

Sayısal Yaşlar ve Radyometrik saat

- Bir tarihçi "II. Dünya savaşı, I. Dünya savaşından sonra olmuştur" dediğinde iki olay arasındaki **görelî yaş** ilişkisini ortaya koyar.
- "II. Dünya savaşı 1939'da başladı, oysa I. Dünya savaşının başlangıcı 1914'tür" dediğinde olayların görelî yaşının yanısıra **sayısal yaş**ını da vermiş olur. Bu sayısal yaş insan tarihinin yıllara göre düzenlenmiş zaman çizelgesi üzerindeki değeri işaret eder.
- Jeologlar James Hutton'dan beri jeolojik olayların görelî yaşlarını verebiliyorlardı. Fakat o dönemde tarihçiler gibi sayısal yaş verme olanağı yoktu. Dolayısı ile yeryuvarı tarihi için bir zaman çizelgesi veya olayların süresi belirlenemiyordu. Bu durum **radyoaktivite**'nin keşfi ile değişmiştir.
- Radyoaktif elementler sabit hızda bozunurlar, bu bozunma laboratuvarında ölçülebilir ve yıllarla ifade edilebilir.
- 1950'li yıllarda yerbilimciler kayaların yaşlarının hesaplamak için radyoaktif elementlerin ölçümlerini kullanarak bir teknik geliştirdiler, buna **radyometrik yaş tayini** diyoruz.
- İzleyen on yıllar içinde radyometrik yaş tayini tekniğinde büyük gelişmeler olmuştur.

Radyometrik bozunma (decay) ve yarı-ömür kavramı

- Bir elementin (aynı çeşit atom içeren madde) tüm atomları çekirdeklerinde aynı sayıda proton bulundurur- bu sayıya **atom numarası** denir. Proton sayısı= Atom numarası.
- Bununla beraber tüm atomlar çekirdeklerinde aynı sayıda nötron bulundurmazlar. (Atom ağırlığı= proton sayısı + nötron sayısı). Bu nedenle bir elementin tüm atomları aynı **atomik ağırlığa** sahip değildir.
- Bir elementin farklı versiyonlarına **izotop** adı verilir- bunlar **aynı atom numarasına sahiptir**, fakat **farklı atomik ağırlıkları** vardır.

Örneğin tüm uranyum atomları 92 proton içerir, fakat ^{238}U izotopu 238 atom ağırlığına sahip ve 146 nötron içerirken ($92+146=238$), ^{235}U izotopu 235 atom ağırlığına sahiptir ve 143 nötron içerir ($92+143=235$).

- Bir elementin bazı izotopları duraylıdır. Radyoaktif izotoplar duraysızdır, belirli bir zaman aralığında **radyoaktif bozunma** denilen değişime uğrarlar. Radyoaktif bozunma sonucu başka bir elemente dönüşürler.
- Radyoaktif bozunma çeşitli reaksiyonlarla oluşur. Bunlar,
- **alfa bozunumu** (çekirdekten 2 proton ve 2 nötron fırlatılması),
- **beta bozunumu** (çekirdekdeki nötronlardan birinden bir elektron fırlatılarak nötronun protona dönüşümü),
- **elektron kapma** (bir proton ile elektronun birleşerek yeni bir nötron oluşturması).

- Tüm bu reaksiyonlar çekirdeğin atomik numarasını değiştirir ve farklı bir element oluşturur. Bu reaksiyonlarda bozunmaya uğrayan izotop'a **ebeveyn izotop** (parent isotope) denir. Bozunma ürünü ise **yavru izotop** (daughter isotope) adını alır.

Örneğin

- $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$
- $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$
- $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$
- Fizikçiler bir radyoaktif izotop'un bozunmadan önce ne kadar uzun o durumda kalacağını belirleyemezler, fakat bir izotop grubunun yarısının bozunmasının ne kadar süre alacağını ölçebilirler. Bu süreye izotop'un **yarı-ömrü** denir.

