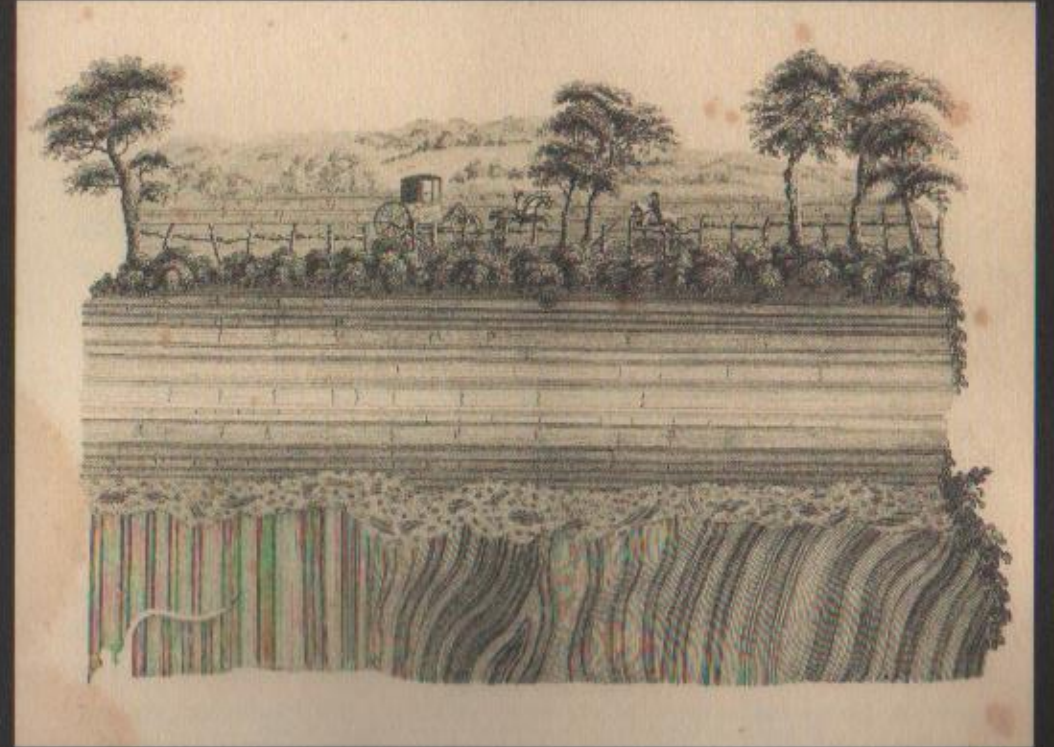


Jeolojik Takvim

A. M. CELÂL ŞENGÖR



*Jedburgh'da Hutton'ün bildiği teyimsizlik,
James Hutton, 1795, Theory of the Earth, c. 1)*

Cogito

Üç aylık düşünce dergisi

Sayı: 22 Bahar, 2000

Ek

Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık Ticaret ve Sanayi A.Ş. adına sahibi: Selçuk Altun

Editor: Ayşe Erdem

Tasarım
Tamer Kayaş

Baskı: Ofset Yapımevi

© Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık Ticaret ve Sanayi A.Ş. 2000

Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık Ticaret ve Sanayi A.Ş.

İstiklal Caddesi, No.285 Beyoğlu 80050 İstanbul

Tel.: (0 212) 252 47 00 (pbx) Faks: (0 212) 293 07 23

<http://www.ykykultur.com.tr>

<http://www.shop.superonline.com/yky>

E-posta: ykkultur@ykykultur.com.tr

Cogito'nun Jeolojik Takvim Eki 3.100 adet basılmıştır.

Cogito'da yayımlanan tüm yazıların sorumluluğu yazarına aittir.

Dergide yer alan yazılar kaynak gösterilmek kaydıyla yayımlanabilir.

Yayın Kurulu, dergiye gönderilen yazıları yayımlayıp yayımlamamakta serbesttir.

Gönderilen yazılar tade edilmez.

Jeolojik Takvim'

A. M. CELÂL ŞENGÖR

Georges Cuvier'nin anısına.

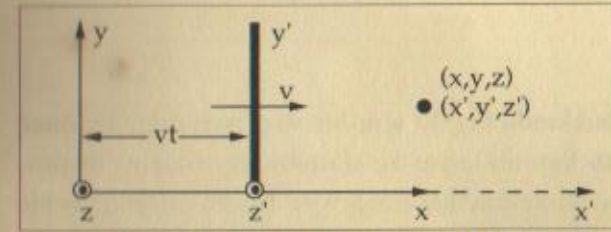
Giriş

Benden jeolojik takvim hakkında *Cogito* için bir yazı istendiğinde, önce okuyucuma jeoloji ve takvim kavramlarını açıklamam gerektiğini düşündüm. Jeoloji kolay, Yunanca iki kelimedenden oluşuyor: Tercih ettiğiniz şekle göre γῆ (*ge*) veya Homeros'un ki gibi şâirane bir ifâdeyle γαῖα (*gaita*), yani yer, dünya, kara, toprak, (aynı zamanda Uranos'un eşi olan yer tanrıçası) ve λόγος (*logos*), lâf, söylem veya bilim. *Kısacası yerbilim*. Jeoloji kelimesi tâ 17. yüzyılda başlamış kullanılmaya. Bildiğimiz en eski kayıt 1657 tarihli: M. P. Escholt'un *Geologia Norvegica*'sından.² Ama ona bugünkü anlamını *Jeolojinin İlkeleri (Principles of Geology)* adlı üç ciltlik ölümsüz eserinde (1830-1833)³ büyük İskoç jeoloğu Sir Charles Lyell (1797-1875) vermiş. Sir Charles orada jeolojii gerçekten tüm yeryuvarının bilimi diye almış: Yerin içi, dışı, atmosferi, okyanusları, geçmişi, yer üstünde yaşamın tarihi, hepsi jeolojinin konuları. Daha sonra, ondokuzuncu yüzyılın ilk yarısında, önce mineraloji (mineralebilim) jeolojiden bağımsız kürsüsüne kavuşmuş üniversitelerde, sonra, paleontoloji (eski canlılar bilimi), daha sonra da, yirminci yüzyılda jeofizik ve nihayet jeokimya ayrılmışlar. Fakat bunun faydadan çok zararı görülünce bu sefer yer bilimlerini adı altında tekrar hepsi biraraya toplanmaya başladı.⁴ *Bu yazıda jeoloji deyince Sir Charles'ın anladığı anlamda tüm yerbilimleri kastedilmektedir.*

Takvim? Takvim nedir diye düşünürken çok hoş bir betimleme geldi aklıma: *Takvim zamanın haritasıdır*. Takvim uçsuz bucaksız zaman boşluğunda bize yolumuzu bulabilmemiz için nirengi noktaları sağlar. Epey düşün-

dükten sonra bulduğum bu betimlemeye sevinmeden postadan çıkan bir kitap kataloğunda E. G. Richards'ın geçen yıl yayımlanan *Zamanı Haritalamak: Takvim ve Tarihi (Mapping Time: The Calendar and its History*⁵) başlıklı kitabını görmüeyim mi!

Jeoloji ve takvim tanımlandıktan sonra geriye bir tek *zaman* kalıyor – o da takvim tanımını anlamlı kılabilmek için. Zaman nedir? Bu soru çok uzun bir süreden beri filozofların, fizikçilerin ve ilâhiyatçıların kafasını karıştırmıştır.⁶ Ancak takvim zamanın haritası olarak tanımlanabildiğine göre, zamanın da diğer boyutlar gibi haritalanmağa, yani işaretlenmeğe ve ölçülmeğe gelir bir tarafı olması lâzım. Bunun gerçekten böyle olduğunu en iyi Einstein'ın görelilik kuramı ortaya çıktıktan sonra anladık. Bu nasıl oldu?



Şekil 1. Bir x, y, z koordinat sistemi içerisinde kalın siyah çizgi ile işaretlenmiş olan cismin bu sisteme göre sabit duran bir (x,y,z) noktasına doğru v hızı ile hareketi. t zaman sonra cismin edindiği koordinatlar üslü harflerle gösterilmiştir. Nokta sabit durduğu için onun üslü ve üssüz koordinatları aslında aynı değerlere sahiptir (Feynman'ın 7. notta belirtilen kitabından, şekil 15-1).

En basitinden Şekil 1'deki gibi bir koordinat sisteminde hareket eden bir nesneyi ele alalım. Sistemin koordinatları x, y ve z, nesnenin koordinatları da x', y' ve z' olsun. Şimde nesne x- eksenine paralel olarak v hızıyla hareket etsin. t zaman sonra, nesnenin bulunduğu nokta vt kadar x ekseninde hareket etmiş olur. Nesnenin başlangıçta x = sıfırda durduğunu varsayarak nesnenin yaklaştığı x,y,z noktasından bakıldığında yeni koordinatlarımız şöyle olur:

$$\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned}$$

Bu eşitlikler ışık hızında giden şeyler için işe yaramamaktadır (çünkü Newton fiziği gerçeği tam olarak betimleyememektedir). Hollandalı fizikçi Hendrik A. Lorentz (1853-1928) yukarıdaki eşitlikler yerine aşağıdaki eşitlikleri teklif etmiştir (aslında Maxwell'in elektromanyetizma ile ilgili eşitliklerinde kullanılmak üzere):

$$\begin{aligned} x' &= x - vt/\sqrt{1 - v^2/c^2} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= (t - vx/c^2)/\sqrt{1 - v^2/c^2} \end{aligned}$$

Burada en son eşitliğe dikkat ediniz. Nesnenin t zaman sonra bulunduğu t' koordinatı basit bir zaman ögesi değil, aksine zamanla (t) mekânın (hem nesnenin yeri x, hızı v, hem de ışığın hızı olan c) bir nevi karışımı olan melez bir öge olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani içinde biraz zaman, biraz da mekân vardır. Bu melezleşmenin nasıl birşey olduğunu benzer bir işlemi yaparak, meselâ üslü sistemin üssüz sisteme göre, yani nesnemizin içinde hareket ettiği uzayın koordinat sistemine göre, z eksenine etrafında bir Θ açısı kadar döndüğünü farzederek, kafamızda canlandırabiliriz. Böyle bir dönme sisteminde mekân koordinatları birbirleriyle şu ilişkilere sahiptirler:

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \Theta + y \sin \Theta \\ y' &= y \cos \Theta - x \sin \Theta \\ z' &= z \end{aligned}$$

Bu basit dönme işlemi sonunda üslü koordinatlar üssüz koordinatların bir nevi *karışımı* olan melez koordinatlar haline gelmişlerdir. Nasıl ki Lorentz dönüşümünde zaman koordinatı, zaman ve mekân koordinatlarının bir *karışımı* haline gelmektedir.

Geçen yüzyılın dâhi fizikçisi Richard P. Feynman (1918-1988) yukarıdaki eşitliklerde karşımıza çıkan zaman boyutunu anlamamıza şöyle yardımcı oluyor: Üç boyutlu bir nesneye bir açıdan baktığımızı düşünün. Baktığımız açıdan onun bir derinliği bir de genişliği vardır. Ama cisim biraz döndürdüğünüzü veya kendinizin biraz hareket ettiğini farzedin. Deminki açıdan görülen derinlik ve genişlik değişmiştir. Bu hareketi birkaç kez yaparak birkaç derinlik-genişlik çifti elde edebilirsiniz. Ama bilirsiniz ki bu gördüklerinizin hiçbirisi cismin tamamı değildir. Cismin tamamını bakış açılarınızı bilerek hesap edebilirsiniz. Ama ya dönemezseniz, hareket edemezseniz? O zaman görebildiğiniz açıdan görünen "zahiri" derinlik ve genişlik "gerçek" derinlik ve genişliğin, yani iki boyutun *karışımıdır*.

Biz hareket ettikçe, görüldüğü gibi gördüğümüz derinlik ve genişliğe aslında bir de zaman elemanı karışmaktadır. Yalnız üç boyutta değil, aynı zamanda belli bir de zaman süresinde var olan nesnelerin içinde var oldukları dünya bir *mekân-zamandır*; ne yalnızca mekân, ne de yalnızca zaman.⁷ İşte takvim, bu mekân-zamanın zaman koordinatlarının yerleştirilmesi için uy-

durulmuş bir kolaylıktır. Olağan bir topoğrafya haritasını 3 boyutlu bir gerçeğin iki boyutta resmedilmesi olarak düşünürsek, herhangi bir bölgenin zaman içinde geçirdiği jeolojik değişimi de (örneğin, Büyük Menderes deltasının uzayarak Miletos limanını kapatması) n sayıda eski topoğrafya haritasıyla betimlemişsek, bu haritaların üst üste konulmasıyla oluşacak üç boyutlu cismin yüksekliği, yani n çentikli kenarı da zaman boyutunu gösterir.

Zaman Koordinatları

Mekân ve zaman koordinatları

Bir haritada resmettiğimiz herhangi bir nesnenin, veya şeklin konumunu nasıl belirliyoruz? En basitinden bir koordinat takımı kabul ederek. MÖ 2. yüzyılda büyük coğrafyacı Eratosthenes tarafından icat edilmiş olan bu yöntem, bir yüzey üzerinde birbirine dik çizilmiş ve derecelendirilmiş iki eksen yardımıyla yüzey üzerindeki herşeyin konumunu belirlememize yarar (Descartes, Eratosthenes'ten 18 yüzyıl sonra bunu aritmetiğe uygulayarak analitik geometriyi icat etti ve matematikte bir devrim yaptı!). Bunu yapmak için önce dünyanın çevresini ölçmek mutlaka gerekmez bile faydalıdır (yoksa yapılan çeşitli haritaları birbirine uyduramayız). Bunu da ilk kez Eratosthenes yapmıştır. Dünyayı tam bir küre kabul edersek meridiyenlerle ekvator arasında herhangi bir uzunluk farkı bahis konusu olamaz. Eratosthenes Rodos meridiyeni üzerinde farzettığı Siyene ile İskenderiye arasındaki bir yayın uzunluğunu ölçerek bir meridiyen uzunluğunu 250.000 stadia, yani 39.375.000 metre bulmuştur ki bu modern değer olan 40.000.000 metreden o kadar da farklı değildir.⁸ Bulunan uzunluk istenilen herhangi bir ölçüde ifade edilebilir, zira bunu gidip yerinde ölçme imkânı vardır. Elinizdeki metre çubuğu ile, arazide başka hiçbir işaret olmasa bile ideal olarak herhangi bir uzunluğu ölçebilirsiniz.

Tabii bu yalnızca ideal olarak böyledir. Kuzey yarımkürede başka hiçbir dış başvuru noktası olmadan elinizde metre çubuğu bir uzunluk ölçmeğe başlarsanız, bir müddet sonra dünyanın dönüşünün yarattığı Coriolis kuvvetinden ötürü ilerledikçe sağa döndüğünüzü farkedersiniz (güney yarımkürede bunun tersi olur). Buna engel olmak için ise yönünüzü gösterecek dış nirengilere gereksinim vardır. Gündüz vakti güneşi kullanabilirsiniz. Ama Güneş'in de her gün aynı yönü göstermediğini farkedersiniz kısa zamanda. Geceleri kuzey yarımkürede en emin yol gösterici kutup yıldızıdır, ama bunda da 3,5 derecelik bir hatâ payı vardır. Güney yarımkürede insan

takımyıldızların konumuna bağlıdır (çünkü orada kutup yıldızının bir güney karşılığı yoktur) ama bunların gösterdikleri yönü bilmek için saatin kaç olduğunu bilmek gerekir. Kuzey yarımkürede de takımyıldızlara göre yön tayin edilmek istenirse aynı gereksinim vardır. Bu kabaca Ay'ın gökyüzündeki durumuyla elde edilebilir ama bu da yalnızca kabaca. Görüldüğü gibi, gökyüzündeki kılavuzlarımızın bildirdikleri "yer" konumu da bir "zaman" konumunun bilinmesini gerektiriyor. Hele mahalli denizcilerin genellikle yön gösterici olarak kullandıkları rüzgâr istikametleri çok daha fazla zamana bağlıdır. Belirli mevsimlerde belirli istikametlerden egemen rüzgârlar estikleri gibi, belirli yerlerde günün belirli saatlerinin bile egemen rüzgâr yönleri vardır (İzmir'in Meltemi gibi). Boylamlar ise yalnızca saatin yardımıyla ölçülebilir. Yeni uydu jeodezisi teknikleri tamamen lazer ışınlarının seyahat süresinin uzunluğa çevirilmesi esasına dayanarak çalışır.

Demek ki iki boyutlu bir haritaya üç boyutlu yeryüzünü geçirmeğe çalışırken gereksinim duyduğumuz koordinat sistemi bile yalnızca bir uzunluk boyutu olarak düşünülemez. O koordinat sisteminin içine giren uzunluk boyutlarının bulunmasında mutlaka bir zaman boyutu işe karışır. Aynı şekilde, takvimin zaman koordinatlarını derecelerken de mutlaka mekân boyutları işe karışır.

İki tür zaman koordinatı

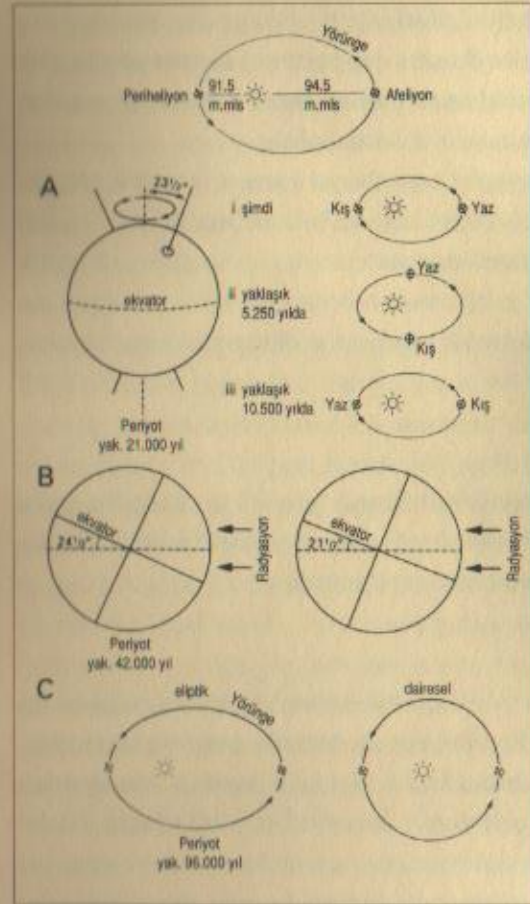
Geleneksel olarak zamanın derecelendirilmesi için iki tip koordinat sistemi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi devri veya döngüsel (periyodik) sistem, ikincisi de çizgisel veya doğrusal (lineer) sistemdir.

Döngüsel zaman

Döngüsel sistem, zaman içinde (ideal olarak) aynen tekrar eden olaylara dayanır. Bunların en iyi bilineni hiç kuşkusuz gündüz-gece döngüsüdür. Sonra Ay'ın fazları (ve kadınların buna benzediği için "aybaşı" da denilen âdet döngüleri) insanın dikkatini çekmiştir. İncecik bir hilâl olarak başlayan Ay, ilk dördün, dolunay ve son dördünden geçerek kaybolur ve yeni bir hilâl ile ikinci aya başlar. 29,5 gün süren Ay döngüsü hemen tüm ilkel, tarımcı kavimlerde takvime temel yapılmıştır. Ancak tarıma geçilmesi (yaklaşık 10.000 yıl ile 8000 yıl önce arası⁹) ve tarımın güneş yılına bağlı olan mevsimler tarafından yönlendirilmesi, ay takvimini çiftçi kavimler için kullanışsız kılmıştır, çünkü 354 gün olan ay yılı 365¹/₄ gün olan güneş yılı-

nın her yıl 11 gün gerisinde kalır (meselâ bu yüzden ülkemizde kamerî yılın bir ayı olan Ramazan ayı, şemsi yıla nazaran her yıl 11 gün daha erken gelir ve her 36 yılda bir devreder). Bu nedenle hem Mısır'da hem de Mezopotamya'da MÖ 3. binyıldan itibaren kamerî takvimle şemsi takvimi birbirine uydurma çabaları başlamıştır. Bu çabalar Papa 13. Gregorius'un 4 Ekim 1582'de ilân ettiği düzenlemeyle bugünkü şeklini almıştır.

Fakat Güneş sistemi içerisinde Dünya'dan gözlenebilecek devrî olaylar yalnızca Dünya'nın kendi etrafında dönüşü, Ay'ın Dünya etrafında dönüşü ve dünya-Ay sisteminin Güneş etrafında dönüşü değildir. Hem Dünyanın



Şekil 2. Dünyanın periyodik olarak değişen eksenel ve yörüngesel parametreleri: A. Eksenin yalpalama hareketi ve bunun sonucu olan gündöndümlerinin devinimi; B. Eksenin ekliptik düzlemi ile yaptığı açının periyodik değişimi; C. Dünyanın Güneş çevresindeki yörüngesinin elipsliliğinin (eksantrisitesinin) değişimi (not 22'de işaret edilen eserden: s. 63, şekil 3.8).

