

Konu: **Bilim**

Yazı: **84**

Zeno Çelişkileri ve Kuantum

Doç. Dr. Haluk Berkmen

Elea'lı Zeno M.Ö. beşinci yüzyılda yaşamış önemli bir düşünürdür. Onun hareketle ilgili çelişki içeren felsefi önermeleri günümüzde dahi tartışılmaktadır. Bilindiği gibi hareketin ölçütü olan hız, yol ve zamana bağlı bir değişken olarak tanımlanır. **Newton** hızı 'velocity' sözünün ilk harfi olan v ile belirtmiş ve ortalama hızın yol / zaman olduğunu

$$v = (x_2 - x_1) / (t_2 - t_1) = \Delta x / \Delta t$$

denklemleriyle tanımlamıştır. Ani hız ise Δt 'nin sıfıra yaklaştığı durumdur. $\Delta t = 0$ durumunda sayı/sıfır sonsuz olduğundan, $v = \Delta x / 0 = \infty$ olup, hız sonsuz büyük bir değere ulaşır. Bu durum ise Görelilik kuramına göre imkânsızdır. Zira Einstein'ın Görelilik kuramına göre hiçbir hız ışık hızını aşamaz. Demek ki hız ölçümü için gerekli iki anın arası asla sıfır olamaz ama pratikte sıfır limitine yaklaştığı kabul edilir. Zira klasik ölçüm metotlarında iki ölçüm arasında daima, kısa da olsa, belli bir zaman aralığı bulunur.

Zeno, hız ve hareket ile ilgili çelişki içeren iki paradoks sunmuştur. Bunlardan biri "**Aşil ve Kaplumbağa Paradoksu**"dur. Bu önerme şöyledir:

Asil ve kaplumbağa yarışmaya karar verirler. Aşil kaplumbağadan çok daha hızlı koşmaktadır. Eğer yarışa birlikte başlarsa belli bir mesafede olan hedefe Aşil kaplumbağadan çok daha önce varacaktır. Bu bakımdan Aşil kaplumbağaya x metrelik bir avans verir. Aşil'in kaplumbağayı yakalaması için önce x/2 kadar yol alması gerekir. Fakat bu arada kaplumbağa da bir miktar yol almıştır. Aşil geriye kalan yolun da yarısını alana kadar kaplumbağa bir miktar daha yol almış olur. Bu seri devam ettirilecek olursa görülür ki Aşil asla kaplumbağayı yakalayamayacaktır. Seri şöyle ifade edilebilir:

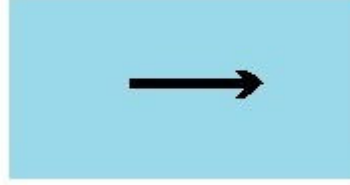
$$x/2, x_1/4, x_2/8, x_3/16, x_4/32, x_5/64, x_6/128, \dots, x_n/\infty$$

Burada her x kaplumbağa ile Aşil arasındaki mesafedir. Fakat $x_n/\infty = 0$ olduğundan Aşil ancak sonsuz adımda kaplumbağayı yakalayabilecektir. Bu nasıl olabilir?

Bu paradoksun çözümü zamanı da göze almakla elde edilir. Aşil Δt zaman aralığında y kadar yol alırken kaplumbağa aynı zaman aralığında y'den çok daha az yol alır. Dolayısıyla Aşil daima kaplumbağayı hem yakalar hem de geçip hedefe ulaşır. Demek ki hız söz konusu

olduğunda sadece kat edilen yolu göz önüne almak yeterli değildir. Aynı şekilde sadece zamanı göz önüne alıp yolu göz ardı etmek de yeterli değildir.

Zeno'nun bir diğer çelişki içeren önermesi "**Ok Paradoksu**" olarak bilinir. Bu önerme şöyle ifade edilir: Yaydan çıkıp ilerleyen bir okun belirli bir andaki görüntüsü ile diğer bir andaki görüntüsü arasında fark yoktur. Tek olarak ok gözleendiğinde ve arka zemin inkâr edildiğinde Δt aralığı ne olursa olsun okun görüntüsü hep aynı olacaktır. Bu durumu alttaki şekil daha net olarak açıklar. Sonsuza kadar yayılan tek renkli bir arka zemin düşünün. Bu arka zemin üzerinde duran bir okun yerini tespit etmeniz mümkün değildir. Zira arka zemin üzerindeki her nokta birbirinin aynısıdır ve okun yerini belirlemek mümkün değildir. Şu halde ok her an aynı görüntüyü verecek ve durağan görünecektir. Her anda her nokta birbirinden farksız olduğundan sadece oku gözleyen kişi için ok harekesiz imiş gibi görünür. Zira okun hareket ettiğini belirten bir farklı görüntü yoktur. Bu mantığa dayanarak Zeno hareketin (hızın) olmadığını iddia etmiştir.



Bu önermedeki çelişki, sadece zamanı göz önüne almaktan ve yer değişkenini göz ardı edilmekten kaynaklanıyor. Yani, Δx belirsiz ise $\Delta x = 0$ alınabilir ve böylece $v = 0$ olur.

