

Konu: **Bilim**

Yazı: **31**

Doğada Düzen ve Karmaşa

Doç. Dr. Haluk Berkmen

İnsanlar en eski dönemlerden beri doğada belli bir sistem, bir döngü olduğunu fark etmişlerdir. Güneşin doğup battığını, gündüz ile gecenin birbirlerini kovaladıklarını, mevsimlerin değişip tekrar geri geldiklerini saptamışlardır. İnsanlar çevrelerini anlamak ve tutarlı bir şekilde açıklamak için önce mitoslar ve destanlar, zaman içinde çeşitli doğa bilimlerini geliştirmişlerdir. Fakat, maddeyi ve doğayı anlamak, herşeyden önce bir yorum meselesidir. Maddi dünyayı yorumlamak ise insanoğlunun en önemli uğraşları arasında yer almakta devam etmektedir.

Maddi dünyadan kasıt evren, evrendeki büyük gök adaları, dünyamız ve dünyamız üzerinde olan bitkiler ile hayvanlar ve insanlar alemidir. Hepimizin bildiği gibi değişik bilim dalları evrenin kendisi ile ve içindekilerle ayrı ayrı ilgilenmekte, ayrıntılı açıklamalar getirmeye çalışmaktadır. Bu yazıda yapmaya çalışacağım yaklaşım, tüm var olanlarda bulunan ortak bazı özellikleri gün ışığına çıkarmak olacaktır.

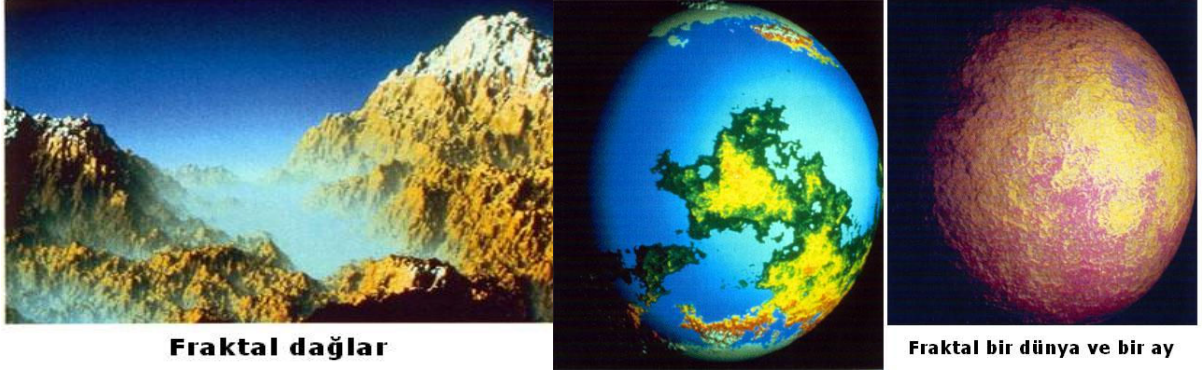
Eskiden beri insanların yapmış olduğu en temel tespit doğada değişmeyen hiç bir şey olmadığıdır. Her "şey" sürekli değişim halindedir. **Değişmeyen tek şey değişimdir**, sözünü hepimiz duymuşuzdur. Bizim vücudumuzdaki hücreler dahi değişiyor. Eskiler ölüp yenileri yerlerine geliyor. Fakat öte yandan değişim sürekli olsa da bir tekrar durumu var. Bu tekrar durumu aynen fotokopi gibi bire-bir tekrar olmayıp daha doğru bir ifade ile "**benzeşim**" şeklinde gerçekleşiyor.

Örneğin, bir elma çekirdeği yere karışınca bir elma fidanı oluyor. Fidan ağaca dönüşüyor ve ağaç elma meyvası oluşturuyor. Meyve yere düşünce çürüyor ve çekirdek yeniden fidan üretiyor. Bu örnekte sürekli değişim var ama bir tekrar da var. Fakat tıpatıp tekrar yok. Çünkü hiç bir elma ağacı diğer bir elma ağacının aynen kopyası değil. Hiç bir elma da diğer bir elmanın kopyası değil. Rengi az da olsa farklı, şekli farklı, boyu farklı. Ama hepsi de elma.

