

Evren

Dev Bir Bilgisayar mı?

İnsanoğlu yüzyıllardır doğayı ve evreni,
arka planda işleyen ve matematik denklemlerine dayanan yasaları ortaya çıkararak anlamaya çalışıyor.
Bilgisayar çağı da denilen bilgi çağında ise artık şunları sorguluyoruz:
Evren aslında bir bilgisayar çıktısı mı?
Bütün hareket ve etkileşimler matematik denklemlerinin ötesinde,
0'lerden ve 1'lerden oluşan bilgi parçaları mı?



Bu sorular size Matrix filmini anımsatabilir. Hemen belirtelim, bu yazı ne Matrix kadar felsefi olacak ne de okumayı bitirdiğinizde gerçeği görmenize engel olan perdenin kalktığını hissedeceksiniz. Size, mavi ile kırmızı hap arasında seçim yapması ve kırmızı hapi içmesi durumunda yaşadığı dünya hakkındaki gerçeği öğreneceği teminatı verilen Neo'ya verildiği gibi bir teminat da verilmiyor. Ama yukarıdaki soruların, felsefi tartışmalara ve bilim kurgu filmlerine konu teşkil etmenin ötesinde kuramsal fizik ve bilgisayar bilimlerinde nasıl ele alındığını merak ediyorsanız, doğru yerdesiniz. Matrix'teki Morpheous karakterinin dediği gibi "Herşey bir tercih ile başlar". Yazıya devam edip etmemek arasında seçim sizin.

Evrenin dev bir bilgisayar olabileceği fikri 1940'lı yıllarda ilk programlanabilir bilgisayarı icat eden Konrad Zuse tarafından ortaya atılmış. Başta garipsenen bu fikir sonraları Edward Frenkin, Leonard Suskind, Stephen Wolfram, Gerard't Hoof, Juergen Schmidhuber, Seth Lloyd gibi birçok bilim insanı ve felsefeci tarafından kabul görmüş. İşin ilginç tarafı "evren bir bilgisayar gibi işliyor", "kendi vücudumuzdan elimizde tuttuğumuz kitaba kadar her şey aslında bir bilgisayar simülasyonudur" gibi önermelere deneysel destek olarak fizik yasaları gösteriliyor. "Fiziğin temelleri ile dijital bilgisayarlar arasındaki uyum, evrenin bilgisayar mantığıyla çalıştığını ve fiziğin dijital olduğunu gösterir" deniyor. Tabii "evren dev bir bilgisayardır" kabulünü, "kayıt edilen bilgi nasıl tanımlanıyor, nerede kaydediliyor" gibi sorular takip ediyor. En az bu sorular kadar ilginç bir başka soruyu Matrix'te Morpheous Neo'ya yöneltmişti:

"Gerçek olduğundan emin olduğun bir rüya gördün mü hiç? Ya bu rüyadan uyanmak mümkün olmasaydı? Rüya ile gerçek dünya arasındaki farkı nasıl bilecektin?"

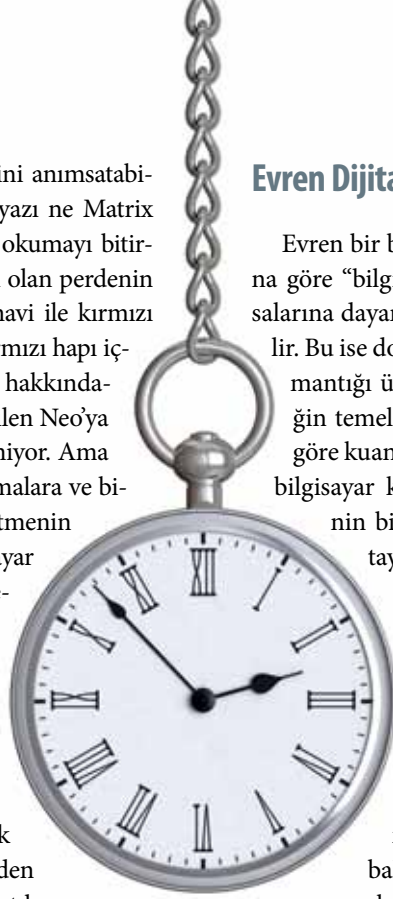
Bilgisayar bilimciler de kendilerine benzer sorular soruyor ve gerçeğe örtüşen simülasyonlar geliştirmeyle çalışıyor. Bu tür simülasyonlar için kullanılan modeller henüz emekleme aşamasında olsa da her geçen gün gerçeğe daha da çok yaklaşıyor. Evrendeki olayların ve doğa olaylarının, gerçeklerine çok yakın olarak simüle edilebilmesi evrenin bir simülasyon olduğuna işaret eder, fikrine katılır mısınız?

