

GÜVENİLİRLİĞİ TARTIŞILAN BİR TARİHLENDİRME YÖNTEMİ

KARBON-14

1949 yılında Amerikalı kimyacı Willard Libby, tarih öncesi zamanla ilgili çalışmalar için dönüm noktası olacak, fakat daha önemlisi yerkürenin yaşı konusundaki bilgileri değiştirecek bir buluşla Nobel ödülünü kazandı. Libby'nin keşfi, bugün "karbon-14 yöntemi" ya da "radyokarbon tekniği" olarak bilinen, organik kalıntıların yaşını belirleme yöntemi. Arkeologlar 1950'lerde bu yeni yöntemi kullanarak ilk tarih öncesi yerleşimlere mutlak yaşlar verdiler. Bunun sonucu olarak da Rusya ve Afrika'daki Neolitik yerleşimlerin yaşlarının 50 bin yıl civarında olduğu belirlenirken, Filistin'deki Eriha şehrinin 11 bin yıl önce kurulmuş olduğu ortaya konmuş oldu. Halen arkeologlar, paleontologlar ve paleoantropologlar 50 bin yıldan daha genç olan organik malzemelerin (kemik, diş, odun kömürü vs) yaşını belirlemek için karbon-14 yöntemine başvuruyorlar.

Radyokarbon yöntemi, binlerce yıl öncesine ait bir mezardaki kemikler ya da ağaçtan yapılmış direkler gibi, bir zamanlar canlı olan varlıkların kalıntıları üstünde uygulanır. Böyle organik bir maddenin yaşını belirlemek için kalan radyokarbon miktarını saymak, buradan da canlının ne zaman radyokarbon almayı durdurduğu -yani ne zaman öldüğü- sonucunu çıkarmak gerekiyor. Yöntemin değeri, bir papirüs parçasının ya da seyrek karşılaşılan bir kafatasının ne kadar öncesine ait olduğunu öğrenmek gerektiğinde ortaya çıkmakta. Sonuç olarak, bu yöntem yeryüzünde radyokarbonun (karbon-14) yaygın, olağan ve kararlı karbona (karbon-12) oranını, ve daha da önemlisi bu oranın zaman içinde sabit kalıp kalmadığını doğrulukla bilmeye dayanıyor. Yani, yöntemin sağlıklı işlemesi için yeryüzündeki radyokarbon/doğal karbon oranı, yöntemle konu olan var-



lık hem hayattayken, hem de öldükten sonra aynı kalmış olmalı. Bu oran, yöntemin ilk geliştirildiği günden beri de aynı kabul edilmiş bulunuyor.

Karbon-14 Yöntemi

Böylesine önemli çalışmalara konu olan karbon-14'ün oluşumu şöyle açıklanabilir: Uzaydan gelen kozmik tane-cikler, yukarı atmosferde bulunan karbondioksit (CO_2) gazı moleküllerinden bazılarıyla karşılaşır ve bunlardaki yaygın, olağan ve kararlı (radyoaktif olmayan) karbon-12 atomlarını sürekli olarak bombardıman ederler. Böylece karbon-12 atomu, yapısına iki nötron alarak radyoaktif özellikteki karbon-14 haline gelir ve hemen bozunmaya başlayarak belli bir süre sonra azot-14 gazına dönüşür. Bu arada karbon-14 ve karbon-12 önce CO_2 yoluyla bitkiler (fotosentez), ardından da hayvanlarca özümser ve beslenme zincirine girer.

Karbon-14 yöntemi iki kritik varsayımına dayanmakta: İlki, üst atmosferdeki ^{14}C oluşum oranının sabit olması.

İkincisiyse, organizmalar tarafından emilen ^{14}C oranının bozunma oranına göre hızlı olması. Bu varsayımların her ikisi de doğru gibi gözükmemekte.

