



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**İSKELETEN ÖLÜM ZAMANI TAHMİNİNDE KULLANILAN
YÖNTEMLERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

İlayda ŞAM

**DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
ADLİ ANTROPOLOJİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Ayla SEVİM EROL**

**ANKARA
2025**

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSKELETEN ÖLÜM ZAMANI TAHMİNİNDE KULLANILAN
YÖNTEMLERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

İlayda ŞAM

**DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
ADLİ ANTROPOLOJİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Ayla SEVİM EROL**

**ANKARA
2025**

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlayıp sunduğum “İSKELETEN ÖLÜM ZAMANI TAHMİNİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: İlayda ŞAM

Tarih:

İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Disiplinlerarası Adli Bilimler Anabilim Dalında
İlayda ŞAM tarafından hazırlanan
“İskeletten Ölüm Zamanı Tahmininde Kullanılan Yöntemlerin Uygulanabilirliğinin
Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma” adlı
tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak OY BİRLİĞİ ile
kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi:11.02.2025

Prof. Dr. Ayla SEVİM EROL
Ankara Üniversitesi
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Timur GÜLTEKİN
Ankara Üniversitesi
Üye

Prof. Dr. Birol DEMİREL
Gazi Üniversitesi
Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fügen AKTAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

İskeletten Ölüm Zamanı Tahmininde Kullanılan Yöntemlerin Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma

İskelet kalıntılarından ölüm zamanı tahmini adli tıp ve adli antropolojinin en zor alanlarından ve doğru bir biçimde belirlenmesi, adli soruşturmalarda ve adli vakaların çözülmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Bu tezde, iskeletten ölüm zamanı tahmininde kullanılan çeşitli yöntemlerin uygulanabilirlik düzeyleri, rutinde kullanılabilirlikleri, avantajları ve dezavantajları, birbirlerine olan üstünlükleri değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Kemiklerin makroskobik ve morfolojik analizleri, adli entomolojik incelemeler, adli botanik ve radyokarbon tarihlendirme metodu gibi geleneksel yöntemler uygulanabilirlikleri açısından irdelenmiştir.

Moleküler teknikler, kemiluminesans ve UV floresans yöntemleri, radyoizotop analizleri, spektroskopik incelemeler ve kemik içerik analizleri gibi güncel yöntemlerin artı ve eksi yönleri ele alınmıştır. Farklı ortam koşullarına maruz kalmış iskeletlerin incelenmesinde kullanılan yöntemlerin güvenilirlik ve doğruluk düzeylerini ortaya çıkarmaya çalışılmıştır. Ayrıca, mevcut yöntemlerin sınırlamalarını ve geliştirilme potansiyellerini değerlendirerek, gelecekte daha kesin ve güvenilir tahminler yapılabilmesi için öneriler sunulmuştur.

Sonuç olarak, bu tez, iskeletten ölüm zamanı tahmininde kullanılan yöntemlerin pratik uygulanabilirliğini değerlendirmek ve adli bilim alanında bu yöntemlerin daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için öneriler sunmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu çalışma, adli bilim pratiğine katkı sağlamak amacıyla, iskeletten ölüm zamanı tahmininde kullanılan yöntemlerin bilimsel temelini güçlendirmeyi ve adli süreçlerde daha güvenilir sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir.

Anahtar Sözcükler: İskelet, Ölüm zamanı, Ölüm zamanı tahmini, Uygulanabilirlik

SUMMARY

A Study on the Evaluation of the Applicability of Methods Used in Estimating Time of Death from Skeletal Remains

Estimating time of death from skeletal remains is one of the most difficult areas of forensic medicine and forensic anthropology, and its accurate determination is critical for forensic investigations and solving criminal cases.

In this thesis, the applicability, routine use, advantages and disadvantages, advantages over each other of various methods used in the estimation of time of death from skeletal remains are evaluated.

Traditional methods such as macroscopic and morphological analysis of bones, forensic entomological examinations, forensic botany and radiocarbon dating methods are examined in terms of their applicability.

The pros and cons of current methods such as molecular techniques, chemiluminescence and UV fluorescence methods, radioisotope analysis, spectroscopic examinations and bone content analysis are discussed. The reliability and accuracy of the methods used in the examination of skeletons exposed to different environmental conditions are analyzed. Furthermore, the limitations of the current methods and their potential for improvement are evaluated and recommendations are presented for more precise and reliable predictions in the future.

In conclusion, this thesis is designed to evaluate the practical applicability of the methods used in time of death estimation from skeletons and to provide recommendations for more effective use of these methods in forensic science. In order to contribute to the practice of forensic science, this study aims to strengthen the scientific basis of the methods used in time of death estimation from skeletal remains and to reach more reliable results in forensic processes.

Keywords; Applicability, Estimation of Time of death, Skeleton, Time of death

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Özet	iv
Summary	v
İçindekiler	vi
Önsöz	viii
Şekiller	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Ölümün Tanımı	1
1.2. Postmortem İnterval	1
1.3. Erken Postmortem Değişiklikler	1
1.3.1. Ölü Soğuması (Algor Mortis)	2
1.3.2. Ölü Katılığı (Rigor Mortis)	2
1.3.3. Ölü Lekeleri (Livor Mortis)	3
1.3.4. Histomorfolojik Değişimler	3
1.3.5. Biyokimyasal Değişiklikler	4
1.3.6. Supravital Reaksiyonlar	4
1.4. Geç Postmortem Değişiklikler	5
1.4.1. Otoliz	5
1.4.2. Pütrefaksiyon	5
1.4.3. Dekompozisyon	6
1.4.4. Mumyalaşma	6
1.4.5. Sabunlaşma	6
1.5. Adli Antropoloji	7
1.6. Kimliklendirme	9
1.6.1. İskeletten Yaş Tahmini	9
1.6.2. İskeletten Cinsiyet Tahmini	11
1.6.3. İskeletten Etnik Köken Tahmini	12
1.7. İskeletten Ölüm Zamanı Tahmini (Postmortem İnterval Tahmini)	13
1.8. Adli Tafonomi	14
1.9. Adli Entomoloji	15
1.9.1. Böcek Gelişim Evreleri	16
1.9.2. Süksesyon	17
1.10. Adli Botanik	18
1.11. Moleküler Teknikler	21
1.11.1. DNA	21
1.11.2. RNA	22
1.11.3. Protein	23
1.12. Kemik Spesifik Yöntemler	24
1.12.1. Kemiklerdeki Morfolojik Görünüm	24
1.12.2. Mikroskopik Değişiklikler	26
1.13. Analitik Metotlar	27
1.13.1. Kemik İçerikleri	27
1.13.1.1. Sitrata	27
1.13.1.2. Nitrojen İçeriği	29
1.13.1.3. Benzidin Reaksiyonu	30
1.13.1.4. Aminoasit İçeriği	30
1.13.1.5. Kollajen	30

1.13.2. Ultraviyole Floresans Yöntemi	31
1.13.3. Luminol Yöntemi	35
1.14. Radyokarbon (C-14) Tarihleme Yöntemi	38
1.15. Radyoaktif İzotop Analizleri	40
1.15.1. Stronsium-90 (Sr)	41
1.15.2. Kurşun-210 (Plumbum-Pb)	42
1.16. Spektroskopi	43
2. GEREÇ VE YÖNTEM	45
3. BULGULAR	46
4. TARTIŞMA	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59



ÖNSÖZ

Ölüm zamanı, cesedin ölüm anından itibaren geçen süreyi belirlemede adli tıbbi araştırmalar açısından büyük önem taşır. Bu araştırmada, iskelet kalıntılarının ve kemiklerin, ölüm zamanı tahmini için nasıl bir gösterge sunduğu ve farklı bilimsel yöntemlerin bu bağlamda nasıl kullanıldığı ele alınmıştır. Araştırma, çeşitli ölüm zamanı tahmini yöntemlerini değerlendirmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin doğruluğu, sınırlamaları ve her birinin çeşitli koşullar altında uygulanabilirliği tartışılmıştır. Çalışmada, kullanılan tekniklerin güvenilirliği, farklı çevresel etmenlerin (sıcaklık, nem, toprak yapısı gibi) ve post-mortem değişikliklerin, ölüm zamanı tahminine etkileri üzerinde durulmuştur.

Hem yüksek lisans eğitimim süresince hem de tez çalışmamın tamamlanmasında bana rehberlik eden, destek olan ve katkı sağlayan tez danışmanım Prof. Dr. Ayla SEVİM EROL'a, yüksek lisans eğitimimde bilgilerinden faydalandığım tüm hocalarıma içtenlikle teşekkür ediyorum.

Hayatımın her anında desteklerini hissettiğim annem ve kardeşime, her zaman yanımda olan, bana inanan ve beni destekleyen sevgili eşime, en zor anlarımda bile bana moral olan canım kızıma teşekkür ederim.

ŞEKİLLER

Şekil 1.1.	Açık alanda 20°C sıcaklıkta bekleyen cesetlerde dekompozisyon süreci	6
Şekil 1.2.	William Bass, Tennessee Üniversitesi Ceset Çiftliğinde bir cesedin çürüme evresini incelerken	8
Şekil 1.3.	Mehmet Yaşar İscan Metodu, 4.kaburga kemiği sternal uçları	10
Şekil 1.4.	İskeletten yaş tahmini metotları	11
Şekil 1.5.	Pelvisten cinsiyet tahmini metotları,	12
Şekil 1.6.	Dekompozisyonun farklı aşamalarındaki böcek aktivasyonları,	18
Şekil 1.7.	İnsan kalıntılarının yanında bulunan kara ladin ağacına ait gövde kesidi	19
Şekil 1.8.	a) Kafatasının sağ tarafında akustik meatusa nüfuz eden büyük bir kök, b) iskelet kalıntıları içeren ve Phytolacca Americana kökü ile çevrelenmiş sağ ayakkabı, c) örnek alınan köke yakından bakış,	20
Şekil 1.9.	Soldan sağa kemiklerdeki yaşlanma paterni, yağlı görünümünü kaybederek “tebeşir” gibi bir doku ve görünüm kazanan kemik doku	25
Şekil 1.10.	Yaşlanan kemiğin enine kesit görüntüleri, “sandviç” etkisini gösteren orta evre	26
Şekil 1.11.	Kemiklerden sitrat tespiti için hazırlık süreci	28
Şekil 1.12.	Soldan sağa: negatif numune (PMI > 150 yıl), incelenecek numune ve pozitif numune (PMI < 14 gün)	33
Şekil 1.13.	490-nm ışıkla aydınlatılmış, PMI > 50 yıl olan femur kesidi	34
Şekil 1.14.	Örnek gruplardaki luminol analizi sonuçları	35

1. GİRİŞ

1.1. Ölümün Tanımı

Hayatın sona ermesi, tüm canlılar için yaşamsal faaliyetlerin geri dönüşü olmayan bir şekilde sonlanmasıdır. Bu, somatik ölüm ve hücresel ölüm olmak üzere aşamalı bir süreçtir ve eş zamanlı olmayan bir dizi olayı içermektedir (Hancı, 2002).

Somatik ölüm, merkezi sinir sistemi, solunum ve dolaşım fonksiyonlarının geri döndürülemez (irreversibl) kaybını içerir, bu temel vücut fonksiyonlarının sona ermesidir. Diğer bir deyişle, somatik ölümden bu fonksiyonların artık devam etmediği kabul edilmektedir. Postmortem dönemde gözlenen değişiklikler somatik ölüm sonrası izlenmektedir (Koç ve Can, 2011). Somatik ölüm hukuksal açıdan geçerli ölüm olarak tanımlanmaktadır (Şenbaş, 2023).

Hücresel ölüm (biyolojik ölüm) ise beyin sapındaki solunum ve dolaşım merkezinin devre dışı kalması sonucu, tüm organ ve dokuların kaçınılmaz olarak canlılık durumunu yitirmesini ifade eder (Koç ve Can, 2011). Metabolizmadaki farklılıklardan dolayı her doku oksijensiz kalmaya aynı yanıtı vermemektedir bu nedenle bazı organların oksijensizliğe tolerasyonu daha fazla olmaktadır (Şenbaş, 2023).

1.2. Postmortem İnterval

Postmortem interval (PMI), bir kişinin ölümünden sonraki zaman aralığını ifade eder. Bu süre genellikle kişinin ölümünden ne kadar süre sonra tespit edildiğine dayanmaktadır. Postmortem interval, adli tıp ve diğer ilgili alanlarda önemli bir konudur. PMI'nin doğru bir şekilde belirlenmesi, adli süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Postmortem süreçte izlenen bazı değişiklikler PMI tahmininde etkili olmaktadır.

1.3. Erken Postmortem Değişiklikler

Çoğu adli vaka bu zaman diliminde incelendiğinden, ölüm sonrası erken postmortem aşama PMI tahmini için en önemli zaman dilimi olmaktadır. Bu süre zarfı, ölümden bu yana geçen zamanın tahmin edilmesi, olayların kronolojisinin oluşturulması ve ölüm koşulları teorisinin geliştirilmesi açısından en uygun dönemi temsil etmektedir. Bu süreç ölümden sonraki 3 ile 72 saat aralığını kapsamaktadır (Shrestha vd., 2023)

1.3.1. Ölü Soğuması (Algor Mortis)

Ölümünden sonra vücut ısı kaybetmeye başlamaktadır. Teorik olarak bakıldığında ortalama 36.5-37°C olan vücut sıcaklığı, ortam ısısı ile eşitlenene kadar düşmektedir. Bunun temeli, Newton'un Soğuma Yasasına dayanmaktadır. Ortam sıcaklığı, ölüm anındaki vücut sıcaklığı, vücudun büyüklüğü, kıyafet bulunup bulunmaması, enfeksiyon, metabolik hastalıklar, stres gibi çeşitli faktörler vücut sıcaklığının hızlı veya yavaş bir şekilde düşmesini etkilemektedir. Soğuk bir iklimde vücut, sıcak bir iklime göre daha hızlı ısı kaybetmektedir (Thomas, 2003).

İnsan vücudu için yapılan çalışmalar sonucunda vücudun farklı bölgelerinde yapılan ölçümler sonrası soğumanın her organda aynı anda başlamadığı anlaşılmıştır. Bunun sonucunda insanlar için Newton yasasının tam olarak geçerli olmadığı doğrulanmıştır. Rainy ilk olarak 1868 yılında bu anormaliteyi tanımlamış olup bu duruma "Plato Fazı" adını vermiştir (Rainy, 1868). Buradaki sıcaklık kaybı düz bir eğri yerine sigmoid bir eğri çizmektedir. Plato fazı 30 dakika ile 3 saat arasında değişmektedir. Bu durumun anaerobik metabolizma sonucu ısı üretimi ya da kıyafet kaynaklı yalıtım nedeniyle gözlemlendiği düşünülmektedir (Swift, 2006).

Henssge (1988) tarafından rektal ölçümler ile ölüm zamanının tahmini edilebildiği bir nomogram oluşturulmuştur (Henssge, 1988).

1.3.2. Ölü Katılığı (Rigor Mortis)

Ölümünden sonraki 3-6 saat aralığında başlayan kas kasılması, 36-48 saat kadar sürüp sonrasında kaybolmaktadır (Swift, 2006). Ölümün hemen ardından vücut gevşemektedir. ATP, ADP'ye dönüştürüldükçe ve hücresel pH'ı düşüren laktik asit üretildikçe, aktin ve miyozin arasında kilitleyici kimyasal köprüler gelişmekte ve iskelet kasında kasılma oluşuma yol açmaktadır (Goff, 2009). Bu sertlik yüzdeki küçük kas gruplarına, göz kapaklarında ve çenede başlayıp tüm vücuda yayılmaktadır. Ölü katılığı, çevresel ve kişiye bağlı fiziksel faktörler tarafından etkilenmektedir. Sıcak hava ve aynı zamanda ateş, katılığın başlamasını hızlandıracaktır ve bu sürecin daha kısa sürmesine neden olmaktadır. Ölümün hemen öncesinde kişinin fiziksel aktivite yapmış olması ölü katılığının daha çabuk başlamasına yol açmaktadır. Daha ağır ve hareketsiz kişilerde ölü katılığı yavaş bir şekilde başlayıp, daha uzun sürelerde gözlenmektedir (Thomas, 2003).

1.3.3. Ölü Lekeleri (Livor Mortis)

Ölü lekeleri veya hipostaz, kardiyovasküler dolaşımın yokluğunda küçük kutanöz ya da visseral damarlarında yerçekimine bağlı kan birikmesiyle oluşan kırmızı-mavi renkli değişimler olarak tanımlanmaktadır (Swift, 2006). Kan dolaşımını durduğunda vücudun yere en yakın bölgelerine yerleşip, aynı zamanda pıhtılaşır ve morluk benzeri koyu bir maviye dönüşmektedir. Bir kişi sırtüstü pozisyonda yaşamını yitirdiğinde, kan sırt bölgesinde, kalçada, kolların ve bacakların arka kısımlarında toplanma eğilimindedir. Dar giysiler, kanın düzgün yerleşmesini engelleyebilir ve vücudun temas ettiği bölgelerde beyazlık oluşabilmektedir. Livor mortis'in büyüklüğü, ölümün ardından geçen sürenin bir göstergesidir; renk değişikliğinin şekli ise ölüm sonrasında cesedin pozisyonunun değiştirilip değiştirilmediği hakkında bir ipucu sağlamaktadır (Thomas, 2003). Hipostaz yarım saat ile 2 saat arasında gelişir. Hemostaz daha sonra birleşip daha büyük yamalar oluşturur ve bunlar da daha sonra birleşerek vücudun basınca maruz kalmayan yerlerinde 6 ila 12 saat arasında ortaya çıkan bir renk değişikliği haline gelmektedir.

Kan hücrelerinin parçalanması ve hemoglobin sızıntısı, belirli bir süre sonra renk değişikliğini 'sabit' hale getirmektedir. Baş parmak ile uygulanan basınç sonucu bu sabit durum doğrulanır ve bu sabit renk değişikliği genellikle ölümün >12 saat öncesinde gerçekleştiğini göstermektedir (Shrestha vd., 2023). İtalya'da gerçekleştirilen bir araştırmada, supin pozisyondaki cesetlerdeki ölü lekelerin bulunduğu belirli bölgelere dinamometre ile basınç uygulanmış ve renk değişiklikleri ölçülmüştür. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, soluklaşmanın ölü lekelerinde gözlemlenebilmesi için 1,5 kg/cm²'lik bir basıncın en uygun basınç şiddeti olduğu ve 3 saniyelik basınç süresinin ise en etkili uygulama zamanı olduğu ortaya konmuştur (Romanelli vd., 2015).

1.3.4. Histomorfolojik Değişimler

Kan sayımı ve kandaki morfolojik değişimler ölüm zamanı tahmini için yöntem olarak tanımlanmıştır. Ölüm sonrası lökosit sayısındaki değişim ile ölüm zamanı arasındaki ilişki hipotezinden yola çıkarak yapılan bir çalışmaya göre kan içeriğindeki tüm kan hücrelerinin ölümden 84 saat sonra kaybolduğu sonucuna ulaşmıştır (Babapulle ve Jayasundera, 1993). Deri üzerinde yapılan histolojik çalışmalar, ölümden 6 saat sonra deride dejeneratif değişikliklerin ortaya çıktığını göstermiştir. Dermo-epidermal ayrılma ölümden 9 saat sonra görülürken, dermiste sırasıyla ölümden 6 ve 18 saat sonra seyrelme ve parçalanma

görülmektedir. Ekrin ter bezleri ölümden 3 ila 4 saat sonra vakuolasyon gösterir ve hücrelerin ölümden 15 saat sonra tamamen parçalandığı izlenmektedir (Shrestha vd., 2023).

1.3.5. Biyokimyasal Değişiklikler

Biyokimyasal kan değerlendirmesi, ölümden hemen sonraki aşamada anlamlı değildir, ancak erken postmortem dönemde hücresel ölüm gerçekleştiğinde, biyokimyasal kan değerlendirmesi oldukça zorlaşmaktadır. Elektrolit seviyelerinde gerçekleşen değişimler bu değerlendirmeyi etkilemektedir. Vitreus sıvısı, sinovyal sıvı, perikardiyal sıvı, idrar ve beyin omurilik sıvısı gibi kaynaklardan elde edilen veriler ölüm zamanı tahmininde kullanışlı olmaktadır. Yine de bu süreçte yaş, cinsiyet, biyolojik geçmiş, yaşam tarzı, ölüm nedeni ve bunlarla sınırlı olmamak üzere bir dizi faktörü dikkate almak gerekir (Shrestha vd., 2023). Meurs vd. (2018) yaptıkları çalışmada, postmortem intervalin tahmin edilmesi için postmortem biyokimyasal belirteçlerin (PBM) değerlendirilmesine odaklanmıştır. Doku ve vücut sıvılarındaki biyokimyasal belirteçler zamanla değişmektedir ve bu durum PMI ile ilişkilidir. Çalışmada belirteçler araştırılırken yaş, cinsiyet, yaşam tarzı, ölüm nedeni ve çevresel koşullar gibi faktörlerin dikkate alınmasının önemi vurgulanmaktadır. 388 belirteçten yalnızca birkaç biyokimyasal belirtecin bu hususlarla yeterli incelemeye tabi tutulduğu tespit edilmiştir. Altı tanesinin uygun şekilde araştırıldığı ancak pratik kullanıma uygun olmadığı, 18'inin yeterince araştırılmadığı ve uygulamaya uygun olmadığı, geriye kalan 364 biyokimyasal belirteç hakkında ise yeterli bilgiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Postmortem biyokimyasal belirteçler hakkında daha kapsamlı ve standardize araştırmalara duyulan ihtiyacın altı çizilmiştir (Meurs vd., 2019).

1.3.6. Supravital Reaksiyonlar

Çoğu durumda, geri dönüşü olmayan dolaşım veya solunum durması ölümün ana kriteridir. Ancak doku metabolizması ölümden hemen sonra durmaz, birkaç saat devam etmektedir. Bu dönemde, dokuların ölüm sonrası uyarıma verdiği reaksiyonlar olarak tanımlanan supravital reaksiyonlar gözlemlenmektedir (Madea vd., 2022). Burkhard Madea 1994 yılında supravitaliteyi uyarılabilirlik olarak tanımlamış ve bu özelliğin her dokuda farklı olduğunu vurgulamıştır. Bu süreçleri; dolaşım durmasına rağmen dokunun depoları tükenene kadar aerobik solunumun devam ettiği latent periyot, doku fonksiyonlarının kaybolduğu ancak dış etkenlerle yeniden aktive edilebildiği survival periyodu, dokunun iyileşme yeteneğinin tamamen kaybolduğu resüsitasyon periyodu ve tüm bu periyotları içeren,

hatta bu periyotlardan bağımsız olarak daha uzun süren ve geri dönüşü olmayan iskemiden sonra dokunun hayatta kalma süresi olarak tanımlanan supravital periyot olmak üzere 4 farklı periyoda ayırmıştır(Madea, 1994; Shrestha vd., 2023). Bu reaksiyonlar arasında bulunan iskelet kasının mekanik ve elektriksel uyarılabilirliği ve irisin farmakolojik uyarılabilirliği gibi yöntemler daha pratik ve rutinde kullanılabilir yöntemler olarak görülmektedir. Supravital reaksiyonlar kişinin kullandığı ilaçlardan, kişide bulunan hastalıklardan, sıcak havadan ve iklim şartlarından etkilenmektedir. Bu yöntemlerin postmortem interval tahmininde sadece ilk birkaç saat içerisinde kullanılabilir olması yöntemin kısıtlılıklarından olarak değerlendirilmektedir (Şenbaş, 2023).

1.4. Geç Postmortem Değişiklikler

Geç postmortem dönem, dokuların bazı enzimlere ya da bakteri kolonizasyonuna bağlı parçalanmaya başladığı dönemdir. Dekompozisyon süreci mevsim, kişinin ağırlığı ve kıyafet varlığı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dekompozisyon; taze, erken dekompozisyon, ileri dekompozisyon, iskelet oluşumu ve aşırı dekompozisyon olmak üzere 5 aşamaya ayrılmaktadır (Shrestha vd., 2023).

1.4.1. Otoliz

Otoliz, doku ve organların kendi enzimleri tarafından yok edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Membran tahribatının bir sonucu olarak lizozomlar, sitozoldeki düşük pH değeriyle aktive olan hidrolitik enzimleri salgılar, bu enzimler de hücre yapılarının kendi kendini yok etmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Madea vd., 2022).

1.4.2. Pütrefaksiyon

Otolizin aksine bakterilerin neden olduğu, gaz oluşumu ve amonyak salınımı nedeniyle vücutta şişmelerin ve kötü kokuların eşlik ettiği kimyasal bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Madea vd., 2022).