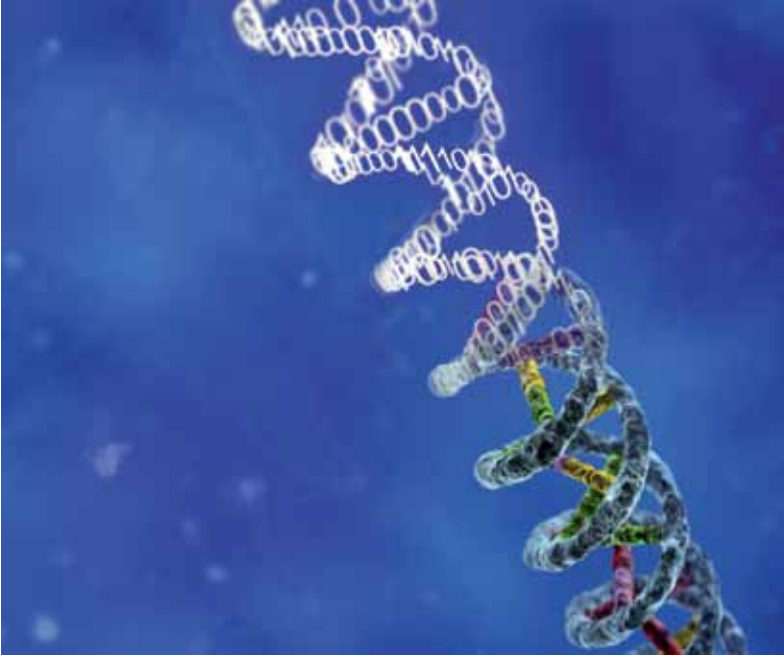
Evren Dijital mi Analog mu?

Evren bir bilgisayardır fikrinin savunucularına göre "bilgisayarların çalışma ilkesi doğa yasalarına dayanıyor" cümlesi tersten de okunabilir. Bu ise doğa yasalarının bilgisayarın çalışma mantığı üzerine kurulduğunu gösterir. Fiziğin temelinde kuantum mekaniği olduğuna göre kuantum fiziğindeki kavram ve olguları bilgisayar kavramlarıyla karşılaştırarak evrenin bilgisayar gibi işleyip işlemediği ortaya çıkarılabilir. Evren, içinde Pentium işlemci olan elektronik bir bilgisayar değilse de arka planında kuantum elektrodinamiğinin işlediğini biliyoruz.

Öyle ise evrenin yapısının analog mu dijital mi olduğunu tespit etmek için kuantum fiziğinin dijital mi analog mu olduğuna bakabiliriz. Analog veri televizyon, ses vb. dalgalarının elektrik sinyaline dönüştürülmesiyle oluşur. Oluşan elektrik sinyali genliği değişen ama süreklilik arz eden bir dalga formatındadır. Dijital veride ise sinyal sürekli değil. Var/yok ya da doğru/yanlış mesajlarına karşılık gelen, ikilik sayı sistemine dayalı 1'lerden ve 0'lerden oluşan kesikli bir yapıya sahiptir. Yani analog süreklilik, dijital kesiklilik ile ilişkilendirilebilir.

Temelinde bilgisayar gibi işleyen bir evrende yaşadığımızı kanıt olarak, sürekli görülen fiziksel olaylara kuantum mekaniksel düzeyde baktığımızda kesikli bir yapıya sahip olduklarımızı fark etmemiz gösteriliyor. Yani kuantum fiziğinin dijital bir yapısı var. Kuantum mekaniğine göre hareket ve enerji sürekli değil, kesikli. Parçacıklar, kuantum durumları denen belli durumlarda bulunabiliyor ve parçacığın bir kuantum durumundan diğerine geçebilmesi için de enerji paketçikler halinde taşınıyor. İnsan ölçeğindeki olaylarda, örneğin bir topun hareketinde, değişik enerji seviyeleri arasındaki uzaklık gözümüzle fark edemeyeceğimiz kadar küçük olduğu, bir diğer deyişle enerji seviyeleri birbirine çok ama çok yakın olduğu için kesikliliği fark edemiyoruz.





Temelinde kesikli olan olayları sürekli algılamamız tabii ki duyularımızla da ilgili. Sinema perdesinde 1 saniye içinde geçen 60 film karesinin ya da saniyede 120 kez yanıp sönen bir ampülün sürekli olduğu izlenimi, beynimizin art arda gelen anlık görüntüleri sürekliymiş gibi algılamasından kaynaklanıyor.

MIT profesörlerinden Edward Fredkin “bir zamanlar sıvı akışının kesintisiz olduğu düşünülürdü, elektrik akımı sürekli bir akım gibi algılandı, şimdi ise maddenin yapısının kesikli olduğunu biliyor, elektrik akımını elektronların hareketiyle anlatıyoruz” diyor. Bilim tarihi boyunca sürekli olduğu zannedilen olguların aslında süresiz olduğu ortaya çıktı. Atom fiziğindeki alan kavramının yerini bozon kavramına bırakması belki de bunun en uç örneklerinden biri.

