



Not Defteri

V u r a l A l t ı n

Zamanın Denklemi

Zaman... 'Tik tak, tik tak...' Garip bir şey, akıp gittiği hissi var; hüznün veriyor. Değerli bir şey tabii, hayattan gidiyor; nasıl ölçerim bunu?... Eski Sümer veya Mısır dönemindeyim diyelim, zamanı nasıl ölçerim? Pek öyle somut bir şey de değil, sanki histen ibaret... 'Tik tak'... Periyodik bir hareket, düzenli periyodik bir hareket bulur, onun 'tik tak'larını sayarım. Eski Sümer zamanı, Fırat'ın kenarı; 'tik tak'ı nereden bulacağım?... E, 'tik tak' olmazsa, 'ying yang' var, hayatımız döngülerle dolu; gece gündüz, yaz kış; onları kullanırım. Örneğin Güneş; her sabah doğup, akşam batıyor, oldukça düzenli olarak. Yere bir çubuk çakıp bakarım, gölgesinin boyuna. Öğlene kadar kısalır, akşama kadar uzar; güneş saati olur bu. Ya da, çubuğu ekvator düzlemine dik tutarım; o zaman Güneş hep etrafında dolanır çubuğun, ben de gölgenin uzunluğu yerine, açısına bakarım... O daha düzenli değişir. Çünkü Güneş, gün boyunca gökküre üzerinde ekvatora paralel bir daire üzerinde dolaştığına ve bunu gün boyunca sabite yakın hızla yaptığına göre, çubuğun gölgesi sabit hızla döner. Hem de; Güneş yıl boyunca ekliptikte dolanırken ufuk düzlemine göre yükselip alçaldıkça, gölgenin boyu uzayıp kısalır. Mevsim hakkında da fikir sahibi olurum böylelikle. Çubuğun dibinden geçen doğrular üzerinde, farklı uzunluklar işaretleyip ayları, haftaları bile izlerim. Güzel... Örneğin öğle vakti gölgesini çizer, diğerlerinin açısını ondan ölçerim. Gölge bu durumda, Güneş doğudan batıya ilerlerken, batıdan doğuya döner; kuzey yarımkürede olduğum için 'saat yönü'nde... Tevekkeli... Bizim şehir meydanlarında böyle bir saat görmedim ben, yazık. Halbuki bizi hatırlamaya sevkederdi, medeniyetin emeklemedikleri; basit, zahmetli, düşünce yoğun... Teknolojiyi sadece tüketiyor olmanın verdiği rahvet...

Tamam, güneş saati iyi oldu da, ya gece?... Su saati kullanırız. Bir kaba su doldurup dibine delik açarız, su aktıkça zaman ilerler. Kabin iç yan yüzünde yatay çentikler var, su azaldıkça birer birer ortaya çıkarlar. En son çıkan, zamanı gösterir... Suyu bir kaptan sabit hızla akıtmak zor ama. Seviyesi alçaldıkça, çıkıştaki basınç azalır, akış hızı yavaşlar. Kabin yanları eğikse, biraz daha iyi. Ya da, suyu akıtmak yerine doldurmak... Doldur havuza suyu, del bir kabin dibini, bu sefer dışına yatay çentikler, koy havuza: Kap su alıp battıkça, çentiklere bakıp zamanı söylerim. Dolunca da dalsın: Kap başına bir saat, 'güneş saati'yle... Öyle ayarlarız kabin dışındaki çentikleri, deliğini, güneş saatiyle kalibre ederiz... Eski Babilliler kullanmış bunu. Grekler de geliştirmiş, 'su hırsız' (klepsidra) derlermiş. Su boş aktığı için değil de, hayattan çalıp gittiği için herhalde... Fakat, bir su saatinin düzgün adım çalışmasını sağlamak, aradan geçen 2.000 yıla karşın, hala zor iş. Ama güneş saati de düzgün çalışmaz zaten. Gün boyunca çalışır da, göl-



