

Advanced Imaging Technologies in Archaeological Excavations and the Examination of Human Remains: Ethical and Legal Challenges

Seyyed Mohammad Bahreini¹, Enam Alhagh Gorgich², Auob Rustamzadeh^{3*}, Mohammad Hosseinzadeh Hesari⁴, Amir Raoofi^{5*}

1. Department of Law, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
2. Department of Anatomy, School of Medicine, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr, Iran
3. Assistant Professor, Department of Anatomical Sciences, School of Medicine, Cellular and Molecular Research Center, Research Institute for prevention of Non- Communicable Disease, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
4. Non-Communicable Diseases Research Center, Department of Operating Room, School of Allied Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
5. Assistant Professor, Department of Anatomy, Faculty of Medicine, Cellular and Molecular Research Center, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Received: 2026/05/11

Accepted: 2026/09/09

Abstract

Background and Objective: Ancient human remains are invaluable, non-renewable resources for reconstructing human biological, cultural, and social history. Non-invasive imaging techniques, including radiography, computed tomography (CT), and microCT, enable detailed anatomical and morphological assessment while preserving these irreplaceable materials. This study aimed to explore their utility in investigating ancient human remains while considering the legal and bioethical issues surrounding the imaging of human remains and historical objects.

Materials and Methods: This study was conducted as a narrative review. Relevant articles were collected and analyzed from Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar, and SID databases using keywords related to human remains, cultural heritage, medical imaging, and legal issues.

Results: The findings demonstrated that non-invasive imaging methods reduce physical damage caused by sampling and excavation while enabling detailed evaluation of internal structures, pathological analysis of hard and soft tissues, and differentiation between antemortem injuries and postmortem alterations. CT scanning also plays a significant role in authenticity assessment, dating, and scientific restoration of historical artifacts without physical destruction.

Conclusion: Non-invasive imaging represents a scientific, ethical, and strategic approach for balancing knowledge production, preservation of cultural heritage, and respect for human dignity. Sustainable application of these technologies requires the development of coherent legal and ethical frameworks.

*Corresponding Author:

Dr. Auob Rustamzadeh

Address: Department of Anatomical Sciences, School of Medicine, Cellular and Molecular Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Shahid Bahonar Blvd., Qazvin, Iran.

Dr. Amir Raoofi

Address: Department of Anatomical Sciences, Faculty of Medicine, Cellular and Molecular Research Center, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran.

Tel: +989903387194 - +989332308934

E-mail:

auob2020rustamzade@gmail.com
amirrezararaoofi@yahoo.com

Keywords Law and Legal regulations; Paleoimaging; Human remains; Historical artifacts; Destruction; Cultural heritage.

How to cite this article: Bahreini SM, Gorgich E, Rustamzadeh A, Hesari MH, Raoofi A., Advanced Imaging Technologies in Archaeological Excavations and the Examination of Human Remains: Ethical and Legal Challenges, Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 2026; 33(4):1199-1221. DOI: 10.30468/jsums.2026.8423.3416.

INTRODUCTION

Material cultural heritage and ancient human remains represent irreplaceable sources of historical, biological, and social information. The preservation and scientific investigation of these materials have become central concerns in archaeology, medical sciences, forensic studies, and cultural heritage law. Traditional invasive approaches such as autopsy, physical sampling, and destructive laboratory analyses have provided valuable scientific data; however, they may also cause irreversible damage to archaeological evidence and human remains. In recent decades, advances in non-invasive medical imaging technologies including computed tomography (CT), micro-CT, magnetic resonance imaging (MRI), radiography, and three-dimensional laser scanning have transformed archaeological and paleopathological investigations by enabling detailed internal analysis without physical destruction. Simultaneously, increasing attention has been directed toward the legal and ethical dimensions of handling historical objects and human remains, particularly regarding dignity, authenticity, conservation, ownership, and public display. This narrative review aimed to evaluate the role of invasive and non-invasive analytical methods, with particular emphasis on medical imaging techniques, in the identification, authentication, preservation, and dating of archaeological artifacts and ancient human remains. The study also examined the associated legal, ethical, and methodological challenges related to cultural heritage protection.

METHODOLOGY

A search of international and national scientific databases, including Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Taylor & Francis, and SID, was conducted for studies published between 2007 and 2025. Search terms included combinations of “Cultural heritage,” “Historical objects,” “Human remains,” “Medical imaging,”

“Imaging,” “Destruction,” and “Legal regulations.” Eligible studies included original articles, review papers, and policy documents addressing non-invasive imaging techniques such as CT, micro-CT, MRI, radiography, and virtual autopsy in archaeological or forensic contexts, as well as studies discussing legal, ethical, or conservation-related issues. Studies focused exclusively on destructive techniques without comparative or legal analysis were excluded. Extracted data were qualitatively analyzed according to methodological, archaeological, legal, and ethical themes.

RESULTS

The findings demonstrated that non-invasive imaging technologies significantly improved the preservation of archaeological integrity while providing high-resolution diagnostic information. CT scanning and related imaging modalities allow detailed visualization of skeletal trauma, pathological lesions, mummification techniques, postmortem alterations, and internal structures of historical artifacts without damaging the specimens. These methods contribute substantially to paleopathology, forensic identification, virtual reconstruction, authenticity assessment, conservation planning, and digital archiving. The review also highlights the emergence of “virtual autopsy” (Virtopsy) and virtual dental identification techniques (VIRIDENTOPSY) as reliable alternatives or complements to traditional invasive examinations. In addition, digital imaging and AI-assisted reconstruction offer new opportunities for restoration, museum preservation, insurance evaluation, and cultural heritage documentation in situations involving war, trafficking, or intentional destruction. From a legal and ethical perspective, the study emphasizes that destructive or chemically induced alterations to archaeological materials may constitute methodological harm to cultural heritage. International experiences reveal continuing debates concerning ownership,

public exhibition of human remains, ethical disclosure of biological information, and the absence of unified global regulations governing archaeological imaging and analysis. Although many countries have implemented laws related to excavation, trafficking prevention, and heritage conservation, standardized ethical and legal protocols for studying ancient human remains remain insufficient.

