

Radyokarbon Tarihleme Yöntemi

Dr. Mustafa Özbakan*

Özet

Arkeolojik kazılarda içinde karbon elementi bulunan çeşitli buluntular elde edilir. Karbon içeren buluntularda eser olarak bulunan radyoaktif ^{14}C (radyokarbon) izotopunun yoğunluğu ya da radyoaktivitesi ölçülerek buluntular tarihlenebilir. Radyokarbon tarihleme yöntemi, bulunduğu 1950 yılından günümüze, yaklaşık son 50 bin yılda yeryüzünde meydana gelen arkeolojik, paleobotanik ve jeolojik olayların mutlak tarihlenmesi için kullanılan ana yöntem durumuna gelmiştir.

Yöntemin Bulunuşu

Radyokarbon tarihleme yöntemini Chicago Üniversitesi'nde W. F. Libby (1908-1980) yönetiminde çalışan bir grup bilim insanı 2. Dünyü Savaşı'nı izleyen yıllarda bulmuştur. Yöntemle ilgili ilk yayın Arnold ve Libby (1949) tarafından Science dergisinde "Age determinations by radiocarbon content: Checks with samples of known age" başlığıyla yapılmıştır. Libby ve arkadaşları, aynı zamanda yöntemlerini sınamak için, ilk ölçümlerini yaşları başka yöntemlerle de belirlenmiş olan Mısır medeniyeti buluntuları ile gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri radyokarbon yöntemi sonuçlarının, deneysel belirsizlik sınırları içinde, diğer yöntemlerle bulunan sonuçlarla uyduğu görülmüştür. Kısa bir süre içinde başka laboratuvarlar kurulmuş ve 1950'li yılların başlarında 8 olan laboratuvar sayısı 1950'li yılların sonunda 20 ye çıkmıştır. Günümüzde yaklaşık 130 laboratuvar da radyokarbon yöntemiyle tarihllemeler yapılmaktadır.

* Y. Doç. Dr. Mustafa ÖZBAKAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, ANKARA.

Libby ^{14}C izotopunun arkeoloji, jeoloji, jeofizik ve diğ er dallarda tarihleme amaçlı kullanımını yöntemini bulduğu için 1960 yılı Nobel Kimya  d l 'n  almıştır. Kendisini ödüle aday gösteren bir bilim insanının deyişiyle *radyo karbon yöntemi* hemen herkesin ilgisini çeken ve birçok bilim dalındaki düşünceleri etkileyen bir buluştur ve böyle buluşlar çok nadirdir.

Yöntemin Temelleri

Doğada yaygın olarak bulunan karbon elementinin radyoaktif izotopu ^{14}C atmosferin üst tabakalarında uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferdeki nitrojen gazıyla tepkimesi sonucunda oluşur. Oluşan ^{14}C atomları atmosferdeki oksijen elementiyle tepkimeye girer, karbon dioksit gazı (CO_2) haline gelir, atmosferdeki diğ er gazlarla karışır ve hızla atmosferin her tarafına dağılır.

Atmosferdeki karbon dioksit gazının büyük bir kısmı karbonat c zeltisi halinde okyanus, deniz ve g llere geçer. Buralarda yaşayan canlıların vücutlarında yer alır. Zamanla okyanusların dibine iner ve okelir. Karbon dioksit gazının bir kısmı bitkilerde gerçekleşen fotosentez olayında yer alarak yery zindeki tüm canlıların vücutlarına geçer. Böylece her canlı yaşadığı süre içinde çevresinden sürekli ^{14}C alarak belirli bir ^{14}C yoğunluğuna ve radyoaktivitesine sahip olur. Zamanla bir denge ortaya çıkar ve atmosferdeki ve canlılardaki ^{14}C yoğunluğu sabitlenir.

Canlılar öldükten sonra vücutlarına yeni ^{14}C girişi durur ve öldükleri esnada vücutlarında bulunan ^{14}C yoğunluğu ve radyoaktivitesi zamanla azalır. Arkeolojik kazıda ele geçen karbon içeren bir buluntunun günümüzde içerdiği ^{14}C yoğunluğu ya da radyoaktivitesi ölçülerek kaç yıl önce öldüğü bulunur.

