# Doğadaki Geometri

*Doğanın geometrik yapısı çağlar boyunca insanoğlunun beynini kurcalamış; bu alandaki çalışmalarını tanrının varlığına veya yokluğuna ilişkin irdelemelere yöneltenler olmuştur. Ancak, tüm bu çalışmaların ardındaki ana motivasyon, doğanın ve genel anlamıyla dünya üzerindeki yaşamın şeklinin anlaşılabilmesi çabasıdır. Geometrik inceleme, özellikle de kartezyen yöntemler, Descartes'ın ussalcılığının ana araçlarıydı. Descartes'ın izinden giden Spinoza da geometrik yöntem ile doğa ve insan davranışlarını yöneten yasalar üzerine felsefi çözümlemelere varmaya çalışmıştı. Günümüzün modern bilimi için de, birçok sorunun yanıtının aranmasında geometrik yöntem vazgeçilmez bir araçtır.*

BİRÇOKLARI için geometrinin tatsız ve soğuk oluşunun sebepleri arasında, geometrinin bir bulutun, dağın, sahil şeridinin veya ağacın biçimini açıklayamaması yer alır. Bulutlar küresel, dağlar konik, koylar dairesel, ağaç kabuğu düzlemsel değildir. Genel olarak doğanın birçok geometrik ögesi, alışılagelmiş Eukleides geometrisinin bakış açısıyla biçimsiz ve bölük börçüktür. Doğanın geometrik motifleri Eukleides geometrisi ile incelendiğinde, sadece yüksek düzeyde değil, farklı yönde bir karmaşıklık içerdiği gözleniyor. Doğayı modellemek istediğimizde, alışılagelmiş geometrik yöntemler bize güçlü araçlar sağlayamıyor. Oysa, iki dağ birbirine benzer; bulutların belli biçimleri, değişik tipteki mercanların ortak yönleri vardır. Çok sayıdaki memeli hayvanın oluşturduğu kalabalık bir grup içinden, bir kaplanı ayırt etmek güçlük yaratmıyor. Ancak, kimse bir kaplanın ayırt edilmesini sağlayan, "k = kaplan" biçiminde bir formül yazamamıştır.

Doğayı modellemekte güçlük çekişimizin en önemli sebebi, sahip olduğumuz en yetkin aracın Eukleides geometrisi olduğunu sanıyor oluşumuzdur. Bu gibi sorunların üstesinden gelmek için, karmaşık matematiksel düzlemde, dinamik sistemlere dair çözüm olanakları sunan fraktal geometriden yararlanılabilir. Ya da alışılmış, matematiksel eşitlikler içeren formüller yerine tekrarlanan oranlar, özellikle de altın oran kullanılabilir. Dallanma ve tekrarların incelenmesinde fraktal geometrinin yanısıra Fibonacci sayıları gibi matematik diziler umut verici inceleme olanakları yaratıyor. İnceleme yöntemlerinde yapılabilecek bir diğer değişiklik de, canlıların sahip olduğu biyolojik kökenli motiflerin başlı başına DNA üzerinde kayıtlı olan genetik yönerge tarafından belirlendiği kanısını yıkmak olabilir. Alan Turing gibi bazı bilim adamları, DNA'da kayıtlı olan geometrik motiflerin temelinde kimyasal süreçlerin mekaniğini örnek alan matematiksel modeller olduğunu açıklıyor.