- Bir kristalin 16 radyoaktif ebeveyn izotopu olduğunu düşünelim (gerçek durumda kristaldeki atom sayısı çok daha fazladır).
- Bir yarı-ömürden sonra, 8 izotop bozunur, kristal 8ebeveyn, 8 yavru izotop içerir. İkinci yarı-ömürden sonra kristal 4 ebevyn, 12 yavru izotop'a sahip olacaktır. Üçüncü yarı-ömürden sonra kristal 2 ebevyn, 14 yavru izotop içerir.
- Şunu vurgulamak gerekir ki hangi spesifik izotopların ne zaman bozunmaya uğrayacağını tahmin edememekteyiz. Sadece yarı-ömür süresince ebeveyn izotoplarının yarısının bozularak yavru izotoplara dönüştüğünü bilmekteyiz. Bozunma reaksiyonunda yarı-ömür sabittir, değişmez.

Prof. Dr. Gürhan
Tarihsel Jeoloji
ders notları

Radyometrik yaşlandırma tekniği

- Bir saatin tik-takları gibi, radyometrik bozunma bilinen bir hızda gerçekleşir ve bu zamanı söyleyebilmenin temelini oluşturur. Diğer bir deyişle, bir elementin yarı-ömrü sabit, değişmez olduğu için, **mineraldeki ebeveyn ve yavru izotopların oranını ölçerek mineralin yaşını hesaplayabiliriz.**
- Jeologlar radyometrik yaşı nasıl elde ederler?
- Öncelikle çalışılacak doğru elementi bulmak gerekir. Bilinen elementler arasında çok farklı ebeveyn ve yavru izotop çiftleri olmasına rağmen sadece birkaç tanesi yarı-ömür uzunluğu ve bulunma bolluğu açısından radyometrik yaşlandırma için uygundur. Bu elementler aşağıdaki listede verilmiştir.

Radyometrik yaşlandırma aşağıdaki evreleri izler.

- **Örneklerin toplanması:** Jeologlar taze altere olmamış kaya örneklerini toplar. Ayrışma sırasındaki kimyasal reaksiyonlar izotopların minerallerden sızmasına yol açar, bu durumda kayanın yaşı geçerli değildir, hatalı olacaktır.
- **Minerallerin ayrılması:** Ayrışmamış taze örnekler ezilir ve mineraller ayrılır.
- **Ebeveyn ve yavru izotopların eldesi:** Ya mineraller asitte çözünür veya lazer ile buharlaştırılır.
- **Ebeveyn / yavru izotop oranının saptanması:** Çözünen veya buharlaştırılan örnek kütle spektrometresinden geçirilerek saptanır.

Ebeveyn ve yavru izotop oranları saptandıktan sonra mineralin yaşı hesaplanır. Ölçümlerde belirsizlikler sonuçlarda belirtilir \pm olarak %1 den azdır, yeni metodlarda bu %0.1 kadardır.

Radyometrik yaş'ın anlamı nedir?