DISCUSSION

This narrative review examined the role of invasive and non-invasive analytical techniques, with particular emphasis on medical imaging, in the identification, authentication, preservation, and dating of archaeological artifacts and ancient human remains. It also addressed the legal, ethical, and methodological challenges associated with the protection and study of cultural heritage.

The findings demonstrated that non-invasive imaging technologies can substantially enhance the preservation of archaeological integrity. In particular, computed tomography (CT) and related imaging modalities enable detailed visualization of skeletal trauma, pathological lesions, mummification practices, postmortem changes, and the internal structures of historical artifacts. These techniques have contributed significantly to paleopathology, forensic identification, virtual reconstruction, authenticity assessment, conservation planning, and digital archiving. The review further highlighted the growing use of virtual autopsy (Virtopsy) and virtual dental identification (VIRIDENTOPSY) as reliable alternatives or complementary approaches to conventional invasive examinations.

Moreover, digital imaging and artificial intelligence-assisted reconstruction provide new opportunities for restoration, museum conservation, insurance assessment, and the documentation of cultural heritage affected by armed conflict, trafficking, or deliberate destruction. From a legal and ethical

perspective, the review emphasized that destructive procedures and chemically induced alterations to archaeological materials may constitute methodological harm to cultural heritage. International experience continues to reveal unresolved debates regarding ownership, the public display of human remains, the ethical disclosure of biological information, and the lack of harmonized global regulations governing archaeological imaging and analysis.

Although many countries have established legislation regarding excavation, trafficking prevention, and heritage conservation, standardized ethical and legal frameworks are still demanded for the study of ancient human remains.

CONCLUSIONS

Non-invasive imaging technologies (e.g., CT scan, MRI, radiography, and virtual autopsy) have fundamentally transformed archaeological and paleopathological research by enabling accurate scientific investigation while minimizing physical damage to irreplaceable cultural materials. Yet, the application of these technologies requires comprehensive interdisciplinary frameworks integrating archaeology, medicine, forensic science, ethics, and cultural heritage law. Standardized legal and ethical guidelines are essential to ensure the protection of human dignity, preservation of authenticity, prevention of methodological destruction, and sustainable conservation of cultural heritage for future generations.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors sincerely thank the Vice-Chancellor of Research and Technology at Qazvin University of Medical Sciences, the Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, and Saadat Abad Imaging Center for their valuable support and assistance in this study.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicting interests.

فناوری‌های نوین تصویربرداری در کاوش‌های باستان‌شناسی و بررسی بقایای انسانی: چالش‌های اخلاقی و حقوقی

سید محمد بحرینی^۱، انعام الحق گرگیچ^۲، ایوب رستم زاده^{۳*}، محمد حسین زاده حصاری^۴، امیر رئوفی^{۵*}

۱. گروه حقوق خصوصی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران
۲. استادیار، گروه آناتومی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه علوم تشریح، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات سلولی و مولکولی، پژوهشکده پیشگیری از بیماری‌های غیر واگیر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۴. مرکز تحقیقات بیماری‌های غیر واگیر، گروه اتاق عمل، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۵. دانشیار، گروه علوم تشریح، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات سلولی و مولکولی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: بقایای انسانی باستانی از مهم‌ترین منابع غیرقابل تجدید برای بازسازی تاریخ زیستی، فرهنگی و اجتماعی بشر به‌شمار می‌روند. با وجود ارزش علمی بالای روش‌های تهاجمی سنتی، این روش‌ها می‌توانند موجب تخریب غیرقابل بازگشت آثار تاریخی و ایجاد چالش‌های حقوقی و اخلاقی شوند. پیشرفت فناوری‌های تصویربرداری پزشکی غیرتهاجمی مانند رادیوگرافی، CT، micro-CT و MRI، تحول چشمگیری در مطالعات باستان‌شناسی، پزشکی قانونی و میراث فرهنگی ایجاد کرده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه به‌صورت مرور روایی (Narrative Review) انجام شد. مقالات مرتبط از پایگاه‌های Web of Science، ScienceDirect، Scopus، Google Scholar و SID با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط با بقایای انسانی، میراث فرهنگی، تصویربرداری پزشکی، قوانین، مسائل و چالش‌های حقوقی گردآوری و بررسی شدند. یافته‌ها نشان داد که روش‌های تصویربرداری غیرتهاجمی، ضمن کاهش مسئولیت‌های قانونی ناشی از مداخلات تهاجمی، کاهش آسیب فیزیکی حاصل از نمونه‌برداری و کاوش را فراهم می‌کنند. CT اسکن، نقش مهمی در تعیین اصالت، قدمت‌نگاری و مرمت علمی آثار تاریخی بدون تخریب فیزیکی ایفا می‌کند.

نتیجه‌گیری: تصویربرداری باستانی غیرتهاجمی رویکردی علمی، اخلاق‌مدار و راهبردی برای ایجاد تعادل میان تولید دانش، حفاظت از میراث فرهنگی و احترام به کرامت انسانی است و استفاده پایدار از این فناوری‌ها نیازمند تدوین چارچوب‌های قانونی و اخلاقی منسجم می‌باشد.

