

Not Defteri

V u r a l A l t ı n

Dünya'yı Ölçmek

Nerede kalmıştık? "Madde ayağa kalkıp bilinç olmuş, kendini anlamak için." Yürüyor... Nerede: Dünya'da. Nasıl bir şey şu Dünya?...

Güneş Sistemi'ndeki 9 gezegenden birisi. İçten dışa doğru, Dünya'ya benzeyen ('terrestrial') dördünden (Merkür, Venüs, Dünya, Mars) üçüncüsü. Şekli küresel. Bunun böyle olduğunu Pitagoras (MÖ.582-496) biliyormuş. Nasıl? Dünya'nın Ay üzerine düşürdüğü gölgenin hep daire şeklinde olduğundan hareketle. Öyle ya; örneğin düz olsaydı Dünya, yani yassı ve disk şeklinde, Ay üzerindeki gölgesi bazen daire şeklinde olurdu tabii; ama bazen de iki dairenin arakesiti, hatta düz bir çubuk şeklinde de olabilirdi. Al bir madeni parayı karşına ve çevir; kesiti kah şöyle görünürdü, kah da böyle... Aristo (MÖ 384-322) da Pitagoras'ın bu düşüncesine katılmış ki, Dünya'nın küre şeklinde olduğu kanısını aktarmış. Öte yandan, denizciler Dünya'nın küreselliğini öteden beri biliyor olmuş olsalar gerek; iyi gözlemci olan denizciler, aklını kullanan. Çünkü, gemi yola çıkıp açılıyor; ufkun ötesinde suyun altında kaybolduktan, yani sanki battıktan sonra, dönüp dolanıp, tekrar beliriyor ve hiçbir şey olmamış gibi geri geliyor. Bunun tek bir açıklaması olabilir: Dünya küresel. Buna karşın, binlerce yıl boyunca Dünya'nın yassı olduğunu iddiaya devam edenler olmuş, hâlâ da var.

Kutuplarda hafifçe basık, ekvatorunda biraz şişkin. Niye böyle? Kendi etrafında dönüyor çünkü ve bir jöleyi de hep aynı yönde döndürsen, dönme eksenine dik yönde bombelenir zamanla. Demek ki Dünya kasaklı değil; en azından bir zamanlar öyle deymiş, uzun bir süre için. Atmosferi de öyle olmalı, kutuplarda basık. O halde; kutuplardaki hava basıncı, görece düşük.... Nitekim öyle: Güney Kutbu'nun 2.900 m yüksekliğindeki basınç, yükseklik sanki 3.300-4.000 metreymiş kadar. Düşük: Kutbun kendisi bir yüksek basınç merkezinin ortasında ('Hadley Dolanımı') bulunmasına karşın. Bu durum, kutuplarda uzun süre kalkanlarda rahatsızlıklara yol açıyor. Neyse...

Yarıçapı ekvatorunda 6.378,14 km, kutuplarda 21,36 km daha az. Gözle algılanama-

yacak kadar az farklı. Ortalama, $R_D = 6.370$ km kadar. Dolayısıyla, çevresi ekvatorunda 40.075, kutupsal 40.008 km. Nereden biliyoruz? E, Kireneli (bugünkü Libya'da bir kent) Eratostenes (MÖ 276-194), bunu MÖ 3. yüzyılda hesaplamış. Nasıl? Söylentiye göre; İskenderiye ile arasında yürüyüp, aralarındaki mesafeyi kabaca ölçerek. Şöyle: Güneş çok uzaklarda, sanki sonsuzda olduğu için, Dünya'ya gelen ışınları paralel gibidir ve bu ışınlar yeryüzündeki herhangi bir noktaya, yıl boyunca değişik açılarla gelir.

yu görünce, ünlü yöntemini tasarlamış ve İskenderiye'ye kadar yürüyüp, aradaki mesafeyi adımlayarak ölçtüğünden sonra, ertesi yılı beklemiş. Yazın aynı gününün öğle saati geldiğinde, bu sefer İskenderiye'de yere dik bir çubuk çakıp, gölgesinin boyunu ölçmüş. Çubuğun boyunun (h) gölge uzunluğuna (l) oranını alıp, Güneş ışınlarının yere geliş açısını hesaplamış ($\tan \alpha = l/h$). Bu aşamada yaptığı saptama şu: Dünya'ya paralel gelen Güneş ışınları, Syene'ye dik inerken, İskenderiye'ye α açısıyla ulaştığına ve bu farklılığa, Syene ile İskenderiye arasındaki enlem farkı yol açtığına göre; α açısı iki kent arasındaki yayı kapsıyor. Bu

durumda, kentler arasındaki mesafeden (d), Dünya'nın çevresi

$C = (2\pi/\alpha)d$ olarak hesaplanabilir. Bulduğu sonuç: 252.000 stadia. Spor alanlarının ölçüsü olması gereken 'stadia'nın metre karşılığı

olarak bilinmiyor. Çünkü bu birim için o zamanlar, farklı kentlerde farklı uzunluklar kullanılmış.