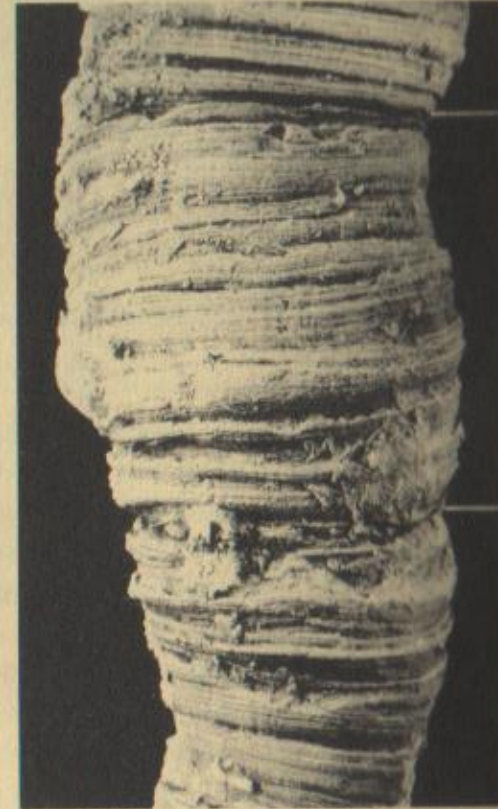
Güneş etrafındaki yörüngesi, hem de Dünya'nın dönme ekseninin yörünge düzlemine (ekliptik) eğikliği zaman içinde periyodik değişime tâbidir. Şekil 2 bu değişiklikleri sergilemektedir. Şekil 2A dönme ekseninin yalpalamasını (eski tâbirle takaddüm-i itidâleyn=presesyon) göstermektedir. Bu yalpalama sonucu ilkbahar noktası her yıl 50 saniye kadar geri kayar. Hem ılımlar (itidâller=gün-gece eşitlikleri=ekinokslar: 21 Mart ve 23 Eylül), hem de gündönümleri (tahavvül-i şemsel=solstisler: 21 Haziran ve 21 Aralık) Şekil 2A'da görüldüğü gibi her 21.000 yılda bir devir tamamlarlar ki buna "Büyük Yıl" da denir. Eski kültürler "Büyük Yıl" kavramına 5000 yıldan 36.000 yıla kadar değişen, astronomik olarak kabulü imkânsız değerler biçmişlerdir. Fakat bu astronomik olmayan "Büyük Yıllar" kısmen efsâne-

vıydı ve muhtemelen atmosfer olaylarıyla ilgiliydi. Örneğin Babillilerin her büyük yılı gûya bir sel âfetiyle son buluyordu. Bunlar insanın toplu belleğinde yer etmiş çok eski Buzul Çağı olaylarının izleri olabilir mi? Bu henüz üzerinde çok az durulmuş, incelenmeğe değer bir konudur.¹⁰ Dünya yörüngesinin periyodik olarak şekil değiştirmesi ise 96.000 ile 400.000 yıllık periyotlarla gerçekleşir (Şekil 2C). Eksenin ekliptik normaline olan eğimi de her 42.000 yılda bir 21°39'den 24°36'ye kadar değişir (Şekil 2B).

Tüm bu periyodik olayların geçmişte izi kalıyor mu? Kalmadığı takdirde bunları bilmenin ne faydası olabilir diye sormak geliyor insanın aklına. İzler olmadan, koordinatlarımızı nasıl işaretleyeceğiz? Bu önemli sorunun cevabını verecek incelemelerimize en küçük doğal birimimiz olan günle başlayalım:

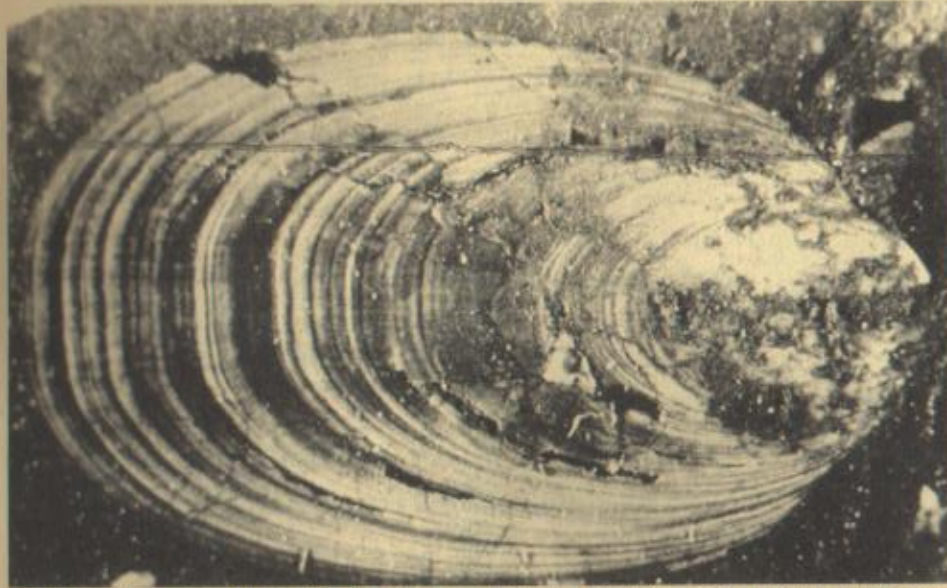
Günlük izler

Günümüzde günü kaydeden, yani arkasında bir günlük bir zaman süresinin kalıcı bir izini bırakan olaylar var mıdır? Zoologlar, mercanların her gün ince bir kireç tabakası çöktüklerini gözlemişlerdir. Daha da önemlisi, mevsimsel değişiklikler günlük çökel halkalarının kalınlıklarının değişmesine neden oldukları için, mercan halkalarında yalnızca günlük değil, mevsimlik, dolayısıyla da yıllık aralıklar tesbit etmek mümkün olmuştur. 1960 civarında A. B. D.'de Cornell Üniversitesi profesörlerinden John Wells bu gözlemi fosil mercanlarda da yapıp yapamayacağını merak etmiştir. Önce 400 ile 360 milyon yıl öncesi aralığından (Şekil 3), sonra da 320-290 milyon yıl öncesi aralığından mercanları inceliyen Wells, birincilerde 400, ikinciler-



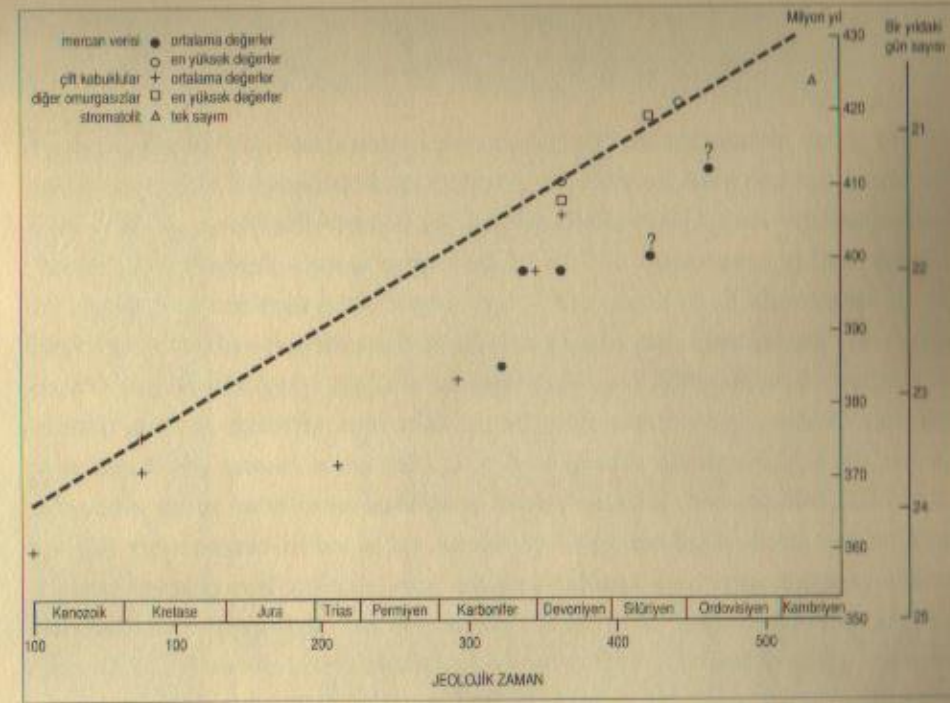
Şekil 3. Geniş bir yıllık bant oluşturmuş bir Devon Devri (kabaca 400-350 milyon yıl öncesi arası) mercanı. Fotoğraftaki iki ince beyaz işaret çizgisi bu bantı göstermektedir. Daha ince bantlar (=çizgiler) günlük büyüme bantlarıdır (11. nottaki eser, şekil 13.13'den).

de de 387 gün halkası olduğunu hayretle görmüştür. Aslında bu Dünya-Ay ikilisinin arasındaki gel-git güçleri nedeniyle kuramsal olarak beklenen bir sonuçtu. Jeofizikçiler Dünya'nın kendi etrafındaki dönüşünün her 100.000 yılda 2 saniye kadar yavaşladığını biliyorlardı. Bunu 535 milyon yıl öncesi-ne uzatarsak, Kambriyen Devri'nin başında bir günün yalnızca 21 saatten oluştuğunu görürüz. Demek ki o zaman bir yıl 420 günden oluşuyordu.



Şekil 4. *Lingula* cinsinden bir lâmba kabuğu (brakiyopod) üzerindeki büyüme çizgileri. Burada da iki değişik ölçekte bant gelişimine dikkat ediniz. Geniş bantlar mevsimsel, çok ince olanlar gündüktür (Condrie ve Sloan'ın 1. notta gösterilen tarihsel jeoloji ders kitabından, şekil 1.28).

Daha sonra pek çok çift kabuklunun da günlük ve mevsimlik halkalar çöktükleri görüldü. Şekil 4 bir lâmba kabuğundan (brakiyopod) bir örnek göstermektedir. Bunların dışında alglerden oluşan stromatolitler ve diğer bazı omurgasızların da günlük ve mevsimlik halkalar oluşturdukları keşfedildi. Tüm bu hesaplarda organik sistemlerde her zaman görülen sıradışı bireylerden ve malzeme ve gözlem kalitesinden kaynaklanan yanılma paylarının önemli olabileceğini de unutmamak gerek. Meselâ Avustralya'daki Bitter Springs kayaç birimi içerisindeki stromatolitlere bakarak bu kayaç biriminin yaşı olan 810 milyon yıl önce bir yılda beklenenden daha az olarak 410 gün olduğu saptandı. Bütün bu tür verilere dayanarak Muller ve Stephanson 1975 yılında Şekil 5'teki eğriyi ürettiler¹¹ (verideki saçılmaya dikkat ediniz). Burada son 600 milyon yıl zarfında bir günün nasıl uzadığı görülmektedir.



Şekil 5. Muller ve Stephanson tarafından 1975 yılında oluşturulmuş bu grafik, mercanlar, stromatolitler, çift kabuklular ve diğer bazı omurgasız fosillerinden derlenen verilere göre yaklaşık son 600 milyon yılda bir günün giderek uzamasını gösteriyor. Çizilen uzama eğrisi aslında neredeyse tam bir düz çizgi olup yılda ortalama 2 milisaniye uzamayı göstermektedir (11, nottaki eser, şekil 13.14'den).

Haftalık izler

Bazı çökel istiflerinde koyu ve açık renkli ince tabakaların birbirlerini büyük bir intizam içinde izledikleri görülür. Kalınlıkları milimetre ölçeğinden onlarca santimetre ölçeğine kadar varabilen bu tabakaların pek çok çeşitleri, dolayısıyla da pek çok oluşum mekanizmaları vardır. Çökel yapılarına bakarak bunların bazılarının gel-git düzlüklerinde, gel-git olayları sonucu oluştuğu sanılmaktadır. Gel-git ürünü oldukları sanılan ritmik tabakalar iki değişik ölçekte laminayla (=ince katman) belirlenirler: ince olanlar gündelik erken cezir esnasında, her lamina üzerindeki ince kil örtü med ve cezir arasındaki durgun sularda çökeler. 10-14 lamina içeren kalın tabakaların iki haftalık gel-git döngüsünü temsil ettikleri sanılmaktadır. Bu tür gel-git kökenli olduğu düşünülen ritmik tabakalanma 2,5 milyar yıllık kayaçlarda dahî gözlenmiştir.

Yıllık izler

Yukarıda günlük izleri konuşurken, yıllık izlere de değinmek zorunda

kalmıştı. Jeolojik geçmişte yılların kaydını hem organik hem de inorganik mekanizmalar tutar. Bazan organik ve inorganik mekanizmalar birlikte bir kayıt oluştururlar.

Inorganik mekanizmalar: Yaygın buzullaşmanın olduğu bölgelerde görülen ritmik göl çökelleri kronoloji açısından ilk defa İsveç'te 20. yüzyıl başında Gerhard De Geer (1858-1943) tarafından değerlendirilmiştir.¹² Bu çökeller açık renkli, tane boyu 1/16 ile 1/256 mm arasında değişen ("silt boyu") bir alt katman ile daha koyu renkli, tane boyu 1/256 mm'den ufak olan ("kil boyu") bir üst katmandan oluşan tabaka çiftlerinden meydana gelir (Şekil 6). Her bir çiftin bir yıllık bir çökelmeye karşılık geldiği görülmüştür. Yazın, buzullar eriyince, göle hızla akan buzul sularının getirdiği aşınma ürünlerinden silt boylular hızla dibe çökerler. Kil ise uzun zaman çökmeden su içinde kalabildiğinden, kil tanelerinin çökmesi sonbahar ve kış dönemlerinde tekrar buzla kaplanan göl içerisinde sakın sakın devam eder (Çünkü Stokes yasasına göre ince kumlar ve killer için çökme hızı çökelen tanenin çapıyla ters orantılıdır). Bir sonraki yazda buzların erimesiyle yeni bir hızlı çökme dönemi başlar ve göl içine hızla çökelen yeni dönemin açık renkli siltleri bir önceki kışın koyu renkli killeri üzerine keskin bir dokanakla otururlar. Bu vetirenin yıllar boyu tekrarlanması, ritmik bir çökelmeye neden



Şekil 6. İsveç'te Stockholm yakınlarında onbin yıldan önceki bir buzul gölü içinde çökelmiş varvlar (Condie ve Sloan'ın 1. notta gösterilen tarihsel jeoloji ders kitabından şekil 1. 26)

olur. Bu çökellere de İsveççe döngüsel tekrarlanma anlamına gelen *varv* adı verilmiştir (eski İsveççe *hvarf*=katman, daire; *hvarfvig lera*=döngüsel katmanlı kil). Bazan soğuk iklimlerde doğrudan buzul erime suyu olmayarak akarsularla beslenen göllerde de varvlar görülmüştür. Meselâ Kuzey İsveç'te Ångermanland'da bu şekilde oluşmuş 7522 varv sayılmıştır. Buna rağmen varvların büyük çoğunluğu buzul erime suyunun ürünleridir.

Deniz suyundaki tuz iyonlaşım kil tanelerini kuşatarak (flokülasyon= paklanma) çökmelerini hızlandırdığından denizde çökme göllerdekine nazaran daha hızlı ve daha tekdüze olmakta, bu nedenle denizde varvlar oluşmamaktadır. Bazı göl sularında çözülmüş halde bulunan karbondiyoksit de bu şekilde varv oluşumuna engel olduğu bilinmektedir.

Tek tek varv çiftlerinin kalınlıkları (ortalama 0,5-1 cm) tekdüze olmadığından bunlar bir göl havzasından diğere deneştirmede; ve pek çok gölde kaydını bir araya getirerek, tek tek göllerin ömürlerini aşan süreler için geniş bir bölgenin kronolojisini çıkarmada faydalı olmaktadır. De Geer, 100 km'lik mesafe içinde deneştirmenin tam sağlıklı yapılabildiğini görmüş, birine bu uzaklıktaki istifleri deneştirmek için yaklaşık 1000 km genişliğinde bir alanda 1900'den geri giderek 17.000 yıllık bir kronoloji saptayabilmiştir. Daha sonraki çalışmacılar büyük ölçüde De Geer'in sonuçlarını doğrulamışlardır. Varv kronolojisi çalışmaları Kanada'da da yapılmış, güney yarımkürede de Patagonya'da buna teşebbüs edilmiştir.

Organik ve inorganik mekanizmaların ortak çalıştığı durumlar: Bazı göllerde organik ve inorganik çökeller ardışır. İsviçre'de Interlaken batısında Spiez civarında bulunan turbalarda böyle ardışıklı bir çökme istifinde açık renkli kısımların organikçe zengin olduğu görülmüştür. Burada koyu renkli tabakaya nazaran diatomların (silisyumlu duvarlar üreten ve suya yaşayan tek hücreli bitkiler) iki misli olması polenlerin çiçek açış sırasına göre çökme içinde dizilmeleri bunların yıllık tabaka çiftleri olduğunu göstermiştir. Bu yöntemle 7000 yıl öncesine kadar geçerli olan bir kronoloji kurulabilmiştir. Bu tür çökme istiflerine *organik varv* da denmektedir.¹³ Daha sonraki çalışmalar diğer İsviçre göllerinde de benzer organik varvların olduğunu kanıtlamıştır. (Hsü'nün 12. notta verilen kitabının 41. sayfasına bkz.)

Organik mekanizmalar: Ağaçların mevsimlik büyüme halkaları organik yıllık takvimlerin en güvenilirlerindedir. Ağaçların büyüme halkalarını kullanarak yapılan kronolojik çalışmalara *dendrokronoloji* adı verilir (Yunanca δένδρον=ağaç'tan "ağaç kronolojisi"). Yaz mevsiminde ağaçlar an

gövdelerine ve dallarına kalın zarlı küçük hücreler eklerler. Halbuki büyümenin hızlı olduğu ilkbaharda bunun tersine ince zarlı büyük hücreler eklenir. Bu, *ağaç halkaları* diye bilinen yapıları oluşturur. Bunların şekilleri ve kalınlıkları ağacın türüne ve içinde büyüdüğü iklim şartlarına göre değişiklikler gösterir. Mü- him olan hiçbir halka çiftinin bir diğer çifte tam ben- zememesidir. Herhangi bir iklim bölgesi içinde ağaç halkaları bir ağaçtan diğerine, yaşayan ağaçlardan ölü ağaçlara denestirilebilir ve bu suretle meselâ ölü ağa- cın kaç yıl önce öldüğü bulunabilir. Şekil 7 ağaçtan ağaca halka denestirmesinin nasıl yapıldığını göster- mektedir.

Kireçtaşı resifleri¹⁴ inşa eden çiftkabukluların her biri 4 veya 5 yıl yaşar. Resifin 1 cm büyüebilmesi için 20 ilâ 30 nesil gerekmektedir. Dolayısıyla resifin 1 metre yükselebilmesi için 10.000 ilâ 12.000 yıl arasın- da bir zaman lâzım olmaktadır. Bu tür bir kronolojiyi kullanarak Wagner 1936'da Orta Triyas devrinin (241- 235 milyon yıl öncesi) uzunluğunu 6 milyon yıl olarak hesap etmişti ki¹⁵ bu en modern değerlerle bire bir ça- kışmaktadır.

