin yaprağının üzerine gelen toz tanelerini belli bir noktaya yönlendirdiğini, aynı noktaya doğru yönlendirilen yağmur damlalarının da bu tozları süpürerek geride tertemiz bir yaprak yüzeyi bıraktığını fark etti. Bu da, akla acaba bu yüzey nasıl bir yapıya sahip ki bu şekilde bir davranış sergiliyor sorusunu getirdi. Son yıllarda taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanımının yaygınlaşmasıyla, makroskopik olarak düzgün görünen bir yüzeyin mikroskopik ölçekte yüksek miktarda pürüzlülük içerdiği ortaya çıktı. Mikro

ve nano büyüklükteki hidrofobik balmumu kristallerini yüzeyinde bir arada bulunduran nilüfer yaprağı da bu biyolojik yüzeylere örnektir. Şekil 5'te nilüfer çiçeği yaprağı üzerinde duran küresel su damlaları ve nilüfer çiçeği bitkisinin yaprağının bilgisayar ortamında oluşturulmuş görüntüsü yer alıyor.

Nilüfer yaprağı herhangi bir cisim ile temas ettiğinde yüzeyindeki temas alanını minimize eden çok sayıda mikro ve nano yapıların bileşiminden oluşur. Mikro yapılı epidermal hücreler nano büyüklükteki balmumu kristalleri ile örtülmüştür. Bu pürüzlerin arası hava paketçikleri ile doludur. Balmumu kristallerinin zor ıslanabilir olmasından ve çok sayıda hava paketçiklerinin varlığından dolayı yüzeydeki su damlaları küresel damlalar oluşturur, çünkü belli bir hacim için en küçük yüzey alanına sahip geometrik cisim küredir. Ayrıca yüzeydeki kirler, genellikle yaprakların pürüzlü yapısından büyük oldukları için yüzeyde tutunamazlar. Sonuç olarak temas alanı ve ara yüzey etkileşimi minimize edilmiş olur. Böylece nilüfer çiçeğinin üzerindeki kirler küresel su damlaları yoluyla yaprak yüzeyinden yuvarlanarak uzaklaşır ve geriye tertemiz bir yüzey kalır. Bu özellik ayrıca bakteri ve mikroplara karşı da önemli bir koruma sağlar, çünkü mikroskopik ölçekteki bu canlılar bile yüzeye tutunamaz ve böylece bitki toz, kir ve hastalıklardan uzak kalır.



Şekil 5. Nilüfer çiçeği yaprağı üzerinde duran küresel su damlaları ve nilüfer çiçeği bitkisinin yaprağının bilgisayar ortamında görüntüsü



Doğada süperhidrofobik özellik, sadece nilüfer çiçeği yapraklarına özgü değildir. Çok sayıda böceğin yapısının da süperhidrofobik özellik gösterdiği, kendi kendini temizleme yeteneğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kelebek ve kuşların kanatlarından toz parçacıkları, çamur veya su damlaları kolaylıkla uzaklaşabilir; bu özellikleri yüzeylerinde mikro yapılar olmasından ileri gelir (Şekil 6). Ağustos böceklerinin kanatları çapları yaklaşık 70 nm olan, sıraya dizilmiş nano kolonlardan oluşur; kolon-kolon arası mesafe yaklaşık 90 nm'dir. Yüzeydeki bu mikro yapılar böceğin kanatlarına kendiliğinden temizlenebilme özelliği kazandırır.

### Pürüzlülüğün Temas Açısı Üzerine Olan Etkisi

Düz bir yüzey üzerinde ölçülen temas açısının, malzemenin yüzey hidrofilitesi/hidrofobisite oranı hakkında nasıl bilgi verdiğini yukarıda öğrendik. Temas açısını etkileyen en önemli etkenlerden biri de yüzey pürüzlülüğüdür. Temas açısının düz yüzeylerde 90°den az olduğu hallerde su damlası katıdaki gözeneklerin, çukurların çoğunu doldurur ve içine işler. Temas açısının düz yüzeylerde 90°den büyük olduğu hallerde ise su damlası katıdaki gözeneklerin ve çukurların içine pek az girer ve su ile gözeneklerde tutulmuş olan hava paketçikleri arasında pratik olarak hiç adhezyon olmadığından temas açısı artar. Yüzey pürüzlülüğünü artırarak katı bir yüzeyin hidrofobik ya da hidrofilik özelliklerini artırmak mümkündür. Literatürde bu konuda çok sayıda çalışma vardır.

