

Karbon 14

Tarihlendirme

Yöntemi

Dr. Turhan Dođan [TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü

Tarihlendirme konusu bilimin yıllarca çözüm bulmaya çalıştığı konulardan biri. Öyle ki ölçülebilir ve kanıtlanabilir mutlak tarihlendirme yöntemleri geliştirmek son elli yılın önemli araştırma alanları arasında yer alıyor.

Bilim insanları evrenin oluşumu, Dünyamızın geçirdiği süreçler, canlılar ve insanlık tarihi gibi araştırma alanları için farklı tarihlendirme yöntemleri geliştirmiştir.

Örneğin evrenin oluşumu ve kozmik olayları tarihlendirirken milyar yıl düzeyinde bir ölçek gerekirken insanlık hareketleri, medeniyetlerin gelişimi gibi yakın zamanlı olayları tarihlendirmek için son on bin yıla odaklanmak gerekir.

Diğer bir ifadeyle, evrenin oluşumundan bugüne kadar geçen zamanı bir cetvele yansıttığımızı düşünürsek, kilometre ve milimetre ölçeğindeki bölgelerin uzunluklarını ölçmek için farklı araçlar kullanmamız gerekecektir.

Bu nedenle fiziğe ve kimyaya dayalı çeşitli tarihlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle insanlık tarihine ışık tutan birçok çalışmada mutlak tarihlendirme yöntemi olan karbon 14 ile yaş belirleme bu tarihlendirme yöntemlerinin başında gelir.

Wrangel Adası'nda bulunan mamut fosilinin karbon 14 analizi mamutlar hakkında bilinenleri değiştirmiş ve mamutların 4000 yıl öncesine kadar hayatta olduğu gösterilmiştir.

Karbon 14'ün Hikâyesi

Kimyager Dr. Willard Libby 1947'de *Science* dergisine yazdığı "Kozmik Radyasyondan Radyokarbon" başlıklı makalesini postaya vermek için Chicago Üniversitesi kampüsünde yürürken keşfinin yirmi birinci yüzyılda ulaşacağı boyutları belki aklından geçirmemiştir. Makalesinin yayımlanmasını takip eden dönemde geliştirdiği karbon 14 (radyokarbon) ölçme yöntemi ile her canlıda bulunan karbon 14 atomlarının birer nükleer saat gibi çalıştığını ve karbon 14 miktarının ölçülebilir olduğunu gösterir. Karbon 14'ün doğadaki ve biyosferdeki davranışını açıklayan ve karbon 14'ü bir tarihlendirme yöntemi olarak geliştiren Dr. Libby bu çalışmalarıyla 1960'ta Nobel Kimya Ödülü'nü aldı. Günümüzde karbon 14 ile tarihlendirme yöntemi arkeoloji, jeoloji, jeofizik, çevre bilimleri, adli tıp, kriminoloji, biyomedikal ilaç araştırmaları gibi birçok disiplinde kullanılan bir yöntemdir. Arkeologlar karbon 14 ile tarihlendirme yöntemini arkeolojide bir devrim olarak kabul eder. Karbon 14 ile yaş belirleme yönteminin uygulanması sonucu arkeologların ve yer bilimcilerin öne sürdüğü birçok tarih yeniden ele alınıp düzeltilmiştir.

Karbon 14 ile Yaş Belirlemek Nasıl Mümkün Oluyor?

Atom numarası aynı, kütle numarası farklı olan atomlara izotop denir. Karbon atomunun doğada üç izotopu vardır: Karbon 12, karbon 13 ve karbon 14. Dünya'daki karbonun yaklaşık %99'u karbon 12, %1'i karbon 13'tür. Karbon 14 ise karbon atomlarının trilyonda biri kadardır. Yani eğer günümüzden bir örnekte bir trilyon karbon atomu varsa bunlardan sadece biri karbon 14 atomudur. Peki bu karbon 14 nereden geliyor?

