

# Eskiye Ölçmek...



*Arkeolojik kazılarda ele geçen buluntuların değerlendirilmesine yönelik olarak çeşitli bilim dallarınca gerçekleştirilen çalışmalar, 'arkeometri' adı verilen yeni bir alanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. 'Eskiye ölçmek' anlamına gelen arkeometri; kazı yerlerinin belirlenmesi, buluntuların tarihlendirilmesi, zaman dizininin oluşturulması ve işlenen maddelerin kaynaklarının saptanması gibi unsurların ele alındığı geniş bir çalışma alanı içinde arkeolojiye hizmet etmektedir.*

**A**RKEOLOJİ, 'eskinin bilimi' anlamına gelir ve Yunanca 'archaios' kelimesinden türetilmiştir. Erken tarihli arkeolojik araştırma ve kazı çalışmalarına baktığımızda, çalışma gruplarında ilk olarak dilbilimcilerin, yerbilimcilerin ve haritacıların yer almış olduğunu görürüz. Bu erken tarihli kazı çalışmalarından biri, Alman araştırmacı Heinrich Schliemann tarafından 11 Ekim 1871'de Çanakkale il sınırlarında antik adı Troya olduğu düşünülen yerleşimde başlatılmıştır. Bu çalışmaya Troya'nın botanik, zoolojik ve jeolojik yapısını araştırmak üzere, çeşitli alanlarda çalışan bilimadamları katılmışlardır. Emile Burnouf'un, harita ve planları çizdiğini, Prof. Rudolf Virchow'ın da bir kafatasına ait geometrik çizimler yaptığını Schliemann'ın yazılarından biliyoruz.

Kazı yöntem ve tekniklerinin gelişmesi ile verilerin daha sağlıklı ve ayrıntılı şekilde toplanması sağlanmıştır. Böylece çeşitlenen ve artan buluntuları bilimsel olarak değerlendirmek için farklı uzmanlık alanları ile yeni ilişkiler kurmak bir zorunluluk olmuş ve temel bilimlerin ışığında ortaya çıkan son teknolojik gelişmeler kullanıma sunulmuştur.

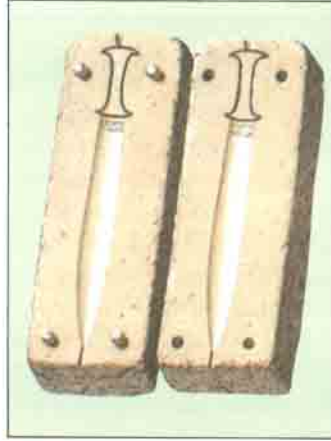
İnsan toplulukları kendi oluşturdukları kültürel bir çevre içinde yaşamlarını sürdürürler; fakat bu kültürel çevreyi doğal çevreden soyutlamaya olanak yoktur. Toplumlar, kültürel bakımdan hangi düzeyde olursa olsun, doğal çevreleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Paleoekoloji de, geçmişteki toplumlarla çevre ilişkisini açıklama çabasında olan bir bilim dalıdır. Tarih öncesine ilişkin araştırmalarda toplumlar ve tarihleri daha ayrıntılı olarak incelendiği halde, o toplumların içinde yaşadığı doğal ortam ve koşullar üzerinde aynı oranda durulmamıştır. Bunun nedeni ise; kültürel kalıntıların çok sayıda bulunmasına karşın, geçmişe ait doğal koşullar ve olayları günümüze yansıtacak doğal kanıtların yetersiz olmasıdır. Doğal çevre; ona değişik oranlarda katkıda bulunan dört ana gruptan oluşur: yer koşulları, hava koşulları, su koşulları, bitkiler ve hayvanlar. Bunlardan çevre özelliklerini en iyi yansıtan grup bitki ve hayvanlardır. Ancak bu canlılar kısa ömürlü oldukları için geçmişin koşullarını tümüyle aydınlatmak yönünden yetersiz kalmaktadır. Geçmişe ait iklimsel izler de yok denecek kadar azdır. Buna karşın yer koşulları; aşınım ya da birikimler şeklinde günümüze kadar ulaşmıştır.

