

Denizden Gelen Cevherler

DENİZ KABUKLARI

Dr. Özlem Kılıç Ekici [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Yaz mevsiminin en güzel yanlarından biridir ilk fırsatta deniz kıyısına gitmek, kendini o serin sulara bırakmak, dinlenmek ve huzur bulmak. Zaman hiç geçmesin isteriz, ama tatil bitip de eve dönme vakti geldiğinde bu güzelliği bize her daim hatırlatacak bir şeyleri de yanımızda götürmek isteriz. İşte deniz kabukları tam da bu sırada devreye girerek denizin o eşsiz güzelliğini, renkli dünyasını ve benzersiz kokusunu bizlere yıl boyunca hatırlatmaya devam eder. Özellikle iri deniz kabuklarını kulağımıza tuttuğumuzda kıyıya vuran dalgaların ve denizin sesini duyarız yeniden.

Denizden gelen mücevherler gibi kıyılara serpilmiş olan deniz kabukları, salyangozlar, midyeler, deniz tarakları, istiridyeler ve diğer deniz yumuşakçaları tarafından oluşturuluyor.

Türlü şekillerdeki, çeşit çeşit bu kabuklar yüzyıllardır deniz canlılarının terk ettiği evler olarak bilinmelerinin, süs eşyası ve para olarak kullanılmalarının yanı sıra günümüzde tıptan matematiğe ve sanata, ağır metallerin temizlenmesinden kompozitlere ve malzeme bilimine kadar daha birçok alanda kullanılıyor.