Indication	Interval after death
Green discoloration of abdominal wall, softening of eyeballs	After 1-2 days
Dark-green discoloration of great parts of the abdominal wall. Some patchy green discolorations of the skin of other body regions. Haemorrhagic fluid leaking out from mouth and nostrils. Marbling	After 3-5 days
Whole body surface dark green. Face, neck and thoracic wall partly reddish-green. Bloating of abdomen, scrotum and face. Fingernails still fixed. Hair loose, beginning to peel	After 8-12 days
Whole body green or reddish-brownish. Bloating of the whole body. Blisters, partly filled with putrefactive fluid, partly bursting with desiccation of the dermis. Eyes (iris, pupils, sclerae) red-brown discolored. Fingernails peeling	After 4-20 days

Şekil 1.1. Açık alanda 20°C sıcaklıkta bekleyen cesetlerde dekompozisyon süreci, (Madea vd., 2022)

1.4.3. Dekompozisyon

Pütrefaksiyon esas olarak anaerobik bakteriler tarafından başlatılan bir süreç olsa da dekompozisyon oksidasyon metabolik ürünlerinden kaynaklanan keskin, çürük kokular yaratabilen aerobik bakterilerin hakimiyetindedir. Erken dönem belirtilerinde olduğu gibi dekompozisyon süreci de birçok faktörden etkilenmektedir. Vücudun küçük olması, kişinin vücudunda açık yaralar bulunması, cesedin dışarıda bulunması, daha sıcak ve nemli iklim, ıslak ve asidik toprak, leşçil hayvan varlığı ve böcek aktivitesinin mevcut olması dekompozisyonu hızlandıran faktörler arasında yer almaktadır. Daha büyük bir vücut, kişinin vücudunda herhangi bir açık yaranın bulunmaması, kıyafet ya da sargı, konteyner ya da gömülü bir şekilde tutulması, soğuk iklim, toprağın alkalik olması ve cesedin suda bulunması dekompozisyonu yavaşlatmaktadır (Madea vd., 2022; Thomas, 2003).

1.4.4. Mumyalaşma

Kuru ve iyi bir havalandırma bulunan ortamda dokulardaki suyun kaybolmasıyla oluşmaktadır. Nemini kaybeden deri sert bir hal almaktadır. Genellikle kilise, mahzen gibi ortamlarda gömülü cesetlerde mumyalaşma gözlenebilse de bazen evde kapalı alanda kalan cesetlerde de bu değişim izlenebilmektedir (Madea vd., 2022).

1.4.5. Sabunlaşma

Nemli ve sulak ortamlarda balmumuna benzer dokuda adiposer oluşumu ile gözlenen bir süreç olarak tanımlanabilmektedir. En erken 3 hafta içerisinde başlayabilmektedir. Zamanlama değişebilmektedir ve bu durum nem, ortam sıcaklığı, toprak içeriği ve kıyafet varlığı gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Bazı çalışmalarda

sabunlaşma, mumyalaşmanın bir formu olarak düşünülmektedir. Sabunlaşma sürecinde bazı yumuşak dokuların korunmuş olması toksikolojik analizlerin yapılabilmesine ve bazı kanıtların saklanması yardımcı olmaktadır (Ubelaker ve Zarenko, 2011).

Mumyalaşma ve sabunlaşma normal bir dekompozisyon süreci olarak tanımlanmamaktadır. Birçok çürüme türü aynı anda aynı cesette gözlenebilmektedir.

İskeletleşme aşaması, kemik dokunun yarısından fazlasının açığa çıkmasıyla oluşmaktadır. Bu aşamaya uzun kemik uçlarında görülen kurumuş doku ve özellikle uyluk kısmında yoğun bir şekilde bulunan yağ dokusu eşlik etmektedir. İskeletleşmeye kadar geçen süre, vücudun saklama koşullarına bağlı olarak büyük değişkenlik göstermektedir. Yüzeyde bulunan cesetler genellikle 1 yıl içinde iskelet formuna ulaşmaktadır. 2 yıl sonra kemikler yumuşak dokulardan tamamen arınmıştır (Shrestha vd., 2023). Kurtçuk istilası ve yırtıcı hayvanların varlığı yaz aylarında yumuşak doku kaybının en büyük etkenlerindendir ve bu koşullar varlığında bir ceset birkaç hafta içerisinde iskeletleşebilmektedir. Toprak altında gömülü cesetlerde ise toprağın içeriği bu süreci etkileyen faktördür. Normal şartlarda, suya geçirgen ve iyi havalandırılan toprakta 1-2 m derinliğinde gömülü cesetlerin iskelet haline gelmesi için yaklaşık olarak 5-7 sene gereklidir. Kıyafetle gömülü cesetlerde ise halen yumuşak dokunun izlenebildiği görülmektedir (Madea vd., 2022).

İskelet elemanlarının çevresel etkenlere maruz kalması sonucu aşındığı sürece **aşırı dekompozisyon** adı verilmektedir. Kemiklerdeki bu aşınma genellikle kemiklerin beyazlamasıyla başlamaktadır. Daha sonrasında kortikal yapıda dejenerasyonlar görülüp uzun kemiklerde metafiz kaybına yol açmaktadır (Shrestha vd., 2023).

1.5. Adli Antropoloji

Adli antropoloji, genellikle yasal soruşturmalar bağlamında insan iskelet kalıntılarının tanımlanması ve analiziyle ilgilenen, bir bilim dalıdır. Adli antropologlar insan anatomisi, biyolojisi ve osteoloji (kemiklerin incelenmesi) hakkındaki bilgilerini suç vakalarının çözülmesine, insan kalıntılarının kimliklendirilmesine ve ölen kişiler hakkında bilgi sağlanmasına yardımcı olmak için kullanmaktadır.

Adli Antropolojik ilk çalışma, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1850'lilerde gerçekleşen Webster-Parkman olayındaki kimliklendirme çalışmasıdır. Aynı zamanda Harvard Tıp Fakültesi inşaatı için arazisini de bağışlayan Dr. George Parkman, kendisine borcu bulunan Harvard Kimya Profesörü John Webster tarafından öldürülmüştür. Antropolog Wyman tarafından olayın çözülmesinden sonra John Webster hüküm giymiştir. Adli Antropolog William M. Bass tarafından 1900'lerin sonlarında "Body Farm" denilen ceset çiftliği kurulmuştur. Ölümden sonra gözlenen değişimleri izlemek ve çeşitli araştırmaların geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir.



Şekil 1.2. William Bass, Tennessee Üniversitesi Ceset Çiftliğinde bir cesedin çürüme evresini incelerken, 1997 (John Kuraski, 2023).

İskeletler üzerine ilk uygulamalı çalışmalar 1878 yılında Thomas Dwight ile başlamıştır. Thomas Dwight, Harvard Anatomi Müzesi'nde osteoloji bölümünü kurmuştur ve adli antropolojinin babası olarak kabul edilmektedir. 1938 yılında Dr. T. Wingate Todd ve Dr. Hamann birlikte 3000'den fazla iskeletin bulunduğu Hamann-Todd iskelet koleksiyonunu oluşturmuştur. İkinci dünya savaşı ve Kore savaşlarında hayatını kaybedenlerin kimliklendirilmesi amacıyla adli antropologlara daha fazla ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucunda ilk kez 1971 tarihinde kurulan Amerikan Adli Bilimler Akademisinin alt disiplinlerinden biri olarak kabul edilmiştir.

Adli antropoloji uygulamalarının kullanıldığı en önemli olaylardan biri şüphesiz ki 11 Eylül 2001'de New York şehrindeki Dünya Ticaret Merkezine gerçekleştirilen terör saldırısıdır. Ölen kişilerin kimliklendirilmesi açısından adli antropologlar önem kazanmıştır.

Adli antropologların çalışma alanları arasında iskeletlerden kimliklendirme dışında, kemiklerdeki travma analizleri, ölüm zamanı tespiti, tarihi toplu mezarların değerlendirilmesi ve kitlesel felaketler yer almaktadır. Adli antropologlar, diğer adli uzmanlarla yakın iş birliği içinde çalışmaktadır. Gerekli durumlarda kolluk kuvvetlerine yardımcı olmaktadır.

1.6. Kimliklendirme

İnsan kalıntılarının kimliklendirilmesi, ölen kişi hakkında kritik bilgilerin ortaya çıkarılması için iskelet yapılarının titiz bir analizini içermektedir. İskelet anatomisi konusunda yüksek eğitime sahip adli antropologlar, yaş, cinsiyet, etnik köken ve boy gibi temel özellikleri belirlemek için kemikleri titizlikle incelemektedir. Muayene aynı zamanda travma, hastalık veya konjenital anomali belirtileri açısından iskelet elemanlarının değerlendirmesini de içermektedir. Böylece bireyin yaşamının ve ölümünü çevreleyen koşulların yeniden yapılandırılmasına yardımcı olmaktadır. Kişinin öldüğü zaman hakkında incelemeler yapılarak, kimliğinin kapsamlı ve doğru bir şekilde anlaşılması sağlanmaktadır. Bu şekilde kayıp vakalarının çözülmesinde ve cezai soruşturmalara yardımcı olunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Adli antropologlar, kapsamlı kimlik belirleme sürecine toplu olarak katkıda bulunmak için adli tıp uzmanları, adli biyologlar, adli odontologlar gibi diğer adli uzmanlarıyla multidisipliner bir çalışma sergilemektedir.

1.6.1. İskeletten Yaş Tahmini

Kişinin ölüm anındaki yaşının tahmini, elde edilen iskelet kalıntılarının özelliklerinin zamanla gösterdiği değişimlerin değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak kemiklerdeki bu değişimlerin hepsi aynı anda ve her kemikte simultane bir şekilde oluşmamaktadır. Bebek ve çocuklarda kemik gelişimi tamamlanmadığından yaş tahmini yaparken erişkinlere göre daha farklı yöntemler kullanılmaktadır (Özer ve Sağır, 2017).

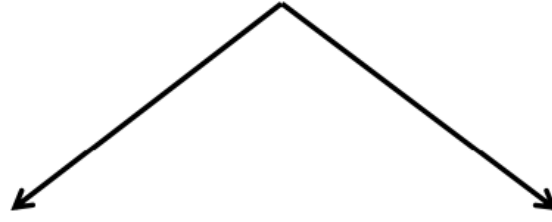
İskelet elemanları, adli antropologların tahmin için kullandığı yaşa bağlı değişikliklere uğramaktadır. Çocuklar ve adölesanlarda diş gelişimi ve uzun kemiklerin epifizyal füzyon aşamaları temel göstergelerdir. Yetişkinler için, kranial sütürlerin dejenerasyonu ve füzyonu, pubik simfizis, 4.kostanın sternal yüzeyi ve auriküler yüzeydeki değişimler sıklıkla incelenir. Bu analiz ayrıca omurgadaki ve diğer ağırlık taşıyan eklemlerdeki dejeneratif değişikliklerin incelenmesini de içerebilmektedir.



Şekil 1.3. Mehmet Yaşar İscan Metodu, 4.kaburga kemiği sternal uçları (Yaşar İscan vd., 1984)

Adli antropologlar, çoklu iskelet göstergelerinden elde edilen bilgileri birleştirerek ve istatistiksel yöntemler kullanarak, bireyin yaşı hakkında makul derecede doğru bir tahmin sağlayabilir ve adli araştırmalardaki genel biyolojik profile katkıda bulunabilmektedir.

İskeletlerde Yaş Tahmini Metotları



Eriskin Olmayan

1. Dental metotlar: Moorrees vd. (1963), Demirjihan vd. (1973), Ubelaker (1989), Buikstra ve Ubelaker (1994), AlQhanti (2009), Aka vd. (2016).
2. Osteolojik metotlar:
 - a) Kraniyal gelişme: Fazekas ve Kosa (1978), Stewart (1979).
 - b) Uzun kemik gelişimi:
 - i. Epifiz kaynaşmaları: Stewart (1979), Scheuer ve Black (2000), Schaefer vd., (2009).
 - ii. Diyafiz uzunluk ölçümleri: Maresh (1970), Fazekas ve Kosa (1978), Scheuer vd., (1980).

Eriskin

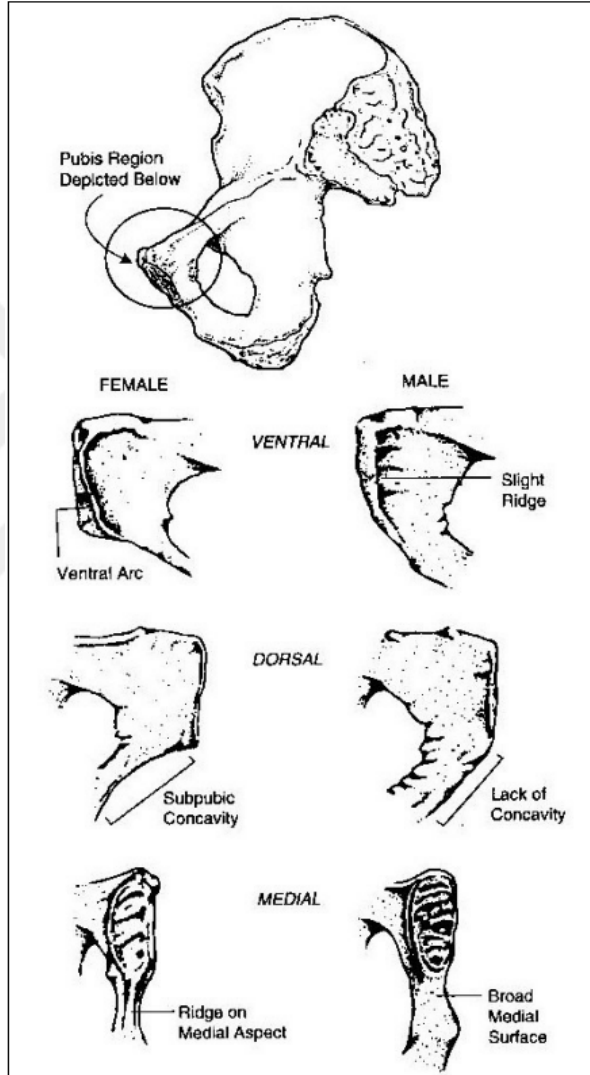
1. Dental metotlar: Ubelaker (1989), Lamendin (1992), Prince ve Ubelaker (2002), AlQahanti (2009).
2. Osteolojik metotlar:
 - a) Kafatası sütür kaynaşması: Meindl ve Lovejoy (1985), Buikstra ve Ubelaker (1994), Nawrocki (1998).
 - b) Epifiz kaynaşma safhaları: McKern ve Stewart (1957), Webb ve Suchey (1985), Albert ve Maples (1995), Scheuer ve Black (2000), Langley-Shirley ve Jantz (2010).
 - c) Yaşa bağlı morfolojik değişiklikler:
 - i. 4. kaburga kemiği sternal ucu: İşcan vd. (1984), (1985), Harnett (2010).
 - ii. Pubik simfizis: Suchey ve Brooks (1990), White ve Folkens (2005), Harnett (2013), Dudzik ve Langley (2015).
 - iii. Auricular yüzey: Lovejoy (1985), Osborne (2004).
3. Histolojik metot
4. Kompozit metot: ADBOU programı
<http://math.mercyhurst.edu/~sousley/Softw/are/>

Şekil 1.4. İskeletten yaş tahmini metotları (Çeker, 2018)

1.6.2. İskeletten Cinsiyet Tahmini

Cinsiyet tahmini kişinin biyolojik profilini tamamlamak için hayati önem taşımaktadır. Adli antropologlar ölen kişinin olası cinsiyetini belirlemek için çeşitli iskelet özelliklerinden yararlanmaktadır. Erkek ve kadın iskeletleri arasındaki farklar, çeşitli iskelet elemanlarında daha belirgindir. Pelvis genellikle cinsiyet açısından en dimorfik bölge olarak kabul edilir; pelvik girişin genişliği, subpubik açı ve genel pelvik şekil gibi özellikler değerli göstergeler sağlamaktadır. Ek olarak kafa iskeleti, özellikle kaş sırtı, mastoid süreç, alt

çenenin şekli gibi özellikler cinsiyet tahmini için yararlı ipuçları sunmaktadır. Femur ve humerus gibi uzun kemikler de boyut ve sağlamlıkla ilgili cinsiyet açısından bazı farklılıklar sergilemektedir. Bu iskelet belirteçlerinin istatistiksel yöntemlerle birlikte kombinasyonu, adli antropologların iskelet kalıntılarına dayalı olarak bir bireyin biyolojik cinsiyeti hakkında doğru değerlendirmeler yapmasına olanak tanır ve adli araştırmalarda genel kimlik belirleme sürecine katkıda bulunmaktadır.



Şekil 1.5. Pelvisten cinsiyet tahmini metotları, (Buikstra ve Ubelaker, 1994)

1.6.3. İskeletten Etnik Köken Tahmini

Etnik veya coğrafi köken tahmini, yaygın olarak kraniyal ölçümlerin istatistiksel analizi ile gerçekleştirilmektedir. Yine de postkraniyal ölçümler de kullanılabilmektedir. Etnik köken analizi, uzun evrimsel eğilimler tarafından şekillenmiştir. İlk insanlar küçük gruplar

halinde seyahat ederek çeşitli coğrafi bölgelere göç etmişlerdir. Bu durum insanların ten rengi, saç rengi, boy gibi fiziksel görünümünü şekillendirmiştir. Günümüzde göç ve gen akışı daha kolay olması nedeniyle popülasyonlar sürekli değişmektedir. Etnik köken değerlendirmesi yaparken karşılaştırma amacıyla referans gruplarına sahip olmak gereklidir (Spradley, 2016).

İskeletlerin kimliklendirilme amacıyla biyolojik profil oluşturma sırasında ölüm zamanının belirlenmesi önemli bir faktördür. Diğer biyolojik profillemeye unsurlarıyla birleştirildiğinde, iskelet kimliklendirme sürecine daha fazla bilgi sağlayarak adli olgularda daha kapsamlı bir anlayış elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Günümüzde, adli bilimlerde iskeletten ölüm zamanı tahmini, bir cinayet olayının çözülmesi ve suçla ilgili doğru bir şekilde hüküm verilebilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. İskelet, çeşitli faktörlerin etkisi altında zaman içinde belirgin anatomik ve morfolojik değişimlere uğramaktadır. Bu nedenle, iskeletten ölüm zamanını doğru bir şekilde belirlemek, adli bilimciler ve kolluk kuvvetleri için hayati bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu bağlamda, iskeletten ölüm zamanı tahmininde kullanılan çeşitli yöntemlerin uygulanabilirliği konusundaki araştırmaların artması, adli tıp alanındaki gelişmeleri hızlandırmıştır. Bu tez, iskeletten ölüm zamanı tahmininde kullanılan yöntemlerin uygulanabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

1.7. İskeletten Ölüm Zamanı Tahmini (Postmortem İnterval Tahmini)

Ölüm sonrası geçen süreyi tanımlamak için kullanılan Post Mortem Interval (PMI), bir kişinin ölümünden cesedin bulunmasına kadar geçen zamanı ifade etmektedir. Adli antropologlar, bir insan vücudu bulunduğunda yöneltilen sorulara cevap vermeyi amaçlayarak bu süreci belirleme konusunda önemli bir rol oynamaktadırlar. Bu görev, çoğu zaman zorlu ve hassas bir doğaya sahiptir. Son yıllarda, ölümden sonraki geçen zamanın tahmin edilmesine odaklanan çalışmalarda belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Ancak, ileri dekompozisyon seviyeleriyle ilişkilendirilen Post Mortem Interval (PMI) belirleme çabaları hala zorlu bir süreç oluşturmaktadır (Ermida vd., 2022).

Açıkta alanda bulunan kadavranın dekompozisyonu, ölüm anında başlayan ve vücudun kurumuş bir iskelete dönüşmesiyle biten sürekli bir süreçtir. Ölümden bu yana geçen süreye veya postmortem ilişkin tahminler, vücutta meydana gelen bir dizi gözle görülebilir değişikliklere dayanmaktadır (Goff, 2009).

1.8. Adli Tafonomi

Adli tafonomi, özellikle adli patolojinin genellikle kullanılamayacağı (ölüm zamanı 72 saati aştığında) PMI tahminine yardımcı olabilecek önemli bir alandır. Adli tafonomik araştırma, süreci anlamak için insan kalıntılarının dekompozisyonunu ve çevredeki ortamla etkileşimini incelemeye odaklanmaktadır. Ortam sıcaklığındaki artış, enzim katalizörlerinin reaksiyon hızlarını etkileyerek yumuşak doku içindeki hücresel metabolizmayı arttırdığından, sıcaklık dekompozisyon hızının ve uzunluğunun belirlenmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Sıcaklığın yanı sıra, omurgalı ve omurgasız çöpçüler, kalıntıların yüzeyde ya da gömülü bulunması, toprak değişkenleri (örneğin toprak türü, toprak mikrobiyolojisi, toprak pH'ı, nem ve mezar alanındaki oksijen içeriği) gibi jeolojik parametreler dekompozisyon süreçlerini büyük ölçüde etkilemektedir (Iqbal vd., 2020).

Megyesi vd. 2005 yılında, toplam vücut skorlamasına (total body score-TBS) dayalı bir sistem kullanarak postmortem interval tahmini için bir sistem ortaya koymuşlardır. Dekompozisyon 4 aşamaya (taze, erken, ileri ve iskeletleşme) ayrılmıştır ve vücudun her bölgesi ayrı ayrı puanlandırılmıştır. Taze bölgelere 3, kuru kemik bölgelerine 35 puan verilmiştir. Ölüm zamanı bilinen 68 insana ait kemik kalıntıları bu yöntemle puanlandırılmıştır. $(ADD=10^{(0.002 \times TBS \times TBS + 1.81)}) \pm 388.16$, formülü oluşturulmuştur. ADD (Accumulated Degree Days) dekompozisyonun kimyasal ve biyolojik reaksiyonlarının gerçekleşmesi için gereken termal enerji birikimini temsil eden ısı-enerji birimleri olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmanın bulguları, ADD'nin dekompozisyon varyasyonun yaklaşık %80'ini oluşturduğunu ve bu modelinin sadece zamana değil, birikmiş sıcaklığa bağlı olarak en iyi şekilde modellendiğini göstermiştir (Megyesi vd., 2005).

ADD yaklaşımına alternatif olarak Fitzgerald ve Oxenham, Avustralya ılıman koşullarındaki dekompozisyon modelini anlamak için ölümden bu yana geçen süreye (Time since death-TSD) dayalı bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada kullanılan skorlar, tüm vücutta gözlemlenen TBS'nin puanlanan vücut elemanları sayısına bölünmesiyle 0'dan 5'e kadar bir değer sağlayan bir dekompozisyon derece indeksi (DDI) kullanılarak hesaplanmıştır. Makro-çevrenin (güneşli ya da gölgede olmanın) dekompozisyon açısından anlamlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Fitzgerald ve Oxenham, 2009).

Vass, hem yüzeydeki hem de mezardaki dekompozisyon sürecinde postmortem intervali belirlemek amacıyla çevresel parametrelere (yani sıcaklık, nem ve kısmi oksijen

basıncı) ve dekompozisyon puanlarına dayalı evrensel ampirik formüller geliştirmeye çalışmıştır. Formülleri geliştirmek için sıcak nemli bölge olan Tennessee Üniversitesi'nin Knoxville'deki Antropoloji Araştırma Tesisinde 20 yıllık bir süre boyunca toplanan veriler kullanılmıştır. Elde edilen formüllerin, nem, toprak nemi, toprak türü ve bitki örtüsünün benzer olduğu Amerika Birleşik Devletleri'nin orta ve doğu kesimini kapsayan alanlarda etkili olduğu bildirilmiştir. Ancak bu formüllerin en büyük sınırlaması, değerlendirilen olgunun iskeletleşme öncesi aşamasında olması gerektiği, aksi takdirde hata yapma ihtimalinin çok yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Vass, 2001).

Bir cismin su ortamındaki dekompozistyonu, karasal ortamdan önemli ölçüde farklılık göstermektedir ve ayrışma derecesinin görsel olarak değerlendirilmesinde ek zorluklar oluşturabilmektedir (Iqbal vd., 2020). Vücudun çevresinde su bulunması veya vücudun suda bırakılması sonucu, zaman geçtikçe ve su geri çekildikçe kemiklerde yoğun erozyon ve korozyon meydana gelecektir. Suda kalan cisimlerde görülen en önemli değişiklik adiposer dokusunun oluşmasıdır. Suyun akarsu veya durgun su olması ve suyun pH değeri vücudun dekompozisyon hızını etkilemektedir. Çürüme aşamalarının çevre koşulları ve vücudun özelliklerine göre şekillendiği göz önüne alındığında, her bedenin bulunduğu ortam koşullarına göre değerlendirilmesi ve ölümden bu yana geçen süreyi tahmin ederken tüm faktörlerin kemiklerde neden olduğu tahribat dikkate alınmalıdır (Unluturk ve Sahin, 2017).

1.9. Adli Entomoloji

Adli entomoloji, adli araştırmalarda böcekler ait biyolojik ve ekolojik bilgilerin kullanıldığı bir bilim dalıdır. Böcekler, cesetlerin ayrışmasında önemli etkenlerdir; çürümenin ilk aşamalarından itibaren cesede ulaşırlar ve ceset üzerinde kolonileşmektedirler. Ölüm zamanı tahmini ise adli entomolojinin en temel uygulamasıdır. Erken ve geç postmortem dönemde diğer metotların kullanılamadığı durumlarda ölüm zamanı tahmini için adli entomoloji faydalı olmaktadır. PMI değerlendirme aşamasında Süksesyon Modeli ve Türlerin Gelişim Modeli olmak üzere iki genel yaklaşım izlenmektedir (Kökdeniz, 2016).