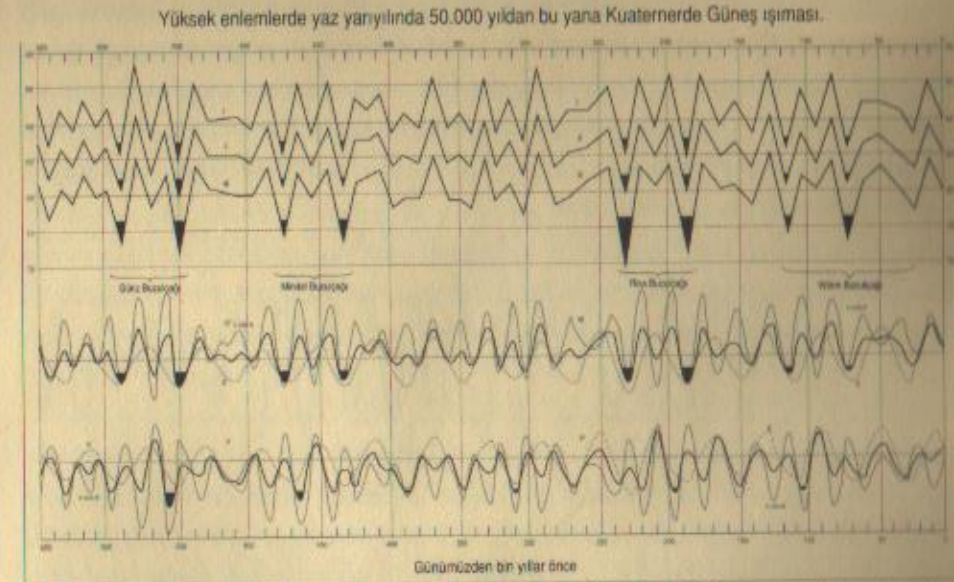
Bilhassa ritmik çökelmeye dayanan daha pek çok kronoloji teklifleri yapılmışsa da bunların güvenilirlik- leri sorunludur. Ancak son yıllarda güneş enerjisinin dünyaya gelişinde dünyanın yörüngesinde periyodik olarak meydana gelen ve yukarıda kısaca bahsettiği- miz değişikliklerin ve dünyanın dönme ekseninin ek- liptik ile yaptığı açının periyodik olarak değişmesinin çok önemli kronolojik sonuçları olduğu görülmüştür. Tüm bu periyodik de- ğişikliklerin dünya iklimi üzerine yaptığı etkilere sağlam bir veri tabanına dayanarak ilk defa bu yüzyıl başında Sırp meteorologu Mitulin Milankoviç (1879-1958) dikkat çekmiştir.¹⁶

Milankoviç, dünyanın yörüngesinde ve eksen konumunda olan de ğişik- liklerin astronomik olarak ölçülebileceğini (ve zaten ölçülmüş olduğunu), bunun da dünya yüzeyine ulaşan ışınlama enerjisinde salınımlar meydana



Şekil 7. Ağaçtan ağaca ağaç halkası denestirmesinin nasıl yapıldığı: En yukarıda yaşı bilinen günümüzün bir ağacı. Onun belirgin bir halkasını veya halkalar grubunu kullanarak bir altındaki daha yaşlı ağaca gitmek müm- kün. Sonra o ağacın belir- li bir halka grubunu kul- lanarak bir sonrakine. Bu şekilde binlerce yıl önce- sine kadar kronoloji yap- mak, eski arkeolojik ve je- olojik nesnelere tarihlen- dirme mümkün olmuştur (O. H. Schindewolf'un Der Zeitfaktor in Geologie und Paläontologie [Sch- weizerbart, Stuttgart, 1950] adlı eserinin 21. sa- hifesindeki 4. şekilden).

getireceğini, bu salınımların muhtelif enlemlerin güneşlenme derecesi şek- linde gösterilebileceğini öne sürmüştü (Şekil 8).¹⁷

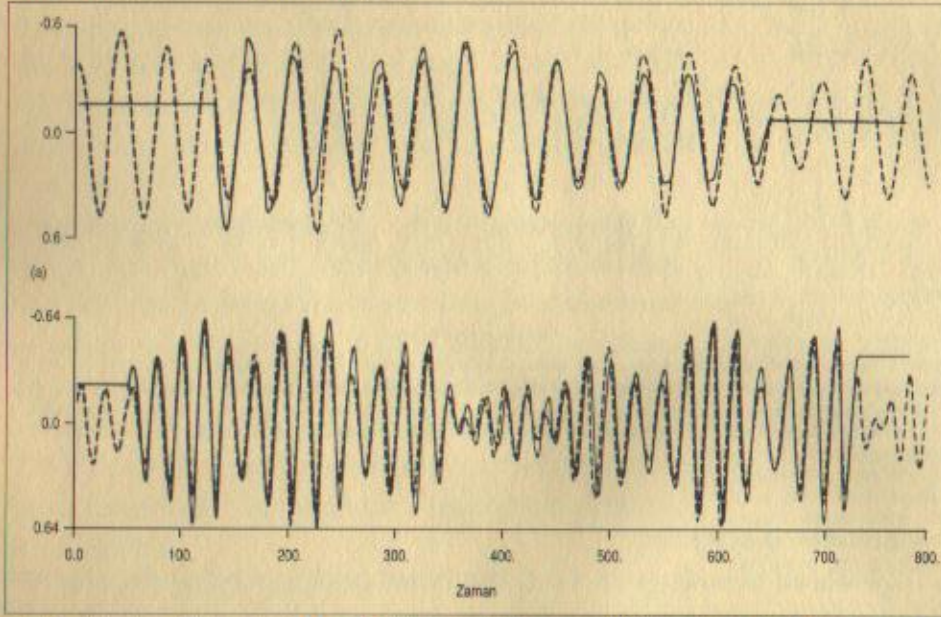


Şekil 8. Milankoviç tarafından hesaplanmış olan güneşlenme eğrileri. Bu eğriler kuzey yarımküre için enlemlerin kaydırılması yoluyla elde edilmişlerdir (yani güneş ışığı azaldıkça enlem büyütülerek). Grafik Güneş ışığının en şiddetli olduğu 182,5 günü temsil etmektedir. Karasal verilerden bilinen büyük buzullaşma dönemlerinin (Günz, Mindel, Riss ve Würm) güneş ışığı minimumlarına geldiklerine dikkat ediniz (17. nottaki 1922 tarihli yazıdan).

Milankoviç Döngüleri

1960'ların başından beri A.B.D.'nin başını çektiği uygar uluslar okyanus tabanlarından istif düzeni bozulmadan çökel örnekleri toplamak için faali- yete giriştiler. Bunun için okyanusta istediği bir noktada birkaç metreli hatâ payı içinde konumunu fırtınada bile sâbit tutabilecek özel yapılmı- *Glomar Challenger* adlı bir gemi kullanıldı. Bu gemiyle 5 küsur kilometre su- derinliğinden yapılan sondajlar son birkaç milyon yılın çok hassas kayıtları- nı elde etmemize yardımcı oldular.¹⁸ Atlas ve Hint okyanuslarından ve Bü- yük Okyanus'tan derlenen bu çökel kayıtları, çökeldikleri sırada okyanus- sularının sıcaklığını gösteren oksijen izotopları¹⁹ açısından incelendiğinde görülen sıcaklık salınımları (¹⁸O izotopunun kayadaki kesafetinin farklılığı- nı gösteren ^δ¹⁸O değeri olarak) Milankoviç'in tahminlerine %77 uygunlu- göstermektedir (Şekil 9). Biyolojik olayların ve çökel kayaçlarının oluşma- esnasındaki taşlaşma süreçlerinin dahî okyanus yüzeyi sıcaklıklarına bağ- kısımlarının bu döngüsellikten etkilendikleri görülmüştür.²⁰ Denizel verilerle

dolayısıyla Kuaterner adı verilen zaman dilimi içerisindeki (yani son 2 milyon yıldaki: aşağıya bkz.) iklim değişimlerinin egemen olarak dünyamızın yörüngesinde ve ekseninde olan değişikliklerce idare edilmiş olduğunu belgelemektedir. Bu *yörüngesel zorlama (orbital forcing)*, uzun dönemli iklim değişmelerinin demek ki birincil nedenidir. Aynı oksijen izotopu kaydı ve 21.000 ve 41.000 yıllık döngüler Doğu Antarktika'da Vostok'taki Rus bilimsel araştırma istasyonunda alınmış uzun (yani 150.000-160.000 yıllık kayıt) buz karotlarında da görülmüştür.



Şekil 9. Dünya'nın dönüş ekseninin eğikliğinin ve yalpalamasının $\delta^{18}O$ kaydının sıklık bileşenlerine son 800.000 yıldaki tekabülünü gösteren grafikler. a) eksen eğikliğini, b) de yalpalama periyotlarını göstermektedir. Buralarda kesikli çizgiler astronomik devrliği, sürekli çizgiler de $\delta^{18}O$ sıklığını gösterir. Aradaki uyum gerçekten şaşırtıcı düzeyde olduğu açıktır (not 22'deki eserden, John Imbrie ve arkadaşlarının bir çalışmasına göre, 1984).

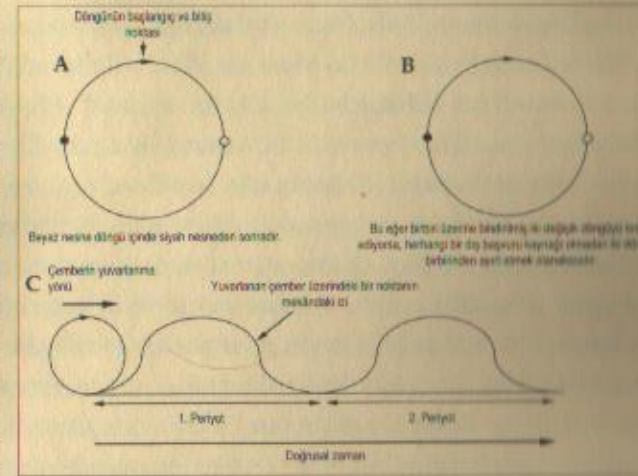
Dünya deniz düzeyi, deniz suyunun kıt'a buzullarında hapsolmesi ve tekrar eriyerek okyanusa iade edilmesi nedeniyle soğuk dönemlerde 50-100 metre kadar düşer, sıcak dönemlerde yükselir. Dolayısıyla deniz düzeyinin binlerce yıllık salınımları da iklim değişmelerine bağlanmıştır (milyonlarca yıllık, genliği daha büyük salınımların nedenleri ayrıdır²¹). Barbados adasında denizin yüksek dönemlerinde oluşmuş mercan resiflerinin yaşları 82.000, 105.000 ve 125.000'dir. Benzer tarihler de Haiti'deki yüksek resiflerden elde edilmiştir: 81.000, 108.000 ve 130.000. Bu tarihçenin ılımların devrimini gösteren 21.000 yıllık Milankoviç döngüsüne uyduğu açıktır. Aca-

ba Babillilerin efsanelerinin anılarını muhafaza ettiği "Büyük Yıllar" bunların sonunda olduğu rivayet edilen sel afetleri Milankoviç döngülerinin buzul çağı sonunda yaşamış olan ilkel insan cemiyetinin toplu belleğini bıraktığı izleri olabilir mi?

İklim değişmesiyle ot/ağaç örtüsü ardışmasının polen fosili topluluklarına yansımaları, polen analizi ile iklim değişimleri hakkında fikir edinilebileceğini göstermiştir. Kuzey Fransa'daki polen kayıtları 23.000 ve 19.000 yıllık periyotlar göstermektedir. Japonya'da Biwa gölünün çökellerindeki polen analizi de 104.000, 44.000, 25.000 ve 12.700'lük periyotları göstermiştir ki bunlardan ilk üçünün yörüngesinin daireselliğindeki (yani eksantrisitesindeki) değişiklikleri, eksen açısının değişmesini ve ılımların devrimini gösterdiği sanılmaktadır.²²

Buraya kadar dünya tarihinde meydana gelen periyodik, yani döngüsel olayların ne tür kayıtlar bıraktıklarını gördük. Uygun ağaç, fosil veya kayalar bulunabildiği takdirde günlerin, haftaların, yılların ve binyılların kayıt edilebileceğini ve bu kayıtları da bizlerce deşifre edilebileceğini öğrendik. Ancak doğaları gereği *döngüsel olaylar bir döngüyü diğerinden ayırt edemezler*. Yani bir döngü içinde döngünün bir ögesinin diğer ögelere göre zamanda nerede durduğunu bilebiliriz, ama iki veya daha fazla döngünün ögelerini bir zaman sırasına koyamayız (Şekil 10).

Şekil 10. Döngüsel ve doğrusal tarih. A'da yönü ve başlangıç noktası belirtilmiş bir döngü görülmektedir. Bu döngüde siyah nesne beyaz nesnenin öncüdür. B'de üstüste çizilmiş, periyot ve genlikleri eşit iki döngü görülmektedir. Burada eğer dışta bir başlangıç merkezi yoksa kimin önce kimin sonra olduğu belirsizdir. Bunun nedeni C'de gösterilmiştir. Döngüyü sabit bir yerçekimi alanı içinde değişmez bir hızla yuvarlanan çember şeklinde ışık geçirmez bir boru olarak düşünün. Borunun içindeki bir gözlemci (merkezkaç kuvvetten ötürü) yalnızca çemberin döndüğünü ve (yerçekimindeki farktan dolayı da) kendisinin aşağı yukarı inip çıktığını bilecektir, ama çemberin yol aldığını farkedemez. Zira bu gözlemci açısından birinci periyotta ikinci, üçüncü, n'inci periyot arasında hiçbir fark yoktur. Ancak çemberin dışında oturan bir gözlemci bir dış başlangıç noktası yakalayabilirse çemberin yalnız dönmekle kalmayıp yol aldığını da görür. Döngüsel kronolojik ögeler (gün, yıl, binlerce yıl vs) eğer doğrusal zamana belirleyecek bir başlangıç sistemi yoksa birbirlerinden ayırt edilemezler.



Doğrusal zaman

Yaygın bir kanı doğrusal zamanı İsrailoğullarının keşfettiğidir. İbrahim Peygamber'in oğlu İshak'ı kurban etme teşebbüsüyle "gerçek" bir tarih olarak başlayan ve Tanrı'nın İsrailoğullarına buyruklarının İsrailoğulları tarafından öyle veya böyle yerine getirilmesinin (veya getirilmemesinin) efsanevi tarihi olan *Tevrat*, doğrusal bir zamanın tarihidir. Bu doğrusal zaman içerisinde nirengi noktalarını İsrailoğullarının diğer "peygamberleri" (gerçekte kabile şefleri ve askerî liderler) oluşturur. *Tevrat* tarihi, onun oğlu bu, bunun oğlu şu, diye sürekli bir baba-oğul hikâyesi anlatarak sürer (torunla dede aynı olamayacağına göre, döngü asla başladığı yere dönmez). Büyük din tarihçisi Mircea Eliade (1907-1986) bu doğrusal tarihin; ruhun, "zamanın sonunda" kurtulacağı inancını yerleştirebilmek için döngüsel ve dolayısıyla sonsuz olan tarihe karşı icat edildiğini söyler.²³ Ancak doğrusal zamanı bu tarz işaretleme İsrailoğullarından çok önce Mısırlılar ve Babilliler tarafından da yapılıyor, buralarda kral listeleri tutuluyordu.²⁴ Bunlardan Mısır kral listelerinin bir türü MÖ 300 yılında rahip Manetho tarafından Yunanca olarak kitaplaştırıldı. Mezopotamya kral listesini de Babilli bir rahip olan Berossus yaklaşık MÖ 290 yılında Rodos'ta gene Yunanca kaleme aldığı bir Babil tarihi içerisinde yayımladı. Her iki listenin de daha sonra ele geçen belgeler ve arkeolojik kazılar tarafından büyük ölçüde doğrulanmış olması, hem Mısır'da hem de Mezopotamya'da İsrailoğullarından çok önce de nesillere dayanan detaylı kronolojilerin oluşturulduğunu göstermektedir.

Hem *Tevrat*'tan, hem de Mısır ve Mezopotamya kral listelerinden gördüğümüz, mümkün olduğu kadar *unutulmayacak* ve doğrusal bir tarih akımı içinde *kesintisiz bir kronoloji oluşturacak* şeylerin ilk doğrusal tarihlerin temelini oluşturduğudur. Bunun için toplumun en önemli kişisi olan kralın şahsı ve toplumdaki en kesintisiz kayıt olan hanedan nesil kaydı kullanılmıştır. Bu mantık tüm doğrusal tarihlerin temelini oluşturur. Jeolojide de yapılacak iş geçmişte olan olayları bunların ürünlerinin kalıntılarından baştan kurmak ve sonra bir zaman sırasına dizmektir. Meselâ yaşamın evrimini ele alalım: Hayvan ve bitki fosillerinden, önce geçmişte yaşamış canlıları baştan kurarız. Daha sonra da bunları bir zaman sıralamasına sokarız.

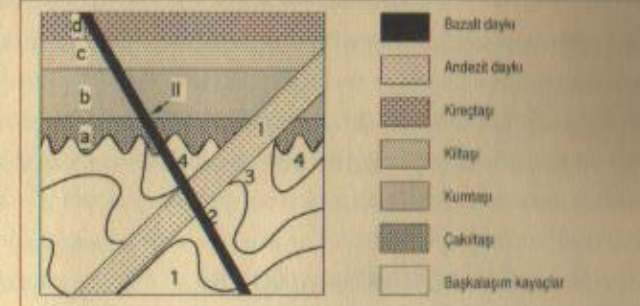
Peki bu zaman sıralaması işini nasıl yaparız?

Bağlı zamanlama

Dünyanın kabuğunu oluşturan tüm kayaç kütlelerinin birbirleriyle olan

mekânsal ilişkilerinden zamansal ilişkiler çıkararak bunları bir zaman sıralamasına sokan jeoloji branşına *stratigrafi*²⁵ adı verilir. Şekil 11 bunun nasıl yapıldığına bir örnek sunmaktadır. Şimdi birisi gelip de sizden bu resimde gösterilen kayaç çeşitlerini birbirlerine nazaran bir zaman sırasına sokmanızı istese –eğer herhangi bir jeolojik ön bilginiz yoksa– bunu yapamazsınız.

Bir kere işe nereden başlayacağınızı bilemezsiniz. Fakat biraz düşünüp hem genel bilgilerinizi, hem de biraz akli seliminizi kullanırsanız bir başlangıç yapabilir, belli bir yere de gelebilirsiniz. Diyebilirsiniz ki,



Şekil 11. Mekân ilişkilerinden zaman ilişkilerinin çıkarılmasına bir örnek. Açıklama için metne bkz.

çakıltapı, kumtaşı, kiltapı, çakıl, kum ve kilin bir şekilde taşlaşmasıyla meydana gelmiş olmalıdır. Çakıl, kum ve kil neredeyse hergün deniz kıyısında veya dere yataklarında oluşmalarını gözlediğimiz çökellerdir. Şiddetli bir yağmurdan sonra Göksu ve Küçüksoy derelerinin ağzına bir bakın. Bu derelerin ağız bölgelerinin önünde, Boğaz'da, güneye sarkan loblar şeklinde Boğaz'ın turkuaz-mavi sularıyla tezat teşkil eden kocaman krem rengi/açık kahverengi bir alan oluşur. Bu, iki derenin vâdilerinin kenarlarından yağmur sularıyla süpürülen killerin kabaran dereyle denize taşınması sonucu oluşmuştur. Benzer şekilde kum ve çakıllar da süpürülmüş olmalıdır, ama onlar daha büyük boyutlu olduklarından buralara kadar gelemeyip vâdinin içinde veya hemen ağzına yakın bir yerde çökelmişlerdir. Çökme yukarıdan aşağıya (yerçekimi yönünde!) olduğuna göre resmimizde altta olan, yani çakıltapı kumtaşından önce, kumtaşı kiltaşından o da kireçtaşından önce çökelmiş olmalıdır. O zaman şöyle bir zaman sırası elde ettik demektir: a>b>c>d (burada a>b işaretini a, b'den yaşlı diye okuyunuz).

Şimdi burada yaptığımız işin esasını bir düşünelim: Önce taşları oluşturmuş olan bir çökelme/taşlaşma *süreç*i, sonra da çökelleri oluşturabilecek aşınma ve taşınma/çökme/depolanma *süreç*leri düşündük. Ancak bu süreçler ışığında gördüğümüz kayaç katmanlarını bir zaman sırasına sokabildük. Yani bugün hareketsiz olarak karşımızda duran *mekân ilişkilerinin* belirli süreçler sonunda kazanıldığını düşündük. Bu süreçler de birbirlerine ne

den-sonuç ilişkileriyle bağlı olduklarından, bu süreçleri bir zaman sırasına sokmakta zorlanmadık. Buradan hareketle de süreçlerin ürünleri olan kayaçları ve kayaç yapılarını zaman sırasına sokabildik. Bu, jeolojide tüm stratigrafinin temeli olan bir işlemdir.

Yukarıda yaptığımızdan sonra devam edebilmek için biraz daha detaylı jeoloji bilgisine ihtiyacımız var. 1-4 numaralı katmanlar a-d katmanları gibi düz olmayıp kıvrımlıdır. Rumuz anahtarı bunları "başkalaşım kayaçlar" olarak tanıtıyor. Başkalaşım kayaçlar her çeşit kayacın yer kabuğu içinde (veya altında) ısı ve basınç etkisiyle (fakat tamamen ergimeden) mineral bileşimlerini veya yapılarını değiştirmeleriyle oluşmuş kayaçlardır. Meselâ hepimizin bildiği mermer (ama gerçek mermer; taş ticareti yapanların her güzel taş mermer demek gibi kötü bir alışkanlıkları vardır) kireçtaşının ısı ve basınç altında yeniden kristalleşmiş hâlidir. Her tür çökel kayacı veya magmadan katılmış granit, andezit, bazalt gibi katılmaşım kayaçları başkalaşıma uğrayarak değişik tür başkalaşım (metamorfik) kayaçlar üretebilirler.

Şimdi 11. Şekilde görülen başkalaşım kayaçların çok fazla başkalaşmadıklarını farzedelim. Diyelim ki ilksel katmanlanma yapıları hâlâ belli olan hafif başkalaşmış çökel kayaçları olsun bunlar. Yukarıdaki mantığımızı uygulayarak şu zaman sırasını hemen görebiliriz: 1>2>3>4. Yani önce 1 çökelmiş, ardından 2, onun ardından 3 ve nihayet 4. Sonra? Bu kayaçların yukarıdakiler gibi yatay durmadıklarını görüyoruz. Herhalde bunlar bu kıvrımlı hallerinde çökelmediler – bu mümkün değildir. Demek 1-4 silsilesi çökeldikten sonra tüm istif kıvrımlandı. Acaba metamorfizma, yani başkalaşma, bu kıvrımlanmayla beraber mi oldu? Muhtemelen, ama bu konuda bir karara varacak veri yok şeklimizde. Bu durumu bir kenara not edip geçelim. Şekilde kıvrımların 2, 3 ve 4. katmanları etkileyecek şekilde tepelerinin biçilmiş olduğunu görüyoruz. Biçilme düzlemi düzensiz, tek bir ayna gibi değil. Bu herhalde su, buz veya hava gibi dış kökenli âmillerin etkisiyle oluşmuş bir aşındırma olsa gerek. Yani 1-4 tabakaları önce oluşmuşlar, sonra kıvrımlanıp başkalaşıma uğramışlar, sonra yüzeysel aşındırma bu kütlelerin üst taraflarını aşındırıp götürmüştü.