Karbon 14 atmosferin üst tabakalarında azotun nötronla tepkimesi sonucu oluşur. Azot bir protonunu kaybederek karbon 14'e dönüşür. Karbon atomları atmosferdeki oksijenle tepkimeye girerek karbondioksit'e dönüşür. Atmosferden karbon 14 içeren karbondioksit ise fotosentezle bitkilerin bünyesine girer. Besin zinciri ile artık karbon 14 bütün canlıların yapısında mevcut hale gelir. Canlılar hayatta olduğu sürece yapılarına karbon 14 alırlar.

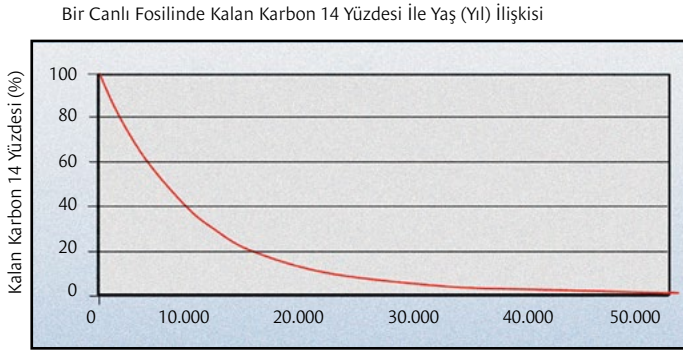


Karbon 14 bozunması kum saatinin çalışmasına benzer. Yapılan araştırmalara göre polen, tohum, karınca gibi küçük canlılardan mamut, fil, sekoya ağacı gibi devasa organizmalara kadar tüm canlıların ölmesinin ardından bünyelerindeki karbon 14 atomları azalmaya başlar. Karbon 14 atomu bir beta parçacığı (elektron e^-) ve bir anti-nötrino ($\bar{\nu}_e$) yayarak, çekirdeğindeki nötronlardan biri protona dönüşürken karbon 14 de azot 14'e dönüşür.

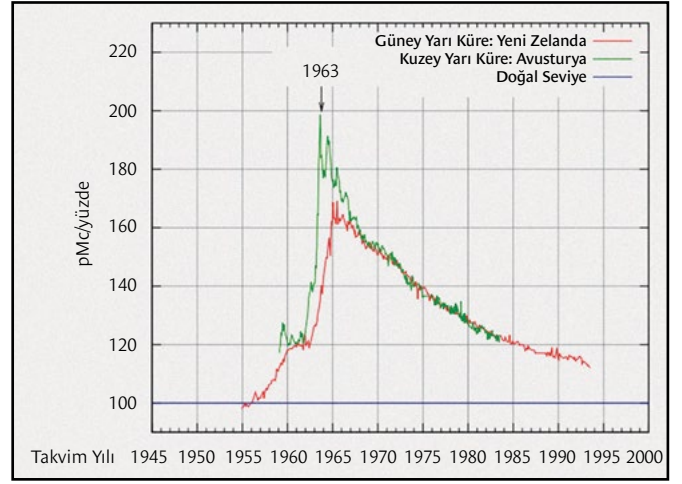
Öldüklerinde ise dışarıdan karbon 14 alımı durur ve vücuttaki karbon 14 miktarı azalmaya başlar. Karbon 14'ün yarılanma süresi 5730 yıl kadardır. Yani bir canlı öldükten 5730 yıl sonra içindeki karbon 14 miktarı yarıya inmiş olacaktır.

Elimizde bir kum saati var diyelim. Saatin üst bölmesindeki kumun tamamının karbon 14 atomları olduğunu farz edelim. Bu kum saatini çevirdiğimizde, üst bölmede başlangıçta ne kadar kum olduğunu ve ne kadar kumun ne kadar zamanda alttaki bölmeye geçtiğini bilirsek, herhangi bir anda saati çevirdiğimiz andan itibaren o ana kadar ne kadar zaman geçtiğini hesaplayabiliriz. Karbon 14 yöntemi ile tarihlendirmeyi de bir kum saatine benzetebiliriz. Başlangıçtaki karbon 14 miktarını ve bu miktarın 5730 yılda yarılanacağını biliyorsak, o andaki karbon 14 miktarını tespit ettiğimizde canlının ölümünden sonra ne kadar zaman geçtiğini de hesaplayabiliriz.