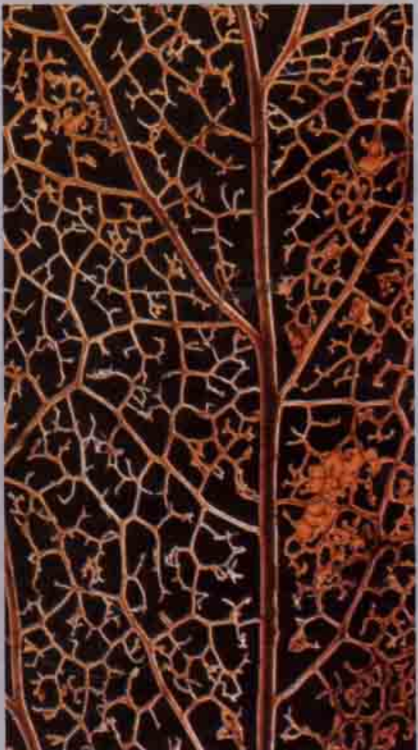
## Eukleides Geometrisi

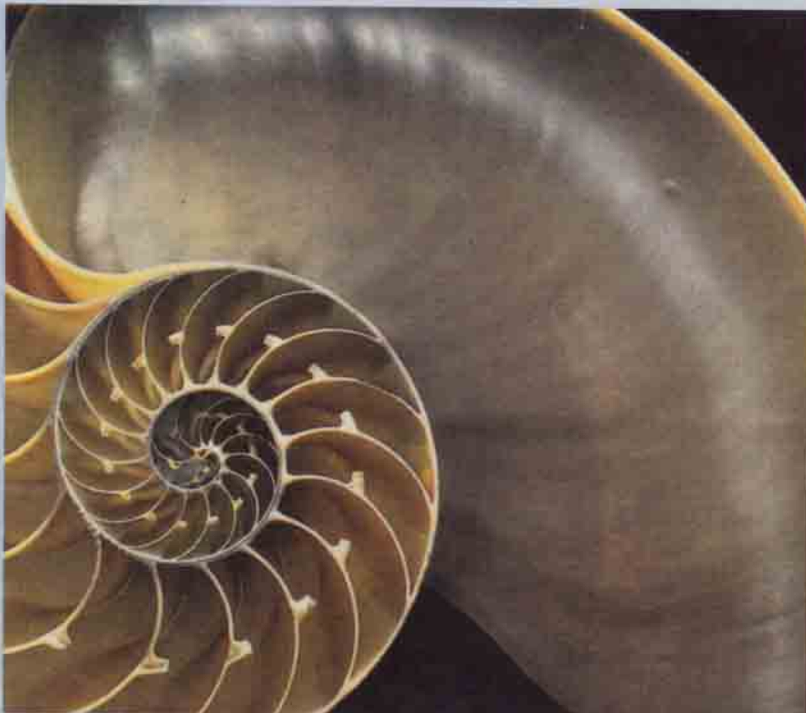
Bugün hâlâ insanoğlunun elindeki en güçlü geometrik araç Eukleides geometrisidir. Eukleides geometrisini bu denli güçlü kılan da "gündelik uzayda" karşılaştığımız geometrik sorunların hemen hepsini çözebiliyor oluşudur. Burada sözünü ettiğimiz "gündelik uzay", insanın günlük işlerinin sürdüğü uzay, yani maddenin ışık hızının çok altında hareket ettiği, rastlanılan maddeleri de çok sayıda molekülün oluşturduğu uzaydır. Işık hızına yakın seyreden maddeyi veya çok küçük parçacıkları ele aldığımızda, Eukleides geometrisi elimizdeki en güçlü araç olmayabilir.

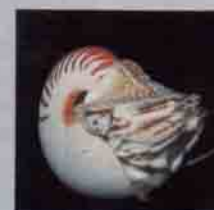
Matematiğin dizgesel olarak kurulabileceği fikri Eski Yunan'dan beri bilinmektedir. 19. yüzyılın ikinci yarısı ile 20. yüzyılın başı, matematiğin tam olarak ve her türlü sezgiden arındırılarak dizgeleştirilmesi çabalarına tanık olmuştur. Dizgeler aksiyomların belirlenişiyle oluşturulur. Bazı aksiyomların ise nasıl ve neden seçildiği ilginç felsefi sorunlardan biridir.