Eğer hem Δx hem de Δt sıfır olursa 0/0 belirsiz olduğundan hız belirsiz olur. Belirsizlik ise Kuantum kuramının en temel ilkesidir ve bu yüzden Kuantum kuramı matematik ihtimaliyet (olasılık) hesabı kullanır. Kuantum kuramında ayrıca Heisenberg tarafından ileri sürülmüş **Belirsizlik İlkesi** bulunur. Bu ilkeye göre bir kuantum nesnesinin yeri ile hızı (momentumu) aynı hassasiyetle ölçülemez. Bu konuda ayrıntılı bilgi için **12** sayılı **Belirsizlik İlkesi** başlıklı yazıma bakınız (**1**).

Belirsizliğin nedeni her nesnenin hem parçacık hem de dalga oluşundandır. Bu özellik sadece mikro âlemde değil, makro âlemde de geçerlidir. Dalgalar uzam içinde belirli bir noktada bulunmazlar, yaygın bir yapı sergilerler. Dolayısıyla dalganın yerini kesin olarak saptadığımızda onu bir parçacığa indirgemiş oluruz. Bu duruma "**Dalga Fonksiyonunun Çökmesi**" denir. Her gözlem bütünsel ve fiziksel olan dalgayı çökertir. Yani, deney ve gözlemlerle elde edilen bilgi, etkileşen nesnelere birbirlerine bağlayan ortak dalga bilgisi olmayıp, bağımsız parçacık bilgisi olmaktadır.

Bir kuantum nesnesini gözlemek için ona bir foton göndermek gerekir. Foton nesne ile etkileşip geri geldiğinde nesne hakkında bize bilgi getirir. Fakat fotonun nesne ile etkileşmesi için ikisi arasında ortak bir bütünsel dalganın oluşması gerekir. Yani girişim söz konusudur. Foton nesneden ayrıldığında ise ortak dalga çöker ve nesne ile foton bağımsız birer birim olurlar. Ortak dalga çökmeden sisteme yeni bir foton gönderilirse ne olur? Bunun için çok sık aralıklarla deney yapılması gerekir. Bu deney yapılmış ve gerçekten de teorinin öngördüğü ortalama sonuçlardan farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Olayı şöyle basite indirgeyerek açıklayayım. Her radyoaktif atom belirsiz aralıklarla parçacık saçar. Bu duruma atomun bozunması denir. Tek bir atom için durum belirsiz olsa da birçok atomun ortalaması alındığında bozunmanın kurala uygun olarak gerçekleşip gerçekleşmediği deneysel olarak saptanabilir. Atomun ilk durumuna A ve bozunmadan sonraki durumuna B diyelim.

Atomun A veya B durumunda olduğunu bilmek istersek atoma bir foton (ışık huzmesi) göndermemiz gerekir. Ard arda yollanan ışık huzmeleri atom A durumunda iken ve B durumuna geçerken etkileşmeye girerse ortalama beklenen sonuçta değişiklikler oluşacaktır. Zira sisteme dıştan bir etki yapılmış ve Δt sifıra çok yaklaşmış olduğundan belirsizlikler ortaya çıkmıştır. Sistemin beklenenden farklı davranmasını Zeno paradoksuna benzeten fizikçiler olaya "**Kuantum Zeno Etkisi**" demişlerdir. Eğer sistem hep A durumunda kalırsa sistem değişmediği sonucuna varılır. Sistemin hep A durumunda kalması ideal bir durum olup, sıfır aralıklı ölçümlerin yapılmasını gerektirir, ama pratikte $\Delta t = 0$ olamaz.

Kuantum Zeno Etkisinden ilk söz eden **Alan Turing**'dir. Alan Turing (1912 – 1954) bilgisayarların babası sayılır ve 2. Dünya savaşı sırasında Almanları şifreli mesajlarını da çözmeyi başarmış bir matematik dâhisidir. Alan Turing'in kendi sözleri şöyledir:

It is easy to show using standard theory that if a system starts in an eigenstate of some observable, and measurements are made of that observable N times a second, then, even if the state is not a stationary one, the probability that the system will be in the same state after, say, one second, tends to one as N tends to infinity; that is, that continual observations will prevent motion ... (2)

Çevirisi: "Bir sistemin gözlenebilir bir özelliği saniyede N kere ölçülürse, sistem durağan olmasa dahi, N sonsuza yaklaşınca sistemin ölçülen özelliğinde değişme olmayacak ve sistemin aynı durumda kalma olasılığı 1 (yani %100) olacaktır."

Daha sonra, 1977 yılında **B. Misra ve G. Sudarshan** adlı iki fizikçi bu olayın matematik modelini geliştirmişlerdi (3).

Kuantum sistemindeki değişiklik beklenenden daha uzun bir sürede gerçekleşirse bu duruma **Zeno Etkisi** ve beklenenden daha kısa bir sürede gerçekleşirse bu duruma **Anti Zeno Etkisi** denmektedir. Hem Zeno etkisi hem de Anti Zeno etkisi deneysel olarak ölçülmüş ve kanıtlanmıştır. Deneyle ilgili makalenin özeti için kaynak 4'e bakınız.

Kaynaklar:

- (1) <http://www.halukberkmen.net/pdf/56.pdf>
- (2) http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_Zeno_effect
- (3) <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jmp/18/4/10.1063/1.5233004>
- (4) <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0104035v1>