Bir örnekteki karbon-14'ü ölçme yöntemi, diğer izotopik yöntemlerden tümüyle farklı oluyor. İlk olarak örnek, vakumlu bir odada bir kısmı ^{14}C 'den oluşan CO_2 'e dönüşmesi için yakılır. Karbondioksit gazı, diğer atmosferik gazların pekçoğunun yok edildiği bir alandan geçirilir. Daha sonra bir Geiger sayacının bozunma aktivitesini ölçtüğü bakır bir sayım tüpünde yoğunlaştırılır. Ölçüm süresince örnek, atmosferik gama ışınlarından ve nötron bombardımanından korunmalıdır. Pek çok durumda yalnızca birkaç gram malzeme yeterli olur; ancak bazense birkaç kilogram da gerekebilir (Tablo). Yeterli malzemeye bile bir ölçüm yapmak için, herbir örneğin sayımı 12 ile 24 saat sürebilir. Sayılan örnekler, ölçümün hassas olması istendiğinden "fon gürültüsü" (doğal radyasyon) engellemek ve küçük hata hesaplamalarıyla tutarlı ölçümler yapmak için yeniden sayılır.

Herhangi bir bitki ya da hayvan için, karbon-14 atomunun dünyada doğal olarak bulunan yaygın ve olağan karbondan (karbon-12) farkı yoktur; canlı her iki atomu da sürekli olarak bünyesine alır ve bunların birbirlerine oranı bellidir. Bitki ve hayvan öldüğünde, dışarıdan karbon alışı durur. O anda organizmada ölünceye kadar almış olduğu karbon-12 ve radyoaktif karbon-14 bulunmaktadır. Organizmadaki karbon-12 miktarı sabit kalırken, radyoaktif karbon-14 bozunmaya devam ettiğinden karbon-12'ye göre oranı azalır. Yaş tayini için alınan örnekteki karbon-14 miktarını belirlemek için, bir gram karbondaki dakikadaki bozunma sayısını hesaplamak gerekir. Karbon-14'ün yarılanma ömrü 5.700 yıl olarak kabul edildiğinden, incelenen organizmanın ölüm tarihi buradan bulunur. Karbon-14'ün geri kalan miktarının yarısı da, daha sonraki 5.700 yılda bozulur ve ölçülemeyecek kadar küçük bir kalıntı kalıncaya kadar bu böyle devam eder. Bir ağaç, ölümünden 5.700 yıl sonra, canlıyken bünyesinde bulunan radyokarbon/doğal karbon oranının yalnızca yarısını taşır. 11.400 yıl (ya da iki yarı-ömür) sonra, doğadaki oranın yalnızca dörtte birini içerir. Yaklaşık beş yarılanma ömrü, ya da kabaca 30 bin yıl sonraysa, çok güç ölçülen bir kalıntı kalır, bu yüzden radyokarbon testi yalnızca 30 bin yıldan daha genç kalıntıların yaş tayininde sağlıklı şekilde kullanılabilir. Kavkı, ağaç, turba, kemik, sepet, kumaş, kağıt, besin ve hatta bazı çömlek ve demir parçaları gibi eski çağlara ait olan herhangi bir organik materyalin doğrudan doğruya yaşının saptanması mümkündür. Bununla birlikte karbon-14 yöntemi buzul devirlerinin yaşının belirlenmesinde güvenilir değildir; hiç kuşkusuz, yapılacak yeni çalışmalar yöntemin duyarlılığını geliştirmek için devam edecektir.

Jeoloji açısından karbon-14 yöntemi- nin en olumsuz yanı, kısa bir yarılanma süresinin oluşudur. Pratikte üst yaş sınırı yaklaşık 40.000 yıldır. Bununla birlikte, olağanüstü dikkat ve yüksek duyarlılıkta donanım karşı en fazla 60.000 ile 80.000 yıllık yaşlar ölçülebilmüş bulunuyor. Bir diğer sorun da tarihlendirilen ağaç halkalarındaki karbonun analiziyle ortaya çıkartılmış durumda. Bu çalışmalar, atmosferik ¹⁴C'un görelî miktarının, tarihsel zamanlarda