*نویسنده مسئول: ایوب رستم زاده،

امیر رئوفی

نشانی: گروه علوم تشریح، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات سلولی و مولکولی، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، بلوار شهید باهنر، قزوین، ایران.

تلفن: +۹۸۹۹۰۳۳۸۷۱۹۴

گروه علوم تشریح، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات سلولی و مولکولی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران.

تلفن: +۹۸۹۳۳۲۳۰۸۹۳۴

رایانامه:

auob2020rustamzade@gmail.com
om
amirrezaraooofi@yahoo.com

شناسه ORCID:

0000-0002-8246-5631
0000-0001-7402-1726

شناسه ORCID نویسنده اول:

0000-0001-5036-8784
DOI:
10.30468/jsums.2026.8423.34
16

کلیدواژه‌ها:

قانون و مقررات حقوقی، تصویربرداری باستانی، بقایای انسانی، آثار تاریخی، تخریب، میراث فرهنگی.

۱. مقدمه

میراث فرهنگی مادی و بقایای انسانی باستانی، به‌عنوان منابعی غیرقابل تجدید از اطلاعات تاریخی، زیستی و اجتماعی، نقشی اساسی در بازسازی گذشته بشر دارند و حفاظت از آن‌ها به یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهش‌های معاصر در حوزه‌های علوم انسانی، پزشکی و حقوق تبدیل شده است (۱-۴). این میراث، اعم از اشیاء منقول، محوطه‌ها و بناهای تاریخی و مظاهر فرهنگی مرتبط، حامل شواهدی از تحولات اجتماعی، فرهنگی و زیستی جوامع گذشته است (۵-۹). با توجه به ماهیت غیرقابل تجدید منابع باستان‌شناسی، هرگونه تخریب، جابه‌جایی غیرقانونی یا خروج آثار از بستر اصلی کشف، منجر به از دست رفتن/خسده به اطلاعات تاریخی غیرقابل بازگشت می‌شود (۱۰، ۱۱). باستان‌شناسان به‌عنوان تحلیل‌گران تاریخ و کارآگاهان تشخیص و اصالت‌سنجی یافته‌های باستان‌شناسی، وظیفه حفظ و استخراج وقایع و حقایق تاریخی را بر عهده دارند (۱۲). تکنیک‌های پیشرفته و فناوری‌های نوین در نحوه جمع‌آوری، ذخیره، تحلیل و تفسیر اطلاعات آثار تاریخی، امکان پردازش و تشخیص موثر حجم وسیعی از داده‌ها را برای باستان‌شناسان فراهم نموده است. از طرفی، رشته باستان‌شناسی به دلیل زوایا و ابعاد مختلف آن، نیاز به مطالعات میان رشته‌ای با تخصص‌های جدید مانند علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی، رادیولوژی، حقوق، جامعه‌شناسی، آناتومی و بافت‌شناسی، پاتولوژی و میکروبیولوژی و جنبه‌های اخلاقی دارد (۱۳، ۱۴). باستان‌سنجی حوزه تحقیقاتی بین‌رشته‌ای است که با استفاده از روش‌های شیمیایی، فیزیکی، بیولوژی و پزشکی بر مبنای اصول و مقررات حقوقی تلاش می‌کند تا به سؤالات پژوهشی این حوزه به‌صورت علمی و کاربردی پاسخ دهد (۱۵). مطالعات باستان‌سنجی و قدمت‌نگاری از منظر میزان تخریب و حفظ اصالت اشیاء، غالباً با دو روش تهاجمی و غیرتهاجمی انجام می‌شود که در ادامه به معایب و مزایای هر کدام پرداخته می‌شود. طیف‌سنجی رامان (Raman spectroscopy) به‌عنوان یکی از روش‌های تهاجمی، کاربرد زیادی در باستان‌سنجی داشته و اغلب در تحلیل آثار هنری به‌عنوان گزینه کاربردی استفاده می‌شود. در حالت ایده‌آل، استخراج اطلاعات باید تا حد امکان کمترین صدمه و آسیب را به آثار وارد نماید.

چندین تکنیک غیرتهاجمی مانند رادیوگرافی، انعکاس مادون قرمز (Infrared reflectography)، میکروسکوپ دیجیتال ۳بعدی (3D-digital microscopy)، فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، طیف سنجی فیبر نوری (FOS) و سی‌تی اسکن (CT scan) وجود دارد که در تحلیل‌های آزمایشگاهی، بسیار کاربردی و غیرمخرب هستند. از این رو می‌توان یافته‌های باستان‌شناسی را برای مطالعات آینده حفظ و نگهداری کرد (۱۵، ۱۶). اسکن لیزری به‌عنوان یک روش غیرتهاجمی دیگر کاربردهای مختلفی در بررسی آثار تاریخی در نقاط مختلف دنیا مانند کلیسای نوتردام (پاریس)، کاخ سلطنتی مادرید (اسپانیا) و مجسمه آزادی نیویورک و تئاتر خانه آپرا (آمریکا) به‌منظور حفاظت از میراث ایفا کرده است (۱۷). این تکنیک همانند CT Scan امکان بازسازی دیجیتال مجسمه‌ها، قطعات معماری و آثار هنری و ساخت ماکت توسط صنعت‌گران را بدون تخریب و صدمه به اثر فراهم می‌کند (۱۸، ۱۹). در دهه‌های اخیر، توسعه فناوری‌های تصویربرداری پزشکی و روش‌های غیرتهاجمی، رویکردهای سنتی و اغلب مخرب در مطالعه آثار تاریخی و بقایای انسانی را به‌طور بنیادین دگرگون کرده است (۱۴، ۲۰، ۲۱). همچنین، تکنیک‌های باستان‌سنجی دیگری به نام باستان‌سنجی مولکولی وجود دارد که در سال‌های اخیر به دلیل توسعه فناوری‌های مولکولی مانند پروتئومیکس، ژنومیکس، بررسی توالی ژنوم (DNA microarray)، سنجش برادفورد (Bradford Assay) و کریستالوگرافی اشعه ایکس (x-ray crystallography) امکان بررسی بقایای انسانی و مواد بیولوژیکی را به‌خوبی فراهم نموده است (۱۴، ۲۲، ۲۳).