Her radyoaktif izotopun kendine özgü belirli bir *yarılanma süresi* vardır. ^{14}C izotopunun yarılanma süresi 5730 yıldır. Arkeolojik kazı yerinde ele geçen ve karbon içeren buluntunun öldüğü andaki ^{14}C radyoaktivitesi A_0 olsun. Buluntu öldükten 5730 yıl (bir yarılanma süresi) sonra aktivite $A_0/2$; 11460 yıl (iki yarılanma süresi) sonra aktivite $A_0/4$; 17190 yıl (  yarılanma süresi) sonra aktivite $A_0/8$ olur. Başka bir deyişle, bir buluntudaki ilk aktivite her 5730 yıllık zaman aralığında aralığın başladığı andaki değerinin yarısına düşerek azalır. Örneğin, günümüzden 28650 yıl (beş yarılanma süresi)  nce ölen bir buluntunun günümüzde sahip olduğu aktivite $A_0/32$, başka bir deyişle yaklaşık $0.03A_0$ bulunur.

Kalıntının öldüğü andan günümüze geçen s reye *yaş* diyelim ve T ile gösterelim. Kalıntının yaşını veren bağıntı

$$T = 8267 \ln(A_0/A)$$

olur. Burada \ln doğal logaritmayı gösterir. Bağlıdaki 8267 sayısı ^{14}C izotopunun yarılanma süresine bağlıdır ve bu sayıya ^{14}C izotopunun *ortalama ömrü* denir. Bağlıda A_0 buluntunun öldüğü zaman sahip olduğu ^{14}C yoğunluğunu ya da aktivitesini ve A buluntuda günümüzde (halen) var olan ^{14}C yoğunluğunu ya da aktivitesini gösterir. Görüldüğü gibi bir buluntunun yaşı A_0/A orantısının doğal logaritması ile doğru orantılıdır. Bu orantı ne kadar büyükse buluntunun yaşı da o kadar büyüktür.

Üstteki açıklamadan ve yaş bağıntısından anlaşılacağı üzere, bir buluntudaki ^{14}C radyoaktivitesinin ölçümüne bağlı tarihleme yapmak için buluntuda günümüzde (halen) var olan ^{14}C aktivitesinin ve buluntunun öldüğü zaman sahip olduğu ^{14}C aktivitesinin ölçülmesi gerekir. Gerekli donanımına sahip bir laboratuvarında kazı yerinde ele geçen bir buluntudaki ^{14}C aktivitesi ölçülebilir ve bağıntıdaki A değeri elde edilir. Kalıntının öldüğü zaman sahip olduğu ^{14}C aktivitesinin (A_0) doğrudan ölçülmesi ise olanaksızdır. Ancak altta açıklandığı gibi, bu aktivite dolaylı olarak ölçülebilir.

Uzaydan atmosferin üst tabakalarına gelen kozmik ışınların her yönden eşit miktarda geldiği gözlenir. Bu nedenle ^{14}C izotopunun oluşma hızı ile canlılardaki yoğunluğunun eski zamanlardan günümüze aynı olması beklenir ve böyle olduğu varsayılır. Bu varsayıma göre bir buluntunun öldüğü zaman sahip olduğu ^{14}C aktivitesi A_0 günümüzdeki canlılardaki ^{14}C aktivitesine eşittir. A_0 aktivitesine sahip maddelere *modern* denir. Her laboratuvarın A_0 aktivitesini bulmak için çevreden alacağı bir canlıdaki ^{14}C aktivitesini ölçmesi gerekir.

Her laboratuvar A_0 aktivitesini kendi seçtiği bir canlı için ölçerse farklı laboratuvarların bulunduğu radyokarbon tarihleri karşılaştırılmaz. Bunu önlemenin yolu ise laboratuvarların hepsinin aynı maddeyi kullanarak kendi A_0 değerini bulmasıdır. Tüm laboratuvarlar aynı maddeyi kullansın diye ABD'deki Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) özel olarak 1955 yılı ürünü şeker pancarı kullanarak *standart oksalik asit I* ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) adı verilen bir madde hazırlamış ve bu madde tüm radyokarbon laboratuvarlarına dağıtılmıştır. Her laboratuvar kendi koşullarında standart oksalik asit I maddesindeki ^{14}C aktivitesini ölçerek o laboratuvar için yaş bağıntısında kullanılacak A_0 değerini belirlemiştir. Laboratuvar sayısındaki artış nedeniyle bir süre sonra standart oksalik asit I maddesi tükenince aynı Enstitü 1997 yılı Fransız ürünü pancar şırası kullanarak *standart oksalik asit II* maddesini hazırlayarak laboratuvarlara dağıtmıştır. Tüm laboratuvarlar radyokarbon

yaşlarını ya doğrudan standart oksalik aside ya da buna dayandırılan kendi *ikincil standart* maddelerine göre vermekle yükümlüdür.