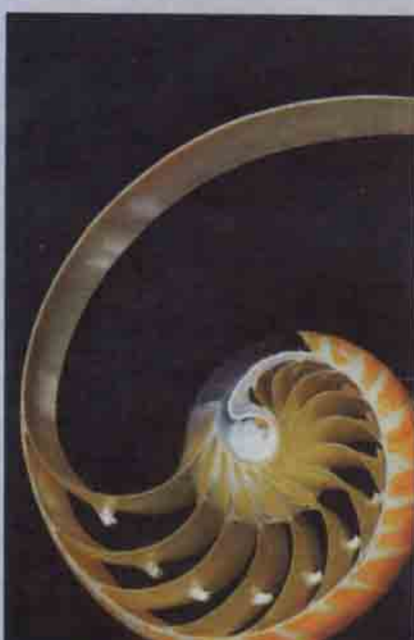
Aksiyomatik yöntemin babası Eukleides'dir. Eukleides, kendinden önce bilinen birçok geometri teoremini de kendi kurduğu geometri dizgesinden mantıksal olarak çıkarsanacak bir aksiyom dizgesini kurmuştu. Eukleides geometrisinin içinde gözlemle yanlışlanabilecek hiçbir önerme yoktu.

19. yüzyılın başında Eukleides dışı geometrilerin ortaya çıkışı, matematik tarihinde olduğu kadar, düşünce tarihinde de önemli bir dönüm noktası oluşturmuştu. Çünkü zorunlu olarak doğru oldukları düşünülen Eukleides aksiyomlarının birinin yerine, onun tam karşıtı konulduğunda ortaya yeni geometri dizgeleri çıkıyordu. Eukleides'in, "bir doğruya onun dışındaki bir noktadan bir ve yalnız bir paralel doğru çizilebilir" olduğunu ifade eden 5. aksiyomunun yerine, bu aksiyomun tam karşıtını, yani bir doğruya onun dışındaki bir noktadan birden çok paralel çizilebileceğini ya da hiç çizilemeyeceğini kendi dizgelerine dahil eden Eukleides dışı geometriler, önermeleri alıştığımız sezgilere aykırı gelse de, matematik açısından Eukleides geometrisi ile eşdeğerdi; önermeleri biçimsel olarak kanıtlanabilirdi. Daha sonraları, sezgiye aykırı görünseler de, Newton'cu olmayan fizikte olgularla uyumlu olarak kullanılabildiklerine tanık olundu. Einstein'in genel görelilik kuramı (1915), Eukleides dışı, Riemann geometrisiyle ifade edilmiştir.









Eukleides dışı geometrik yöntemlerin "gündelik uzay" için kullanılması alışılagelmiş bir durum değildir. Yine de, doğanın geometrisini incelerken, Eukleides geometrisinin biçimsiz veya karmaşık olarak nitelendirip bir kenara attığı ögeleri insanoğlunun algı dağarcığına kazandırmak için farklı geometrik araçlara başvurulabilir.

## Fraktal Geometri

Fraktal geometri, salt ismiyle bile aykırı bir matematiksel çıkışın işaretlerini içeriyor. Cebir sözcüğü Arapça olup, birleştirme ve bütünleştirme anlamlarına gelir. Fraktal ise, parçalanmış, bölünmüş anlamına gelen, batı kökenli bir sözcüktür. Gerçekten de alışılmış geometrinin mantığı, dünyayı sadeleştirip, kolayca algılanabilir hale getirerek "sonlu" ögelere indirgemek biçiminde işler.

Oysa doğa, özünde bu disipline uygun değildir. Bir ağaç gövdesinin kontürü doğrusal olarak sadeleştirilebilir; ancak ağacın kabuğu yakından incelenecek olursa, detaya inildikçe farklılaşan geometrik ögelerin farkına varılacaktır. Sadeleştirici geometri doğanın taklit edilmesini, örneğin resminin çizilmesini sağlayabilir, ama etkin bir matematiksel modellemede faydasızdır.

Fraktal geometrinin kavram ve yöntemlerini ünlü 20. yüzyıl matematikçisi Benoit B. Mandelbrot'a borçluyuz. Fraktal kümelerin en ünlüsü ve bu kümenin grafik görüntüsü de bu matematikçinin adıyla anılıyor. Bugünkü haliyle fraktal geometrinin geçmişi ancak 1975'e dayanıyor. Araçları ve kavramları ise bambaşka amaçlarla da olsa önceden geliştirilmişti. Fikirsel alandaki büyük bir devrim 20. yüzyıl matematiğini 19.yüzyılın klasik matematiğinden ayırıyor.