نحوه کاوش و انجام تحقیقات در سایت‌ها و محوطه‌ها و قدمت‌نگاری آثار باستانی یکی از موضوعات کلیدی در حقوق باستان‌شناسی است. صرف‌نظر از وضع قوانین و مقررات حقوقی برای جلوگیری از غارت و قاچاق غیرقانونی اموال فرهنگی، باید به ایجاد وحدت رویه در نحوه عملکرد تیم تحقیقاتی و استفاده صحیح از ابزارها و تکنیک‌های باستان‌سنجی با تکیه بر اصول اخلاقی و مبانی قانونی نیز پرداخته شود (۲۴). در سال‌های اخیر، شیوه موزه‌داری و به نمایش گذاشتن بقایای انسان به‌طور فزاینده‌ای مورد بحث قرار گرفته است. نمایش عمومی بقایای انسان در موزه‌ها، موضوعی بحث‌برانگیز برای گروه‌هایی (اقوام و نژادها) با حساسیت‌ها و باورهای متفاوت بوده که نظرات و

پزشکی قانونی و حقوق قرار دارد، انتخاب شد. از آنجا که مطالعات موجود از نظر طراحی پژوهش، نوع نمونه، فناوری‌های تصویربرداری، اهداف مطالعه و پیامدهای مورد بررسی ناهمگون بودند، امکان انجام مرور نظام‌مند همراه با متاآنالیز وجود نداشت. بنابراین، مطابق چارچوب SALSA (Search, Appraisal, Synthesis and Analysis)، فرایند جستجو، انتخاب، ارزیابی و سنتز مطالعات به صورت ساختارمند انجام گرفت.

منابع اطلاعاتی و راهبرد جستجو

جستجوی نظام‌مند منابع علمی در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed, Web of Science, Scopus, ScienceDirect و پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) انجام شد. به منظور دستیابی به جامع‌ترین شواهد موجود، علاوه بر جستجوی الکترونیک، فهرست منابع مقالات منتخب (Backward Citation Search) و همچنین مقالات استنادکننده به این منابع (Forward Citation Search) به صورت دستی بررسی شدند تا احتمال از نادیده ماندن مطالعات مرتبط کاهش یابد. کلیه مطالعات منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۵ با استفاده از ترکیبی از کلیدواژه‌های کنترل‌شده و واژگان آزاد، متناسب با ساختار هر پایگاه اطلاعاتی، جستجو شد. انتخاب این بازه زمانی با توجه به گسترش کاربرد فناوری‌های پیشرفته تصویربرداری غیرتهاجمی، از جمله CT, Micro-CT, MRI و سایر روش‌های نوین در مطالعات باستان‌شناسی، پزشکی قانونی و حفاظت از میراث فرهنگی، صورت گرفت. راهبرد جستجو با هدف شناسایی جامع مطالعات مرتبط با کاربرد فناوری‌های نوین تصویربرداری در کاوش‌های باستان‌شناسی و بررسی بقایای انسانی و همچنین تحلیل ابعاد اخلاقی و حقوقی این فناوری‌ها طراحی شد. بدین منظور، کلیدواژه‌ها بر اساس سه محور مفهومی اصلی شامل فناوری‌های تصویربرداری پزشکی، مطالعات باستان‌شناسی و میراث فرهنگی، و ملاحظات حقوقی و اخلاقی تدوین گردید. در حوزه فناوری‌های تصویربرداری، واژگانی نظیر Medical Imaging, Computed Tomography (CT), Micro-CT, Magnetic Resonance Imaging (MRI), Radiography, Cone Beam CT, Virtual