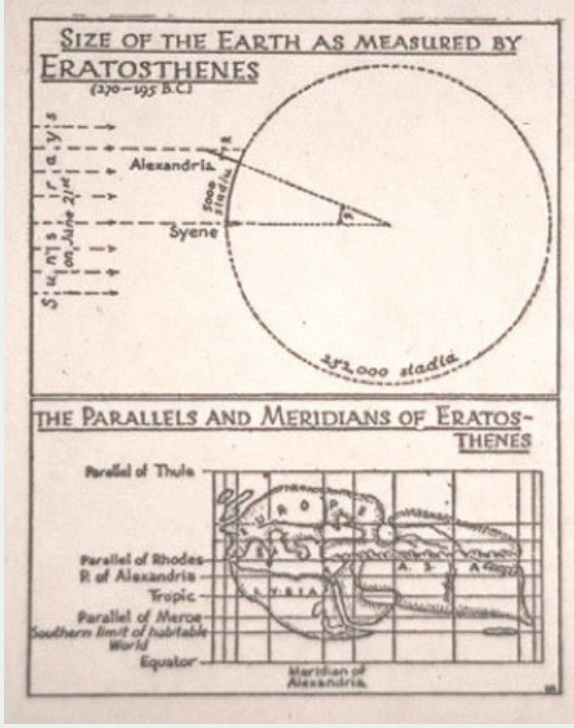
Aristo'nun anlatımına göre, 185 metre kadar olması gerekiyor. Ki bu da, Eratostenes'in Dünya'nın çevresi için bulduğu değer 46.620 km olduğu anlamına geliyor.

Anlaşılan, Dünya'nın çepiri o dönemde, büyük bir merak ve önemli bir çalışma konusuymuş. Çağın dehalarından bir diğeri olan Arşimed (MÖ 278-212), 'Kum Tanelerinin Sayısı Üzerine' (*De Arenae Numero*) yazdığı kitapta, 300.000 'stadia' değerini veriyor. Daha da büyük bir değer. Durum, rivayetleriyle birlikte böyle...

Aslında, Eratostenes'in bu hesabı yapması için, çok büyük olasılıkla, Syene'da bir kuyu görüp, İskenderiye'ye kadar yürümesi gerekmedi. Çünkü, MÖ 236 yılında, II. Ptolemaios Evergetes tarafından İskenderiye Kütüphanesi'nin yöneticiliğine getirilmişti. Zamanın önde gelen kentleri için, Güneş'in yılın çeşitli zamanlarındaki 'ufuk düzlemine göre yükseklik'lerinin kayıtları dahil, gereksinim duyduğu bilgilerin hepsi elinin altında vardı. Kentler arası mesafelerse, Büyük İskender'den (MÖ 356-323) son-

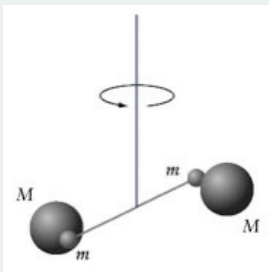


Dönme eksenini eğik olduğundan. Bu nedenle, yere dikine çakılan bir çubuğun gölgesinin uzunluğu, yıl boyunca değişir. Örneğin, Güneş tam tepedeysen ('zenit'); çubuk gölge vermez, veremez. O noktada çubuk yerine derin bir kuyu varsa eğer, o zaman da; ışınlar kuyunun duvarlarına paralel olarak iner ve kuyunun dibindeki sudan geri yansır. Syene'de (bugünkü Aswan) böyle bir kuyu varmış ve yazın en sıcak gününde, Güneş'in gökyüzünde ufuk çizgisine göre en yüksek konumuna ulaştığı ('solstis') öğle saatinde, dibi görünürmüş. Eratostenes Syene'ye yaptığı bir gezi sırasında bu kuyu-



