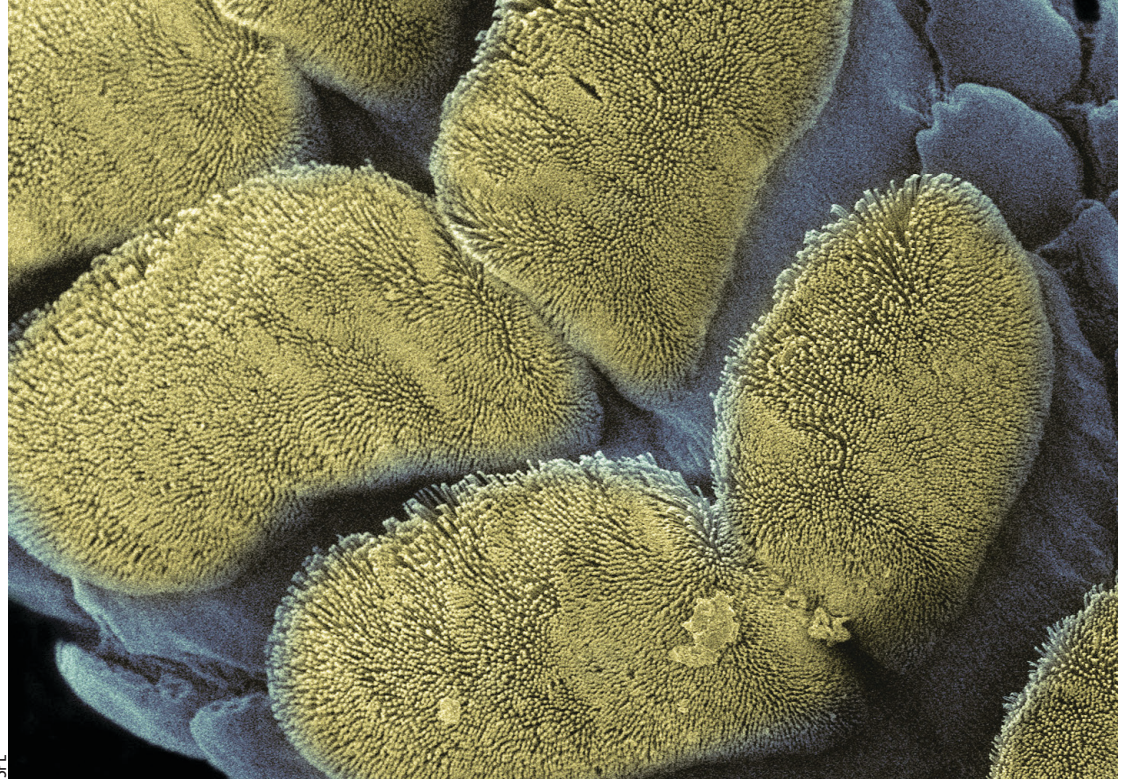


Doğada Yönsellik ve Malzeme Bilimindeki Uygulamaları

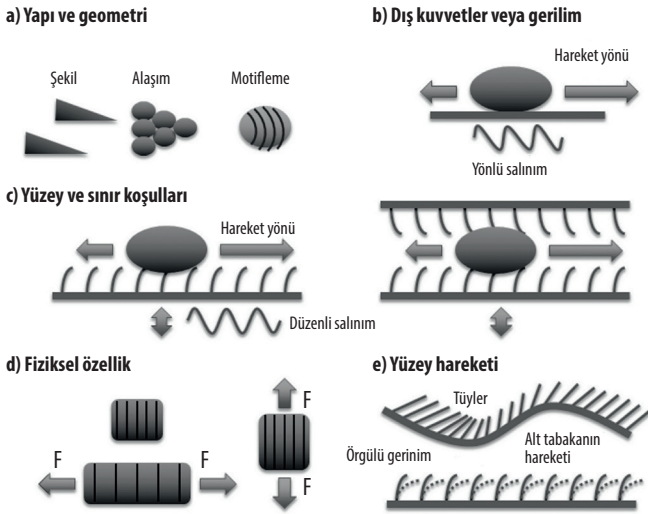
Örgülü yüzeyler büyüleyici bir dantelin işlenmiş motifleri gibidir. Yönsel örgülere sahip yüzeylerin hayvan ve bitkilerin yaşamlarını sürdürebilmesinde hayati bir rolü vardır. Kelebekler, kanatları yönsel örgülü yüzeylerden oluştuğu için suyu kanatlarından kolaylıkla atabilir. Aynı şekilde bazı böcekler ıslanmadan su yüzeyinde yürüyebilir, bazı bitkiler polen veya böcek yakalayabilir. Kertenkeleler ve örümcekler düz ve pürüzsüz duvarlara tırmanır, bu becerilerini ayaklarındaki yönsel örgülere borçludurlar. Doğadaki yönsel örgülü yüzeyler, halı dokunurken binlerce ipliğe atılan düğümler gibi işlenerek oluşur.