دیدگاه‌ها در این باره متفاوت است. برای مثال، نمایشگاه‌های بحث‌برانگیز Body Worlds جهت نمایش صریح بقایای انسان، مورد انتقاد بسیاری از بازدیدکنندگان قرار گرفت که آن را مخالف با اصول حقوقی و اخلاقی می‌دانستند (۲۵). استدلال‌های زیربنایی این موضوع دارای ابعاد چندگانه و پیچیده است. از یک طرف، آن‌ها جزء بافت‌ها و بقایای انسانی یک شخص هستند و از طرف دیگر لازمه تحلیل و استدلال‌ها در کشف حقایق تاریخی و راهنمای بسیاری از علوم نوین می‌باشند. روش‌های کلاسیک مبتنی بر کالبدگشایی، نمونه‌برداری فیزیکی و تخریب جزئی آثار، اگرچه اطلاعات ارزشمندی در اختیار پژوهشگران قرار می‌دادند، اما با چالش‌های جدی اخلاقی و حقوقی همراه بوده‌اند؛ به‌ویژه در مواردی که با بقایای انسانی سروکار دارد. از این‌رو، هنگام پرداختن به این موضوع، باید هر دو بُعد اخلاق حرفه‌ای و حقوقی در نظر گرفته شود (۱، ۲۴، ۲۶، ۲۷). در سه دهه گذشته، در بسیاری از کشورها، قوانین و دستورالعمل‌های حقوقی متفاوتی در مورد نحوه تشخیص اصالت و شناخت منشاء اشیاء تاریخی و بقایای انسانی و روش‌های تشخیصی باستان‌سنجی جهت بررسی موضوعاتی مانند احترام به کرامت متوفی، اهمیت شفاف‌سازی حقایق تاریخی و مسائل اخلاقی و فرهنگی وضع شده است (۴، ۲۸-۳۰). همچنین چارچوب‌های قانونی پیرامون حفاری، حفظ و مالکیت آثار و انجام تحقیقات در محوطه‌های تاریخی موضوعی پیچیده و همواره در حال تحول است که نیازمند تعادلی ظریف بین حفظ میراث فرهنگی و احترام به حقوق شخصی است (۳۱، ۳۲). این مطالعه به صورت یک مرور روایی (Narrative Review) با هدف بررسی نقش روش‌های تهاجمی و غیرتهاجمی، به‌ویژه تصویربرداری پزشکی، در قدمت‌نگاری و شناسایی اشیاء تاریخی و بقایای انسانی، همراه با تحلیل ابعاد حقوقی و اخلاقی مرتبط انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

طراحی مطالعه

مطالعه حاضر به صورت مرور روایی (Narrative Review) انجام شد. این رویکرد به دلیل ماهیت میان‌رشته‌ای موضوع پژوهش که در مرز علوم تصویربرداری پزشکی، باستان‌شناسی، انسان‌شناسی زیستی، حفاظت میراث فرهنگی،

در مقابل، مطالعاتی که صرفاً بر توسعه سخت‌افزار یا الگوریتم‌های تصویربرداری بدون کاربرد در مطالعات باستان‌شناسی یا میراث فرهنگی تمرکز داشتند، پژوهش‌های مرتبط با تصویربرداری بالینی بیماران زنده، مطالعات حیوانی، چکیده همایش‌ها، نامه به سردبیر، پایان‌نامه‌ها، گزارشات روزنامه‌ای و همچنین پژوهش‌هایی که صرفاً روش‌های مخرب (Destructive Techniques) را بدون مقایسه یا ارتباط با فناوری‌های تصویربرداری غیرتهاجمی بررسی کرده بودند، کنار گذاشته شدند.

سنتز و تحلیل داده‌ها

به دلیل ناهمگونی مطالعات از نظر طراحی پژوهش، نوع نمونه‌های باستان‌شناختی، فناوری‌های تصویربرداری مورد استفاده و پیامدهای مورد بررسی، امکان انجام متاآنالیز وجود نداشت. بنابراین، داده‌ها با استفاده از روش Narrative Thematic Synthesis تجزیه و تحلیل شدند. در این فرایند، یافته‌های مطالعات منتخب پس از استخراج و مقایسه، بر اساس شباهت‌های مفهومی در پنج محور اصلی شامل کاربرد فناوری‌های تصویربرداری پزشکی در مطالعات باستان‌شناسی، نقش روش‌های غیرتهاجمی در حفاظت و مستندسازی میراث فرهنگی، مزایا و محدودیت‌های فناوری‌های تصویربرداری، چالش‌های اخلاقی مرتبط با بررسی بقایای انسانی، و ملاحظات حقوقی شامل مالکیت فرهنگی، بازگرداندن بقایا (Repatriation) و استانداردهای بین‌المللی حفاظت از میراث فرهنگی طبقه‌بندی و سنتز شدند.

۳. نتایج

در جستجوی اولیه، مجموعاً ۱۹۶ رکورد از پایگاه‌های اطلاعاتی بازیابی شد. پس از حذف ۳۸ منبع تکراری، ۱۵۸ مطالعه برای بررسی عنوان و چکیده باقی ماند. در این مرحله، ۹۴ مطالعه به دلیل عدم ارتباط با اهداف پژوهش، از جمله تمرکز بر تصویربرداری بالینی، مطالعات حقوقی فاقد کاربرد در میراث فرهنگی یا عدم پرداختن به بقایای انسانی و آثار تاریخی، کنار گذاشته شدند. در ادامه، متن کامل ۶۴ مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت که از این میان، ۳۲ مطالعه به دلیل عدم انطباق با معیارهای ورود، نبود متن کامل، یا فقدان اطلاعات مرتبط با محورهای پژوهش حذف شدند. در نهایت، ۳۲ مطالعه واجد

Non-invasive Imaging و Autopsy (Virtopsy) مورد استفاده قرار گرفت. در حوزه باستان‌شناسی و میراث فرهنگی نیز کلیدواژه‌هایی شامل Archaeology، Archaeological Remains، Human Remains، Ancient Human، Mummies، Skeletal Remains، Cultural Heritage، Historical Objects، Museums، Bioarchaeology و Paleopathology به کار گرفته شد. همچنین برای پوشش ابعاد اخلاقی و حقوقی پژوهش از واژگان Legal Issues، Bioethics، Ethics، Legal Framework، Human Dignity، Conservation، Cultural Heritage Law، Rights، Ownership، Destructive Sampling، Ethics، Repatriation استفاده شد. کلیدواژه‌ها با بهره‌گیری از عملگرهای منطقی AND و OR و متناسب با ساختار هر پایگاه اطلاعاتی ترکیب شدند. نمونه‌ای از راهبرد جستجو به صورت زیر بود:

