

DERLEME / REVIEW ARTICLE

doi: 10.17986/blm.2016323752

## İskelet Kalıntılarından Ölüm Zamanı Tayininde Radyoizotop Analizleri

### Radioisotope Analyses in Determination of Time Since Death from Skeletal Remains

Özge Ünlütürk

Adli Tıp Kurumu Başkanlığı, Morg İhtisas Dairesi, İstanbul

#### Özet

Ölüm zamanı tayini adli olgularda en önemli sorunlardan biridir. Cesedin taze olduğu veya yumuşak dokusunun henüz mevcut olduğu durumlarda ölüm zamanını tespit etmek nispeten daha kolaydır. Ancak cesetlerin dekompozisyon seviyesi ilerlediğinde veya iskeletleşme gerçekleştiğinde ölüm zamanı aralığını tespit etmek daha komplike bir hale gelmektedir. Cesedin dekompozisyon aşamaları değerlendirilirken çevresel şartlar, cesedin bulunduğu konum ve cesedin beden özellikleri gibi farklı kriterlerin birlikte incelenmesi gerekir. Ölüm zamanı tayini öncelikle makroskopik olarak morfolojik değişimlere göre yapılmaktadır. Ancak, özellikle ölümün üzerinden uzun süre geçtiği ve iskeletleşmenin gerçekleştiği durumlarda çeşitli histolojik, kimyasal veya fiziksel yöntemler de ölüm zamanının tespit edilmesinde kullanılabilir. Bu yöntemlerden radyoizotop analizleri, çevresel faktörlerden etkilenmemesi bakımından en çok üzerinde durulan yöntemler olmuştur. Yarılanma ömürlerinin kısa olması sebebiyle özellikle Sr ve Pbradyonüklidlerinin ölçümleri ile yapılan analizler ölüm zamanı aralığının tespitinde başarılı sonuçlar vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ölüm zamanı tayini; Radyoizotop analizi; Nükleer test; Sr; Pb.

#### Abstract

Estimation of the time since death is one of the most important problems in forensic cases. It is relatively easier to estimate the time since death in such cases if the corpse is fresh or the soft tissue still exists. However, estimating postmortem interval becomes more complicated as decomposition stage of the corpse develops. While evaluating decomposition stages of a corpse, different criteria like environmental conditions, position of the body and bodily features should be studied all together. Estimation of the time since death is carried out macroscopically in the first place according to morphological changes. Nevertheless, various histological, chemical and psychical methods can be used as well to estimate the time since death particularly if long time passes after death and skeletonization begins. Of all these methods, radioisotope analyses are the most discussed method since it is not affected by environmental factors. Because of their short half-lives, the analyses especially carried out with measurement of Sr and Pbradionuclides have produced successful results in estimating postmortem intervals.

**Keywords:** Time Since Death; Radioisotope Analyze; Nuclear Testing; Sr; Pb.

#### 1. Giriş

Bir ceset bulunduğu 3 temel sorun söz konusudur; ölenin kimliği, ölüm zamanı ve ölüm şeklinin tespiti. Bu üç temel sorundan biri olan ölüm zamanı tespiti adli soruşturmalar açısından kritik olduğu kadar cevaplaması zor bir husustur. Cesetlerin dekompozisyon seviyesi ilerlediği veya komple iskeletleşme gerçekleştiği zaman, dekompozisyon oranındaki çeşitlilik ve postmortem değişiklikler ölüm zamanı tahminini komplike hale getirmektedir. Bu aşamadaki böceklerin aktiviteleri ve yaşamsal döngüsü gibi bazı bulgular ölümün üzerinden uzun süre geçmeye başladıkça kullanışlılığını kaybetmektedir (1).