Şimdiye kadar elde ettiğimiz sonuçları tekrar toparlayalım.

1. Önce 1-4 istif çökelmiştir.

2. Sonra bu istif kıvrımlanmış ve başkalaşıma uğramıştır. Kıvrımlanma mı yoksa başkalaşım mı öncedir, bunu bize bildirecek veri şeklimize konmamıştır (Tarihte tüm detaylarını sökemediğimiz olaylar karşımıza her zaman çıkabilir, bunlar *detayda* kronoloji belirsizliklerine neden olurlar).

3. Kıvrımlanmayı ve başkalaşımı müteakip, 1-4 katmanlarının oluşturduğu kütlelerin üst yüzeyi aşınmıştır.

4. Sonra a-d istif aşınmış olan yüzeyin üstüne çökelmiştir.

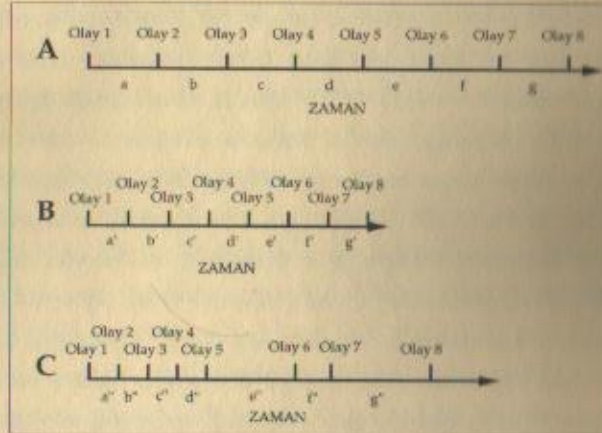
5. Sonra da damara benzeyen iki kayaç kütlesi²⁶ yukarıda anılan tüm kütleleri kesmiştir. Bunlardan andezitin 'diğerinden-önce-olan' olduğu görülmüyor, çünkü bazalt gelirken onu da kesmiştir.

Burada verilen liste doğrusal bir tarihin öğelerini içermektedir. Kayaçlar, onları oluşturan olayların türleri bilinebildiği için, en yaşlıdan en genceye doğru dizilebilmektedirler. Bu bir yerde Mısır veya Babil kral listelerine benzer. 1, 4 ve 5 krallar olsun, 2 ve 3 de bu kralların başına gelen olaylar.

Bağımsız saatle zamanlama

Yalnız, kral listelerinin yukarıda verilen listeden önemli bir farkı vardır. Genellikle krallar birbirlerini izlerler ve saltanat süreleri yıl, ay, gün cinsinden bilinir.²⁷ Bir diğer ifadeyle, kral listelerinin oluşturduğu lineer tarih, astronomik dış kaynaklı başvuru sistemlerine (Ay, Güneş) göre periyodik dilimlere (gün, ay, yıl) bölünmüştür. Bunlar da uc uca eklenirse günümüzden (veya kral listesini terkip edenin zamanından) geriye yıllarla ifade edilmiş bir kronoloji kalır. Antakyalı Teofilos (MS 115-180) da bu yöntemi kullanarak Kutsal Kitaptan bir kronoloji çıkarmış ve böylece tüm dünyanın tarihini elde ettiğini sanmamış mıydı? Bu yöntem tâ 17. yüzyıla kadar kullanılmış, en son İrlanda'da Armagh başpiskoposu James Ussher (1581-1656) bu yöntemle dünyanın MÖ 4004 yılında yaratıldığını bulmuştu!²⁸ Halbuki bizim listemiz

aralarında boşluklar olan bir kral (yahut peygamber) listesine benziyor. Üstelik hiçbir kralın hükümdarlık süresini de bilmiyoruz. Tek bildiğimiz, kim kimden önce kim kimden sonra. Örneğin, Şekil 12'deki üç takvimi, A, B ve C'yi, bizim şimdi tartıştığımız yöntem birbirinden ayıramaz, zira bu yöntem a-g,



Şekil 12. Arzılan 8 olayın aralarındaki zaman aralıklarını ölçemeyen ve yalnızca ardışma sırasını ayırt edebilen bir tarihlleme yöntemi, burada gösterilen üç takvimi birbirinden ayırt edemez.

a'-g' ve a"-g" zaman aralıklarının uzunluklarını ölçme yeteneğine sahip olmadığından bunların farkını bilemez. Bizim yöntemimiz yalnızca Olay 1>Olay 2>Olay 3>Olay 4>Olay 5>Olay 6>Olay 7>Olay 8 dizesini yaratabilir. Bu dize her üç takvim için de aynıdır. Demek ki doğrusal bir tarih ortaya çıkarabilmek için tarihlenecek şeylerin yalnızca birbirlerine nazaran zamansal konumlarını bilmek yetmiyor, bunları birbirinden ayıran zaman aralıklarının da süresinin bilinmesi gerekiyor. Bir diğer deyişle, tarihlenen olayların dışında bir başvuru sistemi, yani bağımsız bir saat gerekiyor.

Makrojeolojik süreçlerin hızlarına dayanan saatler

Jeoloji bilimi 18. yüzyıl sonlarında modern çehresiyle ortaya çıktıktan sonra 20. yüzyıl başlarına kadar tarihlenen olayların dışında bir başvuru sistemi oluşturamadığı için, Şekil 12'de a-g ve bunların üsleriyle gösterilen cinsten zaman aralıklarını ölçme imkânından mahrumdu. Yapılan genellikle tahmin yürütmektir. Bu tahminlerin jeologlarca en yaygın kullanılan temel belirli çökel istiflerinin kalınlıklarına bakarak bunların ne kadar zamanda birikmiş olabileceğini veya aşınma hızlarından belli bir yerde eskiden varlığı tahmin edilen bir istifin ne kadar zamanda aşınmış olabileceğini tahmin etmektir. Meselâ, modern evrim kuramının yaratıcısı Charles Darwin, Croll'un bir makalesine atıf yaparak, bu araştırmacının 1000 ayak kalınlığında (yaklaşık 300 metre) bir kayaç istifinin tamamen aşınmasının 6 milyon yıl alacağını tahmin ettiğine işaret ediyor. Ancak Croll haklı olarak 6 milyon yılın ne anlama geldiğini çoğu insanın anlayamayacağını, bunun için de bir benzetme gerektiğini söylüyor. 83 ayak 4 inç uzunluğunda (yaklaşık 28 metre) ince bir kâğıt şeridi bir duvar boyunca uzatınız, diyor. Sonra bir ucundan onda bir inçlik (-2.5 mm'lik) bir kesimi işaretleyiniz. Bu yüz yılı, tüm şeridin uzunluğu da bir milyon yılı temsil eder. Modern jeoloji, diyor Darwin, böyle uzun zamanların gerçekten geçmiş olduğunu bizlere göstermektedir ki bu Lyell'in modern evrim teorisinin ortaya çıkmasına yaptığı en büyük katkıdır.²⁹ Darwin'in tüm ömrünü büyük dağların olmadığı ılıman bir iklim bölgesinde geçirmiş olması O'nu aynen Lyell gibi jeolojik olayların hızları konusunda yanıltmıştır gerçi. Örneğin, Darwin Güney İngiltere'de Weald yapısının günümüzdeki aşınma hızına bakarak bugün 65 milyon yıl önce bitmiş olduğunu bildiğimiz ve sonunda dinazorlar, ammonitler gibi meşhur yaratıkların soylarının tükendiği Tebeşir Devrinin (Kretase Devri: 145 ile 65 milyon yıl öncesi arası) 300 milyon yıl önce son bulduğunu sanı-

yordu. Bu, büyük ölçüde aşındırma, çökeltme gibi yüzey olaylarının tekdüzelişmemesi, bunların bil'akis ihtilâclarla kısa zaman aralıklarında çok hızlı olarak uzun sürelerde âdeta rölântide çalıştıklarını takdir edememekten gelmektedir. Benzer şekilde John Joly (1857-1933) 1899 yılında meşhur astronom Edmund Halley'nin (1656?- 1743) 1715 yılında öne sürdüğü bir fikri izleyerek okyanusların tuzluluk oranını denizlere ulaşan yıllık tuz miktarını karşılaştırarak dünyanın yaşını hesaplamayı denemiştir. Eğer okyanuslarda ki toplam tuz miktarı ve okyanuslara tuz geliminin yıllık hızı bilinebilirse bu olayın başlangıç tarihi hesaplanabilir. Joly bu hesaptan 90 milyon yıl çıkarırmıştır. Halbuki 1963'te Livingstone bu yolla hesap edilebilecek yaşın 1.300.000.000 ile 2.500.000.000 yıl olabileceğini göstermiştir.³⁰ Bu örneklerde de açığa çıkarmaktadır ki kayaç istiflerinin oluşum ve aşınma hızlarını geçmiştin büyük bir kesiminde uygulamaya kalkmak pek de sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Lord Kelvin adıyla tanınan William Thomson (1824-1907), İngiliz jeolog Jukes'un (1811-1869) Weald antiklinalinin aşınması için 3'ten 30 milyona kadar bir tahmin vermesini bunun örneği olarak sunmuştu.³¹

Denenen bir diğer yöntem dünyanın Kant-Laplace varsayımına göre sıcak bir top şeklinde oluştuğu, bu sıcak topun basit kondüksiyon yoluyla ısı kaybettiği görüşüne dayanıyordu. Lord Kelvin bugün yapılan ısı akımı ölçümlerine dayanarak dünyanın bu hızla ısı kaybettiği varsayımına göre 20.000.000 yıl önce tamamen erimiş bir halde olması gerektiğini ileri sürdü. Ayrıca Lord Kelvin, Dünya-Ay sisteminin gel-git yavaşlaması nedeniyle dünyanın kendi eksenini etrafındaki dönüş hızını yılda 22 saniye yavaşlattığını bundan da 7.200.000 yıl önce dünyanın dönüş hızının bugünkünin iki misli olması gerektiğini hesaplamıştı. Bu hızda dönen ergimiş bir dünyada ekvator bölgelerinde hiç deniz olmaması gerektiği, dünyanın bugünkü coğrafyasında böyle bir izin olmadığını ileri sürerek dünyanın en çok 5. hattâ belki 10 milyon yaşında olması lâzım geldiğini iddia etmişti.

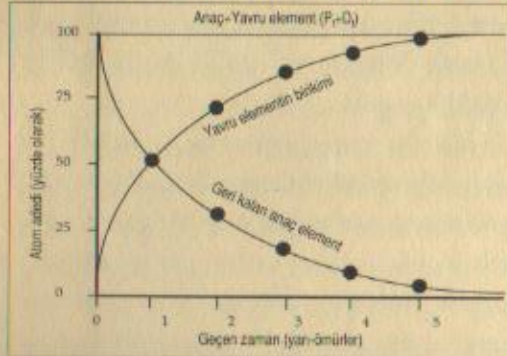
Zamanın jeologları tabii ki Lord Kelvin'in sonuçlarına itiraz ettiler. Jeolojik bilgilerin bu kadar kısa bir zaman süresiyle bağdaşamayacağını söylediler. Sonunda Lord Kelvin'in varsayımlarının yanlış olduğu, dünyanın kondüksiyonla değil büyük ölçüde konveksiyonla ısı kaybettiği, ısı kaynağının da oluşum esnasında oluşan ısıyla sınırlı olmadığı, bil'akis radyoaktif elementlerin parçalanmasıyla yeni ısı üretildiği anlaşıldı. Gel-git sürtünmesi için yapılan varsayımlar da yanlıştı. Kısacası Lord Kelvin'in dünyanın yaşını kısa yoldan hesaplama sevdası hüsrarla sonuçlandı.³²

Radyoaktif saatler

Lord Kelvin'in tüm hesaplarını geçersiz kılan radyoaktivite, diğer taraftan bugüne kadar elimizde olan en kesin yaş ölçmelerine de imkân vermiştir. 1895 yılında Wilhelm Röntgen (1845-1923) X- veya Röntgen ışınlarını keşfettiği zaman bu olayın fosforesans ile ilişkili olabileceği sanılmıştı. Hakikaten Fransız fizikçi Henri Becquerel (1852-1908) 1896'da fosforesan olan bazı maddelerin siyah bir kâğıtla özel olarak ışıktan korunmuş fotoğraf filmleri üzerinde iz bıraktıklarını buldu.³³ Daha sonra Yeni Zelandalı büyük fizikçi Lord Rutherford (1871-1927) bu olaya neden olan "Becquerel ışınlarının" üç değişik türden meydana geldiklerini keşfetti: Eksi elektrik yüklü β^- (beta) parçacıkları, artı elektrik yüklü α (alfa) parçacıkları ve bir tür elektromanyetik radyasyon olan γ (gamma) ışınları. Bunlardan β^- parçacıkları elektronlarla aynı, α parçacıkları da helyum atomunun çekirdeğiyle (iki proton+iki nötron) aynı şey olduklarından, bunların sürekli kaybının sonunda geri kalan nesnenin atomik yapısını değiştireceği düşünüldü. 1905 yılında Rutherford, A. B. D'de Yale Üniversitesi'nde Silliman konferanslarını verirken bu özelliğin belki radyoaktif atomların jeolojik saatler olarak kullanılabilmelerine yarayacağını söyleyerek şu örneği verdi:

İçinde %7 oranında uranyum bulunduran fergusonit mineralinin³⁴ her gramı başına $1,81 \text{ cm}^3$ helyum içerdiği gözlenmiştir. Helyumun uranyumun radyoaktif parçalanması sonucu oluştuğunu farzederseniz ve bu da her gram uranyum başına $5,2 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$ ise, fergusonit örneğinin yaşı $1,81 / (0,07 \times 5,2 \times 10^{-8}) = 497$ milyon yıldır.

Rutherford bu yaşın minimum bir yaş olduğunu vurgulamıştır, zira bir gaz olan helyum, mineral yapısından kısmen kaçmış olabilirdi. Bu takdirde



Şekil 13. Zaman içinde parçalanmış bir anaç radyoaktif elementten yavru elementin türemesi (Dalrymple'in not 35'te künyesi verilen eserindeki şekil 3.2'den adapte edilmiştir).

uranyumun parçalanma ürünlerinin hepsi elimizde kalmamış demek olacaktı. Gerçekten de bu helyum kaçağı tehlikesinin büyüklüğü yüzünden bu yöntem artık hiç kullanılmamaktadır. Fakat Rutherford yolu bir kez açtıktan sonra hızla değişik metodlar geliştirildi. Tüm bu yöntemlerin temeli şu basit eşitliğe dayanır:

$$P_0 = P_t + D_t \quad (1)$$

Burada P_0 yaşı ölçülecek mineralde mineral olduğu an mevcut anaç radyoaktif elementtir. P_t ve D_t ise bir t zamanı sonra bu anaç elementin parçalanmasıyla oluşan yavru (D_t) elementle, parçalanmadan geri kalan anaç element miktarıdır (P_t). Bu P_0 'ın ne kadar zamanda ne kadarının geri kalacağı her radyoaktif element için değişiktir ve gözlemlerle belirlenmesi gerekir. Burada P ve D 'nin radyoaktif izotoplar olarak düşünülmesi daha doğru olur. Zira radyometrik yaş tayinlerinde tamamen radyoaktif izotopları kullanılır. Matematik olarak *parçalanma sabitesi* denilen izotopların parçalanma hızları, P_t ile P_0 'nın ilişkilerini şöyle düzenler:

$$P_t = P_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Burada λ parçalanma sabitesi, t geçen zaman, e de doğal logaritmalardan temeldir (virgülden sonra beş haneye kadar yaklaşık değeri: 2,71828). Elde ettiğimiz radyoaktif başlangıç malzemesinin yarısının yavru elemente dönüşmesi için geçen zamana *yarı-ömür* adı verilir. Zeno'nun paradoksundaki ok gibi her yarı-ömürden sonra geri kalan radyoaktif malzemenin yarısının yavru elemente dönüşmesi için yine bir yarı-ömür gerekir. Bu suretle anaç malzeme sürekli azalır ama hiç bitmez, fakat birkaç yarı-ömür sonra artık en hassas aletlerle bile ölçülemez hâle gelir (Şekil 13). Eğer $P_t = P_0/2$ alıp (2) numaralı eşitliği buna göre çözersek bundan yarı-ömür için şu eşitliği elde ederiz:

$$t_{1/2} = (\log_e 2) / \lambda$$

Yukarıdaki 2 numaralı eşitliği 1 numaralı eşitlikteki yerine yerleştirirsek:

$$P_t = (P_t + D_t) e^{-\lambda t}$$

Bu eşitliği t için çözdüğümüz takdirde tüm radyometrik yöntemlerde kullanılan ana eşitliği elde etmiş oluruz:

$$t = 1 / \lambda \log_e (D_t / P_t + 1)$$

Aşağıda bugün yaygın olarak kullanılmakta olan bazı radyometrik yaş ölçme yöntemlerinden çok kısaca bahsedeceğim. Ancak bunların hepsi artık atomların *mutlak sayılarını* değil, anaç element ve yavru izotop dışında seçilen bir üçüncü izotopa nazaran *oranlarını* esas alan *izokron çizimi* veya *kompakt/diskordia diyagramları* gibi yöntemlere yerlerini terk etmişlerdir. Bunun nedeni, yaşı ölçülecek mineral içinde yavru elementin ilk baştan mevcut olup olmadığının tesbitindeki güçlüklerdir. Bu yazının çerçevesi bu gelişmiş tekniklerin anlatılmasına müsait olmadığından, takvim çıkarmada radyoaktif yöntemlerin oynadıkları rolü göstermeleri açısından ben saki "bi-

rikim yöntemlerini" anlatacağım. Zaten bunlar anlaşılmadan, daha gelişmiş olan diğer yöntemler anlaşılabilir.

Mutlak atom sayısına dayanan belli başlı radyometrik yaş ölçme yöntemleri:

Potasyum(K)-Argon(Ar) yöntemi: ^{40}K 'un elektron yakalanması yoluyla ^{40}Ar 'a dönüşmesine dayanır. Bu yöntem 4,5 milyar yıllık kayalardan 50.000 yıllık kayalara kadar kullanılabilir. Dezavantajı, yukarıda helyum örneğinde gördüğümüz gibi bir gaz olan Ar'un kolay uçmasıdır. Dolayısıyla tekrardan ısıtılmış kayalarda sağlıklı sonuç verir. Yöntem özellikle tekrardan ısınmamış katılaşım kayalarda güvenilirdir.

Rubidyum(Rb)-Stronstiyum(Sr) yöntemi: ^{87}Rb 'un β^- parçacığı atılmasıyla ^{87}Sr 'a dönüşmesine dayanır. ^{87}Rb 'un yarı-ömrünün 48,8 milyar yıl olması nedeniyle bu yöntem 50-100 milyon yıldan daha yaşlı kayalarda kullanılır. Güneş sistemindeki en yaşlı kayaların yaşı bu yöntemle ölçülmüştür.

Samaryyum(Sm)-Neodimiyum(Nd) yöntemi: ^{147}Sm 'un α parçacığı kayıyla ^{143}Nd 'a dönüşmesine dayanır. Samaryyumun yarı ömrü diğer tüm elementlerden uzun olduğundan bu, yaşlı kayaların ve meteoritlerin yaşlandırılmasında faydalıdır. Üstelik Sm'un ve Nd'un jeokimyasal davranışları birbirine benzediği için taş başkalaşması (metamorfizma) olayları da bu yöntemi çok etkilemez.

Uranyum(U)-Toryum(Th)-Kurşun(Pb) yöntemleri: Bu yöntemler ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th 'un kurşuna dönüşmesi esasına dayanırlar. Ama burada anaç izotoptan hemen kurşuna geçilmez, arada başka safhalar da vardır. Ara safhaların çok kısa ömürlü olmaları bu serilerin sanki tek adımlık olaylar gibi kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Ay taşları, meteoritler ve pek çok dünya taşı bu yöntemle yaşlandırılmıştır.

Gelişen radyometrik yöntemler jeologun eline dünyanın doğrusal tarihinin çıkarılabilmesi için çok güçlü bir silâh vermiştir. Bugün milyarlarca yıllık taşları 5-10 milyon yıllık hatâ paylarıyla yaşlandırabiliyoruz. Uygun şartlarda, milyarlarca yıllık kayalarda hatâ payları daha da azalıyor, ama henüz 5 milyon yılın altına pek inmiyor. Ama bu da jeolog için muazzam bir ilerlemedir. Daha genç zamanlar için birkaç bin yıllık tarihlendirmeler yapabilecek yöntemlerimiz de var. Bunların detaylarını öğrenmek isteyeceklerin 35 numaralı dipnottaki kaynaklara başvurmaları gerekir.

