

Doğa İşler, Teknoloji Övünür

Nano tüyler bir araya gelip sarmallaşırken civarda bulunan parçacıkları yakalayabiliyor. Bu özellik yeni yapışkan malzemelerin ya da ilaçları hapsedip vücudun belirli bölgelerinde kalan yöntemlerin geliştirilmesine yarayabilir. Aizenberg bu yapıların optik özelliklerinden de faydalanılabileceğini söylüyor. Malzemenin yansıtma özelliği tüylerin birbirine bitişmesine ya da birbirinden uzaklaşarak yayılmasına göre değişiyor.

Canlılar dünyası bir yandan alabildiğine zengin çeşitliliğiyle estetik zevklerimizde hitap ederken bir yandan da gizemleri her geçen gün adım adım keşfedilen üstün yapı ve işleyişleriyle bizde hayret ve hayranlık duyguları uyandırmaya devam ediyor. Ancak bazı bilim insanları için bu yeni bulgular, doğal dünyaya dair meraklarını tatmin etmekle kalmayıp onları doğadan esinlenerek tasarımlar yapmaya teşvik ediyor.

Harvard Üniversitesi'nde malzeme bilimi konusunda çalışan araştırmacı Joanna Aizenberg, doğal dünyayı malzeme sentezi mekanizmaları açısından inceliyor ve doğadaki mekanizmalardan esinlenerek yeni malzemeler geliştirmeyi hedefliyor.

Aizenberg ve ekibi, çeşitli açılardan, örneğin optik, yapısal ya da manyetik olarak sıra dışı ve gelişmiş özelliklere sahip biyolojik sistemleri tanımlamaya ve anlamaya çalışıyor. Daha sonra da bu bilgiyi mevcut malzeme bilgileriyle birleştirerek biyolojik prensiplere dayalı yeni nesil malzemeler üretiyorlar. Bu ve benzeri yaklaşımların malzeme bilimi ve teknolojisinde bir paradigma kayması yaratabileceği düşünülüyor.

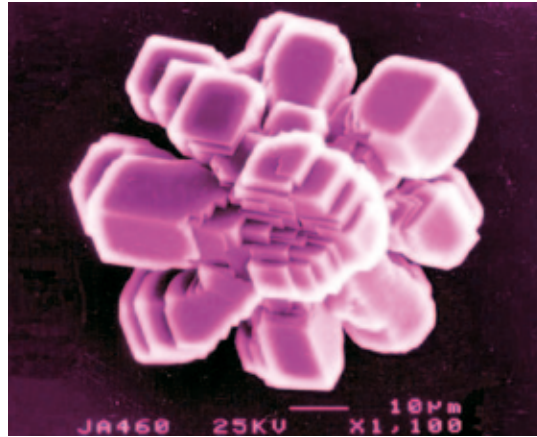
Doğanın harikulade biçimde yaptığı şeylere bakıp bunları laboratuvar ortamında taklit etmeye çalıştıklarını söyleyen Aizenberg, doğadaki ustalıklı malzeme üretim biçimlerinden biri olan biyomineral oluşumu üzerine yoğunlaşmış. Biyomineralleşme de denen bu süreç canlı organizmaların inorganik malzemeleri oluşturmasını ifade ediyor. Aizenberg ve ekibi biyomineralleşmenin bazı temel prensiplerini ve biyolojik sistemlerin işlevsel inorganik maddeler üretirken karşılaştığı karmaşık problemleri nasıl çözdüğünü anlamaya çalışıyor. Biyolojik prensiplerin rehberliğinde yeni sentetik yollar ve nano düzeyde üretim stratejileri kullanarak yeni, üstün özellikli ve çok işlevli malzemeler ve cihazlar üretmeyi hedefliyorlar.