Sorumlu Yazar: Yrd. Doç. Dr. Özge Ünlütürk

Adli Tıp Kurumu Başkanlığı,

Morg İhtisas Dairesi, İstanbul

E-posta: ozgeunluturk@gmail.com

Geliş: 04.06.2016 Düzeltme: 21.06.2016 Kabul: 22.06.2016

Cesedin dekompozisyon aşamaları değerlendirilirken özellikle çevresel şartlar ve cesedin konumu gibi farklı kriterleri birlikte dikkate almak gerekmektedir. Havanın ısı, mevsimsel özellikler, nemli ya da kurak oluşu, bölgenin yağış oranları, yüksek veya düşük rakımda olması, cesedin yüzeyde ya da gömülü olması, akan suyun ya da durgun suyun içinde bulunması, açıkta bırakıldıysa doğrudan güneş altında ya da ormanlık alanda bulunması, gömüldüyse yüzeyden ne kadar derinliğe gömüldüğü, gömülü olduğu toprağın pH'ı, asidik veya ıslak toprak olup olmadığı, yeraltı sularındaki iyon miktarı, bitki örtüsü, çevredeki kemirgen ve etobur hayvan müdahalesi, böceklerin aktivitesi, cesedin pozisyonu, üzerinde kıyafetlerinin olup olmaması ya da çöp torbası gibi herhangi bir şeyin içine konulup konulmaması, tahnit bulunup bulunmaması, beden yapısı ve ağırlığı, sağlık durumu gibi çok sayıda faktörde kompozisyonun gelişmesi ve derece-

si konusunda etkili olur (2-7).

Her bir özellik ayrı ayrı ve birbirleriyle ilişkili olarak kemik üzerinde farklı değişimlerin olmasına neden olmaktadır. Ölüm üzerinden zaman geçtikçe bu kriterlerin ölüm zamanı tahminine yönelik sunduğu veriler azalmaktadır. Bunun yanı sıra özellikle künt travma veya ateşli silah yaralanması gibi kemikte meydana gelen primer defektler de dekompozisyon süresinin hızlanmasına katkıda bulunmaktadır (8).

5237 sayılı yeni Türk Ceza Kanunu'nun 66. maddesinde dava zaman aşımı süreleri düzenlenmiştir. Bu maddenin 1. fıkrasının a bendine göre kamu davası ağırlaştırılmış müebbet hapis cezasını gerektiren suçlarda 30 yıl geçmesiyle düşmektedir. Buna göre; Türkiye'de zaman aşımı azami süresi 30 yıl olduğu dikkate alındığında – insan hakları kapsamında bulunan suçlar dışında– 30 yıl ve öncesine dair verilen ölüm zamanlarında vakalar adli olgu özelliği gösterse bile hukuken bir özelliği kalmamaktadır. Bu açıdan bakıldığında incelenen vakalarda öncelikle kemiklerin arkeolojik mi yoksa güncel mi olduğunun ayırımının yapılması, güncel ise hukuki açıdan kişinin hangi zaman aralığında öldüğünün tespit edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada ölüm zamanına dair verilen zaman aralıkları ne kadar kısalsın kayıp kişilerin bulunma ihtimali de o kadar yükselir.

## 2. Ölüm zamanı tahmininde başvuru morfolojik yöntemler

Çürümenin ilerlediği, ancak yumuşak dokunun varlığını koruduğu dönemde ölüm zamanı tayini, iskeletleşmenin başladığı döneme göre nispeten daha kolaydır. Bu ilk aşamada böcek ve sineklerin varlığı ve gelişimi ölüm zamanının tahmini için en kullanışlı yöntemlerden biridir ve konuyla ilgili farklı koşullar altında çok sayıda çalışma yapılmıştır (9,10). Tamamen iskeletleşme söz konusu olduğunda az miktarda böcek görülebilir. Özellikle kemiklerin kavitelerinde erken dönem böcekler bile bulunabilir. Ancak yumuşak dokunun yitirildiği ve kemiklerin su kaybettiği dönemde ölüm tahmini açısından çok yararlı olmayacaktır (11). Yine bitki kökleri ve gövdeleri de gömü alanında yüzeysel olarak görünür ve bu şekilleri ölüm zamanı tahmini yapmak için elverişlidir. Bitkilerden yola çıkılarak yapılacak tahmin, iskeletleşme sürecinde de kayda değer sonuçlar verebilmektedir. Ancak ileri dönemlerde bu yöntemler de yetersiz kalmaktadır (1,12).