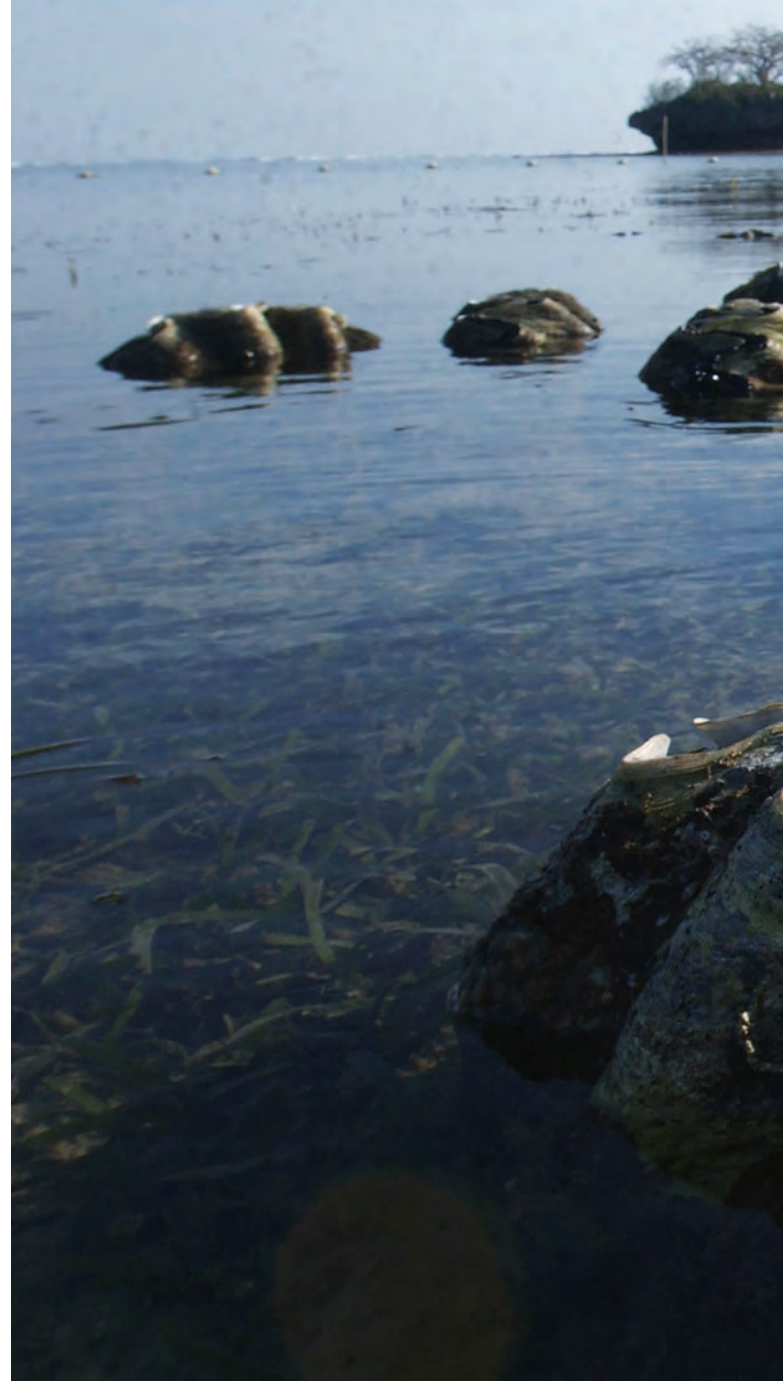
Deniz Kabuğunu Tanıyalım

Kemiksiz, yumuşak vücutlu deniz canlıları olan yumuşakçaların (Mollusca) vücutlarını çevreleyen koruyucu, sert tabakalı dış iskeletlerine deniz kabuğu deniyor. Bu kabuklar sayesinde yumuşakçaların vücutları su içinde olmadıkları zaman bile nemli kalabiliyor. Yumuşakçalar, yumurtadan genellikle kabukları ince de olsa gelişmiş olarak çıkıyorlar. Kabuk oluşumunu sağlayan malzeme, yumuşakçanın vücudundan salgılanıyor. Salgılanan malzeme sertleştikçe kabuk da büyüyor. Kabuk oluşumunda kullanılan ana malzeme kalsiyum. Yumuşakçaların kanında bol miktarda kalsiyum var. Kabuğun altında bulunan ve iç organları çevreleyen yumuşak dokuya manto deniyor. Kandan ayrılan kalsiyum, mantonun belirli noktalarından salınarak kalsiyum karbonat kristalleri oluşturuyor. Manto, bu kristal katmanlarını çeşitli kalınlıklarda depoluyor. Bu katmanlı yapı, kabuğun daha sağlam olmasını sağlıyor. Manto, aynı zamanda kabukların üzerindeki damar ve diken gibi oluşumların gelişimini de sağlıyor. Kabuk geliştikçe kalınlığı ve büyüklüğü de artıyor.

Mantonun bir diğer özelliği de, kabuğa rengini vermek. Mantoda bulunan özelleşmiş hücreler, yiyeceklerdeki boya maddelerini topluyor. Kabuk oluşumu sırasında bu boya maddeleri de kullanılıyor. Renk maddelerinin kabuk oluşumu sırasındaki hareketi, kabukların üzerindeki renkli desenlerin oluşmasını sağlıyor. Koni biçiminde olan kabukların kıvrımlarının sarmal şekline bakıldığında, hepsinin dolanma yönünün saat yelkovanının dönme yönüyle aynı olduğu görülüyor.

Yumuşakçaların kabukları üç farklı katmandan oluşuyor. En dıştaki katman kalsiyum içermeyen ince bir tabakadan ibaret. Bunun altındaki kısım kalsiyum karbonat kristalleri içeriyor. İstiridyelerde olduğu gibi, bazı kabukların en iç kısmında ise incinin ham maddesi olan sedef yer alıyor.

Binlerce farklı renkte, şekilde ve büyüklükte olmalarına rağmen kabuklular iki farklı tiptedir: Tekkabuklular (salyangozlar, denizdişleri) ve çiftkabuklular (midyeler, istridyeler, deniz tarakları). Karada yaşayanların hepsi tekkabuklu, ancak denizlerde ve tatlı sularda hem tekkabuklular hem de çiftkabuklular bulmak mümkün. Tekkabukluların bazıları bitki hücreleri ile, bazıları ise deniz-



şakayıklarının kanını emerek beslenir. Salyangozların bir kısmı diğer karındanbacaklılarla, ölü balıklarla, kimileri ise mikroskopik canlılarla beslenir. Çiftkabukluların büyük bir kısmı ise solungaçları sayesinde besleniyor. Solungaçlara giren suyla birlikte besin maddeleri de alınıyor.

Yaşayan en büyük deniz kabuklusu güneybatı Pasifik'te yaşayan *Tridacna* dev deniztarağı. Bu kabuklu yaklaşık 1,5 m uzunluğunda ve neredeyse 250 kg ağırlığında.