Fizik yasalarının Konrad Zuse’un bilgisayarında olduğu gibi belirlenimci (deterministik) bir algoritma ile hesaplanabilmesi simüle edilmiş bir gerçeklikte yaşadığımızın kanıtı olarak sunulsa da fizik yasalarının belirlenimci olduğunu söyleyemeyiz. Kuantum fiziğinin doğası bilgisayar mantığı ile uyumlu. Bu ise fiziği dijital, evreni hesaplanabilir kılıyor. Ancak bir parçacığın konumunu ya da momentumunu hiçbir zaman tam bir kesinlikle bilemeyeceğimizi söyleyen Heisenberg’in belirsizlik ilkesi ve birbiriyle ilişkili olayların birbirine etkisininin matematiksel sınırlarını veren Bell eşitsizliği hesaplanabilirliğe kısıtlama getiriyor. Ayrıca kesikli enerji düzeyleri örneğinde olduğu gibi, dijital olgular içeren kuantum fiziği bir parçacığın aynı anda birkaç yerde bulunabilmesi, dalga boyu gibi analog olgular da içeriyor.

Evrendeki Dinamik Bilgi

Kuramsal fizikçi Leonard Suskind’e göre kuantum kuramı, her bir kuantum durumunun bir bilgiye karşılık geldiği bir bilgi kuramı. Suskind’in bilgi ile kuantum durumlarını eşleştirmesi bilgiyi “farklılık” olarak tanımlıyor olmasından kaynaklanıyor. Ancak bu tanımlama kişisel bir tercih değil. Hidrojen atomunu oksijen atomundan ayıran, içerdikleri bilgilerin farklı olması; bu da kuantum durumlarındaki farklılıktan kaynaklanıyor. Kuantum durumlarının hesaplanabilirliği ve matematiksel olarak temsili ise fiziksel gerçekliğin bilgisayar gibi işlediğini gösteriyor. Bu mantıktan hareketle evrendeki her cismin her farklı durumu bilgisayar dilindeki bir bit olarak düşünülebilir. Kuantum bilgisayarlar üzerine yaptığı çalışmalarla bilinen ve Matrix’in bilimsel danışmanı Seth Lloyd bu konuda elektronun spi-



ni örneğini veriyor. Kuantum mekaniğine özgü bir özellik olan ve kuantum parçacığına manyetik kimlik kazandıran spin, vektörel bir nicelik. Yani büyüklüğünün yanı sıra yönü de var. Lyold evrendeki bir elektronun spini yön değiştirince, bilgisayarda bir bitin 1 den 0'a dönüşmesi gibi, evrende ufak bir bilginin değiştiğini belirtiyor. Var olan her parçacığı, kuarkı, elektronu, cismi ve her birindeki olası bilgi değişimlerini göz önüne aldığımızda, evren basit bir bilgisayar olmamalı diye düşünüyoruz. Bilginin statik değil dinamik olması, bizi yine evren dev bir bilgisayar olsa da yazılımı Konrad Zuse'un bilgisayarındaki kadar basit olamaz, sonucuna götürüyor. Evrendeki kayıtlı bilginin dinamik olduğunu gösteren en çarpıcı örneklerden biri DNA'mız. Göz rengimizden karakterimize ve hatta duygularımıza kadar tüm özelliklerimizin kayıtlı olduğu DNA çevresel faktörlerle değişime uğruyor. Evrendeki bilgiler

dijitaldir tezini savunanların, bu değişimlerin 0'lar ve 1'lerle nasıl ifade edilebileceği sorusuna cevap verebilmesi beklenir. Evrenin ikilik sayı sistemi üzerine kurulu bir bilgisayar gibi işleyecek kadar basit olamayacağını savunan felsefecilerin en büyük delili, henüz duygularımızı simüle eden bir bilgisayarın yapılamamış olması.