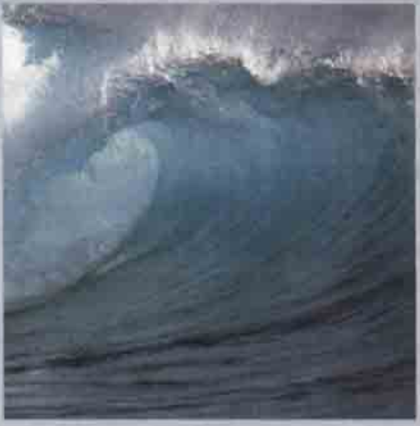
Klasik matematik köklerini Eukleides geometrisinin yapısına ve Newton mekaniğine dayandırıyordu. Cantor ve Peano'nun modern matematiğin başlangıcı sayılan çalışmaları Eukleides ve Newton'un modellerine uygun düşmüyordu. Başlarda, o zamanların yaygın sanat beğenisine aykırı düşüp, yeni yeni gelişen kübik resim ve atonal müzikle uzlaşabilen bu yeni yöntemler "patolojik" olmakla itham ediliyordu. Bu matematiğin öncüleri de klasik matematiğin doğayla ilgili gözlemlerle sınırlandırılmış yapısının artık aşıldığını söylüyordu. Ancak Mandelbrot'un da dediği gibi, matematikçiler doğanın oyununa gelmişti. 19. yy. matematiğindeki naturalizmin sınırlarını yıktığı düşünülen yeni matematiğin birçok ögesinin doğadaki bazı unsurlara denk düştüğü ortaya çıkmıştı. Yine de, 20. yüzyıl matematiğinin bu "rengi sonradan çıkan" boyutu, fraktal geometri için sadece temel düzeyde bir başlangıç olmaktan ileri gitmemişti.

Fraktal geometrinin en önemli açılımı, kaosun düzenini ortaya koyması, yani resmi çizilemez olanın resmini çizmesidir. Kaosun en azından fraktal bağlamda bir düzeni olduğunun vurgulanması bile başlıbaşına devrimci bir yenilikti. Fraktal görüntülerin veya setlerin en önemli özelliği ise, sonsuza değin ayrıntı sunmaları, her ayrıntının da gereksiz bir tekrar değil, "kendine benzeme

gelelik değil, kendine özgü bir düzenlilik gösterir. Çoğu hayvan çarpıcı renkler taşır. Renklerin yanısıra, benek, şerit, alacalı renk kombinasyonları gibi geometrik düzenlemelere sahiptirler.

Geometrik yapının yanısıra sayısal düzenlilikten de söz edilebilir. Örneğin insan kolu tek kemikle başlar; ön kolda iki kemik vardır; düzensiz, ama ayırt edilebilir üç kemiği bilekteki dört kemik takip eder ve en sonunda da beş parmağa ulaşır. Bu, 1-2-3-4-5 dizisi bir rastlantı mıdır? Yoksa biyolojik yapıların ardında sayısal yapılar mı aranmalı?

Okyanus dalgaları ve girdap motiflerinin temelinde akışkan mekaniğinin denklemleri vardır. Aynı şekilde hayvan motiflerini açıklayan denklemler bulunabilir mi? Görüntü kümesi şeritler olan bir kaplan denklemi var mıdır?



Bir kaplanın rengi ve formunun kaynağına ilişkin yerleşik tanımlama, bunların bütün yönleriyle DNA kayıtlarında yer aldığına ilişkindir. DNA kayıtları kaplanın hangi proteinlerinin nerede kullanılacağı yönünde bilgiler içerir. Kaplana rengini veren pigmentler de bu sınıflandırmadaki proteinler arasında yer alır.

Yine de, bir arabayı üretebilmek için mühendisin teslim ettiği ozalitlerden fazlası gerekir. Proteinlerin üretilmesi ve konumlandırılması ancak ve ancak bir seri kimyasal etkimenin ve bunların yasalarının ışığında gerçekleşir. Canlıların yapılarındaki belirgin matematiksel düzenlilik, bu yasaların, canlıların biçimlendirilmesinde genetik komut taşıyıcısı olmanın ötesinde roller üstlendikleri fikrini doğuruyor. Suyun sıvı gibi davranması, kar tanelerinin herkesçe bilinen geometrilerine sahip olmaları gibi olguların gerçekleşmesi için DNA yönergelerine ihtiyaç yoktur. Aynı biçimde, doğanın geometrik yapısının kurallarının canlıların gelişimini etkilediği söylenemez mi?