Mevcut teknoloji ile örneklerin yaşını 50.000 yıla kadar tespit etmek mümkün. Karbon 14 analizi ile yapılan yaş tayinine "radyokarbon yaşı" denir. 50.000 yıldan daha önce ölmüş canlıların fosillerinde ise karbon 14 miktarı tespit edilemeyecek seviyeye inmiş olur. Literatürde ve ansiklopedilerde bu sınırdan 60.000 yıl olarak da bahsedilir. Ancak 60.000 yıl standart uygulamalarda ulaşılan yaş sınırından ziyade özel araştırmalardaki sonuçtur. Karbon 14 laboratuvarları yaygın olarak en eski 43.000-50.000 yıl öncesine tarihlendirme yapabilir.



Bir canlı fosilinde kalan karbon 14 yüzdesi ile yaş (yıl) ilişkisi logaritmik olarak azalır. 50.000 yıldan daha yaşlı fosillerin tam yaşı karbon 14 tarihlendirme yöntemi ile tespit edilemez. Bu tür örnekler "50.000 yıldan daha yaşlı" şeklinde bildirilir.



Nükleer silah denemeleri sonucunda güney yarı kürede ve kuzey yarı kürede meydana gelen karbon 14 artışı. Doğal seviye mavi çizgi ile gösterilmiştir. 1963'te Avusturya'da yapılan ölçümlerde karbon 14 miktarı doğal seviyenin 2 katına çıkmıştır.

Sapmalara Neden Olan Durumlar

Karbon 14 analizinde aslanan karbon atomlarının sayılmasıdır. Karbon 12 atomları radyoaktif olarak bozunmaz ve fosillerde karbon 12 miktarı sabit kalır. Oysa karbon 14 atomları radyoaktif olarak bozunur ve zaman içinde azalır. İşte bu sayede karbon 14 atomlarının karbon 12 atomlarına oranına bakılarak yaş belirleme hesapları yapılabilir. Ancak bazı doğa olayları sonucunda bu oranlar değişebilir. Örneğin yanardağ patlamaları sonucu atmosfere çok miktarda karbon 12 içeren karbondioksit salınır. Bu da karbon 14/karbon 12 oranını bozarak kuramsal eğriden sapmalara neden olur. Yanardağ patlaması ile atmosfere daha fazla karbon 12 salınacağından, patlamanın olduğu bölgede karbon 14 ile yaş belirleme yapılırsa daha eski tarihler bulunacaktır. Doğal karbon izotop dengesine etki eden başka bir olay da Güneş'teki patlamalardır. Bu patlamalar sonucu atmosfere ulaşan kozmik ışınlar karbon 14 seviyesinin artmasına neden olur.

Bu doğal etkiler dışında insan etkinlikleri nedeniyle oluşan sapmalar da vardır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi yakıtların kullanılmasıyla atmosfere çok fazla miktarda karbon 12 yayılır. Atmosferdeki karbon 12 miktarının bu şekilde artarak doğal dengenin bozulmasına Suess etkisi adı verilir. Dünya'daki karbon 14-karbon 12



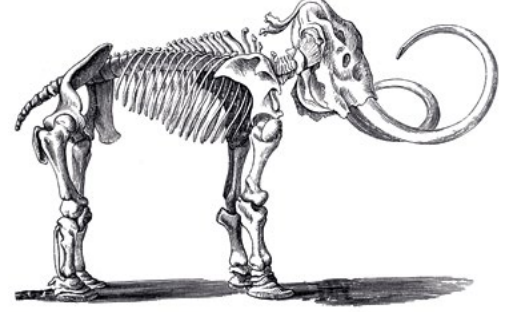
dengesini bozan en önemli etken 1950'lerde başlayan nükleer silah denemeleridir. Nükleer silah denemelerinde ortaya çıkan karbon 14 yüzünden Dünya'daki karbon 14 seviyesi doğal seviyenin iki katına çıkmıştır. 1960'ların ortasında zirve yapan bu durum Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması sonrasında düzelmeye başlamıştır, ama 1955'ten sonra karbon 14 seviyesinde meydana gelen değişimler, tarihlendirme konusunda ciddi belirsizliklere yol açmıştır.

