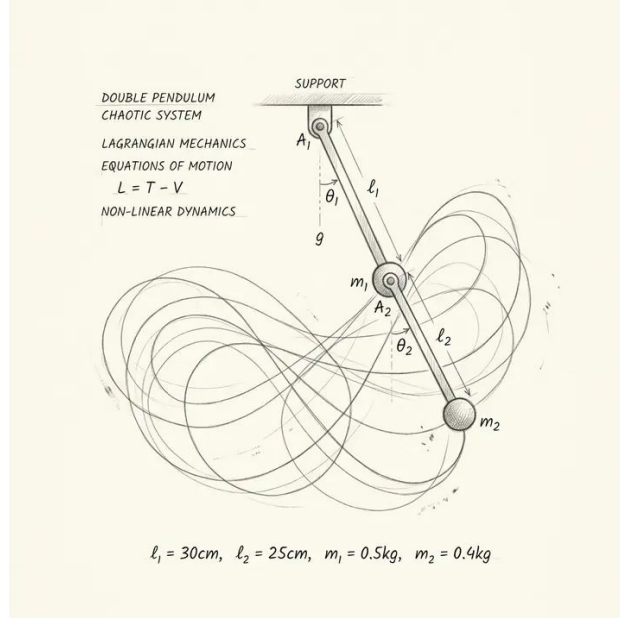


# Kaos: Yeni Bir Bilim Teorisi

James Gleick



James Gleick tarafından kaleme alınan "Kaos: Yeni Bir Bilim Teorisi" (Chaos: Making a New Science), yirminci yüzyılın sonlarında fizikte ve matematikte yaşanan en büyük devrimlerden birini konu alır. Klasik fizik, Newton döneminden beri evreni tıkr tıkr çalışan devasa bir saat gibi görüyordu. Bu bakış açısına göre, eğer evrendeki tüm parçacıkların konumlarını ve hızlarını tam olarak bilirsek, geleceği kusursuz bir şekilde tahmin edebilirdik. Ancak kaos teorisi, bu deterministik (belirlenimci) anlayışı kökten sarstı. Gleick bu kitabında, doğanın düzensiz, öngörülemez ve karmaşık görünen yüzünün altında yatan gizli düzeni keşfeden bilim insanlarının öyküsünü anlatır. Kaos teorisi; hava durumunun tahmin edilemezliğinden nehirlerin girdaplı akışına, kalbimizin düzensiz atışlarından kozmik fraktal geometrilere kadar çok geniş bir alana ışık tutar. Bu teoriye göre, doğadaki pek çok sistem doğrusal değildir ve başlangıç koşullarındaki en ufak bir değişiklik, sürecin sonunda devasa ve öngörülemez sonuçlar doğurabilir. İşte buna bilim dünyasında "Kelebek Etkisi" adı verilir. Bu özet kitapçıkta, yazarın kitaptaki tüm orijinal tezlerine sadık kalarak, kaos teorisini ortaokul düzeyindeki genç meraklılar ve yetişkin okurlar için en yalın, akıcı ve eğlenceli analogilerle detaylandırdık. Kitabın orijinal 11 bölümünü sırasıyla takip ederek; meteorolojideki ilk keşiflerden fraktalların büyüleyici geometrisine, Feigenbaum'un evrensel sabit sayısından insan kalbinin ritimlerine kadar kaos

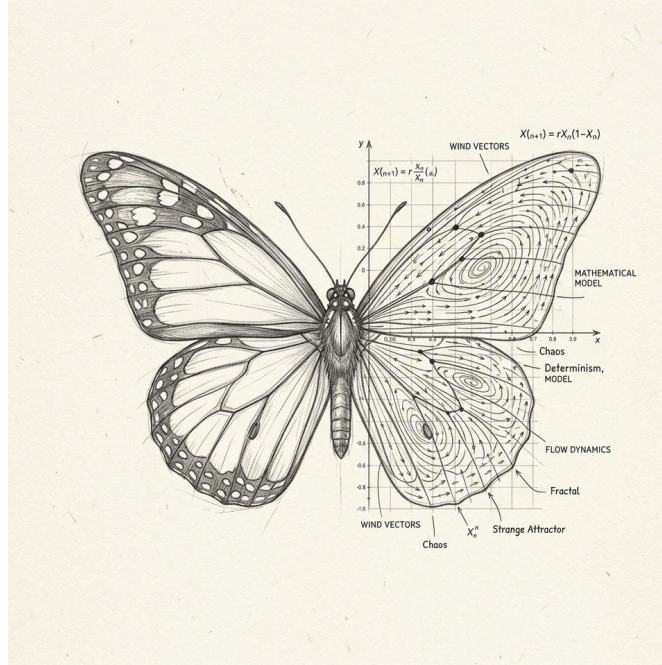
teorisinin tüm temel direklerini keşfedeceksiniz. Hazırsanız, doğanın bu büyüleyici ve düzensiz görünen gizli düzenine doğru bir yolculuğa çıkalım!

## 01. Giriş: Düzenin ve Düzensizliğin Dansı

Kozmik İlham: Kaos teorisi, evrendeki hiçbir şeyin tamamen düzensiz ve başıboş olmadığını söyler. En büyük rastgeleliklerin ve karmaşaların arkasında bile, keşfedilmeyi bekleyen olağanüstü matematiksel desenler ve kurallar zinciri yer alır.

Bölümün özü: Evrendeki hiçbir şey tamamen düzensiz ve başıboş değildir. En büyük rastgeleliklerin ve karmaşaların arkasında bile, keşfedilmeyi bekleyen olağanüstü matematiksel desenler ve kurallar zinciri yer alır.

## 02. BÖLÜM 1: Kelebek Etkisi (Hava Durumunun Gizemi)



*Kelebek Etkisi ve Rüzgar Vektörleri*

**\*\*Edward Lorenz ve Meteorolojinin Sınırları\*\*** Her şey 1961 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) çalışan meteorolog Edward Lorenz'in çalışmasıyla başladı. Lorenz, hava durumunu bilgisayar ortamında modellemeye çalışıyordu. O dönemde bilgisayarlar devasa büyüklükteydi ve çok yavaş çalışıyordu. Lorenz, rüzgar hızını, hava sıcaklığını ve basıncı temsil eden basit matematiksel denklemlerden oluşan bir program yazmıştı. Amacı, bu denklemlerin sonuçlarını inceleyerek gelecekteki hava durumunu tahmin etmektir. Bir gün, yaptığı bir simülasyonu tekrarlamak istedi. Zamandan tasarruf etmek için, hesaplamayı en baştan başlatmak yerine, önceki çıktının ortasında yer alan bir sayıyı başlangıç değeri olarak yazdı. Yazdığı sayı 0.506 idi. Oysa bilgisayarın belleğindeki orijinal sayı 0.506127 idi. Lorenz, virgülden sonraki bu on binde birlik küçük farkın (yaklaşık bir saç telinin ağırlığı kadar önemsiz) sonucu etkilemeyeceğini düşündü.