Insanoğlunun doğaya tutkusu, yarattığı eserlerde kendisiyle bütünleşerek somutlaşır. Doğal yönsel örgülü yüzeyleri örnek alan mühendisler, bu yüzeyleri içeren veya taklit eden cihazlar hazırlamakta başarılı oldu. Örneğin bu tür yüzeyler yardımıyla sıvıları kontrollü olarak istenen yönlerde dağıtan mikro ölçekte cihazlar yapıldı, yöne bağlı sürtünme ile çalışan robot kertenkele üretildi. Kertenkele ayakları tak-

lit edilerek üretilen ayaklar sayesinde robot, kuru yapışma özelliği ile düz duvara tırmanabiliyor. Mühendisler, kelebek kanadında olduğu gibi yönsel örgülü bir yapısı olan, mikro büyüklükte üretim hatları tasarlayarak yumuşak maddeleri veya sıvı damlacıklarını bir noktadan başka bir noktaya yönlendirebildi. Çok geniş bir uygulama alanına sahip oldukları için, bu tür çalışmalara ilgi gün geçtikçe artıyor.

Bu yazıda, yüzeylerin yönsel ıslak ve kuru yapışma özellikleri ile yönlendirme konularını ele alacak ve yönsellik kavramı, doğadaki yönsel örgülü yönlendirilmiş yüzey örnekleri, mühendislerin geliştirdiği yapay yüzeyler, bunların işlevleri ve olası uygulama alanları üzerinde duracağız.



Şekil 1 Malzeme bilimindeki yönsellik kaynakları a) Malzemenin yapısı ve geometrisinden, b) dış etkenlerden, c) yüzey ve sınır koşullarından, d) gerilim ve gerinime bağlı fiziksel özelliklerden e) yüzey hareketinden kaynaklı yönsellik. (Wiley, 2012, izni ile kullanılmıştır.)

Malzeme Biliminde Yönsellik

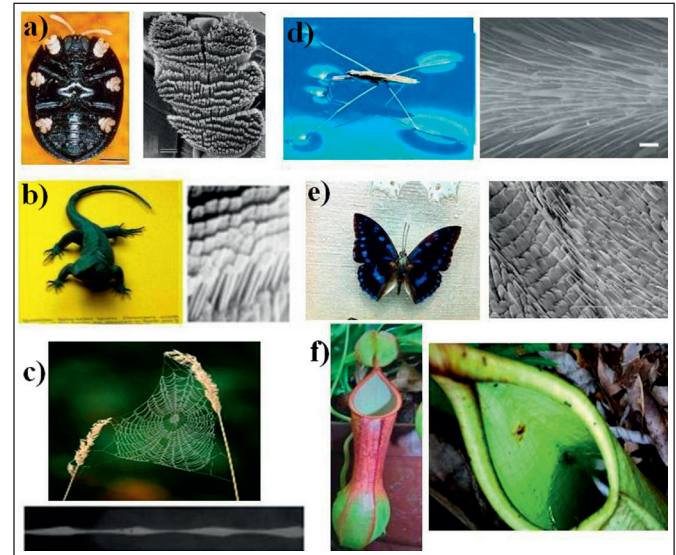
Malzemelerin fiziksel özellikleri yönselliğe bağlıdır. Şekil 1’de gösterilen bu etkenler gerilim ve gerinim gibi dış kaynaklı olabildikleri gibi malzemenin iç yapısından da kaynaklanabilir. Dış kaynaklı etkenlere mekanik, optik, elektrik ve manyetik alan, iç kaynaklı etkenlere kendi kendine salınımlı kimyasal tepkimeler örnek gösterilebilir. Parçacıkların alaşımlarının desenli yapılar oluşturması da malzemenin yapısına ve alaşımına bağlı yönselliğe örnek gösterilebilir. Malzemenin sınır koşulları ve geometrisi de yönsellik gösterebilir. Bunu daha iyi anlayabilmek için bir ağaç ile orman arasındaki farkı düşünelim. Orman çok sayıda ağaçtan oluşan bir alan olmaktan öte yeni bir yaşam alanıdır. Mühendisler ürettikleri saç teli inceliğindeki karbon liflerini yan yana, düzenli olarak yerleştirerek nano büyüklükte bir karbon ormanı oluşturabilir. Malzeme içsel yönselliğe sahipse kolaylıkla o doğrultuda germe veya büzme sağlanabilir. Bağırsaklardaki ince kılcal dokular gerinime bağlı yönselliğe örnek verilebilir. Bu dokular gıdaların emilirken ilerlemesinde rol oynar.