("Computed Tomography" OR CT OR Micro-CT OR MRI OR Virtopsy OR "Medical Imaging") AND ("Human Remains" OR Archaeology OR Mummies OR "Cultural Heritage") AND (Ethics OR Bioethics OR "Legal Issues" OR Conservation)

معیارهای انتخاب مطالعات

مطالعات بر اساس ارتباط مستقیم با اهداف پژوهش و پس از بررسی عنوان، چکیده و متن کامل انتخاب شدند. معیارهای ورود شامل مطالعات اصلی، مقالات مروری، مرورهای نظام‌مند و اسناد سیاستی در مجلات علمی داوری‌شده به زبان فارسی یا انگلیسی بود که به کاربرد فناوری‌های تصویربرداری پزشکی غیرتهاجمی، از جمله CT، Micro-CT، MRI، Radiography، Cone Beam CT یا Virtopsy در مطالعه بقایای انسانی، مومیایی‌ها، اسکلت‌های تاریخی، اشیاء باستانی یا سایر آثار میراث فرهنگی پرداخته بودند. همچنین مطالعاتی که حداقل به یکی از موضوعات مرتبط با حفاظت و مستندسازی آثار فرهنگی، بازسازی سه‌بعدی، پزشکی قانونی، ارزیابی غیرمخرب نمونه‌ها، چالش‌های اخلاقی، قوانین ملی یا بین‌المللی، حفاظت از بقایای انسانی یا مدیریت میراث فرهنگی پرداخته بودند و متن کامل آن‌ها در دسترس بود، بررسی شدند.

شرایط وارد سنتز روایی شدند. از این تعداد، ۲۱ مطالعه به کاربرد روش‌های تصویربرداری پزشکی غیرتهاجمی، از جمله CT، Micro-CT، MRI، Cone Beam CT، Radiography و Virtopsy در بررسی بقایای انسانی، مومیایی‌ها و آثار تاریخی پرداخته بودند و ۱۱ مطالعه ابعاد حقوقی، اخلاقی، حفاظتی و مدیریتی مرتبط با بررسی آثار فرهنگی و بقایای انسانی را تحلیل کرده بودند.

بازنگری جایگاه جرائم علیه میراث فرهنگی

به تعبیر دورکیم، جامعه شناس فرانسوی: "جرم، عملی است که وجدان جمعی را جریحه‌دار کند" (۳۳). با وجود نسبی بودن مفهوم جرم در نظام‌های حقوقی مختلف و وابستگی آن به بسترهای زمانی و مکانی، در حقوق ایران هر فعل یا ترک فعلی که برای آن مجازات قانونی پیش‌بینی شده باشد، جرم تلقی می‌شود و عدم تحویل اموال تاریخی-فرهنگی مکشوفه، حتی در صورت کشف اتفاقی، مصداق رفتار مجرمانه محسوب می‌گردد (۳۴-۳۶). اگرچه اموال تاریخی-فرهنگی عموماً در زمره اموال عمومی قرار می‌گیرند، قانون‌گذار با توجه به پیامدهای گسترده اجتماعی، فرهنگی و بین‌نسلی، جرایم علیه میراث فرهنگی را در ردیف جرایم علیه امنیت و آسایش عمومی طبقه‌بندی کرده است (۳۶، ۳۷). این جرایم شامل آسیب مستقیم به آثار تاریخی، انتقال و قاچاق غیرقانونی و تصرف یا بهره‌برداری غیرمجاز از محوطه‌ها و یافته‌های باستان‌شناسی می‌شود (۳۰، ۳۸، ۳۹). در این میان، تخریب آثار فرهنگی-تاریخی شدیدترین شکل جرم محسوب می‌شود؛ زیرا منجر به نابودی منابع غیرقابل جایگزین و حذف همیشگی داده‌های تاریخی می‌گردد (۴۰). از آنجا که کاوش‌های باستان‌شناسی ذاتاً فرایندهایی هدفمند، کنترل‌شده و مبتنی بر ثبت، تحلیل و تفسیر داده‌ها هستند، انتخاب روش‌های بررسی - به‌ویژه تمایز میان تکنیک‌های تهاجمی و غیرتهاجمی - نقشی تعیین‌کننده در پیشگیری از وقوع این دسته از جرایم ایفا می‌کند (۱۹). باستان‌شناسان موظفند با قوانین موضوعه و عرفی حاکم بر منطقه مورد مطالعه آشنایی کامل داشته باشند و فعالیت‌های میدانی را در چارچوب مقررات انجام دهند (۴۱). از دیدگاه باستان‌شناسان، تخریب آثار باستانی به‌طور کلی در دو دسته فیزیکی و شیمیایی/القایی طبقه‌بندی می‌شود (۴۲). تخریب فیزیکی شامل کاوش‌های غیرعلمی، جابه‌جایی بدون ضابطه