Tam da bu amaca uygun şekilde adlandırılmış olan Aizenberg Biyomineralleşme ve Biyomimetik Laboratuvarı'nda araştırmacılar Aizenberg'in önderliğinde inorganik malzemeleri doğada olduğu gibi kendiliğinden oluşturmanın yollarını araştırıyor. Aizenberg biyomineralleşmenin doğada çok yaygın olduğunu söylüyor. Örneğin yumuşakçaların kabukları, deniz süngerlerinin camsı iskeleti, çok sert olan memeli dişi ve insanlara vücut şeklini veren kalsiyum fosfat iskelet hep biyomineralleşmeyle oluşan yapılar.

Biyooptik

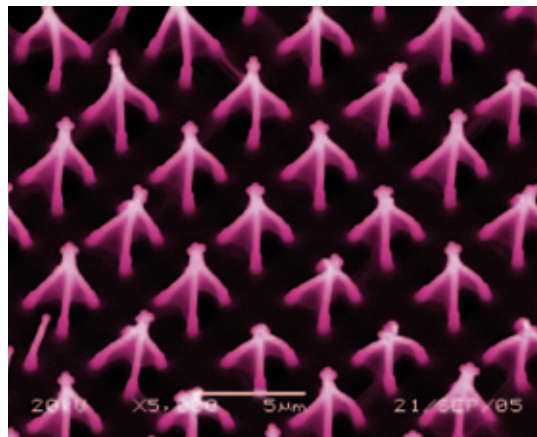
Aizenberg'in araştırmaları bazı canlı türlerinin mineral kısımlarındaki inanılmaz derecede karmaşık olaylara ışık tuttu. Örneğin bazı basit deniz canlılarına (deniz yıldızlarının akrabası olan yılan yıldızları ve Venüs sepeti olarak anılan deniz süngerleri) ait iskeletlerin sadece fiziksel destek sağlamakla kalmayıp hassas optik sistemler olarak işlev gördüğü anlaşıldı. Yılan yıldızının iskeleti, ışığın organizmanın içinde yer alan algılayıcılara odaklanmasını sağlayan gelişmiş bir mercekle gibi işliyor. Bir derin deniz süngeri olan Venüs sepetinin de güçlendirilmiş beton sağlamlığında olup aynı zamanda üstün optik özelliklere sahip bir iskeleti var.

Yılan yıldızının sahip olduğu sistem kalsit yapıları dizi mikromercekten oluşuyor. Optik açıdan mükemmel olan bu biyomercekler, küresel sapmayı (küresel merceklerin görüntüde yarattığı biçim bozukluğu) ve çift kırılımı (ışığın iki ayrı ışına ayrılarak çift görüntü oluşturması) önleyecek, ışık miktarını ve dalgaboyunu optimize edecek, daha iyi odaklama yapacak ve belirli bir yönden gelen ışığı algılayacak şekilde gelişmiş.



Joanna Aizenberg

Kristal çiçekler: Aizenberg'in ekibi doğanın kemik ya da midye kabuğu gibi karmaşık inorganik yapıları oluşturma yeteneğini taklit ediyor. Organik moleküllerden ürettikleri özel kalıplar kullanarak kristal yapıları oluşturuyor, organik moleküllerin düzenini değiştirerek inorganik kristallerin büyümesini kontrol edebiliyorlar. Araştırmacılar bugün istedikleri biçimde kristaller üretebiliyor. Çiçeğe benzeyen bu kristal yapı ince bir kireçtaşı tabakasından yapılmış ve insan saçının yarısı kalınlıkta.



Joanna Aizenberg

Akıllı Kaplamalar: Şekilde Aizenberg ve ekibinin polimer hidrojel den oluşturduğu, değişen koşullara göre davranış gösterebilen bir malzeme görülmüyor. Çadır gibi görünen minik yapılar birbirine yaklaşıncı hidrofilik özellik kazanıyor, yani suyu kendine çekmeye başlıyor. Yapılar açılıp birbirinden uzaklaşıncı da hidrofobik hale geliyor, yani suyu itmeye başlıyor. Araştırmacılar bu sistemi, kuruduğu zaman nemi çeken, ıslandığı zamana iten akıllı bir malzemeye dönüştürmeyi amaçlıyor. Malzemenin biçimi değiştiğinde rengi de değişiyor. Aizenberg'in bir hayali, nemlilik özelliği değiştiğinde renk değiştirebilecek duvarlar.