Holografik Evren

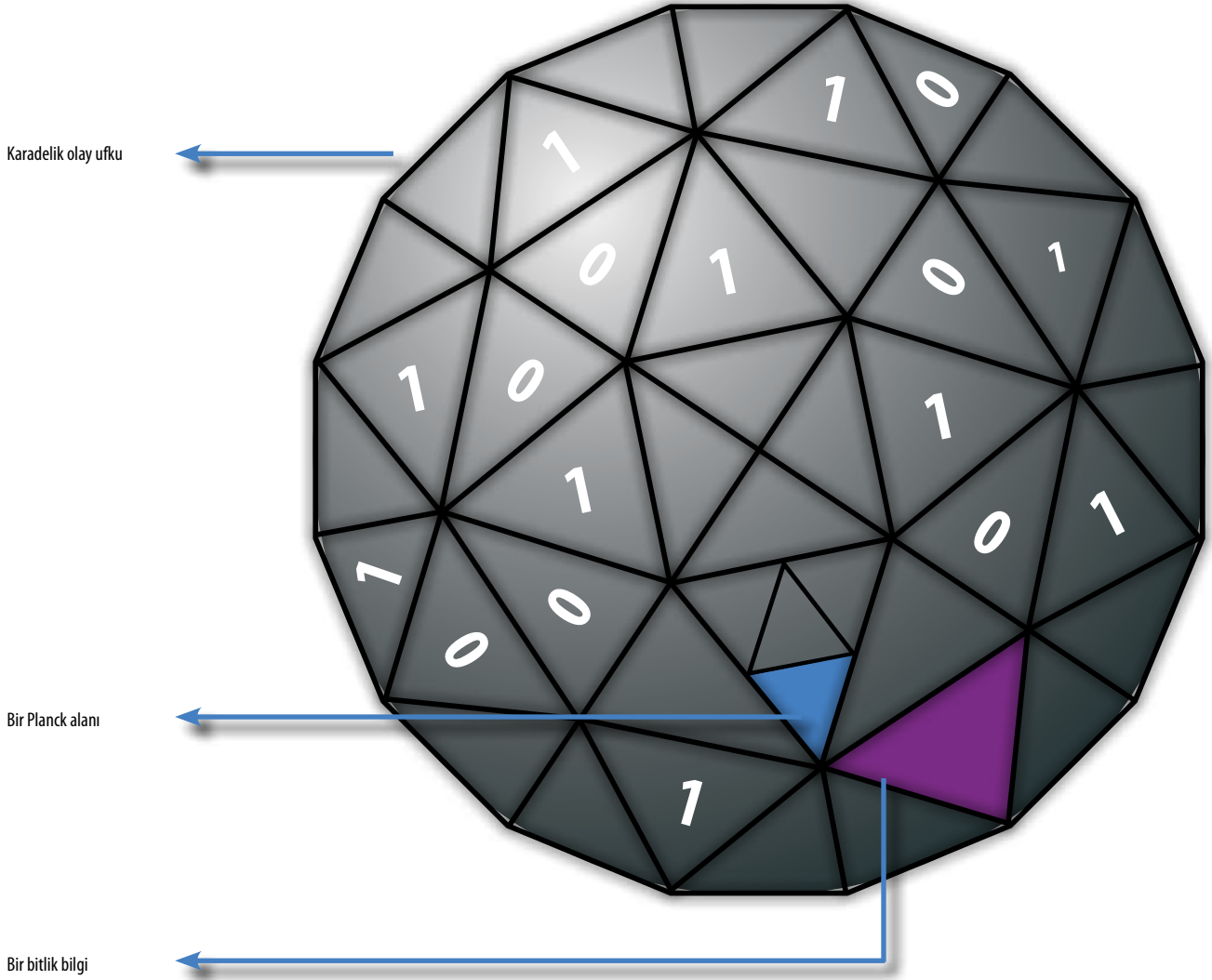
Bir kuantum sisteminin alabileceği kuantum durumlarının sayısına işaret eden entropi, bir fiziksel sistemin içerdiği bilgiyle yakından ilişkilendirilen bir kavram. Sistemin alabileceği maksimum entropi ile sahip olduğu entropi arasındaki fark, doğrudan sistemin bilgisine karşılık geliyor. Bir sistemin bulunduğu kuantum durumu sayısı ne kadar fazla ise o kadar fazla bilgi içeriyor diyebiliriz. Modern fiziğin kuantum mekaniği ile klasik fiziğin genel göreliliğini kullanarak karadeliklerin entropisini hesaplayan Stephen Hawking 1970'lerde karadeliklerde bilginin kaybolduğunu öne sürdü. Hawking kuantum denklemlerini kullanmıştı ve hesapları doğru idi. Ama sonuç korunum yasalarını ihlal ettiği için kabul edilemezdi. Fizikçilerin "bilgi paradoksu" olarak adlandırdığı bu bilmecenin çözümü Gerald't Hoof'tun 1990'larda holografik ilkeyi bulmasına kadar devam etti. Hoof't baştan beri bilgi paradoksunun Planck ölçeğinin (10^{-35} metre) ötesinde, bilinmeyen fizik yasalarına işaret ettiğini söylüyor ve anlaşılmasız sonucun Hawking'in yarı klasik yaklaşımından kaynaklanmış olabileceğini belirtiyordu.