یافته‌ها و هرگونه مداخله افراد غیرمتخصص است که می‌تواند منجر به از بین رفتن غیرقابل بازگشت شواهد تاریخی شود؛ از این‌رو در صورت کشف اتفاقی بقایای انسانی یا اشیاء تاریخی، خودداری از جابه‌جایی و اطلاع‌رسانی فوری به متخصصان ذی‌صلاح الزامی است (۴۳، ۴۴). ثبت دقیق موقعیت مکانی یافته‌ها پیش از هرگونه برداشت، از اصول بنیادین کاوش علمی محسوب می‌شود؛ زیرا حذف آثار بدون مستندسازی مکانی، زمینه تاریخی، قابلیت تفسیر و ارزش علمی داده‌ها را از میان می‌برد (۴۵). در مقابل، تخریب شیمیایی/القایی عمدتاً ناشی از به‌کارگیری مواد خورنده نظیر اسیدها، قلیاها، عوامل اکسیدکننده یا حلال‌ها در بررسی نمونه‌های استخوانی و اشیاء تاریخی است که می‌تواند به تغییرات برگشت‌ناپذیر در ساختار مواد منجر شود (۴۶، ۴۷). به‌ویژه استفاده از مواد شیمیایی نظیر EDTA یا فرمالدئید و نیز منابع پرتوزا یا رادیو اکتیو مانند رادیو ایزوتوپ کربن-۱۴ برای فیکساسیون، رنگ‌آمیزی یا قدمت‌نگاری، می‌تواند موجب تغییرات بیوشیمیایی و بیوفیزیکی در بافت‌ها و اشیاء تاریخی گردد (۴۲، ۴۸، ۴۹). از آنجایی که تخریب‌های شیمیایی/القایی منجر به تخریب غیرمستقیم آثار در سطح میکروسکوپی می‌شوند (۵۰)، می‌توان آن را تحت شمول جرم تخریب آثار یا به اصطلاح جرم متدولوژیکال (Methodological crime) تلقی نمود (۳۰).

در مطالعات پزشکی قانونی و باستان‌شناسی، تصویربرداری رادیولوژیک از استخوان‌های خشک انسانی به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی غیرتهاجمی برای جمع‌آوری شواهد، تشخیص افتراقی و تحلیل آسیب‌ها و پاتولوژی‌ها به‌کار می‌رود (۱۶، ۵۱، ۵۲). در حالی که تصویربرداری پزشکی قانونی عمدتاً با هدف شناسایی فردی و بررسی مرگ‌های مشکوک انجام می‌شود (۵۳، ۵۴)، تصویربرداری باستان‌شناختی بیشتر بر بازسازی تاریخ زیستی و الگوهای اپیدمیولوژیک جمعیتی تمرکز دارد (۵۵-۶۰). در شرایطی که بقایای انسانی اغلب به‌صورت ناقص، قطعه‌قطعه و جداشده از اسکلت کامل کشف می‌شوند (۶۱)، تصویربرداری نقش مهمی در مستندسازی غیرمخرب و ایجاد امکان مقایسه با داده‌های پیش‌مرگ ایفا می‌کند. پیشرفت‌های اخیر در کاربرد تکنیک‌های غیرتهاجمی، به‌ویژه CT اسکن، افق‌های نوینی برای بررسی نمونه‌های استخوانی، آثار چوبی،

(۶۹).

راهکار حقوقی برون‌رفت از دوگانگی رویکردها

برای حل این تعارض نظری، پیشنهاد می‌شود از یک «الگوی حقوقی ترکیبی» استفاده شود که در آن بقایای انسانی هم‌زمان دارای دو وصف باشند: (۱) «جسد انسانی» مشمول حمایت‌های حقوق شخصیت و حرمت جسد و (۲) «مال فرهنگی» مشمول حاکمیت دولت و مقررات میراث فرهنگی. در این الگو، هرگاه تعارضی میان این دو وصف رخ دهد، اصل بر تقدم «حرمت انسانی» است مگر در مواردی که منافع علمی برتر و ضروری باشد و با کمترین مداخله ممکن (اصل تناسب) قابل دستیابی باشد. فناوری‌های تصویربرداری غیرتهاجمی دقیقاً در این نقطه تعادل قرار می‌گیرند: آن‌ها امکان تولید دانش علمی را بدون نقض حرمت فیزیکی کالبد فراهم می‌سازند (۲، ۴، ۲۴، ۲۶).

جایگاه فناوری‌های نوین در پیاده‌سازی همزمان**تحقیقات/حفظ میراث فرهنگی**

در نظام حقوقی ایران، حفاظت از میراث فرهنگی و بقایای انسانی باستانی بر پایه چندین لایه قانونی استوار است که تحلیل آن‌ها برای درک جایگاه فناوری‌های تصویربرداری غیرتهاجمی ضروری است. بر اساس ماده ۲ قانون راجع به حفظ آثار ملی (مصوب ۱۳۰۹ با اصلاحات بعدی) کلیه اشیاء و بناهای تاریخی کشف‌شده، جزء اموال عمومی و تحت مالکیت انحصاری دولت قرار می‌گیرند. این حکم قانونی، بقایای انسانی باستانی را نیز در زمره اموال فرهنگی عام‌المنفعه قرار می‌دهد که دولت به‌عنوان امین نسل‌های حاضر و آینده، مسئولیت حفاظت از آن‌ها را بر عهده دارد. از منظر حقوقی، روش‌های تهاجمی سنتی (مانند نمونه‌برداری فیزیکی یا شیمیایی) ماهیتاً موجب تغییر در جوهره اثر و نوعی «تصرف مادی» در مال غیرمنقول دولتی محسوب می‌شود که نیازمند مجوزهای خاص و توجیه علمی قوی است. در مقابل، تصویربرداری غیرتهاجمی (مانند CT، MRI و اسکن لیزری) با استخراج اطلاعات بدون سلب تصرف فیزیکی یا تغییر در بافت اثر کاملاً با حق مالکیت دولت و اصل «حفظ عین اثر» در حقوق اموال ایران منطبق است (۱۸، ۷۰). قانون‌گذار برابر مواد ۵۵۹ تا ۵۶۳ قانون مجازات اسلامی (کتاب تعزیرات) انواع جرایم علیه میراث فرهنگی را پیش‌بینی کرده است. ماده ۵۵۹ این قانون، هرگونه تخریب یا آسیب به آثار تاریخی را جرم‌انگاری کرده و ماده ۵۶۰ هرگونه حفاری بدون