**\*\*Ufak Farkların Devasa Sonuçları\*\*** Lorenz, bilgisayarın çıktısını almak için odadan çıktı ve bir kahve içmeye gitti. Geri döndüğünde gördüğü manzara karşısında şoke oldu. İkinci simülasyon, birincisiyle tamamen aynı başlamıştı ancak zaman ilerledikçe iki hava durumu tahmini birbirinden hızla uzaklaşmıştı. Birkaç simülasyon günü sonrasında, bir tahminde güneşli ve sakin bir hava görünürken, diğer tahminde devasa bir fırtına ortaya çıkmıştı! Başlangıçtaki on binde birlik ufacık bir yuvarlama hatası, tüm sistemi tamamen değiştirmişti. Lorenz, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin başlangıç koşullarına ne kadar duyarlı olduğunu keşfetmişti. Bu keşif, gelecekteki hava durumunu neden asla haftalar öncesinden kusursuz tahmin edemeyeceğimizin bilimsel açıklamasıydı.

**\*\*Brezilya'daki Kelebek Teksas'ta Kasırga Koparır mı?\*** Edward Lorenz, bu bulgularını paylaştığı ünlü makalesinde çok şiirsel bir benzetme kullandı: 'Amazon ormanlarında kanat çırpın bir kelebek, Teksas'ta bir kasırganın kopmasına neden olabilir mi?' İşte bu benzetme, bilim tarihinin en popüler kavramlarından biri olan 'Kelebek Etkisi'nin doğuşuydu. Kelebek kanatlarının yarattığı minicik hava akımı, atmosferdeki diğer hava akımlarıyla etkileşime girerek büyür, katlanır ve binlerce kilometre ötede kocaman bir fırtınayı tetikleyebilir. Bu durum, doğadaki pek Arrays/sistemlerin aşırı derecede hassas olduğunu ve başlangıçtaki en ufak bir ölçüm hatasının, uzun vadede tahminlerimizi tamamen çökteceğini gösterir. Kaos teorisinde düzensizlik, rastgelelikten değil, bu aşırı hassasiyetten doğar. **\*\*Özetle:\*\*** Brezilya'da kanat çırpın bir kelebek, Teksas'ta bir kasırgaya yol açabilir. Ufak girdaplar birleşerek devasa fırtınaları besler.

Bölümün özü: Kelebek Etkisi: Doğrusal olmayan sistemler başlangıç durumundaki ufacık bir on binde birlik yuvarlama hatasına bile aşırı duyarlılık gösterir; hava durumunu haftalar öncesinden tahmin edemememizin nedeni budur.

## 03. BÖLÜM 2: Devrim (Saat Gibi Tıkırdayan Evrenin Sonu)

**\*\*Newton'ın Mekanik Dünyası ve Laplace'ın Şeytanı\*\*** Isaac Newton'ın kütleçekimi ve hareket yasalarını keşfetmesinden sonra bilim dünyasında büyük bir güven duygusu hakim oldu. Evrenin tıkır tıkır işleyen mekanik bir saat gibi olduğu düşünülüyordu. Bu görüşün en uç noktasını Fransız matematikçi Pierre-Simon Laplace dile getirdi. Laplace, eğer evrendeki her bir atomun yerini ve hızını bilen üstün bir zeka (bilim tarihinde Laplace'ın Şeytanı olarak bilinir) olsaydı, bu zeka için geçmişin ve geleceğin apaçık ortada olacağını, her şeyin kesin olarak hesaplanabileceğini öne sürdü. Bu görüşe göre şans, rastlantı veya kaos diye bir şey yoktu; sadece bizim bilgi eksikliğimiz vardı. Klasik fizik, evreni tamamen öngörülebilir bir makine olarak tasarlamıştı.

**\*\*Klasik Fiziğin Duvara Toslaması\*\*** Yirminci yüzyılda kuantum mekaniği ve genel görelilik bu deterministik dünyaya ilk darbeleri vurdu. Ancak asıl büyük yıkım günlük dünyada yaşandı. Bilim insanları, iki basit sarkacın birbirine bağlanmasıyla oluşan çift sarkaç sisteminin bile tamamen düzensiz ve öngörülemez hareketler yaptığını fark ettiler. Üstelik

bu sistem ne kuantum dünyası kadar küçüktü ne de uzay kadar büyüktü; gözümüzün önündeki basit bir mekanik oyuncaktı. Newton'ın denklemleri bu sistemin hareketini yazabiliyordu ancak başlangıç açısını milyonda bir derece bile değiştirdiğimizde sarkacın gelecekteki rotası tamamen değişiyordu. Laplace'ın şeytanı, ölçüm hassasiyetinin sınırlı olması nedeniyle daha ilk adımda yenilmişti.

**\*\*Yeni Bir Bilimsel Paradigmaya Geçiş\*\*** Kaos teorisi, görelilik ve kuantum fiziğiyle birlikte yirminci yüzyılın üçüncü büyük fizik devrimi olarak kabul edilir. Bu devrim, bilim insanlarının doğaya bakışını tamamen değiştirdi. Artık bilim, sadece düzenli, pürüzsüz ve çizgisel olanı (örneğin pürüzsüz küreleri veya sürtünmesiz yüzeyleri) değil; doğanın gerçek yüzünü, yani karmaşıklığı, pürüzlülüğü ve düzensizliği incelemeye başladı. Bu durum, bilimsel yöntemde de bir devrim yarattı: Kesinlik ve mutlak tahmin arayışı yerini, olasılıkların ve sistemlerin genel davranış kalıplarının incelenmesine bıraktı. Doğa, kontrol edilebilir bir makine değil, kendi kuralları olan dinamik bir ekosistem. **\*\*Özetle:\*\*** Evren tıkr tıkr çalışan bir saat değil, sürekli kendini yenileyen ve şaşırtan canlı bir organizmadır.