Libby ^{14}C izotopunun yarılanma ömrünü 5568 yıl ölçmüş ve yayınladığı tarihleri bu değere göre hesaplamıştır. Sayaçların gelişmesiyle yapılan daha duyarlı ölçümler sonucunda yarılanma ömrünün aslında 5730 yıl olduğu bulunmuştur. Fakat yaş hesabında, Libby gibi yapılarak, halen 5568 yıl kullanılır, bu değere göre hesaplanan yaşa *konvansiyonel radyokarbon yaşı* denir ve tüm laboratuvarlar bu yaşları yayınlamaktadır. Bunun nedeni yayınlanan radyokarbon yaşlarının tümünün aynı yöntemle hesaplanmasını sağlamaktır. Ancak böyle yapılırsa yayınlanan yaşlar karşılaştırılabilir ve kendi içinde tutarlı bir kronoloji oluşturur. Yarılanma ömrü değerlerinin oranı $5730/5568 = 1.03$ bulunur. Bu nedenle bir konvansiyonel radyokarbon yaşı 1.03 sayısı ile çarpılırsa, 5730 yıl değerine göre radyokarbon yaşı bulunur.

Konvansiyonel radyokarbon yaşının hesabı için varsayımlar ve izlenecek kurallar şöyledir:

- Eski zamanlardan günümüze atmosferdeki ve canlılardaki ^{14}C yoğunluğu sabit kalmıştır.
- ^{14}C izotopunun yarılanma süresi 5568 yıl, ortalama ömrü 8033 yıldır.
- Modern (madde) olarak standart oksalik asit I, standart oksalik asit II ya da bunlarla bağlantılı ikincil bir standart kullanılmalıdır.
- Tarihlenecek buluntuda $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranı ölçülerek *izotop ayrışması* için düzeltme yapılmalıdır. (İzotop ayrışması daha sonra açıklanmaktadır.)
- 1950 yılı *günümüz* olarak alınmalı ve radyokarbon yaşı, yıl olarak, *günümüzden önce (GÖ)* olarak verilmelidir.

Radyokarbon Sayım Teknikleri

Tarihlenecek bir buluntuda ya ^{14}C izotopunun *bozunma hızı* ya da ^{14}C izotopunun *yoğunluğu* ölçülerek ne kadar radyokarbon olduğu bulunur. Bozunma hızının ölçümünde radyoaktif sayaç adı verilen düzenekler kullanılır. Libby 1950 yılında buluntulardan elde ettiği katı haldaki karbonu doğrudan bir radyoaktif sayacın iç yüzeyine sürerek örnekteki ^{14}C bozunma hızını ölçmüştür. Daha sonra geliştirilen ve 1952 yılından başlayarak kullanılan *orantılı gaz sayacı* denilen düzeneklerde

buluntulardan elde edilen karbon dioksit, asetilen ve metan gazları kullanılır. Gaz sayaçlarına göre daha yeni olan ve *sıvı sintilasyon sayacı* denilen düzeneklerde ise buluntulardan elde edilen *sıvı benzen* kullanılır.

1977 yılında geliştirilen ve *hızlandırıcı kütle spektrometresi* (İngilizce deyiminden gidilerek kısaca AMS olarak bilinir.) adı verilen düzeneklerle buluntulardaki ^{14}C yoğunluğu doğrudan ölçülmeye başlanmıştır. ^{14}C bozunma hızına bağlı radyoaktif sayaç ölçüm tekniğine göre AMS tekniği bazı üstünlüklere sahiptir. Radyoaktif sayaçlarda, sayacına bağlı olarak, gramlar miktarında örnek gerekir. Oysa AMS tekniğinde gereken buluntu miktarı miligram aşamasındadır. Çok az örnek gereksinmesi bir üstünlük olmasına karşılık, yapısı türdeş olmayan bir buluntunun neresinden alındığına bağlı olarak beklenmedik sapmalara da neden olabilir. Sayaçlarla yapılan ölçümlerde genellikle 48 saat kadar sayım gerekirken, AMS ölçümünde, örneğin yaşına bağlı olarak, sayım süresi 15 dakika ile 2 saat arasındadır. AMS laboratuvarları diğerlerine göre çok daha pahalı olmasına karşılık, günümüzde 26 AMS laboratuvarında tarihleme yapılmaktadır.

Örnek Türleri

Arkeolojik kazılarda ele geçen ve karbon içeren her buluntu radyokarbon yöntemiyle tarihlenebilir. Tarihlenmek üzere toplanan buluntulara *örnek* adı verilir. Tarihlenecek örnekler olarak ağaç parçaları, odun kömürü, kurumuş bitkiler, tahıl taneleri, dokuma parçaları, deri, hayvan kabukları, kemik, yemek artıkları sayılabilir. Doğal olarak listeyi uzatmak mümkündür.