Paleoekolojik araştırmalarda önceliğin jeomorfolojik incelemelere verilmesi gerekmektedir. anakkale Boğazı evresi Pleistosen ortalarına kadar, güneybatıdan Marmara Denizi'ne yönelen bir akarsuyun vadisi halindeyken Orta Pleistosen sonlarında oluşan genç tektonik okntler nedeniyle Akdeniz, kuzey Ege'den bu bölgeye sokulmuştur. Böylece st Pleistosen'in buzullararası çağlarında ve Holesen'de yükselen deniz seviyesi ile boğazlar oluşmuştur. st Pleistosen'in buzul çağlarında deniz yüzeyi alalınca, bu boğazlar kurumuş ve yeniden vadi görünümü kazanmıştır. Paleolitik dönemin bu zamanında yaşayan insanlar Çanakkale Boğazı'nı yürüyerek geebilmiflerdir. Önceleri Karamenderes (Scamander) körfezini dolduran denizin, ilerleyen akarsu alüvyonları ile dolmasıyla boğaz ve çevresi bugünkü görünümünü almıştır.

Geçmiş ile ilgili araştırmalarda arkeobiyolojik verilerin değerlendirilmesi son 20-25 yıldır tüm dünyada oldukça önem kazanmıştır. Tüm canlılar ekosistem içerisinde -Darwin'in "Türlerin Kökeni" ve "Evcilleşmenin Hayvanlar ve Bitkiler zerine Etkileri" adlı eserlerinde temellendirdiği gibi- yaşamlarını karşılıklı bir etkileşim içerisinde srdrelemişlerdir. Zamanın belirli bir kesitinde yaşamış, ölmüş, nesli tükenmiş canlılara ait parçalanmış ve atılıp saklanmış kemiklerin, bugün, osteometrik ölçümler ve çeşitli zoolojik yaklaşımlar yardımıyla incelenmesi, kültür tarihi sorunlarına açıklık ve yanıt getirmektedir. Kemiklerin arkeometrik olarak, makrometrik düzeyden mikrometrik-moleküler düzeye kadar ölçülüp incelenmesi ile:

- Çeşitli hayvan türlerinin tanısı,
- bireysel varyasyonların saptanması,
- zaman aşımı sürecinde yaban türlerinde oluşan hacimsel değerliklik,
- Çeşitli evre ve yerleşim birimlerine göre, hayvan türlerinde görülen hacimsel değerliklik ve farklılık,
- cinsiyet tayini ve cinsiyete bağlı değerlişimlerin saptanması,
- dişlerin çıkış, aşınma biçim ve derecesinden yararlanarak yaş tayini,
- evcil türlerin saptanması ve bunların yaban türleri ile karşılaştırılması,
- tarih öncesi ve tarih çağlarındaki evcil hayvan türlerinin ayrıcalıkları,
- hayvan türlerinin ve bireylerinin biyomorfolojik özelliklerinin saptanması,

*M.. 14. yüzyıldaki Akdeniz deniz ticareti ile ilgili çok önemli buluntuların elde edildiği Kaç-Uluburun Batığı'nda ele geçen bakır klelerinden bir örnek ve çeşitli bronz aletler; bu tür aletleri üretmek için kullanılan döküm kalıbı çizimi.*



- hayvanların boy, yükseklik ve karkas ağırlığı ile et verimlerinin saptanması,
- iskelet patolojisine bağlı olarak arkeopatolojik ve teratolojik durumların saptanması gibi konularda, güvenilir sonuçlara ulaşılması sağlanmaktadır.

Arkeobiyolojik araştırmalar kendi içinde çeşitlilik gösterir. İlginç bir alışma, M 8. binin ilk çeyreğine tarihlenen Çayönü yerleşiminde denenmiş olan kan analizleridir. Kazıda bulunan taş ve kemik aletler üzerinde, kan ve doku gibi protein içeren kalıntılar belirlenmiştir. Mozaik tabanlı, önemli bir yapının çeşitli yerlerinde insan, sığır ve koyun-keçi hemoglobin kristalleri saptanmıştır. Konut olarak işlev görmekten çok topluma hizmet etmiş olan anıtsal yapılarda görülen bu kan izleri rastlantısal olarak meydana gelmiş olsa bile, adak, kurban gibi ritueler ile ilgili olmaları mümkündür. Ayrıca, kazılarda bulunan hayvan kemikleri de insan-doğa ilişkisini anlamamız için önemli bilgiler verir. Burdur ili sınırları içinde yer alan Kuruçay Höyüğü 1978 ve 1987 yılları arasında kazılmıştır. Bu alışmalarda M 5000 yıllarına tarihlenen tabakalarda bulunan hayvan kemikleri morfolojik olarak değerlendirilip bugünkü türleri ile karşılaştırıldıklarında; daha iri, çok

daha çıkıntılı, pürüzlü ve daha keskin kenarlı oldukları belirlenmiştir. Yabanıl hayvanlardan Kutup Ayısı'na rastlanması, Kalkolitik ağ'da Kuruçay Hyğnn bulunduğu ekolojik ortamın, en yüksek kesimlerde buzullarla kaplı olabileceğini de düşündürmektedir.