Bölümün özü: Newton Dünyasının Sonu: Çok basit bir çift sarkacın bile başlangıç açısından dolayı öngörülemez hareketler yapması, Laplace'ın belirlenimci (determinist) şeytanını çöktürmüştür.

## 04. BÖLÜM 3: Yaşamın İniş ve Çıkışları (Nüfus Dinamikleri)

**\*\*Robert May ve Ekolojik Denge Arayışı\*\*** Kaos teorisi sadece fizik ve meteorolojiyle sınırlı kalmadı, biyolojiye de sıçradı. 1970'lerde Avustralyalı fizikçi ve ekolog Robert May, doğadaki hayvan nüfusunun (popülasyonunun) yıllar içindeki değişimini incelemeye başladı. Bir göldeki balıkların nüfusu her yıl nasıl değişiyordu? Popülasyon çok artarsa yiyecek tükeniyor ve nüfus hızla azalıyordu. Nüfus çok azalırsa bu kez yiyecek bolluyor ve doğum oranları artıyordu. Biyologlar bu dengenin her zaman sabit bir sayıda veya düzenli bir döngüde kalacağını varsayıyorlardı. May, bu durumu modellemek için 'lojistik harita' adı verilen çok basit bir matematiksel denklem kullandı:  $Nüfus(yeni) = r * Nüfus(eski) * (1 - Nüfus(eski))$ . Buradaki 'r' harfi, popülasyonun üreme (büyüme) hızını temsil ediyordu.

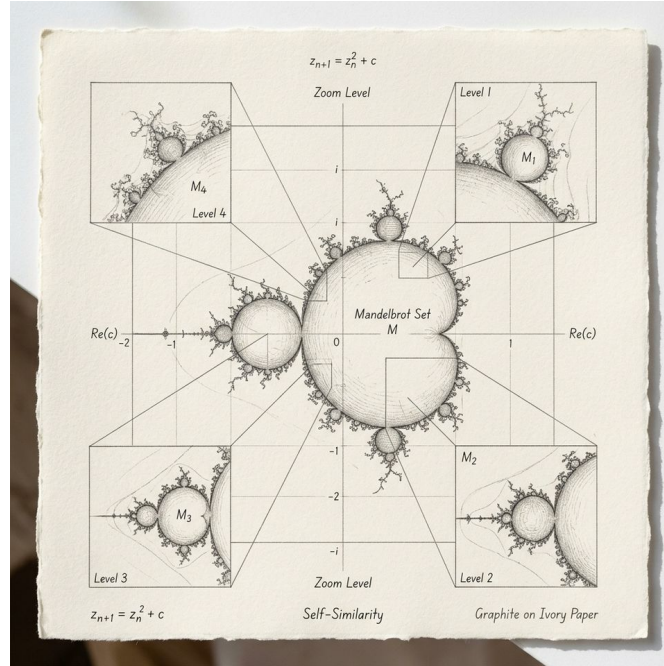
**\*\*Çatallanma (Bifurcation) ve Düzenin Bozulması\*\*** Robert May, üreme hızı 'r' değerini yavaş yavaş artırdığında çok garip bir olay fark etti. Üreme hızı düşükken, balık nüfusu birkaç yıl içinde sabit bir sayıda dengeleniyordu (örneğin gölde her zaman 1000 balık kalıyordu). Ancak üreme hızı biraz daha artırıldığında, bu dengeli tek sayı ortadan kalkıyor ve sistem ikiye bölünüyor (çatallanıyor) idi. Nüfus bir yıl çok yüksek (örn. 1500 balık), ertesi yıl çok düşük (örn. 500 balık) oluyordu ve bu iki yıllık döngü sonsuza kadar tekrar ediyordu. Üreme hızı biraz daha artırıldığında, bu iki yıllık döngü de çatallanarak 4 yıllık, ardından 8 yıllık ve 16 yıllık döngülere bölünüyordu. Nüfus her birkaç yılda bir farklı ritimlerle dalgalanmaya başlıyordu.

**\*\*Kaosun Eşiğinde Biyolojik Çeşitlilik\*\*** Üreme hızı belirli bir kritik sınırı (yaklaşık 3.5699) geçtiğinde ise tüm döngüler tamamen ortadan kalktı. Balık nüfusu artık hiçbir düzenli tekrara uymayan, tamamen düzensiz ve öngörülemez sayılar almaya başladı. Çok basit ve tamamen deterministik (rastgele olmayan) bir denklem, bilgisayarda tamamen rastgele görünen sonuçlar üretiyordu! İşte bu, biyolojik kaos idi. Robert May'in bu keşfi, doğadaki canlı nüfuslarının aniden çökmesinin veya patlamasının arkasında gizemli dış etkenler (hastalık, avcılar vb.) aramak yerine, sistemin kendi içindeki üreme hızının ve doğrusal olmayan yapısının yattığını gösterdi. Kaos, yaşamın kendi ritminin doğal bir sonucuydu.

**\*\*Özetle:\*\*** Basit üreme kuralları, canlıların nüfusunda öngörülemez fırtınalar yaratabilir. Yaşam, kaos ve düzenin sınırında yürür.

Bölümün özü: Biyolojik Kaos: Popülasyonların aniden çökmesi veya patlaması dış etkenlerden değil, lojistik denklemin kendi doğrusal olmayan üreme hızından kaynaklanabilir.

## 05. BÖLÜM 4: Doğanın Geometrisi (Benoit Mandelbrot ve Fraktallar)



*Mandelbrot Fraktal Geometrisi ve Kendi Kendine Benzerlik*

**\*\*Öklid Geometrisinin Yetersizliği\*\*** Okullarda öğrendiğimiz geleneksel geometri (Öklid geometrisi); mükemmel daireler, düzgün üçgenler, kareler ve kürelerle doludur. Ancak pencereden dışarı bakıp doğaya göz attığımızda bu mükemmel şekillerin hiçbirini göremeyiz. Bulutlar mükemmel küreler değildir, dağlar kusursuz koniler değildir ve şimşekler düz çizgiler halinde akmaz. Polonya asıllı matematikçi Benoit Mandelbrot, geleneksel geometrinin doğanın pürüzlü, girintili çıkıntılı ve karmaşık yapısını açıklamakta yetersiz kaldığını fark etti. Mandelbrot, doğanın kendi geometrisi olması gerektiğini