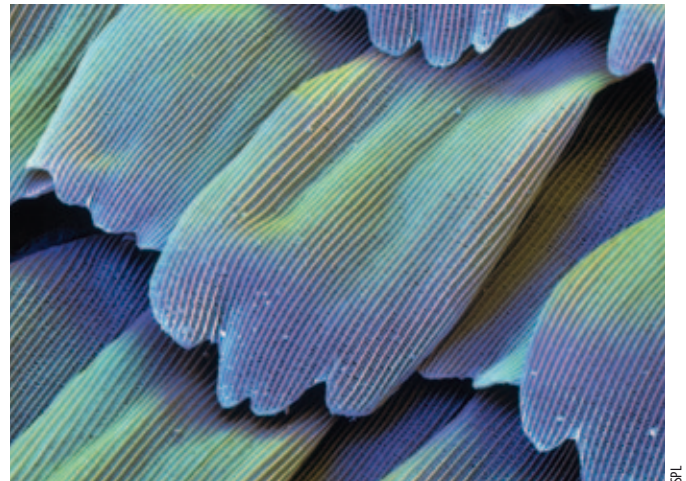
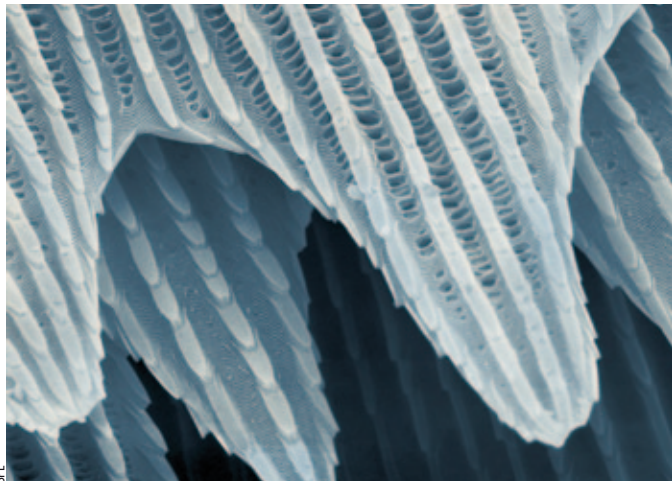
### Sıvı Bilya

2000 yılından sonra olaya farklı bir bakış açısıyla yaklaşıldı ve katı yüzeylerin üzerinde değişiklikler yapmak yerine sıvı yüzeylerin üzerinde değişiklikler yaparak kirlenme ve ıslanma probleminin önüne geçilmeye çalışıldı. Sıvı bilyalar, üzerleri hidrofobik bir toz ile kaplanarak ıslatılan sıvı damlalarıdır. Sıvı bilyaların toz par-

mama özelliği kazandı (Şekil 7). Bir sıvı damlacıkları ile kaplanmasız yüzeye yapışmasını engellediği gibi bu sıvı bilyanın, katı bir küre gibi yuvarlanarak hareket etmesini de sağlar. Katı ile aralarında temas alanı olmadığı için, sıvı bilyalar katı yüzey üzerinde çok küçük miktarda bile sızıntı yapmadan, hızla hareket edebilen mikro su depoları gibi davranırlar. Bu ayrıca kirlilik problemlerini de önler ve yüksek yer değiştirme hızı oluşturur. Bir sıvı bilyanın ilk hareketi için gerekli kuvvet çok küçüktür.