- Yüksek sıcaklıklarda izotoplar kristal kafes içinde o kadar hızlı titreşirler ki kimyasal bağlar kolaylıkla kırılabilir ve tekrar birleşebilir.
- Bunun sonucu olarak ebeveyn ve yavru izotoplar kristalin içine girer veya dışarı çıkar, bu durumda ebeveyn/yavru izotop oranları anlamsızdır. Çünkü radyometrik yaşlandırma ebeveyn/yavru izotop oranına dayanmaktadır ve "**radyometrik saat**" sadece kristallerin yeterince soğuduğu hem ebeveyn hemde yavru izotopların kristal kafesi içinde hapsediği koşullarda işlemeye başlayacaktır.
- İzotopların kaçamayacağı sıcaklığın alt seviyesi bir mineralin **kapanma sıcaklığı** "**blocking temperature**" olarak bilinir. Kapanma sıcaklığı bir mineralin ergime sıcaklığından belirgin olarak daha düşüktür. Tüm mineraller aynı kapanma sıcaklığına sahip değildir. Örneğin hornblend'in kapanma sıcaklığı biotit'ten daha yüksektir.
- Bir kayanın radyometrik yaşı, kayadaki belirli bir mineralin kapanma sıcaklığının altına indiği zamanı tanımlamaktadır. Kapanma sıcaklığı kavramını dikkate alarak radyometrik yaşın anlamını yorumlayabiliriz. Bir magmatik kayanın radyometrik yaşı katılaşp soğuduğu zamanı bildirmektedir. Metamorfik kayalarda radyometrik yaş, yüksek sıcaklık metamorfizmasından düşük sıcaklığa düştüğü zamanı belirtmektedir. Eğer kaya hızla soğursa tüm mineraller yaklaşık olarak aynı yaşı verecektir. Eğer kaya yavaş soğursa yüksek kapanma sıcaklığına sahip mineraller, düşük kapanma sıcaklığına sahip minerallerden daha yaşlı oldukları sonucu ortaya çıkacaktır.

Bir çökel kayaç radyometrik olarak yaşlandırılabilir mi? Hayır.

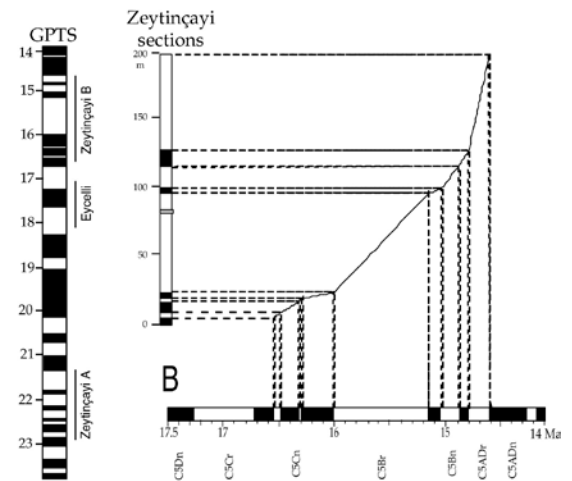
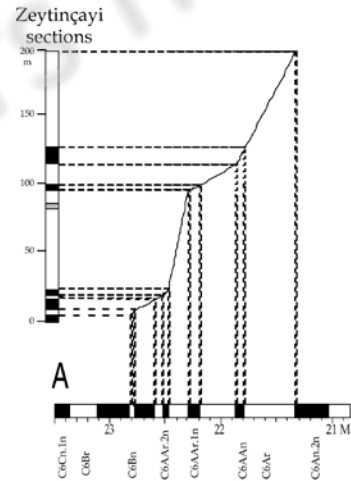
- Eğer bir çökel kayaç içindeki minerali yaşlandırırsak, çökel kayaca malzeme veren magmatik veya metamorfik kayacın ilk kristallendiği zamanı tarihlendirmiş oluruz. Bunun mineralin çökel olarak veya çökelin taşlaşma zamanı ile ilgisi yoktur. Örneğin bir konglomera içindeki granit çakılındaki feldspat tarihlenmiş ise granitin soğuma yaşı bulunmuş olur, çakılın ne zaman çökeldiği hakkında bilgi vermez.

Sayısal yaş sağlayan diğer metodlar

- Ağağların bŸyŸme oranı. Fay zonlarında deprem olduğunda ağağ halkalarında değişim olmakta ve bu halkalar çalışılarak önceki depremlerin tarihleri belirlenebilmektedir. KAFZ Ÿzerindeki bir çalışmayı inceleyebilirsiniz. (Kozacı 2012. JGR, 117, B01405).
- Denizlerde ve gllerde organik mevsimsel organik Ÿretim
- Nehirler tarafından taşınan kel mevsimsel kel miktarı
- Kimyasal olarak kelen sedimanter kayaçların bŸyŸme oranı (travertenler)
- Kabuklu organizmaların bŸyŸme oranı