Paleoekolojik araştırmaların diğer alt alanları; palinoloji, ksiloji, dendroklimatoloji, dendrokronolojidir. Palinoloji, polenlerin ve sporların etüdü anlamına gelir. 'Polynos' sözcüğü hava içerisindeki



*2000 yıl öncesine ait Mısır mummyası ve Amerika'da bulunmuş, 8000 yıl öncesine ait bir kafatası üzerinde yapılan DNA testleri*





Ergün Kaptan  
MTA, Tabiat Tarihi Müzesi

Yirmi yıl önce Türkiye madencilik tarihinin anlaşılması için başlatılan çalışmalar sırasında, Tokat bölgesi de bu araştırma kapsamı içerisinde yer aldı. Karadeniz Bölgesi'nin orta kısmında yer alan Tokat'ın, kimler tarafından ve ne zaman kurulduğu kesin olarak bilinmemektedir. Ancak bu bölgenin çağlar boyu madencilik etkinlikleri açısından önemli bir yer olduğu, yapılan arkeometrik araştırmalarla ortaya çıkmıştır. Tokat-Almuş ilçesi yöresinde 1974 yılında yapılmış olan araştırmalarda, Bakımlı köyünde küçük bir cürufla deposu saptanmıştır. Bakır cevherinin ergitilmesi sonucunda açığa çıkmış cürufların içinde, ergitme fırınının kalıntıları ile aş kaplarına ait seramik parçaları bulunmuştur. Cüruflar, genellikle iri taneli, gözenekli, hafif ve mat siyah renklidirler. Cürufların hafif olması, eski metalurjistlerin cevherin ergitilmesinde başarılı olduklarını kanıtlar. Bu cürufla deposu, Anadolu'da maden cevherinin bilinçli ve başarılı olarak ergitilmiş olduğu Eski Tunç Çağı'na (M.Ö. 3000-2000) ait şimdilik tek buluntudur.

Almus-Gevrek köyü, Gevrek alanı mevkiinde saptanan bir başka bakır cürufla deposu içinde, pişmiş topraktan yapılmış bir döküm kalıbı parçası bulunmuştur. Bu parça, madencilik tarihimiz açısından önemli bir buluntudur; çünkü bu döküm kalıbı, ergitilmiş bakır cevherinin, belirlenmiş boyutlarda ve ağırlıkta biçimlendirilmesi için kullanılmış olmalıdır. Bu buluntu Tokat bölgesinde Tunç Çağı'nda külçe bakır ticareti yapıldığını belgeler niteliktedir. Yine, Gevrek köyünün Gecepinarı mevkiinde saptanmış olan cüruflar camı yapıda olup, bu bölgede benzer örneklerine şimdilik

tozu, 'Paluna' ise serpmek, dağıtmak, toz yapmak eylemlerini içerir. 'Pollen' latince toz, un demektir. 1945 yılından bu yana hızlı gelişmeler gösteren Palinoloji; polen morfolojisi, polen fizyolojisi, polen kimyası gibi alanlardan yararlanarak gerçekleştirilen polen analizleriyle, türlü ortamlarındaki turbalıklar, göller, buzullar, kömürler, bal ve özellikle arkeolojik kazılarda elde edilen pişmiş topraklar, çanak-çömleklerdeki polenleri araştırır. Bitkilere ait veri sayılabilecek polenlerin ve sporların çokluğu, birçok alanda bilgi toplanmasını sağlar. Eğ-

retilerin tek bir keseceğinde 30 milyon spor bulunur; Sarıçam'ların bir çiçek kurulumunda 5 775 000, bir ağacında ise 12.5 milyar polen vardır. Birçok Sarıçam'ın oluşturduğu bir ortamda, saçılma dönemindeki polenlerin çokluğu tahmin edilebilir. Polenlerin ve sporların dayanıklı zarları, bunların oksitlenmelerini engelleyerek milyonlarca yıl özelliklerini kaybetmeden korunabilmelerine olanak sağlar. Polenler ve sporlar morfolojik özelliklerine göre tanımlanabilir. Böylece, bunların yakın zamanlı ve fosil örnekleri tanınabilmekte ve o dönemle-