Karbon-14 yöntemi ile yaş tayininde kullanılabilecek uygun malzemeler		
Malzeme	Gerekli miktar (g)a	Açıklamalar
Kömür ve odun	25	NaOH etkisi ile yokedilen, humik asit içerebilen ayrılmış kömürün dışında, çoğunlukla güvenilir. Örnekleme sonrası artma hatasına bağlı olarak ağacın büyümesi ile insan tarafından odun olarak kullanılması arasındaki zaman farklılığı. Çoğunlukla güvenilir. Bu malzemeler kısa ömürlüdür ve önemsiz örnekleme sonrası artma hatalarına sahiptirler.
Tahıl taneleri, çekirdekler, yemiş kabukları, otlar, dallar, kumaş, kağıt, deri, yanmış kemikler	25	
Toprakla karışmış organik malzeme	50-300	Görünür kısmında en azından %1 organik karbon içermelidir. Arazide mümkün olduğunca topraklı kesimden almamaya gayret edilmelidir.
Turba	50-200	Genellikle güvenilir; ancak, güncel bitkilerin kökleri yok edilmelidir. Mesleki ve arkeolojik alanlarda turba oluşumu dikkatli bir inceleme gerektirir.
Fildişi	50	Genellikle iyi korunmuştur ve güvenilirdir. Fildişinin iç kısmı dış kısımdan daha gençtir. Bazı fildişi aletler kendisinden çok daha eski bir malzeme ile oyulmuş olabilir.
Kemik (kömürleşmiş)	300	Yoğun olarak kömürleşmiş kemikler güvenilirdir. Hafif kömürleşmiş olanlarsa güncel radyokarbon değişimi mümkün olduğundan güvensizdir.
Kemik (kolajen)	1000 veya fazla	Kolajen adı verilen, kemiklerdeki organik karbon güvenilirdir. Ancak organik karbon içeriği düşüktür ve zamanla bu oran %2'den daha düşük hale gelir.
Kavkı (inorganik karbon)	100	Kalsit ve aragonit kavkılarıdaki karbon karbonatlı yeraltısularındaki radyokarbon ile yer değiştirebilir. İzotop çekiminin dolaylı odun parçasına ait ¹⁴ C içerisindeki kavkı karbonu başlangıçta zenginleştirilmiş olabilir. Bu, eski karbonatlı kayaçların aşındırılması ile oluşmuş "ölü" karbonu içermesinden dolayı ¹⁴ C içerisinde tüketilmiş de olabilir. Bu yüzden kavkılara ait tarihlerin güvenilirliği kuşkuludur.
Kavkı (organik karbon)	Birkaç kilogram	Organik karbon, güncel kavkılardan 1-2'sinin oluşturduğu büyük deniz kabuğu şeklinde bulunur. Tarihler, bu malzemenin başlangıçtaki ¹⁴ C aktivitesinin belirsizliğinden dolayı sistematik hatalara neden olabilir.
Gölsel marn ve derin deniz ya da göl çökeli	Değişken	Bu tip malzemeler, kalsiyum karbonat içeren radyokarbon esasına dayanarak incelenebilir. Özel şartlara bağlı hataları değerlendirirken çok dikkatli olunmalıdır.
Çömlek ve demir	2-5 kilogram	Çömlek parçası yada madeni demir, yapımı sırasında bulaşan radyokarbon içerebilir. Bu tip örneklerle ait güvenilir yaşlandırmalar rapor edilmiştir.

a Tarihlendirme için gerekli olan malzemenin yaklaşık miktarı, 1 atm basınç altındaki CO₂ ile 8 litrelik sayacı doldurmak için yeterli olabilecek 6 gr. karbon varsayımına dayanmaktadır (Ralph, 1971'den).

oldukça değişken olduğunu, son yüz yılda ağaçların ve fosil yakıtların yakılmasına bağlı olarak önemli miktarda azaldığını gösteriyor. Nükleer patlamalar sonucunda da az miktarda atmosferik ¹⁴C ortaya çıkmakta.

Libby ve ekibi 1940'larda bu yöntemi geliştirirken, Dünya'daki karbon-14

miktarının insanın yeryüzündeki varoluş süresi boyunca değişmediğine inanıyorlardı; çünkü bu varoluş süresi, Dünya'nın 4,6 milyar yıl olarak kabul edilen yaşı yanında çok küçük kalıyordu. Libby de, radyokarbon oranını denge değeri ifadesiyle sabit kabul ediyordu. Dünya oluştuktan ve bir atmosfere

sahip olduktan sonra, karbon-14'ün oluşturulacağı 30 bin yıllık bir geçiş periyodunun olması gerekiyordu. Bu periyodun sonunda, kozmik radyasyon etkisiyle meydana gelen karbon-14 miktarı, sıfıra doğru bozulan karbon-14 miktarıyla dengelenecekti. Libby'nin terminolojisiyle, 30 bin yıl sonunda yeryüzündeki radyokarbon deposu sabit duruma ulaşmış olacaktı.