Çürüyen tüm organizmalar birçok eklembacaklı ve böcek türü için doğal yaşam alanıdır. Beslenme, üreme, çiftleşme ya da saklanma, cesetlerin böcekler tarafından kullanım amaçlarından birkaçıdır (Madea vd., 2022). Çürüme sürecinde vücut birçok kimyasal, fiziksel ve biyolojik değişikliğe uğramaktadır. Bu değişimler sırasında yayılan kokular bazı türleri kendine çekerken bazı türler için daha az çekici olmaktadır. Smith

(1986) tarafından yazılan Adli Entomoloji Kılavuzunda cesetlere gelen böcek faunasını nekrofajlar, saprofajlar (omnivorlar), predatör/parazitik ve tesadüfi türler olmak üzere dört gruba ayırmıştır (Smith, 1986). Nekrofajlar ölümden hemen sonra cesede gelmektedir ve ceset üzerindeki yumuşak dokular ile beslenmektedir. Predatör/parazitik gruptakiler direkt ceset üzerindeki dokularla beslenmeyip, diğer larvaları tüketmektedirler. Saprofajlar ise hem yumuşak dokuları hem de diğer eklembacaklılara ait larva ve pupalar ile beslenmektedir. Tesadüfi türler ise kendilerine barınmak için yer ararken cesetlere kolonize olmaktadır (Kökdeniz, 2016).

Ölüm zamanı tahmini, ölümün gerçekleştiği zaman ile cesedin bulunması arasındaki minimum ve maksimum zaman aralığını içermektedir. Minimum postmortem interval, larval yaş ve böcek gelişim evreleri hesaplanarak elde edilmektedir. Maksimum postmortem interval, kişinin en son görüldüğü zaman ile cesedin bulunduğu zaman aralığı kullanarak tespit edilmektedir (Amendt vd., 2011). “Postmortem İnterval” tahmini adli entomolojide bazı durumlarda yanıltıcı olabilmektedir. Larval yaş ile cesedin böcekler tarafından istila süresi hesaplanırken böceğin kişi hayattayken vücuduna yerleşmiş olabileceği dikkate alınmalıdır (Madea vd., 2022).

1.9.1. Böcek Gelişim Evreleri

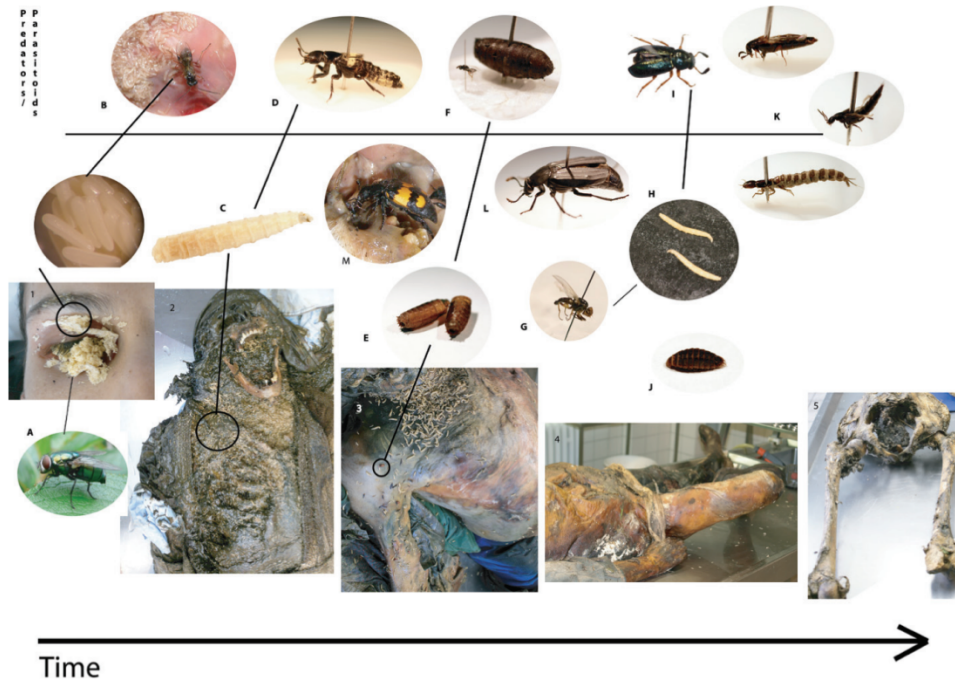
Çürüme periyodunun başlangıcındaki tahminlerde kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Birincisi, böcek gelişim evrelerine dayalı olarak yapılan isomorfen ve isomegalen isimli diyagramlardır. İkinci yöntem ise belirli bir gelişim evresine ulaşmak için geçen toplam saat veya gün sayısını hesaplamaya dayanan termal toplam modelidir. İsomorfen diyagramı; vücuttaki en yaşlı olgunlaşmamış böceklerin gelişim aşaması ve olay yerindeki ortalama sıcaklık bilindiğinde bu modelden doğru bir minimum PMI hesaplamak mümkün olmaktadır. İsomegalen diyagramı; çürüme periyodunun başlangıcındaki ölü larvaları kullanarak PMI tahmin edebilen ve dalgalanan çevresel sıcaklık verilerini hesaba katan daha karmaşık bir modeldir (Amendt vd., 2011). Bu iki diyagramın da bazı kısıtlamaları olduğu unutulmamalıdır.

Termal toplama modeli, böceklerin soğukkanlı hayvanlar olmaları ve gelişim süreçlerinde ısıya olan ihtiyaçları temel alarak tasarlanan en sofistike ve yaygın kullanılan bir modeldir. Hem boyut hem de gelişimsel olay verilerini ve ayrıca dalgalanan ortam sıcaklıklarını işleme kapasitesine sahiptir. Böceklerin gelişim hızı ile artan ısı arasında pozitif

bir lineer bağlantı bulunmaktadır. Belirli bir ısı değerinin altında gelişim dururken, belirli bir üst eşik değeri üzerinde gelişim yavaşlar. Bu üst ve alt eşik değerleri arasında genç böceklerin gelişim hızı ile ısı arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir. Sineğin büyüme ve gelişimi için gereken ısı birimleri, derece saat (Accumulated Degree Hours-ADH) veya gün (Accumulated Degree Days-ADD) cinsinden ifade edilir. Her gelişimsel evre, kendi toplam gelişimsel gereksinimine sahiptir ve her türün kendi gelişimini tamamlamak için derece gün sayısını belirlemesi gerekmektedir. PMI hesaplamasının temel prensibi, cesette bulunan böcek türlerinin tanımlandıktan sonra bu aşamaya gelmeleri için gereken ADH-ADD zamanını hesaplamaktır (Amendt vd., 2011, Kökdener, 2016).

1.9.2. Süksesyon

Ölümünden sonra geçen zamanın hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem, eklem bacaklı süksesyonu olarak bilinen modeldir. Bu model, belirli türlere ait arthropodların cesette ortaya çıkmaya başladığı zamanı ve bu türlerin bulundukları evreyi içeren bilgileri kullanarak, minimum ve maksimum postmortem interval (PMI) tahminlerinde kullanılabilir. Bu modeli kullanmak için cesedin bulunduğu bölgeye ait böcek faunası bilinmelidir (Kökdener, 2016). Birçok böceğin dekompozisyonun farklı aşamalarına duyarlı olduğu ve simultane bir şekilde ceset üzerinde belirleyeceği akılda tutulmalıdır. Süksesyon modeli ortam sıcaklığı, nem, iklim, yılın hangi dönemi olduğu gibi faktörlerden etkilenmektedir. Adli Entomologlar, genellikle cesede ilk ulaşan sinekler ve böceklerle göre minimum PMI tahmini yapmaktadırlar. Örneğin kurt sinekleri taze cesetleri tercih etmektedir ve dekompozisyonun ilk günlerinde cesede ulaşmaktadır. Bazı Coleoptera türleri ise saç, deri, kemik gibi dokulardan etkilenmektedir bu nedenle dekompozisyonun ileri aşamalarında ortaya çıkmaktadır (Amendt vd., 2011).



Şekil 1.6. Dekompozisyonun farklı aşamalarındaki böcek aktivasyonları, (Madea vd., 2022)

Adli entomolojik araştırma sırasında gözlemler, örnekler ve ölçümler aracılığıyla bölgeye özgü klimatolojik veriler toplanmakta ve ceset çevresinden de böcek örnekleri alınmaktadır. Ayrıca, cesedin çeşitli bölgeleri detaylı bir şekilde incelenmekte ve etiketleme prosedürleri dikkatlice uygulanmaktadır. Larvaların öldürülmesi ve örneklerin alkolde muhafaza edilmesi gibi spesifik adımların yanı sıra, olay yerinin bitki çeşitliliği hakkında da bilgiler toplanmaktadır. Kanatsızlar ve kanatlılar için farklı kavanoz türleri kullanımına ve aspiratörlerin taşlar ve toprak arasında bulunan böcekleri toplama işlemlerinde kullanılmasına vurgu yapılmaktadır (Tüzün ve Yüksel, 2007).

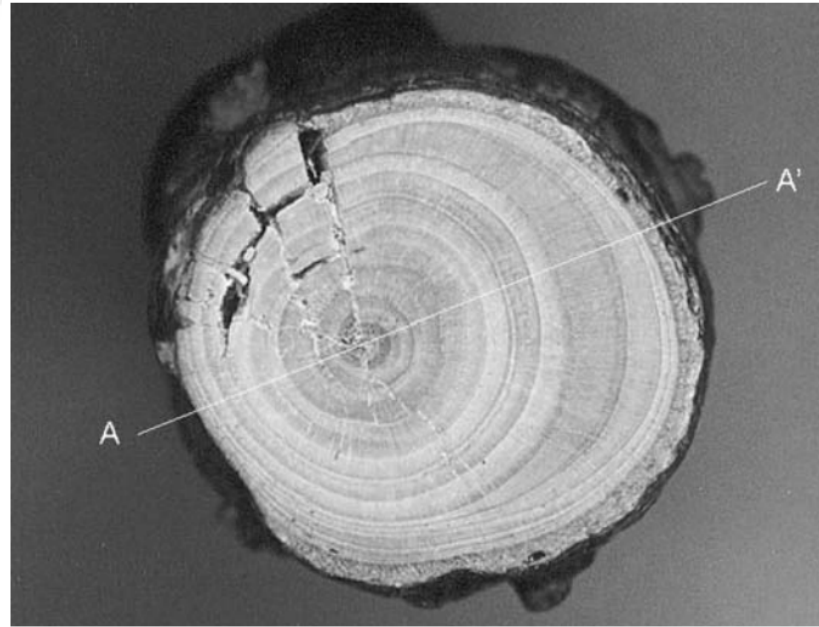
1.10. Adli Botanik

Adli botanik, suçların çözülmesine yardımcı olmak için bitki kanıtlarının kullanılmasını içeren, adli bilimlerin özel bir dalıdır. Bitkiler ve bitkilerle ilgili materyaller; cinayetler, cinsel saldırılar ve diğer ceza davaları da dahil olmak üzere çeşitli yasal soruşturmalarda değerli bilgiler sağlayabilmektedir. Bu alan, kriminal soruşturmalara yardımcı olmak için bitkilerin morfolojisi, anatomisi ve ekolojisi gibi benzersiz özelliklerine dayanmaktadır.

Adli botanikğin başlıca uygulamalarından biri suç mahallinde bulunan bitki materyallerinin analizidir. Bu, türlerini tanımlamak ve kökenlerini belirlemek için bitki parçalarının, polenlerin, tohumların ve hatta bitkilerin tamamının incelenmesini içermektedir. Bitki toksinlerinin veya

zehirlerinin zarar vermek amacıyla kullanıldığından şüphelenilen durumlarda adli botanik faydalı olmaktadır. Zehirli bitkilerin ve bunların insan vücudu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, zehirlenme veya şüpheli ölüm durumlarında hayati önem taşımaktadır.

Bitkiler zamanın ideal göstergeleridir. Türler arası farklılıklar ve klimatolojik faktörler, büyüme modellerinde ve oranlarında farklılıklara neden olmaktadır. Yaprakların, çiçeklerin, meyvelerin varlığı, dalların büyümesi, tozlaşma ve hatta yaprakların dökülmesi ile zaman gösterilebilir. Dendrokronoloji, ağaç yıllık halkalarına göre yaşlandırma analizi, adli olaylarda kullanılabilir. Ağaç gövdesindeki her halkanın büyümesi eğim, yağın kar, rüzgâr gibi mekanik streslere bağlıdır. Bu durumlar ağacın dik bir şekilde büyümesine engel olan faktörlerdir ve ağaç gövdesi bu duruma karşı tepki göstermektedir. Courtin vd. tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, ladin ağacının yanında bulunan insan kalıntılarına ait PMI tahmini büyüme halkası modeli ile değerlendirilmiştir. Büyüme halkaları bilgisayarla ölçülmüş olup halkalardaki asimetri incelenerek ölüm zamanı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Değişimin Temmuz 1993 ile Mayıs 1994 arasında meydana geldiği sonucuna varılmış olup kişinin son görülme tarihinin 24 Ağustos 1993 olduğu öğrenilerek bu yöntemin doğruluğu onaylanmıştır (Courtin ve Fairgrive, 2004).



Şekil 1.7. İnsan kalıntılarının yanında bulunan kara ladin ağacına ait gövde kesidi, (Courtin ve Fairgrieve, 2004)

Bir başka örnekte; 2011 yılında yol çalışmaları sırasında insana ait iskelet kalıntıları bulunmuştur. Bitkilere ait kökler insan kalıntılarına karışmış halde izlenmiştir. Adli botanik

uzmanı kalıntılardan elde edilen örnekler ile yerel bitki örtüsünü karşılaştırmıştır. Kafa iskeletinde sağ akustik kanala doğru ilerleyen kök varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca hem sağ hem de sol ayakta farklı bitkilere ait kökler bulunmuştur. Akustik kanaldaki örneğin bir yıllık bir gelişim gösterdiği tahmin edilmiştir. Sol ayakta bitkinin 3 yıllık, sağ ayaktakinin ise 6 yıllık bir büyüme gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre kurbanın bulunduğu yere 2006 yılından önceki bir tarihte konulduğu tespit edilmiştir. Kurbanın bulunduğu yerin yakınında gözlenen çitin üzerinde tespit edilen kara mürver bitkisinin 10 yılda herhalde bir bakıma uğramadığı anlaşılmıştır. Tüm bilgiler karşılaştırıldığında kurbanın 2000 yılının sonunda bu alana getirildiği sonucuna varılmıştır. Bu bilgiler ışığında kalıntıların 2003 yılında kaybolan bir adama ait olduğu anlaşılmıştır (Caccianiga vd., 2021).



Şekil 1.8. a) Kafatasının sağ tarafında akustik meatusa nüfuz eden büyük bir kök, b) iskelet kalıntıları içeren ve *Phytolacca Americana* kökü ile çevrelenmiş sağ ayakkabı, c) örnek alınan köke yakından bakış, (Caccianiga vd., 2021)

Adli palinoloji 1950'lerden bu yana adli vakalarda yardımcı olarak kullanılmaktadır. Polen ve sporların, adli olayların çözülmesinde kullanılmasını amaçlayan bilim dalıdır. Polen taneleri, kimyasal saldırılara karşı son derece dayanıklı oldukları için adli tıp uygulamalarında faydalı olmaktadır. Soruşturma konusu olay gerçekleşikten sonra da olay yerinde uzun süre kalabilmektedir (Mildenhall vd., 2006). Toprak, ip, kıyafetler ve kumaşlar, ilaçlar, hava filtreleri, hayvanlara ait kürk, insan kalıntılarına ait saç, mide içerikleri gibi materyallerden polen elde edilebilmektedir. Ciltten, vücut yüzeyinden, ilaçlardan, hava filtrelerinden veya kıyafet parçalarından toplanan polen veya sporlar, çeşitli çevresel koşullara (örneğin, sıcaklık, soğuk hava, yıkama, bulaşma, bozulma) maruz kalsa bile yapısını koruyabilmektedir. Bu durum, cesedin taşınıp taşınmadığını belirleme veya ölümün gerçekleştiği jeolojik koşullar hakkında önemli ipuçları sağlayabilmektedir. Polen taneleri görüntülemek için ışık mikroskobu (Transmitted Light Microscopy-TLM), floresan yöntemi ve aydınlatma (Apotome) yöntemi olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır. Polenlerin sıcak ve soğuk hava, taşınma, bulaşma gibi çeşitli faktörlere dayanıklı karşı dayanıklı olması bu yöntemin avantajlarından biridir. Öte yandan örneklerin toplanması sırasında bilgi, konum ve

teknik alanlarda eksiklikler olması hatta bu alanda çalışan profesyonellerin azlığı da bu yöntemin kullanımının dezavantajları arasında bulunmaktadır (Alotaibi vd., 2020).

1.11. Moleküler Teknikler

Son dönemde postmortem interval tahmini amacıyla DNA, RNA ve protein çalışmaları yapılmaktadır. Nükleik asitlerdeki bozunma ile PMI arasındaki ilişki araştırılmaktadır.

1.11.1. DNA

DNA molekülünün hücrelerin en kararlı bileşenlerinden biri olması, içeriğinin farklı bireylerde ve aynı tür içindeki farklı hücre tiplerinde benzer olması nedeniyle PMI tahmini için olası bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Biyolojik numunelerde denatürasyon, ölümden hemen sonra başlar (endojen nükleaz aktivitesi ve hidrolitik saldırı nedeniyle) ve sıcaklık ve ölüm mekanizmasından bağımsız olarak sabit bir hızda devam etmektedir (Tozzo vd., 2020). Kemik ve diş gibi sert dokuların analizinin, bu doku tiplerindeki nükleik asitlerin nispeten daha yüksek stabilitesi nedeniyle DNA analizi için daha uygun olduğu tanımlanmaktadır. Ancak bu dokuların analizi zaman alıcı ve yoğun emek gerektirdiğinden ve bu dokulardaki DNA'nın hayatta kalma süresinin sıcaklık, nem gibi çevresel koşullardan etkilenmesinden yumuşak doku analizleri daha avantajlı olmaktadır (Van den Berge vd., 2016). Son birkaç on yıldır PMI tespitinde DNA kullanımı ile ilgili birçok literatür yayınlanmıştır. Temel UV spektrometre, boyama, görüntü analiz teknikleri (IAT-Image analysis techniques), tek hücre jel elektroforezi (SCGE-Single-cell gel electrophoresis) gibi nükleer DNA fragmentasyon ve gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (RT-qPCR/Real Time Quantitative Polymerase Chain Reaction) gibi DNA amplifikasyon çalışmaları yapılmıştır (Tozzo vd., 2020).

Perry vd. (1988) gerçekleştirilen çalışmada, ölümden bu yana geçen süreyi belirlemek için insan kaburga kemiğindeki deoksiribonükleik asidin (DNA) bozunma oranının kullanılmasının uygulanabilirliğini araştırılmıştır. Öncelikler yüzey sterilizasyonu uygulanan kaburga kemikleri, yüksek ve düşük nem koşullarında oda koşullarında birkaç hafta boyunca muhafaza edilmiştir. Kemiklerden kesitler alınmıştır. Bu kesitlerden DNA çıkarılarak jel elektroforezi ile incelenmiştir. Aynı koşullarda inkübe edilen ancak farklı kişilerden alınan

örneklerdeki DNA bozunma hızı çok benzer bulunmuştur. DNA bozunma hızının sıcaklık ve neme göre değişebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Perry vd., 1988).

Alaeddini vd. tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, adli olgularda DNA bozunma düzeyini değerlendirmek amacıyla PCR bazlı bir yöntem kullanılmıştır. Morgda bulunan 12 cesetten alına kaburga kemiği örnekleri DNA sağkalımını incelemek için kullanılmıştır. Yumuşak dokularından ayrılan örnekler, iki farklı ortam koşulunda 103 ile 445 gün arasında saklanmıştır. Kemiklerden DNA ekstrakte edildikten sonra mitokondriyel DNA yarı kantitatif PCR ile değerlendirilmiştir. Yer altı gömme koşullarına kıyasla ortam koşullarında saklanan örneklerde DNA'nın daha uzun süre hayatta kaldığını gösterilmiştir. Ancak DNA bozunma düzeyi ile PMI arasında korelasyon bulunamamıştır. Kemik dokuda bulunan DNA'daki değişimin ölümden çok kısa bir süre sonra meydana gelebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Alaeddini vd., 2011).

1.11.2. RNA

Canlı hücrelerde bulunan tek sarmallı nükleik asittir. Postmortem dönemde bakterilerden, dış ortamdan gelen ya da hücrede bulunan ribonükleazlar sayesinde bozunmaya uğramaktadır. RNA, DNA'dan daha az kararlı bir yapıdadır. mRNA (messengerRNA), RNA'nın bir alt türüdür. Protein sentezlenirken ara taslak olarak kullanılmaktadır. mRNA'nın yarı ömrünün dakikalar-günler sürmesi nedeniyle ölüm zamanı tahmini açısından yararlı olabileceği düşünülmektedir (Şenbaş, 2023).

Araştırma, postmortem dönemde psoas majör kası ve kan örneklerinde PZR tabanlı moleküler analizlerin uygulanabilirliğini incelemiştir. Toplam 45 otopsi vakasından örnekler alınmıştır. Elde edilen örnekler, ölüm sonrası zaman aralıklarına (1-3 gün, 3-7 gün, 7-14 gün, >14 gün (iç mekanda ölü bulunanlar) ve >14 gün (dış mekanlarda ölü bulunanlar)) göre beş gruba ayrılmıştır. Kas örnekleri dondurulmuş ve formalin fiksasyonu ile parafine gömme işlemi sonrası muhafaza edilmiştir. Kan örneklerinin kullanılabilirliği, koagülasyon ve hemoliz nedeniyle sınırlıdır. Dondurulmuş kas örneklerinden %96, formalinle fikse edilip parafine gömülmüş kas örneklerinden ise %93 PZR için uygun olan DNA elde edilebilmiştir. Ancak kanın, moleküler çalışmalar için uygun bir kaynak olmadığı sonucuna varılmıştır. ACADM (orta zincirli açıl-koenzim A dehidrojenaz) ve LONP1 (Lon peptidaz 1) mRNA transkriptleri, donmuş dokularda ve uzun postmortem interval (PMI) sürelerine sahip bazı örneklerde 1 haftaya kadar tespit edilebilmiştir. Formalinle fikse edilip parafine gömülmüş

dokularda ise transkriptler, 3 gün sonrası olanlarda saptanamamıştır. Bu nedenle, postmortem dokularda RNA'nın DNA'ya göre daha az stabil olduğu ve kas dokusunun postmortem çalışmalar için uygun bir doku tipi olduğu sonucuna varılmıştır (Hansen vd., 2014; Şenbaş, 2023).

1.11.3. Protein

Kemik proteini ölçümünü kullanarak postmortem interval tahmini için, çeşitli çalışmalar protein belirteçlerinin potansiyelini arttırmıştır. Erken PMI'a odaklanan birkaç çalışmada iskelet kasındaki proteinler değerlendirilerek önemli sonuçlar elde edilmiştir (Choi vd., 2019). Ancak geç dönemde sorunlar görülmektedir. Procopio vd. tarafından yapılan çalışmada, ölüm zamanı bilinen domuz cesetlerinden zaman içinde kemik proteinlerinin bozunma modelleri araştırılmıştır. Kemikte bulunan proteinler, deamidasyon (amid grubunun hidroliz ile ayrılması) veya hidroliz (su etkisi ile ayrılma) gibi farklı yollarla bozunabilmektedir. Çalışma sonucunda, PMI ile ilişkili olarak farklı bozunma modellerine sahip dört protein grubunu tanımlanmıştır. Fetuin-A proteininin konsantrasyonunun, ölüm anındaki biyolojik yaşla negatif bir korelasyona sahip olduğu bulunmuştur. Tam tersine, alfa-1-antitripsin ve kromogranin-A gibi diğer serum proteinleri ise biyolojik yaşla birlikte konsantrasyonlarının artmasıyla ters bir eğilim göstermiştir (Franceschetti vd., 2023; Procopio vd., 2018).

Costa ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, biglikan proteininin deamidasyon seviyelerinin PMI'nın bir fonksiyonu olarak istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda transferrin proteinin 21°C sıcaklıkta bir aylık yarılanma ömrü ile azaldığı gözlenmiştir. Ancak Procopio ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sıcaklıkların daha düşük olduğu, ölümden altı ay sonrasında da transferrin proteini gözlendiği tespit edilmiştir (Procopio vd., 2018). Bu da sıcaklık gibi çevresel faktörlerin kemikteki protein bozulmasını etkileyebileceğini göstermektedir (Costa vd., 2015).