Sorunlar ve Çözümler

I. İzotop Ayrışması

Doğada karbon elementinin ^{12}C , ^{13}C ve ^{14}C olmak üzere üç izotopu vardır. Fotosentez esnasında $^{12}\text{CO}_2$ nin $^{14}\text{CO}_2$ ye göre öncelik aldığı gözlenir. Bir elementin bir izotopunun diğer izotopuna göre kimyasal tepkimelerde ve katı halden sıvı hale ya da sıvı halden gaz haline geçişlerde öncelik almasına *izotop ayrışması* adı verilir. Aynı ortamda bulunan ve atmosferden aynı CO_2 gazını alarak yetişen farklı iki bitkideki ^{14}C yoğunluğu izotop ayrışması nedeniyle farklıdır. İzotop ayrışması nedeniyle bitkilerin radyokarbon yaşlarında sapmalar olur. Aynı durum ^{13}C izotopu için de geçerli olmakla birlikte, bu izotop radyoaktif olmadığı için bitkilerdeki

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranı zamanla değişmeden kalır. Tarihlenecek örneklerde ^{14}C yoğunluğunun yanı sıra bu oran da ölçülerek izotop ayrışmasının neden olduğu sapma düzeltilir.

ii. Örnek Kirlenmesi

Örnekle birlikte oluşmayan ve örneğe sonradan karışan her türlü karbon içeren *yabancı* maddeye *örnek kiri* ya da sadece *kir* diyelim. Kir örnekten çok daha yaşlı olabileceği gibi, örneğe göre çok daha genç de olabilir. Yer altı sularıyla bir buluntuda biriken karbonatlar çok yaşlı kirlere, bitki kökleri ya da toplanmış olan buluntu üzerinde üreyen küf ve mantar ise çok genç kirlere örnek olarak sayılabilir. Örnekler kirlerinden ayıklanmadığı takdirde bulunan yaşları ya olduğundan büyük ya da olduğundan küçük çıkar. Bu nedenle kazı yerlerinde örnek toplayanlar olası kirlenmenin farkına varmalı, olabildiğince temiz örnek toplamalı ve topladıkları örneğin sonradan kirlenmemesi için gerekli önlemleri almalıdır.

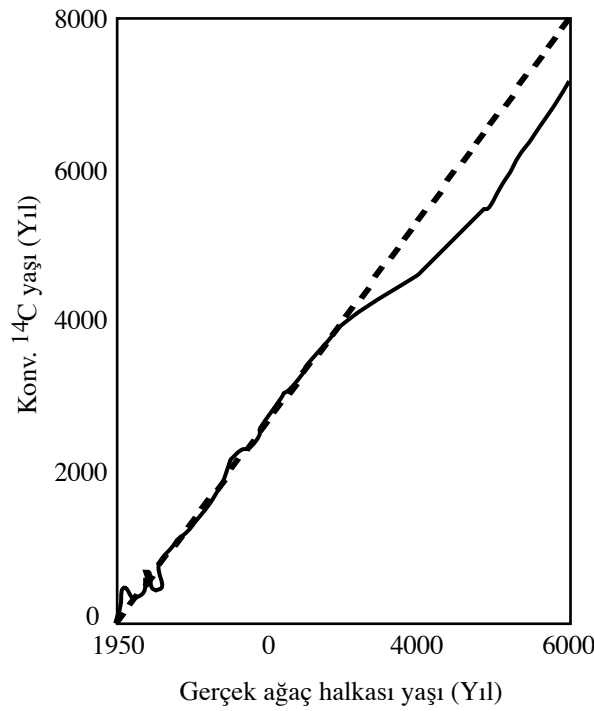
Laboratuvara gelen örnekler fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilir ve kirlerinden temizlenir. Fiziksel işlemler genellikle *elemek* ve *ayıklamak* biçimindedir. Ayıklamak için gerekirse büyüteç ya da uygun mikroskoplar kullanılır. Kimyasal işlemler ana olarak *asitle* ve *bazla yıkamak* biçimindedir.

Örnek kirlenmesi kazı yerinin doğal koşullarından ve toplayan kişiden kaynaklanabileceği gibi, sonradan yapılan koruma amaçlı işlemlerden ve paketleme materyallerinden de kaynaklanabilir. Buluntulara sonradan koruma amaçlı sürülen karbon içeren kimyasallar ile bir buluntuyu paketlemek için kullanılan bir bezden örneğe karışan pamuk lifleri örnek kirlenmesine neden olurlar. Toplama, koruma, laboratuvara iletme ve laboratuvar işlemleri sırasında gerekli önlemler alınarak örnek kirlenmesi olabildiğince önlenir.