İskeletleşmenin tamamlandığı ve üzerinden zaman geçtiği kalıntılarda ölüm zamanı en zor tespit edilen olgulardan biridir. Kemiklerin dekompozisyonu–ortalama şartlar altında gömülü olduğu durumlarda- birkaç aşamada gerçekleşir: Yumuşak dokuların kaybolmasının ar-

dından ilk aşamada; kemik uçlarındaki eklem kırıkdağı kurur ve çatlaklar, sonra da parçalanır. İkinci aşamada kemik dokusu yağlı, kaygan bir görünümde olur, periost hala mevcuttur ve kemik doğal doku rengini korur. Eğer kemik üzerinde lekeli kahverengi renk değişimi söz konusuysa ve kaygan dokudaysa, bu kemiğin hala yağ ihtiva ettiğini ve ölümün yıllar değil, aylar önce meydana gelmiş olduğunu göstermektedir. Bir sonraki aşamada su ve yağ kaybına bağlı olarak kemik matlaşmaya ve hafifleşmeye başlar. Zaman geçtikçe yine yoğunluk kaybına bağlı olarak tazeliğini koruyan bir kemiğe göre daha kolay kırılabilir hale gelir ve öncelikle süngerimsi dokuda, sonrasında uzun kemik medullalarında doku kaybı oluşmaya başlar. Dekompozisyonun bir sonraki aşamasında kemik rengi açılır ve daha ileriki dönemde bulunduğu yere bağlı olarak beyazlaşmaya başlar. Son olarak kemik çatlaklar, kırılanlaşır, yüzeyi kurumuş ağaç kabuğu görünümüne bürünür ve pul pul dökülmeler meydana gelir (7).

Tüm bu değişikliklerin ne sürede ve ne hızda gerçekleşeceği iskeletin kendi koşulları ile bulunduğu ortamın özelliklerine göre değişmektedir. Aynı kişiye ait kemikler, farklı gömülme ve doğa şartlarında farklı özellikler sergileyebilir. Cesedin ormanlık alanda, kapalı mekanda, açık arazide ya da suda bulunması farklı sonuçlara neden olmaktadır. Tüm metodolojik sınırlarına karşın, adli osteolojik bağlamda her ölüm zamanı tahmini, kalıntılarda makroskobik incelemeyle başlamaktadır.

## 3. Mikroskobik ve analitik yöntemler

İleri aşamalarda, morfolojik yöntemlerin yanı sıra, özellikle iskeletleşme söz konusu olduğunda çeşitli kimyasal, fiziksel ve histolojik yöntemlerin de kullanılması gerekebilir. Parçanın yoğunluğu ve ağırlığı, radyografik yapı analizi, Nil mavisini ve dikloroindofenol ile boyama, mineral asit ve benzinin reaksiyonu, nitrojen kaybı, mineral asitler ile reaksiyon, protein içeriğindeki serbest amino asitler, antihümen sera immünolojik reaksiyon, serolojik protein tanımı, lipidlerin bozulması, yağ bozulma kalıntısı, UV floresan, radyokarbon analizi (C), suni (Sr) ve doğal (Pb ve Po) radyoizotop analizleri, sitrat içeriği, luminol analizi gibi çok sayıda yöntem üzerinde çalışılmaktadır (13-23). Bunların hemen hiçbiri, adli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan yöntemler olarak geliştirilmemiş olup, halihazırda araştırma aşamasında bulunan yöntemlerdir. Radyoaktif çalışmalar dışındaki tüm çalışmaların en sınırlayıcı yönü ise, kullanılan tüm yöntemlerin çevre ve bireysel koşullardan farklı olarak etkilenmesi, bu nedenle de analizler sırasında farklı kriterlerin değerlendirilmesi gerekliliğidir.

Ölüm zamanı tayinine dair yapılan çalışmalar arasında suni ve doğal radyoizotop analizleri uzun yıllardır üze-

rinde en çok durulan araştırma alanlarından biri olmuştur. Bu maksatla C, Sr, Cs, Th, Ra, Po ve Pb gibi spesifik radyonüklid ölçümlerine dayanan çalışmalar yapılmıştır. Radyoaktif çözülme tüm çevresel faktörlerden bağımsız işleyen bir süreçtir. Tanımlanan zaman sonrasında diğer elementlerin değişimine ve radyasyon emisyonuna bağlı olarak radyoaktif maddenin yarısı kalır ve bu bozunma ölüm zamanı için önemli işaretler sunmaktadır. Önemli bir diğer faktör ise maddenin fiziksel yarılanma ömrünün yanı sıra, insan yaşamı boyunca vücutta radyoaktif materyalin depolanması ve zenginleşmesi sebebiyle biyolojik yarılanma ömrüdür (16,23).

En bilinen ve uzun yıllardır kullanılan Canalizi, birkaç yüzyıldan eski organik materyaller için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Son 60 yılda, nükleer bomba testi atıklarından önemli miktarda Atmosfere salınmasına karşın, yarılanma ömrü 5.730 yıl olduğu için bu yöntemin adli olgulara uygulanması efektif değildir (19).