Motiflerin oluşumunda kimyasal işlemlerin rolü, 1952 yılında Alan Turing tarafından ele alınmıştır. Turing, motiflerin birbiriyle etkimeye giren ve doku üzerinde difüzyona uğrayan kimyasal maddelerin ürünü olduğunu söylüyordu.

Turing motiflerinin ortaya çıkış biçimi mekanik bir analogla açıklanabilir. Plastik bir şerit, bir santimetre aralıkla gerçekleştirilmiş iki kitabın arasında bir çift oluşturacak şekilde masaya konur. Şeritin iki ucu birbirine doğru itildiğinde şaşırtıcı derecede simetrik ve kusursuz, dalgalı bir yapı oluşturur. Basınç altındaki her bükülme tepkime sonucu oluşan kimyasal kararsızlığa özdeştir. Turing de aynı sonuca kimyasal ortamda ulaşmıştı.

Gerçek dünyadaki Turing motiflerine en güzel örneği Belousov-Zhabotinskii reaksiyonu oluşturuyor. Belli kimyasal maddeler karıştırılıp sığ bir kaba konur. karışım önce mavi bir tabaka oluşturur. Daha sonra renk kızıl-kahveye dönüşür. Birkaç dakika sonra, görünürde bir sebep yokken bir kaç mavi nokta belirir. Büyürler ve merkezleri kırmızıya dönüşür. Mavi halka genişlerken, kırmızı beneğin ortasında yeni bir mavi nokta belirir. Bir süre sonra, kap, eş merkezli, kesişen mavi ve kırmızı halkalarla dolar.

Bu gibi kimyasal tepkimeler doğada sıkça rastlanan belli tiplerde ve sınıflandırılabilir motifler doğurur. Bunlar da bizim "Turing Motifleri" dediğimiz şekillerdir.

Şimdilik bir kaplan formülü yazılamasa da bu formülün neye benzemesi gerektiği biliniyor.

Kimyasal tepkimelerin yasalarına dayanan matematiksel modellemenin, doğanın geometrisine dair birçok çözülmemiş problemin üstesinden gelebileceği kesindir. Kimyanın yanısıra diğer bilim dallarının yasalarının matematiksel ifadelerinden yararlanarak bu çözüm yönteminin perspektifi geliştirilebilir.

Fraktal geometri, doğanın geometrisinin anlaşılması için güçlü bir araç sağlıyor. Turing motifleri ise bu geometrinin ardında yatan fiziksel ve biyolojik gerçekler üzerinde fikir yürütülmesine ortam yaratıyor. İnsanlık, doğanın yapısını bütün boyutlarıyla çözümleme noktasına hızla ilerlemektedir.

Özgür Kurtuluş

Kaynaklar


Bergil, Mehmet Suat. Doğada, Bilimde, Sanatta Altın Oran, Arkeoloji ve Sanat Yay., 1993.
Cohen, Jack & Stewart, Ian. "Let T equal tiger ...," New Scientist, 6 Eylül 1993.
Davey, Royer Stanley David. "All about ice", New Scientist, 18 Aralık, 1993.
Huntley, H.E. The Divine Proportion, Dover Publ. Inc., 1970.
Mandelbrot, Benoit B. The Fractal Geometry of Nature, W.H. Freeman and Co., 1983.
Nagel, Ernest Newman James R. Gödel Kanıtlaması, Sarmal Yayınevi, 1994.
Vogel, Shawna. "Snow Clones", Discover, Şubat 1989.