Karadelik, yakıtını tüketmiş çok büyük kütleli bir yıldızın süpernova patlamasının ardından kendi üzerine çökmesi ile oluşuyordu. Yıldız sonuçta tekillik denen, sonsuz yoğunluklu sıfır hacimli bir noktada toplanıyordu. Kütleçekimi öyle kuvvetleniyordu ki çevresindeki tüm maddeyi hatta ışığı yutuyordu. Karadelik maddeyi yuttukça kuantum du-



Herbir elektronun spini yön değiştirdiğinde evrende kayıtlı bilgi değişiyor



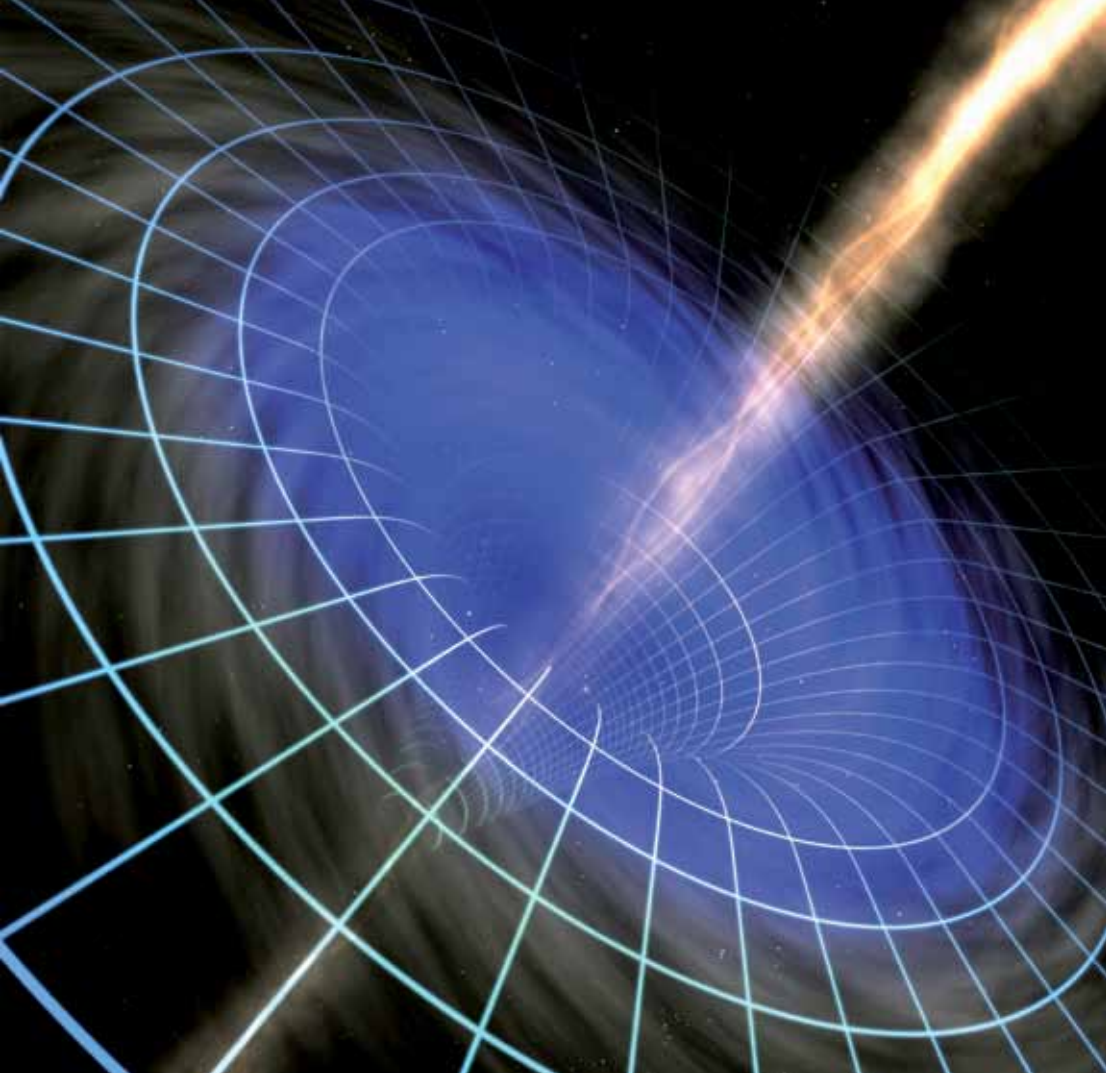


Karadelik bilgisi, karadelik yüzey alanı olan olay ufku kaydediliyor. Bu alanı 10^{-70} m²'lik Planck alanlarına ayırabiliriz. 4 Planck'lık alana 1 bitlik (1 veya 0) dijital veri girişi yapılabilir.