Kemiklerdeki proteinlerin nasıl bozunduğunu daha derinlemesine değerlendirmek için büyük örneklemenin kullanıldığı, çevresel faktörlerin etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bununla birlikte, yapılan proteomik analizlerin adli bilimlere uygulanabilirliğini, özellikle ölüm yaşının ve ölüm sonrası aralığın tahmininde yeni ufuklar açma olasılığının bulunduğunu ve bu analizlerin bazı sınırlamaları aştığını göstermektedir.

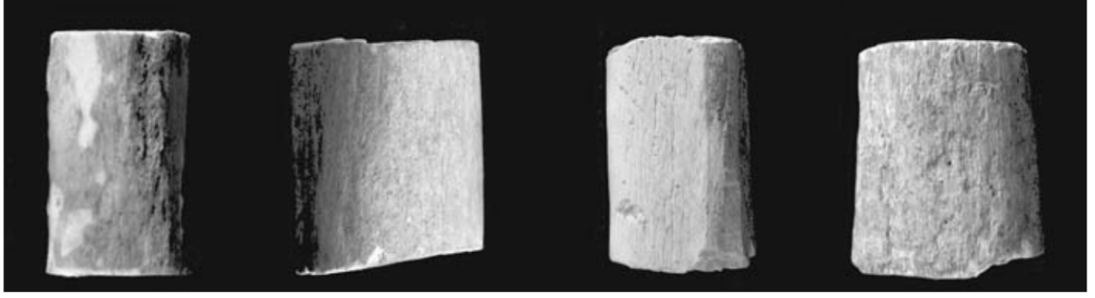
1.12. Kemik Spesifik Yöntemler

Geç dönemde Postmortem İnterval tahmini konusunu daha da zorlaştırmak için, iskelet kalıntıları “Adli” ve “Tarihi” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İki grup arasındaki fark 75 yıllık bir dönem eşik değeri olarak kabul edilmektedir. Birleşik Krallık'taki polis güçleri, suç teşkil eden bir eylemin gerçekleştirilmesi veya bir cesedin saklanması için girişimlerde bulunulması halinde, suçu işleyen kişinin/kişilerin olaydan sonra 75 yıl kadar hayatta olma ihtimalinin devam ettiğini değerlendirmektedir. Bu nedenle, 75 yıllık zaman diliminden sonra ölenlerin iskelet kalıntıları "Tarihi" olarak kabul edilmektedir, çünkü bu noktadan sonra herhangi birinin mahkûm edilme şansı büyük ölçüde azaldığı düşünülmektedir (Swift, 2006). Türkiye’de ise zaman aşımı süresinin 30 yıl olduğu göz önünde bulundurulduğunda, 30 yıl ve öncesine ait ölüm olgularında adli olarak bir özelliği olsa bile hukuki anlamda özelliğini yitirmiş olarak kabul edilmektedir (Ünlütürk, 2016).

1.12.1. Kemiklerdeki Morfolojik Görünüm

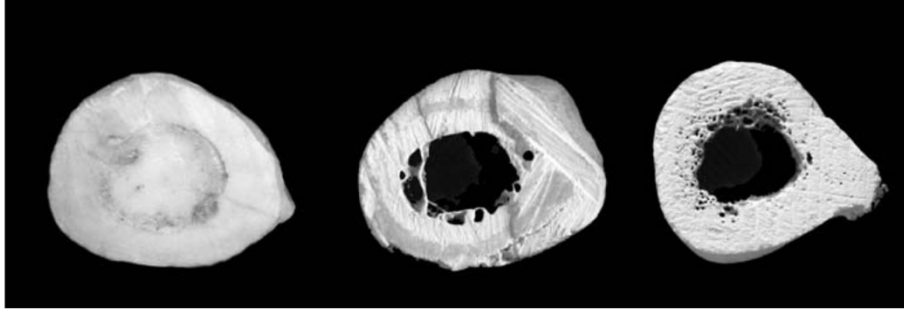
İskeletleşmenin yeni başladığı kemiklerde özellikle eklem uçlarının çevresinde tendon ve ligamentler şeklinde yumuşak doku kalıntıları izlenmektedir. Periost kemik yüzeyine sıkı bir şekilde yapışık halde bulunmaktadır. Eklem yüzeylerinde de kıkırdak gözlenebilmektedir. Bu yumuşak dokuların kaybolma süresi kemiğin bulunduğu ortama göre değişmektedir. Yırtıcıların varlığı bu süreyi aşırı hızlandırırken, tabut gibi kapalı alanda bulunan cesetlerde bu süreç uzamaktadır. Ilıman iklimlerde açıkta bırakılan cesetlerde ilk yıl içerisinde iskeletleşme gözlenirken, tendon ve periost gibi dokular 5 yıl ya da daha uzun süre izlenebilmektedir. Yırtıcıların varlığı kemiği de etkilemektedir. Kemirgenler kemikleri olay yerinde kemirebilirken, köpek türleri kemikleri vücuttan daha uzak yerlere sürükleyebilmektedir. Epifiz uçları çiğnenerek açıldıktan sonra metafiz ve medüller kavite açığa çıkmaktadır. Böylece kemik iliği ulaşılmaktadır. Yumuşak dokular kaybolduktan sonra yeni oluşan kemikler yoğunluk açısından eski kemiklerden ayırt edilebilmektedir. Başlangıçta kemik nispeten taze kalmaktadır, bunu kan ürünlerinin varlığı kanıtlamaktadır. Medüller kavite açılıp içerideki yağ dokusunun dışarı çıkması sonucunda kemik üzerinde Knight tarafından tanımlanan “greasy-to-the-touch” (dokununca yağlı bir his) şeklinde bir görünüm oluşmaktadır. Saklama koşullarına bağlı olarak bu süreç birkaç yıl boyunca gözlenebilirken, kalıntılar kapalı ortamda kalırsa bu süreç 10 yıla kadar uzayabilmektedir. Organik bileşenlerin devam eden varlığı, kemikte "ağır" bir his oluşmasına neden olur ve kemiğin kesilmesi

sırasında yaşanan sürtünme ısısına maruz kalındığında, organik malzemenin yanan kokusu, biraz subjektif olsa da hissedilebilir hale gelmektedir (Swift, 2006; Knight, 1996).



Şekil 1.9. Soldan sağa kemiklerdeki yaşlanma paterni, yağlı görünümünü kaybederek “tebeşir” gibi bir doku ve görünüm kazanan kemik doku, (Swift, 2006)

Kemik doku içerisindeki organik stroma çoğunlukla kollajenden oluşmaktadır. Kollajen de diğer proteinlerde olduğu gibi ısıya maruziyet sonucu parçalanmaktadır ve ortaya çıkan kalıntılar organizmalar tarafından metabolize edilmektedir. Kollajenin kaybı sonucu kemiğin iç (medüller kavite) ve dış (subperiost) kısımlarında normal görünüm değişmekte “tebeşir” benzeri bir hal almaktadır. Yeni bir kemikten enine kesit almak istendiğinde kemik sert bir haldedir ve kalınlığı tüm kemik boyunca aynı izlenmektedir. Ancak kollajen kaybı kemiğin renginde açılmaya neden olacaktır ve kemiğin kesilmesi kolaylaşacaktır. Dış korteks ve daha az ölçüde kemik iliği boşluğunun etrafındaki bölge ilk olarak stromayı kaybedecektir, bu nedenle sert kollajen kemikten oluşan merkezi bir halkanın her iki tarafında da daha gözenekli, kolayca ufalanan bir kısım ile katmanlandığı bir 'sandviç' etkisi görülebilmektedir. Kemik bu süreçte eğer güneşe maruz kalmazsa sandviç etkisi on yıllar hatta yüzyıllar boyunca görülmemektedir. Kemiklerdeki bu kırılğan görünüm öncelikle tibia'daki plato ya da femurdaki büyük trokanter gibi uzun kemiklerin eklem yaptığı uçlarda izlenmektedir. Bunun nedeni ise genellikle kompakt kemiğin dış tabakasının gövdeye göre daha ince olmasıdır, böylece ekstremitelerin yumuşak süngerimsi kemiği daha kolay açığa çıkmaktadır. Bu durum, kemik kalıntıları açık alanda ise birkaç on yıl içerisinde gelişebilmektedir, ancak kapalı alanda bulunan kemiklerde yüzyıl boyunca izlenmemektedir. Korteks yüzeyi pürüzlü ve gözenekli bir doku alıp, tırnak ile parçalanabilecek hale gelecektir (Swift, 2006; Knight, 1996).



Şekil 1.10. Yaşlanan kemiğin enine kesit görüntüleri, “sandviç” etkisini gösteren orta evre, (Swift, 2006)

Kemiklerin yıpranma hızını önemli ölçüde etkileyen bir diğer faktör de kemiğin boyutu ve türüdür. Femur veya humerus gövdesi gibi kalın, yoğun kemikler yüzyıllarca dayanabilirken, daha küçük ve daha ince kemikler hızla parçalanabilmektedir. Kafa iskeleti kemikleri, karpal ve tarsal kemikler, parmaklar ve yüz iskeletinin ince kemikleri, fetüslerin ve bebeklerin küçük kemikleri gibi kemikler daha çabuk deforme olmaktadır (Knight, 1996). Kemiklerin korunmasını etkileyen çevresel faktörler arasında sıcaklık, nem, rakım, enlem, mevsimsellik, doğrudan güneş ışığına maruz kalma, gömülme derinliği, toprak türü, bitki örtüsü, topografya, hava sirkülasyonu, mikroorganizmalar ve suya daldırma yer almaktadır. Ancak bu faktörlerden en önemlileri sıcaklık ve toprak pH'ıdır (Ambers, 2023). Ölüm zamanı tahminlerinin çoğu morfolojik temellere göre yapılmaya devam etmesine rağmen, bu yöntemin doğasında olan yanlışlıklar, insan iskelet materyalinde ölümden bu yana geçen süreyi tahmin etmek için güvenilir ve doğru bir yöntem olan gereksinimi güçlendirmektedir (Swift, 2006).

1.12.2. Mikroskobik Değişiklikler

PMI tahmin yöntemlerini detaylandıran makalelerinde Berg ve Specht, kemiklerdeki histolojik değişikliklerin ancak 10 yıllık bir PMI'dan sonra belirgin olduğu, başlangıçta Havers kanalları ve interstisyel lamellerde tanımlanabilen aşındırıcı değişiklikler gibi görüldüğü sonucuna varmıştır. Ancak görünen bu değişikliklerin sayısallaştırılması, ölümden bu yana geçen sürenin değerlendirilmesine izin vermediği sonucuna ulaşmışlardır (Berg ve Specht, 1958). Yoshino vd. çalışmalarında Berg ve Specht'in bulgularını yeniden incelemeye çalışmıştır. Toprak içinde, su içerisinde ve açık havada bulunan kemik örneklerini değerlendirmiştir. Kemiklere ait postmortem interval aralıkları 0 ile 15 yıl arasında değişmektedir. Tüm analizler mikroradyografi ve taramalı elektron mikro<grafisi ile gerçekleştirilmiştir. Açık havada bulunan örneklerde, bakteri ve mantar tarafından aşındırma

sonucu oluşan labirent benzeri tünellerin yaklaşık 15 yıl sonra görüldüğü anlaşılmıştır. Toprak içerisinde bulunan kemiklerde ise, 30 ay sonra hem iç hem de dış çevresel lamellerde tünel oluşumu gözlenmiştir, 5 yıl sonra ise histolojik olarak fark edilebilir hale gelmiştir. Bu durumun hem kollajen fibrillerde hem de kalsifiye matriksteki eroziv değişikliklerin mikroskopik olarak kanıtlanması ile organik ve inorganik içeriğin kaybına bağlı olduğu düşünülmüştür (Swift, 2006; Yoshino vd., 1991). Ancak değişkenlerin ne şekilde bir etkisinin olduğu bilinmediğinden, demineralizasyon zamanlamasını kesin bir şekilde belirlemek pek mümkün görünmemektedir (Lale vd., 2016).

1.13. Analitik Metotlar

1.13.1. Kemik İçerikleri

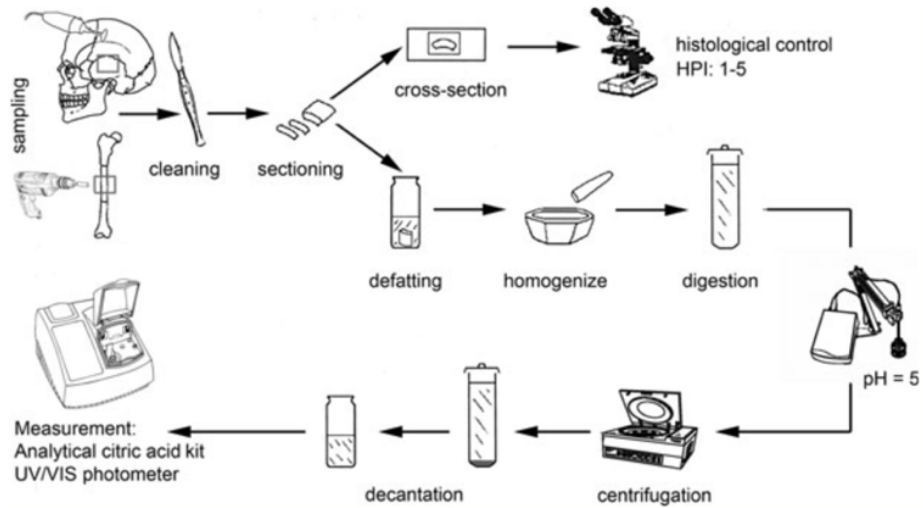
Ölümünden bu yana geçen sürenin belirlenmesi (postmortem interval, PMI), insan kalıntılarına ilişkin adli çalışmaların önemli bir bileşenidir ve ölüm koşullarının doğru şekilde belirlenmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Dekompozisyonun ilerlediği ve iskelet elemanlarının kaldığı süreçte PMI tahmini oldukça zor olmaktadır. PMI'nın belirlenmesi amacıyla kemik doku analizine yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir (Schwarcz vd., 2010).

1.13.1.1. Sitrat

Kemik, hidroksiapatit kristaller ve birbirinden ayrı fibril formundaki kollajen dokudan oluşan kompozit bir yapıdır. Sitrat ise tüm hücrelerin metabolizması için gerekli olan, krebs (sitrik asit) döngüsünün ana bileşeni olan, trikarboksilik asittir. Kemik dokuda %1,5-2 oranında sitrat olduğu 1940'lı yıllardan beri bilinmektedir. Vücuttaki sitratın %90'ı ise kemiklerde bulunmaktadır. Sitratın kemik içeriğinde, hidroksiapatit kristallerinin gereksiz büyümesine engel olmaktadır ve böylelikle kemik dokunun aşırı büyümesini önlemektedir. Önceki çalışmalara göre kemikteki sitrat içeriğinin yaş ve cinsiyet bağımlı olduğu düşünülmüştür. Ancak son dönemdeki çalışmalarda bu durumun doğru olmadığı, farklı kemik tiplerinde farklı oranlarda sitrat içeriğinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Osteoporotik kemiklerde düşük miktarda sitrat gözlemlenebileceği düşünülmektedir. Sitrat içeriğine incelenerek PMI tahmini ölümden sonra sitrat miktarının giderek azalmasına ve böylece adli olgularda kullanılabilmesine bağlanmıştır.

Schwarcz vd., 2010 yılında yaptıkları çalışmada kemik dokudaki sitrat miktarı, çürümenin kemikteki sitrat oranına etkisi, PMI tahmini ve buna etki eden faktörleri tanımlamak amaçlanmıştır. İnsanlardan ve domuzlardan alınan kaburga kemikleri kullanılmıştır ve 50 mg kortikal kemik dokunun sitrat ölçümü için yeterli olduğu düşünülmüştür. Önce kemikler temizlenmiştir sonrasında çeşitli solüsyonlarla analiz için hazır hale getirilmiştir. Yapılan analizler sonrası kemik dokudaki sitrat içeriğinin ölüm zamanı 100 yıla kadar olan olgularda %1'lik hata payıyla doğru tahminler yaptığı sonucuna ulaşılmıştır. Kalıntıların saklanma koşullarının (sıcaklık, nem, gömme derinliği vb.) sitrat kaybını önemli ölçüde etkilemediği vurgulanmıştır. Açık alanda (gömülü olsun ya da olmasın) bulunan iskelet kalıntılarında sitrat konsantrasyonun yaklaşık 4 haftalık bir süre boyunca sabit kalacağı, ardından da doğrusal olarak azalacağı gösterilmiştir (Schwarcz vd., 2010).

Kanz vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yaşları 54 ile 83 arasında değişen 10 kadın ve 10 erkeğe ait humerus ve femur kemikleri sitrat içerikleri açısından incelenmiştir. Kişiler ceset torbası veya tabut içinde 1,4-3 m derinliğinde toprağa gömülü halde bulunmaktadır. Gömü tarihleri ise 31 Ocak 1948 ile 25 Temmuz 1973 yılları arasında değişmektedir. Schwarcz vd. (2010) ait çalışmada gerçekleştirilen kemik temizleme aşamaları bu çalışmada da uygulanmıştır (Kanz vd., 2014).



Şekil 1.11. Kemiklerden sitrat tespiti için hazırlık süreci, (Kanz vd., 2014)

Sonuç olarak Sitrat içeriği, iskeletleşmiş insan kalıntılarında PMI tahmini alanında yeni ve umut verici bir olasılık sağlayabileceği vurgulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda iyi korunmuş kemiklerde ağırlıkça %0,140 üzerindeki sitrat miktarının <50 yıl PMI olguların göstergesi olabileceği sonucuna varılmıştır. Laboratuvar ekipmanlarının kullanımının kolay

olması, bu alanda eğitimin hızlı bir şekilde verilmesi ve uygulamanın ucuz olması da bu yöntemin avantajlarından olarak değerlendirilmiştir. Adli ve tarihi olguların karşılaştırılarak sorgulandığı vakalarla ek çalışmalar yapılması yöntemin kesinlik derecesinin artırılmasına yardımcı olacağı düşünülmüştür (Kanz vd., 2014).

2018 yılında Brown vd. tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada, Tennessee Üniversitesi Adli Antropoloji Merkezi ve Onondaga Adli Tıp'tan alınan PMI değerleri 2 yıl ve üzeri olan 31 kemik örneği değerlendirilmiştir. Kemik örnekleri belli temizlik aşamalarından geçtikten sonra UV-Vis ve HPLC metotları ile sitrat içeriği analiz edilmiştir. Sonuç olarak, sitrat miktarının Schwarz vd. (2010) yaptıkları çalışmada gösterildiği kadar ölüm zamanı tahmininde güvenilir olmadığı yönündedir. Ancak zaman geçtikçe kemikteki sitrat içeriğinin azaldığı yüksek PMI'lara sahip kemik örneklerinde izlenmiştir. 50-200 yıl arası ölüm zamanı olan olgularla ve canlı kemik dokudaki sitrat miktarının değerlendirilmesine yönelik ek çalışmalar yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ölüm anındaki yaş, cinsiyet, beslenme tarzı ve kemik hastalıkları gibi faktörlerin sitrat içeriği üzerine etkisinin olup olmadığının değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Brown vd., 2018).

Knight ve Lauder (1967, 1969), 68 örnek üzerinde yaptıkları çalışmada, daha kısa sürede doğru sonuç veren bir yöntem üretmeyi hedeflemiştir. Ölüm zamanı bilinen kemik örneklerini test etmek için ağırlıklı olarak çeşitli fizyokimyasal yöntemler kullanmıştır. Nil mavisi ve İndofenol boyama, Mineral asit reaksiyonu, Nitrojen içeriği, Aminoasit içeriği, Benzidin reaksiyonu, UV-floresans, Yağ tahmini olmak üzere çalışmada birçok farklı yöntem vurgulanmıştır. Ancak bu yöntemlerden çoğunun tarihi ve adli kemik ayrımını doğru olarak yapamadığı anlaşılmıştır (Knight, 1969; Knight ve Lauder, 1967; Swift, 2006).

1.13.1.2. Nitrojen İçeriği

Kemik dokunun organik kısmındaki ana nitrojen kaynağı aminoasitlerdir. Dekompozisyon sürecinde kaybolan protein, nitrojen kaybına da neden olmaktadır. Knight (1969), yaptığı çalışmada ölüm zamanı bilinen ekstremite kemiklerinden kafa iskeleti kemiklerine kadar değişen çeşitli kemik türlerini Kjeldahl yöntemi ile incelemiştir (Knight, 1969). Kjeldahl tekniğinde kemiğin organik içeriği kuru ve noniyonize hale getirilmektedir. 100 gr'lık parçalara ayrılan kemik örnekleri içeriğindeki nitrojen miktarı ölçülerek, ölüm zamanı arttıkça nitrojen içeriğindeki azalma gösterilmektedir (Lale vd., 2016). Kemik dokudaki Nitrojen miktarı %2,5'tan fazla olduğunda ölüm zamanı 350 yıldan daha yakın,

%3,5'tan fazla ise ölüm zamanının 50 yıldan daha yakın dönemde olduğu kabul edilmiştir. Açık havaya maruziyet, nem, sıcaklık ve asidite gibi dış etkenler bu oranı değiştirmektedir. Yüzey alanı/hacim oranının da bu miktarları etkilemesi beklenmektedir(Knight, 1969; Swift, 2006).

1.13.1.3. Benzidin Reaksiyonu

Benzidin reaksiyonu, kemik matriksi içerisinde başta hemoglobin olmak üzere kan ürünlerinin varlığını tespit etmektedir. Postmortem intervalı 150 yıla kadar olan olgularda pozitiflik izlenmiştir. Benzidinin kanserojen olduğu kabul edilip aminobenzidin kullanımı önerilse de PMI<50 yıl olan vakalarda negatif sonuçlar elde edilmiş olması bu yöntemin güvenilir olmadığını işaret etmektedir (Swift, 2006).

1.13.1.4. Aminoasit İçeriği

Aminoasitler proteinlerin yapıtaşlarıdır. Knight ve Lauder (1967), kemik içeriğindeki aminoasitleri kemiği hidroklorik asit içerisinde ısıtarak elde etmiştir. 15 aminoasidin insan kemiği içerisinde doğal olarak izlendiği, her ne kadar glisin ve alanin aminoasidinin en yüksek oranda görülse de prolin ve hidroksiprolinin PMI açısından kullanılabileceği anlaşılmıştır (Knight ve Lauder, 1967). Hidroksiprolin ve prolin aminoasitlerin PMI>50 yıl olan iskelet kalıntılarında izlenmediği düşünülmüştür. Diğer aminoasitlerin azalması on yıllar sürmektedir, hatta glisin 1000 yıl boyunca izlenebileceği gösterilmiştir. Ancak belirli aminoasitlerin varlığı ve yokluğuna bağlı olarak ölüm zamanı tahmininin zayıf bir araştırma olduğu düşünülmüştür. 16 arkeolojik kemiğin üçüne ait örneklerde hidroksiprolin/prolin içeriği gösterilmiştir. Bu yanlış pozitifliği bu amino asitlerin suda çözünür olması ve kemik içeriğine ulaşan suyun buna neden olabileceği şeklinde açıklanmıştır. Amino asit içeriği doğal olarak bir şekilde fark edilebilir bir şekilde değişebilse de çok fazla bilinmeyen değişkene bağlı olması nedeniyle ölümden bu yana geçen süreyi tahmin etmenin tek yolu olarak önerilmemektedir (Lale vd., 2016; Swift, 2006).

1.13.1.5. Kollajen

Kemik içeriğindeki kollajen azalmasına bağlı ölüm zamanı tahmini yöntemi, kollajenin kollajen olmayan ürünlere oranına dayanmaktadır.

Jellinghaus ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, ölüm zamanı belli olan adli kapsamda 37 insan kemiğinden alınan ve 11 arkeolojik örneklerden oluşmaktadır. Kemiklerden 250 µm'lik ince kemik kesitleri hazırlanmıştır. Kesitler boyandıktan sonra numunelerin bir kısmı için spektrofotometre ve Co/NCo (Kollajen/Kollajen olmayan) oranını analiz etmek için stereomikroskopi ve dijital görüntüleme kullanılmıştır. Spektrofotometre ile Co/NCo oranının saptanması, Boaks ve arkadaşlarının (Boaks vd., 2014) domuz kemikleri kullanarak yaptıkları çalışmada çıkan sonuçlardan, fizyolojik olarak beklenenden çok daha düşük sonuçlar üretmiştir. Aynı örnekler üzerinde stereomikroskopi ve dijital görüntüleme yöntemi uygulanmıştır. Erkek olguların Co/NCo oranında önemli bir azalma gösterilmiştir. Çalışma sonucunda insan kemik örneklerindeki Co/NCo oranının analiz edilmesinin adli açıdan yeterli olmadığı düşünülmüştür. Bu nedenle daha fazla referans verisine ve daha fazla pratik deneyime ihtiyaç bulunmaktadır (Jellinghaus vd., 2019).

1.13.2. Ultraviyole Floresans Yöntemi

Ultraviyole ışınları kullanılarak postmortem interval tayini 1958 yılından beri bilinen çalışmalarda elde edilen kemiklerin eski ya da yeni kemikler olup olmadığı belirlenmeye çalışılmaktadır.