özelliği" taşımasıydı. Gerçekten de fraktal geometrinin en önemli kavramı "kendine benzeme" kavramıdır. Bir görüntüden alınan detaylar, bunların alt detaylarına ve görüntünün tümüne benzer. Doğada da bu özellik gözlenebilir. Bir bitkinin detaylarına bakan bilgili bir göz, bitkinin türü ve genel geometrisi hakkında isabetli yargılara kolayca varabilir. Bir dağın genel geometrisinin de dağı oluşturan tepeler ve kaya bloklarını andırması şaşırtıcı değildir. Keza bir bulut kümesinin kendine benzeyen alt kümelerin bütünü olduğunu biliyoruz. Doğadaki bu ve buna benzer geometrik yapıların incelenmesinde bize Eukleides geometrisi değil, fraktal geometri yardımcı olur. Fraktal geometri sahil şeritlerinin, dağların, bitkilerin, mercanların ve doğanın benzeri birçok öğesinin modellenmesinde etkin bir yöntemdir.

## Altın Oran

Bilindiği kadarıyla altın orana ilişkin matematik bilgisi ilk kez M.Ö. 3. yüzyılda Eukleides'in *Stoikhesa* (Ögeler) adlı yapıtında "aşıt ve ortalama oran" adıyla kayda geçirilmiştir. Bazı veriler bu bilginin M.Ö. 3. binyıla dayandığını göstermektedir. Grek dünyasına da Phythagoras ve Pythagorasçılar tarafından katıldığı ileri sürülür. Yaklaşık olarak 0,618 değerindedir. Altın oran doğada bitkilerin tanımlanmasından, çeşitli yumuşakçaların kabuklarına, erkek arıların üremesiyle ilgili soy tablosundan akciğerdeki "bronş ağacı" dallanmalarına kadar umulmadık birçok yerde boy gösterir.

Altın oranın doğadaki varlığını örnekleyen en ünlü canlı, nautilus kabuklusudur. Bu canlının kabuk yapısı logaritmik sarmal biçimindedir. Bu sarmalda merkezden başlayan her ışın vektörünün eğriyi herhangi bir noktada kestiği açı sabit olduğundan, Descartes tarafından eşit açılı sarmal adına layık görülmüştür. Logaritmik sarmal adını bulan J. Bernoulli ise bu eğrinin matematiksel güzelliğinden çok etkilenmiş olmalı ki, mezar taşına bir logaritmik sarmal kazınması için vasiyette bulunmuştu. Değişik kültürlerin, değişik dönemlerde ortaya koyduğu birçok mimar eserin yapısındaki çoğu unsurun altın orana sadık kalınarak tasarlandığı görülür. Kasıtlı ve kasıtsız olarak, yaygın bir biçimde yapılan bu tercih, insanoğlunun sanatsal yaratıcılığını ortaya koyarken doğaya ne şekilde öykündüğünü sergiliyor. Altın oranın sunduğu en önemli hizmet ise, doğanın geometrisinin incelenmesinde önemli bir boşluğu dolduruyor oluşudur.

## Fibonacci Dizisi

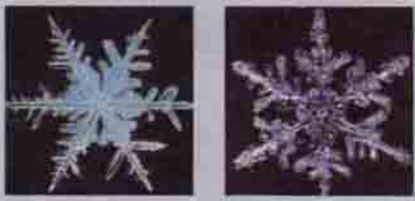
"Eğer her tarafı duvarlarla çevrili bir yere bir çift tavşan bırakılır da her ay her bir tavşan çiftinin, ikinci aydan itibaren doğurgan hale gelen yeni bir tavşan çifti doğuracağını kabul edersek, bu yerde bir yıl içinde kaç tavşan çifti üretebiliriz?"

Fibonacci, 1202 yılında yayımladığı *Liber Abaci* (Abak Kitabı) adlı yapıtında bu probleme yer verirken belki de sadece Batı'ya geniş anlamda ilk kez bu kitapta tanıtılan Hint-Arap rakamlarıyla yapılacak toplama işlemlerini okuyucu için çekici bir hale getirmeyi düşünüyordu.