Süngerler Aizenberg'in de öncülleri arasında bulunduğu yeni yeşeren bir bilim ve teknoloji dalı olan biyomimetğin, yani doğadan esinlenerek yeni ve üstün malzemeler, araçlar ya da süreçler tasarlama alanının merkezinde bulunan yapılardan biri. Venüs sepeti adlı sünger, doğanın bir malzemesini nasıl farklı amaçlar için optimize edebildiğini gösteren güzel bir örnek. Camdan oluşan iskeleti hem çok derinlerdeki yüksek basınca ve şiddetli akıntılara dayanacak kadar sağlam hem de ışığı etkin şekilde aktarıyor. İskeleti oluşturan cam lifler dışarıdan gelen ışığı ve canlının vücudu içinde ışın yapan bakterilerin ürettiği ışığı odaklayarak güçlendiriyor ve bu ışığı canlının iç kısımlarına iletiyor. İskelettteki cam liflerin ışığı iletmesi insan yapımı fiber optiklerinkine (içerisinde ışığı hızlı bir şekilde iletirek bilgi taşıyan içi boş cam lifler) benzer şekilde gerçekleşiyor.

Aizenberg 500 milyon yaşındaki bu türün iskeletini oluşturan cam lifleri, bizim ancak 1930'larda üretmeyi başardığımız fiber optiklerle karşılaştırdığımızda, süngerdeki cam lifleri daha etkin, üstelik çok daha sağlam bulduğunu söylüyor. Bu doğal cam liflerin bir üstünlüğü de ortam sıcaklığında, özel koşullar olmaksızın oluşabilmesi. İnsan yapımı cam lifler içinse 1000 °C'yi aşkın sıcaklıklar ve yüksek enerji tüketen pahalı "temiz oda"lar gerekiyor.

Süngerin iskeleti çapraz bağlarla güçlendirilmiş kare şeklindeki gözlerden oluşuyor. Aizenberg bu yapının aslında tasarımdaki ve inşaat mühendisliğindeki çok modern bir prensibe uygun olduğunu tespit etmiş. İnsan saçının yüzde biri kadar ince olan içi boş cam lifler, nano ölçekli bu yapıları mekanik olarak sağlam kılıyor. Eğer bu yapıların aynı ölçekli taklitleri yapılabilirse elde edilen malze-