Doğadaki Yönsel Örgülü Yüzeyler

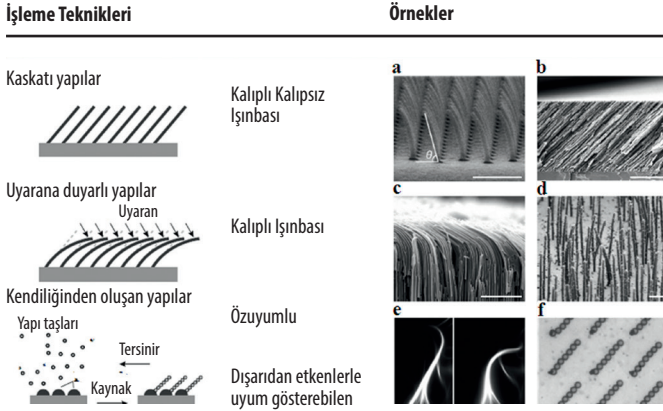
Doğa kuru ve ıslak yapışmalarda yönsel örgülü yüzeyleri kullanır. Şekil 2’de çeşitli canlıların ve uzuvlarının fotoğrafları ve dokularının yönsel örgülü yüzeyleri görülüyor. Bazı böcekler ıslak yapışmanın özel bir türünü uygular. Bu böcekler düz ve pür-

rüzüz yüzeylere yapışabilmek için, tüylerinin arasında özel bir sıvı saklar. Kınkanatlı böcek (uğur böceği ailesinden) rahatsız edildiğinde ayak tabanlarındaki bu mekanizmayı uyararak yüzeye yapışır. Bu böceğin ayaklarında yaklaşık 60.000 kısa, yönlü, sert ve yapışkan tüy bulunur. Böcek bir saldırıya uğradığında 2 dakika boyunca vücut ağırlığının 60 katı kadar bir kuvvetle bu tüyleri ile yüzeye tutunarak kendini korur.

Yönsel örgülü bu yüzeyler hem bitkiler hem de hayvanlar âleminde görülür. Kertenkele ve örümceklerin tüylü uzantılarının ince uçları vardır. Bu nedenle kolaylıkla düz ve pürüzüz duvarlara tırmanabilirler. Ayak çevresindeki esnek tüyler bükülerek çok daha geniş ve pürüzlü bir yüzey alanı oluşmasını sağlar. Bu tüylü alanın genişliği vücudun kütlesine bağlı olarak artar. Sahip oldukları her bir tüy ve bu tüylerin kendi içlerindeki organizasyonu sayesinde, bu canlılar pürüzüz bir parçanın bir yüzeye uygulayacağı yapışma kuvvetinin 600 katını uygulayabilir. Bir örümceğin ıslak ağıyla su taşınabilir, bu mekanizma değişken yüklü gerinme ile çalışır. Yönlü motifli doğal yüzey, su yüzeyinde yürüeyebilen böceklerde de görülür; bu yüzey su damlalarını uzaklaştırarak vücudun ıslanmasını önler. Bu özellik böcek için hayati önem taşır. Bir kelebek kanadına ait örgülü yüzey, yağmur damlasını veya çiğ damlasını uzaklaştıracak şekilde oluşur ve damlacığın vücuda doğru hareket etmesini engeller. İbrik otu veya böcek kapan bitkiler sahip oldukları yönlü yapraklar sayesinde avlarını yakalayıp tutar ve sindirir. Bitkilerin yüzey yapıları ve kayganlaştırıcı olarak kullandıkları sıvılar sayesinde böcekler yapraklara tutunamaz.