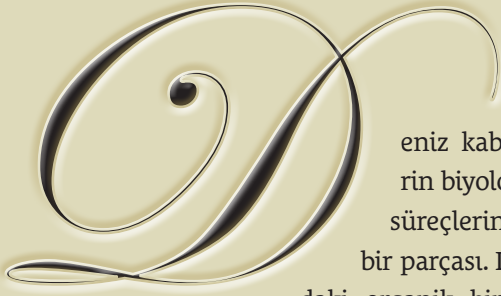
Bu dev deniz tarağı besinini fotosentez yapan bir tür deniz yosunuyla işbirliği yaparak elde ediyor. *Pythina* deniz tarağı ise karides ve kerevitlerin vücutlarının alt kısmına yapışık olarak yaşayan, yarı saydam ve en küçük deniz kabuklusu, neredeyse bir pirinç tanesi büyüklüğünde.

Deniz kabuğunun içinde yaşayan yumuşakça öldükten sonra geriye sağlam yapılı kabuğu kalır. Okyanuslardaki, denizdeki akıntılar kabukları deniz kıyılarına taşır.



Tridacna (büyük fotoğraf) ve *Pythina* (üstte)

Deniz Kabuğu Ticaretinin Tarihi



Deniz kabukları sahillerin biyolojik ve jeolojik süreçlerinin çok önemli bir parçası. Deniz tabanındaki organik birikintinin, kal-

kerin ve kireçtaşının büyük bir kısmını deniz kabukları oluşturuyor. Bununla birlikte deniz kabukları insan kültüründe de önemli bir yere sahip. İnsanlar binlerce yıldır deniz kabuklarını çok farklı amaçlarla toplamış. 19. yüzyıl başlarında Batı Afrika ülkelerinde deniz salyangozu kabukları para yerine kullanılmış. Avrupa'da çeşitli mağaralarda yapılan kazılar sonucunda deniz kabuklarının çok eski zamanlarda bile insanlar tarafından süs eşyası, aksesuar, araç gereç ve alet olarak kullanıldığı belirlenmiş.

Fosilbilimcilerin Kuzey Afrika'da ve İsrail'de yaptıkları kazılarda buldukları kolyelerin yapıldığı deniz kabuklarının, en az 100.000 yıllık olduğu sanılıyor. Bulunan bu örnekler insanlık tarihinin bilinen en eski sanat ve kültür örneklerinden. Çok eski çağlardan beri deniz kabuklarının boya malzemesi olarak kullanıldığı da biliniyor. Deniz salyangozlarından elde edilen çok özel eflatun renkli boyayı, özellikle Roma ve Bizans kraliyet aileleri kullanıyordu. Antik Yunan mimarisinin ünlü sütunları, Leonardo da Vinci'nin salyangozu andıran spiral merdivenleri, rokoko ve barok tarzındaki mimari süslemelerin hepsi salyangozlardan ve diğer deniz kabuklarından ilham alınarak tasarlanmış.

Özellikle 17. yüzyıldan itibaren deniz kabuğu koleksiyonculuğu yaygınlaşmaya başlamış. Dünyadaki en zengin deniz kabuğu çeşidine sahip ülkeler olan Filipinler'den ve Endonezya'dan her türden ve renkten deniz kabuğu getirtmek yani deniz kabuğu ticareti yapmak için birçok büyük firma kurulmuş. İnsanlar dünyada eşi benzeri olmayan deniz kabuklarına sahip olmak için çok büyük miktarda para harcamış. Bir Rus çaricesine ait olan antika bir denizkabuğunun 18. yüzyılda günümüz parasıyla yaklaşık 100.000 dolara satıldığı biliniyor.



En ender bulunan ve çok değerli olan deniz kabuklarından biri, bir deniz salyangozu olan *Sphaerocyprae incomparabilis*'e ait. Oval ve parlak koyu renkte olan bu kabuğun kenarlarında dişe benzer çıkıntılar var. Rus bilim insanları tarafından keşfedilen bu kabuğun varlığı 1990 yılında kamuoyuna açıklanmış. Bu kabuğun içinde yaşayan canlının neslinin yaklaşık 20 milyon yıl önce tükendiği biliniyor. New York'taki Doğa Tarihi Müzesi'nde sergilendiği sırada çalınan bu kabuğun daha sonra yaklaşık 20.000 dolara Endonezyalı bir deniz kabuğu koleksiyoncusuna satıldığı anlaşılmış. 2009 yılında bu kabuğu çaldığı anlaşılan açık artırmacı Martin Gill yakalanıp tutuklanmış.