• Manyetostratigrafi:

- Yer'in manyetik kutupları jeolojik zaman boyunca değişmektedir. Yerbilimciler bu değişimlerin ne zaman olduğunu belirleyerek değişimleri gösteren bir referans dikme kesit oluşturmuşlardır.
- Çalışılan istife ait bilgiler ile referans dikme kesit karşılaştırılması yapılarak çalışılan istifin yaşı belirlenir.
- Manyetostratigrafik çalışmaya örnek olarak Alaşehir grabeni istifinin yaşlandırılması incelenebilir
- (Şen ve Seyitoğlu 2009. GSL Spec. Publ. 311, 321-342).



- **Yarılma izleri (Fission Track):**

- Belirli minerallerde radyoaktif izotopun bozunması sırasında bir atomik parçanın fırlatılması yakındaki kristal kafesine zarar verir ve "yarılma izi - fission track" denen hatlar oluşur.
- Bu iz çimenlerin üstünden geçen bir tekerleğin bıraktığı izle benzer. Zaman geçtikçe daha fazla parçacık fırlatıldığından kristal üzerinde daha fazla iz görülür. Kristalin belli bir hacminde görülen yarılma izi sayısı kristalin yaşını belirler.
- (Örnek olarak Zattin et al. 2005. Terra Nova, 17, 95-101).

Gürol Seyitoğlu
Jeolojik Jeoloji
ders notları

Sayısal yaşların jeolojik dikme kesite yansıtılması: Jeolojik Zaman Cetveli

Radyometrik yaşlandırmanın magmatik kayacın oluştuğu zamanı veya metamorfik kayacın metamorfizma zamanını tarihlediğini fakat sedimanter kayanın yaşını vermediğini yukarıda gördük.

- Bir sedimanter kayanın sayısal yaşı nasıl saptanır? Eğer sayısal yaşların jeolojik dikme kesite uyarlanması isteniyorsa bu soruya yanıt verilmelidir.
- Jeolojik dikme kesitin ilk olarak fosil içeren sedimanter kayaçların göreceli yaşlarına göre oluşturulduğunu unutmamak gerekir.
- Yerbilimciler sedimanter kayaların yaşını, bu sedimanter kayalarla kesme kesilme ilişkisinde olan tarihlenebilen magmatik veya metamorfik kayalardan yararlanarak saptarlar.
- Örneğin bir çökel kaya seviyesi uyumsuzluk ile tarihlenebilen magmatik veya metamorfik kaya üzerinde bulunuyor ise çökel kayanın daha genç olduğunu biliriz.
- Eğer tarihlenebilen magmatik dayk veya sokulum sedimanter kayaları kesiyorsa tarihlenebilen kayaç daha gençtir.
- Eğer tarihlenebilen lav akıntısı veya kül katmanı bir çökel seviyesini örtüyor ve başka bir sedimanter birim tarafından örtülüyorsa, tarihlenebilen lav akıntısı veya kül seviyesi alttaki sedimanter birimden daha genç üsttekenden ise daha yaşlıdır.

Bir örnek ile sedimanter kayaların tarihlendirilmesini açıklayalım.

- Bir kumtaşı seviyesinin fosilleşmiş dinazor kemikleri bulundurduğu saptanmış olsun.
- Jeologlar fosilleri başka bir yerde Kretase devrinde çökeldiği bilinen seviyelerle deneştirerek çalışılan alandaki bu fosillerin Kretase devrine ait olduğunu belirlemişlerdir.
- Fosilli kumtaşı birimi uyumsuzluk ile granit sokulumunun üzerinde bulunmaktadır. Bu granit sokulumunun yaşı Uranyum-Kurşun metodu ile radyometrik olarak 125 My olarak saptanmıştır. Fosilli kumtaşı birimi potasyum - Argon ile 80 My olarak tarihlenen bir dayk tarafından kesilmiştir.
- Bu bilgilere göre Kretase kumtaşı birimi 125 ile 80 My arasında çökelmiş olmalıdır. Bu örnekte sağlanan verinin bir yaş aralığına karşılık geldiği ve çökelin tam yaşını vermediği unutulmamalıdır.