Doğada gözlediğimiz sistemlerde ortak bir yapı, temel bir benzeşim olmakla birlikte, bu karmaşık yapıyı lineer (çizgisel ve sürekli) denklemlerle ifade etmek mümkün değildir. İlk bakışta çok karmaşık gibi görünen pek çok doğal olayı oluşturan ortak bir tabanın bulunduğu

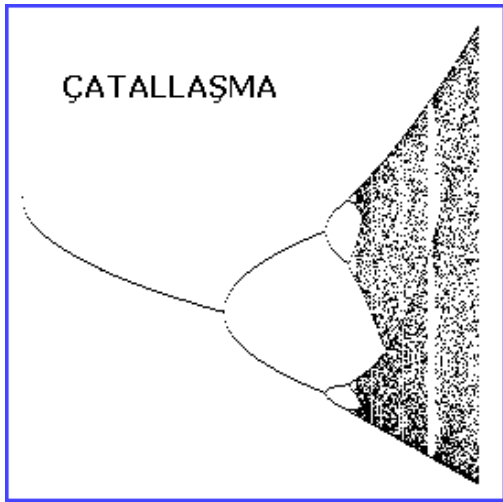
görüşü artık kaçınılmaz bir gerçek olarak beliriyor. Bu tabanın adına matematikçiler, kesirli boyut içerdiği için, '**Fraktal**' demişlerdir.

Fraktal yapıları oluşturan matematiğin kökeninde lineer olmayan bir denklemin kendi içinde 'iteratif' sürekli tekrarı bulunur. Bu tür fraktal yapılara örnek olarak gökteki bulutları, ağaçların dal ve yapraklarını, hatta akciğerin iç yapısını ve parmak izlerini dahi gösterebiliriz. Fraktal matematik bir sanat dalı olarak o kadar ileri gitmiştir ki doğadaki oluşumları büyük bir gerçeklikle kurgulayabilmektedir. Resimde görülen dağlar **iteratif fraktal** yapılardır. Keza fraktal bir dünya ve bir ay oldukça gerçekçi bir görünüm sergiliyorlar. Dağlar ve çiçekler oldukça gerçekçi bir görüntü sergiliyorlar. Bilgisayarla üretilmiş matematik fraktaller olduklarını bilmesek fotoğraf sanabiliriz.



Fraktal bir yapıyı matematik bir temelden başlayarak görüntü halinde dünyaya sunan kişi **Benoit Mandelbrot**'dur. Mandelbrot'un geliştirmiş olduğu fraktal matematiği basit bir denklemden başlayarak ve sürekli kendini tekrar ederek gittikçe karmaşık hale dönüşen, fakat temel benzeşimini koruyan geometrik yapıları gözler önüne sermiştir. İlk yayınlandıkları 1980 yılından bu yana matematiksel fraktaller hem bir sanat kolu hem de bir matematik dalı oluşturmuşlardır. Matematik fraktallerini inceleyen fizikçi **Mitchell Feigenbaum** ise fraktaller ile karmaşa (kaos) arasında yakın bir ilişki bulunduğunu göstermiştir.

Doğadaki karmaşık ve kaotik yapının ortaya çıkmasını sağlayan, belli bir noktada '**çatallaşma**' diyebileceğimiz mekanizma ile sistemin yeni dallara bölünmesi ve farklı yönlere doğru gelişimin devam etmesidir (Bkz. **16** sayılı **Düzen-Karmaşa İlişkisi** başlıklı yazı).



Bu şekil bir matematik fonksiyonun gelişimini gösteriyor. Fonksiyon kendi üzerine dönüşümlü, "iteratif" bir fonksiyondur. Önce tek bir değer olarak gelişen fonksiyon, bir anda iki çatala ayrılıyor. İterasyonlar devam ettikçe çatallaşmalar hem artıyor hem de daha sık aralıklarla oluşmaya başlıyorlar. Yani bölünme ve farklılaşma önce yavaş sonraları gittikçe daha hızlı olmaya başlıyor.