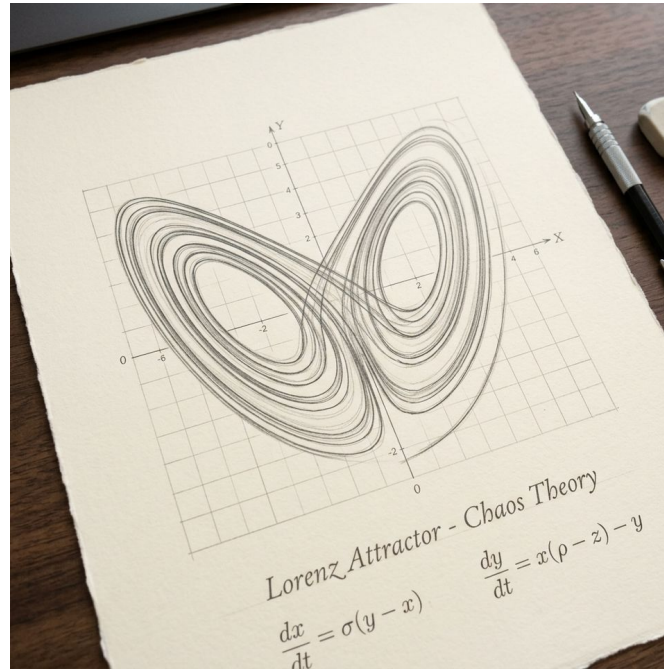
savundu ve bu yeni geometriye Latince kırılmak veya parçalanmak anlamına gelen 'fractus' kelimesinden esinlenerek 'Fraktal' adını verdi.

**\*\*Britanya Kıyıları Ne Kadar Uzun?\*** Mandelbrot, teorisini açıklamak için çok ünlü bir soru sordu: 'İngiltere'nin (Britanya) kıyı şeridi ne kadar uzundur?' İlk bakışta bu sorunun cevabı çok kolay görünür; haritayı açar ve ölçeriz. Ancak Mandelbrot durumun böyle olmadığını gösterdi. Eğer kıyıyı uzaydan bir cetvelle ölçerseniz, büyük körfezleri hesaba katar ama küçük koyları kaçırsınız. Eğer kıyıda yürüyerek bir metrelik cetvelle ölçerseniz, her bir kayanın etrafından geçmek zorunda kalır ve daha uzun bir sonuç bulursunuz. Eğer ölçümü milimetrelik bir cetvelle veya mikroskopla atom seviyesinde yaparsanız, kıyı şeridi neredeyse sonsuz uzunluğa ulaşır! Kıyı şeridinin uzunluğu sabit değildir; onu ölçtüğünüz cetvelin boyutuna bağlıdır. Bu girintili çıkıntılı yapı, fraktal geometrinin temel özelliğidir.

**\*\*Kendi Kendini Tekrarlayan Yapılar (Self-Similarity)\*** Fraktalların en büyüleyici özelliği 'kendi kendine benzerlik' (self-similarity) kavramıdır. Bir fraktal şekle ne kadar yakından bakarsanız bakın, şeklin bütününe benzeyen küçük desenler görürsünüz. Doğada bunun harika örnekleri vardır: Bir karnabahar veya brokoli kafasını düşünün. Ondan küçük bir dal kopardığınızda, bu küçük parça aslında bütün karnabaharın minyatür bir kopyası gibidir. Eğrelti otunun tek bir yaprağı, bütün otun şeklini taşır. Akciğerlerimizdeki hava boruları, nehir yatakları ve vücudumuzdaki kan damarları hep bu fraktal tasarımla dallanır. Bu tasarım, doğanın çok az veri kullanarak (örneğin DNA'mızdaki basit kurallarla) son derece karmaşık ve verimli yapılar (geniş yüzey alanına sahip akciğerler gibi) inşa etmesini sağlar. **\*\*Özetle:\*\*** Bulutlar küre değildir, dağlar koni değildir, kıyılar çember değildir. Kabuk pürüzsüz değildir ve şimşek düz bir çizgide ilerlemez.

Bölümün özü: Fraktal Geometri: Bulutlar küre değildir, dağlar koni değildir; doğa pürüzsüz şekiller yerine kendi kendini tekrarlayan pürüzlü fraktal dokularla örülüdür.

## 06. BÖLÜM 5: Garip Çekerler (Kaosun Gizli Kalbi)



Kelebek Kanatlı Lorenz Garip Çekeri

**\*\*Çeker (Attractor) Nedir?\*** Fizikte dinamik bir sistemin zaman içinde ulaşmak istediği, çekildiği nihai duruma 'çeker' (attractor) denir. Örneğin, bir kase dolusu çorbanın içine bir bilye bırakıp sallayalım. Bilye kaseinin kenarlarında döner ama sonunda sürtünme nedeniyle tam ortada, en dip noktada durur. Bu dip nokta, sistemin 'nokta çeker'idir. Veya tıkr tıkr çalışan bir duvar saatinin sarkacını düşünelim. Sarkaç sürekli sağa ve sola gider, sabit bir döngüyü tekrarlar. Bu düzenli döngü de bir 'limit döngü çeker'dir. Geleneksel fizikte tüm sistemlerin sonunda bu tür düzenli ve öngörülebilir çekerlere ulaşacağı varsayılıyordu. Ancak kaos teorisiyle birlikte tamamen farklı bir çeker türü keşfedildi.

**\*\*Lorenz Çekeri ve Kelebek Kanatları\*** Edward Lorenz, meteoroloji denklemlerini incelerken, sistemin ne tek bir noktada durduğunu ne de düzenli bir döngüye girdiğini fark etti. Bilgisayarda bu denklemlerin çizdiği rotayı görselleştirdiğinde, ortaya inanılmaz derecede güzel ve karmaşık bir şekil çıktı. Şekil, yan yana duran iki halkadan oluşuyordu ve tıpkı bir kelebeğin kanatlarına benziyordu. Sistemdeki parçacık, önce sol kanadın etrafında birkaç tur dönüyor, ardından aniden sağ kanada geçiyor, orada da birkaç tur dönüp tekrar sol kanada dönüyordu. Parçacığın hangi kanatta kaç tur döneceği veya ne zaman diğer tarafa geçeceği tamamen düzensiz ve öngörülemezdi. Ancak parçacık bu iki kanadın çizdiği sınırların dışına da asla çıkmıyordu. İşte bu şekle 'Garip Çeker' (Strange Attractor) adı verildi.