Karbon 14 Testi Neden Bu Kadar Önemli?

Arkeoloji alanında son yılların en büyük keşfi olan ve insanlık tarihine dair kuramların tekrar gözden geçirilmesine sebep olan Göbeklitepe'nin, Çatalhöyük'ün ve Anadolu'daki başka birçok yerleşimin tarihlendirilme çalışmaları hep karbon 14 yöntemiyle yapıldı. İstanbul'daki metro çalışmaları sırasında Yenikapı'da ortaya çıkan kalıntılar Tarihî Yarımada'da ilk yerleşim tarihini günümüzden yaklaşık 8500 yıl geriye çekti. Aynı şekilde Lüt Gölü Ruloları ve Torino Kefeni gibi uluslararası alanda yankı bulan konuları aydınlatmak için de karbon 14 ile tarihlendirme yöntemine başvuruldu.

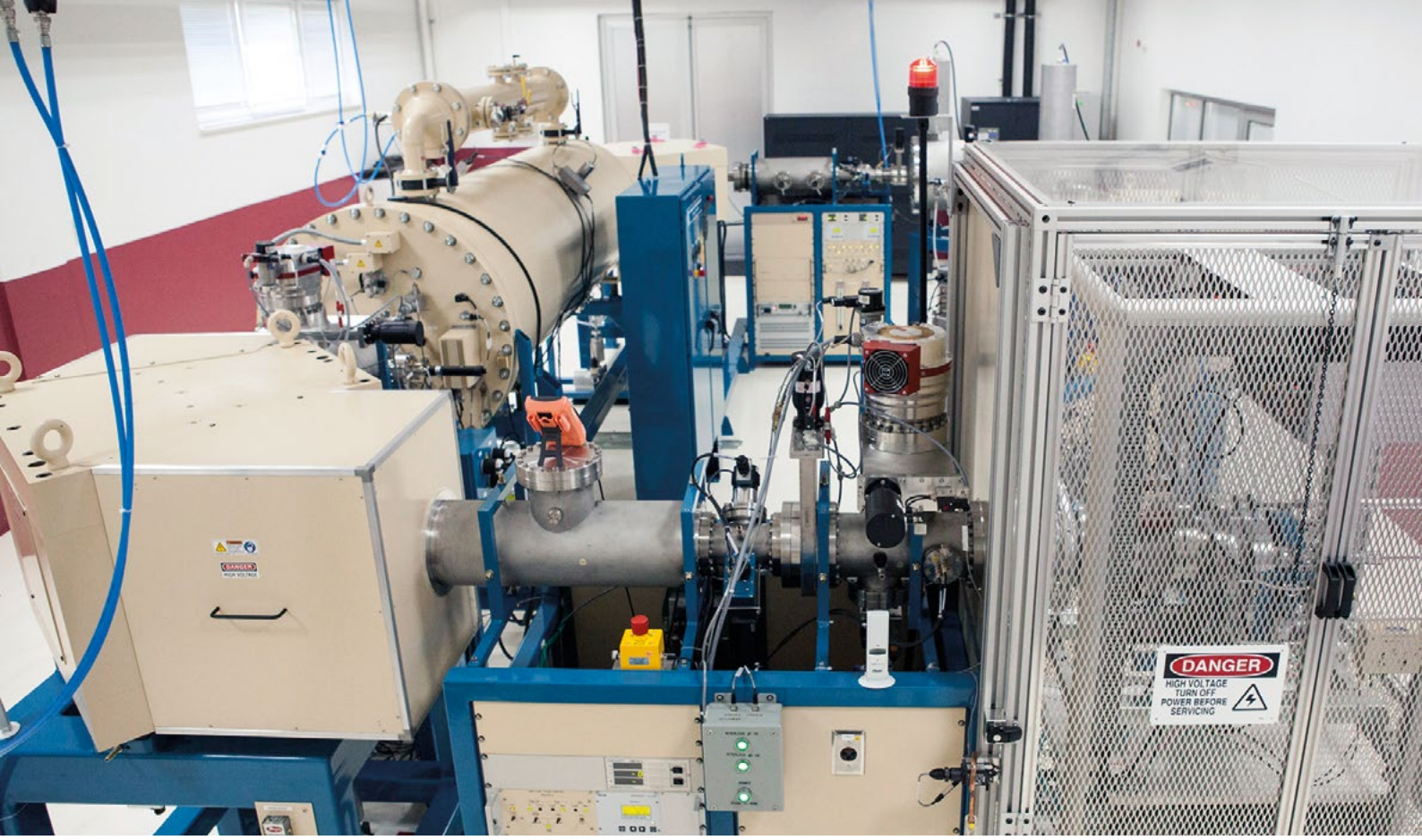
Karbon 14 ile yaş belirleme denilince akla ilk önce tarih ve arkeoloji gelse de yöntemin uygulama alanları çok geniş. Örneğin diyabet, gut, anemi gibi metabolizma rahatsızlıklarına dair araştırmalarda ve mide hastalıklarına sebep olan *helicobakter pilorinin* tespiti için yapılan üre nefes testinde de karbon 14 ile analiz teknolojisi kullanılıyor. Fildişi, gergedan boynuzu ve hayvanlardan alınmış başka vücut parçalarının yasadışı ticaret kapsamında olup olmadığı gibi kriminoloji alanına giren konularda da karbon 14 ölçümüne başvurulur. Bilim insanları yine karbon 14 ölçümü ile bir fay hattı üzerinde geçmişte hangi aralıklarla deprem olduğunu, eski bir eserin yaşını belirleyebiliyor, ayrıca karbon elementinin izini takip ederek ilaçların vücudumuzdaki seyrini takip edebiliyor.