Günümüzde, basit diferansiyel denklemlere dökülemeyen olayları fraktal geometrisi ile açıklamaya çalışan yeni bir '**Karmaşa (Kaos) bilimi**' gelişmek üzeredir. Karmaşa deyince sonucu tahmin edilemeyen, hiçbir bilgisayarın çözemeyeceği kadar girift matematik gerektiren doğa olayları aklı geliyor. Oysaki sayıların renklere dönüşümü sayesinde çok karmaşık bir gelişim sürecini,

bütüncül olarak, tek bir dinamik resim olarak izleyebilmekteyiz. Fraktal geometride incelenen nesnenin veya olayın boyutu önemli değildir. Bu bakımdan fizik alanında kullanılabileceği gibi biyolojide de kullanım alanı bulacaktır. Bugün için sanat alanı olarak kabul edilen fraktal geometrisi gelecekte iklim biliminde, biyoloji ve genetik biliminde, tıpta, hatta ekonomide bile uygulama alanları bulacaktır.

Bir ağaç büyürken bir anda belli bir noktadan budak verir ve bu budak yeni bir dalın oluşumunu başlatır. Dal büyürken yine belli bir anda olay tekrarlanır ve yeni bir budaktan yeni bir dal oluşur. Bu dalların ortaya çıkışı zaman içinde yavaş bir şekilde olduğundan hepimizin gözlemlediği bir örnek olarak kavranması nispeten kolay bir olgudur. Eğer aynı oluşumu hızlandıracak olursak '**çatallaşma**' olayı sayesinde anlaşılması ve kavranması çok daha güç olan karmaşık olayların ve yapıların da temeline inmiş oluruz.

Çatallaşmanın oluşması için bir kritik etkinin bulunması gerekir. Bu konuyu biraz ileride açacağım. Yani **kritik bir etki** olmadıkça değişim periyodik olarak kendini tekrarlayan hareketler içeriyor. Kısaca ifade etmek gerekirse doğada bulunan her canlı hatta cansız sistemin en temel özelliği nedir? sorusuna benim yanıtlım **Simetri ve Denge** olacaktır. Önce simetrisinin bir tanımını yapayım.



Bir nesne veya olguya (*fenomene*), uygulanan herhangi bir etkinin sonucunda değişmeyen, aynı kalan, bir yapı varsa o yapıda gizli veya açık bir simetri bulunması gerekir. Doğada birçok simetri açıktır, kolayca algılanabilir, örneğin kar kristallerinde görülen simetri açık bir simetridir.

Oysaki doğada bulunan pek çok sistemde gizli bir simetri bulunur. Yani sistemde kendi üzerine dönüşümlü bir yapı vardır ama bu yapı gözle görülen açık seçik bir görüntü sunmaz. Nedeni de dönüşümün **lineer olmayan** bir özellik içermesinden dolayıdır. Lineer (çizgisel) dönüşümlerde herhangi bir değişiklik olması mümkün değildir. Bu bakımdan çizgisel dönüşümler kolaylıkla izlenip saptanabilirler. Çizgisel olmayan dönüşümler üstel bir yapı içerdiklerinden simetrisi örtüktür.

Örnek olarak, DNA kopyalamasında bazı "mütasyon" adını verdiğimiz değişikliklerin olabilmesi için kopyalamada çizgisel olmayan bir yapı bulunmalıdır. Elma ağacı örneğinde olduğu gibi tekrar olsa da asla 100 de 100 kopyalama söz konusu değildir.

Şu halde **Doğal sistemlerin gelişiminde** iki önemli etki veya şart bulunmalıdır:

1. Temel yapılarında doğrusal (lineer) olmayan bir özellik bulunmalıdır ve,
2. Temel yapılarında kendi üzerlerine dönüşümü sağlayan bir özellik bulunmalıdır.