Esinlenmek Onun İşi

Joanna Aizenberg doğadaki sistemleri ve malzemeleri modelleyerek üstün teknolojiler geliştirmeyi amaçlayan biyomimetik alanının öncülerinden. "Doğa yapılar inşa ediyor ve bunu bizden çok daha iyi beceriyor. Doğadan alınabilecek yeni tasarım prensipleri var. Benim işim onların ne olduğunu ve nasıl kullanılacağını bulmak." diyen Aizenberg'in ilk esin kaynakları arasında İsrail'de henüz bir lisansüstü öğrencisi olduğu dönemde incelediği deniz canlıları bulunuyor. İşinin doğası gereği kendini pek çok alanda yetiştirmiş; araştırmaları biyomineralleşme, biyomimetik, kendiliğinden oluşum, kristal mühendisliği, yüzey kimyası, nano üretim, biyomalzemeler, biyomekanik ve biyooptiği kapsayan geniş bir alana yayılıyor. Harvard Wyss Biyolojiden Esinlenen Mühendislik Enstitüsü'nde kimya ve kimyasal biyoloji profesörü. Yenilikçi ve öncü çalışmalarından dolayı pek çok ödül almış. Aizenberg biyomimetği disiplinlerarası çalışmanın çok önemli olduğu bir alan olarak görüyor. Araştırmalarıyla ilgili konuşmalarından birinin başlığı bunu şöyle ifade ediyor: "Fiziği, Kimyayı, Biyolojiyi ve Mimariyi Biyomimetikle Birleştirmek". Aizenberg'in motivasyonlarından birini de işinin estetik yönü oluşturuyor. Ekipçe nano rastalarla ilgili yaptıkları deneyler sırasında oluşan şekilleri öyle estetik bulmuşlar ki zaman zaman bilimsel tartışmaları bırakıp mitolojiden, rasta modasından, uzaylı yaratıklardan ya da heykellerden bahsettikleri sohbetlere dalmışlar. Aizenberg bilimin sanat ve tasarımla yakından ilgili olduğunu düşünüyor. New York Tasarım Okulu'nda misafir öğretim görevlisi olarak bazı dersler veriyor. Ayrıca doğa ve tasarım üzerine bir lisans derisi vermeyi tasarlıyor.



www.seas.harvard.edu/aizenberg_lab

menin de aynı sağlamlıkta olacağı düşünülüyor. Aizenberg ve ekibi karmaşık inorganik optik sistemlerin tasarımı ve üretimi için biyolojik çözüm yolları bulmanın peşinde. Bu yolları kullanarak değişen koşullara uyum sağlayabilen yeni optik cihazlar geliştirmeyi hedefliyorlar. Bu doğrultuda şimdiden başarılı sonuçlar elde etmişler. Ayarlanabilir fotolitografik maskeler ve üç boyutlu biyomimetik gözenekli mikromercek tabakaları gibi karmaşık fotonik yapılar üretmek için sentez yolları geliştirmişler.