Yer bilimlerinde yer hareketlerinin tespiti, fay hatlarındaki hareketlerin ve jeolojik tabakaların tarihlendirilmesi, depremlerin tarihteki sistematik davranışlarının araştırılması gibi çalışmalarda farklı tarihlendirme yöntemleri kullanılsa da son elli bin yıl içinde olanları araştırmak için en çok karbon 14 ile tarihlendirme yöntemine başvuruluyor. Örneğin yakınlarda yapılan bir çalışmada Okyanus tabanından, deniz seviyesinin 7500 metre altından alınan örneklerde yapılan karbon 14 testleri sonucunda Pasifik Okyanusu'ndaki depremlerin geçmişine yönelik önemli bilgilere ulaşıldı.



Voynich el yazmaları karbon 14 testi ile tarihlendirilmemiş olsa birçok dil bilimcinin üstünde çalıştığı ve gizemi hâlâ çözülemeyen bir çalışmadan ziyade bir şaka olarak kabul edilirdi.





Karbon 14 Yaş Belirleme Laboratuvarında Neler Yapılır?

İlk karbon 14 tarihlendirme laboratuvarları altmış yıl önce açıldı. Karbon 14'ün en çok başvurulan tarihlendirme yöntemi olması ile yöntem dünyanın önde gelen araştırma laboratuvarlarına yayıldı. Teknolojideki gelişmeler ile ölçme yöntemi de geliştirildi. 1980'lerde hızlandırıcıların yaygınlaşmaya başlaması ve hızlandırılmış kütle spektrometrelerinin (AMS- *Accelerated Mass Spectrometer*) belli başlı üniversitelerde kullanılmaya başlanması karbon 14 ile tarihlendirme yönteminde bir çığır açtı. AMS ile ölçüm yapılmadan önce karbon 14 atomlarının beta ışınması sayılıyor (sintilasyon sayımı) ve buradan elde edilen sonuca göre tarihlendirme yapılıyordu. Bu sayımda hata payının yüksek olması, sayımın uzun sürmesi ve en önemlisi analiz için önemli miktarda örnek gerekmesi yönetime ciddi kısıtlamalar getiriyordu. AMS ile yapılan ölçümlerde ise miligram ağırlığında örnekler yeterli olur hale geldi. Bu sayede polenleri bile tarihlendirmek mümkün oldu. Ayrıca paha biçilemez eserlerin tarihlendirilirken minimum tahribata neden olarak çok hassas ölçüm yapma olanağı elde edildi.



TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde kısa süre önce kurulan ve karbon 14 yöntemi ile analiz yapan yüksek teknolojili bir laboratuvar ulusal ve uluslararası düzeyde hizmet vermeye başladı.

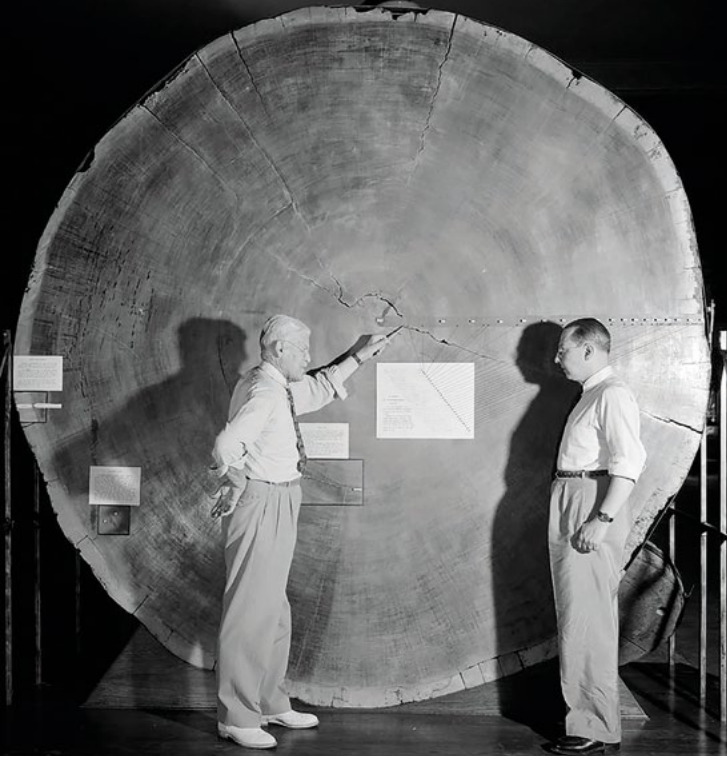
Arkeoloji, yer bilimleri, çevre bilimleri, kriminoloji ve adli tıp çalışmalarında laboratuvara gelen örneklerin karbon 14 ile tarihlendirme analizine uygun olması için mutlaka canlı kökenli örnekler olması gerekir. Örneğin kömürleşmiş malzemeler, ağaç parçaları, tohum, deniz kabukluları, mercanlar, kabuklar, yumuşakçalar, polen, kemik, deri, parşömen, kâğıt, dokunmuş parçalar, diş, polen, çömlek parçaları, boynuzlar.



Karbon 14 analiz yöntemi yaş tayini analizi dışında da başvurulan bir yöntemdir. Bir malzemenin güncel biyolojik kökenli mi yoksa sentetik kökenli mi olduğu yani köken analizi de karbon 14 yöntemi ile yapılabilir. Örneğin karbon 14 analizi ile bir yakıtın biyodizel mi yoksa petrol bazlı mı olduğu tespit edilebilir. Sanayide bir çok alanda kullanılan etanolün köken tayini yani tarımsal kökenli mi yoksa sentetik kökenli mi olduğu da yine karbon 14 yöntemi ile yapılır.