Günümüze kadar geliştirilmiş olan doğa bilimi olan fizik biliminde hep trigonometrik lineer (çizgisel) fonksiyonlar kullanılmıştır. Fakat, bu fonksiyonlarda karmaşık değişim olmadığından, bu fonksiyonlarla doğanın karmaşık yapısı asla açıklanamamıştır. Görüyoruz ki kendi üzerine dönüşüm içeren **Fraktal** yapılar sadece statik, duragan resimler olarak karşımıza çıkmıyorlar,

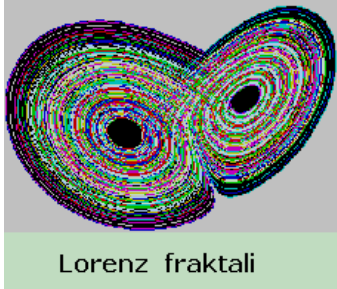
aynı zamanda doğada hareket halinde olan canlı yapıların da davranışlarını açıklıyorlar. Çizgisel bir gelişme göstermeyen sistemlerde, çok yakın başlangıç şartları dahi çok farklı sonuçlar verebilirler. İşte Karmaşa kuramında "**Kelebek etkisi**" denen olay budur. Eğer gelişim ve etkileşim çizgisel olmayıp karmaşık ise bir kelebeğin kanat çırpışı kadar ufak bir fark dahi çok büyük farklılara yol açabilir.

Kayalardan akan suyun türbülansı, yükselen sigara dumanının hareketi, fırtınalı rüzgarlar, tayfunlar, borsa hareketleri, zarların yuvarlanması, kalbin **fibrilasyona** girmesi gibi çok farklı olaylar türbülans içerirler ve ancak karmaşa kuramı ile açıklanabilirler.

Bir bakteriyi göz önüne alalım. Bakterinin çoğalması simetrik olarak bölünüp ikiye ayrılması ile olur. Dış şartlar değişmediği sürece bakteri kendini tekrarlamaya ve hiçbir değişikliğe uğramadan çoğalmaya devam eder. Bakteri önce içindeki DNA'nın bir kopyasını yapar. Sonra bu iki kromozom arasında bir ayırıcı duvar oluşturur. Daha sonra bakteri ikiye bölünür. Bir tek bakterinin iki bakteri haline gelişinde DNA molekülünün kopyalanması gerekmektedir. Bunun için de sistemin kendi üzerine dönüşümlü olması gereklidir.

DNA kopyalamasında bazı "**mütasyon**" (değişim) adını verdiğimiz değişikliklerin olabilmesi için kopyalamada çizgisel olmayan bir yapı bulunmalıdır. Elma ağacı örneğinde olduğu gibi tekrar olsa da asla 100 de 100 kopyalama söz konusu değildir.

Fizikçiler uzun yıllar, hatta birkaç yüzyıldır matematik çözümü kolay olan "çizgisel" yapılarla ilgilendiler. Çizgisel yapılara örnek düzgün görünüşlü, kolay tanımlanan geometrik şekiller ve matematik fonksiyonlardır. Oysaki doğa düzgün görünse de aslında karmaşıktır.



Lorenz fraktali

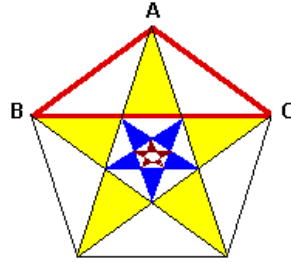
Diğer önemli bir fraktal **Lorenz** Fraktalidir. Bir ağacın yeni bir budak vererek dal oluşturması, hatta kan damarlarının oluşumu dahi Lorenz Fraktalindeki parametrenin belirli birtakım değerler arasında kaldığı durumlarda gerçekleşebiliyor. Bir coğrafi bölgede bazı tür hava akımlarının oluşumu (hortum, tayfun, muson rüzgarları gibi) belirgin bir sıcaklık aralığına bağlı olduğunu ve aynı olayın farklı sıcaklık aralıklarında neden oluşmadığını şimdi daha iyi anlıyoruz. Bir meteorolog olan Lorenz, hava akımlarındaki mevsimlik değişimleri incelerken havadaki belli birtakım ölçüm değerlerinin iki adet acayip çekici nokta arasında gidip geldiklerini saptamıştır. Belli birtakım yörüngeler boyunca değişen bu değerler benzeşmekte fakat asla tekrarlanmamaktadır. Her yörüğe diğerine göre biraz farklı olduğu görülüyor. Demek ki tekrar olsa da asla aynı olay bire bir tekrarlanmıyor. Daima ufak farklılıklar oluşuyor. Bu sayede sistemde ufak değişimler oluşuyor.