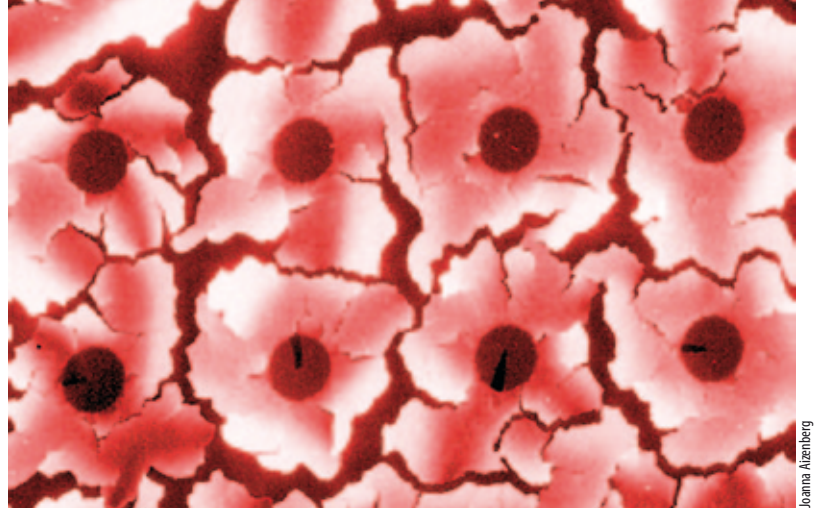
Biyomineralleşmenin Sırları

Çoğu hayvanda iskelet desteğinin sağlanması için en azından vücudun bir bölümünde mineralleşme oluyor. En yaygınları kalsiyum karbonat, silika (cam) ve kalsiyum fosfat olan bu mineraller çok çeşitli. Bununla birlikte tüm bu yapıların ortak bir özelliği var. Malzeme farklı olsa da tüm biyomineralleşmiş yapılar yüksek düzeyde hiyerarşik özelliğe sahip, yani farklı uzunluk ölçeklerinde farklı yapı gösteriyor. Bu da bu yapılardan oluşan iskeletlere üstün mekanik özellikler sağlıyor. Biyomineral yapılara mekanik üstünlük sağlayan iki önemli özellik daha var. Bu yapılar genellikle "Griffith uzunluğu" denen uzunluktan küçük boyuttaki kristallerden oluşuyor. Griffith uzunluğu kristal bir yapının dayanıklılığıyla ilgili kritik bir uzunluk, bu boyuttan küçük kristaller çatlakların yayılmasını önüyor. Diğer özellikse bu yapılar oluşurken kristallerin konumlarının çok hassas biçimde (birkaç mikrometre hassasiyetle) düzenleniyor olması ki bu da iskelete binen yüke uyum sağlama yeteneğini artırıyor.

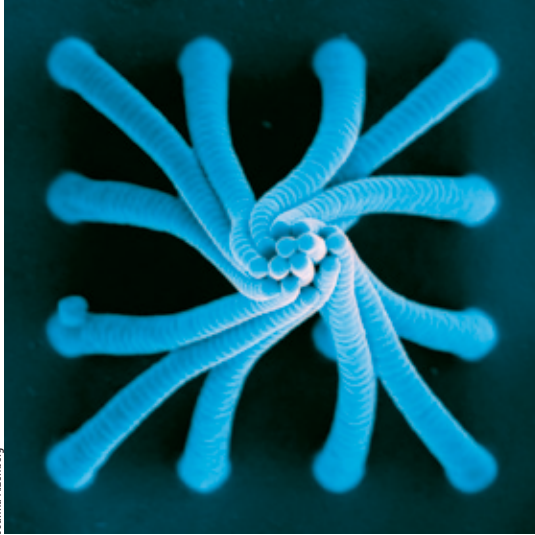
Seramiklerden yarıiletkenlere, gelişmiş inorganik malzemelerin üretimindeki önemli bir gereklilik kristalleşmenin kontrol edilebilmesi. İnorganik katıların kristal özelliklerini öngörülebilir ve tekrarlanabilir biçimde ayarlayabilmek, kristal malzemelerin seçici fizyokimyasal özelliklerini kullanmak ya da optimize etmek isteyen bilim insanları için çok önemli.

Aizenberg ve ekibinin çalışmaları canlılardaki inorganik kristalleşmenin moleküler düzeyde, özelleşmiş organik makromoleküllerin örgütlü düzenleriyle hassas biçimde ayarlandığını göstermiş. Ayrıntılı mekanizması hâlâ gizemini koruyan bu olgudan esinlenerek Aizenberg düzenli inorganik kristal malzemeler sentezlemek için organik moleküllerden (örn. protein, polisakkarit vb) oluşan desenli kalıplar kullanmış. Bu proteinlerin ya da polisakkaritlerin düzenini değiştirerek inorganik kristallerin büyümesini kontrol edebiliyorlar. Aizenberg yukarıdan-aşağıya üretim yaklaşımı, örneğin bütün kristali oluşturup parçalara ayırmak yerine canlı sistemlerde olduğu gibi aşağıdan-yukarıya bir yaklaşımla, kristali en basit birimden büyütürük son haline getirmek üzere yöntemler kurgulamış. Araştırmacılar şimdi istedikleri biçimde kristaller üretebiliyor.

Aizenberg ve ekibi bu olgudan esinlenerek, uçucu bir sıvıya batırıldığında kendiliğinden kıvrılarak düzgün sarmal demet dizileri oluşturan nano tüyler geliştirmişler. İşleme epoksi reçineden ürettikleri, 300 nanometre kalınlığında, 4-9 mikrometre uzunluğundaki nano tüylerle başlıyorlar. Bunlar bir etil alkol su karışımına batırılıp çıkarılarak kurumaya bırakılıyor.