Farklı radyoaktif maddeler üzerinde uzun yıllardır çalışmalar yapılabilmesine karşın gerek yarılanma ömrü, gerekse ölçüm kolaylığı bakımından özellikle son yıllarda Sr ve Pb/Po radyoaktif izotopları öne çıkan çalışmalar olmuştur. Bu izotopların diğerlerine göre görece daha kısa olan fiziksel ve biyolojik yarılanma ömürleri ölüm zamanı tayini konusunda tercih edilmelerinin en önemli gerekçelerindedir. Sr'nın fiziksel yarılanma ömrü 28,1 yıl, Pb'un 22,5 yıl olarak tespit edilmiştir. Sr çevrede, besin zincirinde ve insan vücudunda 10-13 yıllık bir biyolojik yarılanma ömrüne sahiptir Böylece kısa biyolojik yarılanma ömrü Sr kullanılarak yapılan ölüm zamanı tayinlerinin verimliliğini yükseltmektedir (23).

#### 4. Stronsiyum (Sr) 90 Analizi

Toprak alkalin metal olarak Sr temel toprak alkalin metal olan kalsiyum ile benzer özellik göstermektedir. Öncelikle, kemiklerde Sr tespit edilmesi radyoaktif nüklidi kemik yapısında tutan bir aktif metabolizmanın sonucudur. Sr, kalsiyum gibi davranır ve altta çalışan benzer bir metabolizma vardır. Sr kemik dokuda uzun yıllar birikir. Kemiklerde Sr aktivitesine ilişkin ilk araştırmalar geçen yüzyıldaki iskelet kalıntıları ile atom bombası testleri sonrasında ölen bireylerin kalıntıları arasındaki önemli farkı ortaya çıkarmıştır (16).

1945 yılı sonrası başlayan atom bombası ve nükleer silah testlerinde yaklaşık 20 patlama ile ilk seri testler 1951'de yapılmıştır. Sr aktivitesi büyük atom bombası test serisini takiben, özellikle ilk 2 yıl süresince sürekli olarak yükselmiş; 1958-1963 yılının yanı sıra 1960 ve 1964-65 yıllarında atmosfere salınan Sr miktarı en üst seviyeye ulaşmıştır (1963 yılı doruk seviyeye ulaştığı yıldır). 1945-1998 yılları arasında 90 civarı atom bombası

testi, 417 atmosferik test ve toplamda 2.040'tan fazla kullansız bir biçimde nükleer silah testi gerçekleştirilmiştir. 1963 yılını takiben yapılan nükleer silah testleri sonucu Srkontaminasyonu çevre üzerinde ve yiyeceklerde giderek yükselmiştir (16,24).

Radyoaktif Sr, atomik patlamalar ve nükleer testleri takiben 1950'lerde diğer birçok sentetik nüklidlerle birlikte atmosfere salınan suni bir üründür. Patlamanın büyüklüğüne bağlı olarak nükleer silahlar hem stratosferde, hem de nükleer atıkların daha lokalize olduğu troposferde radyoaktif tortu bırakırlar. Buradan nüklitler zamanla troposferi geçerek, hem yer altı sularıyla kontamine olarak köklerin emmesiyle, hem de doğrudan fotosentez yoluyla bitki örtüsüne geçer. Bu yolla atıklar dünya çapında yayılır ve besin zincirini global olarak etkiler (14).

Alkalin toprak metalleriindeki Sr, Ba gibi izotoplar, metabolik fonksiyona sahip olmamasına rağmen kalsiyumla benzer özellik gösterir ve bunlar %20 ile %40 arasındaki absorpsiyon seviyesinde bağırsak mukozasından emilir ve iskelet sisteminin matrisinde birleşir. Atmosferik nükleer silah patlamalarını takiben atmosfere giren suni ürünler 1945 sonrası ölenlerin kemik matrislerinde bulunur ve kalıntılarda bulunmaması kişinin bu tarihten önce öldüğünü gösterir.