genin dönme hızı yıl boyunca değişir. Neden?... Dünya her gün kendi etrafında, kuzeyden bakıldığında saatin tersi yönde sabit hızla 360° dönerken, bir yandan da Güneş'in etrafında, keza saatin tersi yönde, yaklaşık 1° dolanıyor?... Güneş de buna karşılık Dünya'nın etrafında, doğudan batıya doğru 360° dönerken, batıdan doğuya doğru da 1° geri kaymış oluyor. Net 359°... O halde Güneş'in turunu tamamlaması için, Dünya'nın biraz daha dönmesi lazım. Evet, Dünya yılda mesela 366 kere dönecek ki, Güneş de 365 kere doğup batsın. Güneş'in hareketini yıldızlardan farklı kılan, bu ortalama 1°'lik geri kayış. Çubuğun gölgesiyle ilgisi?... Şu: 1°, ortalama bir değer, günlük değeri yıl boyunca değişiyor. İki nedenle; hem Güneş'in ekliptik boyunca hızının değişmesi, hem de ekliptiğin ekvatora eğik olması. O değişince, Dünya'dan bakan birisi için; ki çubuk da öyle biri; Güneş'in boylamlar arasındaki açıl hızı değişiyor; çubuğun gölgesi de bu değişken hızla dönüyor, ekvatora dik durduğundan... Tabii; Güneş az gecikince, turunu çabuk tamamlıyor, gün kısalıyor. Fazla gecikince de uzuyor... Gün?... Temiz bir tanımını yapmak lazım. Öğle vakti iyi bir başvuru anı, Güneş tam tepeme (zenit) ulaşmıyor, ama ufuk düzlemine göre en yüksek noktaya tırmanıyor: Öğleden önce... Olmadı, "temiz bir tanım..." O zaman; bulunduğum konumdan geçen coğrafya boylamını gökküreye yansıtıp, Dünya'nın merkezine göre yayıp, bir gökküre boylamı elde ederim: Güneş'in bu boylamdan ardışık iki geçişi arasındaki süre 'gün'dür. 'Görünür güneş günü'. 'Görünür', çünkü görünürdeki... Yıl boyunca değişiyor; hepsinin ortalaması da, 'ortalama güneş günü'... Gerçi Güneş gibi iri diski birisinin gökküredeki konumunu belirlemek pek kolay değil ama... Hem, bu biraz fazla değişti, daha sabit bir şey... 'Yıldız günü'. Güneş gününü değişken kılan, Dünya'nın yörünge hareketi; yıldızlara çok uzakta, bunu umursamazlar. Gerçi yörünge boyunca, yakın yıldızların konumunda bir miktar açıl kayma ('paralaks') olur. Ama, özellikle uzak yıldızlar, yalnızca Dünya'nın dönme hareketi nedeniyle hareket ediyor görünürler. Gökküreye yapışık gibidirler, onunla birlikte dönerler. Doğudan batıya doğru hep. Hem de hep, ekvatora paralel. Basit bir hareket düzeni bu, iyi bir 'tik tak.' Özellikle de, eğer Dünya'nın dönme

hızı sabitse... Tanımlayalım o zaman: Bir yıldızın gökküre boylamımızdan ardışık iki geçişi arasındaki süre bir 'gerçek yıldız günü'dür. 'Gerçek', çünkü yalancısı da var, gökbilimciler onu kullanır. Yıldızların bu ritminde, Güneş'in o değişken gecikmesi yok: Sabit bir gün, iyi. O halde; yıldızlar gökküre boylamından, Güneş'e göre her seferinde, ortalama 1° erken geçer. Günde yaklaşık... Ya da zaman olarak; 1 yıldız günü 1 güneş gününden, bu 1°'nin zaman eşdeğeri, $(1/360) \times 24 \times 60 = 4$ dakika daha kısadır. Bir yarışın her etabında geciken koşucu, giderek gerilerde kalır. Güneş'in geri plandaki sabit yıldızlara göre konumu, yıl boyunca bu yüzden değişip, farklı takımyıldızların üstüne düşer. O halde, bir başka tür, 'ortalama yıldız yılı': Güneş'in gökküredeki konumunun geri plandaki yıldızlara göre aynı konumdan ardışık iki geçişi arasındaki süre... Peki: Dakika, saat, saniye?...