Joanna Aizenberg



Aizenberg ve ekibi, denizkestanelerinden esinlenerek, uçucu bir sıvıya batırıldığında kendiliğinden sarmal demetler oluşturan nano tüyler geliştirdi. Aizenberg bu olguyu kıvrık saç tellerinin ıslaklıklarında bir araya gelip kıvrılarak rastalar oluşmasına benzetiyor. Burada görülen nano tüyler epoksi reçineden yapılmış ve çapları 100 nanometre, yani insan saç telinin binde biri kadar.

Nano Rastalar

Aizenberg'in en çok ilgisini çeken olgulardan biri de doğadaki, değişen çevresel işaretlere cevaben davranışını optimize eden, uyum sağlayabilen malzemeler. Deniz kestaneleri ona bu konuda esin kaynağı olan canlılardan biri. Bu canlılarda sürekli açılıp kapanarak canlıyı kirlenmeye karşı koruyan, mikro çiçek olarak tabir edilen yapılar bulunuyor.

Sıvı buharlaştıkça sıvının yüzey gerilimi, kılcalık etkisi sonucu tüyleri bir araya getiriyor. İlk önce dörtlü bir tüy grubu birbirine sarılıyor, sıvı daha da buharlaştıkça bu dörtlülük ve sırasıyla onların oluşturduğu sarmallar da birbirine sarılarak daha geniş sarmallar oluşuyor. Aizenberg bunu ıslak kıvrık saç demetlerinin bir araya gelip kıvrılarak rastalar oluşturmaya benzetiyor, hatta bu nedenle oluşan yeni yapılara nano rasta da diyorlar.

Sarmal geometri hem doğada (örn. DNA'nın yapısı, galaksiler vb) hem de insan yapısı ürünlerde (örn. halatlar, yaylar vb.) yaygın. Ancak doğa her boyutta sarmallar üretebilirken insanlar çok küçük boyutlu olanları üretmekte zorlanıyor. Aizenberg moleküler ve makro ölçeklerde sarmal yapılar oluşturabildiğimizi ancak nanometreler ve mikrometreler düzeyinde bunu daha önce başaramadığımızı söylüyor.

Aizenberg ve ekibi nano tüylerin geometrisini özel şekilde tasarlayarak nano tüylerin kıvrılma yönünü (yani saat yönünde ya da tersi oluşu) de kontrol edebiliyor. Tutarlı bir kıvrılma yönü Aizenberg'in düşündüğü bazı uygulamalar için önem taşıyor. Bu sarmalların boyutları görünen ışığın dalga boyuyla (yaklaşık 400-700 mikrometre) karşılaştırılabilecek kadar küçük olduğu için sarmal demetlerinin ışığı ilginç biçimlerde etkileyebileceğini düşünüyor. Nitekim Aizenberg ve ekibi sarmallar oluşurken malzemede renk değişimleri gözlemlemiş.

Kireçtaşından çiçekler: Çiçeğe benzeyen birimlerin her birinin siyah renkli merkezinde bulunan protein çekirdek, yapının kendiliğinden oluşumunu kontrol ediyor. Araştırmacılar bu yaklaşımla aynı anda çok farklı tipte kristaller oluşturabiliyor. Oysa bunu geleneksel yapay yöntemlerle başarmak çok zor.

Venüs sepeti adlı sünger, enerji etkin yapı malzemelerinin üretilmesine esin kaynağı oluyor. Bu canlı, doğanın bir malzemesi nasıl farklı amaçlar için optimize edebildiğini gösteren güzel bir örnek. Camdan oluşan iskelet hem çok derinlerdeki yüksek basınca ve şiddetli akıntılara dayanacak kadar sağlam hem de ışığı etkin şekilde iletiyor.