Günümüzde de hâlâ profesyonel bir şekilde kabuk koleksiyonculuğu ile uğraşan birçok insan ve firma var. Anlaşılan o ki, bin bir çeşidiyle, rengiyle, görünüşüyle ve kullanım alanıyla deniz kabukları, dünden bugüne popülerliğini korumaya devam ediyor.



Deniz Kabuklarının Çevreye Hizmeti

Vietnam ve Amerika'daki bir grup araştırmacı deniz kabuklarını kullanarak sudaki ağır metal ve radyoaktif atık kirliliğini azaltmayı başardı. Atık sular birçok ülkede pahalı filtreleme sistemleri sayesinde temizleniyor. Ancak gelişmekte olan sahil ülkelerinde bu tür pahalı filtrasyon sistemlerini kullanmaya pek olanak olmuyor. Bu nedenle, uzmanlar ufalanmış midye ve istridye kabuklarını kullanarak kadmiyum, kurşun, çinko, demir ve radyoaktif madde içeren atık suları temizleme yoluna gidiyor.

Kabukların yapısında bulunan kalsiyum karbonat kristallerindeki kalsiyum atomları, ağır metallere yer değiştirerek onları kristal yapı içine hapsediyor. Kabuklar doğal olarak bazik formda bulunuyor ve çözüldüklerinde pH'ları 8,3 oluyor. Ancak eğer pH 7'nin altına düşecek olursa kabuklar moleküllerinin içine hapsettikleri metalleri sızdırmaya başlıyor. Bu durumda uzmanlar belirli aralıklarla ufalanmış kabuk takviyesi yapılarak pH'nun 7'nin üzerine çıkarılması gerektiğini belirtiyor. Çalışmaların ümit verici olduğunu belirten uzmanlar, bu sistem sayesinde birçok insanın daha temiz bir ortamda yaşayabileceğini belirtiyor.

Deniz Kabukları ve Matematik: Altın Oran ve Fibonacci Sayıları

Deniz kabuklarının geometrik yapısı birçok matematiksel modelin geliştirilmesine önyak olmuş.

Altın oran, matematikte ve sanatta, bir bütünün parçaları arasında gözlemlenen, uyum açısından en yetkin büyüklükleri verdiği sanılan geometrik ve sayısal bir oran bağıntısı olarak biliniyor.

Eski Mısırlılar ve Yunanlılar tarafından keşfedilerek mimaride ve sanatta kullanılmış.

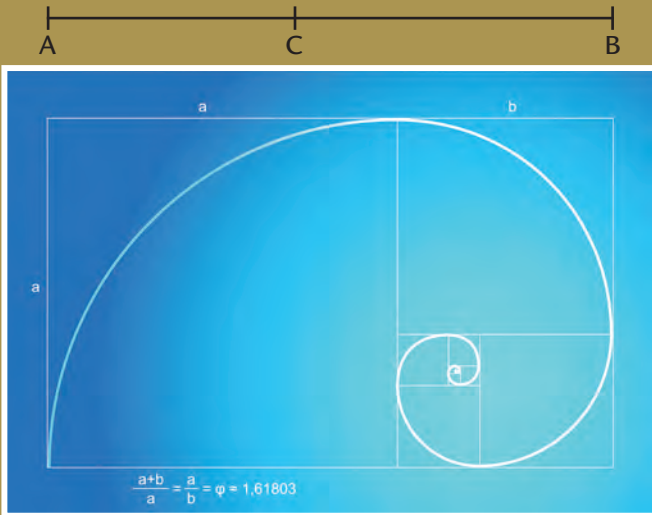
Bir doğru parçasının (AB) altın orana uygun biçimde iki parçaya bölünmesi gerektiğinde, bu doğru öyle bir noktadan (C) bölünmelidir ki küçük parçanın (AC) büyük parçaya (CB) oranı, büyük parçanın (CB) doğrunun tamamına (AB) oranına eşit olsun.

Altın oran: $CB / AC = AB / CB = 1,618$, yani bu oranın değeri her ölçü için 1,618'dir.

Altın oran, pi (π) gibi irrasyonel bir sayıdır ve ondalık sistemde yazılışı 1,618033988749894...'tür.

Fibonacci sayıları 0, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181, 6765 ... diye devam eder ve altın oran ile arasında ilginç bir ilişki bulunur.