Veri bize Kretase devrinin en azından 125 ile 80 My arasında olduğunu göstermektedir. Yerbilimciler tüm yeryuvarındaki lokaliteleri benzer yöntemlerle yaşlandırarak **Kretase devrinin 145 ile 65 My arasında olduğunu ortaya çıkarmışlardır**. Bu durumda örnekteki tarihler Kretase'nin orta bölümüne karşılık gelmektedir. Sürekli eklenen yeni veriler ile Devir ve Dönem'lerin sınırları çok daha hassas olarak radyometrik yöntemlerle saptanmaya devam etmektedir. Sayısal verilerle tarihlendirilmiş jeolojik dikme kesit "**Jeolojik Zaman Cetveli**" olarak tanımlanmıştır.

Jeolojik Zaman Cetveli

Bu dikme kesit 4 Üst Zaman'a (Eon'a) ayrılır. Hadean, Arkeen, Proterozoyik, Fanerozoyik. İlk üç tanesi birlikte Prekambriyen'i oluşturur.

"zoyik" takısının anlamı "yaşam" dır.

Fanerozoyik'in anlamı "görülebilir yaşam", Proterozoyik'in anlamı "erken yaşam" dır.

Erken yaşam bacteria ve Archea, Arkeen Üst Zamanında (Eon'da) ortaya çıkmıştır.

Fanerozoyik Üst Zamanında (Eon'da) sert parçaları olan (kabuklar ve sonra iskeletler) organizmalar gelişmiştir ve fosiller çokça bulunur. Oysa Prekambriyen'de küçük ve kabuksuz organizmalar bulunduğundan fosilleşme nadir olarak gerçekleşmiştir.

Fanerozoyik Üst Zamanı (Eon), Zaman'lara (Era) bölünmüştür. Yaşlıdan gence doğru Paleozoyik "eski yaşam", Mesozoyik "orta yaşam", Senozoyik "yeni yaşam". (Bazı Türkçe kitaplarda 1. Zaman, 2. Zaman, 3. Zaman, 4. Zaman olarak kullanılmıştır). Her Zaman (Era), Devir'lere (Period) bölünür, bunlarda Dönem'lere (Epoch) bölünmektedir.

Kronostratigrafi terimleri

Eonotem

Eratem

Sistem (System)

Seri (Series)

Kat (Stage)

Jeokronoloji terimleri

Üst Zaman (Eon)

Zaman (Era)

Devir (Period)

Dönem (Epoch)

Çağ (Age)

Yeryuvarı'nın yaşı

- XX.yy'dan önce yeryuvarının yaşı hakkındaki tahminler onun 100My'dan daha yaşlı olamayacağı yönündeydi. Bu görüş Hutton, Lyell, ve Darwin'in ve izleyenlerinin fikirleri ile tezat oluşturuyordu. Bu bilimadamları eğer **tekdüzelilik** (uniformitarianism) ve **evrim** doğru ise yeryuvarının çok daha yaşlı olması gerektiğini savunuyorlardı. Çünkü yeryuvarını oluşturan kayaların oluşumu ve yeryüzünü şekillendiren fiziksel işlevler ile türlerin çeşitlenmesine yol açan doğal seçim (natural selection) işlevleri çok uzun zaman gerektirmekteydi.
- Bilimadamları arasındaki tartışmalar 1896'da fizikçi **Henri Becquerel**'in radyoaktiviteyi keşfetmesi ile son buldu.
- Radyometrik yaş tayinlerinin geliştirilmesi ile **3.96 Milyar yıl** olarak tarihlenen kayaçlar bulunmuştur. Granitik gnayslar-Wopmay orojeni (Bowring et al. 1989. *Geology*, 17, 971-975).
- Avustralyadaki kumtaşları içindeki zirkonlar ise 4.1-4.2 Milyar yıl yaşında olup, (Compston & Pidgeon 1986. *Nature*, 321, 766-769), buraya malzeme veren bir kayanın **en azından 4.2 Milyar yıl** yaşında olması gerektiğini göstermektedir.