.Ne var ki o dönemin en tanınmış matematikçisi olan Fibonacci, adının 19. ve 20. yüzyıllarda anılmasını daha çok bu probleme borçludur. Nedeni de bu problemin çözümünün son derece ilginç bir sayı dizisi vermesidir. Problemin sonucu Fibonacci dizisi adıyla anılan ünlü bir diziyi veriyordu. İlk iki terimi 1 olmak koşuluyla, her terimi önceki iki terimin toplamı olan dizidir bu. Fibonacci dizisinin, doğanın geometrisinin incelenmesindeki en büyük katkısı, bitkilerin geometrisiyle ilgilidir. Botanikte Fibonacci dizisine büyüyen bir bitkinin üzerindeki koltuk ve sap sayısında rastlanır. Basit bir örneği (*Archillea Ptarmica*) ele alırsak, her bir yatay düzlem üzerinde ortaya çıkan koltukları ve sapları saydığımızda, ikisinin de Fibonacci sayılarına göre arttığı anlaşılacaktır.

Başka bir örnek de ayçiçeğidir. Küme halindeki tohumlar, biri sağa, öbürü sola dönen ve birbirini kesen iki grup logaritmik sarmal şeklinde dizilmişlerdir. Üstelik, sayılmaya kalkışıldığında, sağa dönük sarmalların sayısı ile sola dönük olanların sayısı, iki ardışık Fibonacci sayısı verecektir.

Görüldüğü gibi, doğanın geometrik modelinin çıkarılmasındaki ilk girişimler umutsuzluk doğursa da, iyice incelendiğinde, doğadaki birçok geometrik unsurun salt matematiksel açıdan çözümlenmesinin olası olduğu ortaya çıkıyor



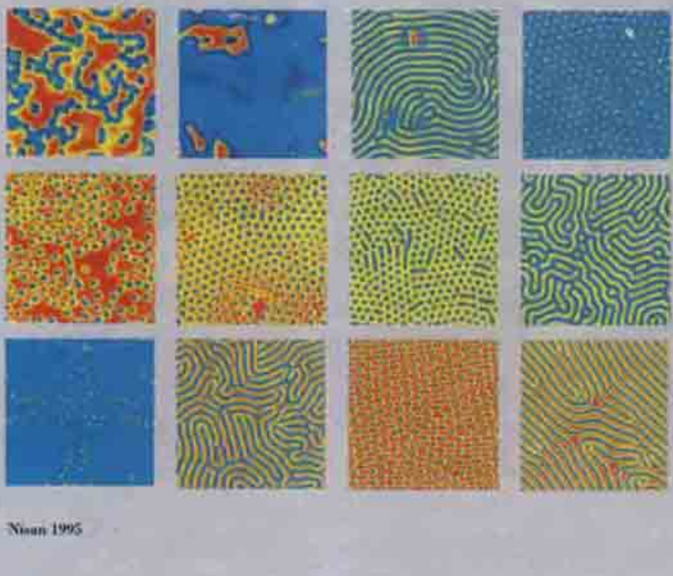
## Kar Tanelerinin Geometrisi

Aslında, doğanın geometrik yapısını incelerken, saf matematiksellik içeren modellere başvurmak tek çıkış yolu değildir. Doğadaki birçok geometrik unsuru ele alırken fiziğin, kimyanın, biyolojinin ve mekaniğin yasaları üzerinde şekillenmiş matematiksel formülasyona başvurmak gerekebilir.

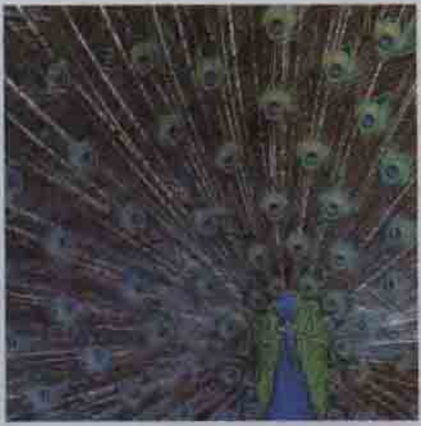
Buna en güzel örneklerden birisi hiç kuşkusuz kar tanelerinin geometrisidir. Yeryüzünde bulunma olasılığı en düşük olan şey, özdeş iki kar tanesi olsa gerek... Araştırmacılar kartanelerini 80 ana sınıf altında ele alıyorlar. Ve belki de bu sınıfların tek ortak yönü, su moleküllerinin bağ yaparken oluşturdukları açı tarafından belirlenen altıgen yapıdır.