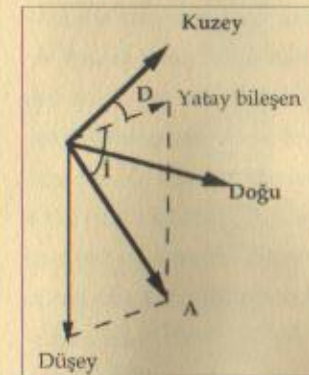
Radyometrik yöntem dışında bir fiziksel bir de kimyasal olmak üzere iki önemli yöntem grubu kayalara ve jeolojik olaylara yaş verebilmemizi sağ-

lar. Bunlardan fiziksel olanı kayalarda bulunan doğal eski mıknatıslanmaya, kimyasal olanı da çökel kayalarda bulunan bazı elementlerin duray (yani radyoaktif olmayan) izotoplarının kesafetine bağlıdır.

Kayalarda doğal eski mıknatıslanma (Paleomanyetizma)

Dünya yüzeyinde (veya bunun üzerinde) herhangi bir yerde dünya manyetik alanının yönünü ve şiddetini belirten *jeomanyetik alan vektörü* \mathbf{A} 'nın yönü yeryüzündeki herhangi bir noktada iki açı vasıtasıyla belirlenir (Şekil 14): *Sapma* veya *deklınasyon* (D, coğrafi kuzeye nazaran belirlenir) ve *eğilme* veya *inklinasyon* (İ, yataya göre belirlenir ve alan aşağıya doğru yöneliyorsa pozitif, yukarı doğru yöneliyorsa negatif olarak kabul edilir).

Rasathane kayıtları, kayaların, yumuşak çökellerin ve arkeolojik malzemelerin kalıcı mıknatıslanmalarının incelenmesi, hem yön hem de şiddet açısından dünya manyetik alanının sâbit olmadığını, salındığını göstermiştir. Eski jeomanyetik alan *şiddetlerinin* tesbiti güçtür ve genellikle güvenilir-



Şekil 14. Manyetik alan bileşenleri: Jeomanyetik alan vektörü \mathbf{A} 'nın sapma (D) ve eğilme (İ) açıları tarafından belirlenmesi.

liği azdır. Eski manyetik alan *yönlerinin* tesbiti ise çok daha büyük bir güvenilirlik ve kesinlikle yapılabilir. Dolayısıyla, manyetik alanın geçirdiği *yön değişiklikleri* mıknatıslanmaya dayanan tarihlenmenin, yani *manyetostatigrafinin* temelini oluşturur. Ancak kalıcı mıknatıslanmanın şiddeti ve hassasiyeti gibi kayaç denestirmelerinde faydalı görülen bazı parametreler de manyetostatigrafinin konusu içine girerler.

Aşağıdaki tablo, jeomanyetik alanın zaman içinde geçirdiği yön değişikliklerini özetlemektedir.

Sahnımların Zaman Ölçeği veya Tekrar Aralığı	Değişikliğin Tabiatı	Köken
<5 yıl	Geçici alan sahnımları	Dış (Güneş faaliyeti)
10^2 — 10^4 yıl	Uzun dönem değişiklikleri ve jeomanyetik "gezintiler"	İç (yer çekirdeği faaliyeti)
10^4 — 10^7 yıl	Kutuplanma terslenmeleri	İç (yer çekirdeği faaliyeti)
10^7 — 10^8 yıl	Kutuplanma tercihleri ve terslenme sıklıkları	İç (yer çekirdeği faaliyeti)

En kısa zaman ölçekli salınımlar birkaç saniyeden birkaç yıla kadar değişir ve genellikle Güneş'in etkisiyle meydana gelirler. Bunlar toplam manyetik alanın çok küçük bir kesimini (tipik olarak yaklaşık %1) oluştururlar ve jeolojik önemleri yok gibidir.

Biraz daha uzun dönemli olan ve *seküler varyasyonlar* (=yüzyıl değişimleri) adı verilen değişimlerin en çok son birkaç yüzyılı kapsayan sürekliliği yakın kayıtları rasathanelerde, son buzul çağından bu yana geçen süreyi kapsayan kayıtları ise göl çökellerinde mevcuttur. Son birkaç bin yılı kapsayan süreksiz kayıtlar arkeolojik malzemelerden, daha öncekiler ise daha yaşlı çökel serilerinin ve lâvların mıknatıslanmalarından elde edilmiştir. Bütün bu kayıtlar, hem eğilmenin hem de sapmanın, periyotları 10^2 'den 10^4 yıla kadar değişen sürekli, yarı-devrî salınımlara tâbi olduklarını göstermektedir. Elverişli şartlar altında bu tür seküler varyasyonlar kayaç veya çökel istiflerini yalnızca yerel veya bölgesel ölçekte (global ölçekte değil!) denestirmede kullanılabilirler.

Jeolojik açıdan en faydalı alan değişimleri şüphesiz *kutuplanma terslenmeleridir*. Jeomanyetik alanın düzensiz aralıklarla terslendiği, yani kuzey ve güney manyetik kutuplarının birbirleriyle yer değiştirdikleri, bu yüzyılın başından beri iyi belgelenmiştir. Bunun nedeni yerin sıvı olan dış çekirdeğindeki düzensiz ve sık değişen konveksiyon akımları geometrisidir. Manyetik kuzey kutbunun coğrafi kuzey kutbuna yakın bulunduğu şimdiki duruma *normal* kutuplanma hali denir. Bunun tersine, manyetik kuzey kutbunun coğrafi güney kutbuna yakın olduğu durumlara *ters* kutuplanma hali denir. Manyetik alanın bu hallerden birinde geçirdiği süre 10^4 'den 10^7 yıla kadar değişir ve birinden diğerine geçiş 10^3 ile 10^4 yıl gibi bir zaman alır. Geçiş döneminin kısıklığı nedeniyle jeomanyetik terslenmeler jeolojik zaman ölçeği içinde anlık (=enstantane) olaylar olarak kabul edilebilir. Global ölçekte eşzamanlı olmaları, jeolojik denestirmeler için, özellikle belirgin "parmak izlerine" sahip normal ve ters takımlardan oluşan kutuplanma aralıkları tesbit edilebildiği hallerde, bunları bilhassa faydalı yapmaktadır. 10^7 ile 10^8 yıl aralıklarında manyetik kutbun ekseri zaman bir coğrafi kutbu tercih ettiği veya, tersine, çok sık terslendiği haller olabilir. Bu *kutuplanma tercihleri* ve *terslenme sıklıkları* da stratigrafik kayaç denestirmesinde faydalı olurlar.

Manyetik alan değişimlerini jeolojik tarihlemeye kullanabilmenin en önemli bileşeni, bir kayacın içinde bulunduğu manyetik alanı mıknatıslanmak suretiyle ne derece kaydedebileceğidir. Bu açıdan demirce en zengin olan

bazaltik volkanik kayaçlar tabii ki en elverişli olan kayaç tipleridir. Bazalt lâvları yüzeyde akarken içindeki demir mineralleri o andaki manyetik alan yönünde dizilirler. Lâv, *Curie sıcaklığı* denilen belli bir sıcaklığın (mıknatıslanma taşıyan en önemli demir mineralleri olan manyetit için 575°C , hematit için 675°C) altına düşünce kayaç mıknatıslanır; sıcaklık, *bloklama sıcaklığı* denilen sıcaklığın da altına düştü mü (mineral türüne ve tane boyuna göre Curie sıcaklığının birkaç on derece altında) manyetiklenme artık "donar" ve kaya nasıl oynatılırsa oynatılsın, eski mıknatıslanma özelliklerini korur. Çökel kayalarında da bulunan demir mineralleri çökeltme esnasında egemen manyetik alan yönünde dizilirler ve çökellerin taşlaşması esnasında "donarak" çökeltme anındaki manyetik alan yönünü kaydetmiş olurlar. Dünyamızın geçmişinde manyetik alan yönü pek çok defalar ve çok düzensiz aralık-



Şekil 15. 170 milyon yıl öncesinden bu yana dünyanın manyetik alanındaki terslenmelerin takvimi. Daha öncesi için elimizde bu süreklilik ve sağlıkta veri yoktur. P. Kearey ve F. J. Vine'in *Global Tectonics* adlı ders kitaplarından (Blackwell, Oxford, 1990, s. 70, şekil 4. 13).

larla terslenmiştir. Bu terslenmelerin yıl olarak yaşı bilinebildiği takdirde bir terslenme kronolojisi çıkarılabilir, daha sonra yaşı bilinmeyen fakat içindeki terslenme deseni bilinen bir kayaç, eldeki kronolojiye bakılarak yaşlandırılabilir. Şekil 15, son 170 milyon yılda dünyada meydana gelen manyetik alan terslenmelerinin bir takvimini takdim etmektedir. Bu takvimde siyah bantlarla gösterilen zaman aralıkları normal kutuplanma dönemlerini, beyaz bantlarla belirtilenler de ters kutuplanma dönemini temsil etmektedirler.³⁶

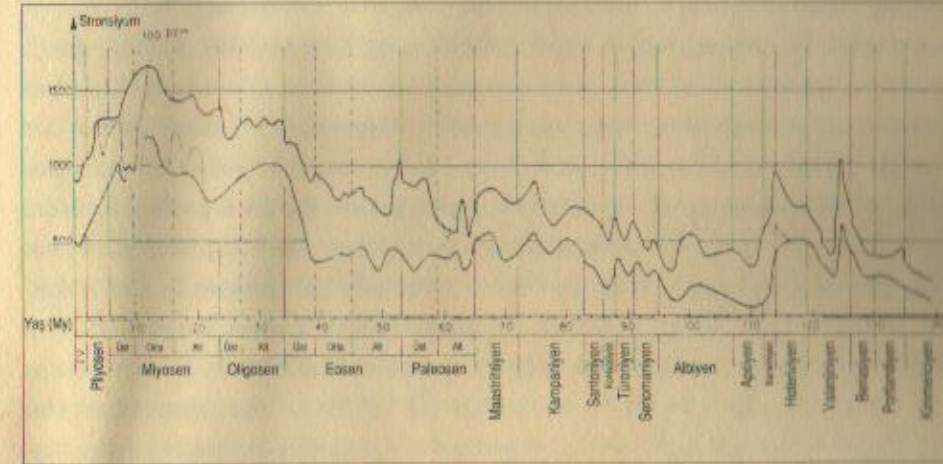
Kimyasal yöntemle kayaç tarihlendirmesi

Kayaçlara yaş verebilmemize yardımcı olan yöntemlerin en önemlilerinden biri de *kemostratigrafi* de denen kimyasal stratigrafi yöntemidir. Çökel kayaçlarda aynı manyetostratigrafi gibi istiflenme sırasının tesbiti ve istifleme deneştirme amaçları için geliştirilmiş olan bu yöntemler grubu, iz elementler ve bazı duraylı izotoplar (yani radyoaktif olmayan izotoplar) açısından dünya okyanuslarındaki deniz suyunun bileşiminin zaman içinde çeşitli fiziksel ve biyolojik nedenlerle uğradığı ve denizel çökel kayalarının bileşimine yansıyan değişikliklerinin saptanarak, bunların çökel kayaçların "parmak izleri" olarak kullanılması esasına dayanır. Burada da, ellili yıllarda İsveçli jeolog Gustaf Arrhenius'un okyanusal çökellerde gözlenen $CaCO_3$ 'ün, yani kayaçtaki karbonat miktarının ve İtalyan Cesare Emiliani'nin oksijen izotopları nisbetinin salınımları hakkındaki klâsik çalışmalarından beri, okyanus sularının bazı iz elementler ve izotoplara nazaran jeolojik zaman içinde geçirdiği bileşim salınımlarının, çökelen kayaçların aynı iz elementler ve izotoplar açısından bileşimlerine yansıdığı varsayılmaktadır. Ancak kayaçtaki karbonat miktarının, stratigrafik sıralamada ve deneştirmede kullanılabilmesi için, %100'ün bir hayli altında olması gerekmektedir. Geleneksel izotopların incelenmesi ise, uygun izotopun seçilmesi esnasında çok vakit harcanması nedeniyle zahmetli bir iştir. Stratigrafik sıralama ve deneştirme işinde oksijen izotoplarının kullanılması, dünya buz hacmi değişikliklerinden kaynaklanan önemli okyanusal izotop salınımları gerektirdiğinden, dünyada büyük buz kütlelerinin bulunmadığı zamanlar için işe yaramaz.

Bu nedenle yakın zamanda başka kimyasal stratigrafik sıralama ve deneştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Örneğin karbon izotopları oranı ($^{13}C/^{12}C$) salınımları da değerli bir stratigrafik araç oluşturmaktadır. Pek çok negatif kaymanın eşzamanlı olduğu görülmüştür. İz elementlerin de denizel çökel kayaları içindeki yoğunluklarının zaman içinde gösterdiği deği-

şiklikler, son yıllarda bunlara dayalı yeni bir kemostratigrafi türünün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle stronsiyum ve magnezyum bu konuda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak manganez, demir ve kadmiyum da bu konuda faydalı olabilecek elementler olarak düşünülmektedir.

İz elementler deniz suyundan doğrudan çökelmezler. Toplam yoğunlukları zaman içinde artmadığından, bunlar deniz suyundan çeşitli mekanizmalar kanalıyla ayrılıp çökel kayalarını oluşturan karbonatlar gibi önemli minerallere katılmaktadırlar. Bu mekanizmalar üç türdür. Katı eriyik oluşması (tam anlamıyla eşçökme ve iz elementin katı içerisinde homojen veya heterojen olarak dağılması), yüze toplama (yani adsorpsiyon), veya gaz veya sıvıları emerek özümseme (oldüzyon). Doğada bu her üç mekanizma da aynı zamanda çalışır. Her birinin önemi, kristal büyüme hızı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Durum ne olursa olsun, bir karbonatın iz element içeriği ile çökelenin olduğu suyun içindeki iz element konsantrasyonu arasında bir ilişki vardır. Bu nedenle deniz suyunda zaman içinde meydana gelen uzun (milyonlarca yıl) ve kısa (bir milyon yıldan az) vadeli Sr salınımları gibi olaylar, özellikle kireçtaşları içinde önemli kimyasal izler bırakırlar. Bunlar detaylı olarak incelenerek zaman içinde tüm dünya okyanusları için geçerli izotop salınım eğrileri üretilir (ör. Şekil 16). Sonra, aynen müknaatıslama takviminde olduğu gibi, yaşı bilinmeyen bir istifin izotop kaydı, eldeki global kayıtlarla karşılaştırılarak global kaydın en çok benzeyen parçasıyla eşleştirilir ve böylece yaşı elde edilmiş olur.³⁷



Şekil 16. Son 140 milyon yılda açık denizlerde çökelmiş olan kireçtaşlarında görülen Sr salınımları. Burada uzun-dönem (≥ 50 milyon yıl) ve kısa dönem (<10 milyon yıl) salınımlara dikkat ediniz (Renard'ın 37. nottak makalesinin 2. şekli; ppm=milyonda bir).

Yukarıda anlatılan yöntemlerle yer tarihi için zaman koordinatlarımızı nasıl çizebileceğimizin ana hatları belli oldu. Peki bu işi jeologlar gerçek hayatta nasıl yapmaktadırlar, nasıl yapmışlardır? Bu sorunun cevabı modern bilim tarihinin en şanlı sahifelerinden birini dolduran büyük bir destanın hikâyesidir. Destanın kahramanları tüm uygar ulusların jeologlarıdır.

Jeolojik Tarihçe

Tarihçi nasıl tarih yazar? Tabii ki belgelerle. Bu belgeleri ikiye ayırır: Yazılı ve yazısız belgeler. Yazısız belgeler geçmişten bize kalan yazılı olanlar dışındaki herşeydir: Eski tapınaklar, kale duvarları, evler, bir eski koltuk, eski bir gözlük, ümmî ozanın terennüm ettiği bir destan, masal ... ve daha aklınıza ne gelirse. Tarihçi yazılı belgeleri okur, yazısızları da onlar ışığında ek bilgi için kullanır. Atatürk'ün golf pantolon giydiğini okumak başkadır, resimde görmek başkadır, Anıt-Kabir'e gidip o golf pantolonun kendisini görmek başkadır. Meselâ ben Anıt-Kabir'deki pantolonu görene kadar Atatürk'ün ne kadar ufak-tefek bir adam olduğunu kafamda canlandıramamıştım.

Arkeolog da tarihçi gibi hem yazılı hem de yazısız belge kullanır, ama oranlar değişmiştir. Arkeoloğun karşısındaki yazısız belge oranı tarihçininkinden yüksektir. Prehistoryacı jeologla tarihçi arasındaki akrabalığın jeoloğa en yakın halkasıdır. O tamamen yazısız belge ile uğraşmak zorundadır. Jeolog da hemen tamamen yazısız belgelerle uğraşır (depremlerin tarihiyle veya Dördüncü Zamanın tarih çağlarıyla çakışan bölümünün jeolojisiyle uğraşanlar hariç). Fakat bunlar bölük pörçük bilgi kırıntılarıdır. Jeolog, nesiller süren bir sabırla bu kırıntıları toplar, sahifeleri parçalanmış bir kitabın parçalarını derleyip okumuşçasına bu perakende kalıntılardan toptan bir geçmiş baştan kurmaya çabalar.³⁸ Ancak kırıntıların kendileri bile pek ender durumlarda karşımıza tamam bir halde çıkar: Bir fosil kemiğin yarısı, dağlar içinde oluşmuş kayaç kıvrımlarının yalnızca dip kısımları, bir mineral kristalinin kırık ucu ... Baştan kurma sürecinde kalıntıların bu eksikliklerini jeolog kafasında tamamlar. Neye göre? Parçalarını bulduğu nesnenin veya bazı etaplarını deşifre edebildiği sürecin tamamı hakkında oluşturduğu modellere göre. Bu modeller nasıl kurulacaktır? Modeli kurulacak nesnelere ve süreçlerin günümüzde şüphelendiğimiz benzerlerine veya onları oluşturduklarını sandığımız doğa yasalarının gereğine göre.

Nesnelere ve süreçlerin günümüzde bildiğimiz benzerlerine göre baştan

kurulmaları prensibine "güncelcilik" (=aktüalizm) denir.³⁹

Peki, bu güncelcilik prensibi temelde tarih fikrine aykırı değil mi? Nesnelere ve olaylar değişmeden tarih olur mu? Peki nesnelere ve olaylar değişiyorsa, geçmişteki olay ve nesnelere nasıl bugün olan olay ve mevcut nesnelere benzeterek baştan kurabiliriz? Bu itiraz temelde çok haklıdır. Birbirine benzeyen şekillerin aralarında bulunmuş olduğunu var saydığımız geçiş şekillerinin varlığını güncelcilik prensibi sayesinde mi tahmin edebiliyoruz? Diyelim ki bir faytondan bugünkü lüks otomobile birdenbire mi geçildi yoksa adım adım başka ara şekiller üretilerek mi geçildi? Peki, biz niçin yalnızca faytona ve günümüzün Mercedes'ine bakarak gelişmenin birinden diğerine tek bir adımda değil de pek çok adımda olduğunu tahmin edebiliyoruz? Gayet basit: Yaşamımızda hemen hiçbir şey o denli dev sıçramalarla olmuyor da ondan. Otomobil modelleri, uçak modelleri, inşaat stilleri, elbiseler, modaları, oyuncak çeşitleri hep ufak adımlarla değişiyor. Onun için, birbirinden türediğini sandığımız fakat birbirine pek benzemeyen iki nesne gördüğümüz zaman, ikisinin arasında daha pek çok geçiş şeklinin de olmuş olması gerektiğini düşünüyoruz hemen.

Olayların zaman içinde türlerinde ve hızlarında âni ve büyük değişiklikler olmadığını savunan prensibin adı "tekdüzecilik"tir (=üniformitariyanizm).⁴⁰

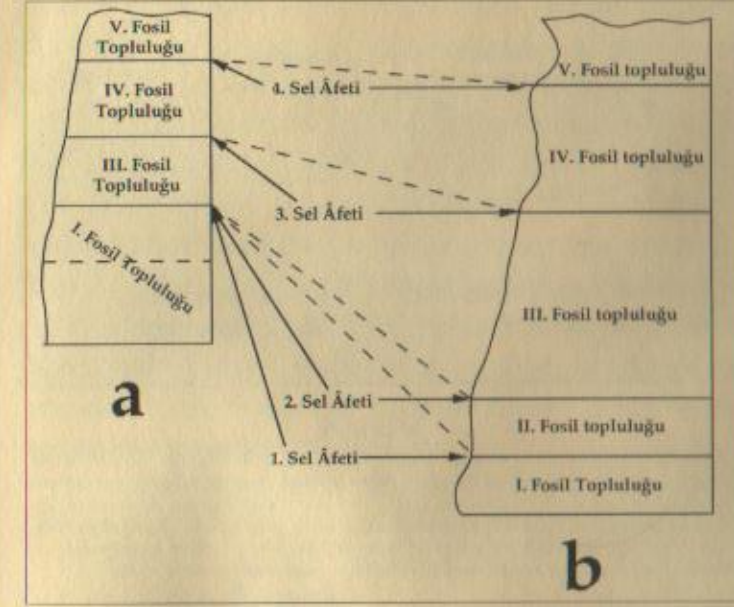
Birbirine benzeyen tiplerin de arasında bulunmuş olduğunu var saydığımız geçiş şekillerinin varlığını işte bu tekdüzecilik prensibi sayesinde tahmin edebiliyoruz. Bu prensip bize çok mâkul görünmekle beraber, yer tarihi incelemelerinde bunun temel alınması uzun bir zaman almıştı. İlk defa İskoçya'da James Hutton (1726-1797) bunu açık bir şekilde dile getirmiş,⁴¹ daha sonra memleketlisi Sir Charles Lyell *Jeolojinin İlkeleri*'nde bu prensibi yer tarihinin her cephesine uygulamıştı.⁴² Bu prensip hele yer şekillerinin, ekserisi dağların, dağları oluşturan jeolojik yapıların meydana gelmesinin açıklanmasında çok aydınlatıcı bir rol oynadı. Bugünkü derelere, plajlara bakanları eski bazı kumtaşlarının nasıl oluştuğunu, güncel bataklıkları bilenler eski kömürlerin nasıl doğduğunu, günümüzde olan depremleri iyi inceleyenler dağların nasıl yükselmiş olabileceğini anlıyorlardı.