Maclaughlin-Black ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ortaçağa ait 3 femur ve son dönem kazılardan çıkarılan 3 adet femurda Srkonsantrasyonunu karşılaştırmıştır. Arkeolojik örneklerdeki Sr miktarı çağdaş örneklerle karşılaştırıldığında oldukça düşük çıkmıştır. Bu, toprak kanalıyla süzülen radyonüklidlerin pasif olarak absorbe edilmesi ile açıklanmaktadır. Açıkça bu, hidroksiapatit matris ve toprak arasında değişen izotoplarla, antik ve adli kemiklerin her ikisine de uygulanabilir. Ancak burada test edilen türlerdeki beta aktivitesi saf bir Sr değil, radyostortium ve kontamine beta emisyonlarının bir karışımıdır. Bunun içine sadece yapay izotoplar değil, uzun yarılanma ömrüne sahip Ra ve K gibi doğal yollardan oluşan radyoizotoplar da bulunmaktadır (14,24).

Neiss ve arkadaşları üçü 1931-32 yılları arasında, altısı 1989-1994 yılları arasında ölmüş 9 kişinin kafatası kemiğinden çalışmışlardır. Çalışma kişilerin 1950 öncesi ölüp ölmediklerini söylemek için kolay ve güvenilir bir yöntemdir. 1931-32 tarihinde ölen kişilerde herhangi bir Sr aktivitesi göstermemiş, 1989 ve sonrasında ölen tüm örneklerde Sr aktivitesinin mevcut olduğu, ancak yoğunluğunun farklı seviyelerde olduğu görülmüştür. 1931-32 yılları arasında ölenlerin kemiklerinde Sr aktivitesine rastlanmamasının nedeni, kemiklerin gömülmeden, bir bina içinde depolanması ve bundan dolayı Sr ile kontamine olmuş toprağa maruz kalmamış olmaları olarak gösterilmiştir. Cesetlerin gömülü olma durumunda ise,

insan kalıntılarının gömüldüğü derinlik genellikle yüzeyden 1,5-2 m arası alt mesafededir. Sr'in toprağa yılda 1cm civarında nüfuz ettiği için, cesetlerde 80 cm'nin altına hiç ulaşmamaktadır. Hiroşima'ya atom bombası atılmasından 10 ve 26 yıl sonra Ninoshima'da mezardan çıkartılan cesetler ise, iskeletin farklı bölgelerinde farklı miktarlarda Sr birikmesi olduğunu göstermektedir. Toprak Sr ve benzeri radyoaktif maddeyle yoğun olarak halde kirlenmiştir. Topraktaki Sr'in kemikler üzerinde ciddi bir etkisi olması durumunda iskeletin farklı bölgelerinin aynı derecede etkilenmesi beklenmektedir. (16).

Schrag ve arkadaşları 1960-2001 yılları arasında ölen İsveç popülasyonuna ait kişilerin vertebraları üzerinde yapılan ölçümler sonucu Sr kalibrasyon eğrisi çıkarmıştır. Çalışmada ise 1999 yılında gömülen ve 2007 yılında çıkarılan 13 kişinin vertebraları üzerinde Sr ve Pb radyoizotoplarının aktivitesi analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar trabeküler kemiğin kompakt kemiğe göre daha hızlı yeniden yapılandığını göstermektedir. Bu açıdan vertebralardaki Sr aktivitesi son 50 yıldır besin zincirindeki Sr evrimiyle mükemmel eşleşmektedir. Çalışma Sr ölçümü ile ölüm zamanı arasında bir ilişki olduğunu ve Sr değerinin ölüm tayini için kullanılabileceğini göstermektedir. 1950 sonrası ölümlerde Sr oranı belirgin bir şekilde artmaktadır. Sr aktivitesi 100 mBq/gCa üzerine çıktığında ölümün 1963 yılına yakın bir tarihte meydana geldiği beklenmektedir. Ancak daha düşük seviyedeki Sr aktivitesinin yorumlanmasında sıkıntılar mevcut olduğu vurgulanmaktadır (23).

Çalışmalar göstermektedir ki, asıl problem iskelet kalıntılarında Sr tayini için sonlanma zamanı tayin etmektedir. Daha ileri çalışmaların Sr aktivitesinin kesin sonlanma yılını tespit etmeye ve ölüm yılı ile Sr ağırlığı arasındaki olası korelasyonu bulmaya ihtiyacı vardır. Böylelikle kesin ölüm zamanı tayini yapmak mümkün olacaktır.