rum sayısı artıyor dolayısıyla entropisi artıyordu. Karadelik çapı ne kadar büyük ise entropisi o kadar fazlaydı. Ancak Hawking bir karadelik sıcaklığı olduğuna göre ışımaya yapması ve bu ışımaya yoluyla yuttuğu maddeyi kusması ve kütlelerini yavaş yavaş kaybetmesi gerektiğini öne sürdü. Karadelik ışımaya yavaş yavaş er geç buharlaşıp yok olacak ve geriye sadece ışımaya bulutu kalacaktı. Hawking'in hesaplarına göre başlangıçta karadelik neyi yutmuş olursa olsun, sonuçta oluşan ışımaya bulutu aynı oluyor yani bu buluttan karadelik yok olmadan önceki kuantum durum bilgisine ulaşamıyordu. Bu ise korunum yasalarına tersti. Karadelikler ve holografik ilke üzerine çalışan bilim insanlarından Raphael Bousso, Hawking ışımamasından karadelik bilgisi ulaşmayı, trafikte kaza yerini inceleyerek ve yerdeki lastik izlerine, araçlardaki hasara bakarak çarpışmanın nasıl gerçekleştiğine dair ipuçları elde etmeye benzetiyor. Hawking'in iddiasına göre ise çar-

pışan kamyon, araba, tır ne olursa olsun, çarpışma nasıl gerçekleşirse gerçekleşsin yerdeki izler ve araçtaki hasarlar hep aynı. Yani bilgi kayboluyor ve görevli memurlar hiçbir zaman hatalı olanı bulamıyor.

Paradoksun çözümü kuantum alan kuramı üzerine çalışan Gerard 't Hooft'tan geldi. Tekillik çevresinde ışığın bile kütle çekiminden kaçamadığı bölgeye karadelik, bu bölgenin alanına ise olay ufku deniyor. Hooft karadelikteki tüm bilginin olay ufku kaydedildiğini öne sürdü. Yani üç boyutlu karadelik bilgisi iki boyutlu yüzeyde saklanıyordu. Karadelik hacmi ne kadar büyük ise o kadar fazla bilgi depolayabiliyor, ancak hacmi çevreleyen yüzey alanı depolanabilecek bilgiye sınır getiriyordu. Fotoğraf tekniklerinden olan holografide de aynı ilke geçerli. Lazer ışığı kullanılarak üç boyutlu cismin bilgisi iki boyutlu film yüzeyine kaydediliyor, sonra film lazerle aydınlatılınca cismin üç boyutlu görüntüsü elde ediliyor. Fotoğraf filmin-



de bir piksele ne kadar fazla bilgi yüklendiyse ortaya çıkan görüntü o kadar gerçeğe yakın oluyor. Peki evrende bir pikselin karşılığı var mı? Bilim insanları bunun fiziksel olarak anlamlı en küçük alan olan Planck alanı olduğunu söylüyor ve 4 Planck'lık alana en fazla 1 bitlik bilgi girişinin yapılabileceğini belirtiyor.

Peki evren, içindeki tüm bilginin kayıtlı olduğu bir olay ufkuna sahip mi? Bu konuda çalışan bir bilim insanı olan Raphael Bousso, evreni içi dışına çıkmış bir karadeliğe benzetiyor. Evren ivmelenen bir hızla genişlediği için gökadar bizden hızla uzaklaşıyor. Daha uzaktaki gökadar daha büyük bir hızla uzaklaştıkları için belli bir uzaklıktan ötedeki gökadarları göremiyoruz. Işığın karadeliğin çekiminden kurtulup bize ulaşamaması gibi, genişleyen evrenin uzak noktalarındaki ışık da bize ulaşmıyor. Bousso evreni bir hologram gibi düşünüp ne kadar bilginin kayıtlı olduğunu hesaplayabilece-

ğimizi belirtiyor. Bunun için evrenin geçmişine bakılmalı, Büyük Patlamadan bu yana her yönden bize ulaşabilen ışık ışınlarının oluşturduğu alan tespit edilmeli ve bu alanın kaç Planck birimlik olduğu hesaplanmalı.

Basit Algoritmalarından Karmaşık Doğa Olayları Simüle Edilebilir mi?

Üç boyutlu koca evrenin bilgisinin iki boyutlu bir alana sığabileceği fikrine başta şüphe ile yaklaşılabilir. Ancak Planck uzunluğunun 1 metrenin on milyar \times milyar \times milyar \times milyarda biri olması bunu mümkün kılıyor. Evreni, kenarı Planck uzunluğu kadar olan alanlara (hücrelere) bölerek modelleme fikri bir bilgisayar mühendisine hücresel otomat modelleri anımsatabilir. Mathematica adlı bilgisayar programının geliştiricisi Stephen Wolfram bu benzerliği farklı açıdan gören ve hücresel otomat mode-