Berg ve Specht tüm kemik kesitlerinde mavi floresansın ve farklı renklerin yokluğunun ancak 100-150 yıllık bir PMI'a kadar gözlenebileceğini öne sürmektedir (Berg ve Specht, 1958).

1969 yılında Bernard Knight'ın İskelet Kalıntılarını Tarihlendirme Yöntemleri çalışmasında incelenen örnekler ultraviyole ışığı yansıtılarak karanlık ortamda değerlendirilmiş olup taze örnek alınmış kemik yüzeyleri floresans verme şekline göre üçe ayrılmıştır; kemik iliğinden periosta uzanan mavi-beyaz renkte ışıma, hiç ışımanın olmadığı bir değerlendirme ve her ikisinin ortasında bir aşama. Orta yaştaki birçok kemikte periostun altında gözlenen 1 mm ve altındaki floresans değerleri çok yüzeysel olması nedeniyle göz ardı edilmiştir. Aynı zamanda femur, humerus ve tibia dışında incelenen tüm kemiklerde ışıma elde edilememesi göz ardı edilmiş olup bu da kemiğin ince olmasına bağlanmıştır. 150 yıla kadar olan tüm ekstremita kemikleri floresans göstermiştir. Kosta kemikleri gibi ince kemiklerde floresans hızlı bir şekilde kaybolmuş olup, eski büyük kemiklerde floresans gözlenmiş olup ancak bu floresansın yaşla progresif olarak azalmadığını anlaşılmıştır. Çevresel faktörlerden etkilendiği gözlenmiştir. Bu çalışmada Ultraviyole Floresans yönteminin kullanımı kısıtlı

bulunmuş olup başka yöntemlerle birlikte kullanılmasının daha doğru sonuçlar vereceği sonucuna ulaşılmıştır(Knight, 1969).

Facchini'nin çalışmasında karanlık alanda 366 nm dalga boylu ışık kullanılmıştır. Taze kemik kesitleri kullanıldığında ışmanın daha yoğun olduğu, birkaç gün sonra ışmanın azaldığı gözlenmiştir. Her kemik için verdiği mavi-beyaz floresans incelenmiş, yoğunluğu karşılaştırmış olup ışmanın kemiğin hangi bölgesinde olduğu değerlendirilmiştir. Mavi-beyaz renkte floresansın 250-300 yıla kadar çıktığı sonucuna ulaşılmıştır (Facchini ve Pattener, 1977).

Yoshino, 1991 yılında yaptığı araştırmada, periferik bölgedeki UV floresansının göreceli yoğunluğunun kemiğin tarihlendirilmesinde bir gösterge olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. UV floresansının yoğunluğu ölümden sonra geçen zaman arttıkça azalma göstermiştir (Yoshino vd., 1991). Ancak çalışmanın doğruluğunun ve güvenilirliğinin geliştirilmesi gerekmektedir.

2010 yılında Ramsthaler vd. tarafından yapılan çalışmada, UV floresans metodu dışında luminol yöntemi ve çeşitli tarama testleri ile postmortem interval ilişkisi değerlendirilmiştir.

Çalışmada ölüm zamanı bilinen 39 adet uzun kemik test edilmiştir. Her kemiğin dış yüzeyi zımpara ile temizlenmiş olup ardından tıbbi testere ile enine kesitler alınmıştır. Enine kesitler üzerindeki UV yansıması, karanlık bir odada, 254 nm ve 366 nm dalga boylarında bir UV lambasıyla değerlendirilmiştir. Sonuç olarak UV testi, kemik kesitleri üzerindeki yansıma ile PMI arasında iyi bir korelasyon göstermiştir ve bu yöntemin, 50 yıldan daha kısa süreli ölüm zamanı olan olguları dışlamak için uygun olduğunu doğrulanmıştır (Ramsthaler vd., 2011). Bu çalışma, kemik yüzeyindeki floresans alanının genişliğinin gözlemlenmesine dayanmaktadır; daha büyük bir alan, daha yakın ölüm zamanını göstermektedir.

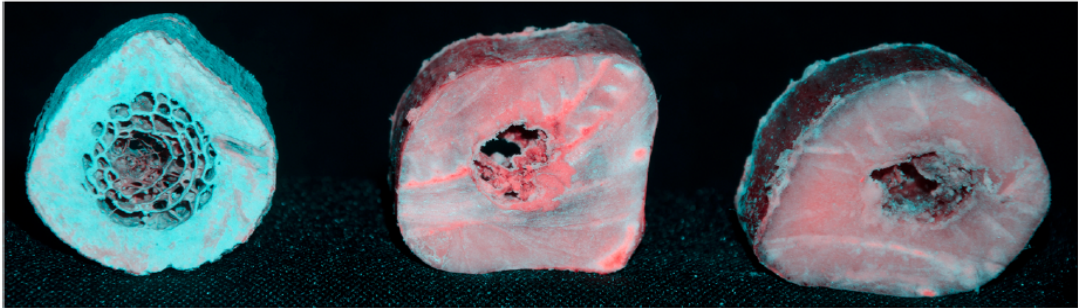
Hoke'un çalışmasında ölüm zamanı bilinen 213 kemik kullanılmıştır. Modern bir mezarlıktaki terk edilmiş mezarlardan 58 uzun kemik örneği (38 femur, 15 tibia ve 5 humerus) toplanmıştır ve postmortem interval 8 ila 60 yıl arasında değişmektedir.

Geriye kalan 155 arkeolojik örneğin 79'u insan kemiklerinden, 76'sı at kemiklerinden oluşmaktadır. İnsan kemikleri için PMI 90 ile 4500 yıl arasında değişmekteyken, at kemikleri için 2000 ile 15000 yıl arasındadır (Hoke vd., 2013).

Floresans rengi ile PMI arasında anlamlı korelasyon saptanmıştır ancak diğer çalışmalarda gözlenen mavi floresansta anlamlı azalma tespit edilememiştir. Ölüm zamanı 1000 yılı geçen olgularda sarı floresansta azalma izlenmiştir. Diğer çalışmalarda PMI maksimum 350 yılda izlenen mavi floresans ise en eski kemik dokuda bile belli oranda gözlenmiştir. Floresans yoğunluğu ile ölüm zamanı arasında da bir korelasyon izlenmemiştir (Hoke vd., 2013)

Sterzik vd. 2016 ve 2017 yıllarında UV floresans ile postmortem interval arasındaki ilişkiyi gösteren iki ayrı çalışma yapmıştır.

2016 yılında yapılan çalışmada, ölüm zamanı belli ve 1 ile 50 yıl arasında değişen 30 adet femur kemiğinden örnek alınmıştır. Kemik kesitlerine ışık yansıtma amacıyla farklı dalga boylarında ışık yayan adli ışık kaynağı ile uzun (365 nm) ve kısa (254 nm) dalga boylu UV ışık kaynağı kullanılmıştır. “Photo box” denilen içinde siyah kumaş içeren kutu içerisinde 30 kemikten alınan enine kesit fotoğraflanmıştır. Çekilen fotoğraflar, fotoğraf uygulamasında farklı filtreler ile değerlendirilmiştir. PMI ile mavi floresans alanı arasında anlamlı korelasyon gözlenmiştir (Sterzik vd., 2016).



Şekil 1.12. Soldan sağa: negatif numune (PMI > 150 yıl), incelenen numune ve pozitif numune (PMI < 14 gün), (Sterzik vd., 2016)

Sterzik her enine kemik kesitine ait postmortem intervali hesaplamak için aşağıdaki formülleri geliştirmiştir.

“ $y = -1.046x[\pm 0.76] + 32.651[\pm 5.33]$ (Sterzik vd., 2016) Bu formülde y, yıl olarak postmortem interval ve x ise ölçülen mavi floresans yüzey alanını ifade etmektedir. $y = -0.632[\pm 0.368]x + 33.14[\pm 4.92]$ (Sterzik vd., 2016) Bu formülde y, yıl olarak postmortem interval ve x ise ölçülen kırmızı floresans yüzey alanını göstermektedir. Önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada floresans yüzeyin oranını (alansal kapsam ve yüzeyin yüzdesi)

incelenmiştir. %1'in üzerindeki mavi floresans yüzey alanının PMI <30 yıl olan örnekler için bir gösterge olabileceği gösterilmiştir. Kırmızı floresans yüzey alanı ile PMI arasında anlamlı bir korelasyon izlenmiştir. Kırmızı floresans yüzey alanı PMI artışı ile doğrusal olarak azalmaktadır (Sterzik vd., 2016).

2017 yılında yapılan çalışmada, postmortem intervalı ≥ 50 yıl olan 20 femur kemiği incelenmiştir. 490 nm dalga boylu adli ışık kaynağı ile uzun (365 nm) ve kısa (254 nm) dalga boylu UV ışık kaynağı kullanılmıştır. “Photo box” denilen kutu içerisinde fotoğraflar çekilmiştir ve fotoğraf uygulamasında değerlendirme yapılmıştır (Sterzik vd., 2018).



Şekil 1.13. 490-nm ışıkla aydınlatılmış, PMI > 50 yıl olan femur kesidi, (Sterzik vd., 2018)

Sterzik vd. 2016 yılında yaptıkları çalışma ile değerlendirildiğinde totalde 50 femur kemiğine ait enine kesitler analize edilmiştir. Her iki çalışma birlikte incelendiğinde, sonuç olarak mavi ve kırmızı floresans yüzeylerin >%1 varlığı, PMI'ı ≥ 50 yıl olan olguları dışlayan bir gösterge olarak kabul edilebilmektedir. Bununla birlikte, mavi ve kırmızı floresans yüzeylerin <%1 varlığı, PMI'nın ≥ 50 yıl olduğunu göstermektedir. Ancak 50 yıldan postmortem intervalı olan olguları dışlamak mümkün olmamaktadır (Sterzik vd., 2018).

Ultraviyole floresans yöntemi ile postmortem interval değerlendirmesi uzun yıllardır gündemde olan bir konudur. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda farklı kemik tipleri, farklı sayıda kemikler, çeşitli dalga boylarındaki ışıklar kullanılmıştır ancak net bir sonuca ulaşılamamıştır. Bu nedenle ultraviyole ışıklar kullanılarak ölüm zamanı tahmini rutinde kullanılan bir yöntem olamamıştır. Daha iyi değerlendirmeler yapılabilmesi için daha büyük

örneklem sayılı çalışmalara gereksinim mevcuttur. Hala hangi renkte ışımanın postmortem interval açısından hangi yılları temsil ettiği bilinmemektedir. Doğruluğu kanıtlanmış diğer yöntemlerle birlikte UV floresans yöntemi kullanılarak bu yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir.

1.13.3. Luminol Yöntemi

Luminol karanlık ortamda hidrojen peroksit ilavesiyle mavimsi ışık yayan alkalın çözeltilidir. Çeşitli adli alanlarda gözle görülemeyen kan lekelerini tespit etmek amacıyla rutinde kullanılmaktadır. Luminol reaksiyonu ile kemik dokudan ölüm zamanı tahmini kemik içeriğindeki kan ve kan ürünlerinin tespitine dayanmaktadır. Kemiluminesans yoğunluğu ile ölümden sonra geçen zaman arasındaki ilişki değerlendirilmektedir.

Türkiye Hukuk Sisteminde zaman aşımı süresi 30 yıl olduğu dikkate alındığında elde edilen kemik kalıntılarının adli veya tarihi öneme sahip olup olmadığının ayırımı yapmanın yanı sıra özellikle kimliği belirsiz cesetlerde kimliklendirme açısından da ölüm zamanı tahmini önem kazanmaktadır.

Introna tarafından yapılan çalışmada, ölüm zamanı bilinen 40 erkek ve 40 kadına ait femur örnekleri incelenmiştir. Çevresel faktörleri dışlamak için kemik gövdesi iç yüzeyinden alınan örnekler deneye sokulmuştur. Luminol solüsyonu Weber'e göre hazırlanmıştır (Weber, 1937). Kemik tozundan elde edilen kemiluminesans sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Introna vd., 1999).

Group	PMI	Luminescence	Femura* Lumin/Tot	%
1	<3 years	++++	20/20	100
2	10–15 years	+++	16/20	80
3	25–35 years	++	7/20	33
4	50–60 years	+	1/10	10
5	>80 years	—	0/10	0

NOTE: ++++ = intense; +++ = clear; ++ = weak; + = faint.

* = number of positive tests.

Şekil 1.14. Örnek gruplardaki luminol analizi sonuçları, (Introna vd., 1999)

Çalışmada ölüm zamanı 50 yıla kadar olan olgularda pozitif kemiluminesansa rastlanmıştır. Ancak 80 yıl ve üzeri olgularda herhangi bir ışıma gözlenmemiştir. İlk 15 yıl ise ışıma yoğun olarak izlenmektedir.

Sonuç olarak ölüm zamanı yakın olan olgularda luminesans her zaman pozitif ve çok yoğun olmaktadır. Onuncu yıldan sonra pozitif testlerin yüzdesi azalmıştır ve reaksiyonun parlaklığında da kademeli bir azalma gözlenmiştir. Negatif testler ölümden 25 yıl sonrasında artmıştır. Bunun nedeni olarak da luminol ile reaksiyona giren hemoglobin proteininin önemli bir azalmasına bağlanmıştır. Luminol testinin daha eski kemiklerde etkisiz olduğu sonucuna varılmıştır (Introna vd., 1999).

2009 yılında Ramsthaler vd. yaptığı çalışmada, postmortem interval değerleri (1.– 3. yüzyıl, 1878–1902, 1965–1972, 1995–2003) dört farklı döneme ait 80 adet kemik örneği kullanılmıştır. İncelenen tüm tarihi örneklerin yaklaşık %7,5'inde yanlış pozitif sonuçlar ve güncel örneklerin yaklaşık %15'inde yanlış negatif sonuçlar tespit edilmiştir. Örneklerin %88,5'inde doğru sınıflandırma yapılmıştır. Yine de postmortem intervalin belirlenmesinde kemiluminesans analizinin tek yöntem olarak geçerli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Ramsthaler vd., 2009).

2009 yılında Creamer vd. tarafından düzenlenen çalışmada toplam 14 adet tam ve eksik iskelet kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kemiklere ait PMI değerleri 6 ay ile 375 yıl arasında değişmektedir. Küçük bir elektrikli matkap kullanılarak kemiğin belirli bir bölgesinden 400 mg kemik tozu elde edilmiştir. Kemik tozlarına hazırlanan luminol solüsyonu uygulanarak kemiluminesans değerlendirilmiştir. Sonuç olarak uygun koşullar altında luminol tekniğinin, 0-400 yıllık PMI aralığında kemikteki hemoglobini tespit edebildiğini göstermektedir (Creamer ve Buck, 2009).

Ramsthaler vd., 2010 yılında yaptıkları çalışmada, UV floresans dışında Luminol yöntemini de test etmiştir. Ölüm zamanı belli 39 uzun kemikten enine kesitler alırken dökülen kemik tozları test tüplerine alınmıştır. Weber yöntemi ile hazırlanan luminol solüsyonu ile kemik tozları incelenmiştir. Kemiluminesans yoğunluğu negatif (-), zayıf pozitif (+), pozitif (++) ve güçlü pozitif (+++) kategorilerinde sınıflandırılmıştır. Bir vaka haricinde, luminol testi daha yeni kemik numuneleri (PMI <10 yıl) için pozitif (++) ile güçlü pozitif (+++) reaksiyon göstermiştir. Adli ilgisi olmayan kemik dokuya ait postmortem intervali kanıtlayan negatif bir luminol test sonucunun, kısa bir PMI'ı gösteren pozitif bir luminol test sonucundan üstün

olduğunu sonucuna ulaşılmıştır (Ramsthaler vd., 2011). Çalışmada çevresel etmenler nedeniyle yanlış pozitiflik görülmektedir. Kemik doku üzerinde yer alan toprağa ait materyallerin kemiluminesans oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Hala kemik içeriğindeki hemoglobinin ne kadar süre ile varlığını sürdüreceği bilinmemektedir bu nedenle bu konuda çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Elde edilen kemiklerin adli ya da tarihi öneme sahip olup olmadığının incelenmesi adına bir başka çalışma yapılmıştır. 2017 yılında yapılan bu çalışmada C¹⁴, luminol ve Oxford Histoloji İndex (OHI) yöntemleri karşılaştırılmıştır. Vaka çalışmasında, farklı yerlerde (açık hava, gömülü, iç mekan) ve farklı tafonomik koşullarda (metal kutuların içindeki karışık kalıntılar, tamamen gömülü iskeletler, dağınık kalıntılar, çantaların içindeki kemikler...) bulunan 20 farklı kemik incelenmiştir. Luminol testi için daha önceki çalışmalarda da ortak olarak kullanılan basamaklar izlenmiştir. İçerisinde luminol solüsyonu bulunan Eppendorf tüplerine kemik tozları eklenmiştir. Tüm protokol karanlık odada değerlendirilmiş olup, her örnek için kemiluminesansın yoğunluğu negatif (-), zayıf pozitif (+), pozitif (++) ve güçlü pozitif (+++) olarak sınıflandırılmıştır. Adli önemi olan örneklerde negatif sonuçlar izlenirken, tarihi olgularda da pozitif sonuçlara rastlanmıştır. Hem kemiluminesans hem de histolojik belirteçleri içeren bir tarama protokolü geliştirilmesinin adli amaçlar için çok yararlı bir araç olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Cappella vd., 2018).

Sarabia vd. tarafından yapılan 2018 yılındaki çalışmada, daha önceki çalışmalardan farklı olarak kemiluminesans yoğunluğu ölçümleri gözle değil luminometre cihazıyla yapılmıştır. Çalışmada 102 kişiye ait femur kemiklerinden örnek alınmıştır. İspanya kanunları göz önünde bulundurularak postmortem interval açısından eşik değeri 20 yıl olarak belirlenmiş olup, <20 yıl ve >20 yıl olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda PMI <20 yıl olan femur örneklerinin ve PMI ≥20 yıl olan örneklerin luminol kemiluminesans (CL) yoğunluklarında anlamlı bir düşüş gözlenmiştir. Bu sonuçlar, uygun koşullar altında, luminol tekniğinin, 0-65 yıllık PMI aralığındaki kemik örneklerinde hemoglobini tespit edebildiğini göstermektedir (Sarabia vd., 2018).

Luminol kemiluminesansının kullanılabilirliğine yönelik önceki araştırmaları genişletmeyi amaçlayan bir çalışmada ölüm zamanı bilinen farklı tafonomik koşullardaki 30 insan klavikulası değerlendirilmiştir. Luminol solüsyonu karanlık bir odada kemik örneklerinden elde edilen tozlar üzerine püskürtülmüş, çıplak gözle gözlemlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Kemiluminesans reaksiyonunun yoğunluğu 5 seviyeli bir ölçek kullanılarak

ölçülmüştür. Mevcut sonuçlar, bu yöntemin adli soruşturmalarda zaman ve maliyeti azaltarak, varsayımsal bir test olarak ölüm zamanı tahmini için uygun bir araç olabileceğini ortaya koymuştur. Aynı zamanda yanlış pozitiflerin kayda değer bir insidansını da vurgulamaktadır (Ermida vd., 2024).

1.14. Radyokarbon (C-14) Tarihleme Yöntemi

Kemikten C-14 yöntemi, iskeletten ölüm zamanının tahmininde kullanılan önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem, karbon izotopu olan C-14'ün doğal radyoaktif bozunması üzerine dayanmaktadır. Organizmanın ölümüyle birlikte, organizma tarafından alımına son verilen C-14, zamanla bozunarak azalmaya başlamaktadır. Kemikten C-14 analizi, bu azalma oranını ölçerek, ölüm anına dair önemli bilgiler sunmaktadır. Ancak, bu yöntemin uygulanabilirliği çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Kemik örneklerinin tarihlendirilmesinde dikkate alınması gereken faktörler arasında kemik materyalinin türü, çevresel koşullar ve örneğin muhafazası yer almaktadır.

Radyokarbon tarihleme yöntemi, karbon içeren kalıntıların eskiliğini belirlemeye yönelik bir yöntem olarak bilim camiasına 1949 yılında Libby vd. tarafından tanıtılmıştır (Libby vd., 1949). Atmosferik karbon-14 izotop konsantrasyonlarının fotosentez sonrası besin zinciri yoluyla sisteme girmektedir. C-14'ün yarılanma ömrü 5730 sene olarak kaydedilmiştir. Arkeolojik bağlamlardan binlerce örneğin tarihlendirilmesi için radyokarbon tarihlemesi kullanılmıştır. Bu yöntem 300 yaştan üzerindeki örneklerde en doğru sonucu göstermektedir. Radyokarbon analizi, hızlandırılmış kütle spektrometri teknolojisinin (AMS) geliştirilmesiyle güçlendirilmiştir. Bu yaklaşım, tüm C-14 atomlarının sayılmasını içermektedir ve daha önce mevcut olan standart prosedürlere göre daha küçük numuneler kullanarak daha kesin sonuçlar sunmaktadır. Radyokarbon analizi raporları değerleri 1950 temel yılına göre ilişkilendirmektedir. 1950 referans tarihini kullanmanın bir nedeni, o zamandan sonra, termonükleer cihazların atmosferik testleri yoluyla nispeten sabit çevresel radyokarbon seviyelerinin büyük ölçüde artmasıdır. Bu tür atmosferik testler, yaklaşık 1954 ile 1963 yılları arasında dramatik bir şekilde artan atmosferik karbon seviyeleri üretmiştir ve bu karbon besin zinciri boyunca tüm karasal organizmalara da dahil edilmiştir. Atmosferdeki radyokarbon seviyelerinin 1950 sonrası yükseliş ve düşüşüne “bomba eğrisi” adı verilmiştir (Ubelaker, 2014).

1950 yılı sonrası yapılan çalışmalar sonucunda atmosferik radyokarbon değerlerinde zamansal yükseliş ve düşüş dışında, coğrafi farklılıklar olduğu sonucuna da ulaşılmıştır. Temel olarak karbon içeren örneklerin analizi 1950 sonrası yüksek radyokarbon seviyelerini ortaya çıkarırsa, adli araştırmacılar tarafından incelenen örneklerin modern döneme ait olduğu anlaşılmaktadır (Ubelaker, 2014).

Wild vd. tarafından 1997 yılında yapılan bir çalışmada, insanların ölüm zamanının belirlenmesinde C^{14} yönteminin adli bilimlerde uygulanabilirliği incelenmiştir. Farklı organik insan materyallerinden (kemik içeriğindeki kollajen, kemik ve kemik iliğinden lipitler, saç) alınan numunelerin C^{14}/C^{12} ölçümleri yapıp, ölçülen oranlar troposferik "bomba zirvesi" değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, adli tıp araştırmalarında sıklıkla önemli bir soru olan ölüm zamanının belirlenmesinde; kemiklerden veya kemik iliğinden, lipitlerin mevcut olması koşuluyla, radyokarbon tarihleme yönteminin uygulanması doğru tahminler sağlamaktadır (Wild vd., 1997)

Birçok yayın tarafından radyokarbon seviyelerindeki bu artış, adli ilgisi olan kemikler ile tarihi kemiklerin birbirlerinden ayrımında kullanılmaktadır (Swift vd., 2001). Taylor vd. tarafından yapılan birkaç çalışma sonucuna göre radyokarbon değerleri analiz edilmiş olup, kalıntıların seviyelerine göre üç ayrı kategoriye ayrılmıştır;

1. Modern olmayan dönem (MS 1650 öncesi) ve adli tıpla ilgisi olmayan dönem,
2. Adli tıp açısından muhtemel modern öncesi dönem (MS 1650- MS 1950),
3. Adli tıp açısından kesin öneme sahip modern dönem (MS 1950'den günümüze) (Taylor vd., 1989),

Bu çalışmaların kısıtlamaları olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. İkinci kategori yaklaşık olarak 300 sene içermektedir ve bu süreç içerisinde adli öneme sahip olgulara ait kemik dokulara rastlanabilmektedir. Bu da bazı vakaların gözden kaçmasına neden olabilmektedir.

Ubelaker ve Parra'nın 2011 yılında yaptıkları çalışmada, Peru'da doğum ve ölüm tarihleri bilinen dört yetişkin insandan alınan diş minesi, kortikal kemik ve trabeküler kemik üzerinde radyokarbon analizi yapılmıştır. Radyokarbon analizi, hızlandırıcı kütle spektrometresi (AMS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, genellikle aynı kişiden farklı diş ve kemik dokularının farklı radyokarbon değerleri sunduğunu öne süren

önceki analizler desteklenmiştir. İskeletleşmiş insan kalıntılarında, diş minesinin ve farklı kemik dokularının radyokarbon analizi hem doğum tarihi hem de ölüm tarihi ile ilgili değerli bilgiler sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak ölüm anındaki yaş, kemik radyokarbon değerlendirmelerinde önemli bir faktörü temsil etmektedir, çünkü yaşlı bireyler incelenirken, özellikle kortikal kemikte, kemiklerinin radyokarbon içeriği ile ölüm anındaki troposferik değerler arasında daha belirgin bir fark görülmektedir (Ubelaker ve Parra, 2011).