Tamam; gün 24 saat, her saat 60 dakika, her dakika 60 saniye. Sanki elimizdeki gün değil, bir daireymiş de, bölüp duruyormuşuz gibi: Ama hangi günü tercih etmeli?... Güneş günü olacak herhalde. Çünkü Güneş bize daha yakın, sıcak. Yaşam döngümüz ona bağlı, gece gündüz. Yıldızlara ise; ara sıra bakıyoruz, keyfeke der, o kadar. Baksanıza, geniş yapraklı bitkilerden bazıları, gün boyunca yapraklarını döndürerek, Güneş'i izliyor. Lahanadan farklı olacak değiliz herhalde, geri kalacak... Tamam, güneş günü: Ama nasıl bulacağım bunun ortalamasını? Ki mesela 86,400'üne eşitlediğime bir saniye diyeyim... Bir birim lazım bana; çünkü diyebileyim; "bakın, bu kadar zaman sonra şurada buluşalım..." Tanımlamak yetmiyor; ölçmek lazım. Nasıl ölçerim, bu tanımlama göre saniyeyi; ortalama Güneş gününde 86,400 tanesi bulunan... Ölçmek de yetmiyor; bir kopyasını yapıp cebime koymalıyım, ki gerektiğinde kullanabileyim. Ya da bir başka yerde gördüğümde, "hah işte bu 1 saniyeydi" diye tanyabileyim.

Diyelim, Ankara civarında bir konumda, kışın ortasındayız. Her basılısa, sabit periyotla salınan bir sarkaç yaptık. Bulunduğumuz konumda yerküreye teğet olan düzlem, ufuk düzlemimizdir. Güneş ekliptiği dolanırken, ekvator düzleminden iki kez geçer. Kuzey yarımküreye tırmanırken geçtiği nokta, ilkbahar gündönümü noktasıdır. Bu günde ufuk düzlemimizin doğusundan doğup, tam batısından batar. İzleyen günlerde, Güneş ekliptiğin kuzey yarısında. Ufkumuzun tam doğusu yerine, biraz kuzeyinden doğar. En kuzeyinden doğduğu gün, yaz dönencesidir. Doğma noktası bundan sonra, doğuya geri kaymaya başlar. Tekrar tam doğudan doğduğu gün, sonbahar gündönümüdür. Güneş yine ekvator düzleminden geçip, bu kez güney yarımküreye inmektedir. İzleyen günlerde, doğma noktası doğunun güneyine kayar. En güneyinden doğduğu gün, kış dönencesidir. Doğma noktası bundan sonra, tekrar

Not Defteri

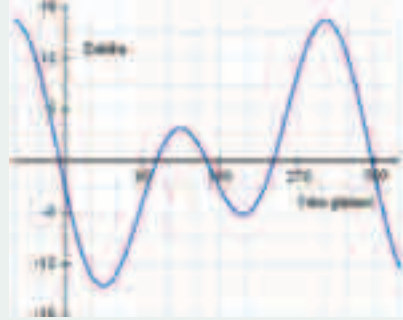
doğuya doğru geri kaymaya başlar. Tekrar tam doğudan doğduğu gün, yeniden ilkbahar gündönümüdür. Güneş'in ekliptik üzerindeki bir noktadan ardışık iki geçişi arasındaki süre, bir 'tropik yıl' tamamlanmıştır. Başlangıç noktası ilkbahar gündönümü olduğundan, bu tropik yıl, bir 'ilkbahar gündönümü yılı'dır. İlkbahar gündönümünün sabahını belirleyip, öğle vaktini bekledik ve Güneş tam gökküre boylamımızdan geçerken, sarkacımızı sallayarak, salınımlarını saymaya başladık. Ta ki Güneş bu döngüyü tamamlayıncaya kadar...