**\*\*Sonsuz Derinlikteki Yollar\*** Garip çekerlerin en büyüleyici yanı, çizdikleri yolların hiçbir zaman birbirini kesmemesi ve aynı yoldan ikinci kez geçmemesidir. Eğer yol bir noktada kendisiyle kesişseydi, sistem o andan itibaren aynı döngüyü sonsuza dek tekrarlar ve düzenli hale gelirdi. Ancak garip çeker üzerinde parçacık sonsuza kadar döner ama her

seferinde yeni bir yoldan geçer. Bu durum, garip çekerin üç boyutlu uzayda sonsuz sayıda katmandan oluşan fraktal bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Garip çekerler, kaosu aslında tamamen başıboş ve kuralsız bir rastgelelik olmadığını, aksine arka planda son derece düzenli, sınırlı ve estetik bir geometrik çekim alanına sahip olduğunu kanıtlar. **\*\*Özetle:\*\*** Garip çeker, kaosu içindeki gizli mimaridir; parçacıklar onun çizdiği görünmez kelebek kanatlarında dans eder.

Bölümün özü: Garip Çekerler: Kaos kuralsız bir rastgelelik değildir; garip çekerin çizdiği sınırların ve kelebek kanatlarının dışına çıkmayan düzenli bir çekim geometrisidir.

## 07. BÖLÜM 6: Evrensellik (Mitchell Feigenbaum'un Keşfi)

**\*\*Los Alamos'un Yalnız Dehası\*\*** 1970'lerin ortalarında, nükleer bombaların tasarlandığı ünlü Los Alamos Ulusal Laboratuvarı'nda Mitchell Feigenbaum adında genç bir fizikçi çalışıyordu. Feigenbaum, meslektaşları tarafından oldukça tuhaf bulunan bir adamdı; belirli bir mesai saati yoktu, geceleri çalışır, sürekli kahve içer ve koridorlarda derin düşüncelere daldı. Feigenbaum, sistemlerin düzenden kaosa nasıl geçtiğini merak ediyordu. Tıpkı musluktan akan suyun önce damla damla (düzenli), sonra hızlanarak çift damla (çatallanma) ve nihayetinde tamamen fışkırarak kaotik akması gibi süreçleri inceliyordu. Elindeki basit bir HP-65 hesap makinesiyle, lojistik haritadaki çatallanma noktalarını saatlerce hesapladı.

**\*\*4.6692016... Sayısının Gizemi\*\*** Feigenbaum, lojistik haritadaki çatallanmaların (bölünmelerin) yaşandığı aralıkları incelerken şaşırtıcı bir düzen fark etti. Çatallanmalar giderek hızlanıyordu. Bir sonraki çatallanmanın gerçekleşmesi için gereken parametre aralığı, bir öncekinin yaklaşık 4.669 katı kadar küçülüyordu. Feigenbaum bu oranı daha hassas hesapladığında, ortaya sabit bir sayı çıktı: 4.6692016... Daha da önemlisi, sadece lojistik denklemde değil; sinüs dalgaları, elektrik devreleri veya akışkanlar mekaniği gibi tamamen farklı denklemlerde de düzenden kaosa geçiş hızını ölçtüğünde hep aynı 4.669 sayısı karşılaştı! Bu sayı, matematikteki Pi (3.14) veya Euler sayısı (2.718) gibi evrensel bir doğa sabitiydi.

**\*\*Kaosun Ortak Dili\*\*** Feigenbaum'un bu keşfi bilim dünyasında bomba etkisi yarattı. Çünkü o güne kadar bilim insanları, her kaotik sistemin (hava durumu, kalp ritmi, suyun türbülansı) kendine has kuralları olduğunu ve aralarında hiçbir ortak bağ bulunmadığını düşünüyorlardı. Ancak Feigenbaum, kaotik sistemlerin detaylarından (sistemin su, elektrik veya nüfus olmasından) bağımsız olarak, kaosa geçiş anında hepsinin aynı evrensel matematiksel kurallara uyduğunu kanıtlamıştı. Buna fizikte 'Evrensellik' (Universality) denir. Bu keşif, kaosu kendi içinde ortak bir dile ve kurallara sahip olduğunu gösteren en güçlü kanıttı. Kaos da en az klasik fizik kadar düzenli yasalara sahipti. **\*\*Özetle:\*\*** Doğa, farklı yollardan gitse de kaotik sınıra ulaştığında hep aynı matematiksel kapıdan geçer ve aynı sayıyla selam verir.

Bölümün özü: Feigenbaum Sabiti (4.669...): Hava durumu, sıvı akışkanlar veya elektrik devreleri fark etmeksizin, tüm sistemler kaosa geçiş anında tamamen aynı evrensel orana uyarlar.

## 08. BÖLÜM 7: Deneyciler (Sanal Odalardan Gerçek Dünyaya)

**\*\*Bilgisayar Teorilerinin Sınanması\*\*** Feigenbaum'un evrensellik teorisi ve matematikçilerin garip çeker modelleri ilk başta sadece bilgisayar ekranlarında ve kağıt üzerinde var olan soyut kavramlardı. Pek çok deneysel fizikçi, bu teorilerin gerçek dünyadaki pürüzlü ve gürültülü sistemlerde çalışmayacağını savundu. Gerçek dünyada rüzgar esiyor, sıcaklık değişiyor, aletler titriyor ve milyarlarca dış etken sistemi etkiliyordu. Matematiksel formüller bu gürültülü ortamda nasıl ayakta kalabilirdi? Kaos teorisinin bilim dünyasında tamamen kabul görmesi için, bu teorilerin laboratuvar ortamında, gerçek fiziksel maddelerle test edilmesi gerekiyordu. İşte bu görevi 'Deneyciler' üstlendi.

**\*\*Albert Libchaber ve Sıvı Helyum Deneyi\*\*** Fransız fizikçi Albert Libchaber, Feigenbaum'un teorisini test etmek için inanılmaz derecede hassas ve küçük bir deney düzeneği kurdu. Libchaber, bir kurşun kalem ucu büyüklüğündeki küçük bir hücrenin içine sıvı helyum doldurdu. Sıvı helyumu alttan çok az ısıtarak üst kısım ile alt kısım arasında bir sıcaklık farkı yarattı. Sıcaklık farkı arttıkça, helyum molekülleri yukarı doğru yükselmeye ve soğuyunca tekrar aşağı inmeye başladı. Bu hareket, sıvı içinde düzenli dönen silindirler oluşturdu (Rayleigh-Bénard konveksiyonu). Libchaber, ısıyı biraz daha artırdığında bu silindirlerin dönüş hızlarında çatallanmalar (bölünmeler) yaşandığını gördü. Sıvı helyum, tıpkı bilgisayar denklemlerindeki gibi hareket ediyordu.