## Madencilik Tarihimizde Tokat'ın Yeri

lik rastlanmamıştır. Cüruflarda gözlenen bu camı özelliğinin; cevherin ergitilmesi sırasında açığa çıkan cürufların akışını kolaylaştırmak için fazla miktarda sütlü kuvars, sleks vs. gibi katkı maddelerinden ileri geldiği, metalurjistler tarafından ifade edilmiştir. Tokat kentinin kuzeyinde Erbaa ilçesi sınırları içindeki Horoztepe'de bulunan tunç (bakır + kalay) mamüller, MÖ 2100 yıllarına tarihlenir ve eski metalurjinin kanıtı sayılan dökümcülüğe ileri bir tekniğe ulaşılmış olduğunu gösterir.

Tunçtan yapılmış materyallerin üretiminde kullanılmış olan bakırın önemli bir alaşımı olan kalay cevherleşmesinin bulunmasına yönelik araştırmalar hâlâ güncelliğini korumaktadır. Niğde-Çamardı, Celaller köyü yöresinde, Eski Tunç Çağı'na ait bir yeraltı kalay işletmesi belirlenmiştir. Jeoarkeolojik araştırmalarla, 1987-1989 yıllarında Celaller Santuzla mevkiinde bir kalay oksit minareli olan kasiterit'in (SnO<sub>2</sub>) varlığı saptanmıştır. Santuzla (Kestel) yeraltı kalay işletmesindeki arkeometrik araştırmalara devam edilmektedir. Erbaa ilçesinin 28 km güneyindeki Kozlu bucağına yakın "Gümüşlük eski madencilik mevkiinde" de son derece önemli eski bir yeraltı maden işletmesinin var olduğu saptanmış, 1977 yılında MTA tarafından araştırmalara başlanmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Gümüşlük eski maden galerisi yüzeyden 45-50 m derinlikte ve doğu-batı doğrultusundadır. Bu, eski madencilerin belki de mineralizasyon alanı doğrultusunda ulaştıkları en son derinliktir. İlk üretim evresinde bu antik maden ocağı muhtemelen kuyu görünümünde, yuvarlak tabanlıydı. Eski madencilerin sonraki çağlarda daha derinlerde bulunan cevherli tabakalara ula-

şabilmek için 'desandre' (iniş) yöntemini uyguladıkları varsayılmaktadır. Tumba sahasında yapılan kazıda 8.20 m derinlikte ve ana kaya üzerinde, eski maden işletmeciliğinin ilk üretim evresine ait olan işlenmiş ağaç kütükler bulunmuştur. Bunlar, kesici aletler ile boyları doğrultusunda yontularak inceltirilmiştir. Bu materyallerden alınan parçaların ODTÜ Fizik Bölümü laboratuvarında radyokarbon tarihlemesi yapılmış ve C-14 analizinin kalibrasyon eğrisine göre düzeltilmiş gerçek yaşları M.Ö. 4650 ± 109 olarak bulunmuştur. Bu tarih, sözü edilen sülfürlü bakır yatağının ilk işletme tarihidir. Bu kalıntı sayesinde, Anadolu'da şimdilik en eski yeraltı madenciliklerinin M.Ö. 5 000 yıllarında Tokat bölgesinde yapılmış olduğu belirlenmektedir. Ayrıca buradaki bakır işletmeciliğinin M.Ö. 5 000 yılından M.S. 3. ve 4. yüzyıl sonlarına değin devam etmiş olduğu anlaşılmıştır. Bölgede yapılan genel araştırmalarda, bakır cevherlerinin çıkartıldığı eski işletme merkezleri ile ergitme işlerinin yapıldığı yerlerin, genellikle değişik ve uzak yörelerde oldukları saptanmıştır. Böylece maden ocağını işleten madencilerle eski metalurjistlerin ve külçe maden ticareti yapanların mesleklerinde uzmanlaşmış farklı kişiler oldukları sonucuna varılmıştır. Eski maden bölgeleri bizde de, dünyadaki bazı ülkelerde yapıldığı gibi, yeni maden yataklarının bulunmasına katkı sağlayacak kalıntılar şeklinde değerlendirilmelidir.