Sıvı bilyalar üzerinde yeni çalışılan bir konu olduğu için, henüz niş bir kullanım alanları yoktur, ancak farklı uygulamalarda kullanılmaları planlanmaktadır. Örneğin çok az sıvı kullanarak yapılmak zorunda olan genetik analizlerde, eldeki sıvının bir katı üzerine yayılarak kaybı engellenir. Bir diğer uygulamada ise, sıvı bilya mikro kimyasal tepkimelerde katalizör olarak kullanılır. Ayrıca sıvı bilyalar bir manyetik alan altında belli hedeflere yönlendirilebilir, bu özellik "mikroakışkan" yöntemlerinde çok yararlıdır. Sıvı yerine, sadece sıvıyı kaplayan tozun taşınmasının istendiği durumlarda da kullanılabilir; buna göre sıvı bilya önce hedefine ulaştırılır, daha sonra da içindeki sıvı buharlaştırılır. Ayrıca, sıvı bilyaların elektromekanik diskler ve valfler gibi sürtünmesiz mikro makinelerde kullanılması

Şekil 6. Bir kelebeğin fotoğrafı ve kelebek kanadının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri



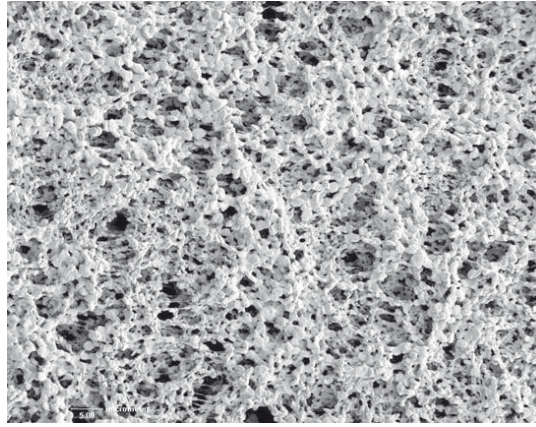
sı da planlanmaktadır. Sızdırmayan mikro su deposu olarak biyo-ilaçlarda, su yönetimi ve erezyondan korunma gibi alanlarda da kullanılabilirler.

## Yapay Süperhidrofobik Yüzeyler

1990'lı yıllarda doğadaki süperhidrofobikliği temsil eden nilüfer çiçeği yaprakları, kuşlar ve kelebeklerin kanatları gibi yaşayan organizmalardan esinlenilerek, yapay süperhidrofobik ve süperoleofobik yüzeylerin sentezlenmesine başlandı. Endüstriden tıba kadar geniş bir alanda kullanım sahası bulunan süperhidrofobik yüzeylere olan ilgi son yıllarda gerek pratik uygulamalarda gerekse temel araştırmalarda çok arttı. Kendini temizleme özelliğine sahip nilüfer yapraklarından ilham alınarak, su ile 150°den büyük temas açısı veren süperhidrofobik yüzeyler, genel olarak düşük serbest yüzey enerjili malzemeler kullanılarak ve yüzey pürüzlülüğü artırılarak hazırlanır. Başlangıçta sentezlerde uygulanan yöntemlerin çoğu hidrofobik yüzeyin pürüzlülüğünü artırma amaçlı, mekanik ve kimyasal aşındırma gibi zor ve pahalı yöntemlerdi.

## Basit Bir Plastikten Süperhidrofobik Yüzey Sentezi

Ucuz bir polimer kullanarak kendi kendini temizleme yeteneğine sahip, süperhidrofobik kaplama oluşturabilen bir yöntem dünya literatürüne ilk kez Türkiye'den 2003 yılında gönderilen bir yayımla girmiştir. Bu çalışmada polipropilen polimeri (PP), ksilen çözücüsü kullanılarak çözülmüş, soğutma ve çözmeyen sıvı etkisiyle meydana gelen faz ayrımı esnasında cam lameller üzerine kaplamalar yapılmış ve bu kaplamalar çözücünün tamamen uçurulması sağlanarak elde edilmiştir. Çalışma aynı yıl



*Science* dergisinde yayımlanmış ve 430'dan fazla atıf almıştır. Bu çalışma Amerikan Kimya Derneği tarafından 2003 yılının en çok beğenilen çalışmaları listesine seçilmiştir.