Dizideki ardışık iki sayının oranı, sayılar büyüdükçe altın orana yaklaşır.



Salyangoz ve bazı yumuşakçaların kabuklarında olduğu gibi, birçok organizma sarmal büyüme desenleri gösterir. Bazı durumlarda bu büyümenin sarmal doğası çok belirgindir. Özellikle sedefli deniz helezonu (*Nautilus pompilius*) olarak bilinen yumuşakçanın kabuğu çok sayıda odacıktan oluşur.

Hayvan büyüdükçe kullanılmayan daha küçük odacıkları kapatarak, sarmal şeklinde giderek büyüyen odacıklar inşa eder.

Ardışık odacıkların göreceli hacimleri altın oranla ilişkilidir.



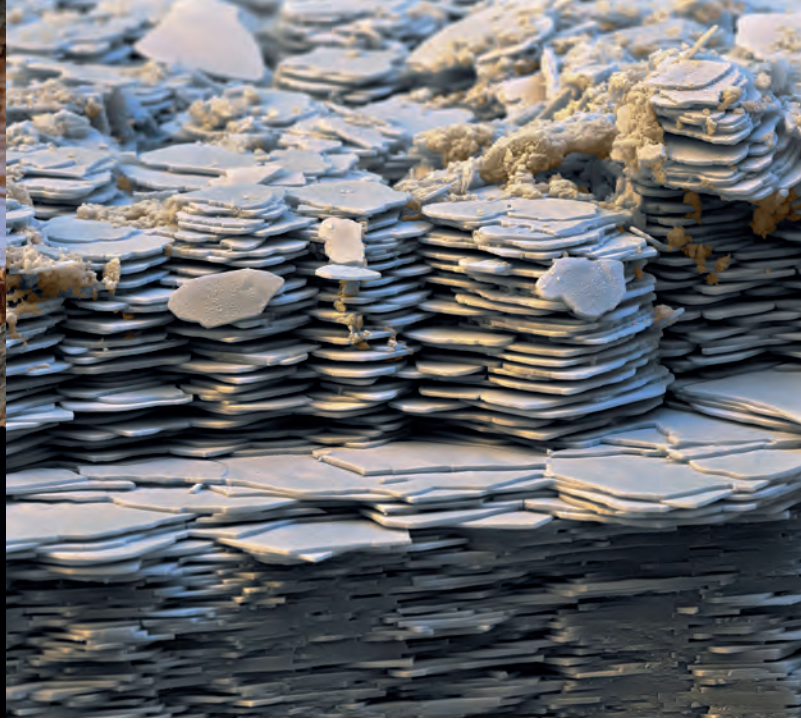
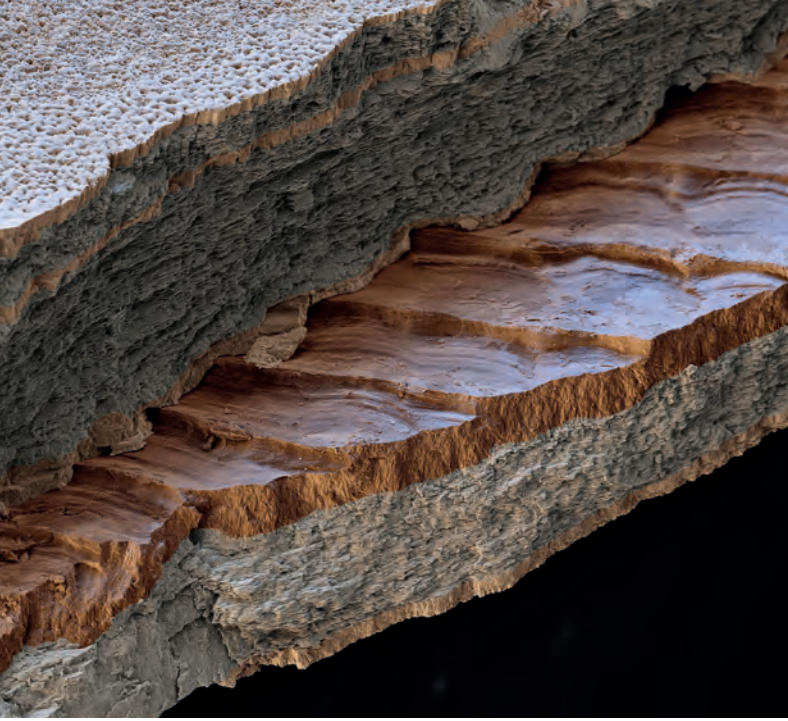
Danimarkalı mimar Vincent Callebaut Filipinler'de inşa edeceği bu yeşil binaların tasarımında deniz kabuklarından esinlenmiş