Şekil 2 Doğadaki yönsel örgülü yüzeyler a) Kınkanatlı böcek (*Hemispheerota cyanea*) bileği (Ölçek: 200µm), (Kınkanatlı böcek resmi: PNAS, 2000, ABD izni ile kullanılmıştır.) b) Tokay kertenkelesinin ayak tüyü (Ölçek: 50µm), (Nature Publishing Group, 2000 izni ile kullanılmıştır.) c) Islak olarak inşa edilmiş örümcek ağı (*Uloborus walckenaerius*) (Ölçek: 50µm), (Nature Publishing Group, 2010 izni ile kullanılmıştır. Örümcek ağı resmi: "http://www.gettyimages.com, #125972353" izni ile kullanılmıştır.) d) Su böceğinin kuru ayağı (Ölçek: 40µm), (Nature Publishing Group, 2004" izni ile kullanılmıştır. Su böceği resmi: "Wiley, 2006" izni ile kullanılmıştır) e) Birbiri içine girmiş nano şeritlerinden oluşan mikroölçekli kelebek kanatları (*Morpho aega*), (http://www.gettyimages.com, #152415946" izni ile kullanılmıştır.) f) Nepenthes bitkisinin ağız çevresi (http://www.gettyimages.com # 156851733" izni ile kullanılmıştır. Nepenthes Bitkisinin resmi (Elsevier, 2013" izni ile kullanılmıştır.)



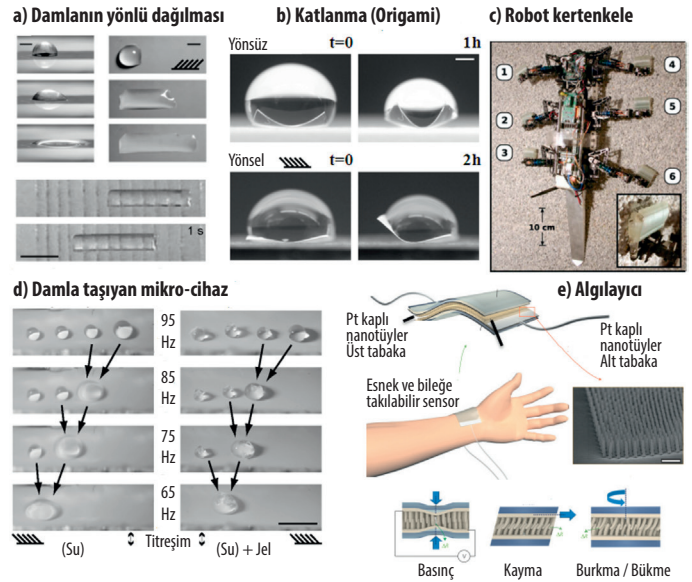
Şekil 3 Yönel yüzeyleri işleme teknikleri (The Materials Research Society, 2013 izni ile kullanılmıştır.) a) Nanotüplerle kaplı polimer yüzeyi (Ölçek: 1µm), b) Eğik nanoçubuklardan oluşan polimer film (Ölçek: 5µm), c) Uyarana duyarlı polimer nanotüplerin kayma gerilimi ile eğilmesi (Ölçek: 5µm), d) Manyetik alan ile hareket eden PDMS nanoçubukları (Ölçek: 5µm), e) Yüzeydeki kuvvetlerin azalması ile oluşturulmuş mikrotüplerin kamçı benzeri hareketi (Ölçek: 30µm), f) Manyetik alan gibi dışarıdan etkenle oluşturulan yüzey (Ölçek: 20µm)

Yapay Yönel Örgülü Yüzeyler

Yönel yüzeyleri üretmek için kullanılan teknikler, ana hatları ile Şekil 3'te görülüyor. Bu teknikler kaskatı örgülü yüzeyler, uyarana duyarlı örgülü yüzeyler ve parçaları kendi kendine bir araya getiren örgülü yüzeyler olarak sınıflandırılabilir. Yönel sert yüzeylerin oluşturulmasında sayısız teknik kullanılır. Kalıplı, kalıpsız ve doğrudan ışınbası bunlardan bazılarıdır. Prof. Demirel'in ekibi polimer nanoçubuklardan oluşan bir film geliştirerek mikro-litre ölçeğindeki damlaların transferi için pürüzsüz bir yüzey icat etti. Akışkanların mikro-cihazların içinde yönel aktılması, sensör ve sıvı soğutma uygulamaları ile ilgili çok sayıda çalışmada kullanılıyor.