İşte jeolojik tarihi bizler bu güncelcilik ve tekdüzecilik ilkelerini düşüncelerimize başlangıç noktaları olarak alıp kurmağa başlıyoruz. Peki elimizde deki belgeler nelerdir? Kayaç kütleleri ve fosiller. Dünya yüzeyinin tarihini en iyi kaydını tutan kayaçlar çökel kayaçlarıdır. Bunlar içerisinde hem dünyanın eski yüzeylerinin fiziksel belgeleri, hem de eski yaşamın şahitleri ola-

fosiller vardır. Hoş bir rastlantı olarak da bu kayaçlar yapı ve oluşumlarının anlaşılması en kolay kayaç türleridir. Bunların çoğu akışkan bir ortamda (su veya hava) çökerek oluşmuşlardır ve tabakalı bir yapıya sahiptirler. Bu basit gözlemden şu üç önemli prensip çıkar: 1) Tüm tabakaların alt ve üst sınırları genellikle ufka paralel uzanırlar (öyle değilse, çökmeden sonra yer değiştirmiş olmalıdırlar). 2) Üst üste duran tabakalarda, en alttaki ilk çökelmiş olan, yani en yaşlı, en üstteki de en son çökelmiş olan, yani en genç olandır (Şekil 11'deki ilişkileri yorumlarken düşündüklerimizi hatırlayın!). 3) Tüm tabakaların yatay uzanımı, tabakalanma ortamının sınırlarıyla hem-sınırdır. Bir başka deyişle, tabakalar içinde çökeldikleri havzanın kenarlarına kadar uzanırlar. Bu basit, basit olduğu kadar da bugün bize âşikâr görünen üç prensip, çökel kayaçlarına bakarak bir yerin geçmişinde olan olayların karakteri ve oluş sırası hakkında birşeyler söyleyebilmek için yer bilimcinin eline müthiş silâhlar vermiştir.

İlk jeologlar belli bir yerde gördükleri bir tortul istifini, tüm dünyada aynı şekilde ve aynı zamanda olan bir çökmenin eseri sanmışlar, buna göre bir kayaç kronolojisi üretmeye çalışmışlardır. Hemen tüm 18. yüzyıl ve 19. yüzyılın ilk on-yirmi yılı bu yanılgının etkisi altında geçmiştir. Ancak hızla ilerleyen çalışmalar bunun bir yanılgı olduğunu, kayaç tipine bakılarak kayacın çökme zamanının söylenemeyeceğini göstermiştir. Bu sıralarda fosil çalışmaları imdada yetişmiş, belli bir istif içerisinde düşey olarak hareket edildiğinde kayaçların fosil içeriklerinde önemli *tek yönlü ve kıt'asal, hattâ kıt'alararası mesafelerde hep aynı kalan* değişiklikler olduğu gözlenmiştir. İngiltere'de William Smith (1769-1839), Fransa'da Georges Cuvier (1769-1832) ve Alexandre Brongniart (1770-1847), bir kayaç kütesinin fosil içeriğinin o kayacın başka kayaçlarla zaman denestirmesini mümkün kılacağını ileri sürmüşlerdir.⁴³ Bu cesur görüş tamamen Cuvier'nin âfetler kuramına dayanıyordu. Bu kurama göre geniş bir bölgede yaşam arada bir çok büyük bir sel âfetiyle imha oluyor, yerine başka bir yerden başka hayvanlar geliyordu. Bu da yükselen bir istifte değişik fosil toplulukları olarak karşımıza çıkıyordu (Şekil 17).⁴⁴ Şekil 17'de iki kayaç istifi içerdikleri fosil topluluklarına göre birimlere ayrılmışlardır. a istifi I., III., IV. ve V. fosil topluluklarını içermektedir. Bu topluluklar kayaç türünden bağımsızdır. Bunu vurgulamak için a istifinde I. fosil topluluğunun olduğu iki değişik katman işaret edilmiştir. b istifinde ise I'den V'e fosil toplulukları aralıksız mevcuttur. Cuvier'nin yorumuna göre her fosil topluluğu sınırı, sınırın altındaki hayvanları

öldürmüş olan bir büyük sel felâketine karşılık gelmektedir. a istifinde I'de doğrudan III'e geçildiğine göre ya burada II fosillerini barındıracak kayaçlar hiç çökmemiştir, ya da çökeldikten sonra aşınıp gitmiştir (kayaçların faylanmasını içeren bir diğer ihtimali burada göz önüne almıyorum). Dolayısıyla, bu istifte 1. ve 2. sel âfetlerini ayırmak mümkün değildir. Demek ki istifi olması biz bu iki âfeti tek bir âfet sanacaktık.



Şekil 17. Cuvier'nin stratigrafisi. Açıklama için metne bkz.

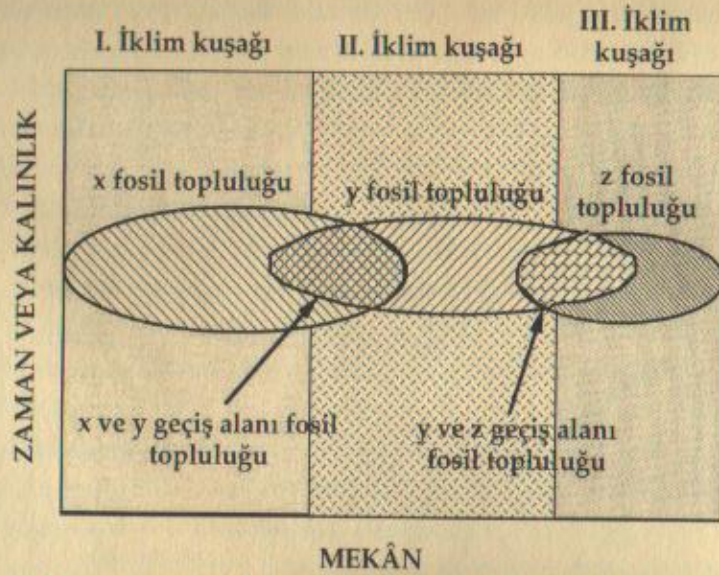
O'ndan sonraki yıllarda birbiri ardına gelen buluşlarla güçlendi. Evrim, aynı zamanda bir *zaman oku* olarak da görev yapıyor. Canlı türleri sürekli olarak zaman içerisinde yukarı doğru dallanıp budaklanıyorlar. Ancak Cuvier'in koyduğu, fosile göre denestirme yöntemi, geçerliliğini aynen koruyor. Bunun en önemli nedeni yeryüzünde jeologun ulaşabildiği çökel kayaçlarının çoğunun denizel kayaçlar olması, yani bir zamanlar deniz içinde bulunan ve bugün çeşitli nedenlerle deniz üstüne çıkmış kayaçlar olmaları. Deniz ortamlarında çeşitli canlılar çok geniş bir coğrafi dağılım kazanabiliyorlar. Bu nedenle Karayipler'de bulunan bir fosil, aynı yaş kayaçlarda Akdeniz'de de bulunabiliyor veya Akdeniz'de bulunan bir fosil Güneydoğu Asya'da bulunabiliyor. Gerçi iklim kuşakları canlıların geniş dağılımına bir engel oluşturuyor. Ama bunların sınırlarının keskin olmaması geçiş alanlarında iki iklim bölgesine ait canlıların birarada yaşamasına izin veriyor. Dolayısıyla biz

kayaçlar içinde eş zamanlı iki fosil topluluğunun temsilcilerini bir kesitte görerek denestirmelerimizi bir iklim kuşağından diğerine uzatabiliyoruz. Şekil 18 bunu şematik olarak göstermektedir.

Bu şekilde üç iklim kuşağına has üç fosil topluluğu resmedilmiştir. Ordinat ekseninin zaman veya kalınlık olarak verilmesinin nedeni okuyucunun resmedilen canlı topluluklarını isterse dünya yüzünde yaşayan canlılar isterse de kayaçlara gömülmüş fosiller olarak düşünebilmesi

amacıdır. Burada x fosil topluluğunun karakteristik üyelerinin iklim kuşağı sınırına yakın yerlerde y fosil topluluğunun fosilleriyle karıştığı görülmektedir. Aynı şey II. ve III. iklim kuşaklarının sınırına yakın yerlerde y fosil topluluğunun temsilcileriyle z fosil topluluğunun temsilcilerinin başına gelmektedir. Bu karışma alanları sayesinde biz I. iklim kuşağından III. iklim kuşağına kadar x, y ve z fosillerinin temsil ettiği canlıların yaşadığı zaman aralıklarında çökelmiş tortul kayaçları birbirleriyle denestirebiliyoruz.

Şekil 19, muhtelif kayaç istiflerinin karşılaştırılmasıyla tüm dünyada geçerli bir jeolojik takvimin nasıl oluşturulduğunu gösteriyor. A, B ve C istifleri çeşitli çökel kayacı türleriyle temsil edilen istiflerdir. Kayaç türünün buradaki denestirmelerde hiçbir rol oynamadığına dikkat ediniz. Denestirmelerde kullanılan I'den VI'ya kadar olan fosil topluluklarının temsil ettikleri zamanlardır. Bu zamanlar istiftten istife fosil toplulukları kullanılarak denestirilir. Görüldüğü gibi her istifte her zaman temsil edilmemektedir. Meselâ, A

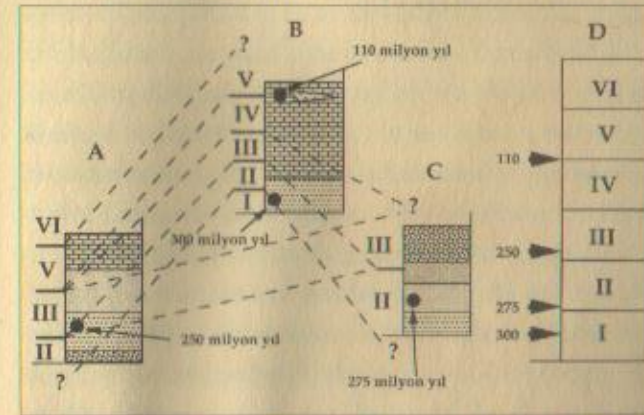


Şekil 18. Apsisi mekân, ordinatı zaman veya kayaç istifi kalınlığı olan bu grafik zaman ve mekânda üç iklim kuşağını ve bu üç iklim kuşağına has x, y ve z canlı gruplarının fosillerinin dağılımını gösteriyor. İklim kuşaklarının sınırlarının keskin olmaması, bu sınır bölgelerinde karışık canlı gruplarının yaşamasını içtaç eder. Bu karışık gruplar bir grubu diğerine bağladığı için I. iklim kuşağından III. iklim kuşağına kadar sürekli fosil denestirmesi yapmamız mümkündür.

istifinde IV. fosil topluluğunun temsil ettiği zaman aralığı hiç yoktur. Bu ya hiç kaydedilmemiştir (yani o zaman aralığında kayaç oluşmamıştır), ya bu zamanın kayaçları burada çökelmiş ve sonra aşınmışlardır veya faylanmayla gitmiştir. Buna mukabil B'de VI eksiktir. C'de pek çok kayaç türü olmasına rağmen yalnızca iki zaman aralığı, II ve III, o da eksik olarak vardır. Jeolog, bulabildiği en tamam (ve tercihan denizel kayaçlardan oluşan) kesitleri kullanarak D'deki takvimi oluşturur. Eğer bu takvim yalnız fosillerle yapıldıysa, burada gene yalnızca fosil topluluklarının birbirlerine nazaran önce-sonra ilişkisinden bahis olunabilir, yıl olarak bir zaman değeri verilemez.

Fakat diyelim ki siyah daireciklerle belirtilen dört mahalde radyometrik yaş tayinleri yapılmıştır. A istifinde III'ün alt sınırına yakın bir yerlerden 250 milyon yıl elde edilmiştir. Buradaki "III'ün alt sınırı" gerçekten III fosil topluluğunun tamamının temsil ettiği zamanın en erken anına yakın mıdır bilemeyiz. Biz sadece A istifindeki gözlemimizi kaydederek bunu D'deki genel takvimimizde şimdilik kaydıyla III'ün alt taraflarına bir yere yazalım. Eğer ileride B veya C istiflerinden III'ün alt taraflarına yakın daha eski yaşlar elde edilirse bunları bir önce yazdığımız ile III'ün alt sınırı arasına, en eski en alta gelecek şekilde ekleriz.

B istifinde iki yaşımız var. Biri I'in üst sınıra yakın, değeri 300 milyon



Şekil 19. Münferit tortul kayaç istiflerinden evrensel bir jeolojik takvimin çıkarılması. Açıklama için metne bkz.

verimiz az; 2) I ve II fosil topluluklarının sınırı 275 ile 300 milyon yıl önce arasında bir yerde; 3) II ve III'ün sınırı da 275 ile 250 milyon yıl önce arasında, ama her halde 250'ye daha yakın. III ve IV sınırı hakkında 250'den genç, 110'dan yaşlı olduğu dışında pek bir şey söylemek zor. Şimdilik buna ((250-110)/2)+110=180 diyelim fakat yeni gözlemleri bekleyelim. V ve VI sınırının

yıl. Diğerleri IV ile V sınırında bir volkanik arakatkidan; değeri 110 milyon yıl. C istifinde II'nin alt sınıra yakın bir 275 milyon yıllık yaşımız var. Bunları da D'de görüldüğü gibi yerleştiririm. Buradan şu çıkıyor. 1) Detaylı bir şeyler söylemek için

özel bir durumu var. Bu sınır tesadüf tam üstüne gelen bir yaş tayiniyle 110 milyon yıl olarak belirlenmiş. V ve VI sınırının durumu ise III ve IV'ünküne benziyor. 0 ile 110 arasında. Buna da şimdilik $110/2=55$ diyelim, ama yeni gözlemleri dört gözle bekleyelim.

Jeolojik takvimin kurulmasının ana ilkeleri buraya kadar anlattıklarımızdan ibarettir. Radyometrik yaşlarla destekli böyle bir takvimi ilk defa 1917 yılında Amerikalı jeolog Joseph Barrell yayımlamıştır. Daha sonra da pek çok detaylı takvimler yayımlandı (Türkçe jeolog dilinde bunlara jeolojik zaman cetveli veya skalası denir). Bu takvimlerin detaylandırılması giderek daha detaylanan yerel paleontolojik (fossil) çalışmaların yapılması, bu çalışmaların hassas radyometrik yaş tayinleriyle iyi yaşlandırılması, yukarıda gösterilen döngüsel zaman göstergelerinin bu çalışmalar içinde çok daha detaylı aralıkları tarihlendirmesinin temini ve bu yüzyılda yeni geliştirilmiş olan paleomanyetizma ve kemostratigrafi gibi yöntemlerin bunlara uygulanmasıyla olur. Bu çalışmalar hâlen sürmekte, jeolojik takvim giderek daha detaylı bir hal almaktadır.⁴⁶

Jeolojik Takvimin Tarihsel Kökleri ve Kategorileri

Katlamalı ekte, bugün yaygın olarak kullanılan jeolojik takvimin bir çeşidi gösterilmektedir. İlk göze çarpan, bu takvim üzerindeki garip isimlerdir. Önce bu garip isimlerin Eonotem⁴⁷/eon, eratem⁴⁸/zaman, sistem/devir ve seri/epok ve kat/çağ'lara ayrılmış olduğunu görüyoruz. Bu ikili sınıflama nedir diye merak edebilirsiniz: Yukarıdaki terim çiftlerinin birincisi *herhangi bir zaman dilimini temsil eden kayaç paketlerini*, ikincisi de *o zamanın kendisini* ifâde eder. Meselâ a sisteminin kayaçları, a devrinde oluşmuştur (veya, bir başka ifâde ile, a kayaç istifi birikirken, a devrinin temsil ettiği zaman geçmiştir). Bunların 540 milyon yıldan daha genç olanlarının hepsi, muhtelif fossil gruplarının temsil ettikleri zaman aralıklarına verilmiş adlardır. Bu adların bazıları 18. yüzyılda fakat ekserisi 19. yüzyılda verilmiş olduklarından belli bir terminolojik disiplinden yoksundurlar. Aşağıda çok kısa olarak bunların tarihçelerini, okumayı güçleştirmemek için detaylı kaynak göstermeden vereceğim.⁴⁹

İlk adlandırılan devir *Terstyer'*dir. "Üçüncü" anlamına gelen bu adı İtalyan jeologu Giovanni Arduino (1714-1795) Lombardia'dan Venedik'e uzanan Güney Alpler ve Toskana'nın son beş milyon yıl içinde çökelmiş olan kayaçlarını betimlemek için teklif etmiştir. Kendisinin daha önce "İkinci"

(Sekonder) adını verdiği kayaçların üzerine gelen kireçtaşları, kum ve volkanik camdan oluşan kütlelerdir bunlar. Tersiyer'den sonra adlandırılan devir *Karbonifer'*dir. "Kömürlü" anlamına gelen bu kelime 1822'de İngiltere'nin jeolojisi hakkında yazılan ilk genel kitapta W. D. Conybeare (1787-1857) ve W. Philipps (1775-1828) tarafından gözden geçirdikleri istifin bir parçası olarak "Kömürlü Düzen" (Carboniferous Order) olarak teklif edilmiştir. Conybeare ve Philipps *Kretase* (=tebeşirli) adını da kullanmışlarsa da bunu *Terrain de Crétace* (=Kretase yereyi) adı altında yaygınlaştıran Belçikalı jeolog J. B. J. d'Omalus de Halloy'dur (1783-1875). *Jura* Devri, adını, büyük coğrafyacı Alexander von Humboldt'a (1769-1859) borçludur. 1799 yılında bu adı Jura Dağları'ndaki bazı kireçtaşları için kullanmıştır von Humboldt. Ama adın bir devir adı olarak tutması von Humboldt'un arkadaşı Leopold von Buch'un (1774-1853) 1839 yılında Almanya ve civarındaki Jura yaşlı kayaçları detaylı bir şekilde gözden geçiren bir yayınıyla olmuştur.

Fransız jeologu Paul G. Desnoyers, Seine nehri havzasının bazı çökellerinden bahsederken ilk defa bunları *Kuaterner* (Quaternaire= Dördüncü) ad altında toplamıştır.⁵⁰ *Triyas* (=Üçlü) Alman jeologu Friedrich August von Alberti'nin (1795-1878) Almanya'da daha önce alttan üste ayrılmış *Buntsandstein* (=alacalı kumtaşı), *Muschelkalk* (kavkılı kireçtaşı) ve *Keuper*⁵¹ aralıklarını tek bir devir olarak tanımlayıp, bu devrin kayaçlarının (Almanya'da) "üçlü" karakterine atfen ona 1834'te verdiği bir addır.

Silüriyen ve *Kambriyen* terimlerinin kökeni Galler bölgesinde yaşayan eski Kelt kabilelerinin ve bölgelerinin adlarına dayanır. Bu bölgelerde çalışan Roderick Murchison (1792-1871) ve arkadaşı Adam Sedgwick (1785-1873) en yaşlı fosilli yereleri incelemek için işe başlamışlardı. 1835'te ortak yazılan bir makalede Sedgwick daha yaşlı olan kayaçlarda Kambriyen⁵² Sistemini adlandırdı. Onun hemen üstünde de Murchison, Silüriyen (Silures kabilesinden) adını verdiği sistemi tanımladı.⁵³ Ancak iki arkadaş daha sonra sınırın nereden çekilmesi gerektiği konusunda anlaşmazlığa düşerek darıldılar. Her ikisinin de ölümünden yıllar sonra, 1879'da Charles Lapworth (1842-1920) sınırda aslında bir üçüncü sistem daha tanımlanabileceğini ileri sürdü ve buna da geleneğe bağlı kalarak Ordvices kabilesinin adıyla *Ordovisiyen* ismini verdi.