### 5. Kurşun (Plumbum-Pb) 210 Analizi

Ölüm zamanı tayinine yönelik yapılan diğer radyoaktif analiz ise Pb ölçümüdür. Pb 100 yıla kadar olan zaman çerçevesinde sedimentasyon çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. İnsan kemiğindeki bu radyonüklid konsantrasyonu akümülyasyon ve eliminasyon süreçleri arasında net bir denge sağlamaktadır. Her popülasyon Ra ve Pb gibi doğal yolla oluşan izotopların inhalasyonu ile besin ve su kaynaklarından sindirim yoluyla kayda değer miktarda radyasyona maruz kalmaktadır. Po, Ubozunma zinciri ve ilgili aktivitenin kapalı bir sistemde üyesidir. Yarılanma ömrü 138 gün olacak şekilde kaynaklarıyla dengeli büyümektedir. Pb kullanarak tarihlendirme metodu, Pb'nin yaşayan insan kemiklerinden alınan örneklerinin kapalı bir sistem

içinde tutularak ilişkili Ponun zaman gelişiminin izlenmesine dayanmaktadır. Ölümden sonra Pb aktivitesi zamanla katlanarak bozunur. Ama Po ilk 2 yıl boyunca büyür, ardından kaynaklarıyla eşitlenecek şekilde bozunur.

Pb ve Po ölçümlerinin en büyük avantajı, bu ilkel elementlerin nükleer patlamalara bağlı olmayıp, bu izotopların alımının kişinin yaşamı boyunca sabit kalmasıdır. Doğal yolla oluşan radyoizotoplar düzenli ve tahmin edilebilir bir arka plan yoğunluğuna sahip olup, nispeten binlerce yıldan fazla değişmeden kalmaktadır. Pb ve Ponüklidleri Ubozunma zincirinin üyeleridir ve çevreye yaygın olarak dağılmıştır. Vücuda iki temel kaynaktan alınır: Besinlerden direkt emilim yoluyla ve kemik veya kemiksi dokularda tutunan Ra emiliminin bozunmasıyla. Bu izotopların bir kısmı insan kemiklerini tarihlendirme araçlarından biri olarak potansiyel kabul edilmiştir. Pb'un yarılanma ömrü 22,3 yıl, Po'un yarılanma ömrü 138,4 gündür. Yapılan çalışmaların sonuçları, zaman belirlenimli bir analiz için gerçekleştirilebilir bile olsa, ülkeden ülkeye değişen coğrafi koşullar ve beslenme alışkanlıklarının yarattığı farkları hesaplamak için popülasyona özel bir kalibrasyon skalası oluşturulması gerektiğini göstermektedir. Yaşayan bir popülasyondaki seviyeler bilindiğinde ölüm zamanını belirleme konusunda bir kalibrasyon eğrisi çıkarmak da mümkün hale gelecektir. Pb aktivitesi ölüm yaşı, beslenme alışkanlıkları, çevre özellikleri ve muhtemelen daha az derecede her insanın kurşunu biriktirme yetisine göre dalgalanmalar göstermektedir (24,25). Çalışmalarda Pb'un ilişkili üretimi Po'nun insan vücuduna katılan biyogenik Pb tayininde kullanılması varsayılmaktadır. Po, çok düşük düzeydeki aktivitede Pb'dan daha kolay tayin edildiği için, Pb miktarı, Po miktarının ölçümü ile tespit edilmektedir.

Swift farklı dönemlerde, Po ile Pbanalizi ile post-mortem interval tayini çalışmaları yapmıştır. Bu çalışma doğal yolla oluşan iki radyoizotop olan Po ve Pb arasındaki dengeyi ölçmeyi amaçlamıştır. Po, 138,4 günlük daha kısa yarılanma ömrüyle Pb'dan farklıdır. Belli bir zaman sonra Po ve Pbarasındaki denge bu yarılanma ömürlerindeki farklılığa göre biçimlenecektir. Bu metodun dezavantajı pahalı olmasının yanı sıra kurşun metabolizmasında bireysel varyasyonların olasılığıdır. Ayrıca zaman faktörü de önemli olmaktadır. Ölçümler minimum 3 ay sürmektedir. Çalışmalar, Pb tayininin ölüm zamanı konusunda bilgilendirici veriler sunduğunu, ancak ölüm yaşının dikkate alınması gerektiğini göstermiştir (15,18).