Örnek vermek gerekirse 50 yaşında olan ve 1990'ların başında ölen bir kişide, bireyin kemik dokusundaki kollajen, atmosferik radyokarbonun yüksek olduğu 1960'ların başlarında proteinin oluşturulduğu zamandan kalma radyokarbon içeriği taşımaktadır. Bu da ölüm zamanı tespitinde yanlış yorumlamalara yol açmaktadır. Kemik iliği veya saç gibi daha hızlı üretim oranlarına ve dolayısıyla daha hızlı devir hızlarına sahip çeşitli doku türlerinin kombinasyon halinde test edilmesiyle daha doğru sonuçlara ulaşılabilmektedir (Swift vd., 2001).

1.15. Radyoaktif İzotop Analizleri

Günümüze kadar iskelet kalıntılarında ölüm zamanı tahmininde birçok yöntem denenmiştir. Radyoaktif çalışmalar dışındaki tüm araştırmaların en kısıtlayıcı yönü, kullanılan yöntemlerin çevresel ve bireysel koşullardan etkilenebilmesidir. Bu nedenle, analizler sırasında farklı kriterlerin değerlendirilmesi ve dikkate alınması gereklidir. Bu durum, her bir araştırma bağlamında benzersiz koşulları ve değişkenleri göz önünde bulundurmaya zorunlu kılar. Bu çeşitlilik, analitik süreçte doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için önemlidir, bu da araştırmacıların dikkatli ve kapsamlı bir değerlendirme yapmalarını gerektirir (Ünlütürk, 2016). Radyokarbon (C), 50 yılı aşkın bir süredir arkeolojik örneklerin tarihlendirilmesinde değerli bir araç olduğunu kanıtlamıştır. Ancak yarı ömrü 5730 yıl olan bu tekniğin rutinde adli vakalarda uygulanabilmesi pek de mümkün olmamaktadır. Bir radyoaktif izotop tekniğinin adli olaylarda kullanılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Öncelikle araştırmadaki zamanlarla orantılı bir yarı ömre ve kemik dokuda tespit edilebilecek biyolojik bir işleve sahip olmalıdır. Aynı zamanda analitik tekniklerle incelenebilecek kadar bol miktarda olmalıdır (Swift vd., 2001.)

Radyoizotop çalışmaları uzun zamandır ölüm zamanı tahmini belirlenmesinde odaklanılan alanlardandır. Stronsium, Radon, Pollonium, Plumbum gibi radyoizotop ölçümlerini içeren çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Radyoaktif çözünme çevresel faktörlerden bağımsızdır. İnsan yaşamı boyunca vücutta depolanan ve zenginleşen radyoaktif

materyalin biyolojik yarılanma ömrü ölüm zamanının daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu radyoizotoplar arasından yarı ömrü kısalığı ve analiz kolaylığı açısından Sr ve Pb/Po radyoaktif izotopları öne çıkmıştır (Ünlütürk, 2016).

1.15.1. Stronsium-90 (Sr)

Stronsiyum (Sr), kurşun madenlerinde keşfedilen atom numarası 38 olan kimyasal bir elementtir. İnsanlar için Sr alımının ana kaynağı gıdalardır. Tahıllar ve deniz ürünleri gibi bazı gıda türleri de 25 mg/kg'a kadar Sr içerebilmektedir. Ayrıca Sr insan vücuduna deri ve akciğerler yoluyla küçük miktarlarda girebilmektedir (Pilmane vd., 2017).

Stronsium kemik dokuda uzun yıllar boyunca birikmektedir. Bunu kemik yapısında tutulması aktif bir metabolizmaya bağlıdır. Sr, kalsiyum gibi davranır ve altta çalışan benzer bir metabolizma bulunmaktadır (Ünlütürk, 2016). Stronsiyum-90 (Sr90), 1945-1979 yılları arasında atmosferde yapılan atom bombası testlerinin yapay nükleer fizyon ürünüdür. Daha sonraki yıllarda atmosfere yayılmıştır. Sr90 kalsiyumun bir analogudur ve bu nedenle insan kemikleri açısından zengin bir kaynaktır. Özellikle 1960'lı ve 1970'li yıllarda bu konuyu araştırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Neis vd., 1999). Radyoaktif stronsiyum (Sr), atomik patlamalar ve nükleer testler sonrasında 1950'lerde diğer birçok sentetik nüklidin yanı sıra atmosfere salınan yapay bir element olarak tanımlanmaktadır. Nükleer silahların patlama büyüklüğüne bağlı olarak stratosferde ve nükleer atıkların daha lokalize bir şekilde gözlemlendiği troposferde radyoaktif tortu bırakabilmektedirler. Zamanla troposferi geçerek yer altı sularına ulaşır, kökler aracılığıyla bitki örtüsüne fotosentez yoluyla geçmektedir. Besin zincirine ulaşan bu tortular canlılar tarafından alınır, bağırsak mukozasından emilip iskelet sisteminin matriksine yerleşmektedir. Kemik matriksinde sentetik nüklitlere ait kalıntıların bulunması kişinin 1945 sonrası öldüğünü göstermektedir (Ünlütürk, 2016).

Schrag vd. tarafından 2012 yılında gerçekleştirilen çalışmada, Stronsium'un yıllara göre dağılım eğrisini elde etmek amacıyla 1960-2001 yılları arasında ölen kişilerin vertebralarından örnekler toplanmıştır. Vertebralar önce fırça ile dış etkenlerden temizlenmiştir daha sonrasında deiyonize su ile yıkanır kurulanmıştır. Çeşitli temizlik yöntemlerinden sonra Sr-90 değerleri (aktivite limiti olarak 25mBq/Ca kabul edilmiştir.) analiz edilmiştir. 1999 yılında gömülüp, 2007 yılında mezardan çıkarılan 13 kişiye ait vertebralar ölümde bu yana geçen zamanın tespiti amacıyla Sr ölçümü ile değerlendirilmiştir. Sr değerlerinin postmortem intervali değerlendirmek için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. 1950 yılından sonra

gerçekleşen ölümlerde Sr çizdiği eğriye bakılarak yorum yapılabileceği düşünülmüştür. Stronsiyumun (Sr) aktivitesi 100 mBq/gCa üzerine çıktığında, ölümün 1963 yılı civarında meydana geldiği tahmin edilmektedir. Ancak daha düşük seviyelerdeki Sr aktivitesinin yorumlanmasında zorluklar olduğu vurgulanmıştır (Schrage vd., 2012; Ünlütürk, 2016).

Schrage vd. (2014) tarafından yapılan bir başka çalışmada, Sr-90 Bomba Eğrisi kullanılarak adli ilgisi olan 29 vakaya ait PMI belirlenmeye çalışılmıştır. 12 vakada PMI aralığını daraltmak için yarı ömrü 22,5 yıl olan Pb-210 (Po-210) ölçümü eklenmiştir. On bir vaka tespit limitinin altında Sr-90 aktivitesi göstermiştir. Bu vakaların herhangi bir adli soruşturmayla ilgili olmadığı ve ölüm zamanının çevrede ve yiyeceklerde Stronsiumun bulunmadığı 1955'ten önceki döneme ait olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak Pb değerlendirilmesi yapılan 12 olgudan 10 tanesinin ölüm zamanındaki belirsizlik, bu ek yöntem ile birkaç seneye indirgenmiştir (Schrage vd., 2014).

1.15.2. Kurşun-210 (Plumbum-Pb)

Pb-210, Uranyum-238 serisinin radyoaktif üyesidir ve çevrede çok sık oranda rastlanmaktadır. İnsan vücuduna beslenme ve kemik ve kemik dokuda bulunan Radon-226'nın çözünmesi sonucu ulaşmaktadır. İnhalasyon yoluyla da vücuda girebilmektedir ancak bu miktar göz ardı edilmektedir (Swift vd., 2001) Son dönem çalışmalarda kurşun, postmortem interval tahmini amacıyla değerlendirilmeye başlanmıştır. En büyük avantajı, Stronsiumda olduğu gibi patlamalara bağlı bir artış ya da azalma gözlenmemesidir ve vücutta sabit oranda kalmasıdır. Pb yarılanma ömrü 22,3 yıldır. İnsan vücudunda solunum ve beslenme sonucu gözlemlendiği için kişiye ve kişinin yaşadığı coğrafi şartlara bağımlı olmaktadır (Ünlütürk, 2016).

Schrage vd., 2012 yılında vertebralar üzerinden yaptıkları çalışmada Stronsium dışında Kurşun analizi de yapılmıştır. Leggett (1993) kurşunun büyük ölçüde vücuttaki kalsiyum hareketini takip ettiğini fark etmiştir (Leggett, 1993). Böylece Pb-210, kemikteki ölçümüne ve 22,5 yıllık fiziksel yarı ömrüne dayanarak ölüm zamanını belirlemek için kullanılabilirliği düşünülmüştür. Ancak kemiklerde eşik değer olarak belirlenecek aktivite seviyesi bilinmemektedir. Pb-210 kemiklerdeki miktarı beslenme alışkanlıkları, ölüm zamanındaki yaşa ve kişinin yaşadığı bölgeye bağımlıdır. Kişinin trabeküler kemiğinde beslenme alışkanlığı ile benzer özelliklerde Pb-210 içeriğine rastlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Daha uzun PMI sahip olan kemiklerde daha az miktarda Pb-210 rastlandığı vurgulanmıştır. Böylece bu yöntemin de ölüm zamanı tahmini için uygun olabileceği düşünülmüştür (Schrage vd., 2012)

Radyoaktif izotoplar son dönemde ölüm zamanı tahmini açısından üzerinde çalışmalar yapılan bir alan olmuştur. Ancak bu alanın geliştirilmeye ihtiyacı olduğu aşikardır.

1.16. Spektroskopi

Adli soruşturmalarda ölüm sonrası aralıkların (PMI) tahmin edilmesi, ceza davalarına ilişkin içgörü sağlanması ve ölüm zamanının belirlenmesi açısından çok önemlidir. Ancak PMI tahmini hata yapmaya açık bir alandır. Çeşitli araştırma grupları iskelet kalıntılarından ölüm zamanı tahmininde umut vaat etmektedir yine de adli vakalar açısından eksiklikler bulunmaktadır. Spektroskopi yöntemi ile kemiklerde ve dişlerde gömülme süresiyle ilişkili kimyasal değişiklikleri inceleyerek ölüm zamanını tahmin edebileceği düşünülmektedir (Woess vd., 2023).

“Spektroskopi” terimi, elektromanyetik radyasyonla madde etkileşimlerini içermektedir ve günümüzde farklı bilimsel konular için kullanılmaktadır. Kızılötesi spektroskopi prensibi, kızılötesi aralıktaki radyasyonla kimyasal bağların titreşimsel uyarılmasına dayanmaktadır. Raman Spektroskopi (RS), genellikle görünür, yakın kızılötesi veya yakın ultraviyole aralığındaki bir lazerden gelen monokromatik bir ışık kaynağı kullanan titreşimli bir tekniktir ve iskelet kalıntılarını tanımlamak için ideal olduğu düşünülmektedir (Nagy vd., 2008; Woess vd., 2023). RS, moleküler titreşimler ve dolayısıyla analiz edilen numunelerin yapısı hakkında bilgi sağlayan, invaziv olmayan bir analitik tekniktir. RS, daha yüksek titreşim veya dönme durumlarına uyarılan moleküller tarafından elastik olmayan şekilde dağılmış fotonları tespit etmektedir. Adli bağlamlarda vücut sıvılarının, uyuşturucuların, patlayıcıların ve ateşli silah kalıntılarının tanımlanması için kullanılmıştır. Aynı zamanda gömü süresini tahmin etmek için de kullanılmıştır (Baide vd., 2020). Kemik dokudaki kristal düzeyi, minerallerin oranı, mineral-matriks (MMR) oranı, mineral karbonat içeriği (MinCarb), mineral içeriği (MinCont), karbonat-fosfat oranı ve kolajen çapraz bağ oranı gibi çeşitli parametreler Raman Spektroskopisi ile değerlendirilebilmektedir. Bu oranların ölüm sonrası geçen süre ile aralarındaki ilişki incelenmektedir. Yapılan çalışmalar ölüm zamanı tahmininde RS'nin yüksek doğruluk ve hızlı ölçüm ile noninvaziv bir teknik olarak avantajlarını vurgulamaktadır (Woess vd., 2023). Bertoluzzo vd. tarafından yapılan bir çalışmada, gömülme süresi 150 ile yaklaşık 6000 yıl arasında değişen ve modern insan dişinin spektrumuyla karşılaştırılan beş antik azı dişinin Raman spektrumları değerlendirilmiştir. Mine yüzeyinde bulunan organik bileşenlerle ilgili bantların yoğunluğu gömü süresine bağlı

olarak azalırken, inorganik bileşenleri yansıtan bantların sabit kaldığı görülmüştür (Bertoluzza vd., 1997).

2021 yılında yapılan başka bir çalışmada, PMI 15 ila 87 yıl arasında değişen 53 insan iskeleti üzerinde, kemik sertliğine katkıda bulunan hidroksiapatit kristalleri gibi hem organik hem de inorganik bileşenler içeren kemiğin kortikal alanının analizine odaklanılmıştır. Kemik yıkımı çeşitli iç ve dış faktörlerden etkilenecek kollajen, nitrojen ve amino asit kaybıyla sonuçlanmaktadır. Bu çalışmada, kemik bileşimini analiz etmek için tahribatsız, çok yönlü ve doğru bir yöntem olarak çok değişkenli kalibrasyon tekniği ile Raman spektroskopisi kullanılmıştır. Amaç, ölüm zamanı bilinen kemiklerdeki değişiklikleri incelemektir. 14 doğrulama örneğinden 10'unun ölüm zamanları %30'dan daha az bir doğruluk hatasıyla belirlenmiştir; bu da Raman spektroskopisinin PMI tahmini için bir yöntem olarak umut vaat ettiğini ortaya çıkarmıştır (Ortiz-Herrero vd., 2021).

Kemik analizi için yaygın olarak kullanılan diğer bir teknik, Fourier dönüşümü kızılötesi (Fourier Transformation Infrared Spectroscopy-FT-IR) spektroskopisidir. Nagy vd., tarafından yürütülen bir çalışmada, arkeolojik ve adli kemik kalıntıları arasında ayırmak için FT-IR spektroskopisi kullanılmıştır. 1980 yılında ölen iskeletlere ait örnekler adli örnekler olarak, 1500 yılından önce ölen iskeletlere ait örnekler de arkeolojik örnekler olarak değerlendirilmiştir. Adli kemiklerde olmayan, yalnızca arkeolojik kemiklerde bulunan inorganik bir bileşen olan frankolit tespit edilmiştir. Bu durum, frankolitin ölüm zamanı tahmini sırasında arkeolojik ve adli kemikler arasında ayırmak için yararlı bir belirteç olarak hizmet edebileceğini öne sürmüştür (Nagy vd., 2008).

Bu çalışmada, iskelet kalıntılarında ölüm zamanı tahmininde kullanılan mevcut yöntemlerin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu değerlendirmek amaçlanmıştır. İskeletten ölüm zamanı tahmininde kullanılan farklı metotlar analiz edilerek, her birinin avantajları ve sınırlamaları incelenecek; ayrıca, çevresel koşullar ve postmortem değişikliklerin bu yöntemler üzerindeki etkisi değerlendirilecektir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Adli antropolojinin en önemli sorunlarından birisi olan ölüm zamanı tahmini çeşitli yöntemlerin değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir iştir. Bu tezde, kemik dokudan ölüm zamanını tahmin etmek için kullanılan yöntemler hakkında literatür taraması yapılmıştır.

Ölümünden sonra gözlenen dekompozisyon aşamaları tamamlanıp iskeletleşme gerçekleştiğinde postmortem interval değerlendirmesi yapmak zorlaşmaktadır. Geçmişten günümüze gelene kadar kemiklerden ölüm zamanını tespiti için çeşitli yöntemler oluşturulmuş olsa da kesin bir aralık verecek net bir yöntem bulunamamıştır. Çalışmada, rutinde kullanılmak üzere denenmiş çeşitli yöntemler hakkında araştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda hangi durumlarda hangi yöntemlerin kullanılabileceği ve geçerlilikleri irdelenmiştir. Yöntemlerin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Çalışmada yer alan yöntemlerin hangi faktörlerden etkilendiği belirtilmiştir.

Kemiklerin makroskobik görünümü ve kemiklerdeki morfolojik değişimler, ölüm zamanının belirlenmesinde kullanılan kriterler arasındadır. Arkeolojik kemik incelemelerinde kullanılan radyokarbon tarihleme yöntemi ile literatürde yeni yer bulan diğer radyoizotop yöntemleri karşılaştırılmıştır. Ölümünden sonraki süreçte kemik içeriğinde zaman ilerledikçe gözlenen değişim değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak ortaya çıkan luminol, ultraviyole floresans gibi çeşitli yöntemler gözden geçirilmiştir. İskelet kalıntılarının bulunduğu ortam koşullarına en uygun olan yöntemler tartışılmıştır.

Genellikle kullanılan ölüm zamanı tahmini yöntemlerinin dışında, henüz geçerliliği tartışmalı olan ve geliştirilmekte olan yeni yöntemlere odaklanarak, adli antropolojik ölüm zamanı tahmin çalışmalarına katkı sağlayabilecek düşük hata payına sahip yöntemleri araştırılmıştır.

3. BULGULAR

Bu tezde iskelet kalıntılarından ölüm zamanı tahmini yapabilmek için geliştirilmiş yeni ve eski yöntemler uygulanabilirlikleri açısından değerlendirilmiştir. İskeletleşmenin başlangıç evresinde, özellikle yeni oluşan kemiklerde, eklem uçlarının çevresinde tendon ve ligamentlere benzer yumuşak doku kalıntıları gözlemlenmektedir. Ilıman iklimlerde, açıkta bırakılan cesetlerde iskeletleşme genellikle ilk yıl içinde gözlenirken, tendon ve periost gibi dokuların izleri 5 yıl ya da daha uzun süre boyunca korunabilmektedir. Yumuşak dokular kaybolduktan sonra, yeni oluşan kemikler yoğunluk açısından eski kemiklerden ayırt edilebilir hale gelmektedir. Medüller kavite açıldığında, içerideki yağ dokusu dışarı çıkarak kemik üzerinde "greasy-to-the-touch" olarak tanımlanan bir görünüm oluşmaktadır. Saklama koşullarına bağlı olarak bu süreç birkaç yıl boyunca devam edebilirken, kalıntılar kapalı bir ortamda kaldığında bu süreç 10 yıla kadar uzayabilmektedir. Dış korteks etrafındaki bölge deforme olacaktır. Böylece sert kemikten oluşan merkezi bir halkanın her iki tarafında da daha gözenekli, kolayca ufalanan bir kısım ile katmanlandığı bir "sandviç etkisi" olarak tanımlanan durum görülebilmektedir. Kemik bu süreçte eğer güneşe maruz kalmazsa sandviç etkisi on yıllar hatta yüzyıllar boyunca görülmemektedir.

Kemikteki mikroskobik değişiklikler ölümden 10 yıl sonra belirginleşmektedir. Havers kanalları ve interstisyel lamellerde aşındırıcı değişiklikler gözlenmektedir. Yapılan çalışmalara göre açık havada bulunan olgularda bakteri ve mantar tarafından aşındırma sonucu oluşan labirent benzeri tünellerin yaklaşık 15 yıl sonra görüldüğü anlaşılmıştır. Toprak içerisinde bulunan kemiklerde ise, 30 ay sonra hem iç hem de dış çevresel lamellerde tünel oluşumu gözlenmiştir, 5 yıl sonra ise histolojik olarak fark edilebilir hale gelmiştir.

Kemik doku içerik açısından da ölümden sonra belli değişimlere uğramaktadır. Kemik içeriğinde yer alan maddelerin belli zaman sonrası azalması veya kaybolması ölümden sonra geçen süreyi hesaplamak için bu maddelerin kullanılabilirliğini öne sürmektedir. Bu maddelerden biri olan sitrat kemikte %1,5-2 oranında bulunmaktadır. Önceden sitratın yaş ve cinsiyet bağımlı olduğu düşünülse de son dönemde bunun doğru olmadığı anlaşılmıştır. Açık alanda bulunan iskelet kalıntılarında kemik içeriğindeki sitratın 4 hafta boyunca sabit kaldığı daha sonra doğrusal olarak azaldığı öngörülmektedir. Dekompozisyon süreci ilerledikçe kaybolan protein kemikteki nitrojen kaybına da neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda kemikteki nitrojen miktarının %2,5'tan fazla

olması ölümün 350 yıldan fazla bir süre önce gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak bu miktarın %3,5'tan fazla olması bu sürenin 50 yıldan daha yakın olduğunu belirtmektedir.

Kemiklerdeki kan ürünlerinin varlığına dayanan benzidin reaksiyonu benzidinin kanserojen olması ve yanlış pozitif sonuçları nedeniyle terk edilmiştir. İnsan kemiklerinde doğal olarak bulunan 15 aminoasidin incelenmesi üzerine her ne kadar Glisin ve alanin aminoasitleri en yüksek oranda bulunsalar da prolin ve hidroksiprolin aminoasitlerinin post-mortem interval açısından değerlendirilebileceği anlaşılmıştır. PMI, 50 yılın üzerinde olan iskelet kalıntılarındaki hidroksiprolin ve prolin aminoasitlerinin izlenmediği sonucuna varılmıştır. Diğer aminoasitlerin azalmasının uzun yıllar sürebileceği; hatta glisinin 1000 yıl boyunca izlenebileceği gösterilmiştir. Kemik içeriğindeki kollajen azalmasına dayalı ölüm zamanı tahmin yöntemi, kollajenin kollajen dışı ürünlere oranının kullanılmasına dayanmaktadır.

Kemiklerden moleküler teknikler kullanarak postmortem interval tahmini amacıyla son dönemde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. DNA, RNA ve protein gibi ürünler ile PMI arasındaki ilişki araştırılmaktadır. DNA değerlendirilmesi sonucunda bozunma hızının sıcaklık ve neme göre değişkenlik göstereceği anlaşılmıştır. Kemik çalışmalarında ise DNA ile PMI arasında anlamlı korelasyon izlenmemiştir. RNA özellikle mRNA yarı ömrünün dakikalar günler olması nedeniyle ölüm zamanı açısından faydalı olacağı düşünülmüştür. Ancak RNA'nın DNA'ya göre daha az stabil olması ve kas dokusunun çalışmalar açısından daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kemiklerde bulunan proteinler deamidasyon ve hidroliz yoluyla bozunabilmektedir. Yapılan çalışmalarda belli proteinlerin ölümden sonra belli dönemlerde gözlemlenebileceği ya da azalabileceği anlaşılmıştır.

Ortamda böcekler var olduğunda dekompozisyon daha hızlı ilerleyerek iskeletleşme daha kolay oluşmaktadır. Adli entomolojik değerlendirmeler ile böceklerin gelişim süreci kullanılarak ölüm zamanı tayini yapılabilmektedir. Böcek aktivasyonu ve süksesyon modeli, eğer ortamda entomolojik kanıtlar mevcut ise, adli entomologlar tarafından tercih edilen yöntemler arasındadır. Adli patolojinin yetersiz kaldığı dekompozisyonun ilerlediği dönemlerde faydalı olabilmektedir. Ancak kalıntıların tabut gibi kapalı ortamlarda gömülü olduğu ya da su içerisinde bulunduğu durumlarda entomolojik değerlendirme doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Böceklerin gelişimi çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle aşırı sıcak, aşırı soğuk ya da nemin az olduğu bölgelerde böcek aktivasyonuna bakarak değerlendirme yapmak yanlış sonuçlar doğurabilmektedir.

Adli botanik, ölümün ne zaman gerçekleştiği ve ölümden bu yana geçen zamanı tespit etmek için başvurulan yöntemlerden bir tanesidir. İskelet kalıntıları üzerinde gözlenen polen, tohum gibi bitki üyeleri analiz edilerek ölümün hangi dönemde gerçekleştiği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Aynı zamanda kalıntıların bir yerden başka bir yere taşınıp taşınmadığı hakkında da bilgi vermektedir. Dendokronoloji, ağaç yıllık halkalarına göre yaşlandırma analizi, adli olaylarda kullanılabilmektedir. Ağaçların büyümesi rüzgâr, kar gibi dış faktörlerden etkilenmektedir. Bu stresörlere karşı ağaç gövdesi bir tepki vermektedir. Ağaç çevresinde kalıntıların bulunması ağacın büyümesi için stres yaratacağından büyüme halkaları hesaplanarak ölümün ne zaman gerçekleştiği anlaşılabilmektedir.