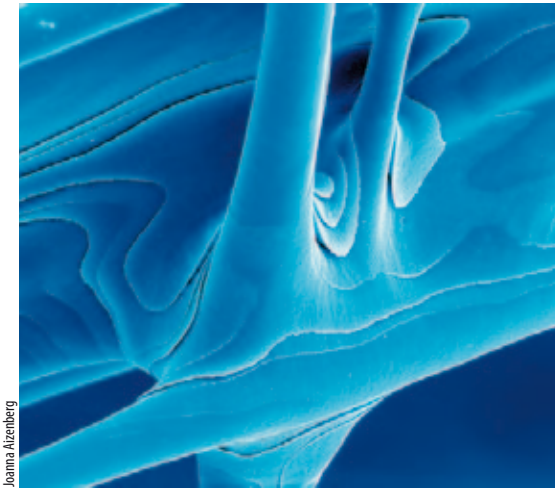


Joanna Alzhenberg

Filizlenen küp:
Şekilde görülen kristalde iki organik kalıptan biri tepede bulunan yapraksı yapının, diğeri ise kübün oluşumunu sağlıyor. Her iki yapı da kalsiyum karbonattan oluşuyor. Bu teknolojinin yüksek kalitede optik cihazların üretiminde ve doku mühendisliğinde kullanılabileceği düşünülüyor.