ra kayda dökülmüştü zaten. Hakkındaki rivayetler, insanlığın toplumsal bilinçaltının, önde gelen düşünürlerinin hayatlarını çarpıcı öykülerle bezeyerek, mitleştirip ölümsüz anlatımlara dönüştürme tutkusundan kaynaklanmış olsa gerek. Bir bakıma onlara şükranlarını sunma istek ve nezaketinden. Bu, Eratosthenes örneğinde çok başarılı olmuş. Çünkü, birkaç kitap yazmış ve matematiğe; en çok bilineni, verilen herhangi bir tamsayıdan küçük olan tüm asal sayıların bulunmasına yönelik algoritma 'kalbur'u olmak üzere, önemli katkılarda bulunmuş. Ayrıca, yukarıdaki şekilde birinin, sonradan tahmine dayalı olarak hazırlanmış bir kopyası görülen haritalar hazırlamış. Fakat, eserlerinden geriye hiçbirisi kalmamış. Hakkında bilinenler, diğer çalışmacılar tarafından kendisinden yapılan alıntılardan oluşuyor. Bir de şu: MÖ 195 yılında kör olunca, ertesini yıl, açlık yoluyla intihar etmiş. Toprağı bol olsun. Eski Grek dostlarımıza çok şeyler borçluyuz.

Eratosthenes'in kullandığı yöntemin basitliği, İskenderiye ile Syene'nin aynı boylam üzerinde olduğu varsayımına dayalıydı. Ki bu tam doğru değil. Öte yandan, kentler arası uzaklık, deve kervanlarının bir kentten diğerine, günde ortalama 100 stadia yol kat ederek, 50 günde ulaştığı bilgisinden türetilmişti. Hayli kaba bir ölçüm. Yoksa, bugün aynı yöntemle, Dünya'nın çevresini, birkaç yüz kilometre hata ile, 40.000 km civarında hesaplamak mümkün. Arzu ederseniz,



deneyebilirsiniz. 22 asır sonra da olsa, Eratosthenes'ten daha iyi bir ölçüm yapabilmek, hoş bir duygu olsa gerek. Hem de, Güneş ışınlarının illa da kentlerden birinde dik düşmesi gerekmiyor. Aynı çubuğun iki kentte verdiği gölgelemin çubukla yaptığı açılarda farkı yeterli. Dönelim Dünyamıza...

Hacmi $(4/3)\pi R_D^3 = 10^{12}$ (trilyon) km^3 , Dünya'nın hacmi. Kütlesi: 6×10^{24} kg kadar. Nereden biliyoruz? Kütle ölçmek, görece kolay. Çünkü, Newton'un kütleçekimi yasasına göre, M ve m kütleli iki cisim arasındaki çekim kuvveti $F = GMm/r^2$ ile veriliyor. Cisimlerden, M kütleli Dünya, diğeri de herhangi bir cisim olsun. İkinci cismin üzerinde başka kuvvet yoksa eğer; Dünya'nın uyguladığı çekme kuvvetinin, Newton'un İkinci Yasası'na göre, cismin kütlesiyle ivmesinin çarpımına eşit olması lazım: $F = ma$. Bu iki ifadenin eşitliği, $=GM/r^2$ verir ve ikinci cismin kütlesinin bu ifadeye yer alması, aynı yükseklikteki bütün cisimlerin aynı ivmeyle 'düştüğü' anlamına gelir. Buradan, $M = ar^2/G$ çözülebilir. Bu durumda, Dünya'nın kütlesini belirlemek için; herhangi bir cisim alıp, Dünya'nın merkezinden r uzaklığına kaldırdıktan sonra bırakarak, ivmesini ölçmek yeterli. Bu deney deniz seviyesinde yapılırsa, $r = R_D$ olur. Ki bu yarıçapı bildiğimize ve ekvatordaki deniz seviyesinde bütün cisimler, bildiğimiz $g = 9,78 \text{m/s}^2$ ivmesiyle düştüğüne göre; M'yi, gR_D^2/G olarak hesaplayabiliriz. Yeter ki G'yi bilelim. Peki o nereden gelecek? Onun önceden belirlenmiş olması lazım. En basit olarak, Henry Cavendish'in (1731-1810) 1783 yılında kullandığı düzenekle... Dünya'nın çevresinin Eratosthenes tarafından ölçülmesinden sonra, kütlelerinin de ölçülebilmesi için, aradan ikibin yıla yakın bir zamanın geçmesi ve bu arada Newton yasalarının keşfedilmesi gerekti.