Yaygın uygulamaları ele aldığımızda, karbon 14 analizi için laboratuvara getirilen bir örnek dört aşamadan geçer. Bu uzun bir süreçtir. Üniversitelerin ve ulusal araştırma merkezlerinin araştırma laboratuvarlarında ortalama raporlama süresi iki ay kadardır. Diğer taraftan az sayıdaki özel laboratuvarlarda bu süre biraz daha kısa olabilir. Laboratuvara gelen örnek ön incelemeden geçer. Bu inceleme sırasında analiz süreci planlanır. Yapılan ilk işlemler fiziksel ve kimyasal arındırma işlemleridir. On bin yıllık bir tohum fosilinin laboratuvara geldiğini düşünelim. On bin yıl toprak altında gömülü kalan bu malzemeye top-

raktan parçalar karışmış olacaktır. Bu parçalar toprağın yapısındaki karbonat, humik asit gibi farklı maddeler olabilir. Laboratuvarında öncelikle malzemenin bu kirliliklerden arındırılması gerekir. Eğer laboratuvara bir kemik örneği geldiyse kemikteki kolajenin çıkarılması gerekir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra örnekteki karbon miktarı bilinmiyorsa toplam karbon miktarı ölçülür. Fiziksel ve kimyasal temizlikten geçmiş örnekler bir miligram grafit formunda saf karbon haline getirilir. Sonraki aşamada ise bir miligram saf karbon hızlandırılmış kütle spektrometresi (AMS) ile ölçülür. Bu ölçümde karbon atomu izotoplarına ayrılarak karbon 12, karbon 13 ve karbon 14 tek tek sayılır. AMS ile saniyede on defa sayım yapmak ve bu sayımı on bin defa tekrar etmek mümkündür ve bütün bu işlemler otuz dakikadan daha kısa bir sürede yapılabilir. Bu kadar hassas ölçüm yapılabilen AMS dünyadaki en hassas analitik ölçüm sistemlerinden biridir. Bu sistemle, örneğin on bin yıllık bir örnek için ± 30 yıl hassasiyette ölçüm yapılabilir. Elde edilen bu sonuçlar kalibrasyon veri tabanları kullanılarak kalibre edilir ve raporlanır.



Karbon 14 ile tarihlendirme yönteminin bilimsel olarak geçerli bir yöntem olduğuna dair en önemli kanıt ağaç analizlerinden elde edilen sonuçlardır. Ağaçlar her sene bir halka üretir. Halka sayısı o ağacın kaç yıl yaşadığını gösterir. Bunun dışında da yaşı bilenen birçok örnekle karbon 14 yönteminin geçerliliği sınanmıştır.



Ulusal 1MV Hızlandırılmış Kütle Spektrometresi AMS Laboratuvarı

Karbon 14 ile yaş belirleme teknolojisi, özellikle Türkiye gibi tarih öncesi ve sonrası birçok medeniyete ev sahipliği yapmış, ender jeolojik ve tektonik coğrafyada yer alan bir ülke için çok önemli bir teknoloji. Bu teknolojinin az sayıda ülkede aktif olarak uluslararası hizmet verdiğini düşünürsek, ilk yirmi ekonomi içinde yer alan ülkemiz için bu teknolojiye ve yetkinliğe sahip olmak büyük bir kazanım.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde kurulan Ulusal 1MV Hızlandırılmış Kütle Spektrometresi Laboratuvarı'nda karbon 14 ile tarihlendirme çalışmalarını artık en son teknoloji ve uzman bir ekiple yapmak mümkün. Laboratuvar deneme çalışmalarını tamamlayıp 2016'nun ikinci yarında ulusal ve uluslararası hizmet vermeye başladı.

Son teknoloji bir altyapı ile kurulan laboratuvarın senede iki bin karbon 14 analizi yapma potansiyeli var. Laboratuvar personelinin çekirdek kadrosu yurtdışından Türkiye'ye dönmüş uzmanlardan oluşuyor. ■

Kaynaklar

Currie, L. A., "The remarkable metrological history of radiocarbon dating II", *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Cilt 109, Sayı 2, s. 185-217, 2004. doi:10.6028/jres.109.013

Manning, M. R. ve Melhuish, W. H., "Atmospheric ¹⁴C record from Wellington", In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 1994 <http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/welling.html>

Rui, B. vd., "Tectonically-triggered sediment and carbon export to the Hadal zone", *Nature Communications*, Cilt 9, Sayı 121, s. 1-8, 2018. DOI: 10.1038/s41467-017-02504-1

Taylor, R. E. ve Bar-Yosef, O., *Radiocarbon Dating: An Archaeological Perspective*, s. 33, Routledge, 2014