**Kaynaklar**  
Kaptan, E., 'Ancient mining in the Tokat province, Anatolia: New finds', *Anatolica*, II, 1986.  
Kaptan, E., 'Anadolu'da kalay ve eski yeraltı kalay madenciliği' *Tmmob, Jeoloji Müh. Odası yayın organı*, sayı 40, 1992.  
Yener, K.A., Özalp, H., Kaptan, E., Pehlivan, A.N., and Goodway, M., Kestel: 'An early Bronze Age source of tin ore in the Taurus Mountains, Turkey' *Science* 244, 1989.

rin bitki örtüsü, buna bağlı olarak da iklim hakkında bilgi edinilebilmektedir. Palinoloji'nin sağladığı yararlar, arkeologlar ile palinologları ortak çalışmalara yöneltmiştir.

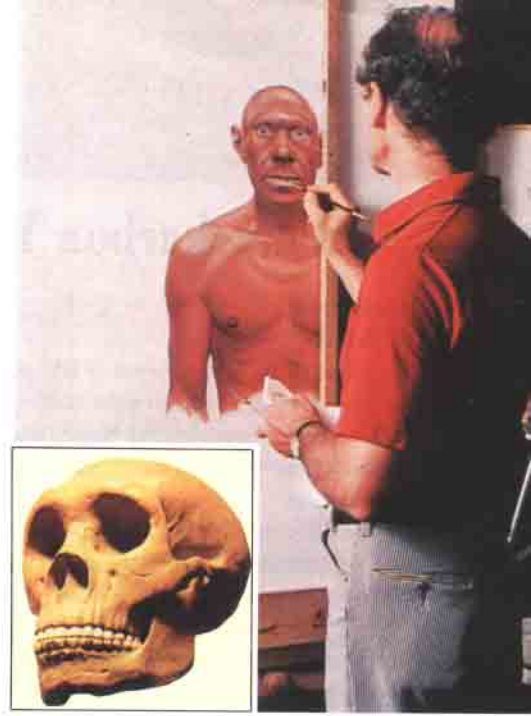
Kazılarda ortaya çıkan değişik materyallere polen analizleri uygulayarak, eserlerin yapıldıkları ve kullanıldıkları dönemlere ait bilgi edinmek mümkündür. Ayrıca, sözkonusu uygarlık döneminde hakim olan çevre koşulları, iklim tipleri, bitki örtüsünün formasyonu, tarıma yönelik uğraşların olup olmadığı, kültür düzeyi, insanların yerleşme yerlerinin dışına taşınıp taşınmadıkları, toprak araç ve gereçlerin o yöreye ait olup olmadıkları, bunların başka yörelerden ticaret metayı olarak gelip gelmediği konusunda değerlendirmeler yapmak da mümkün olabilmektedir.

"Ksiloloji" terimi ilk kez 1835'te 'odun bilimi' anlamında kullanılmıştır. "Ksilos" odun demektir. Bu bilim odunların makroskobik ve mikroskobik yapılarını inceler; odun oluşumunu, odunların tanınmasını, özelliklerini öğretir. Arkeolojik araştırmalarda rastlanan odun materyalleri üzerinde yapılacak incelemeler çok önemli katkılar sağlar. Arkeolojik yapılarda ve eserlerde hangi tür odunların kullanıldığının saptanması, kültürel ve doğal çevre konusunda bilgi verir. Dendroklimatoloji ve dendrokronoloji alanları da ksilojiden doğmuştur. Dendroklimatoloji, ağaçların yıllık hal-

kaları ile iklim arasındaki yakın ilişki-den yararlanır. Yıllık halkaların oluşmalarında o yılın iklim koşullarının etkin olması nedeniyle, bu halkalara bakarak geçmiş yılların ilkbahar ve yaz aylarının sıcaklık ve yağış yönünden nasıl geçtiği anlaşılabılır. Dış etkenler küçümsenemeyecek kadar önemlidir. Örneğin ağaçların çap artımları, sıcaklık ve yağıştan çok fazla etkilenir. Yüksek dağ kesimleri ve kuzey enlemlerdeki ülkelerde ilkbahar ve yaz ayları yağışlı olduğundan, sıcak geçen vejetasyon döneminde yıllık halkalar belirgin şekilde geniş olurlar. Ağaçlar, iklim koşulları ile uyum sağlarlar; iç ve dış yapılarında bazı değişiklikler oluşturarak yaşamlarını sürdürürler.