III. ^{14}C Yoğunluğundaki Doğal Değişimler

Radyokarbon yönteminin en temel varsayımına göre eski zamanlardan kalma bir buluntunun öldüğü zaman sahip olduğu ^{14}C aktivitesi A_0 günümüzdeki canlılardaki ^{14}C aktivitesine eşittir. Başka bir deyişle, bu varsayımına göre atmosferdeki ^{14}C yoğunluğu eski zamanlardan günümüze değişmemiştir. Temel varsayımı doğrulamak üzere *ağaç halkaları sayımı* (dendrokronoloji) yöntemiyle gerçek halka yaşları belirlenen yüzlerce örneğin radyokarbon yaşları da bulunarak karşılaştırılmıştır. *Gerçek yaş* deyimini yerine aynı zamanda *takvim yaşı* deyimini de kullanılır. Bu karşılaştırmalar temel varsayımın doğru olmadığını, yeryüzündeki ^{14}C yoğunluğunun eski yıllarda önemli miktarlarda değiştiğini, bazı zamanlarda arttığını bazı zamanlarda ise azaldığını göstermiştir.

Konuyla ilgili yürütülen kapsamlı araştırmalar sonucunda yeryüzündeki ^{14}C yoğunluğunun yaklaşık son 11 bin yıl içinde nasıl değiştiği ayrıntılı olarak bilinmektedir. Araştırmalarda uzun yıllar zor iklim koşullarından etkilenecek yaşamış ve eski yıllarda devrilen ağaçların halkaları kullanılmıştır. Ağaç halkalarının (konvansiyonel radyokarbon yaşı) – (gerçek halka yaşı) grafiği son 8 bin yıl için kabaca çizilince alttaki grafik bulunmaktadır. Eğer son 8 bin yılda yeryüzündeki ^{14}C yoğunluğu değişmeden aynı kalsaydı, her örnek için (konvansiyonel radyokarbon yaşı) = (gerçek halka yaşı) olacağı için, grafiğin bir köşeden karşı köşeeye kesikli gösterilen düz doğru gibi olması gerekirdi. Oysa elde edilen grafik koyu renkli eğri biçimindedir.



Üstteki grafik ayrıntılı olarak incelendiğinde ^{14}C yoğunluğunda uzun süreli bir değişime ek olarak çok sayıda orta ve kısa süreli değişimlerin olduğu gözlenir. Doğal olarak bu değişimlerin atmosferde ^{14}C oluşma hızını ve atmosferle okyanuslar arasındaki karbon alışveriş hızını etkileyen etmenlere bağlı olması beklenir. Oluşma hızı kozmik ışınlarla bağlı olup, atmosferin üst tabakalarına gelen kozmik ışınları ise yerin ve Güneş'in manyetik alanları etkiler. Bu nedenle gözlenen değişimlerin bazılarının yerin ve Güneş'in manyetik alanlarındaki artma ve azalmalara bağlı olması gerekir. Atmosferle okyanuslar arasındaki karbondioksit gazı alışveriş hızı ise ortamın sıcaklığına bağlıdır. Geçmişteki, buzul çağı gibi, önemli iklim değişimlerinin alışveriş hızını etkilemiş olması doğaldır. Araştırmacılar gözlenen değişimleri ve bunların nedenlerini yıllarca tartışmışlar ve sonunda bu değişimlerin bazılarının doğal

nedenlere bazılarının da insanlardan kaynaklanan nedenlere bağılı olduklarına karar vermişlerdir. Söz konusu değişimler incelendiğinde bunlar şöyle gruplanır:

1. Uzun Süreli Değişim: Bu değişimin periyodu yaklaşık 9 bin yıl olup sinüs eğrisine benzer. Değişimin nedeni yerkürenin manyetik alanındaki değişimdir. Yerin manyetik alanı kuvvet uygulayarak kozmik ışınların hareketlerini etkiler, ve bir tür kalkan görevi yaparak bazı kozmik ışınların atmosfere girmesine engel olur. Manyetik alandaki değişimlere bağılı olarak bazı zamanlar atmosferin üst tabakalarındaki ^{14}C oluşma hızı artar, bazı zamanlar ise azalır.