Tabii Güneş, sarkacı sallamaya başladığımız ve durdurduğumuz ardışık iki ilkbahar gündönümünün sabahlarında doğarken, tam da ilkbahar gündönümü noktasında olmak zorunda değildir. Bunu doğmadan biraz önce veya doğduktan sonra da yapmış olabilir. Ama, doğduğu noktanın ufuk düzlemimizin doğu yönüyle yaptığı günlük açılardan hareketle, ilkbahar gündönümü noktasından ilk ve ikinci kez tam olarak, kaç sarkaç salınımı öncesi veya sonrasında geçmiş olduğunu kestirebiliriz. Bu bize yılımızdaki gün sayısını kesirli verir. Diyelim 365,2424... Gün sayısını kesirli olması sorun değil; bilinen yıl tanımlarının hiçbirisinde tam sayıda gün yoktur zaten. Dolayısıyla; saydığımız salınımların, bu kesirli güne karşılık geleni de dahil olmak üzere toplamını, yılımızdaki gün sayısına bölersek, 'ilkbahar gündönümü yılı'nın 'ortalama güneş günü' uzunluğunu, sarkacımızın salınım periyodu cinsinden bulmuş oluruz. Diyelim 86.400... Olmadı: Sarkacın uzunluğunu, denklemden, ona göre ayarlarız.

Sonra, bu sarkaçla çalışan bir saat yapmış olalım. Şöyle ki; 00:00'la başlatıp çalıştırdığımızda, sarkacın 86.400'üncü salınımlarında 24:00'ı gösteriyor olsun. Gerçi biz saatlerimizi, gece yarısını 00:00'la gösterecek şekilde ayarlarız, ama burası önemli değil. Bu saati bir öğle vakti kurup çalıştırdık diyelim. Eğer o gün ortalama güneş gününden kısaysa, saat ertesi günün öğle vakti geldiğinde, henüz 24:00'a varmamıştır. Yani, o 'görünür güneş günü'ne göre geri kalmış olur. Saatin yavaş çalıştığı da söylenebilir. Tabii, bir sonraki gün uzamışsa, daha fazla; kısalmışsa, daha az geri kalır. Yok eğer o gün 'ortalama güneş günü'nden uzun idiye, bu sefer de ertesi günün öğle vakti geldiğinde, 24:00'ı aşmış olur. Yani o güneş gününe göre ileri gitmiştir. Saatin hızlı çalıştığı da söylenebilir. Tabii; bir sonraki gün uzamışsa, daha az, kısalmışsa daha fazla ileri gider. Ama ortalama Güneş gününü yakalamışsak eğer, saatimiz o günü sadakatle izler. Ki, her tropik yılda bunlardan 4 tane vardır. Saatin gösterdiği zamanla, 'görünür güneş zamanı' arasındaki farkın yıl boyunca seyrine 'Zamanın Denklemi' denir. Yandaki şekilde veriliyor.

Gerçi, önce "Sümer, Babil" dedik, sonra da gidip sarkaçlı saat imal ettik. Halbuki ilk mekanik saat, 1335 yılında Milan'da keşfedildi. Sarkaçlı saatin keşfi ise, Galileo'ya (1564-1642) aitti. Ama hiç kimse, elinde bir ip ve ucunda taşla, zamanın yetkililerinin karşısına çıkıp, "ben zamanı böyle, taşı sallayarak iyi ölçerim" dese, inandırıcı olamazdı. O da, ne kadar dil döktüyse, kent yetkililerini bu fikrin çalışacağına ikna