3.96 Ga gneisses from the Slave province,
Northwest Territories, Canada

S. A. Bowring

Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University, Campus Box 1169, St. Louis, Missouri 63130-4899

I. S. Williams, W. Compston

Research School of Earth Sciences, Australian National University, G.P.O. Box 4, Canberra, ACT 2601, Australia

Jack Hills, evidence of more very old detrital zircons in Western Australia

W. Compston* & R. T. Pidgeon†

* Research School of Earth Sciences, The Australian National University, GPO Box 4, Canberra, A.C.T. 2600, Australia

† Department of Physics and Geoscience, Western Australian Institute of Technology, Bentley, Western Australia 6102, Australia

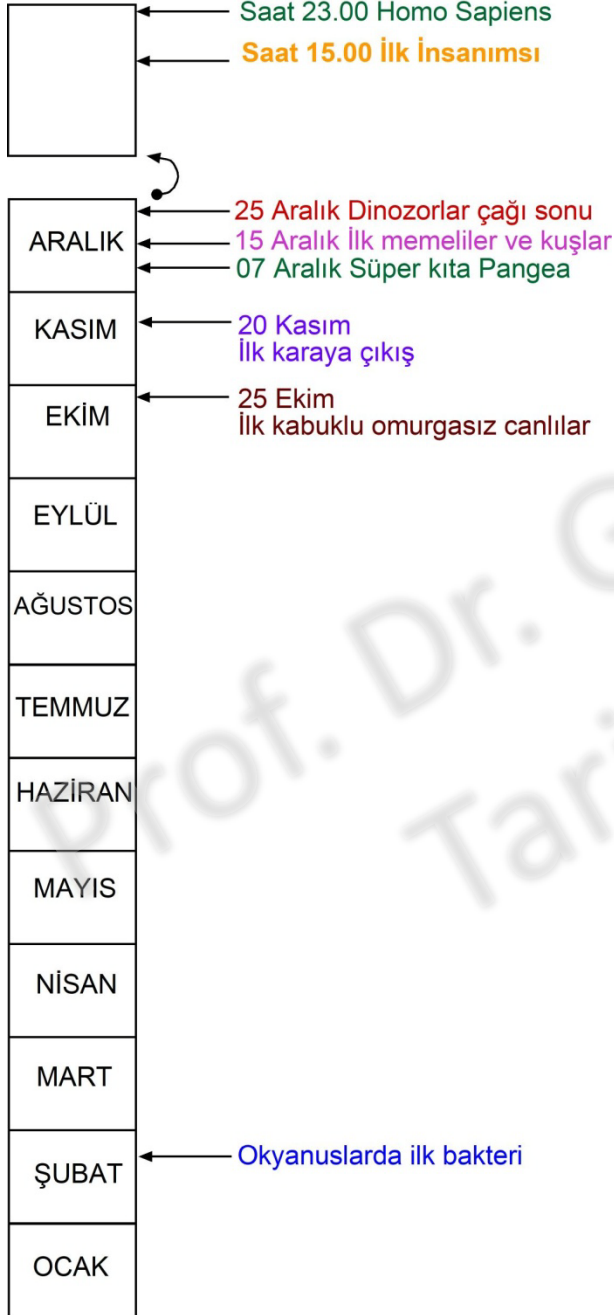
- Yeryuvarının oluşumuna ait modeller Güneş sistemindeki tüm malzemenin yaklaşık olarak aynı zamanda aynı nebula'dan oluştuğunu varsaymaktadır.
- Meteorlar ve Ay taşlarının tarihlendirilmesi **4.57 Milyar yıllık** yaşlar vermektedir. Bu tarih yerbilimciler tarafından Yeryuvarının oluşum yaşı olarak kabul edilmektedir. **Bu zaman aralığı kayaçların oluşumu ve hayat formlarının oluşumu ve evrimi için gerekli zamanı rahatça karşılamaktadır.**
- 4.57 Milyar yıllık kayaçları günümüzde bulmak güçtür. Ancak **2014 yılında 4.4 Milyar yıl olarak tarihlenen zirkon taneleri bulunmuştur (Valley et al. 2014)**
- Yerbilimciler yeryuvarının oluşumu ile 3.8 Milyar yıl arasında kalan zamanı **Hadean Üst Zamanı** (Eon) olarak isimlendirmişlerdir.