2. Orta Süreli Değişimler: Radyokarbon yaşı hesabında birkaç yüz yıllık sapmalara neden olan ve süresi 500 yıldan az olan ^{14}C yoğunluk değişimlerine orta süreli değişimler denir. Bu değişimlere, keşfeden bilim insanının adından gidilerek *de Vries etkisi* adı verilir. Orta süreli değişimler Güneş'in etkinlik düzeyinin atmosferdeki ^{14}C oluşma hızını etkilemesine bağılıdır. Bilindiğı gibi Güneş'in çok etkin olduğı zamanlarda oluşan ve *manyetik fırtına* denilen olaylar yerküreyi de içine alacak boyutlara çıkar ve bu durum atmosfere uzaydan gelen kozmik ışın miktarını etkiler.

3. Kısa Süreli Değişimler: Atmosferdeki ^{14}C yoğunluğunda yaklaşık binde üç oranında gözlenen kısa süreli değişimlerin nedeni Güneş lekelerinin 11 yıl arayla artıp azalmasına bağılıdır. Bilindiğı gibi lekelerin artması Güneş patlamalarının artması demektir ve bu patlamalar yeryüzüne ulaşan manyetik fırtınaların doğmasına neden olur.

4. İnsanların Yarattığı Değişimler: 1890 yılında başlayan *endüstri devrimi* ile birlikte artarak *fosil yakıtlar* denilen kömür ve petrol tüketimi başlamış ve atmosfere çok büyük miktarlarda radyoaktif olmayan karbon dioksit gazı (CO_2) girmiştir. Bunun sonucunda 1950 yılına gelindiğinde atmosferdeki ^{14}C yoğunluğu kabaca %2 kadar azalmıştır. Olayı farkedenden ve ayrıntılı olarak araştıran bilim insanının adıyla bu olaya *Suess etkisi* denir. İnsanların yarattığı diğer bir etki ise atmosferde yapılan atom ve hidrojen bombası deneyleridir. Atmosferde patlatılan bombaların etkisiyle oluşan tepkimeler sonucunda önemli miktarlarda yeni ^{14}C oluşarak atmosfere dağılmış ve ^{14}C yoğunluğu artmıştır. Bu olaya *bomba etkisi* adı verilir.

Konvansiyonel ^{14}C Yaşlarının Düzeltilmesi

Atmosferde eskiden olan ^{14}C yoğunluk değişimleri bilindiğinde konvansiyonel radyokarbon yaşlarında gereken düzeltmeler yapılabilir. Daha önce de belirtildiğı

gibi, yeryüzündeki ^{14}C yoğunluğunun yaklaşık son 11 bin yıl içinde nasıl değiştiği ayrıntılı olarak bilinmektedir. Yoğunluktaki değişimin neden olduğu konvansiyonel radyokarbon yaşındaki sapmalar gerçek ağaç halkası yaşlarından gidilerek oluşturulan ve *düzeltilme eğrisi* adı verilen bir eğri kullanılarak düzeltilmektedir. Söz konusu düzeltmeyi yapmak üzere Köln (Almanya) Üniversitesi Radyokarbon Laboratuvarı "CalPal" denilen bir program geliştirmiştir. Bu programı internet üzerinden indirip kullanmak serbesttir. İsteyen bu programa

<<http://www.calpal-online.de/>>

adresinden ulaşıp elindeki konvansiyonel radyokarbon yaşını doğrudan girerek düzeltilmiş yaşı elde edebilir. Örnek olarak bu programa arkeolojik bir buluntuya ait konvansiyonel radyokarbon yaşı 3850 ± 20 yıl GÖ girildiğinde gelen yanıt şöyledir:

CalPal Online Result: The CalPal Online Radiocarbon Calibration.

^{14}C -age BP: 3850 ± 20

Calendric Age calBP: 4269 ± 58

68% range calBP: 4211 - 4327

Calendric Age calBC: 2319 ± 58

Gelen bilgilerdeki BP İngilizce "before present" deyiminin kısaltılmışıdır ve daha önce tanımlanan "günümüzden önce (GÖ)" anlamındadır. İkinci satırda "Calendric Age calBP: 4269 ± 58 " olarak verilen bilgi buluntunun düzeltilmiş gerçek (takvim) yaşına eşittir. Üçüncü satırda "68% range calBP: 4211 - 4327" olarak verilen bilgi söz konusu buluntunun gerçek yaşının %68 olasılıkla belirtilen sınırlar içinde olduğunu belirtir. Benzer bir düzeltme programı Oxford (İngiltere) Üniversitesi Arkeoloji ve Sanat Tarihi Araştırma Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir. Söz konusu program "Oxcal" olarak bilinmektedir. Bu program <<http://www.rlaha.ox.ac.uk/>> adresinden indirilerek kullanılabilir.