Devonyen Sistemi, Murchison ve Sedgwick'in henüz dargın olmadıkları bir dönemde beraberce güney İngiltere'deki Devonshire'da bulunan istiflere dayanarak 1839'da isimlendirdikleri bir sistemdir. *Perm* Sistemi Murchison'un iki jeolog arkadaşı Baron de Verneuil ve Kont von Keyserling ile Rus

Çarı'nın daveti üzerine 1840 ve 1841 yazlarında Ural Dağları'na kadar uzanan arazi gezileri esnasında varlığının farkına vardığı bir sistemdir. Murchison'un, Rusya'nın Uralların orta-güney kesiminde bulunan Perm bölgesinde, başka yerlerden tanıdığı Silür-Devon-Karbon istifini izleyip bunların üzerinde Triyas'ı beklerken aksine daha önce hiç bilmediği fosil gruplarına rastlamış olması kendisini hayrete düşürmüştü. Murchison bunun yeni bir sistemi haklı gösterecek kadar farklı bir fosil grubu olduğunu derhal farkederek 1841'de, Rusya'dan ayrılmadan Rus Bilimler Akademisi'ne bir mektup yazıp bu yeni sistem için Perm adını teklif etmiştir.

Görüldüğü gibi bir tek Ordovisiyen dışında bugün kullandığımız tüm Kambriyen ve sonrası sistemler 1850'ye kadar oluşturulmuştu. Bunlar gene fosil grupları kullanılarak daha küçük birlikler olan serilere, katlara, onlar da çağlara bölündü. Bu bölünme işi bugün bile son şeklini almış değildir ve her geçen gün yeni veriler getirmektedir. Buna karşılık sistemleri daha büyük gruplara toplamak, önce Sedgwick'in aklına gelmiş, Triyas'ın altında olan en yaşlı fosilli serileri 1838'de Londra Jeoloji Cemiyeti'ne verdiği bir konferansta Paleozoyik (=eski yaşama ilişkin) Serisi adı altında toplamıştı. Mesozoyik (=orta yaşama ilişkin) ve Kenozoyik (=yeni yaşama ilişkin) terimleri ise William Smith'in yeğeni olan jeolog John Philipps (1800-1874) tarafından 1840 yılında *Penny Cyclopaedia*'ya yazdığı bir makalede kullanılmıştır. Bu arada çok yakın zamana kadar özellikle kıta Avrupasının kullanımında Tersiyer'e Üçüncü Zaman, Kuaterner'e de Dördüncü Zaman deme alışkanlığı vardı. Ancak Tersiyer'in ve Kuaterner'in Kenozoyik'in devirleri olarak kabul edilmesi bu kullanımı uygunsuz hâle getirmiştir. Türkçe'de hâlen alışkanlık nedeniyle Üçüncü ve Dördüncü Zaman terimleri -benim bu yazıda yaptığım gibi- kullanılmaktadır.

Kambriyen'den önceki dönemlerin (tüm yer tarihinin 8/9'u!) tarihinin yazılıp takviminin çıkarılması ise ancak radyometrik yaş tayinlerinin sayı ve güvenilirliklerinin artmasından sonra, yani 1960'lardan sonra ciddi bir şekilde yapılabilmektedir. Kambriyen'den önce fosillerin çok az olması, olan bir avuç fosilin büyük mesafelerde sağlıklı deneye henüz izin vermemesi, burada fosil gruplarına dayanan zaman dilimlerinin tanımlanmasını olanaksız hale getirmiştir. Pre-Kambriyen, yani Kambriyen öncesi denilen bu dönem hayat izlerince fakir olduğundan buna pre-Fanerozoik, yani Fanerozoik (=sarih yaşam) öncesi de denmektedir. Bu durumda Fanerozoik, Paleozoyik, Mesozoyik ve Kenozoyik eratemlerini kapsayan bir eonotem olmaktadır.

Pre-Kambriyen'in bugün en yaygın kullanılan iki Eonotemi Arkeen (4 milyar yıl öncesinden 2,5 milyar yıl öncesine; 1872'de Amerikalı J. D. Dana [1813-1895] tarafından *Arkeozoik* olarak oluşturulmuş; Yunanca ἀρχή den=başlangıç) ve Proterozoik'tir (2,5 milyar yıl öncesinden 540 milyon yıl öncesine; Yunanca πρότερος=ilk'den, ilk yaşam anlamında; 1888'de Amerikalı S. F. Emmons [1841-1911] tarafından). Bunların da altında olan Priskoen'in (Lâtincede *priscus*'tan, önceki, eski, ilkel; 1982'de İngiliz W. Brian Harland ve arkadaşları tarafından) dünyadan bildiğimiz verileri yoktur (yaşları 4 milyarı geçen birkaç zirkon kristali dışında!).

Sonuç

Jeolojik takvim son derece detaylı gözlem, dâhiyane denebilecek vukuf, heyecanlı ve sürekli bir uluslararası işbirliği ve yerlerinden sökülüp atılması çok zor, pek çoğu için de belki gereksiz olan derin köklü geleneklerin ortak bileşkesi olarak insan aklının ve becerisinin kendisine diktığı en muhteşem anıtlardan biridir. 1811 (Cuvier ve Brogniart'ın ilk etrafı "takvim" yayınları) ve 1840 arasında fosilli yerlerde Ordovisiyen hariç tüm sistemlerin tanımlanmış olması ve bu tanımları bugün hâlâ bütün dünyada kullanabilmemiz gerçekten inanılması güç bir başarıdır. Tüm fosil yakıtlarımızın, içtiğimiz suyun pek çoğunun, kullandığımız madenlerin, inşaatlarımızı yaptığımız zeminin tabiatının bu bilgilere bağlı olduğunu düşünürseniz, bu muazzam işin insan yaşamı için kıymeti daha da iyi anlaşılır. Jeologlar 1969 yılından beri Ay'da aynen Dünya'da yaptıkları gibi bir jeolojik takvim oluşturmak ve bunu dünya takvimiyle denestirmek işiyle meşguldürler. Bu sayede dünyamızda kaydı kalmamış olan 4 milyar yıl öncesi (=Priskoen) tarihimizi de öğrenebiliyoruz. Merih'te de benzer bir faaliyet sürmektedir. Venüs, yüzeyini gizleyen yoğun atmosferi ve yüksek sıcaklığı (-600°C) nedeniyle daha zor bir hedef olmakla beraber orada da jeolojik çalışmalar önemli bir mihale katetmişlerdir. Daha uzak gezegenlere gönderilen uzay sondalarının da jeolojik haberler gelmeğe başlamıştır. Jeoloji yakında tüm Güneş sistemi ni kucaklayan bir bilim haline gelecek, bu sistemin tarihi de onun oluşuma çağı takvimle düzenlenebilecektir. Bilim felsefecisi Denis Shaw bir keresine "geometrik ve pervâsızca şunu söylemek isterim ki, yalnızca iki bilim vardır: biyoloji ve jeoloji" demişti. Fizik ve kimya gibi bilimlerin evrenin ve yaşamın anlaşılabilmesi için genel ve idealize süreçleri tesbit ederek bunları yasalara bağlamağa çalışan servis disiplinleri olarak düşünürsek, bu pervâsızca söylenmiş söz kulağımıza ne kadar doğru gelmeğe başlar!

Tesekkür

Eğitici bir amacı olan bu makalede sunuş tarzı ve kısmen mantığı dışın-
da orijinal hiçbir şey yoktur. Bu makalenin içeriğini oluşturan bilgileri ben
son yirmibeş yıldır Ian Evans, W. Brian Harland, Jean Marcoux ve Mehmet
Sakıncı'la tartıştım. Kendilerinden pek çok şey öğrendiğim bu dostlarıma
minnet borçluyum. Enis Batur'un böyle bir yazıyı birbuçuk haftada yazabi-
leceğine olan sarsılmaz inancı olmasaydı, bu yazı herhalde ortaya çıkmaz-
dı.

Kaynaklar ve Notlar

- 1 Bu yazıda ele alınanlar, jeolojide tarihsel jeoloji ve stratigrafi dallarının konuları arasına gi-
rer. Bu bilim dallarında bilgisini derinleştirmek isteyenler için şu genel kaynaklar tavsiye
edilebilir (bu konuların hiçbirinde Türkçe tek bir tatminkâr kaynak yoktur):
Tarihsel Jeoloji: **Cloud, P.**, 1978, *Cosmos, Earth, and Man—A Short History of the Universe*:
Yale University Press, New Haven, xvi+372 ss; **Coppens, Y.** (misafir editör), 1991, *From the
Stars to Thought: Diogenes*, no. 155, 147 ss; **Allègre, C.**, 1992, *Introduction à une Histoire
Naturelle*: Fayard, Paris, 411 ss; **Windley, B. F.**, 1995, *The Evolving Continents*, 3rd edition:
John Wiley & Sons, Chichester, xvi+[1]+526 ss; **Condie, K. C. ve Sloan, R. E.**, 1998, *Origin
and Evolution of the Earth—Principles of Historical Geology*: Prentice Hall, Upper Saddle Ri-
ver, NJ, viii+498 ss.
Stratigrafi: **Prothero, D. R.**, 1990, *Interpreting the Stratigraphic Record*: W. H. Freeman, New
York, xii+410 ss; **Harland, W. B.**, 1992, *Stratigraphic regulation and guidance: A critique of
current tendencies in stratigraphic codes and guides*: *Geological Society of America Bulletin*,
c. 104, ss. 1231-1235; **Doyle, P., Bennett, M. R. ve Baxter, A. N.**, 1994, *The Key to Earth
History—An Introduction to Stratigraphy*: John Wiley & Sons, Chichester, [iv]+231 ss; **Salva-
dor, A.**, editör, 1994, *International Stratigraphic Guide—A Guide to Stratigraphic Classificati-
on, Terminology, and Procedure*, second edition, The Geological Society of America, Inc., Bo-
ulder, xix+214 ss; **Decrouez, D., Furrer, H., Weissert, H. ve Wildi, W.**, 1997, *Geologie und
Zeit*: Schweizerische geologische Kommission, Hochschulverlag an der ETH (Zürich), 62 ss.
- 2 **Edwards, W. N.**, 1967, *The Early History of Palaeontology*: Trustees of the British Museum
(Natural History), London, s. 40.
- 3 **Lyell, C.**, 1830, 1832, 1833, *Principles of Geology, being an attempt to explain the former chan-
ges of the Earth's surface, by reference to causes now in operation*, c. I (XV+509), c. II
(xii+330), c. III (xxxi+IV levha+1 harita+398+109 ss.): John Murray, London. Bu eser 1875
yılına kadar 12 baskı yapmış, birinci baskının bir tükibası, M. J. S. Rudwick'in uzunca
bir giriş yazısı ve Lyell'in nâtamam olarak verdiği tüm kaynakları tamamlayarak oluşturdu-
ğu çok faydalı bir bibliyografya eşliğinde 1991 yılında Chicago University Press tarafından
karton kapakla tekrar basılmıştır.
- 4 Benim "Coğrafya: Sürgündeki kraliçe" adlı yazıma bkz.: *Cumhuriyet Bilim Teknik*, sayı 572
(7 Mart 1998), s. 5; şimdi şurada tekrar basılmıştır: **Şengör, A. M. C.**, 1999, *Zamrütname*:
Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, s. 64.
- 5 **Richards, E. G.**, 1999, *Mapping Time: The Calendar and Its History*: Oxford University Press,
Oxford, 352 ss.
- 6 Zaman hakkında bkz. **De la Harpe, J.**, 1941, *Genèse et Mesure du Temps*: Université de Ne-
uchâtel, Recueil de Travaux publiés par la Faculté des Lettres, 20. fasikül, Neuchâtel, 180 ss;
Frazer, J. T., 1987, *Time, the Familiar Stranger*: Tempus, Redmond, xvi+388 ss; **Le Poide-
vin, R. ve MacBeath, M.**, editörler, 1993, *The Philosophy of Time*: Oxford University Press,

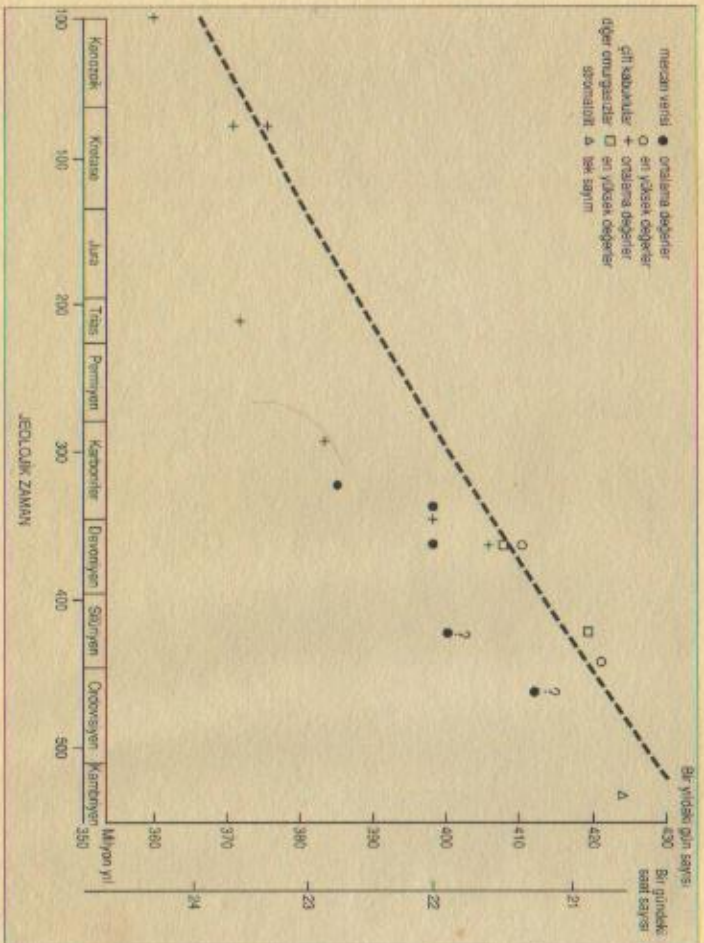
- Oxford, vi+230 ss; **Pickover, C. A.**, 1998, *Time—A Traveller's Guide*: Oxford University Press,
Oxford, xviii+285 ss. Zamanın oku konusunda şu esere de bkz. **Hawking, S. W.**, 1988, *A Bri-
ef History of Time—From the Big Bang to Black Holes*: Bantam Press, London, özellikle 9. bö-
lüm (bu eserin Sabit Say ve Murat Uraz tarafından *Zamanın Kısa Tarihi* başlığıyla çevrilen
Türkçesi Milliyet yayınlarından 1988'de çıkmıştır). Doğa bilimleri dışında zaman kavramı
için (her ne kadar bunun zamanın ne olduğunun anlaşılmasına herhangi bir katkısı olma-
mıssa da) bkz. **Uysal, A. E.**, 1966, *Concept of Time in English Literature*: Ankara Üniversitesi,
Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları sayı 164, VII+123 ss; **Şimşek, I.**, editör, 1997, *Za-
man*: 12'ye 1 Var: *Cogito*, sayı 11, yıl 1997, 275 ss. Zaman kavramının tarihteki evrimi için
bkz. **Whitrow, G. J.**, 1988, *Time in History—The Evolution of Our General Awareness of Time
and Temporal Perspective*: Oxford University Press, Oxford, xi+217 ss. Bu yazının konusunu
oluşturan jeolojik zaman hakkındaki fikirlerin evrimi için: **Albritton, C. C., Jr.**, 1980, *The
Abys of Time—Changing Conceptions of the Earth's Antiquity After the Sixteenth Century*: Pre-
eman, Cooper & Company, San Francisco, 251 ss; **Rossi, P.**, 1984, *The Dark Abyss of Ti-
me—The History of the Earth and the History of Nations from Hooke to Vico*, çeviren Lydia G.
Cochrane: The University of Chicago Press, Chicago, xvi+338 ss; **Gould, S. J.**, 1987, *Time's
Arrow Time's Cycle Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time*: Harvard Uni-
versity Press, Cambridge, xiii+222 ss.
- 7 Yukarıdaki mekân-zamanın tartışmasını ben Feynman'ın o muhteşem fizik ders kitabından
aldım: **Feynman, R. P., Leighton, R. B. ve Sands, M.**, 1963, *The Feynman Lectures on
Physics*, c. I: Addison Wesley, Reading, ss. 15.1-15.3 ve 17.1-17.2. Bu konuda anlaşılması ko-
lay açıklamalardan biri de Pickover'in yukarıda adı verilen kitabıdır.
 - 8 Eğer bir Yunan stadionunu bugün genellikle kabul edildiği gibi 157,50 metre alırsak. Litera-
türde stadionun uzunluğu hakkında yapılan tahminler 148 metreden 185 metreye kadar de-
ğişmektedir. Dolayısıyla Eratosthenes'in ölçümü de 37.000.000 m ile 46.250.000 m arasında
olmuş olabilir. Stadionun değeri konusunda bkz. **Harley, J. B. ve Woodward, D.**, 1987, *The
growth of an empirical cartography in Hellenistic Greece* (prepared by the editors from ma-
terials supplied by Germaine Aujac): Harley, J. B. ve Woodward, D., editörler, *The History
of Cartography*, cilt I'de (Cartography in Prehistoric, Ancient, and Medieval Europe and the
Mediterranean), The University of Chicago Press, Chicago, s. 148, not 3. Her hâlükârda bü-
yük Kirenelinin ölçümü muhteşemdir (Bu ölçümün nasıl yapıldığı için Harley ve Wood-
ward'ın aynı makalelerinin 154. 155. sayfelerine ve 9.4 numaralı şekline bkz.). O kadar ki,
kendisinden 1600 küsur yıl sonra Kristof Kolomb'un kabul ettiği ekvator uzunluğu O'mın-
kinden çok daha hatâlıydı.
 - 9 **Childe, G.**, 1951, *Man Makes Himself*: A Mentor Book from New American Library, New
York, ss. 59 ve sonrası.
 - 10 Bu konuda çok ilginç bir araştırma için bkz. **Ryan, W. ve Pitman, W.**, 1998, *Noah's Flo-
od—The New Scientific Discoveries About the Event that Changed History*: Simon & Schuster,
New York, 319 ss.
 - 11 **Dott, R. H., Jr. ve Batten, R. L.**, 1988, *Evolution of the Earth*, fourth edition: McGraw-Hill
Book Company, New York, s. 349, şekil 13.14.
 - 12 **De Geer, G.**, 1912, *A geochronology of the last 12,000 years: 11th International Geological
Congress, Stockholm, Compte Rendu*, c. 1, ss. 241-258; aynı yazar, 1940, *Geochronologia
Suecica, Principes*: Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 3rd series, v. 18, no.
6, Almqvist & Wiksells, Stockholm, Metin ve Atlas, 367 ss+ 1-53. levhalar; beyha 54-90 Atlas-
ta. Bilhassa şuradaki tartışmaya bkz. **Hsü, K. J.**, 1989, *Physical Principles of Sedimenta-
logy—A Readable Textbook for Beginners and Experts*: Springer-Verlag, Berlin, ss. 41-47.
 - 13 **Welten, M.**, 1944, *Pollenanalytische, stratigraphische, und geochronologische Untersuchen-
gen aus dem Faulenseemoos bei Spetz*: Geobotanisches Institut Rübel (Zürich), Veröffentlichun-
gen, no. 21, 201 pp. Welten'in sonuçlarını nakleden Flint (*Glacial and Quaternary Ge-
ology*, John Wiley, New York, 1971, s. 400), bu gözlemi ilk defa Oswald Heer'in 1865'de ya-
yınlanmış olan *Die Umwelt der Schweiz* adlı klasik eserinde yapmış olduğunu imâ ediyor. He-
er'in eserinin ilgili kısımlarını büyük bir dikkatle gözden geçirmeme rağmen Flint'in inşasını
haklı çıkaracak bir ipucuna rastlayamadım.