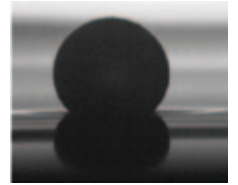
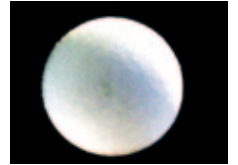
Bu makalede, polimer çözeltilisinin derişiminin artırılmasıyla kaplama kalınlığı ile yüzey pürüzlülüğü artırılmış, düz polipropilen yüzey için temas açısı 104° iken, ksilen içinde konsantre polipropilen çözeltisi kullanılarak temas açısı 149°ye kadar çıkarılmıştır. Çözmeyen solvent olarak metil etil keton (MEK) kullanıldığında en yüksek temas açısı (160°) elde edilmiştir. Bu yapıda, su damlası altında kalan gözenekler içindeki hava paketçiklerinin oranı artmış, bu da temas açısının değerinin 149°den 160°ye çıkmasına neden olmuştur (Şekil 8).

## Süperhidrofobik Yüzeylerin Uygulama Alanları

Kir tutmayan süperhidrofobik yüzeylerin planlanmış ve bazıları da yeni başarılı uygulamalar arasında şeffaf ve yansıma önleyici camlar, gözlükler, elektronik cihazlar için optik pence-



Şekil 8. Süperhidrofobik polipropilen yüzeyinin SEM görüntüsü ve süperhidrofobik polipropilen yüzey üzerinde oluşturulan su damlasının yatay görüntüsü (Erbil, H. Y., Demirel, A. L., Avci, Y., Mert, O., "Transformation of a Simple Plastic into a Superhydrophobic Surface", *Science*, 2003)



Şekil 7. Katı üzerinde duran ve su üzerinde yüzen bir sıvı bilyanın görüntüsü (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı Laboratuvarı).





Şekil 9. Namib çölünde yaşayan *Stenocara* böceğinin fotoğrafı ve havanın neminden yoğunlaşma ile su üretme çalışmaları (Solda: Hans Hillewaert, Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0; Sağda: Opur, <http://commons.wikimedia.org>)

reler, buğu tutmayan aynalar, su itici özelliğinden dolayı silecek gerektirmeyen otomobil camları, çamur ve kar tutmayan trafik lambaları, reklam panoları, buzdan etkilenmeyen televizyon antenleri, sürtünmesiz ve dolayısıyla kaybın olmadığı yüzeyler sayılabilir. Süperhidrofobik yüzeyler hayatımızın en önemli alanlarından biri olan tıp alanında da uygulama alanı bulmuştur. Kalp ameliyatlarında takılan stentlerin çeperlerinde kötü beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak zaman geçtikçe çeşitli maddeler birikmeye başlar. İşte bunun önüne geçmek için kanın ve içinde taşıdığı maddelerin yüzeye tutunmasını engellemek amacıyla süperhidrofobik malzeme kullanılır. Yine tıp alanında sıvıların kontrollü olarak taşınmasında da süperhidrofobik yüzeyler kullanılabilir. Bu yüzeyler enjekte edilen ilaçların hastalıklı bölgeye istenilen miktarda ve kayıpsız aktarılmasını sağlar.

Ve tekstil... Kir tutmayan süperhidrofobik kumaşlardan üretilen tekstil ürünleri kirlenmeyeceğinden yıkama gereksinimi de azalır. Böylece temizlik için kullanılan deterjanlardan tasarruf edilebileceği gibi temizlenen yüzeylerin mekanik aşınımının da önüne geçilir ve ürünlerin kullanım ömrü artırılabilir.

Namib çölünde yaşayan *Stenocara* böceğinin (Şekil 9) sırtındaki süperhidrofobik yapılar üzerinde meydana gelen mikrokondensasyon süperhidrofobik yüzeylerin uygulama alanlarının ne denli geniş olduğunun göstergesidir. Bu böceğin sırtı hidrofilik tepelerden ve süperhidrofobik kanallardan oluşur. Çölde sadece sabahın erken saatlerinde esen nemli rüzgârdan toplanan çok küçük su zerrecikleri, bu böceğin sırtında yoğunlaşma so-

nucunda gittikçe büyüyüp birleşir ve meydana gelen su damlası böceğin sırtından ağzına doğru yuvarlanır. Böylece *Stenocara* böceği susuz kalmamış olur. Bilim adamları buradan yola çıkarak ileride meydana gelebilecek susuzluğa karşı bu böceğin yüzeyini taklit ederek ürettikleri yüzeylerde havanın neminden yoğunlaşma ile su üretme çalışmaları yapıyor (Şekil 9).