Joanna Alzhenberg

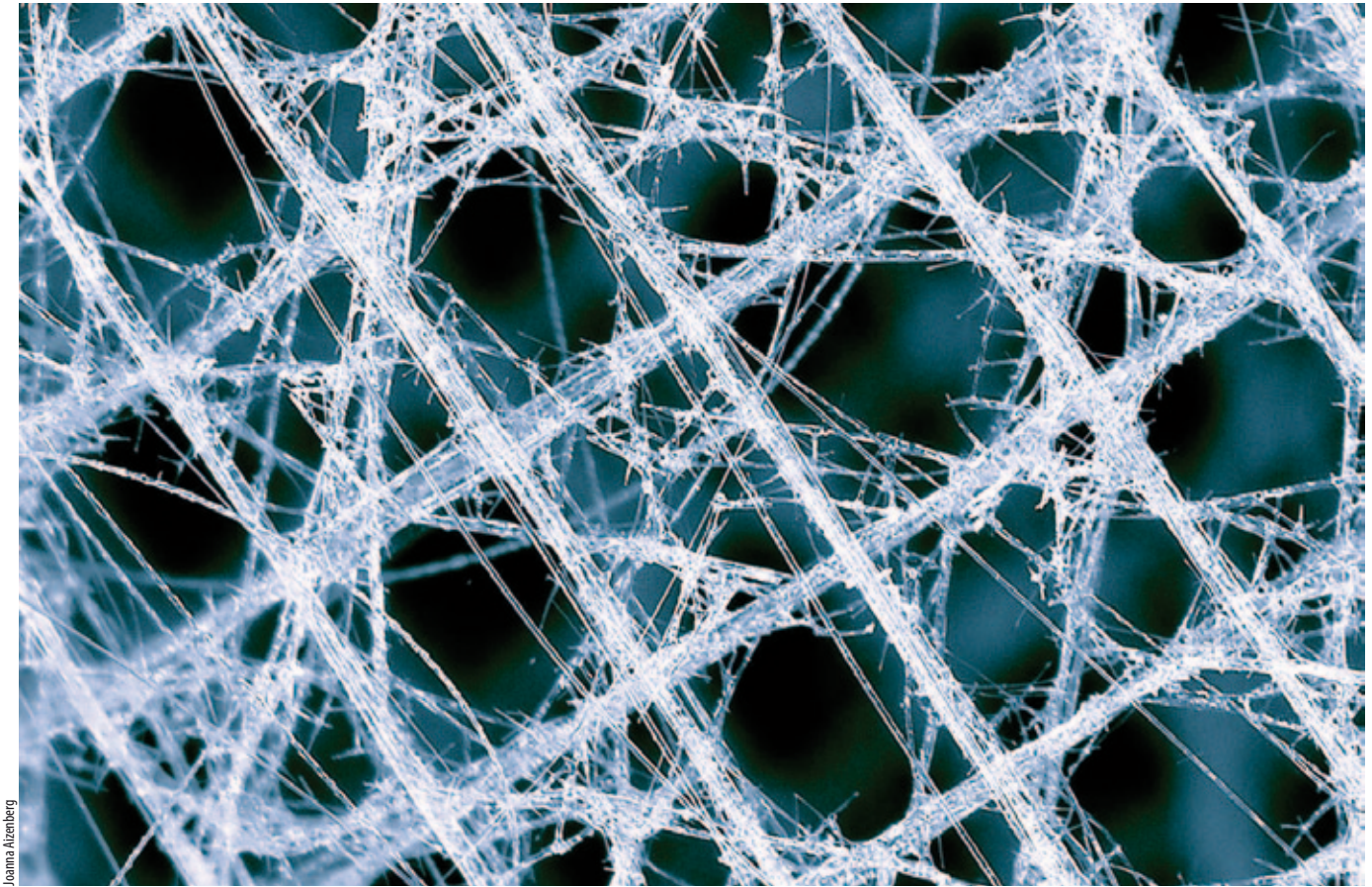


laşıp incelebilen bina kaplamalarının tasarlanması- na imkân verebileceğini düşünüyor. Üstelik bunların renk değiştirme özellikleri de bulunabileceğini, bunun da sadece estetik açıdan değil örneğin hasarlı kısımları belli edebilme gibi işlevler açısından da faydalı olabileceğini öngörüyor.

Doğa en azından üç buçuk milyar yıldır biyolojik tasarımlar oluşturuyor. Bu kadar uzun ve başarılı bir sürecin ürünü olan kadim canlılardan Aizenberg'in de dediği gibi daha öğreneceğimiz çok şey var. Bu öğrenmenin bilimi diyebileceğimiz biyomimetik alanı, hem canlılar dünyasına ilişkin heyecan verici keşiflere hem de hayal gücümüzü zorlayacak esinlenmelere gebe.

Venus sepetinin daha da yakından görüntüsü. Elektron mikroskopuyla alınan bu görüntü yapıdaki çoklu tabakaları gösteriyor. Bu doğal cam lif tabakaları yapıyı daha dayanıklı hale getiriyor ve ortamdaki ışığın içeri iletilmesini sağlıyor. İplik gibi görünen yapıların her biri 100 mikron genişliğinde, yani bir saç teli kalınlığında. (Solda)

Venus sepetine yakından bakıldığında güçlendirilmiş betona benzeyen yapıyı görülebiliyor. Şekildeki her bir kare yapı ikiye iki milimetre büyüklüğünde. (Altta)



Nano tüylerle yaptıkları başka deneyler sonucunda bu yapıların küçük kürelerin etrafını da sarmaladığını görmüşler. Bu özelliğin de yeni yapışkan malzemeler geliştirmede ya da ilaçları vücuttaki belirli bölgelerde salınmak üzere hapsetmede kullanılabileceğini düşünüyorlar.

Aizenberg bu tip yapıların ileride ayrıca çevre koşullarına uyum sağlayabilen mimari yapılarda da yararlı olabileceği, örneğin yağmur işlemeyen, buz tutmayan ya da sıcaklık değişimlerine göre kalın-

Kaynaklar

The Aizenberg Biomineralization and Biomimetics Lab,
www.seas.harvard.edu
Scientists Explore Nature' Designs,
http://news.harvard.edu/gazette
Finding Ingenious Design in Nature,
www.harvardscience.harvard.edu

Mimicking the Building Prowess of Nature,
www.technologyreview.com
Researchers Control the Assembly of Nanobristles
Into Helical Clusters, www.sciencedaily.com
Currey J. D., "Hierarchies in Biomineral Structures",
Science, Cilt 309, Sayı 5732, 8 Temmuz 2005.