**\*\*Teorinin Zaferi ve Gerçek Türbülans\*\*** Libchaber, deneyindeki sıcaklık farkını hassas bir şekilde ölçerek çatallanmalar arasındaki oranları hesapladı. Sonuç muazzamdı: Sıvı helyumun düzensizleşme (türbülans) aşamalarındaki oran, Feigenbaum'un teorik olarak hesapladığı 4.669 sayısı ile birebir uyuşuyordu! Gerçek dünyadaki bir sıvı, bilgisayar ekranındaki sanal sayılarla aynı ritimde kaosa sürükleniyordu. Bu deney, kaos teorisinin sadece hayali bir matematik oyunu olmadığını, doğanın fiziksel hareketlerini yöneten gerçek bir yasa olduğunu dünyaya kanıtladı. Deneyciler, kaosun zaferini ilan etmişlerdi.

**\*\*Özetle:\*\*** Deney tüplerindeki sıvılar ve laboratuvardaki elektrik akımları, bilgisayardaki denklemlerle aynı kaotik şarkıyı söyler.

Bölümün özü: Teorinin Zaferi: Albert Libchaber'in sıvı helyum deneyi, gerçek fiziksel sıvıların da Feigenbaum sabiti olan 4.669 oranına uyarak türbülanslı kaosa sürüklendiğini laboratuvarında ispatladı.

## 09. BÖLÜM 8: Kaosun Görüntüleri (Matematiğin Sanata Dönüşmesi)

**\*\*Bilgisayar: Matematikçinin Teleskobu\*\*** Geleneksel matematikçiler yüzyıllar boyunca sadece kalem ve kağıt kullandılar. Bu yüzden sadece çözülebilen, doğrusal denklemlerle ilgilendiler. Ancak doğrusal olmayan kaotik denklemleri elle çözmek imkansızdı çünkü bu denklemler sürekli kendi üzerine katlanan geri besleme döngülerine sahipti. Bilgisayarların ortaya çıkışı, matematik dünyasında yeni bir çağ açtı. Bilgisayar, matematikçiler için gökbilimcilerin teleskobu veya biyologların mikroskobu gibi bir araç haline geldi. Bilgisayar sayesinde matematikçiler, formüllerin sayısal sonuçlarını saniyeler içinde binlerce kez hesaplayıp ekrana renkli noktalar halinde dökülebildiler. Matematik ilk kez görsel bir sanata dönüşüyordu.

**\*\*Mandelbrot Kümesi: Sonsuzluğun Resmi\*\*** Benoit Mandelbrot, bilgisayarı kullanarak son derece basit bir formülü görselleştirdi:  $z = z^2 + c$ . Bu formülde her seferinde çıkan sonucu tekrar formüle sokuyordu (geri besleme). Bilgisayarda bu formülün sınırlı kalıp kalmadığını test edip, her sayının hızına göre ekrana farklı renkler atadı. Sonuçta ortaya çıkan görsel, bilim tarihinin en ünlü şekli olan 'Mandelbrot Kümesi' (Mandelbrot Set) oldu. Şekil, siyah bir kalp veya böceğe benziyordu ancak sınırları renkli girdaplar, kollar ve desenlerle doluydu. Mandelbrot kümesinin sınırlarına doğru ne kadar yaklaşırsanız (zoom yaparsanız), hiçbir zaman bitmeyen, sürekli yeni desenler üreten ve kendi içinde orijinal böcek şeklinin minyatür kopyalarını barındıran sonsuz bir evrenle karşılaştırdınız.

**\*\*Sanat ve Bilimin Kesişimi\*\*** Mandelbrot kümesi ve kaotik Julia kümeleri, insanlığın ürettiği en karmaşık geometrik şekillerdir. İşin en şaşırtıcı yanı, bu sonsuz karmaşıklığın arkasında sadece üç karakterlik ( $z^2+c$ ) basit bir kuralın yatmasıdır. Bu durum, doğadaki karmaşık yapıların (örneğin kar tanelerinin, kıyı şeritlerinin, ağaç dallarının) arkasında da aslında çok basit kuralların yer alabileceğini gösterir. Kaosun görüntüleri, posterler haline gelerek tüm dünyada popüler kültürün bir parçası oldu. İnsanlar ilk kez matematiğin kuru formüllerden ibaret olmadığını, doğanın kalbinde yatan büyüleyici ve estetik bir sanat eseri olduğunu kendi gözleriyle gördüler. **\*\*Özetle:\*\*** Mandelbrot kümesi, tek bir basit tohumdan filizlenen, sınırlarında sonsuz sayıda galaksiler ve şekiller barındıran kozmik bir ormandır.

Bölümün özü: Mandelbrot Kümesi:  $z = z^2 + c$  gibi son derece basit bir formülün sonsuz kez tekrarlanmasıyla ortaya çıkan, sınırlarındaki girintilerinde sonsuz sayıda yeni evrenler barındıran doğanın sanat eseridir.

## 10. BÖLÜM 9: Dinamik Sistemler Kolektifi (Santa Cruz'un Kaotik Gençleri)

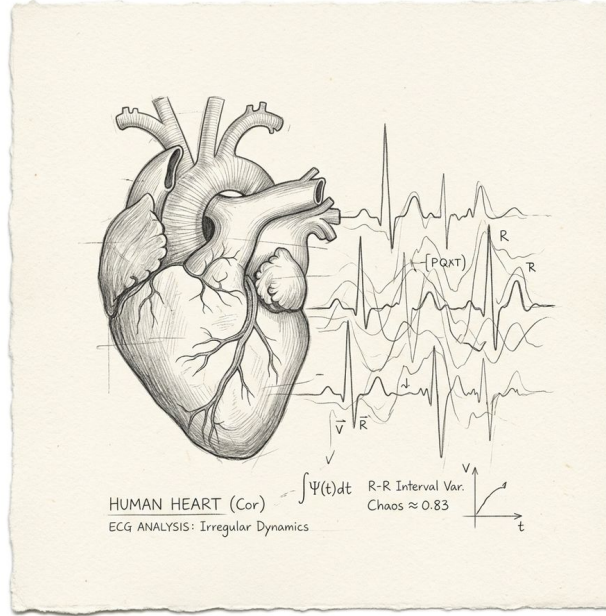
**\*\*Santa Cruz'da Bir Avuç Aykırı Öğrenci\*\*** 1970'lerin sonunda, California Üniversitesi Santa Cruz'da bir grup fizik lisansüstü öğrencisi bir araya geldi. Kendilerine 'Dinamik Sistemler Kolektifi' adını veren bu grup (aralarında Rob Shaw, Doyne Farmer, Norman Packard ve James Crutchfield vardı), geleneksel fizik profesörlerinin sıkıcı ve modası geçmiş konularıyla ilgilenmiyorlardı. Onlar, bilgisayarları ve kaos teorisini kullanarak dünyayı anlamak istiyorlardı. Bir öğrenci evinde toplanıp, kendi bilgisayarlarını sıfırdan inşa ettiler, lehim yaptılar ve kaos teorisinin felsefi boyutlarını tartıştılar. Klasik fizikçiler onları 'hippi' ve ciddiyetsiz olarak görse de, bu gençler kaos teorisinin gelişimine yön vereceklerdi.