Deniz Kabuklarının Kullanım Alanları

Deniz kabukları yoğun olarak kireçtaşı elde edilmesinde, hayvan yemi karışımında, yol yapım malzemelerinde ve bazı kimyasal işlemlerde kullanılıyor. Hepimizin bildiği gibi süs eşyası, mücevher tasarımı ve dekorasyonda da kullanılıyorlar. İstiridye kabuklarında bulunan kalsiyum karbonat nedeniyle, özellikle bu kabukların yoğun olarak bulunduğu ülkelerde, kabukların öğütülerek toprağa karıştırıldığı biliniyor. Tarımsal uygulamalarda toprağın pH'sini ve kalsiyum içeriğini artırmak amacıyla kullanılıyor.

Aynı şekilde ıstiridye kabuklarından elde edilen kalsiyum, eczacılık faktöründe element takviyesi olarak da insanlar tarafından tüketiliyor. İlginç bir şekilde çok eski çağlardan beri deniz kabukları müzik aleti olarak da kullanılmış.

Özellikle son yıllarda tıptan (implant ve protez) matematiğe, sanata, mimariye, inşaat ve malzeme bilimine kadar daha birçok alanda deniz kabukları ilham kaynağı olarak da örnek alınıyor.



Malzeme Bilimi Deniz Kabuklarını Örnek Alıyor

Deniz kabukları gerçekten çok sağlam bir yapıda. Bu konuda çalışmalarını sürdüren uzmanlar özellikle deniz kulağı istiridyesinin içini kaplayan ve incinin anası olan sedefin, kabuğun içinde adeta tuğla dizilişi şeklinde yapıldığını ve bu nedenle kabuğun bu derece güçlü ve sağlam olduğunu belirtiyor. Bu istiridyenin kabuğunun üstteki katmanı çok hassas ve kırılgan. Bu dış katman bir şekilde zarar görse bile içteki sağlam yapı sayesinde kabuğun içindeki canlı korunuyor.

Deniz kabuğunun % 95'ini kalsiyum karbonat kristalleri oluşturuyor. Yani hani şu okuldaki tahtalara yazı yazdığımız tebeşirlerdeki malzemenin aynısı. Ama hepimiz biliriz ki birazcık fazla bastırılınca bu tebeşirler hemen kırıp ufalanır. Halbuki deniz kabukları tebeşirlerden neredeyse bin kat daha güçlü. Kabukların yapısını oluşturan diğer % 5'lik kısım ise yaklaşık 30 farklı proteinden oluşan, organik malzeme. Bu proteinler tıpkı demir plakalar ve sütunlar gibi, kalsiyum karbonat kristallerinden oluşmuş sedef tuğlaları bir arada tutuyor ve kabuğun bu derece sert ve sağlam kalmasını sağlıyor. İşte size % 100 doğal bir kompozit malzeme.

Kompozit malzemeler birbirinden ayrı iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile imal edilen bir malzeme türü. Her kompozitte genellikle iki tip madde bulunur: Matris ve takviye malzemesi. Bu malzemeler birbirlerinden farklı fiziksel özelliklere sahiptir ve bir araya getirilmeleri ile oluşan kompozit malzeme her ikisinden de farklı özellikler taşır. Genel olarak takviye malzemesi taşıyıcı görev üstlenir, etrafındaki matris ise bu malzemeyi bir arada tutmaya ve desteklemeye yarar. Günümüzde en çok kullanılan kompozitlerden biri betondur. Çimento ve kumdan meydana gelen malzeme, matris çelik çubuklar ile desteklenir. Çok bilinen bir diğer kompozit ise kerpiçtir. Çamurun ve samanın karıştırılması ile oluşturulan bu malzeme hayli eskiden beri bilinen, belki de insanlık tarihinin en eski yapı malzemesi. Ancak malzeme bilimcilerin çalışmaları sayesinde deniz kabukları baz alınarak geliştirilen, doğayı yansıtan biyomimetik malzemeler birçok alanda kullanılmaya başlanacak.