Schrag ve arkadaşlarının son dönem Sr ve Pb üzerine yapılmış çalışmaları bulunmaktadır. Pb'un fiziksel yarılanma ömrünün 22,5 yıl olması nedeniyle post-mortem interval tayininde kullanılma özelliği bulunmaktadır. Ancak maalesef kemiklerdeki Pb'nun güncel aktivite

düzeyinde hala bir konsensus sağlanmış değildir. Kemiklerdeki Pb içeriğinin beslenme alışkanlığı ve ölüm zamanındaki yaş ile güçlü bir ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Tüm eksikliklerine karşın yapılan çalışma ölüm zamanı tayini için iskelet kalıntılarında biyojenik Sr ve Po tayininin mümkün olduğunu göstermiştir. Çalışmada Po tayininin yakın tarihli düşük Sr seviyesi tespit edildiğinde veya atom bombası testlerinin başladığı tarihleri (1954-1960) takiben çevrede Sr seviyesinin yükselmeye başlamasıyla ilgili periyotta, ölüm zamanı tahmini açısından yararlı olabileceğini göstermektedir. Schrag ve arkadaşlarının spesifik ölüm yılı için Po tespitine dair laboratuvar çalışmaları devam etmektedir (23).

Ziad ve arkadaşları da Fas'ta bulunan ölüm tarihleri bilinen 7 kişinin kortikal kemiklerinden Pb tayini üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda ölçülen Pb aktivitesinin ölüm yılı eski olandan yeni olana doğru bir yükselme gösterdiği görülmüştür. Ancak kesin ölüm zamanı tayini için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (25).

## 6. Sonuç

Ölüm zamanı tahmini ya da postmortem interval tayini adli bilimler için en önemli sorunlardan biridir. Ölümün üzerinden zaman geçtikçe cesetteki fiziksel değişimlerin analizinin yanı sıra başka teknikler de kullanılmaya başlanmaktadır. Ölüm zamanı tayininde postmortem biyokimyasal incelemeler yanında entomolojik incelemeler önemli yer tutmaktadır. İskeletleşme başladığında ise bu faktörlerin etkisi gittikçe azalmaya başlar. Bu aşamada histolojik, kimyasal veya fiziksel yöntemler yardımcı olabilir (12).

Ancak bu yöntemlerin kullanılması hem hazırlık aşamasının uzun sürmesi, hem de oldukça maliyetli olmaları nedeniyle önemli engellerle karşılaşmaktadır. Bu kısıtların yanı sıra her yöntemin farklı çevre koşullarından etkilenmesi de, çalışmaların birer yöntem olarak pratikte kullanılmasının önünde halihazırda engel olarak durmaktadır. Bu nedenle gerek mikroskobik yöntemlerle, gerekse analitik yöntemlerle ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kimi vakalarda kemiğin ortalama şartlar altında uğrayacağı yıpranmadan çok daha fazla hasar görmesi dikkate alındığında, geliştirilecek ileri teknikler, makroskobik olarak ölüm zamanı tayini yapılamadığı durumlarda daha spesifik tarihlendirme yapılmasına olanak sağlayabilir. Ancak günümüz koşullarında adli osteolojik açıdan her zaman ilk aşama morfolojik inceleme olmaktadır. Dekompozisyon aşamalarının çevre koşullarına ve ceset özelliklerine göre şekillendiği göz önüne alındığında, ölüm zamanı tahmini yapılırken her ceset bulunduğu ortamın koşullarına göre değerlendirilmeli ve tüm etkenlerin kemik üzerinde oluşturduğu tahribat dikkate alınarak ölüm zamanı aralığı verilmelidir.