**\*\*Rulet Masasını Yeneni Kaos\*\*** Bu grubun en çılgın projelerinden biri, kaos teorisini kullanarak kumarhanelerdeki rulet oyununu tahmin etmektir. Klasik fiziğe göre rulet topunun nereye düşeceği tahmin edilemezdi çünkü çok fazla değişken vardı. Ancak Santa Cruz grubu, topun ve çarkın ilk hızlarını ölçerek, topun düşeceği bölgeyi tahmin edebilecek doğrusal olmayan bir model geliştirdiler. Ayakkabılarının içine gizledikleri minik bilgisayarlar ve ayak parmaklarıyla yönettikleri tetikleyiciler sayesinde, rulet sonuçlarını başarıyla tahmin edip Las Vegas kumarhanelerinden para kazanmayı başardılar! Bu çılgın deney, kaos teorisinin ve başlangıç koşullarının ölçülmesinin pratik gücünü gösteren eğlenceli bir kanıttı.

**\*\*Bilgi Teorisi ve Kaosun Anlamı\*\*** Santa Cruz grubu, rulet macerasının ötesinde bilimsel olarak çok önemli bir şey keşfetti: Kaotik sistemlerin aslında birer 'bilgi üreticisi' olduğunu gösterdiler. Bir sistem kaotik olduğunda, geçmişe dair bilgileri yavaşça siler ve geleceğe dair yeni, öngörülemez bilgiler üretir. Örneğin, bir damla mürekkebi suya damlattığımızda, mürekkep kaotik girdaplarla dağılır. Başlangıçtaki damlanın şekline dair bilgi kaybolur, ancak suyun içinde yeni ve karmaşık desenler (yeni bilgiler) oluşur. Kaos, bilginin kaybolup yeniden doğduğu, doğanın yaratıcı mekanizmasıydı. Bu bakış açısı, bilgi teorisi ile termodinamiği kaos çatısı altında birleştirdi. **\*\*Özetle:\*\*** Kaos rastgele bir gürültü değildir; o, doğanın sürekli yeni bilgiler, şekiller ve olasılıklar üreten yaratıcı fabrikasıdır.

Bölümün özü: Bilgi Üreten Kaos: Santa Cruz'lu fizik öğrencileri, kaosun sadece yıkıcı olmadığını; rulet masasında başlangıç hızlarını ölçerek topun nereye düşeceğini tahmin eden bir bilgi üreticisi olduğunu gösterdiler.

## 11. BÖLÜM 10: İçsel Ritimler (Bedenimizdeki Kaotik Yaşam)



*Sağlıklı Bir Kalbin Kaotik Ritmik EKG Analizi*

**\*\*Biyolojik Saatler ve Kalbimizin Ritmi\*\*** Kaos teorisinin en şaşırtıcı ve insan sağlığını yakından ilgilendiren uygulamalarından biri tıp alanında yaşandı. Geleneksel tıp biliminde, sağlıklı bir insan vücudunun mükemmel bir düzen ve denge içinde çalışması gerektiği varsayılıyordu. Örneğin, sağlıklı bir kalbin tıpkı bir metronom veya saat gibi eşit zaman aralıklarıyla, kusursuz bir düzen içinde atması gerektiği düşünülüyordu. Eğer kalp atışlarında düzensizlik (aritmî) varsa, bu bir hastalık belirtisi olarak kabul ediliyordu. Ancak kardiyologlar ve kaos teorisyenleri bir araya gelip insan kalbinin atış ritmini hassas bilgisayar analizleriyle incelediklerinde çok şaşırtıcı bir gerçeğe karşılaştılar.

**\*\*Sağlıklı Kalbin Kaotik Rüyası\*\*** Yapılan araştırmalar, tamamen sağlıklı bir insanın kalp atışlarının hiçbir zaman kusursuz bir saat gibi düzenli olmadığını gösterdi. Kalp atışları arasındaki süreler (milisaniyeler düzeyinde) sürekli olarak dalgalanıyor ve bu dalgalanmalar kaotik bir garip çeker grafiği çiziyordu! Sağlıklı bir kalp, kaotik bir esnekliğe sahipti. Eğer bir insanın kalp atışları tamamen düzenli, yani kusursuz bir saat gibi atmaya başlarsa, bu durum aslında kalbin dış etkilere (stres, koşma, heyecan) uyum sağlama yeteneğini kaybettiğini gösteriyordu ve genellikle kalp krizinin habercisiydi. Çok düzenli bir kalp, yaşlı ve hastaydı; kaotik kalp ise genç ve sağlıklıydı.

**\*\*Beyin Dalgaları ve Esnek Kaos\*\*** Benzer şekilde, beynimizin çalışma ritmi de kaotiktir. Elektroensefalografi (EEG) cihazıyla beyin dalgalarımızı ölçtüğümüzde, sağlıklı bir beyin sürekli karmaşık ve kaotik dalgalar ürettiğini görürüz. Eğer beyin dalgaları aşırı düzenli ve senkronize bir hale gelirse, bu durum epilepsi (sara) nöbetine yol açar. Doğa, canlı sistemleri tasarlarlarken kaosu bilinçli olarak kullanmıştır. Kaotik ritimler, biyolojik sistemlere

esneklik, ani değişimlere uyum sağlama gücü ve yaratıcılık kazandırır. Eğer bedenimiz mükemmel bir düzen içinde olsaydı, değişen çevre koşullarına ayak uyduramaz ve ilk şokta çökerdi. Yaşam, kaotik dengenin ta kendisidir. **\*\*Özetle:\*\*** Kusursuz bir saat gibi atan kalp ölüme yakındır; sağlıklı kalp ise kaosun esnek ve dinamik ritmiyle dans eder.