Her kar tanesi, oluşumuna aynı biçimde, suya fazlasıyla doymuş bir soğuk hava kümesi olan kar bulutunun içindeki bir toz tanesinin üzerinde yoğunlaşan bir su damlacığı olarak başlar.

Ancak bundan sonraki biçimi, içinde hareket ettiği bulutta geçtiği bölgelerdeki doyma derecesi ve sıcaklık tarafından belir-



*Turing motiflerin, sığ deney kaplarında kimyasal süreçlerin sonucu olarak elde edilebiliyor. Solda, bu yoldan elde edilen Turing motiflerinin, bilgisayar ortamında sınıflandırılmış örnekleri görülüyor.*


lenir. Bir bölge, iğne biçimli kristalleşme yaratırken, farklı sıcaklık ve yoğunluktaki başka bir bölge düzlemsel kristallere yol açabilir. Kar tanesinin evrimi boyunca atmosfer şartları sürekli değiştiği için de kar tanesi birçok ana geometrinin karmaşık bir bileşimi olarak gelişir.

Bir kar tanesinin biçimini etkileyecek yaklaşık bir milyon değişik sıcaklık ve doyma derecesi ortamı mevcuttur. Bu da kar tanesinin yere düşünceye kadar, on üzeri beş milyon değişik ortam kombinasyonundan geçeceğini ortaya koyuyor. İstatistiksel hesaplar yapıldığında, 4.5 milyon yıl içinde yeryüzüne düşen kar tanelerinin ancak on üzeri otuzbeşinin genel geometrileri bakımından eşi olan yapıda olabileceği ortaya çıkıyor. Buna rağmen, moleküler düzeyde özdeş kar tanelerine hiç rastlanamaması da olası.

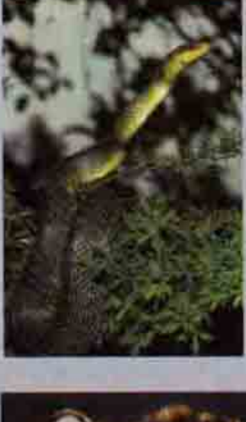
Kar tanelerinin altılı simetrisi, tüm diğer kristallerin yapılarındaki simetride olduğu gibi, bileşeni olan molekülün, yani su molekülünün bağ oluşturma açısından kaynaklanıyor.

Alman astronomi bilgini J. Kepler' de 1611'de kar tanesinin geometrisini açıklamaya yönelik isabetli girişimlerde bulunmuş ama sonuca ulaşamamıştı.

Kar tanesinin altıgen yapısını açıklamak kolaydır. Bu bütünüyle su molekülünün yapısıyla ilgilidir. İkinci olarak açıklanması gereken ise kar tanelerinin neden düzlemsel olduğudur. Bu da, hidrojen bağlarının ekonomik kullanımıyla ilgilidir. Kar tanesinin alt ve üst yüzeylerindeki her oksijen atomu, doldurulmamış bir tek hidrojen bağına sahiptir. Oysa, kenardakiler için bu rakam ikidir. Bu sebeple, kristal yanlara doğru daha hızlı gelişir ve düzlemsel bir yapı kazanır.

Son olarak da kenarların neden düz değil de köşeli yapıda olduğunu anlamak gerekiyor. Bu ise, kristalleşmenin çok hızlı gerçekleşmesinden kaynaklanıyor. Kar tanesinin etrafında, eş yoğunlukta su moleküllerinin belirlediği, eş merkezli halkalar hayal edilebilir. Her molekülün yapışmak üzere kenara giderken sarfedeceği yol, köşeye giderken sarfedeceği yoldan fazladır. Bir kez dallanma meydana geldiğinde bu etki güçlenecektir.

Bugün bilgisayar yardımıyla kar tanelerinin gerçekçi modelleri gerçekleştirilebiliyor. Bilgisayarlarda kullanılan matematiksel formüllerin altında ise, yukarıda sözü edilen tüm fiziksel olgular yatıyor.

## K = Kaplan

Hayvanlar karmaşık renk ve desen yapıları sergiliyorlar. Bu yapı çoğunlukla rast-