1958 yılından bu yana, ultraviyole ışınları kullanarak kemiklerin tarihini veya adli önemini belirleme çalışmaları yapılmaktadır. Dış faktörlerin etkisini elimine etmek için dış yüzeyi temizlenmiş kemik kesitlerine yansıtılan çeşitli dalga boylarındaki ultraviyole ışıkları kullanılarak kemik yüzeyindeki floresans değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda ölüm sonrası 350 yıl geçen olgularda floresans izlenmiştir. Türkiye’de zaman aşımı süresi 30 sene olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu yöntemin kullanılabilirliği açısından bazı sorunlar olduğu aşıkardır. Yakın dönemde yapılan çalışmalarda PMI ile mavi floresans arasında korelasyon olduğu düşünülmüştür yine de ek değerlendirmeye ihtiyaç bulunmaktadır. Ancak bu alandaki tüm çalışmalarda ortak olarak floresans rengi ile PMI arasında anlamlı korelasyon olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu yöntem ile değerlendirme yaparken kemik türü de önem kazanmaktadır. Kortikal kemiklerin çevresel faktörlerden daha az etkilenmesi nedeniyle daha doğru sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Kemiklerdeki ışıma analiz edilerek ölüm zaman ile arasındaki ilişkinin incelendiği bir diğer yöntem kemiluminesans yöntemidir. Luminol reaksiyonu ile kemik dokudan ölüm zamanı tahmini kemik içindeki kan ve kan ürünlerinin tespitine dayanmaktadır. Bu yöntemle kemiklere luminol solüsyonu uygulanarak elde edilen kemiluminesans yoğunluğu ile ölümden bu yana geçen süre değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda yakın döneme ait olgularda güçlü kemiluminesans izlenmektedir. Birçok çalışmada tarihi öneme sahip olgulara ait kemiklerde de ışıma gözlenerek yanlış pozitiflik görülmüştür. Luminol demir ile etkileşime girebileceğinden kemikler üzerindeki toprak gibi dış etkenler sonucu etkileyebilmektedir. Hala kemik içeriğindeki kan ürünlerinin ne kadar süre ile varlığını sürdüreceği bilinmemektedir bu nedenle bu konuda çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Radyoaktif izotoplar kullanarak iskelet kalıntılarından ölüm zamanı tahmini uzun yıllardır değerlendirilen yöntemler arasında bulunmaktadır. Özellikle radyokarbon kullanarak tarihlendirme metodu arkeolojik olgular için sık rastlanılan yöntemlerdendir. Bu yöntem karbon izotopu olan C-14'ün doğal radyoaktif bozunması üzerine dayanmaktadır. Ancak, bu metodun uygulanabilirliği, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Kemik örneklerinin tarihlemesinde göz önünde bulundurulması gereken etmenler arasında kemik materyalinin tipi, çevresel koşullar ve örneğin muhafaza durumu bulunmaktadır. C-14'ün yarılanma ömrü 5730 senedir. 1950 yılından sonra termonükleer cihazların atmosferik testleri yoluyla çevresel radyokarbon seviyelerinin büyük ölçüde artması sonucu tüm karasal organizmalar atmosferik karbonu besin zinciri yolu ile almıştır. 1950'den günümüze kadar olan süreçte gözlenen ölümlerde radyokarbon seviyelerindeki bu artış ölüm PMI değerlendirmesi açısından kullanılabilir. Ancak daha kısa yarı ömürlü, kemik dokuda biyolojik işleve sahip olan ve çeşitli tekniklerle elde edilebilecek kadar bol miktarda olan radyoaktif izotoplara ihtiyaç duyulmuştur. Radyoaktif stronsiyum (Sr), atomik patlamalar ve nükleer testler sonrasında 1950'lerde diğer birçok sentetik nüklidin yanı sıra atmosfere salınan yapay bir element olarak tanımlanmaktadır. Besin zinciri yoluyla insan vücuduna yerleşmiştir. Yapılan çalışmalarda kemik matriksinde sentetik nüklitlere ait kalıntıların bulunması kişinin 1945 sonrası öldüğünü göstermektedir. Kemiklerdeki Sr-90 değerleri aktivite limiti olarak 25 mBq/Ca olarak belirlenmiştir. Bu değerin 100 mBq/Ca üzerine çıkması durumunda ölümün 1963 yılı civarına meydana geldiği tahmin edilmiştir. Stronsium'a, Plumbum-210'un eklendiği çalışmalar mevcuttur. İnsan vücudunda, besin zinciri ve kemik dokuda bulunan Radon-226'nın çözünmesi sonucu yer almaktadır. Yarılanma ömrü 22,3 yıl olması nedeniyle son dönemlerde ölüm zamanı tahmini açısından değerlendirilen yöntemler arasında yer almaktadır.

Spektroskopi elektromanyetik radyasyonla oluşan madde etkileşimlerini ölçmeye dayalı bir tekniktir. RS, moleküler titreşimler ve dolayısıyla analiz edilen numunelerin yapısı hakkında bilgi sağlayan, invaziv olmayan bir analitik tekniktir. Adli bağlamlarda vücut sıvılarının, uyuşturucuların, patlayıcıların ve ateşli silah kalıntılarının tanımlanması için kullanılmaktadır. Aynı zamanda gömü süresini tahmin etmek için de kullanılabileceği öngörülmektedir. Yapılan çalışmalarda, kemik içeriğindeki değişimin spektroskopi ile incelenebileceği ve ölümden günümüze kadar geçen süre ile arasındaki ilişkinin değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

4. TARTIŞMA

Ölüm zamanı tahmini adli antropolojinin en önemli ve en zor sorunlarından bir tanesidir. Ölümün yeni gerçekleştiği ve yumuşak dokunun mevcut olduğu durumlarda ceset üzerinde gerçekleşen çeşitli biyokimyasal değişikliklere göre ölümün ne zaman gerçekleştiği hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Ancak bu süreç ilerlediğinde, dekompozisyon aşamaları sonrası iskeletleşme gerçekleştiğinde ölümden sonra geçen süreyi tahmin etmek pek de kolay olmamaktadır. Bu süreyi doğru tahmin etmek özellikle Türk Ceza Hukuku açısından da önemlidir. Türkiye’de zaman aşımı süresinin 30 yıl olduğu dikkate alındığında, olguların adli özelliğinin olup olmadığının doğru bir şekilde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Kimliklendirme amacıyla tespit edilen iskelet kalıntılarından biyolojik profil oluşturulduktan sonra ölüm zamanı hakkında yorum yapmak gerekmektedir. Günümüzde rutin uygulamalar sırasında kemiğin makroskobik özelliklerine göre değerlendirilme yapılmaktadır. Ancak bu değerlendirme her zaman doğru sonuçlar vermemektedir. Çevresel faktörlerin kararsız olduğu, yırtıcıların ve böcek aktivitelerinin sık olduğu ortamlarda ya da kalıntıların gömülü olup olmaması gibi durumlarda iskeletleşme süreci değişkenlik göstermektedir. Doğru analizler yapılabilmesi için çevresel etkenlerden etkilenmeyen, uygun maliyetli ve kolay uygulanabilir yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tezde geçmişten günümüze, ölüm zamanı tahmini içi geliştirilmiş çeşitli yöntemler farklı açılardan incelenmiş olup, avantajları dezavantajları ve rutinde uygulanabilirlikleri değerlendirilmiştir.

Kemiklerin makroskobik görünümüne ve morfolojik değişimlere göre yapılan değerlendirmeler her ne kadar rutinde kullanılsa da çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Sıcak ve nemin fazla olduğu ortamlarda iskeletleşme daha kısa sürede gerçekleşirken, soğuk ortamlarda bu durum çok daha yavaş olmaktadır. Ortamda yırtıcıların varlığı bu süreci aşırı hızlandırırken, tabut gibi kapalı ortamlarda kalan cesetlerde iskeletleşme daha uzun sürmektedir. Üzerine beton dökülerek gömülen bir olguda ölümün üzerinden 10 yıl geçmesine rağmen hala beyin dokusu izlenmiştir. Böyle örnekler nedeniyle kemik dokunun dış görünüşüne bakarak değerlendirme yapmak güvenilirliğini yitirmiştir. İskeletleşme sonrası bakteri ve mantar aktivasyonuna bağlı olarak havers kanallarında ve interstisiyel lamellerde aşınmalar meydana gelmektedir. Bu durumun 10 yıllık bir PMI’da belirgin olduğu düşünülmektedir. Ancak toprak içinde, açık alanda ve suda bulunan kalıntılarda bu süreç değişkenlik göstermektedir. Çevresel değişkenlerin etkisi kesin olarak bilinmediğinden bu belirtecin tek başına kullanılması yanlış sonuçlar verebilmektedir.

Adli entomolojik ölüm zamanı tespiti için uzun yıllardır başvurulanan bir alandır. Ölüm gerçekleşikten sonra kısa bir süre içerisinde böcekler cesede ulaşarak çoğalmaktadır. Böceklerin gelişimine bakarak PMI değerlendirmesinde Süksesyon Modeli ve Türlerin Gelişim Modeli olmak üzere iki yaklaşım mevcuttur. Ölüm zamanı tahmini, ölümün gerçekleştiği zaman ile cesedin bulunması arasındaki minimum ve maksimum zaman aralığını içermektedir. Minimum postmortem interval, larval yaş ve böcek gelişim evreleri hesaplanarak elde edilmektedir. Maksimum postmortem interval, kişinin en son görüldüğü zaman ile cesedin bulunduğu zaman aralığı kullanarak tespit edilmektedir (Amendt vd., 2011). Böcek gelişim evrelerine bakarak değerlendirme yaparken İsomorfen ve İsomegalen isimli diyagramlar kullanılmaktadır. Süksesyon modelinde ise belirli türlere ait arthropodların cesette ortaya çıkmaya başladığı zamanı ve bu türlerin bulundukları evreyi içeren bilgileri kullanarak, minimum ve maksimum postmortem interval (PMI) tahminlerinde kullanılabilir. Bu modeli kullanmak için cesedin bulunduğu bölgeye ait böcek faunası bilinmelidir (Kökdeniz, 2016). Böceklerin kolonize olması için en önemli etken ortam sıcaklığıdır. Sıcaklığın ve nemin değişken olduğu ortam koşullarında entomolojik verilere bakarak yorum yapmak yanlış sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Aynı zamanda kapalı ortamda bulunan kalıntılara böcekler ulaşamamaktadır. Bu da bu alanın kullanımını kısıtlamaktadır. Adli entomolojik değerlendirme yaparken kalıntıların bulunduğu ortamın faunası hakkında detaylı bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Olay yerlerinden böcek örneklemesi için daha uygun kılavuzlara gereksinim duyulmaktadır. Aynı zamanda kolluk kuvveti personeli tarafından alınan örneklerin iyileştirilmesi ve böcekler için kanıt toplayan memurların veya adli uzmanlarının eğitimi önem kazanmaktadır (Matuszewski, 2021).

Bitkiler ve bitki materyalleri, çeşitli hukuki soruşturmanın içine cinayetler, cinsel saldırılar ve diğer ceza davaları da dahil olmak üzere, değerli bilgiler sunabilen önemli kaynaklar arasında yer almaktadır. Zamanın ideal göstergeleri olmaları kemiklerden ölüm zamanı tahmini için kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Dendokronoloji yöntemi ile ağaçların yanında bulunan kalıntıların dekompozisyon sürecinde oluşturduğu stresör faktörlere olan etkisi değerlendirilerek ölümün ne zaman gerçekleştiği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Yapılan çalışmalarda bitkilerin gelişim aşamaları kullanılarak ölüm zamanı tespiti yapılan örnekler gösterilmiştir. Polenler ise kıyafetler, toprak, ilaçlar, hava filtreleri gibi çeşitli materyallerden elde edilebilmektedir. Polen veya sporların çeşitli çevresel koşullara (örneğin, sıcaklık, soğuk hava, yıkama, bulaşma, bozulma) maruz kalsa bile yapısını koruyabilmesi bu yöntemi avantajlı kılmaktadır. Aynı zamanda cesedin taşınıp taşınmadığı ya da olay yerinin jeolojik koşulları hakkında da ipucu vermektedir. Ancak bu alanda çalışan

personellerin eksikliği, flora hakkında ve örnek toplanması sırasında bilgi gereksinimi bu yöntemin dezavantajları arasında bulunmaktadır.

Son dönemlerde postmortem interval tahmini amacıyla DNA, RNA ve protein çalışmaları yapılmaktadır. DNA molekülü farklı bireylerde ve aynı tür içindeki farklı hücre tiplerinde benzer olması nedeniyle PMI tahmini için olası bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Kemik ve diş gibi sert dokuların analizinin, bu doku tiplerindeki nükleik asitlerin nispeten daha yüksek stabilitesi nedeniyle DNA analizi için daha uygun olduğu tanımlanmaktadır. Ancak bu dokuların analizinin zaman alıcı ve maliyeti yüksek olması nedeniyle yumuşak dokulardan DNA tespiti tercih edilmektedir. Perry vd. (1988) gerçekleştirilen çalışmada, ölümden bu yana geçen süreyi belirlemek için insan kaburga kemiğindeki deoksiribonükleik asidin (DNA) bozunma oranının kullanılmasının uygulanabilirliğini araştırılmıştır. Aynı koşullarda inkübe edilen ancak farklı kişilerden alınan örneklerdeki DNA bozunma hızı çok benzer bulunmuştur. DNA bozunma hızının sıcaklık ve neme göre değişebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Perry vd., 1988). Bir başka çalışmada ise kemik dokudaki DNA değişiminin ölümden çok kısa bir süre içerisinde meydana geldiği ve DNA bozunma düzeyi ile PMI arasında korelasyon izlenmediği sonucuna ulaşılmıştır (Alaeddini vd., 2011). RNA ise DNA'dan daha az kararlı bir yapıdadır. mRNA'nın yarı ömrünün kısa olması nedeniyle PMI tahmini açısından faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ancak bu yöntemin kullanıldığı kemik çalışmalarında eksiklikler bulunmaktadır. RNA değerlendirmesi için kas dokusunun daha uygun olduğu düşünülmektedir. Kemik proteini ölçümlerini kullanarak postmortem interval tahminini inceleyen çeşitli çalışmalar, protein belirteçlerinin potansiyelini arttırmıştır. Erken postmortem dönemde önemli sonuçlar elde edilmiş olsa da iskeletleşmenin tamamlandığı dönemlerde zorluklar başlamaktadır. Procopio ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışma sonucunda, PMI ile ilişkili olarak farklı bozunma modellerine sahip dört protein grubunu tanımlanmıştır (Procopio vd., 2018). Bir başka çalışmada kemik doku dışında, kan ve yumuşak dokularda da protein belirteçlerindeki değişim incelenmiştir. Sıcaklık gibi çevresel faktörlerin kemiklerdeki proteini etkileyebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Costa vd., 2015). Moleküler teknikler kullanarak nükleik asitler ve protein ile PMI arasındaki ilişkinin incelenmesi her ne kadar gelecek vadeden çalışmalar olarak görülse de ülkemizde bu alanda çalışmaların sayısı çok azdır. Maliyetinin yüksek olması, bu amaçla kemik doku analizinin meşakkatli ve zaman alıcı olması nedeniyle bu yöntemlerin rutinde kullanılmasını zorlaştırmaktadır.

Kemik içeriğindeki değişimlere göre postmortem interval tespiti Knight (1969) tarafından bahsedilmiş olmasına rağmen hala kesin bir yöntem belirlenememiştir. Kemik içeriğindeki ürünlere göre ölüm zamanı tayini açısından en umut verici ürün sitrattır. Önceki çalışmalarda sitratin yaş ve cinsiyet bağımlı olduğu düşünülse de son dönemde bunun doğru olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda açık arazilerde (gömülü olsun ya da olmasın) bulunan iskelet kalıntılarında sitrat konsantrasyonu yaklaşık 4 haftalık bir süre boyunca sabit kalacağı, ardından log(zaman) fonksiyonu olarak doğrusal olarak azalacağı anlaşılmıştır (Schwarcz vd., 2010). Kalıntıların sıcaklık, nem, gömü derinliği, toprak türü gibi çevresel faktörlerden etkilenmemesi bu yöntemin avantajlarından. Aynı zamanda kemiklerden kolay bir şekilde elde edilebilmesi ve maliyetinin düşük olması da bu yöntemi öne çıkarmaktadır. Osteoporoz gibi hastalıklı kemiklerde az miktarda sitrat izlenmesi bu yöntemin güvenilirliğini düşürmektedir. Adli ve tarihi olguların karşılaştırılarak incelendiği çalışmalarla birlikte ek çalışmalar yapılması, bu yöntemin uygulanabilirliğini göstermeye yardımcı olacaktır. Kemiklerdeki nitrojen miktarı %2,5'tan fazla olduğunda ölüm zamanı 350 yıldan daha yakın, %3,5'tan fazla ise ölüm zamanının 50 yıldan daha yakın dönemde olduğu kabul edilmiştir. Ancak açık havada bulunma, nem, sıcaklık ve asidite gibi dış faktörlerin bu oranı değiştirmesi ve yüzey alanı/hacim oranının bu miktarları etkilemesi bu yöntemin dezavantajlarından.

Benzidin reaksiyonu, her ne kadar benzidin kanserojen olarak kabul edilip aminobenzidin kullanılsa da yanlış pozitif sonuçları nedeniyle güvenilirliğini yitirmiştir. Kemik içeriğindeki belirli aminoasitlerin varlığı ve yokluğuna bağlı olarak ölüm zamanı tahmininin zayıf bir araştırma olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda suda bulunan kalıntılarda, aminoasitlerin suda çözünebileceği düşünüldüğünde, yanlış sonuçlar verebilmektedir. Kollajen azalmasına bağlı bir değerlendirme ise kemik türüne, cinsiyete göre değişmektedir. Ayrıca kollajen oranının değerlendirilmesi için referans değerler gerekmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar yetersizdir ve daha fazla pratiğe gerek duyulmaktadır.

Kemik içeriğindeki kan ürünlerinin zamanla değişimine bağlı olarak PMI tahmini açısından Ultraviyole Floresans ve Luminol Analizi yöntemleri oluşturulmuştur. Farklı dalga boylarındaki ultraviyole ışınları kullanılarak kemik kesitleri üzerine yansıtılması sonucunda farklı renkteki ışımlar ile PMI arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bazı çalışmalarda bu yöntemin 150 yıla kadar olan olgularda pozitif sonuçlar verdiği, bazı çalışmalarda ise 300 yılı aşkın olgularda da ışıma gözlendiği gösterilmiştir. Hoke ve arkadaşları 2013 yılında yaptığı

çalışmada floresans yoğunluğu ile ölüm zamanı arasında bir korelasyon izlenmediği sonucuna ulaşmıştır (Hoke vd., 2013). Sterzik ve arkadaşları ise 2016 ve 2017 yılında yaptıkları iki ayrı çalışmada mavi ve kırmızı floresans yansıma alanı ile ölüm zamanı arasında korelasyon tespit etmiştir (Sterzik vd., 2016, Sterzik vd., 2018). Bu yöntemin rutinde kullanılması ile ilgili farklı görüşler olsa da floresans rengi ile PMI arasında anlamlı korelasyon olduğu ortak sonuçlardan bir tanesidir. Bu yöntem değerlendirilirken kemiğin türü de önem kazanmaktadır. Femur, humerus gibi kortikal kemikler çevresel faktörlerden daha az etkilendiği dikkate alındığında farklı kemik tiplerinde farklı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Yine de UV floresans metodu, kemiklerin adli olup olmaması ya da adli olduğu bilinen kemiklerin analizi açısından fayda sağlayabilecek bir metot olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu yöntemin geliştirilmesi için ek çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Luminol adli alanlarda özellikle olay yerlerinde kan lekelerini tespit etmek için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Kemik dokusundan ölüm zamanını tahmin etmek için kullanılan luminol reaksiyonu, kemik içindeki kan ve kan ürünlerini tespit etmeye dayanmaktadır. Kemiluminesans yoğunluğu ile ölümden sonraki zaman arasındaki değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda ilk 15 yılda yoğun ışımaya izlenmektedir. Farklı tafonomik koşullardan etkilenmemesi bu yöntemin avantajlarından biridir. Luminol demir ile etkileşime girerek ışımaya verebileceğinden analiz esnasında kemikler üzerindeki toprak gibi dış etkenler ortamdaki uzaklaştırılmalıdır. Ancak hala kemik içeriğindeki kan ürünlerinin ne kadar süre ile varlığını sürdüreceği bilinmemektedir. Luminol yöntemi ile kemiklerden ölüm zamanı tahmini rutinde kullanılabileceği düşünülen bir yöntemdir. Maliyetinin düşük olması, kolay uygulanabilmesi ve kısa sürede sonuç vermesi bu yöntemi öne çıkarmaktadır. Bu alanda daha büyük örneklemle incelendiği ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kemikten C-14 yöntemi, iskeletten ölüm zamanının tahmininde kullanılan önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Organizmanın ölümüyle birlikte, organizma tarafından alımına son verilen C-14, zamanla bozunarak azalmaya başlamaktadır. Bu yöntem, karbon izotopu olan C-14'ün doğal radyoaktif bozunması üzerine dayanmaktadır. C-14'ün yarılanma ömrünün 5730 sene olması adli olgularda kullanımını kısıtlasa da arkeolojik çalışmalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Radyokarbon analiz değerleri 1950 yılına göre ilişkilendirilmektedir. Bu durum o yıllarda gerçekleşen termonükleer cihazların atmosferik testlerine bağlıdır. Bu testler 1954 ile 1963 yılları arasında atmosferik karbon seviyelerinin artmasına neden olmuştur ve bu karbon besin zinciri yoluyla organizmaların vücutlarına girmiştir. Radyokarbon seviyelerinin bu değişimi bomba eğrisi olarak adlandırılmıştır. Radyokarbon seviyelerinin ölçümü ile ölümün 1950 öncesi ya da sonrasında gerçekleştiği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Yapılan çalışmalarda aynı kişiden alınan farklı kemik

örneklerinde farklı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Böylece bu yöntemin kemik türüne göre değişiklik gösterdiği anlaşılmıştır. Aynı zamanda ölüm anındaki yaşın da bu yöntemi etkileyebileceği düşünülmüştür. Çalışmalar sonucunda kemiklerinin radyokarbon içeriği ile ölüm anındaki troposferik değerler arasında daha belirgin bir fark görülmektedir (Ubelaker ve Parra, 2011). Çevresel koşullar ve kişinin yaşadığı coğrafya da ölümden sonra ölçülen radyokarbon seviyelerini etkileyebilmektedir. Gerek yarılanma ömrünün uzunluğu gerekse çevresel koşullardan, kişinin yaşından ve farklı kemiklerde farklı sonuçlar ortaya çıkarmasından bu yöntemin adli olgularda uygulanabilirliği pek de mümkün gözükmemektedir.

Çevresel ve bireysel koşullardan etkilenmeyen, yarılanma ömrü kısa, kemik dokuda tespit edilebilecek miktarda bulunan radyoaktif izotoplara ihtiyaç duyulmuştur. Stronsium, Radon, Pollonium, Plumbum gibi radyoizotop ölçümelerini içeren çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Stronsiyum-90 (Sr90), 1945-1979 yılları arasında atmosferde gerçekleştirilen atom bombası testlerinin yapay nükleer fisyon ürünüdür. Daha sonraki yıllarda atmosfere yayılmıştır. Zaman içinde troposferi aşarak yer altı sularına ulaşır kökler aracılığıyla bitki örtüsüne fotosentez yoluyla geçiş yapmaktadır. Bu radyoaktif kalıntılar besin zincirine geçerek canlılar tarafından alınıp, bağırsak mukozasından emilip iskelet sisteminin matriksine yerleşmektedir. Scrag vd., tarafından Sr90 için de bomba eğrisi grafiği oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalarda Sr90 aktivite limiti 25mBq/Ca kabul edilmiştir. Aktivitesi 100 mBq/gCa üzerine çıktığında, ölümün 1963 yılı civarında meydana geldiği tahmin edilmektedir (Schrag vd., 2012). Plumbum-210 ise insan vücudunda, besin zinciri ve kemik dokuda bulunan Radon-226'nın çözünmesi sonucu yer almaktadır. Yarılanma ömrü 22,3 yıl olması nedeniyle son dönemlerde ölüm zamanı tahmini açısından değerlendirilen yöntemler arasında bulunmaktadır. Pb-210 ve Sr90 beraber kullanıldığı çalışmalar sonucunda daha uzun PMI olgularda Pb-210 seviyesinin azaldığı görülmüştür. Ancak hala kemiklerdeki aktivite değeri net olarak bilinmemektedir. Radyoaktif izotoplar ölüm zamanı tespiti açısından umut verici yöntemlerdir. Ancak bu yöntemlerin geliştirilmesi açısından ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

"Spektroskopi" terimi, madde ile elektromanyetik radyasyon arasındaki etkileşimleri içermekte olup günümüzde farklı bilimsel alanlarda kullanılmaktadır. Kızılötesi spektroskopi, kızılötesi aralıktaki radyasyonla kimyasal bağların titreşimsel uyarılmasına dayanmaktadır. Raman Spektroskopi (RS) ise genellikle görünür, yakın kızılötesi veya yakın ultraviyole aralığındaki bir lazerden gelen monokromatik bir ışık kaynağı kullanarak titreşimli bir teknik

sunmaktadır. Bu yöntem, iskelet kalıntılarını tanımlamak için ideal olduğu düşünülmektedir. Ortiz-Herrero vd. tarafından yapılan çalışmada PMI 15 ila 87 yıl arasında değişen 53 insan iskeleti Raman spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. 14 doğrulama örneğinden 10'unun ölüm zamanları %30'dan daha az bir doğruluk hatasıyla belirlenmiştir; bu da Raman spektroskopisinin PMI tahmini için bir yöntem olarak umut vaat ettiğini ortaya koymaktadır (Ortiz-Herrero vd., 2021). Nagy ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada kızılötesi spektroskopisi kullanılarak sadece arkeolojik olgularda izlenen frankolit isimli inorganik bir bileşen tespit etmişlerdir. Frankolitin PMI tayini sırasında arkeolojik ve adli kemikler arasında ayırım yapmak için yararlı bir belirteç olarak hizmet edebileceği düşünülmüştür (Nagy vd., 2008). Spektroskopi kullanılarak ölüm zamanı tahmini için ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, uzun vadeli PMI tahmininde gelişmelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Özellikle bu yöntemin uygulanabilirliği ile ilgili ülkemizdeki çalışmalarda eksiklikler bulunmaktadır. Aynı zamanda bu yöntemin maliyetinin yüksek ve zaman alıcı olması bu yöntemin dezavantajları arasında yer almaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde iskeletten ölüm zamanı tahmini amacıyla kullanılan ve bu alanda kullanılmak üzere üzerine çalışmalar yapılan yöntemler avantajları, dezavantajları ve rutinde uygulanabilirlikleri açısından incelenmiştir.