İklim koşullarının en acımasız olduğu durumlarda bile ağaçlar bu ölüm kalem savaşında yenilmezler. Ağaçların yıllık halkaları üzerinde iklim koşullarının etkisine ilginç bir örnek, Grönland'da yetişmiş bir söğüt ağacıdır. Bu ağaç 100 yaşında olup, 30 cm boy ve 3.2 cm çapa ulaşabilmiştir; yıllık halkalarının ortalama genişliği ise 0.16 mm olarak saptanabilmiştir. 'Dendron' (ağaç), 'kronos' (zaman), 'logos' (bilim) sözcüklerinden oluşturulan 'dendrokronoloji' ağaçların yıllık halkaları yardımı ile türlü amaçlar için yaş saptama bilimidir. Bugün, yaşamakta olan, çok yaşlı, kalın gövdeli ağaçların yıllık halkaları incelenerek, yüzlerce yıl geriye gidilebilir. Son yıllarda Anadolu'da çok önemli araştırmalar yapılmaktadır. Bugüne kadar 1000'in üzerinde örnek,  $\pm 37$  yıllık sapma ile tarihlendirilebilmiştir. En eski örneklerden bazıları Kültepe, Warşama Sarayı'nda MÖ. 1849  $\pm 37$ ; Acemhöyük Hatipler Tepesi, Sarıkaya Sarayı'nda MÖ. 1791  $\pm 37$ ; Konya, Karahöyük'te MÖ. 1785  $\pm 37$ ; Porsuk, Ulukışla'da MÖ. 1261  $\pm 37$ ; Gordion, Midas Tümülüsü'nde MÖ 757  $\pm 37$  yıllarına tarihlendirilmişlerdir.

Arkeometrik çalışmalar Anadolu coğrafyasında birçok boşluğu doldururken aynı zamanda, kabul görmüş bazı düşüncelerin yeniden tartışılmasına neden olmuştur. Özellikle arkeometalürjik alanda önemli çalışmalar ya-



Antropologların, Neanderthal insanına ait kafatasları üzerinde yaptığı fenotip canlandırma çalışması.

pılmaktadır. Günlük hayatın birçok alanında kullanılmış olan bronzu elde etmek için gerekli olan kalayın Anadolu'da çok az olduğu ve Mezopotamya'dan ithal edildiği düşünülmekteydi. Ancak son yapılan araştırmalar ile Orta Toros'larda (Niğde - Çamardı, Celaller, Şantuzla) Kalkolitik (M.Ö. 5000-3000) ve Eski Tunç (M.Ö. 3000-2000) dönemlerine denk düşen kalay madenleri ve atelyeleri bulunmuştur. İzotop analizlerinden anlaşıldığına göre, Orta Toros madenlerinin hem Anadolu kentleri hem de komşu bölgelerdeki merkezler tarafından kullanıldığı anlaşılmıştır. Böylece, Kalkolitik ve Eski Tunç dönemi Anadolu'sunun sosyoekonomik ve politik yapısı daha berraklaşmıştır.

Başlangıçta tarz karşılaştırmalarını (style-critic) kullanarak çeşitli buluntuları değerlendiren arkeoloji, artık ortaya koyduğu hipotezleri desteklemek için arkeometrik çalışmalardan yararlanmak durumundadır. Arkeometrik çalışmalar, aynı zamanda temel bilimlere yepyeni uygulama alanları yaratırken, deneysel olarak gelişmelerine de katkıda bulunmaktadır. Böylece, günümüzün teknolojisi ve bilimi Anadolu'nun bu konudaki birikimlerini anlamaya yardımcı olduğu gibi, kendi geçmişi ile de buluşma fırsatını elde etmiş olmaktadır.

Macit Tekinalp

Kaynaklar  
Esin, U. (Yay. Haz.) Schliemann Heinrich, Troya Kazı Raporları ve Mehtaplardan Seçme Parçalarla, İstanbul 1991  
Arkeometri Ve Sonuçları Toplantısı, VIII, T.C. Kültür Bakanlığı, Ankara 1985-1992  
Arkeometri Ünitesi Toplantı Bildirileri, IV, TÜBİTAK, Ankara 1982-1985.



Kömür içinde bulunmuş Orta Miyosen Çağı'na ait çeşitli Pinus (çam) bitkilerinin polenleri (500 kez büyütülmüş).

# Radyokarbon Yöntemiyle Tarihlendirme Nasıl Yapılır?

Mustafa Özbakan  
ODTÜ Fizik Bölümü

Radyokarbon yöntemiyle son 50 000 yıla ait organik madde içeren buluntular tarihlenebilir. Tarihlendirme yöntemlerinden bazıları, maddelerin radyoaktivite olarak bilinen özelliklerinden yararlanır.