Süperhidrofobik yüzeylerin son zamanların en ilgi çekici kullanım alanlarından biri de bizim de dahil olduğumuz “yosun tutmayan gemi boyası” yapımı projesidir. Deniz, göl ve akarsu ortamı ile temas halinde olan bütün yüzeylerde yosunların, biofilmlerin, kabuklu hayvanların, mikroorganizmaların yapışıp birikmesi ile kaplamalar oluşur. Bu biyolojik kirlilik, büyük gemilerin ve küçük yatların kütlelerinin artmasına ve sürtünmenin artması yüzünden % 40 civarında yakıt tüketimi artışına sebep olduğu gibi hızda ve manevra kabiliyetinde de düşüşe neden olur, ayrıca gemilerin kısa sürede kalafatlanmalarını zorunlu hale getirir. (Şekil 10)

Bu problem sadece gemilerle de sınırlı değildir. Okyanusta kullanılan ölçü ve denetim cihazları, deniz kenarına inşa edilmiş termik santrallerde soğutma işlerinde kullanılan ısı değiştiriciler, balık çiftliklerinde kullanılan balık ağları da bu problemten etkilenmektedir. Ayrıca tatlı sularda (göl ve nehirlerde) kullanılan yelkenliler, içme suyu tesislerinde kullanılan filtreler de biyolojik kirlenmenin hedefleri arasındadır. Sulamada kullanılan tatlı su kanallarının ve boruların tıkanması da ekonomik maliyetleri çok artırmaktadır. Günümüzde gemi boyalarında denizde yaşayan mikroorganizmaları öldürmek için kullanılan “biosid



kimyasalları” ise zehirli oldukları ve denizlerde ciddi çevre kirliliği yaratarak balıkların da ölümüne sebep oldukları için, yeni hazırlanan uluslararası çevre mevzuatları ile bunların kullanımı kısıtlanacak ve bir süre sonra tamamen yasaklanacaktır.

Biyolojik kirlenmeyi ve bunun beraberinde getirdiği olumsuz sonuçları kontrol altına almak amacıyla 2005 yılından sonra Avrupa Birliği-AMBIO projesi çerçevesinde ortak çalışmalar yapılmıştır. Projenin amacı, denizdeki kirletici organizmaların tutunmasını önlemeyi sağlayacak (yani yosun tutmayacak) farklı tiplerde nano veya mikro yapı yüzey kaplamaları geliştirmektir. Deniz organizmalarının farklı yüzeylere nasıl tutunabildikleri, farklı pürüzlülüğe ve kimyasal yapıya sahip yüzeyler hazırlanarak araştırılmaktadır. Avrupa Birliği tarafından 6. Çerçeve Araştırma ve Teknolojik Gelişimler Programı kapsamında desteklenen, büyük bir entegre proje olan AMBIO Projesi adını “Advanced Nanostructured Surfaces for the Control of Biofouling” (Biyolojik kirliliğin kontrolü için geliştirilen nano yapı yüzeyler) kelimelerinin bazı harflerinden almaktadır. AMBIO Projesi, disiplinlerarası bir projedir ve endüstrideki şirketleri, üniversiteleri ve araştırma kuruluşlarını kapsamakta, nano ve mikro malzeme üretimi, kimyasal, mühendislik, biyolojik değerlendirme ve son kullanıcıların yapacağı tüm denemeleri içermektedir. 2005-2010 arasında sürdürülen 5 senelik bu projenin, toplam bütçesi 17,9 milyon Euro’dur; bunun 11,9 milyon Euro’luk kısmı doğrudan Avrupa Birliği tarafından finanse edilmektedir. AMBIO projesinde Türkiye’yi “Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimyasal Teknolojiler Anabilim dalı” olarak grubumuz temsil ediyor. Bu proje kapsamında grubumuzun sentezlediği polimerik yüzey kaplamalarının laboratuvar ölçeğinde elde edilen başarılı sonuçları nedeniyle, projenin 4. ve 5. yılında yapılan endüstriyel geliştirme basamağına da geçildi ve bu çalışmalar hâlâ devam ediyor. Yapılan araştırmalarda, hidrofobik yüzeylerin hidrofil yüzeylere oranla yosun sporu tutunmasını önlemede daha etkili olduğu sonucuna varıldı. Yüze tutunma, yüzeyin birkaç nanometre kalınlıktaki kısmında meydana gelir ve canlı organizmalar ile denize gömülmüş gemi ve platform gibi yapıların yüzeyleri arasındaki etkileşimlerden kaynaklanır. Denizdeki mikroorganizmalar her ne kadar hidrofobik yüzeyi daha çok sevseler ve daha çok yapışma eğilimi gösterse de, bu mikroorganizmaların su ile basınçlı