Ölüm gerçekleşikten sonra yumuşak doku bütünlüğü korunduğu erken postmortem dönemlerde çeşitli biyokimyasal belirteçler geçen süreç hakkında bilgi vermektedir. Dekompozisyon süreci ilerlediğinde yumuşak doku kaybolarak iskelet doku açığa çıkmaktadır. Ancak iskeletleşmenin gerçekleşmesi için gereken zaman konusunda hala ortak uzlaşma oluşamamıştır. Bu sürecin çevresel ve bireysel faktörlerden etkilenmesi ölümün ne zaman gerçekleştiği hakkında yorum yapmayı zorlaştırmaktadır. Kalıntıların açık veya kapalı alanda, suda ya da gömülü bir şekilde bulunması, ortam sıcaklığı ve nemi, ortamda yırtıcıların varlığı gibi çeşitli faktörler iskeletleşmeyi hızlandırıp yavaşlatabilmektedir. Kemiklerin makroskobik görünümüne ve kemiklerdeki morfolojik süreçlere göre yapılan değerlendirmeler her zaman doğru sonuçlar vermemektedir. Her olgu için adli entomolojik incelemeler yapmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle uygulanması kolay, kısa sürede yanıt sağlayan, düşük maliyetli, tafonomik koşullardan etkilenmeyen yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, ülkemizde bu alanda yeterli sayıda çalışmanın bulunmaması, bu alanda daha fazla araştırmaya ve gelişmeye olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Her vaka özellikleri bakımından kendi içerisinde değerlendirilmelidir. Kemiklerin bulunduğu çevresel koşullar, elde edilen kemik dokuların türü ve kemiklerdeki hasar derecesi gibi birçok faktör dikkate alınarak olguya spesifik ölüm zamanı tahmini yöntemi kullanılmalıdır.

Kemiluminesans, UV floresans, radyoizotop analizleri, spektroskopi gibi gelişmiş tekniklerle yapılan çalışmalar, iskeletten elde edilen verilerin daha detaylı ve güvenilir bir biçimde yorumlanabilmesine imkân tanımaktadır. Bu yöntemlerin kombine edilmesi, birbirini tamamlayan verilerin kullanılmasıyla ölüm zamanı tahmininin doğruluğunu artırabilmektedir. Her yöntemde olduğu gibi bu tahmin yöntemlerinin de avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Her ne kadar bu analitik teknikler ölüm zamanı tahmini açısından kanıtlanmış ve rutinde kullanılan yöntemler olmasa da umut verici yöntemler olarak görülmektedir. Bu yöntemlerin doğruluğunun kanıtlanması amacıyla ölüm zamanı bilinen farklı olguların kullanıldığı çalışmalar yapılmalıdır. Bu sayede bu yöntemler pratikte kullanılabilecektir. Aynı zamanda ölüm zamanı açısından verilen geniş aralıklar yerine daha yakın sonuçlara ulaşılabilecek ve geleneksel yöntemlere bağlı gözlenen hatalarda azalmalar

olacaktır.İskeletten ölüm zamanı tahmini yöntemleri, adli tıp ve antropoloji pratiğinde değerli araçlardır, ancak bu yöntemlerin uygulanması ve yorumlanması sırasında dikkatli olunmalıdır. Bu yöntemlerin standartlaştırılması, ölüm zamanı tahmininin daha kesin ve güvenilir bir hale gelmesine katkı sağlayabilmektedir. Gelecekteki çalışmalar, bu yöntemlerin daha da geliştirilmesi ve standartlaştırılması için çaba harcanması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu, adli tıp alanındaki profesyonellerin doğru ve güvenilir ölüm zamanı tahminleri yapmalarına yardımcı olacak ve adalet sistemine önemli katkılarda bulunacaktır.

Sonuç olarak, iskeletten ölüm zamanı tahmini, multidisipliner bir yaklaşım gerektiren bir araştırma alanı olup karşılaşılan her olgu kendi koşullarına göre değerlendirilmelidir. Günümüzde ileri araştırmalar ve teknolojik ilerlemelerle birlikte rutinde kullanılabilecek, düşük maliyetli, kolay uygulanabilir ve çevresel faktörlerden etkilenmeyen yeni bir yönteme ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alaeddini, R., Ahmadi, M., Walsh, S. J., & Abbas, A. (2011). Semi- quantitative PCR analysis of DNA degradation. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 43(1). <https://doi.org/10.1080/00450618.2010.498026>
- Alotaibi, S. S., Sayed, S. M., Alosaimi, M., Alharthi, R., Banjar, A., Abdulqader, N., & Alhamed, R. (2020). Pollen molecular biology: Applications in the forensic palynology and future prospects: A review. *Saudi journal of biological sciences*, 27(5), 1185–1190. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.02.019>
- Ambers A. (2023) Skeletal microstructure, bone diagenesis, optimal sample selection, and pre-processing preparation techniques for DNA testing. *Forensic Genetic Approaches for Identification of Human Skeletal Remains: Challenges, Best Practices, and Emerging Technologies*. (ss. 81–117).
- Amendt, J., Richards, C. S., Campobasso, C. P., Zehner, R., & Hall, M. J. R. (2011). F Forensic entomology: applications and limitations. *Forensic science, medicine, and pathology*, 7(4), 379–392. <https://doi.org/10.1007/s12024-010-9209-2>
- Babapulle, C. J., & Jayasundera, N. P. K. (1993). Cellular changes and time since death. *Medicine, science, and the law*, 33(3), 213–222. <https://doi.org/10.1177/002580249303300306>
- Baide, A., Farber, C., Krimmer, M., Wescott, D., & Kurouski, D. (2020). Non-invasive post-mortem interval diagnostics using a hand-held Raman spectrometer. *Forensic Chemistry*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100270>
- Berg, S., & Specht, W. (1958). Untersuchungen zur Bestimmung der Liegezeit von Skeletteilen. *Deutsche Zeitschrift für die Gesamte Gerichtliche Medizin*, 47(2). <https://doi.org/10.1007/BF00664610>
- Bertoluzza, A., Brasili, P., Castrí, L., Facchini, F., Fagnano, C., & Tinti, A.R. (1997). Preliminary Results In Dating Human Skeletal Remains By Raman Spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy*, 28, 185-188.
- Boaks, A., Siwek, D., & Mortazavi, F. (2014). The temporal degradation of bone collagen: A histochemical approach. *Forensic science international*, 240, 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.04.008>
- Brown, M.A., Bunch, A.W., Froome, C., Gerling, R., Hennessy, S. & Ellison, J. (2018). Citrate Content of Bone as a Measure of Postmortem Interval: An External Validation Study. *Journal Forensic Sciences*, 63: 1479-1485. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13716>
- Buikstra, J. E. and Ubelaker, D. (1994). Standards for data collection from human skeletal remains. Research series no. 44. Fayetteville, Arkansas: Arkansas archeological survey research series no 44.
- Caccianiga, M., Caccia, G., Mazzarelli, D., Salsarola, D., Poppa, P., Gaudio, D., Cappella, A., Franceschetti, L., Tambuzzi, S., Maggioni, L., & Cattaneo, C. (2021). Common and much less common scenarios in which botany is crucial for forensic pathologist and anthropologists: a

series of eight case studies. *International journal of legal medicine*, 135(3), 1067–1077. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02456-0>

Cappella, A., Gibelli, D., Muccino, E., Scarpulla, V., Cerutti, E., Caruso, V., Sguazza, E., Mazzarelli, D., & Cattaneo, C. (2018). The comparative performance of PMI estimation in skeletal remains by three methods (C-14, luminol test and OHI): analysis of 20 cases. *International journal of legal medicine*, 132(4), 1215–1224. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1152-z>

Choi, K. M., Zissler, A., Kim, E., Ehrenfellner, B., Cho, E., Lee, S. I., Steinbacher, P., Yun, K. N., Shin, J. H., Kim, J. Y., Stoiber, W., Chung, H., Monticelli, F. C., Kim, J. Y., & Pittner, S. (2019). Postmortem proteomics to discover biomarkers for forensic PMI estimation. *International journal of legal medicine*, 133(3), 899–908. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02011-6>

Costa, I., Carvalho, F., Magalhães, T., Guedes De Pinho, P., Silvestre, R., & Dinis-Oliveira, R. J. (2015). Promising blood-derived biomarkers for estimation of the postmortem interval. *Toxicology Research*, 4(6), 1443–1452. <https://doi.org/10.1039/c5tx00209e>

Courtin, G. M., & Fairgrieve, S. L. (2004). Estimation of postmortem interval (PMI) as revealed through the analysis of annual growth in woody tissue. *Journal of forensic sciences*, 49(4), 781–783.

Creamer, J. I., and Buck, A. M. (2009). The assaying of haemoglobin using luminol chemiluminescence and its application to the dating of human skeletal remains. *Luminescence*, 24(5), 311–316. <https://doi.org/10.1002/bio.1110>

Çeker, D. (2018). Adli antropolojide yaş tahmini metodları. *Anthropology* (35), 35–54. https://doi.org/10.1501/antro_0000000352

Çeker, D., Sevim Erol, A., Pülümer Küçük, G. (2020) *Adli Antropoloji ve Kimliklendirme Sahada ve Laboratuvarında popüler metotlar*. Ankara: Nobel.

Ermida, C., Cunha, E., & Ferreira, M. T. (2022). Dating death: post mortem interval estimation of human skeletal remains. *Antropologia Portuguesa*, 39, 45–72. https://doi.org/10.14195/2182-7982_39_3

Ermida, C., Rosa, J., Cunha, E., & Ferreira, M. T. (2024). Postmortem interval estimation of human skeletonized remains through luminol chemiluminescence. *International journal of legal medicine*, 10.1007/s00414-024-03343-8.

Facchini, F. and Pettener, D. (1977). Chemical and physical methods in dating human skeletal remains. *American journal of physical anthropology*, 47(1), 65–70. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330470112>.

Fitzgerald, C. M. And Oxenham, M. (2009). Modelling time-since-death in Australian temperate conditions. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 41(1), 41(1):27–41 <https://doi.org/10.1080/00450610902935981>

Franceschetti, L., Amadasi, A., Bugelli, V., Bolsi, G., & Tsokos, M. (2023). Estimation of Late Postmortem Interval: Where Do We Stand? A Literature Review. *Biology*, 12(6), 783. <https://doi.org/10.3390/biology12060783>

Hancı I.H. (2002). *Adli Tıp ve Adli Bilimler*. (ss. 285–347). Ankara 2002; 1. Baskı.

- Hansen, J., Lesnikova, I., Funder, A. M. D., & Banner, J. (2014). DNA and RNA analysis of blood and muscle from bodies with variable postmortem intervals. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 10(3), 322-8. <https://doi.org/10.1007/s12024-014-9567-2>
- Henssge C. (1988). Death time estimation in case work. I. The rectal temperature time of death nomogram. *Forensic science international*, 38(3-4), 209–236. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(88\)90168-5](https://doi.org/10.1016/0379-0738(88)90168-5)
- Hoke, N., Grigat, A., Grupe, G., & Harbeck, M. (2013). Reconsideration of bone postmortem interval estimation by UV-induced autofluorescence. *Forensic science international*, 228(1-3), 176.e1–176.e1766. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.03.013>
- Introna, F., Jr, Di Vella, G., & Campobasso, C. P. (1999). Determination of postmortem interval from old skeletal remains by image analysis of luminol test results. *Journal of forensic sciences*, 44(3), 535–538.
- Iqbal, M. A., Ueland, M., & Forbes, S. L. (2018). Recent advances in the estimation of post-mortem interval in forensic taphonomy. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 52(1), 107–123. <https://doi.org/10.1080/00450618.2018.1459840>
- Jellinghaus, K., Urban, P. K., Hachmann, C., Bohnert, M., Hotz, G., Rosendahl, W., & Wittwer-Backofen, U. (2019). Collagen degradation as a possibility to determine the post-mortem interval (PMI) of human bones in a forensic context - A survey. *Legal medicine (Tokyo, Japan)*, 36, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2018.11.009>
- Kanz, F., Reiter, C., & Risser, D. U. (2014). Citrate content of bone for time since death estimation: Results from burials with different physical characteristics and known PMI. *Journal of Forensic Sciences*, 59(3), 753-763. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12341>
- Knight B. (1969). Methods of dating skeletal remains. *Medicine, science, and the law*, 9(4), 247–252. <https://doi.org/10.1177/002580246900900408>
- Knight, B., and Lauder, I. (1967). Proceedings of the british association in forensic medicine: Practical methods of dating skeletal remains: A preliminary study. *Medicine, Science and the Law*, 7(4). <https://doi.org/10.1177/002580246700700408>
- Koç, S., ve Can, M., (2011). *Birinci Basamakta Adli Tıp*. (ss 18-37). İstanbul: İstanbul Tabip Odası Yayınları.
- Kuroski, J. (2023, 8 Kasım). Inside The Body Farms Where Human Corpses Are Left Out To Decay. *All That Interesting*. <https://allthatsinteresting.com/body-farms>
- Lale, A., Balseven Odabaşı, A., Akçan, R., Heybet, E. R., & Tümer, A. R. (2016). Postmortem Interval in Skeletonized Body. *Turkish Journal of Forensic Medicine*, 30(1). <https://doi.org/10.5505/adlitip.2016.28247>
- Lee Goff M. (2009). Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental & applied acarology*, 49(1-2), 21–36. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9284-9>

- Leggett R. W. (1993). An age-specific kinetic model of lead metabolism in humans. *Environmental health perspectives*, 101(7), 598–616. <https://doi.org/10.1289/ehp.93101598>
- Libby, W. F., Anderson, E. C., & Arnold, J. R. (1949). Age Determination by Radiocarbon Content: World-Wide Assay of Natural Radiocarbon. *Science (New York, N.Y.)*, 109(2827), 227–228. <https://doi.org/10.1126/science.109.2827.227>
- Madea, B. (1994). Importance of supravitality in forensic medicine. *Forensic science international*, 69(3), 221–41. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(94\)90386-7](https://doi.org/10.1016/0379-0738(94)90386-7)
- Madea, B., Henßge, C., Reibe, S., & Tsokos, M. (2022). Postmortem Changes and Time since Death. *Handbook of Forensic Medicine, Second Edition: Volume 1-3 (C. 1)*. <https://doi.org/10.1002/9781119648628.ch7>
- Matuszewski S. (2021). Post-Mortem Interval Estimation Based on Insect Evidence: Current Challenges. *Insects*, 12(4), 314. <https://doi.org/10.3390/insects12040314>
- Megyesi, M. S., Nawrocki, S. P., & Haskell, N. H. (2005). Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *Journal of forensic sciences*, 50(3), 618–626.
- Meurs, J., Krap, T., & Duijst, W. (2019). Evaluation of postmortem biochemical markers: Completeness of data and assessment of implication in the field. *Science & justice: journal of the Forensic Science Society*, 59(2), 177–180. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2018.09.002>
- Mildenhall, D. C., Wiltshire, P. E., & Bryant, V. M. (2006). Forensic palynology: why do it and how it works. *Forensic science international*, 163(3), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.07.012>
- Nagy, G., Lorand, T., Patonai, Z., Montsko, G., Bajnoczky, I., Marcsik, A., & Mark, L. (2008). Analysis of pathological and non-pathological human skeletal remains by FT-IR spectroscopy. *Forensic science international*, 175(1), 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.05.008>
- Neis, P., Hille, R., Paschke, M., Pilwat, G., Schnabel, A., Niess, C., & Bratzke, H. (1999). Strontium90 for determination of time since death. *Forensic science international*, 99(1), 47–51. [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(98\)00175-3](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(98)00175-3)
- Ortiz-Herrero, L., Uribe, B., Armas, L. H., Alonso, M. L., Sarmiento, A., Irurita, J., Alonso, R. M., Maguregui, M. I., Etxeberria, F., & Bartolomé, L. (2021). Estimation of the post-mortem interval of human skeletal remains using Raman spectroscopy and chemometrics. *Forensic science international*, 329, 111087. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.111087>
- Perry, W. L., 3rd, Bass, W. M., Riggsby, W. S., & Sirotkin, K. (1988). The autodegradation of deoxyribonucleic acid (DNA) in human rib bone and its relationship to the time interval since death. *Journal of forensic sciences*, 33(1), 144–153. <https://doi.org/10.1520/jfs12445j>
- Pilmane, M., Salma-Ancane, K., Loca, D., Locs, J., & Berzina-Cimdina, L. (2017). Strontium and strontium ranelate: Historical review of some of their functions. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 78, 1222–1230. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.042>

- Procopio, N., Williams, A., Chamberlain, A. T., & Buckley, M. (2018). Forensic proteomics for the evaluation of the post-mortem decay in bones. *Journal of proteomics*, 177, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2018.01.016>
- Rainy H. (1869). On the Cooling of Dead Bodies as Indicating the Length of Time That Has Elapsed Since Death. *Glasgow medical journal*, 1(3), 323–330.
- Ramsthaler, F., Ebach, S. C., Birngruber, C. G., & Verhoff, M. A. (2011). Postmortem interval of skeletal remains through the detection of intraosseal hemin traces. A comparison of UV-fluorescence, luminol, Hexagon-OBTI®, and Combur® tests. *Forensic science international*, 209(1-3), 59–63. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.12.011>
- Ramsthaler, F., Kreutz, K., Zipp, K., & Verhoff, M. A. (2009). Dating skeletal remains with luminol-chemiluminescence. Validity, intra- and interobserver error. *Forensic science international*, 187(1-3), 47–50. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.02.015>
- Romanelli, M. C., Marrone, M., Veneziani, A., Gianciotta, R., Leonardi, S., Beltempo, P., & Vinci, F. (2015). Hypostasis and time since death: state of the art in Italy and a novel approach for an operative instrumental protocol. *The American journal of forensic medicine and pathology*, 36(2), 99–103. <https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000145>
- Sarabia, J., Pérez-Martínez, C., Hernández Del Rincón, J. P., & Luna, A. (2018). Study of chemiluminescence measured by luminometry and its application in the estimation of postmortem interval of bone remains. *Legal medicine (Tokyo, Japan)*, 33, 32–35. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2018.05.001>
- Schrag, B., Uldin, T., Mangin, P., Bochud, F., & Froidevaux, P. (2014). Dating human skeletal remains using ⁹⁰Sr and ²¹⁰Pb: Case studies. *Forensic Science International*, 234, 191–196. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.10.038>
- Schrag, B., Uldin, T., Mangin, P., & Froidevaux, P. (2012). Dating human skeletal remains using a radiometric method: biogenic versus diagenetic ⁹⁰Sr and ²¹⁰Pb in vertebrae. *Forensic science international*, 220(1-3), 271–278. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.03.014>
- Schwarcz, H. P., Agur, K., & Jantz, L. M. (2010). A new method for determination of postmortem interval: Citrate content of bone. *Journal of Forensic Sciences*, 55(6), 1516–1522. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01511.x>
- Shrestha, R., Kanchan, T., & Krishan, K. (2023). Methods of Estimation of Time Since Death. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Spradley, M. K. (2016). Metric methods for the biological profile in forensic anthropology: Sex, ancestry and stature. *Academic Forensic Pathology*, 6(3), 391–399. <https://doi.org/10.23907/2016.040>
- Sterzik, V., Holz, F., Ohlwärther, T. E. N., Thali, M., & Birngruber, C. G. (2018). Estimating the postmortem interval of human skeletal remains by analyzing their fluorescence at 365 and 490 nm. *International journal of legal medicine*, 132(3), 933–938. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1759-3>

- Sterzik, V., Jung, T., Jellinghaus, K., & Bohnert, M. (2016). Estimating the postmortem interval of human skeletal remains by analyzing their optical behavior. *International journal of legal medicine*, 130(6), 1557–1566. <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1395-3>
- Swift, B. (2006). The Timing of Death. In: Rutty, G.N. (eds) *Essentials of Autopsy Practice*. Springer, London. https://doi.org/10.1007/1-84628-026-5_8.
- Swift, B., Lauder, I., Black, S., & Norris, J. (2001). An estimation of the post-mortem interval in human skeletal remains: a radionuclide and trace element approach. *Forensic science international*, 117(1-2), 73–87. [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(00\)00451-5](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(00)00451-5)
- Şenbaş, Z.A. (2023). *Ölüm Zamanı Tahmininde İskelet Kasında mRNA Analizi* [Tıpta Uzmanlık Tezi]. İstanbul Üniversitesi
- Taylor, R. E., Suchey, J. M., Payen, L. A., & Slota, P. J., Jr (1989). The use of radiocarbon (^{14}C) to identify human skeletal materials of forensic science interest. *Journal of forensic sciences*, 34(5), 1196–1205.
- Thomas, P. (2003). *Forensic anthropology : the growing science of talking bones*. New York: Facts on File.
- Tozzo, P., Scrivano, S., Sanavio, M., & Caenazzo, L. (2020). The Role of DNA Degradation in the Estimation of Post-Mortem Interval: A Systematic Review of the Current Literature. *International journal of molecular sciences*, 21(10), 3540. <https://doi.org/10.3390/ijms21103540>
- Ubelaker, D.H. (2014), Radiocarbon Analysis of Human Remains: A Review of Forensic Applications. *Journal of Forensic Sciences*, 59: 1466-1472. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12535>
- Ubelaker, D. H. and Parra, R. C. (2011). Radiocarbon analysis of dental enamel and bone to evaluate date of birth and death: perspective from the southern hemisphere. *Forensic science international*, 208(1-3), 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.11.013>
- Ubelaker, D. H. and Zarenko, K. M. (2011). Adipocere: what is known after over two centuries of research. *Forensic science international*, 208(1-3), 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.11.024>
- Unluturk, O. and Sahin, M. (2017). The effect of remaining in water in estimation of time since death in skeletal remains. *Medicine Science*, 2017;6(1):139-43 <https://doi.org/10.5455/medscience.2016.05.8519>
- Ünlütürk, Ö. (2016). İskelet Kalıntılarından Ölüm Zamanı Tayininde Radyoizotop Analizleri. *The Bulletin of Legal Medicine*, 21(3). <https://doi.org/10.17986/blm.2016323752>
- Van den Berge, M., Wiskerke, D., Gerretsen, R. R., Tabak, J., & Sijen, T. (2016). DNA and RNA profiling of excavated human remains with varying postmortem intervals. *International journal of legal medicine*, 130(6), 1471–1480. <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1438-9>
- Işcan, M. Y., Loth, S. R., & Wright, R. K. (1984). Age estimation from the rib by phase analysis: white males. *Journal of forensic sciences*, 29(4), 1094–1104. <https://doi.org/10.1520/jfs11776j>

- Vass, A.A. (2001) Beyond the Grave—Understanding Human Decomposition. *Microbiology Today*, 28, 190-192.
- Wild, E., Golser, R., Hille, P., Kutschera, W., Priller, A., Puchegger, S., Rom, W., Steier, P., & Vycudilik, W. (1997). First ¹⁴C Results from Archaeological and Forensic Studies at the Vienna Environmental Research Accelerator. *Radiocarbon*, 40(1), 273–281. doi:10.1017/S0033822200018142
- Woess, C., Huck, C. W., Badzoka, J., Kappacher, C., Arora, R., Lindtner, R. A., Zelger, P., Schirmer, M., Rabl, W., & Pallua, J. (2023). Raman spectroscopy for postmortem interval estimation of human skeletal remains: A scoping review. *Journal of biophotonics*, 16(10), e202300189. <https://doi.org/10.1002/jbio.202300189>