li doğa yasalarına uygulayan bir bilim insanı. Wolfram uzay-zamanın birbiriyle ilişkili küçük alanlara bölündüğü bir modelleme yapıyor. Her bir hücredeki bilgi o hücreyi çevreleyen diğer hücrelerdeki bilgiye göre şekilleniyor. Diğer bir deyişle, bir hücreye 1 veya 0 olarak girilecek değer, komşu hücrelerin çıktıklarına bağlı. Bir boyutlu bir modelde her hücrenin 2, 2 boyutlu bir modelde ise 8 komşusu var. Tabii hücrenin hangi durumda 1, hangi durumda 0 değerini alacağı, belirlenen komut dizisine bağlı. Her bir hücrenin üç komşusunun olduğu Wolfram'ın 110 kuralında, her bir komşu iki farklı (1 veya 0) değer alabiliyor. Komşu hücrelerin üçünün de 1 değerini aldığı 111 kombinasyonunda merkez hücreye 0 değeri giriliyor. Komşular toplam sekiz ($2 \times 2 \times 2$) farklı kombinasyonda bulunabiliyor; her bir durum için merkez hücrenin alacağı değer de belli. Sekiz farklı kombinasyon da $2^3 = 256$ tane hücrenel otomata karşılık geliyor. 110 kuralının hesabı evrensel. Asıl önemlisi, her türlü matematiksel hesabı yapan evrensel bir bilgisayar olarak tasarlanan Turing makinesinin 110 kuralıyla simüle edilebileceği belirtiliyor. Karmaşık hesapların Turing makinesiyle ve hücrenel otomat modellerde olduğu gibi belirli bir komut dizisiyle yapılabilmesi, evreni dev bir bilgisayar olarak değerlendiren bilim insanlarının çok da boş bir iddia peşinde koşmadığı izlenimini veriyor.

110 kuralıyla, kendini tekrarlamayan ama tamamen de rastgele olmayan örüntüler oluşturulabiliyor. Doğa olaylarını simüle edebilmek için hü-

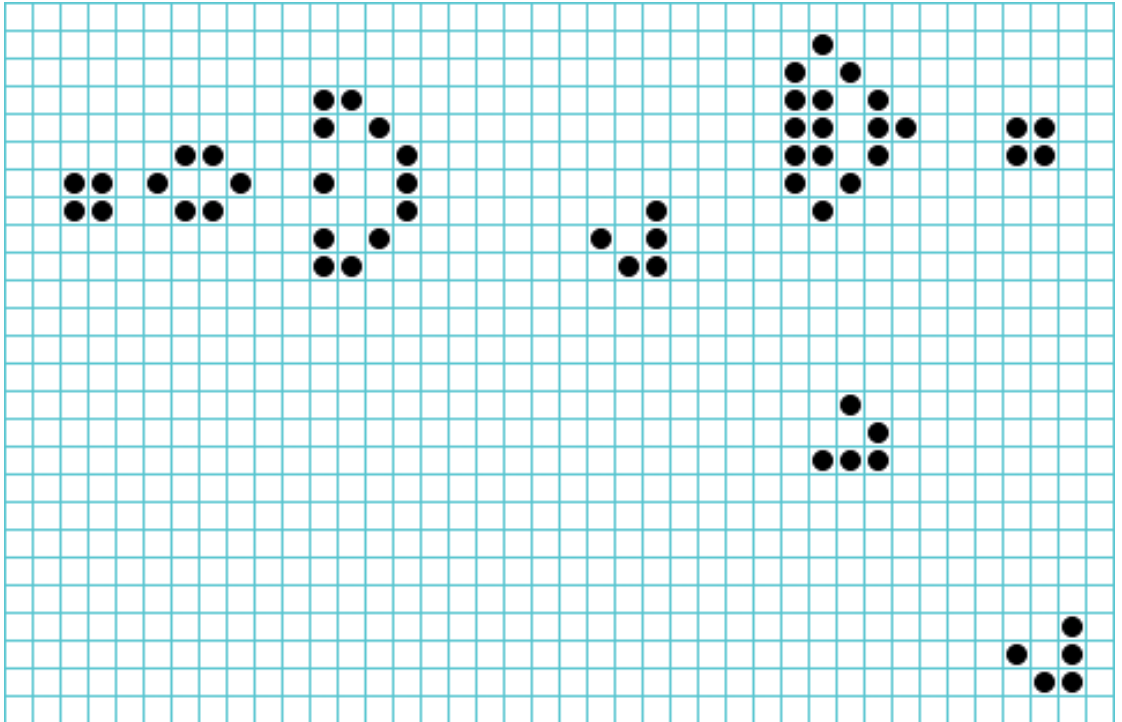
resel otomat modelleri kullanan bilim insanlarından matematikçi John Horton Conway'in geliştirdiği "Hayat Oyunu" isimli program, mikroorganizma gibi yapılar üretiyor. Stephen Wolfram'ın geliştirdiği bir model ise kar tanelerini modelleyebiliyor.