edemedi. Dolayısıyla, ilk sarkaçlı saati Hollandalı Christian Huygens (1629-1695) 1656 yılında yaptı. Başlangıçta 1 dakika olan günlük hata payını, daha sonraki iyileştirmelerle, 10 saniyenin altına (10^{-4}) indirmeyi de başardı. Buna karşın, zamanı ölçmek için 18. Yüzyıl'a kadar, güneş ve su saatleri kullanıldı. Neyse, biz dönelim Sümer'e, Eski Mısır'a: Onlar ne yapmış duyarlı zaman ölçümü için? Gökcisimlerini izlemişler. Nasıl? Ufuk düzleminden dikine yukarıya doğru bakıyorum diyelim: Belli bir yıldız, boylamdan geçtiğinde saat 00:00, tekrar geçtiğinde 24:00. Bu kadar basit. Bir 'gerçek yıldız günü' oluyor bu. 'Güneş günü'nden kısa, saniyesi de öyle, ama olsun. Tanıdık bir yıldız olması lazım tabii, hep aynı yıldız... Boynumuz ağrıyacak, ama fena bir yöntem değil. Çünkü yıldız sabit hızla, 24 saatte 360° döndüğüne göre, saatte 15° döner. Yani, gökküre boylamından geçtikten iki saat sonra, boylamımla batıya doğru yaptığı aç $2 \times 15^\circ$, t saat sonra da $tx15^\circ$. Batıya doğru açı tabii yıldız batıya doğru gidiyor... O zaman ben bu açıyı 'saat'le ölçerim: '1 saatlik açı'= 15° . Buna 'saat açısı' diyelim: $15^\circ=1$ saat açısı.' İletkinin üzerinde, her 15° 'ye bir çizgi işaretlerim. Araları 1'er saat olur. Hatta onların her birini 60'ar eşit parçaya bölerim, dakika olur. 60'ara da böl, sa-



niye... Bu iletkiyle, o tanıdık yıldızın gökküre boylamımla yaptığı açıyı, batıya doğru ölçtüğümde; 3 tane büyük, 20 tane küçük, 30 da minik çizgi saydıysam... Saat 03:20'30"... Yıldız batı yerine doğudaysa, yani boylamı henüz geçmemişse; o zaman da açıyı doğuya doğru ölçüp, 360° 'tan çıkartırım. Pardon; saat açısını doğuya doğru ölçüp, 24° 'ten çıkartırım. Gece havanın açık olması gerekiyor ama, yıldızları görmezsem yapamam. Gündüzleri de görünmüyorlar zaten, Güneş yüzünden. Vazgeçip Güneş'i izlesem, o da gece yok. Hem, en iyisi yıldızlar; pırıl pırıl noktalar, temiz geçiş yapıyorlar boylamdan... O halde puslu gecelerin az olması lazım... E, en eski orijinal medeniyetler de öyle yerlerde gelişmiş zaten; pırıl pırıl gökyüzünün olduğu yerlerde. Sümer, Mısır, Hint, Çin. Kutuplarda gelişecek hali yoktu herhalde...

Güzel; zamanı belirlemek, zaman aralığı ölçmek, yıldız gözlemlemeye eşdeğer oluyor; 'izlemek' eşittir 'gözlemek.' Ya da, zaman ölçmek, açı ölçmeye eşdeğer. Kadranlı saatlerde de öyle ya. Ama bir sorun var: O belli yıldızı her gece göremem, hem doğup batıyor; hem de ufuk düzlemimin üstüne gündüz çıkmışsa Güneş'in parlaklığında kayboluyor... O halde bir başkası, onu göremeyince bir başkası... Ama, eğer saat 00:00'ı birinin geçişine ayarlamışsam, diğeri