Jeolojideki "uniformitarizm" görüşüne göre, Dünya, deponun dolması için gereken 30 bin yıldan binlerce defa daha yaşlı olduğundan, radyokarbon miktarı milyarlarca yıl önce dengeyi yakalamış ve insanın yaratıldığı günden bugüne kadar da bu sabit değeri korumuş olmalı. Kuramın bu kısmını sınamak için Libby, radyokarbonun hem oluşma hem de bozunma oranlarıyla ilgili ölçümler yaptı ve önemli bir çelişki belirledi: Radyokarbon, atmosferde bozunup ortadan kalkma hızına göre % 25 daha hızlı oluşuyordu. Libby, bu sonucu deney hatası olarak kabul etti.

Libby'nin deneyleri 1960'larda, daha gelişmiş tekniklerle çalışan kimyacılar tarafından da tekrarlandı. Söz konusu radyasyon miktarı çok küçük olduğundan (saniyede birkaç atomun bozunması) ve sonuçları bozabilecek diğer bütün radyasyon kaynaklarını seçip elemek gerektiğinden, deneyler çok hassas ölçümleri gerektiriyordu. Yeni deneyler, Libby'nin saptadığı çelişkinin yalnızca deney hatası olmadığını gösterdi; bu gerçektir. Büyük hatalara karşın, bugünkü doğal oluşum oranının doğal bozunma oranını % 25 kadar aştığını gösteren güçlü belirtiler olduğu, karbon-14'ün oluşma ve bozunmasındaki dengenin korunmadığı belirlendi. Bu durumu, Hans Suess ve diğer bazı araştırmacılar doğruladılar. Verileri gözden geçiren metalürji profesörü Melvin Cook, karbon-14'ün bugünkü oluşum oranının dakikada bir gramda 18,4 atom, bozunma oranının bir dakikada bir gramda 13,3 atom olduğu sonucuna ulaştı. Yani aynı zaman aralığında, oluşma oranı bozunmadan %38 kadar fazlaydı. Bu keşif Cook tarafından şu şekilde açıklandı: "Bu sonucun iki anlamı olabilir: ya karbon-14'le ilgili olarak atmosfer şu ya da bu nedenle geçici bir inşa aşamasındadır, ya da radyokarbon yaş tayin yönteminin temel kabullerinden herhangi birinde bir yanlışlık vardır."

Cook, radyokarbon oluşması ve bozunmasıyla ilgili eldeki en son rakamları aldı ve buradan sıfır radyokarbona ulaşacak şekilde geriye doğru hesaplamalar yaptı. Aslında bunu yaparken, radyokarbon tekniğini kullanarak Dünya atmosferinin yaşını hesaplamaya çalışıyordu. Sonuçta, Dünya atmosferinin yaşı 10.000 yıl civarında çıktı. Uniformiteryen jeoloji ve Darwinci kuram diyetiyle beslenip yetiştirilmiş birisi için, ya da standart bir jeoloji ders kitabını açan lise ya da üniversite öğrencisi için, yaşamın Dünya üzerinde 10.000 yıl gibi kısa bir geçmişte olabileceği fikri, kaçınılmaz olarak mantıksız gözükür. Acaba radyokarbon yöntemi, yaşı bilinen nesneler için test edilip doğruluğu tamamen gösterildi mi? Acaba bu teknik, mükemmel sonuçlarla arkeolo-



Karbon 14 yöntemiyle tarihlendirme yapan bir cihaz.

jide geniş bir kabul gördü mü? Acaba kullanılan yöntemde yıllar önce herhangi bir kusur bulunmuş muydu?