Bazı elementlerin izotoplarının bir kısmının atom çekirdekleri kararsızdır ve durduğu yerde kendiliğinden bir parçacık fırlatarak ya da elektromanyetik ışınlar yayarak değişikliğe uğrar. Elementlerin bu özelliğine "radyoaktivite"; bir atom çekirdeğinin kararsızlığı nedeniyle kendiliğinden değişime uğramasına "radyoaktif bozunma" denir. Belirli bir anda, elimizde bir radyoaktif izotoptan 1000 tane atom olduğunu varsayalım. Bu atomlardan hangisinin ne zaman bozunmaya uğrayacağını bilmek olanaksızdır. Gözlemler, belirli bir süre sonra 1000 atomdan 500 tanesinin bozularak değiştiğini ve elimizde 500 tane atomun bozunmadan kaldığını gösterir. Geçen bu süreye radyoaktif izotopun "yarılanma süresi" ya da "yarı ömrü" denir. Eğer bir yarılanma süresi daha geçerse, elimizde kalan 500 atomun yarısının daha bozunduğu ve 250 tane atomun bozunmadan kaldığı gözlenir. Üç yarılanma süresi sonunda elimizde bozunmadan kalan atom sayısı 125'tir. Bozunma olayı, elimizdeki radyoaktif atomların tümül bozununca ya kadar sürüp gider.

Karbon (C) elementi doğada çok yaygın olarak bulunur. Bu element organik maddelerin temel taşlarından biridir. Karbon elementinin doğada en çok bulunan izotopunun atom numarası  $Z = 6$ , kütle numarası  $A = 12$ 'dir. Karbonun bu izotopunu C-12 yazarak gösterelim. Karbon elementinin, doğada kütle numarası  $A = 13$  ve  $A = 14$  olmak üzere iki izotopu daha vardır. Doğada çok az olan radyoaktif C-14 izotopunun yarılanma süresi 5730 yıl, ortalama süresi 8250 yıldır. C-14 izotopu yaygın olarak radyokarbon ya da karbon-14 olarak adlandırılır. Radyokarbon izotopu; uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferin en üst tabakalarında yarattığı nötronların, atmosferin üst tabakalarında azot elementi ( $Z = 7$ ;  $A = 14$ ) atomlarıyla etkileşmesi sonucu meydana gelir. Meydana gelen radyokarbon atomları oksitlenerek, karbondioksit gazına dönüşür ve yarılanma süresine göre çok kısa bir sürede atmosferin her yanına dağılır. Özümlenme yoluyla bitkilere, bitkilerden toprağa; beslenme yoluyla hayvanlara ve insanlara geçer. Karbondioksit gazının çok büyük bir kısmı okyanus sularında çözünür ve kalsiyum karbonat olarak deniz kabuklularına geçtikten sonra bu kabukluların çökmesi sonucu tortul kayaların



yaşısına girer. Karbondioksit gazının bir kısmı ise toprakta bulunan suda eriyerek kireç taşlarının oluşumunda yer alır. Atmosferin üst tabakalarında yılda toplam olarak yaklaşık 7,5 kilogram C-14 meydana geldiği bulunmuştur. Radyokarbon izotopu oluşur oluşmaz, 5730 yıl olan yarılanma süresine göre bozunmaya başlar. Başka bir deyişle C-14 izotopu bir yandan oluşurken diğer yandan bozunma yoluyla yok olur. Oluşum hızı ile bozunma hızının eşitlendiği denge noktasından sonra, toplam C-14 miktarı sabit kalır. Oluşum hızının, bozunma hızına eşit olması için ortalama süre olarak, 8250 yılın geçmesi gerekir. Her yıl 7,5 kilogram C-14 meydana geldiğine göre, 8250 yıl sonra oluşan denge miktarı  $8250 \times 7,5 = 61\,875$  kilogram olur. Buna göre, şu anda yeryüzünde toplam olarak 61 875 kilogram (yaklaşık 62 ton) C-14 izotopu vardır ve C-14 atomları atmosfere, bitkilere, diğer canlılara, toprağa, okyanuslara ve yeraltı sularına dağılmış durumdadır.

Tüm canlıların vücudunda bulunan organik maddelerde, atmosferden alınan radyokarbon izotopu vardır. Bir canlı öldüğü anda atmosferden vücuduna C-14 girişi kesilir. O anda canlının vücudunda bulunan C-14 atomları bozunmaya başlar ve her 5730 yılda yarılanarak sayıları azalır. İçinde organik karbon bulunan, eski zamanlarda yaşamış bir canlının C-14 yoğunluğu ölçülerek ne zaman öldüğü belirlenebilir. C-14 yoğunluğu ölçümü için C-14 izotopunun radyoaktif bozunmasından yararlanır. C-14 izotopu yardımıyla organik bir buluntunun öldüğü zamanı belirlemeye, "radyokarbon yöntemiyle tarihlendirme" adı verilir.