Kabuğun içindeki kalsiyum karbonat kristalleri yani sedef içerik, tuğladan örülmüş duvarlar gibi minyatür bir yapı oluşturuyor. Her bir kristal 60-130 nanometre kalınlığında, 100-380 nanometre genişliğinde ve sadece birkaç mikrometre uzunluğunda. Nanometre metrenin milyarda biri, mikrometre ise metrenin milyonda biri. Bu tuğlalar kabuğun iç yüzeyinde öyle bir şekilde dizilmişler ki bir tanesinin köşesi üstteki ve alttaki tuğla kesitinin tam merkezine denk geliyor. Bu diziliş, oluşan çatlakların derinlemesine ilerlemesine engel olarak kabuğun sağlamlığını artırıyor.

Yapılan çalışmalar tuğla şeklindeki bu yapının doğal olarak pürüzlü ve dalgalı bir yüzeye sahip olduğunu da gösteriyor. Dışarıdan bir zorlanma olduğunda bu tuğlalar birbirlerine doğru kayarak kenetleniyor ve zarar sırasında oluşan enerjyi daha geniş bir alana yayıyorlar.



Yani bu pürüzlü ve birbirine kenetlenebilen dalgalı yapı, hassas dış tabakanın bükülmelere ve esnemelere karşı daha dayanıklı olmasını sağlıyor. Kabuğun dış kısmında meydana gelen çatlaklar ve zararlar bu nedenle iç kısma zarar veremiyor. İşte deniz kabuğunun sağlamlığını açıklayan bilimsel gerçek. İlginç, değil mi?

Deniz kabuklarının sağlam yapısından ve oluşum mekanizmasından etkilenen malzeme bilimciler ve mühendisler, bu dayanıklılığı örnek alarak mimaride ve mühendislik alanlarında kullanılacak yeni sentetik kompozit malzemeler geliştiriyorlar. Deniz kabuğunun kalsiyum karbonat kristali içerikli sedef yapısı taklit edilerek elde edilen, nano ölçekli kompozit malzemelerin özellikle uzaycılık çalışmalarında, hafif fakat sağlam uçak zırhlarının yapımında, ulaştırma sanayisinde ve düşük ağırlıktaki yani hafif köprülerin inşasında kullanılması amaçlanıyor.

Biyomimetik malzeme yapabilmek için uzmanların her şeyden önce ufak kristalleri ve bunların çaprazlama dizilimlerini kompozitlere uygulaması gerekiyor. Ancak bu malzemenin gerçek anlamda biyomimetik olması için canlı organizmanın çok önemli bir özelliğini de taşıması gerekiyor; kendi kendini iyileştirebilme, tamir edebilme yeteneği. Malzeme bilimciler keşfettikleri bazı polimerlerin sıcaklık uygulandığı zaman kendi kendini iyileştirdiğini bulmuş. İlerleyen çalışmalar aynı şekilde kendini yenileyebilen kristalli kompozitlerin oluşumunu da sağlayacaktır.

Manchester Üniversitesi'ndeki bir grup araştırmacı, kalsiyum karbonat kristallerini strafor köpük partikülleri ile birleştirerek kırılmaya ve ufalanmaya daha dayanıklı, seramik polimerler elde etti. Bu malzeme çatladığı zaman polimerin çatlak boyunca uzadığı ve kırılmayı engellediği keşfedildi. Bu şekilde enerjinin emildiği ve malzemenin dayanıklılığın artırıldığı belirtiliyor. Çalışmalar devam ediyor ve uzmanlar bu sayede daha dayanıklı yapı, protez ve implant malzemelerinin geliştirileceğini düşünüyor.

Uzmanlar doğal malzemeler olan deniz kabuklarının detaylı bir şekilde kopyalanan prototipler olarak görülmeğe ziyade, doğanın insanlığın hizmetine sunduğu modern ve yüksek performanslı malzemeler olarak kabul edilip böyle bir yaklaşımla incelenmesi gerektiğini savunuyor. Ünlü sanatçı Leonardo Da Vinci'nin de deyişiyle "İsterse ustaların ustası olsun, her kim doğadan değil de yapay olan bir şeyden ilham alıyorsa, tüm emekleri boşa gidiyor demektir". ■

Kaynaklar

<http://www.livescience.com/11696-seashells-strength-interlocking-bricks.html>
http://www.sciencenews.org/view/generic/id/6030/title/Sea_Shell_Spirals