Yöntem Sorunları

Radyokarbon yöntemi, yaşını bağımsız olarak arkeolojik kaynaklardan bildiğimiz nesneler üzerinde denenmişti ve etkileyici erken başarılar elde etmişti. Test edilen ilk eşyalardan biri, Mısır'da bir firavun mezarından çıkarılmış olan ve bağımsız olarak 3.750 yıl öncesine ait olduğu bilinen ağaç bir kayıktı. Radyokarbon denemesi 3.441 ile 3.801 yıl arasında bir tarih verdi; bu yalnızca 51 yıl gibi bir hata demekti. Fakat bu umut verici başlangıçtan hemen sonra, yöntem için zorluklar başladı ve sonra ki denemeler anormal yaşlar verdi.

Anormal yaşlarla ilgili son örneklerden birisi şuydu: 1991'de Güney Afrika'da açık arazide bulunan kayalara ait resimler. Oxford Üniversitesi tarafından analiz edilmiş ve yaklaşık 1.200 yaşı oldukları hesaplanmıştı. Bu önem-

liydi, çünkü bunlar bölgede bulunan ilk açık arazi resimleriydi. Fakat, bu konuda çıkan haberler Capetown'da oturan Joan Ahrens'in dikkatini çekti. Ahrens resimleri tanıdı; bunlar kendisinin resim dersinde yaptığı ve daha sonra bahçesinden çalınan resimlerdi. Bu gibi olayların anlamı şuydu: yanlışlıklar, yaş tayin tekniklerini bazı dış yöntemlerle kontrol etme şansına sahip olduğumuz böyle seyrek durumlarda ortaya çıkarılabilirliyi yalnızca. Böyle dışarıdan araştırma olanakları yoksa, karbon tekniğinin verdiği hükmü kabul etmek zorunda kalıyorduk. Bu anormal, keşiflerle ortaya çıkan durum Prehistorik Arkeolojiye Giriş adlı eserde şöyle özetleniyor: "Yıllardan beri, muhtemel hataların nisbeten küçük etkileri olabileceği düşünüldü, fakat radyokarbon yaşlarıyla ilgili yakın zamanda yapılan araştırmalar, karbon-14'ün atmosferdeki doğal konsantrasyonunun hesaplanan yaşları belli dönemlerde önemli ölçüde etkileyecek kadar değişmiş olduğunu gösteriyor. Değişim miktarı teorik olarak tahmin edilemediğinden, karbon-14 ile gerçek takvim arasında korelasyon yapabilecek mutlak kesinlikle paralel bir yaş tayin yöntemi bulmak artık zorunlu olmuştur."

Bunların dışında başka tehlikeler de söz konusu. Denizel kavkaların deniz suyundaki eski karbonatlı kayalardan çözünen karbonu topladığı bilinmektedir. Bu eski karbon radyoaktif olarak "ölü"dür ve gerçekte kavkının karbon-14C sayısını azaltır. Ender olarak bu durum, canlı bir kavkının oldukça eski bir yaş sonucu vermesine neden olur. Ancak yinede karbon-14 Kuvaterner jeolojisi ve arkeoloji çalışmaları için birincil yöntem olma özelliğini koruyor.

Selim Özalp

Dr., MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi
E-mail: ozalps@mta.gov.tr

Rifat Battaloğlu

Dr., Niğde Üniv., Fen-Edebiyat Fak., Kimya Böl.
E-mail: rbattaloglu@nigde.edu.tr

Kaynaklar

- Bourdial, I., 2001, Une faille dans le carbone 14. Science & Vie. No: 1007, Août, Paris.
- Faure, G., 1986, Principles of Isotope Geology. 2d ed., John Wiley, New York.
- Milton, R., 1997, Shattering the Mythes of Darwinism. Park Street Press, Vermont.
- Prothero, D.R., 1990, Interpreting the stratigraphic record. W.H. Freeman & Company, ISBN 0-7167-1854-5, s.293, New York.
- Ralph, E.K., 1971, Carbon-14 dating. In: H.N. Michael and E.K. Ralph (eds.), Dating Techniques for the Archeologist, 1-48, M.I.T. Press, Cambridge, Mass.
- Sieh, K. and LeVay, S., 1998, The Earth in Turmoil. ISBN 0-7167-3151-7, 291-295, New York.