## Kaynaklar

1. Cardoso HF, Santos A, Dias R, Garcia C, Pinto M, Sérgio C et al. Establishing a minimum postmortem interval of human remains in an advanced state of skeletonization using the growth rate of bryophyte sand plant roots. *Int J Legal Med* 2010;124(5):451-6 doi: 10.1007/s00414-009-0372-5
2. Rodríguez-Martín C, Bass WM. Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. *J Forensic Sci* 1985;30(3):836-52.
3. Mann RW, Bass WM, Meadows L. Time since death and decomposition of the human body: Variables and observations in case and experimental field studies. *J Forensic Sci* 1990;35(1):103-11.
4. Galloway A, Snodgrass JJ. Biological and chemical hazards of forensic skeletal analysis. *J Forensic Sci* 1998;43(5):940-8.
5. Komar DA. Decayrates in a cold climate region: A review of cases involving advanced decomposition from the Medical Examiner's Office in Edmonton, Alberta. *J Forensic Sci* 1998;43(1):57-61.
6. Aturaliya S, Lukasewycz A. Experimental forensic and bioanthropological aspects of soft tissue taphonomy: 1. Factors influencing postmortem tissue desiccation rate. *J Forensic Sci* 1999;44(5):893-96.
7. Pickering R, Bachman D. *The Use of Forensic Anthropology*. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc., 2009.
8. Wieberg DA, Wescott DJ. Estimating the timing of long bone fractures: Correlation between the postmortem interval, bone moisture content, and blunt force trauma fracture characteristics. *J Forensic Sci* 2008;53(5):1028-34 doi: 10.1111/j.1556-4029.2008.00801.x
9. Komar D, Beattie O. Postmortem insect activity may mimic perimortem sexual assault clothing patterns. *J Forensic Sci* 1998;43(4):792-6.
10. Voss SC, Forbes SL, Dadour IR. Decomposition and insect succession on cadavers inside a vehicle environment. *Forensic Sci Med Pathol*. 2008;4(1):22-32 doi: 10.1007/s12024-007-0028-z
11. Rodríguez-Martín C, Bass WM. Insect activity and its relationship to decay rates of human cadavers in East Tennessee. *J Forensic Sci* 1983;28(2):423-32.
12. Willey P, Heilman A. Estimating time since death using plant roots and stems. *J Forensic Sci* 1987;32(5):1264-70.
13. Yoshino M, Kimijima T, Miyasaka S, Sato H, Seta S. Microscopical study on estimation of time since death in skeletal remains. *Forensic Sci Int* 1991;49(2):143-58.
14. Maclaughlin-Black SM, Herd RJ, Willson K, Myers M, West IE. Strontium-90 as an indicator of time since death: A pilot investigation. *Forensic Sci Int* 1992;57(1):51-6.
15. Swift B. Dating human skeletal remains: Investigating the viability of measuring the equilibrium between <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb as a means of estimating the post-mortem interval. *Forensic Sci Int* 1998;98(1-2):119-26.
16. Neis P, Hille R, Paschke M, Pilwat G, Schnabel A, Niess C et al. Strontium90 for determination of time since death. *Forensic Sci Int* 1999;99(1):47-51.
17. Introna FJ, Di Vella G, Campobasso CP. Determination of postmortem interval from old skeletal remains

- by image analysis of luminol test results. *J Forensic Sci* 1999;44(3):535-8.
18. Swift B, Lauder I, Black S, Norris J. An estimation of the post-mortem interval in human skeletal remains: A radionuclide and trace element approach. *Forensic Sci Int* 2001;117(1-2):73-87.
  19. Ubelaker DH, Buchholz BA, Stewart JE. Analysis of artificial radiocarbon in different skeletal and dental tissue types to evaluate date of death. *J Forensic Sci* 2006;51(3):484-8.
  20. Ramsthaler F, Kreutz K, Zipp K, Verhoff MA. Dating skeletal remains with luminol-chemiluminescence. Validity, intra- and inter observer error. *Forensic Sci Int* 2009;187(1-3):47-50 doi: 10.1016/j.forsciint.2009.02.015
  21. Schwarcz HP, Agur K, Jantz LM. A new method for determination of postmortem interval: Citrate content of bone. *J Forensic Sci* 2010;55(6):1516-22 doi: 10.1111/j.1556-4029.2010.01511.x
  22. Ramsthaler F, Ebach SC, Birngruber CG, Verhoff MA. Postmortem interval of skeletal remains through the detection of intra ossealhematin traces. A comparison of UV-fluorescence, luminol, Hexagon-OBTI®, and Combur® tests. *Forensic Sci Int* 2011;209(1-3):59-63 doi: 10.1016/j.forsciint.2010.12.011
  23. Schrag B, Uldin T, Mangin P, Froidevaux P. Dating human skeletal remains using a radiometric method: Biogenic versus diagenetic <sup>90</sup>Sr and <sup>210</sup>Pb in vertebrae. *Forensic Sci Int* 2012;220(1-3):271-8 doi: 10.1016/j.forsciint.2012.03.014
  24. Swift B. The timing of death. In: Ruttly GN, editor. *Essentials of Autopsy Practice: Current Method sand Modern Trends*. London: Springer, 2006. p 189-214.
  25. Ziad N, Zarki R, Benmansour M, Sayerh T, Laissaoui A. Determination of <sup>210</sup>Pb in human skeletal remains from Morocco: Implications for time since death assessment. *J Radioanal Nucl Chem* 2012;292(1):315-9.