Yeryüzünde yaşayan bir bireyin vücudunda her  $2 \times 10^{12}$  tane C-12 atomuna karşılık, sadece 3 tane C-14 atomu vardır. Yaşamakta olan bir canlıdan 1 gram karbon aldığımızı varsayalım. Bu 1 gram karbon içinde yaklaşık olarak  $5 \times 10^{22}$  tane karbon atomu vardır. Yukarıda elde edilen orana göre, yaşayan ve vücudundaki C-

14 yoğunluğu atmosferdeki C-14 yoğunluğuna eşit olan canlıdan elde edilen 1 gram karbondaki yaklaşık olarak  $7 \times 10^{10}$  tane C-14;  $5 \times 10^{22}$  tane C-12 atomu bulunur. Ortalama olarak 8250 yılda ( $4,34 \times 10^9$  dakika) 1 tane C-14 atomu bozunacağı için, 1 gram karbondaki C-14 bozunması dakikada yaklaşık 16 atomun bozunmasına eşittir. Bu hesaba göre, günümüzden 5730 yıl önce (MÖ 3736 yılı) ölmüş olan bir canlıdan (A diyelim) kalan 1 gram karbondaki C-14 bozunma hızı 8 bozunma/dakika, günümüzden 11 460 yıl ( $2 \times 5730$  yıl; MÖ 9466 yılı) önce ölmüş olan bir canlıdan (B diyelim) kalan 1 gram karbondaki C-14 bozunma hızı 4 bozunma/dakika olur. Organik madde içeren eski zamanlara ait bir kalıntıdan elde edilen 1 gram karbondaki C-14 atomlarının günümüzdeki bozunma hızı ya da C-14 atomlarının yoğunluğu doğrudan ölçülerek kalıntının günümüzden kaç yıl öncesine ait olduğu bulunabilir. Bunun için buluntunun günümüzde sahip olduğu C-14 yoğunluğunun yanısıra hayatta olduğu zaman sahip olduğu C-14 yoğunluğunun da bilinmesi gerekir. Atmosferde ve yaşayan canlılarda günümüzde ölçülen C-14 yoğunluğunun eski zamanlarda da aynı olduğu ve hiç değişmediği varsayılarak, tarihlenecek buluntunun hayattayken sahip olduğu C-14 yoğunluğu günümüzdeki C-14 yoğunluğuna eşit alınır.

Radyokarbon tarihlendirmesine temel oluşturulan üstteki varsayımın doğru olmadığı, geçmişte çeşitli nedenlerle atmosferdeki ve canlılar evrenindeki C-14 yoğunluğunun bazı zamanlarda önemli miktarlarda arttığı, bazı zamanlarda ise azaldığı bulunmuştur. Bilimadamları yaklaşık son 10 000 yılda atmosferdeki C-14 yoğunluğundaki değişimleri ölçerek bunların tarihlendirmelerde meydana getirdiği sapmaları belirlemişlerdir. Geçmişte C-14 yoğunluğunda meydana gelen değişimler ve bunların tarihlendirme üzerinde ne tür etkiler yarattığı incelenirken; geçmişteki iklim değişimleri, buzul çağı, yerin manyetik alanındaki değişimler, Güneş lekelerinin atmosfere gelen kozmik ışın akışına etkileri, atmosferde yapılan nükleer silah denemelerinin yarattığı etkiler, insanların her geçen gün yakarak daha çok tükettiği kömür, petrol ve linyit gibi yakıtlardan çıkan karbondioksitin atmosfere etkisi gibi çok farklı konulara da girmek gereklidir.

#### Kaynaklar

- W.F. Libby, Radiocarbon Dating, Chicago, 1965.  
Mebius A. Geyh, Die Anwendung der C-14 Methode, Clausthaler Technisches Heft No. 11, Clausthal-Zellerfeld 1971.  
M.J. Aiken, Physics and Archaeology, Oxford 1974.  
W.G. Mook ve H.J. Waterbolk, Handbooks for Archaeologists, No. 3 Radiocarbon Dating, European Science Foundation (ESF) 1985.  
R. Bowen, Isotopes in the Earth Sciences, New York 1988.