Jeolojik Zamanı algılamak

Yeryuvarının oluşum yaşı 4.57 Milyar yılı ve Jeolojik zaman cetvelini algılamak sıradan insanlar için kolay değildir. Jeolojik zaman çizelgesini daha iyi algılamak için onu **bir takvim yılı ölçeğinde** açıklamak belki algılama açısından yardımcı olabilir.

- Bu ölçekte en eski tarihlenen kayaç Şubat ayı başlarında oluşmuştur.
- Okyanuslarda ilk bakteri **21 Şubat**'ta ortaya çıkmıştır.
- İlk kabuklu omurgasız canlılar **25 Ekim**'de ortaya çıkmış, ve ilk karaya çıkış **20 Kasım**' da meydana gelmiştir.
- **7 Aralık**'ta süperkıta Pangea oluşmuştur.
- İlk memeliler ve kuşlar dinazorlarla birlikte **15 Aralık**'ta görülmeye başlamış,
- dinazorlar çağı **25 Aralık**'ta sona ermiştir.
- Aralık ayının son haftası Yeryuvarı tarihindeki son 65 Milyon yıla karşılık gelmektedir ve memeliler çağı olarak bilinir.
- İlk insanımsı (insan benzeri) varlık **31 Aralık saat 15.00**'te ortaya çıkmış,
- kendi türümüz *Homo sapiens* **31 Aralık saat 23.00**'de görülmüştür.
- Son buz çağı **24.00'e bir dakika kala** sona ermiştir.
- Tüm kayıtlı insan tarihi **son 30 saniye** içinde gerçekleşmiştir.

31 Aralık
Son 24 saat



Yeryuvarının oluşum yaşı 4.57 Milyar yılı ve Jeolojik zaman cetvelini algılamak sıradan insanlar için kolay değildir. Jeolojik zaman çizelgesini daha iyi algılamak için onu **bir takvim yılı ölçeğinde** açıklamak belki algılama açısından yardımcı olabilir.

- Bu ölçekte en eski tarihlenen kayaç Şubat ayı başlarında oluşmuştur.
- Okyanuslarda ilk bakteri **21 Şubat**'ta ortaya çıkmıştır.
- İlk kabuklu omurgasız canlılar **25 Ekim**'de ortaya çıkmış, ve ilk karaya çıkış **20 Kasım**' da meydana gelmiştir.
- **7 Aralık**'ta süperkıta Pangea oluşmuştur.
- İlk memeliler ve kuşlar dinozorlarla birlikte **15 Aralık**'ta görülmeye başlamış,
- dinazorlar çağı **25 Aralık**'ta sona ermiştir.
- Aralık ayının son haftası Yeryuvarı tarihindeki son 65 Milyon yıla karşılık gelmektedir ve memeliler çağı olarak bilinir.
- İlk insanimsı (insan benzeri) varlık **31 Aralık saat 15.00**'te ortaya çıkmış,
- kendi türümüz *Homo sapiens* **31 Aralık saat 23.00**'de görülmüştür.
- Son buz çağı **24.00'e bir dakika kala** sona ermiştir.
- Tüm kayıtlı insan tarihi **son 30 saniye** içinde gerçekleşmiştir.