Bölümün özü: Kaotik Ritimler: Tamamen düzenli atan bir sarkaç kalp hasta veya kalp krizine yakındır; sağlıklı insan kalbi dış etkenlere uyum sağlayabilmek için kaotik bir esnekliğe sahiptir.

## 12. BÖLÜM 11: Kaos ve Ötesi (Kendi Kendine Örgütlenen Evren)

**\*\*İkinci Yasa ve Düzenin Doğuşu\*\*** Termodinamiğin İkinci Yasası (Entropi), evrendeki her şeyin zamanla düzensizliğe, çürümeye ve ölüme doğru gittiğini söyler. Sıcak çay soğur, demir paslanır, binalar yıkılır. Ancak etrafımıza baktığımızda, doğanın bu yasaya meydan okurcasına sürekli yeni düzenler inşa ettiğini görürüz. Basit atomlar birleşerek karmaşık molekülleri, hücreleri ve insan gibi düşünen canlıları oluşturur. Cansız ve düzensiz maddelerden bu muazzam düzen nasıl doğmaktadır? Kaos teorisi, bu soruya 'kendi kendine örgütlenme' (self-organization) kavramıyla cevap verir. Doğrusal olmayan sistemler, enerjinin aktığı açık ortamlarda, kaosun içinden aniden yepyeni ve üst düzey düzenler yaratabilirler.

**\*\*Büyük Resmi Görmek: Karmaşıklık Bilimi\*\*** Kaos teorisi, günümüzde 'Karmaşıklık Bilimi' (Complexity Science) adı verilen daha geniş bir alana evrilmiştir. Bu bilim dalı; karınca kolonilerinin tek tek karıncaların zekasından çok daha üstün bir kolektif zeka göstermesini, borsadaki hisse senedi dalgalanmalarını veya internet ağlarının yapısını inceler. Bu sistemlerin ortak özelliği, parçalarının kendi aralarındaki basit etkileşimlerden, önceden tahmin edilemeyen devasa sistem davranışlarının (belirme/emergence) ortaya çıkmasıdır. Doğa, parçaların toplamından çok daha fazlasıdır. Kaos teorisi, bilime parçaları tek tek incelemek yerine (indirgemecilik), sistemi bir bütün olarak incelemenin (bütünselcilik) önemini öğretmiştir.

**\*\*Kozmik Kaşifler Olarak Geleceğimiz\*\*** James Gleick, kitabını bitirirken kaos teorisinin bilim dünyasını nasıl birleştirdiğini vurgular. Kaos; fizikçileri, biyologları, matematikçileri, ekonomistleri ve hatta sanatçıları aynı masa etrafında buluşturmuştur. Çünkü hepsi kendi alanlarında aynı doğrusal olmayan karmaşıklıkla mücadele etmektedir. Kaos teorisi bize evrenin sınırlarının sonlu olmadığını, doğanın her köşesinde keşfedilmeyi bekleyen gizli geometriler ve kurallar olduğunu gösterir. Bizler de bu kozmik okyanusta, kaosun ve düzenin sınırında yürüyen meraklı kaşifleriz. Merakımız ve doğayı anlama arzumuz, gelecekteki en büyük pusulamız olmaya devam edecektir. **\*\*Özetle:\*\*** Evren ölüme giden soğuk bir makine değildir; o, kaosun içinden sürekli yeni düzenler ve yaşamlar doğuran yaratıcı bir kuvvettir.

Bölümün özü: Kendi Kendine Örgütlenme: Cansız atomlar entropiye meydan okuyarak kaostan içinden kendi kendine örgütlenip karınca kolonileri ve insan beyni gibi muazzam düzenler yaratır.

## 13. SONUÇ: Kaosun Öğrettikleri ve Gelecek

James Gleick'in "Kaos: Yeni Bir Bilim Teorisi" adlı eseri boyunca çıktığımız bu sürükleyici yolculukta, evrenin ve doğanın derinliklerinde saklı olan o gizemli mimariye yakından tanık olduk. Gördük ki, gökyüzündeki bulutların girintilerinden kalbimizin milisaniyelik atışlarına, nehir yataklarının dallanmasından musluktan damlayan suyun ritmine kadar her şey kaostan ve düzenin o muhteşem dansıyla şekillenmektedir.

Doğanın girintili çıkıntılı kıyılarındaki, kalbimizin kaotik ritimlerinde ve evrenin pürüzlü fraktal dokusunda saklı olan bu düzensizliğin ardındaki estetiği ve düzeni kavramak, insanlığın en büyük zihinsel zaferlerinden biridir. Kaos bir son değil; doğayı tüm karmaşıklığıyla sevmenin ve anlamının yepyeni bir başlangıcıdır. Kaos teorisi bize doğanın düşmanımız veya kontrol edilmesi gereken soğuk bir makine olmadığını öğretir. Doğadaki düzensizlik ve öngörülemezlik, aslında yaşamın esnekliğini, yaratıcılığını ve çeşitliliğini besleyen en temel kaynaktır. Eğer evrendeki her şey tamamen öngörülebilir olsaydı, ne yeni fikirler doğabilirdi ne de hayatın kendisi bu kadar zengin olabilirdi. Merakımızın ışığında, kaostan o renkli ve sonsuz derinlikteki fraktal dünyasını keşfetmeye, doğayla uyum içinde yaşamaya ve evrenin büyüleyici sırlarını sorgulamaya devam edelim!

Bölümün özü: Bütünsel Görüş: Kaos, doğadaki düzensizlik ve karmaşıklığı düşman görmek yerine, onun yaşamı besleyen yaratıcı potansiyelini sevmeyi öğretir.

# KAYNAKLAR VE İLERİ OKUMALAR

[1] Penguin Random House - James Gleick

<https://www.penguinrandomhouse.com/authors/10226/james-gleick/>

[2] Google Books - Chaos: Making a New Science

<https://books.google.com/books/about/Chaos.html?id=r4tQAAAAMAAJ>

Telif ve sorumluluk notu: Bu bağımsız ve ticari olmayan ön okuma rehberi eğitim ve araştırma amacıyla hazırlanmıştır; özgün eserin yerini tutmaz.