Diğer Konular

Radyokarbon yöntemi 1950 yılında bulunduktan sonra arkeoloji dünyasını büyük ölçüde etkilemiştir. Uzunca sayılacak bir süre bazı arkeologlar yöntemle şüpheyle yaklaşmışlardır. Eski kültürlerden günümüze, basamak basamak *karşılaştırmalı stratigrafi* yoluyla oluşturulan *göreceli kronoloji* ile elde edilen ve

mutlak oldukları düşünölen tarihler ile radyokarbon yöntemiyle elde edilen tarihler uyuşmadığında bazıları işi radyokarbon yöntemini reddetmeye kadar götürmüştür. Oysa yapılması gereken yöntemi yok saymak değil, uyuşmama nedenlerini ortaya koymaktır. Bu ise ancak arkeologlar ile radyokarbon yöntemini uygulayanların işbirliği ile olur.

Söz konusu şüphelerin ve reddetmelerin temelinde çekirdek fiziğiyle ilgili olan ^{14}C radyoaktivite olayına yabancı olmanın da etkisi vardır. Yöntem ^{14}C ölçümü için duyarlı ölçü aygıtlarına gereksinime duyar. Ölçüm öncesi örneklerin hazırlanmasında oldukça ileri düzeyde kimyasal ve vakum teknikleri kullanılır. Bilindiği gibi her ölçümde *belirsizlik* olur ve ^{14}C ölçümlerindeki belirsizlik bulunan yaşa belirli bir \pm değer olarak yansır. Her ölçümde olduğu gibi, yaş bağıntısında yer alan A ve A_0 ölçümlerinde de sayım istetistiğine bağılı, *rastgele* kökenli belirsizlikler vardır. Bu nedenle radyokarbon yöntemiyle bulunan bir yaş ancak, örneğin, $T = 4560 \pm 80$ yıl gibi verilebilir. Yöntemi uygulayan laboratuvarın özelliklerine bağılı olarak bulunan bir yaştaki belirsizlik yüzlerce yıla kadar çıkabilir. Beklentisi $T = 4500$ yıl olan birinin verilen yaşı şüpheyile karşılaması doğaldır, ancak onun şüphesi bulunan yaşın değerini ve radyokarbon yönteminin önemini azaltmaz.

Yukarıda örnek kirlenmesinin yaş hesabında yaratabileceği *tek yönlü* (*sistematik*) kökenli sapmalardan söz edildi. Bilinmesi gereken diğer önemli husus ise eskiden kullanılıp terkedilmiş yerleşimlere insanların gelip yeniden yerleşmesi ve öncekilerden kalanları kullanmalarındır. Yıllar önce devrilen bir ağaç yeni bir kulübenin yapımında kullanılmış olabilir. Bu ağaçtan gidilerek kulübenin yaşı bulunmak istenirse, elde edilen radyokarbon yaşı doğal olarak kulübenin değil ağacın devrildiği zamanı verir.

Tarihleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Arkeolojik buluntuların tarihlenmesinde kullanılan farklı yöntemler alttaki çizelgede özet bilgilerle verilmektedir. Bu yöntemlerin bazılarının tarihleme sınırlarını daha fazla değiştirme olanağı yoktur. Ama ölçüm yöntemlerinin ve aygıtlarının gelişmesiyle bazılarının sınırları büyük ölçüde değişebilir. Örneğin, çok daha duyarlı aygıtların olduğu bir laboratuvarında radyokarbon yönteminin üst sınırı 70 bin yıla kadar çıkabilmektedir.

Yöntemin Adı	Örnek Türleri	Tarihleme Sınırları (yıl)
Radyokarbon	Karbon içeren buluntular.	0 - 50 bin
Dendrokronoloji	Ağaç, odun kömürü.	0 - 10 bin
TL (Thermoluminescence) ve OSL (Optically Stimulated Luminescence)	Seramik, pişmiş toprak kaplar, tuğla, fırın buluntusu, çökelti.	bin -300 bin
ESR (Electron Spin Resonance)	Kireçtaşı, mercan, hayvan kabukları, diş.	bin -300 bin
Fizyon İzleri	Apatit, mika, zirkon, volkanik cam	30 bin - 20 milyon
Obsidiyen Hidrasyonu	çakmak taşı, volkanik cam, glasiyer taşları, volkan külü	yüz - 1 milyon
Potasyum-Argon (K/Ar)	ısıtılmış kaya, volkanik kaya	20 bin – 4,3 milyar
Arkeomanyetizma	Seramik, pişmiş toprak kaplar, tuğla, fırın buluntusu.	0 - 5 bin
Amino Asit	Organik maddeler.	2 bin - 2 milyon

Sonuç

Yöntemin bulunduğu yıllardan beri radyokarbon tarihlemesi yapan araştırmacılar arasında yakın işbirliği vardır. Araştırmacılar düzenli olarak konferanslarda bir araya gelirler. Konuyla ilgili her türlü bilgi ve çok sayıda laboratuvarın tarihleme sonuçları "Radiocarbon" dergisinde yayınlanır. Dergi son yıllarda Arizona Üniversitesi (ABD) bünyesinde, yılda üç sayı olarak yayınlanmaktadır. Dergiyle ilgili bilgiler <<http://www.radiocarbon.org/>> adresinde bulunmaktadır.