geçtiğinde saat ne olacak? Aralarındaki boylam farklarını önceden belirlemiş olmak gerekir. Birini diğerlerinden ayırdetmek için de; civarındaki yıldızların görece konumlarını, ait oldukları takımyıldızları vs bilmek... Gökyüzünün bir haritası lazım, yıldızların aralarındaki boylam açılarıyla birlikte; ki birini gördüğümüzde, başvuru yıldızının o anda nerede olması gerektiğini hesaplayıp, zamanı bulalım. Bu bilgiler insanlığın ortak bilgi hazinesinde var. Geçmiş gözlemlere dayanarak yıldız tabloları ('almanac') hazırlanmış. Ama, amatörler tarafından daha çok, zamanı belirlemek için değil, tam tersine; zamana bakıp hangi yıldızın boylam geçişi yapacağını önceden öğrenip, yıldızların kendilerini gözlemlemek için kullanılıyorlar. Gökbilimciler ise zamanı izlemek için, ilkbahar gündönümü noktasını başvuru noktası olarak kullanırlar. Çünkü, ekvator ve ekliptik düzlemlerin kesişme noktası olduğundan, gökkürede yaklaşık sabit olup, o da bir yıldız gibi davranır. Gerçi hayali, 'yalancı' bir noktadır, doğrudan gözlemlenemez. Ama gökküre koordinatları, yani 'sağ açıklık' ve 'dik açıklık' bilindiğinden, görünürdeki tanıdık yıldızlara bakıp, nerede olması gerektiği hesaplanabilir. Dolayısıyla, gökbilimciler için zaman; "ilkbahar gündönümünün saat açısı"dır ve gün, öğlede başlar. Buna 'yıldız zamanı' ('sidereal time') denir ve zaman ölçmenin çok duyarlı bir yöntemidir. Ne kadar duyarlı?...

Salise kolu olan iyi bir mekanik saat, saniyede 60 kez salınır. Her salınımlarında, aynı yönde $0,01^\circ$ 'lik hata yapsa, saniyeyi $0,6$ hatayla ölçer. Dolayısıyla, saniyenin ölçümündeki hata payını azaltmanın yolu; salınımların bir yandan sayısını çoğaltmak, diğer yandan kararlılığını arttırıp, her birindeki hata oranını azaltmaktan geçer. 1928 yılına gelinip de, uygun biçimde imal edilmiş kuartz kristallerinin 32.000 Hz 'lik salınımlarına dayalı ilk saat yapıldığında, periyodundaki belirsizlik 10^{-4} kadardı. Hata payı 20 yılda 1 saniyeye, yani saniyenin ölçüm duyarlılığı milyarda birkaç (3×10^{-9}) ulaştı.

Eski Babilliler, belki nedenlerini bilmemekle beraber, zamanın denklemini biliyorlardı. Zamanı ölçmek için, gündüzleri güneş, geceleri su saatleri kullanıyor, fakat bu saatlerin gösterdiği zamanı, zamanın denkleminin yararlanıp düzelterek, 'ortalama Güneş zamanı'na ayarlıyorlardı. Dolayısıyla, Güneş'in görünür hareketini, gözlemlerine dayalı geometri hesaplamalarıyla, zamanı diğer türlü ölçebildiklerinin çok daha ötesinde büyük bir duyarlılıkla izleyebilmişlerdi. O kadar ki, bu duyarlılık düzeyi, 1950'li yıllarda sezyum saati geliştirilip de saniye 10^{-14} hata payıyla ölçülebilir hale gelinceye kadar aşılamadı...

Düzelte: Geçen sayımızdaki 'İznikli Hipparkos' başlıklı yazının 1. sayfa 2. sütunundaki ilk paragrafın sondan 5. cümlesinde yer alan: "bu; Güneş tutulmasının aksine her ay düzenli olarak gözlemlenmediği bir durum ve 'ayın evreleri'ni oluşturuyor." ifadesi; "bu, Güneş tutulmasının aksine yaygın olarak gözlenebilen, fakat her ikisi de, her ay düzenli olarak gözlemlenmediği ve Ay'ın Güneş tarafından aydınlatılan kısmının farklı açılardan görüntülerinden oluşan 'ayın evreleri'nden farklı bir durum." şeklinde olacaktı. Hatadan dolayı, dergimizden ve okurlarımızdan çok özür dilerim.