Uyarana duyarlı yüzeyler komutlara ve uyarılara yanıt olarak fiziksel veya kimyasal özelliklerini (ortamın asiditesi, sıcaklık, hacim ve basınç) değiştirebilir. Böcekler doğadaki böyle dinamik yüzeyleri savunma amacıyla kullanırlar. Örneğin yönel örgülü yüzeylerden sıvı salınımı yaparak yumurtalarını bırakabilecekleri bir ortam hazırlarlar. Araştırmacılar bu yapıları göz önünde bulundurarak, yönel örgülü yüzeyleri bir veya daha fazla uyarana duyarlı bir polimer ile birleştirip malzemenin işlevselliğini ve kapsamını artırmayı amaçlıyor. Uyarana duyarlı yapılar genelde yumuşak polimerlerden yapıldığından, kalıpsız yöntemler bu işleme tekniği için yetersiz kalıyor. Prof. Demirel'in ekibi, kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD) kullanılarak asidite değişimine duyarlı yönel örgülü yüzeylerin kalıp içinde işlenebildiğini kanıtladı. Diğer bir örnek ise yumuşak yüzey içeren ve uyarana duyarlı, dışarıdan manyetik alan altında oluşturulmuş yönel yüzeydir. Geometrik özellikleri önceden tanımlanmış ve birçok malzeme türü ile parçaları kendi kendine bir araya getirebilen yapılar gibi yönel yüzeylerin üretimi için, yeni yaklaşımlara ihtiyaç var. Kendi kendini oluşturan veya oluşması için dışarıdan bir etkene ihtiyaç duyulan tekniklerin, yönel örgülü yüzeylerin işlenmesinde kullanılmasına ve geliştirilmesine çalışılıyor.

Şimdiye kadar bahsedilen biyolojik yüzeylerden esinlenerek çok sayıda yönlü ve motifli yüzey yapıldı. Şekil 4'te yönel örgülü yüzeylerin uygulama alanlarından sadece bir kaçını görüyoruz. Örneğin su damlalarını istediğimiz yönde hareket ettirebilen mikro cihazlar yapılıyor. Düz duvara bile tutunabilen robot kertenkeleler, insan duyularının algılayamayacağı değişimlere hassas algılayıcılar ve yönel katlanabilir yüzeyler yapılabilir. Yönel kaygan yüzeyler tasarlanabilir. Araştırmacılar bu özelliklere sahip yüzeyleri, hatta doğada gözlenmeyen yeni yüzeyleri üretmeye çalışıyor. Yakın bir gelecekte doğadaki yönel örgülü yüzeyleri taklit ederek yapay biyolojik yüzeyler de yapılacak.



Şekil 4 Yönel yüzeylerin uygulamaları a) Damlanın yönel yüzeydeki hareketi (Ölçek: 1mm), (Nature Publishing Group, 2010" izni ile kullanılmıştır.) b) Sıvının buharlaşması ile polimerin yönel katlanması (Ölçek: 4mm), (Wiley, 2012 izni ile kullanılmıştır.) c) Duvara tirmanabilen robot kertenkele, (Wiley, 2008 izni ile kullanılmıştır.) d) Sıvı damlasının taşınması (Ölçek: 5mm), (American Institute of Physics, 2011 izni ile kullanılmıştır.) e) Yönel yüzeye sahip algılayıcı (Nature Publishing Group, 2012 izni ile kullanılmıştır.)

Yönel örgülü yüzeyler biyolojik yüzeyleri taklit ettikleri gibi doğal yüzeylerin ötesinde yüzey özelliklerinin keşfinde de yeni bir kapı açıyor. Örneğin uyarlanabilen (kendiliğinden veya dışarıdan etkenlerle oluşan) ve uyarana duyarlı yüzeylerin işlenmesi ile alışılmadık dışında ıslatma, yapışma ve taşıma gibi malzeme özellikleri elde edilebilir. Çevre dostu biyolojik malzemeler (örneğin ipek, keratin ve elastin) ile yapılan yönel örgülü yüzeyler çok büyük ilgi görecektir. Henüz laboratuvar koşullarında kullanılabilen biyolojik yönel örgülü yüzey teknolojisi, verimli ve çevre dostu teknolojilerle birleştirilebilirse tıp ve enerji alanlarında çok büyük gelişmeler sağlanacaktır.

Kaynak

Bu yazı Prof. Dr. Melik Demirel'in "Bioinspired Directional Surfaces for Adhesion, Wetting, and Transport", *Advanced Functional Materials*, Cilt 22, s. 2223-2234, 2012 ve "Anisotropic Wetting on Structured Surfaces", *MRS Bulletin*, Cilt 38, 2013" yayınlarından derlenerek hazırlanmıştır.