- 14 Resif, Büyük Coğrafi Keşifler döneminde İspanyol ve Portekiz gemicilerince Avrupa dillerine Arapça *ar-resif*=yol kelimesinden kazandırılmış bir terimdir. Gemicilik dilinde deniz düzeyine çok yakın bir seri sert kaya formasyonu anlamında kullanılır (sertliği ile sığlık veya bank, kumla gibi oluşumlardan ayrılır). Bu yolla da jeolojiye girmiştir, zira mercan resifleri deniz düzeyine çok yakın, sık sık seyrüseferi güçleştiren mântialar oluştururlar. Jeolojide resif denince genellikle fes şekilli, bazan dairesel, bazan da çizgisel uzanan kireçtaşı kayalıkları anlaşılır. Kireç zerkeden çeşitli hayvanlar resif yaparlar. Günümüzde bunun en yaygın mercanlardır.
- 15 **Wagner, G.**, 1936, Riffbildung als Maßstab geologischer Zeiträume: *Heimat, Naturwissenschaft und Mensch*, c. 49, ss. 157-160.
- 16 Bu ilişkiler 1842'de J. F. Adhemar'ın dikkatini çekmiş, James Croll bu fikri 1870'lerde geliştirmiş ve devrin paleocoğrafya yazılarında bu fikirler kullanılmıştır (ör. **Neumayr, M.**, 1883, *Klimatische Zonen während der Jura- und Kreidezeit: Denkschriften der kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, c. 47, ss. 277-310).
- 17 **Milankovitch, M.**, 1920, *Théorie Mathématique des Phénomènes Thermiques Produits par la Radiation Solaire*: Gauthier-Villars, Paris, 339 ss; **aynı yazar**, 1924, Milankovitch über das Verhältnis der Strahlung e und e sin α und deren säkulare Schwankungen: W. Köppen ve A. Wegener, *Die Klimate der Geologischen Vorzeit*'da, G. Borntraeger, Berlin, ss. 207-214; **aynı yazar**, 1930, *Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen: Handbuch der Klimatologie*'de, c. 1, 176 ss; **aynı yazar**, 1938, *Astronomische Mittel zur Erforschung der Erdgeschichtlichen Klimate: Handbuch der Geophysik*, c. 9, ss. 593-698.
- 18 Bu konuda rahat okunan öğretici bir kitap için bkz. **Hsü, K. J.**, 1992, *Challenger at Sea—A Ship That Revolutionized Earth Science*: Princeton University Press, Princeton, xxxi+416 ss.
- 19 İzotop: Bir elementin atom sayısı (yani proton adedi) aynı fakat atom ağırlığı (yani nötron adedi) farklı çeşitleri.
- 20 **Ruddiman, W. F. ve Raymo, M.**, 1988, Northern hemisphere climate regimes during the past 3 Ma: possible tectonic connexions: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, c. B318, ss. 411-430.
- 21 Bu konudaki en yeni ve güvenilir bilgiler için bkz. **Dewey, J. F. ve Pitman, W. C., III.**, 1998, Sea-level changes: mechanisms, magnitudes and rates: *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, no. 58, ss. 1-16.
- 22 Tüm bu veriler için bkz. **Bell, M. ve Walker, M. J. C.**, 1992, *Late Quaternary Environmental Change—Physical and Human Perspectives*: Longman, New York, ss. 63-66.
- 23 **Eliade, M.**, 1954, *The Myth of the Eternal Return or, Cosmos and History*: Bollingen series XLVI, Princeton University Press, Princeton, ss. 110-111. Ancak buna rağmen, gündelik yaşam için doğrusal tarihe dayalı takvimler kullananlar, milâtlarını sürekli kendi zamanlarına doğru kaydırmak ihtiyacını hissetmişlerdir: Meselâ Roma'nın takvimi Roma şehrinin kuruluşunu **AUC (ab urbe condita)**: şehrin kuruluşundan beri) milât olarak kabul etmişti. Daha sonra İskit kökenli, fakat İtalya'da oturan bir keşiş olan **Dionysius Exiguus** (yaşamı kabaca MS 525 civarında) Roma İmparatoru **Diocletianus**'un (MS 245-313) MÖ 284'te başlayan İskender çağı terkederek "Büyük Zâlimin adını ölümsüzleştirmektense, yılları Efendimiz **İsa Hristos**'un tekrar dünyaya gelişinden itibaren numaralamayı" tercih etmişti. Dionysius, İsa'nın doğumunu, **1753 AUC** olarak kabul etmişti. Kendisinin kullandığı yıl sayımını da bir yıl sonra, **1754 AUC**'da başlatmıştı. Müslümanlar Muhammed'in Medine'ye Hicretini İsa'nın doğumundan sonraki 622. yılda yeni takvimlerinin 1. yılı olarak aldılar. İlber Ortaylı, bu sayıdaki söyleşide doğrusal takvimlerin bu özelliklerini vurgulamaktadır. Belki yeni bir takvim insanoğlunun Ay'a ilk defa ayak bastığı 1969 yılını milât olarak alır. Jeolojik takvimin milâdi ise aksine, yeni keşiflerle sürekli yaşanan dünyamızın yaşı nisbetinde geriye kaymaktadır.
- 24 **Whitrow, G. J.**, a.g.e., s. 23 ve sonrası. Burada Whitrow Mısır kral listelerinin bu tür kronolojilerin en erken örnekleri olduğunu söylüyor.
- 25 Kelime anlamıyla Lâtince *stratum* (=tabaka, katman; çoğulu *strata*) ve Yunanca $\gamma\alpha\theta\eta\eta$ (çizgi-lerle bir şeyi temsil etmek, resmetmek, yazmak) kelimelerinden oluşturulan ve "katman tasviri" anlamına gelen bu terim ne yazık ki stratigrafi sanki yalnızca tabakalı kayaçlarla uğra-

şmış intibamı verdiğiinden talihsiz bir seçimdir. Literatürde benim bildiğim en eski kayıtlık lakabı "Strata Smith" olan inşaat kalfası William Smith'in 1817'de yayımladığı *Stratigraphical System of Organized Fossils with Reference to the Specimens of The Original Geological Collection in the British Museum Explaining Their State of Preservation and Their Use in Identifying the British Strata* (E. Williams, London, xi + 121 ss. + 2 katlanır levha) adlı kitaptaki Smith, lakabının da gösterdiği gibi, tamamen tabakalı çökel kayalarıyla ilgiliydi. Bu nedenle kendisinin bulmuş olabileceği (veya muhtemelen William Buckland gibi okumuş dostlarını kendisine tavsiye etmiş olabilecekleri) stratigrafi kelimesi yaptığı işe tam uygundu. Daha sonra bu kelime giderek tabaka/zaman ilişkileri için ve nihayet tüm kayaçların bitil ve zaman ilişkileri için kullanılmaya başlandı. Bu "anlam kayması" bir terimi anlamak için onu ortaya çıkış ve kullanım tarihini bilmenin ne denli önemli olduğunu gösteriyor.

- 26 Bunlara dayk dendiğini görüyoruz rumuz işaretinde. Bu eski bir Germen dili terimidir ve dar uzun çukurluk anlamına gelir (ör. İngilizce'de *ditch*, Almanca'da *Teich* aynı etimoloji kökten gelirler). Aynı zamanda bu çukurluğu kazmak için dışarı atılan ve onun yanında bir kenar dar uzun tümseğe de dayk denir. Jeolojide paralel kenarlı daha yaşlı kayaları Şekil 11'de görüldüğü gibi gelişigüzel kesip geçen dar magma sokulumlarına dayk adı verilmiştir. Bunun nedeni bunların arazide ya dar uzun tümsekler (dayk içeriği aşındırmaya çevre kayalarından daha dayanıklı olursa) veya dar uzun hendekler (dayk içeriği çevre kayalarından daha dayanıksız olursa) oluşturmalarıdır.
- 27 Bu söylediğim tabii ki bir basitleştirme. Mısır kral listelerinde paralel saltanatların kronolojilerde uc uca dizilmesinin yarattığı sorunlar çıkan karmaşıklıklara bir örnektir. Osman tarihinde padişah sayılarının değişik kaynaklarda değişik gösterilmesinin nedeni olan Fetret Devri (1402-1413) benzer bir örnektir.
- 28 **Dalrymple, G. B.**, a.g.e., s. 24'deki şekil 2.3 Ussher'in 1658'de yayımlanan kitabından kronolojinin bir sahifesinin bir tipkibasımını sunmaktadır.
- 29 Lyell'in jeolojik zamanın uzunluğunun anlaşılmasına katkıları için bkz. **Rudwick, M. J. S.** 1969, Lyell on Etna, and the antiquity of the earth: *Toward A History of Geology*'de (G. Schneer, yayıma hazırlayan): MIT Press, Cambridge, ss. 288-304; **aynı yazar**, 1974, *Geological Poulett Scrope on the volcanoes of Auvergne: Lyellian time and political economy: British Journal for the History of Science*, c. 7, ss. 205-242; **Tasch, P.**, 1977, Lyell's geochronological model: published year values for geological time: *Isis*, c. 68, ss. 440-441.
- 30 **York, D. ve Farquhar, R. M.**, 1972, *The Earth's Age and Geochronology*: Pergamon, Oxford, ss. 2-3.
- 31 Tüm bu tür jeolojik yöntemlerin tartışması için faydalı bir kaynak: **Holmes, A.**, 1913, *The Age of the Earth*: Harper & Brothers, London, ss. 48-90.
- 32 Lord Kelvin'in olgun görüşlerinin kendi kaleminden bir özeti için bkz. **Lord Kelvin**, 1899, The age of the earth as an abode fitted for life: *Journal of the Transactions of The Victoria Institute, or Philosophical Society of Great Britain*, c. 31, ss. 11-37. Bu konu hakkında etraf bir çalışma için: **Burchfield, J. D.**, 1975, *Lord Kelvin and the Age of the Earth*: Macmillan, London, xii+260 ss. Ayrıca bkz.: **Richter, F.M.**, 1986, Kelvin and the age of the earth: *Journal of Geology*, c. 94, ss.395-401; **Harrison, T.M.**, 1987, Comment on "Kelvin and the age of the earth": *Journal of Geology*, c. 95,ss. 725-727.
- 33 Radyoaktivitenin keşfi, jeolojik uygulamaları ve radyoaktif mineraller hakkında radyoaktivitenin keşfinin 100. yılı münasebetiyle yayımlanmış olan *Revue de Gemmologie*'nin seri dışı özel sayısındaki makalelere bkz. **Schnubel, H.-J.**, editör, 1996, *Histoire Naturelle de Radioactivité, Muséum d'Histoire Naturelle, Paris*, 132 ss.
- 34 Bir yitriyum-nyobiyum oksiti: Y(Nb, Ta)O₄.
- 35 Radyometrik yöntemlerin tarihçesi ve genel kavramlar için: **Holmes, A.**, a.g.e.: **Zeuner, E.**, 1958, *Dating the Past—An Introduction to Geochronology*: Methuen & Co., London, xx+516 ss.+XXVII fotoğraf levhası (izotopik yöntemlerin dışındaki tarihlendirme yöntemlerini de çok güzel anlatan enfes bir eserdir; doğal olarak izotopik yöntemle ilgili kıymatli bir yük ölçüde çağdışı kalmıştır); **Schaeffer, O. A. ve Zähringer, J.**, derleyenler, 1966, *Potassium Argon Dating*: Springer-Verlag, Berlin, XI+234 ss; **Dalrymple, G. B.**, 1991, *The Age of the Earth*: Stanford University Press, Stanford, xvi+474 ss. Konuyla ilgili en faydalı güncel der-

- kitapları: **York, D. ve Farquhar, R. M.**, a. g. e.; **Jäger, E. ve Hunziker, J. C.**, editörler, 1979, *Lectures in Isotope Geology*: Springer-Verlag, Berlin, VIII+[I]+329ss; **Faure, G.**, 1986, *Principles of Isotope Geology*, second edition: John Wiley and Sons, New York, XV+589 ss (hâla konunun en iyi ders kitabıdır); **Bowen, R.**, 1988, *Isotopes in the Earth Sciences*: Elsevier Applied Science, London, XVI+647 ss; en genç kayaçları ve arkeolojik kalıntıları tarihleme yöntemleri için: **Rutter, N. W. ve Catto, N. R.**, editörler, 1995, *Dating Methods for Quaternary Deposits*: Geological Association of Canada, Geotext-2, [I-IV]+308 ss; **Wagner, G. A.**, 1995, *Age Determination of Young Rocks and Artifacts—Physical and Chemical Clocks in Quaternary Geology and Archaeology*: Springer-Verlag, Berlin, XVIII+466 ss.
- 36 Yer miknatislanmasından kayaçlara yaş verme yöntemi hakkında basit ve öğretici bir eser için bkz. **Hailwood, E. A.**, 1989, *Magnetostratigraphy*: The Geological Society Special Report No. 19, 84 ss. Şuraya da bkz. **Salvador, A.**, editor, 1994, *International Stratigraphic Guide—A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure*, second edition, The Geological Society of America, Inc., Boulder, ss. 69-75.
- 37 Burada bahsedilen kemostratigrafi yöntemleri ve sonuçları için iyi bir derleme şu eserdir: **Renard, M.**, 1986, Pelagic carbonate chemostratigraphy (Sr, Mg, ¹⁸O, ¹³C): *Marine Micropaleontology*, c. 10, ss. 117-164.
- 38 Jeolojik geçmişin bize ulaşan zabitlarının eksikliği konusunda en güzel anlatımlardan biri Charles Darwin'e aittir: **Darwin, C.**, 1872, *The Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, 6. genişletilmiş ve düzeltilmiş baskı: John Murray, London, "On the imperfection of the geological record" (Jeolojik zabitin eksikliği üzerine) başlıklı X. bölüm.
- 39 Aktüel kelimesi Avrupa dillerinde varlığı veya yaptığı ile mevcut olduğu bilinen, gerçekten olan veya oldurulan, şimdiki, gündelik anlamlarına gelir ve olması beklenenin, zahiri veya kuramsal olanın, geçmişte olanın, geçmişin, zıddı olarak kabul edilir. Sir Charles Lyell jeolojide güncelcilik prensibini vurgularken, aktüel kelimesini tüm bu anlamlarını kapsayacak şekilde kullanmıştır: "... yer kabuğunu ve onun sakinlerini etkileyen değişim nedenlerinin aktüel işlevleri ..." (**Lyell, C.**, 1833, *Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation*, c III: John Murray, London, s. 1: "... the actual operations of the causes of change which affect the earth's crust and its inhabitants..."). Ayrıca bkz. **Hunger, R.**, 1951, Das Aktualitätsprinzip: *Urania*, Jahrgang 14, Heft 12, ss. 452-454; **Hooykaas, R.**, 1970, Catastrophism in geology, its scientific character in relation to actualism and uniformitarianism: *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, aft. Letterkunde, Med. (n. r.)*, c. 33, ss. 271-316; **Solov'ev, J. J.**, 1985, Retrospektive Analyse des Begriffs "Aktualismus" in der Paläogeographie: *Schriftenreihe für geologische Wissenschaften*, no. 24, pp. 105-112; **Gohau, G.**, 1997, Naissance de la Méthode «Actualiste» en Géologie: *De la Géologie à son Histoire*, CTHS, ss. 139-149.
- 40 Uniformitarianizm büyük İngiliz jeologu ve felsefecisi William Whewell tarafından Charles Lyell'in *Jeolojinin Prensipleri*'nin II. cildinin eleştirel bir tanıtımında Lyell'in jeolojideki görüşüne bir isim vermek amacıyla icat edilmiştir: **Whewell, W.**, 1832, *Principles of Geology*, v. II, by Charles Lyell: *Quarterly Review*, c. 47, ss. 103-132; **Hooykaas, R.**, 1963, *The Principle of Uniformity in Geology, Biology and Theology*: E. J. Brill, Leiden, XVII+237 ss; **Yazarlar topluluğu**, 1967, Uniformity and Simplicity—A Symposium on the Principle of the Uniformity of Nature: *Geological Society of America Special Paper*, no. 89, [ii]+99 ss. Tekdüzecilikle güncelcilik arasındaki farklar için ayrıca bkz. **Hooykaas, R.**, 1970, a.g.e.; **Solov'ev, J. J.**, 1985, a.g.e.
- 41 Hutton bu prensibi şu eserlerinde tartışmıştır: **Hutton, J.**, 1785, Abstract of A Dissertation read in the Royal Society of Edinburgh, upon the Seventh of March, and Fourth of April M, DCC, LXXXV, concerning the System of the Earth, Its Duration and Stability (anonim olarak yayımlanmış), 30 ss.: Craig, G. Y., yayına hazırlayan, *The 1785 Abstract of James Hutton's Theory of the Earth*'de: Scottish Academic Press, Edinburgh, xiv+30 ss; **aynı yazar**, 1788, Theory of the Earth; or An Investigation of the Laws observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, c. 1, ss. 209-304; **aynı yazar**, 1795, *Theory of the Earth with Proofs and Illustrations*, c. 1: Cadell, Junior and Davies, London, and William Creech, Edinburgh, viii+ 620 ss.
- +IV levha; **aynı yazar**, 1795, *Theory of the Earth with Proofs and Illustrations*, c. 2: Cadell Junior and Davies, London, and William Creech, Edinburgh, 567 ss.+ II ss; **aynı yazar** 1899[1997], *Theory of the Earth with Proofs and Illustrations*, c. 3, edited by Sir Archibald Geikie, The Geological Society of London (1899 baskısının tıpkıbasımı için bkz. **Hutton, J.**, 1997, *James Hutton in the Field and in the Study*, edited by Dennis R. Dean, Being an Augmented Reprinting of Vol III of Hutton's Theory of the Earth (I, II, 1795) as first published by Sir Archibald Geikie: Scholars' Facsimiles & Reprints, Delmar, 24+xvi+278+xiii ss. Metin arasına eklenen sim ve yazılara ayrıca sahife numarası verilmemiştir.
- 42 **Lyell, C.**, 1830-1833, a.g.e.
- 43 **Cuvier, G. ve Brongniart, A.**, 1811, *Essai sur la Géographie Minéralogique des Environs de Paris, avec une carte géognostique et des coupes de terrain*: Baudouin, Imprimeur de l'Institut Impérial de France, Paris, viij + 278 ss. + 2 levha ve bir renkli katlanır harita; **Smith, W.**, 1815, *A Memoir to the Map and Delineation of the Strata of England and Wales, with Part of Scotland*: John Carey, London, x + 51ss. + 1 erratum sahifesi; **aynı yazar**, 1816, *Strata Identified by Organized Fossils Containing Prints on Colored Paper of the Most Characteristic Specimens in Each Stratum*: W. Arding, London, 32 ss. + 22 numaralanmamış levha; **aynı yazar**, 1817, a.g.e.
- 44 **Cuvier, G.**, 1825, *Discours sur les Révolutions de la Surface du Globe et sur les Changements Qu'Elles Ont Produits Dans le Règne Animal*: G. Dufour et Ed. D'Ocagne, Paris, ij + 400 ss. + 6 levha. Bu ilk defa şurada yayımlanmıştır: **aynı yazar**, 1812, *Recherches sur les Ossements Fossiles de Quadrupèdes où l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du globe paroissent avoir détruites*: Deterville, Paris (I. cildin *Discourse Préliminaire*'i olarak).
- 45 **Darwin, C. R.**, 1859, *On the Origin of Species by Means of Natural selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*: John Murray, London, ix+[i]+502. Bu baskı son derece nadir olup tüm kütüphanelerde nadir kitap koleksiyonları içinde saklanmaktadır. Birinci baskıyı okumak isteyenlere şu ucuz baskı tavsiye olunur: **Darwin, C. R.**, 1859[1985], *The Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*: Penguin Books, London, 476 ss.
- 46 Son derece karmaşık ve kanımca jeolojik takvimin oluşturulmasında son derece de güvenilir bir yöntemler grubu olan dizi (veya "sekans") stratigrafisinden hiç bahsetmedim. Bu konudaki en son bilgilere ulaşmak isteyenler şu eserlere baş vurabilirler: **Myers, K. ve Emery, D.**, editörler, 1996, *Sequence Stratigraphy*: Blackwell Science, Oxford, v+297 ss; **Miall, A. D.**, 1997, *The Geology of Stratigraphic Sequences*: Springer, Berlin, XV+433 ss.
- 47 Buradaki -tem Yunanca'da "yığın" anlamına gelen θέπος kelimesinden alınmıştır. Yunanca "yaş" anlamına gelen αιώ ile birleştirilerek İngilizce eonothem oluşturulmuştur. Bir eon süresince oluşmuş ("yığılmış") çökel anlamındadır.
- 48 Bu terim de Latince *aera*="sayı ile ifade edilen şey" anlamına gelen kelimenin θέπος ile birleştirilmesinden oluşmuştur. *aera*'nın zaman ifade eden bir terim olarak ilk kez İspanya'da kullanıldığı sanılıyor.
- 49 Daha detaylı bir öyküyü okuyucu şu minik ve okunması keyifli (fakat ne yazık ki bazı ciddi yanlışlar içeren) eserde bulabilir: **Berry, W. B. N.**, 1987, *Growth of A Prehistoric Time Scale Based on Organic Evolution*: Blackwell, Palo Alto, özellikle ss. 64-102. Çok daha teknik, doğru ve detaylı bilgi için: **Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. V., Craig, L. E., Smith, A. G. ve Smith, D. G.**, 1990, *A Geologic Time Scale 1989*: Cambridge University Press, Cambridge, xvi+263 ss.
- 50 Kuaterner kelimesi daha önce Arduino tarafından öne sürülmüştür.
- 51 Kelime anlamıyla "bakır" (*Kupfer*'in diyalekte bozulmuş şekli). Eski bir madenci terimi olan bu ad altında Almanya'da muhtelif renkli bakır içeren kireçli kilttaşları (marl), kumtaşı, alçıtaşı (jips) ve karbonlu zengin kilttaşından oluşan kütleler toplanmıştır.
- 52 Roma İmparatorluğunun şimdiki Galler arazisine verdiği Cambria adından.
- 53 Geçti bir ay önce, 1835'in Temmuzunda Murchison *London and Edinburgh Philosophical Magazine*'de Silüryen sistemini tanımlamıştı.



DÜZELTME
 11. Sayfada yer alan Şekil 5, bir hata sonucu yanlış beslenmiştir; doğrusu yukarıdaki gibidir.



Nicolaus Steno
(1638-1686)



Comte de Buffon
(1707-1788)



Abraham G. Werner
(1749-1817)



James Hutton
(1726-1797)



Georges Cuvier
(1769-1832)



Alexandre Brongniart
(1770-1847)



William Smith
(1769-1839)



Sir Charles Lyell
(1797-1875)



Alcide d'Orbigny
(1802-1857)