Cavendish, diyelim L uzunluğundaki bir çubuğu, iki ucuna küçük birer m kütlesi sabitledikten sonra, bir telle ortasından tavana asmış. Ki, çubuk gerektiğinde yatay bir daire üzerinde dönebilir. Sonra bu hayali daire üzerine, yandaki şekilde görüldüğü gibi; m kütlelerine yakından bakan, fakat çubuğa göre zıt taraflarda bulunan, büyük birer M kütlesi yerleştirmiş.

M-m mesafelerinin (d) eşit olması halinde, m kütlelerinin her ikisi üzerinde de yatay kuvvetler ($F = GMm/d^2$) bulunacak ve bu kuvvetler; yaklaşık zıt yönlere olduklarından birbirini sıfırlamakla beraber; çubuk üzerinde bir dönme kuvveti (tork) uygulayacaktır ($T_C = LGMm/d^2$). Çubuk dönmeye başlar. Tel büküldükçe, bu dönmeye karşı bir tork (T_T) üretir ve dönmeyi bir süre sonra, diyelim θ açısına ulaştığında durdurur. Telin özellikleri önceden incelenmiş olup, hangi miktarda dönmeye karşı ne kadar tepki torku ürettiği bilinmektedir. Örneğin θ açısı için, $T_T = k\theta$ kadar; k burada 'dönmeye karşı yay sabiti' olup, büyüklüğü önceden belirlenmiştir. Dönme durduğunda, etki ve tepki torkları eşit hale gelmiş olup ($LGMm/d^2 = k\theta$), bu eşitliğin çözümü G'yi verir: $G = k\theta d^2 / LMm$.

Ancak kütleçekimi zayıf bir kuvvet olduğundan, anlamlı ölçümlerin elde edilebilmesi için, deneyin büyük bir dikkat ve azami duyarlılıkla yapılması gerekiyordu. Cavendish'in kullandığı düzenekte; 'dönme sarkacı' ('torsional pendulum') da denilen telin uzunluğu 1 m, tahtadan yapılmış çubuğun uzunluğu 2 metre kadardı. Hava akımlarından etkilenmemeleri için tahta çubuk içine gömülmüş olan küçük kütleler 5'er, dışarıdaki büyükleri ise 20'şer cm çapında kurşun kürelerdi. Düzenek aslında, John Michell (1724-1793) adında bir yerbilimci tarafından tasarlanıp yapılmıştı. Michell düşündüğü deneyleri yapmadan ölünce, düzeneği Cavendish'e iletilmiş. Cavendish bu düzeneği, eskiyip yamulmuş olan tahta kısmını değiştirip, hava akımlarına karşı korumalı bir odanın içine yerleştirmiş ve hata paylarını en aza indirmek için, odanın duvarları dışındaki, silindirel geometriyi bozabilecek tüm ağırlıkları uzaklaştırmış. Kendisini de... Ölçümlerini uzaktan teleskopla yapmış. Gerçi aynı hesaba gelir, biri diğerinden elde edilebilir, ama sonunda; deney sonuçlarından hareketle, G'yi veya Dünya'nın kütlesini değil, Dünya'nın ortalama yoğunluğunu hesaplamış. Çünkü Michell bir yerbilimciydi ve düzeneğini bu amaçla tasarlamış olsa gerekti. Cavendish bu çalışmasıyla ilgili olarak yayınladığı orijinal makalesinde (*Philosophical Transactions*, 1798), Dünya'nın yoğunluğunu, suyunkine oranla, 5,48 olarak veriyor. Aslında, onca titizlikle elde etmiş olduğu deney sonuçlarının ortalaması 5,448. "4"lerden birini gözden kaçırmış galiba. Dünya'nın ortalama yoğunluğu için bugün kabul edilen değer ise, 5,518 kg/m^3 . Halbuki, yerkabuğunu oluşturan taş, toprak ve minerallerin bollukları oranında bir karışımı alınıp yoğunluğu ölçülse, 3,000 kg/m^3 civarında bir değer bulunur. Ki bu; yerin altında, kabuğundakinden daha yoğun bir şeylerin bulunduğu anlamına geliyor...

Sahi: Ne var şu bastığımız yerin altında?