yıkama esnasında hidrofobik yüzeyler üzerinden hidrofilik yüzeylere oranla çok daha kolay ayrıldığı gözlemlenmiştir. Çünkü bu canlıların yüzeye yapıştıktan sonra salgıladığı glikoprotein yapışkanında hidrofilik gruplar vardır, bu da mikroorganizma ve yüzeydeki benzer kimyasal grupların birbirini çekerek bu canlıların kaplama yüzeyine gömülmesine neden olur. Böylece canlı organizma hidrofil yüzey üzerine bir kere yapıştı mı bir daha ayrılamaz. Bu canlılar hidrofobik yüzeyi sevmelerine rağmen salgılarının ve yüzeyin uyumsuzluğundan dolayı hidrofobik yüzey üzerine yerleşmeler bile kuvvetlice tutunup yayılmaz, örneğin gemi harekete geçtiğinde tonlarca suyun etkisiyle yüzeyden sıyrılıp giderler.

Sonuç olarak kendiliğinden temizlenebilmeye özelliğine sahip, kir tutmayan yüzeyler üzerinde çok sayıda araştırma yapılmaktadır ve bu konularında geniş uygulama alanları bulacak olan, gelecek vaat eden bir konudur. Endüstriyel tarafının cazip olması, araştırmaların küçük çaplı laboratuvar ortamlarından, büyük çaplı üretim aşamalarına taşınmasının hedeflenmesine yol açmaktadır, bu nedenle çok sayıda bilim adamı bu konu üzerinde çalışmaktadır.

#### Kaynaklar

- Erbil, H. Y., Demirel, A. L., Avcı, Y., Mert, O., “Transformation of a Simple Plastic into a Superhydrophobic Surface”, *Science*, 2003.  
 Erbil, H. Y., “Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces”, Blackwell Publishing, 2006.  
 Erbil, H. Y. ve Cansoy, C. E., “Range of Applicability of the Wenzel and Cassie-Baxter Equations for Superhydrophobic Surfaces”, *Langmuir*, 2009.  
 Dandan, M. ve Erbil, H. Y., “Evaporation Rate of Graphite Liquid Marbles: Comparison with Water Droplets”, *Langmuir*, 2009.  
 Zhang, X., Shi, F., Niu, J., Jiang, Y., Wang, Z.,

- “Superhydrophobic Surfaces: from Structural Control to Functional Application”, *Journal of Materials Chemistry*, 2008.  
 Genzer, J., Efimenko, K., “Recent Developments in Superhydrophobic Surfaces and Their Relevance to Marine Fouling: A Review”, *Biofouling*, 2006.  
 Uçar, İ. O., Cansoy, C. E., Erbil, H. Y., “Surface Characterization and Antifouling Effects of Large Area Micropatterned EVA-PP Blend Coatings”, 3rd Joint ONR / AMBIO Workshop on Marine Adhesion and Antifouling: Concepts and Issues, Sedona, Arizona, 2007.

Şekil 10. Denizde biyolojik kirliliğe maruz kalmış yüzeyler  
 U.S. Geological Survey, <http://woodshole.er.usgs.gov/operations/stg/Gear/tripod.htm>