Bir buluntunun tarihlenmek üzere laboratuvara gönderilmeden önce mutlaka hangi arkeolojik sorunu çözmeye yararlı olacağını belirlemek gerekir. Salt kronoloji oluşturmak tek amaç olmamalıdır. Bulunan radyokarbon yaşı insanlık geçmişine ışık tutmalı, bilgiler vermeli ve doğru yorumlar yaptırmalıdır.

Radyokarbon yöntemi mutlak tarihleme yaparak göreceli tarihleme sorunlarının çözümüne yardımcı olmuştur. Bugüne kadar yayınlanan radyokarbon yaşları

yardımıyla eski kùltürler arasındaki kıtalar arası geçişler büyük ölçüde açıklığa kavuşmuştur.

Yöntemin ilk bulunduğu yıllarda tarihlemenin dışında bir kullanımının olabileceği düşünülemezdi. Elde edilen radyokarbon yaşlarının beklenen değerlerden sapmalar göstermesi ve bu sapmaların çoğunun ¹⁴C yoğunluğundaki değişimlere bağlı olduğu sonucuna varılması araştırmacılara tarihlemenin dışında ilginç çalışma alanları sunmuştur. Radyokarbon ölçüleriyle geçmişteki yerin manyetik alan değişimleri, Güneş etkinliğindeki değişimler ve iklim değişimleri hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Radyokarbon izi sürülerek gazların atmosferde nasıl ve hangi hızla karıştıkları gözlenmiş, atmosferle okyanuslar ve okyanus katmanları arasındaki alışverişler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Kaynak: Erdoğan, B. - O. Tanındı, - D. Uygun, TAY - Türkiye Arkeolojik Yerleşmeleri ¹⁴C Veri Tabanı, Ege Yayınları, Takım ISBN 975-807-003-7, Cilt ISBN: 975-807-075-4 İstanbul, 2004.

Kaynaklar

- (1) Mook, W.G. ve Waterbolk, H.T. *Handbooks for archaeologists* 1st ed. Strasbourg: ESF, 1985. Series title: ; no. 3.
- (2) Libby, J.W., 1965, *Radiocarbon Dating*, Phoenix Edition, Univ. of Chicago Press.
- (3) Geyh, M.A., 1971, *Die Anwendung der ¹⁴C-Methode*, Clausthaler Tektonische Hefte Nr. 11, Ellen Pilger Verlag, Clausthal-Zellerfeld.
- (4) Stuiver, M. ve Polach, H.A., 1977, Discussion: Reporting of ¹⁴C data, *Radiocarbon*, Cilt 19, Sayı 3, s. 355-363.
- (5) Aitken, M.J., *Science-based Dating in Archaeology*. Longman: London, New York, 1990. Series title: Longman archaeology series.
- (6) Gillespie, R., *Radiocarbon User's Handbook*. Oxford: Oxford University Committee for Archaeology, 1984. Series title: Monographs (Oxford University Committee for Archaeology), no. 3.
- (7) Michael, H.N. ve Ralph, E.K. *Dating Techniques for the Archaeologist*. Cambridge, MA: MIT Press, 1971.
- (8) Özbakan, M., 1983, ODTÜ C-14 Laboratuvarında Yapılan Tarihlendirme Sonuçları, *TÜBİTAK Arkeometri Ünitesi Bilimsel Toplantı Bildirileri III* (ODTÜ Ankara, 1982). Tübitak Yayınları No. 592, Ankara, s. 167-176.
- (9) Özbakan, M., 1994, *Radyokarbon Yöntemiyle Tarihlendirme Nasıl Yapılır?*, *Bilim ve Teknik*, Cilt 27, Sayı 318, Sayfa 64.

İnternet Kaynakları

- (1) <http://www.radiocarbon.org/>
- (2) <http://www.rlaha.ox.ac.uk/orau/>
- (3) <http://www.c14dating.com/>
- (4) http://www.nhm-wien.ac.at/NHM/Prehist/Stadler/14C_Project/
- (5) <http://id-archserve.ucsb.edu/Anth3/Courseware/Chronology/>