Evrenin yapısını ve doğa olaylarını açıklamaya çalışan gerek klasik fizik kuramları gerekse Kuantum kuramı veya Görelilik kuramları birtakım "**doğa sabitleri**" tanımlamışlardır. Kuram içinde bu sabit sayıların gerçekten **sabit** oldukları sanılır. Oysaki bu sayıların yapısında dahi karmaşa vardır. Örneğin π (pi), e ve c ışık hızı ve h Planck sabiti denen sabit sayıların her biri "**irrasyonel**" sayılardır. Bunlar sonsuza kadar uzayan fakat asla belirgin bir yapı içermeyen sayılardır. Üstelik iki tam sayının oranı olarak da ifade edilemezler. Her bir sabit sayı **kendini tekrarlamayan** bir yapı içinde sürer gider. Fizik kuramlarında kullanılan sabit sayıların dahi karmaşa içerdiklerini kabul etmekte zorundayız.

Bir diğer doğal ve irrasyonel sayı Fi adı ile bilinen **Altın Oran** sayıdır. Göze en hoş gelen, en estetik oran olduğundan bu isim verilmiştir. Bu sayı dahi sabit olmayıp, irrasyonel bir yapı içinde sürüp gider. Φ (Fi) = 1.618033988....şeklinde sonsuza kadar devam eder.

Doğada pek çok yapı F_i sayısını (Altın oranı) içerir. Bitkilerin kozalaklarında, Nautilus adı verilen bir tür deniz kabuklusundan deniz minaresine, hatta en eski fosil kalıntılarında salyangoza kadar bu oranın varlığını görmekteyiz.

Alttaki resimde görülen deniz kabuklarının hepsinde altın oranı bulmaktayız. Altın Oran içeren diğer bir şekil eşkenar beşgendir. Bu beşgeni denizyıldızında ve birçok çiçeğin taç yapraklarında buluyoruz. İlginç olan beşgenin içinde oluşan yıldız kendini sürekli tekrarladığıdır. Bir merkezden başlayarak kendini tekrarlayan ve sıfırdan sonsuza kadar genişleyen bir yapı görüyoruz. Fakat F_i sayısı irrasyonel olduğundan her yeni yapı biraz farklı oluşur ve bu şekilde doğada çeşitlilik ortaya çıkar. Karmaşık yapıların temelinde bulunan belirsizlik, her yeni yapının biraz farklı olmasını sağlar. Bu kabuklu canlılarda spiral yapının nedeni Altın Oran sayıdır. Fakat sayının irrasyonel oluşu, kesinlikle sabit olmayışı, bu farklı canlıların oluşumuna yol açmaktadır. Bir diğer örnek denizyıldızdır.



Denizyıldızı

Elbette ki burada verdiğim basit örnekler bizim evrenimizde bulunan her türlü yapıyı açıklamaya yetmezler. Ancak bu basit örnekler sayesinde, doğada sürekli **Acayip Çekici** merkezlerin oluştuğunu ve böylece kendine benzeyen (fakat birebir kopyası olmayan) yapıların oluştuğunu kavrayabilmekteyiz. Bu benzerlik her boyutta görülmektedir. Hem düzen hem de düzensizlik acayip çekici merkezler sayesinde olur. Zaten düzensizlik, bizim farkında olmadığımız bir gizli düzenin dışı vurmuş görüntüsüdür.

"Acayip" sözü dilimizde tuhaf bazı çağrışımlara neden olduğu için yerine "gizli" sözünü kullanmayı tercih ederim. "**Gizli çekici**", yani gözlerden gizlenmiş bir boyutu olduğu kanısındayım. Sistemler, ister cansız ister canlı olsun, farklılaşarak varlıklarını sürdürürler. Çünkü farklılığı oluşturan etki dıştan geldiği kadar içten de geliyor. Örneğin, canlılarda beslenme şartları, su durumu, dış düşmanların sayısı, yani genel olarak çevre şartları her sistemde ufak da olsa farklı oluşumlara yol açıyor. Ancak, canlı sistemin bölünerek çoğalma yeteneği ile kendi yapısında bulunan non-lineer (doğrusal olmayan) özellik yeni türlerin ortaya çıkmasını sağlayan içyapıdır. Burada önemli olan değişikliği oluşturacak olan kritik bir değere ulaşıp ulaşılmadığıdır.