Evrende Kaç Bit Bilgi Var?

Evrenin bir bilgisayar olduğunu kabul edersek ister istemez, elektronlardan gök cisimlerine, mikroorganizmalardan kar tanelerine her fiziksel sistemin içerdiği bilgi evrende bir şekilde kaydediliyor, demek durumunda kalıyoruz. Sistem zaman içinde ister değişsin ve gelişsin ister eski konum ve durumunu koruyup hiçbir iş yapmadan öylece dursun, bilgi içeriyor ve evrende tüm bu bilgiler bir şekilde işleniyor olmalı. Kompleks sistemler, bilgi ve kuantum bilgisayarlar üzerine çalışan Seth Lloyd'a göre bu yaklaşım gayet makul, zira bilgisayarlar da çoğu zaman beklemede, hiçbir iş yapmadan masalarımızda oturuyor. Evrende var olan bütün enerjiyi ve maddeyi kullanacak kadar güçlü bir bilgisayar yapmak istesek, ne kadarlık bilgi işleyen bir bilgisayar yapmamız gerekir? Lyold'un evrende şu an var olan 10^{90} parçacığı göz önüne alarak yaptığı hesaba göre, cevap 10^{120} .

Evrende işlenen bilgiye karşılık gelen sayının çok çok daha büyük bir sayı olmasını beklerdik. İsterseniz Seth Lloyd'un hesabına kısaca bir göz atalım.

John Horton Conway'in geliştirdiği "Hayat Oyunu" isimli programdan bir ekran görüntüsü





Örneğin her bir atomu 1 bitlik bilgi olarak düşünürsek, Avogadro sayısı kadar atom içeren bir maddede yaklaşık 10^{24} bit bilgi var demek olur. Ancak söz konusu atom sistemi olduğu için, bu bilginin sistemin entropisi ile değişeceğini göz önüne almamız gerekir. Bir kiloluk bir madde en fazla ne kadar bilgi taşır? En fazla bilgiyi, elimizdeki madde bir ateş topuna dönüştüğünde, daha bilimsel bir ifadeyle entropisi en yüksek değerini aldığı anda taşıyacaktır. Bu enerjiyi hesaplamak kolay. $E=mc^2$ formülünü kullanırsak bir kilo için 10^{17} Joule'lük enerji buluruz. Bu enerjinin saniyede ne kadarlık işleme karşılık geleceğini hesaplayan Lloyd bunun Planck sabiti başına 10^{17} Joule olduğunu buluyor. Böyle bir sistemin alabileceği kuantum durum sayısından ise sistemde kaç bitlik bilginin tutulabileceği hesap ediliyor ki bu da 10^{30} bite karşılık geliyor.

Benzer işlemi evrene uygulayabilmek için iki bilgiye daha ihtiyaç var. Biri evrenin kütle yoğunluğu, diğeri ise evrenin yaşı. Metreküp başına bir hidrojen atomuna denk gelen kütle yoğunluğundan toplam enerjiyi ve bu enerjinin Planck sabitine bölünmesinden evren için saniyedeki işlem sayısını bulabiliriz. Sonucu, evrenin yaşı olan 13,7 milyar yıl ile çarptığımızda ise evrenin başlangıcından beri yapılan işlem sayısını buluruz. Sonuç 10^{120} .

Bu yöntem, evren fazlaca basite indirgenmiş gibi görünse de bilimsel. Zira evrenin gözlemler tarafından anlaşılabilir olduğunu düşünen bilim insanları, kompleks olguları mümkün olan en basit açıklama yoluyla anlamaya çalışıyor. Söz konusu olan, evrenin bir bilgisayar olup olmayacağını, dev bir bilgisayar ise işletim sisteminin nasıl olduğunu ortaya çıkarmak gibi zor bir araştırma olsa da durum değişmiyor. Evrenin beklenmedik bir şekilde homojen yapıda ve düşük entropiden yana olmasının, hesapları kolaylaştıran etmenlerin başında geldiğini de belirtmeden geçmeyelim. En önemlisi ise evren bilgisayarının bildiğimiz bilgisayarlardan çok daha sağlam oluşu. Düşünsenize, 13,7 milyar yıldır ne bir virüs bulaşmış, ne de bazı programlar çalışmaz hale gelip bilgisayarın çökmesine yol açmış.

Kaynaklar

Lloyd, S., "Ultimate Physical Limits to Computation", Nature, Sayı 406, s. 1047-1054, Ağustos 2000.
World Science Festival 2011, Rebooting the Cosmos: Is the Universe the Ultimate Computer?
World Science Festival 2011, a Thin Sheet of Reality: The Universe As a Hologram
<http://edge.org/conversation/the-computational-universe>: Seth Lloyd ile Hesaplanabilir Evren üzerine Röportaj