نخی، شیشه‌ای، فلزی و اشیاء سنگی گشوده است (جداول ۲ و ۳). این تمایز از منظر حقوقی و حفاظتی دارای اهمیت بنیادین است، زیرا تصویربرداری غیرتهاجمی امکان بررسی دقیق تروماهای پیش از مرگ را فراهم کرده و از این طریق می‌توان آسیب‌های واقعی را از تغییرات پس‌امرگ مرتبط با فرایندهای حفظ و نگهداری تفکیک نمود؛ امری که نقش مهمی در مطالعات پالئوپاتولوژی دارد و حفظ یکپارچگی شواهد را به‌عنوان یکی از اصول اساسی حقوق میراث فرهنگی تضمین می‌کند (۶۲، ۶۳) (شکل ۱). افزون بر این، تصویربرداری غیرتهاجمی به شفاف‌سازی حقایق تاریخی از جمله تعیین جنسیت فرد مکشوفه و بازسازی شرایط زیست‌محیطی و زیستگاه‌های انسانی کمک می‌کند (شکل ۲).

تبیین جایگاه حقوقی بقایای انسانی

یکی از بنیادی‌ترین چالش‌های نظری در حقوق میراث فرهنگی، تعیین وضعیت حقوقی بقایای انسانی باستانی است. این بقایا در یک دوگانگی حقوقی قرار دارند که تحلیل آن برای تدوین چارچوب‌های قانونی ضروری است:

الف- بقایای انسانی به‌عنوان جسم/انسانی برخوردار از حرمت: از منظر اصول و مبانی فقه اسلامی، بدن انسان حتی پس از مرگ، از حرمت ذاتی برخوردار است و نمی‌توان آن را به‌طور مطلق در زمره «اشیاء» یا «اموال» قرار داد. این دیدگاه که ریشه در کرامت انسانی دارد، مستلزم احترام به بقایا، خودداری از نمایش عمومی تحقیرآمیز و محدودیت در مداخلات تهاجمی است. در اسناد بین‌المللی نیز این رویکرد دیده می‌شود؛ برای مثال، اعلامیه جهانی یونسکو درباره تنوع فرهنگی (۲۰۰۲) و اعلامیه حقوق اقوام بومی (۲۰۰۸) بر احترام به باورهای جوامع محلی نسبت به اجدادشان تأکید دارند (۶۴-۶۶).

ب- بقایای انسانی به‌عنوان مال فرهنگی: در مقابل، از دیدگاه حقوق میراث فرهنگی، بقایای انسانی باستانی به‌دلیل دارا بودن ارزش تاریخی، باستان‌شناختی و علمی، در زمره اموال فرهنگی طبقه‌بندی می‌شوند. بر اساس ماده ۲ قانون حفظ آثار ملی ایران، این بقایا جزء اموال عمومی و تحت حاکمیت دولت هستند. این وضعیت حقوقی، به دولت اجازه می‌دهد تا ضوابط کاوش، نگهداری، پژوهش و نمایش آن‌ها را تعیین کند. همچنین، این دیدگاه امکان بهره‌برداری علمی از بقایا برای بازسازی تاریخ زیستی و فرهنگی بشر را فراهم می‌سازد (۲، ۶۷-۶۹).

مجاز را ممنوع دانسته است. در رویه قضایی و دکترین حقوقی ایران، «تخریب» تنها محدود به نابودی فیزیکی کامل نیست، بلکه هرگونه مداخله‌ای که ارزش تاریخی یا اصالت اثر را مخدوش کند (تخریب متدولوژیکال) می‌تواند مصداق این جرم باشد. استفاده از روش‌های غیرتهاجمی، ریسک تحقق مادی جرم تخریب (موضوع ماده ۵۵۹) را به صفر می‌رساند و برای پژوهشگران و موزه‌داران، یک «سپر دفاعی حقوقی» در برابر اتهامات کیفری ناشی از آسیب به آثار ایجاد می‌کند (۷۱).

در حقوق ایران که مبتنی بر فقه امامیه است، اصول «حرمت میت» و ممنوعیت «نبش قبر» از قواعد آمره محسوب می‌شوند. از این رو، کالبدشکافی تهاجمی (Autopsy) بر روی بقایای انسانی باستانی، حتی با اهداف علمی، از منظر فقهی و حقوق داخلی با چالش‌های جدی مواجه است و می‌تواند مصداق هتک حرمت میت تلقی گردد. این اقدام بر اساس ماده ۶۳۴ قانون مجازات اسلامی (تعزیرات) تحت عنوان نبش قبر بدون مجوز قانونی جرم‌انگاری شده است. فناوری‌هایی نظیر کالبدگشایی مجازی (Virtopsy) و تصویربرداری سه‌بعدی با عبور از مانع فیزیکی و شرعی تشریح جسد، راهکاری کاملاً منطبق با موازین شرعی و حقوقی ایران ارائه می‌دهند (۷۲، ۷۳).

در بستر مخاصمات مسلحانه، تخریب عمدی یا انتقال غیرقانونی آثار فرهنگی، مستندسازی یافته‌ها از طریق روش‌های

غیرتهاجمی، به‌ویژه سی‌تی‌اسکن و ذخیره اطلاعات در بانک‌های داده دیجیتال، این امکان را فراهم می‌آورد که در صورت تخریب یا فقدان فیزیکی اثر، از داده‌های ثبت‌شده برای احراز اصالت، پیگیری حقوقی و بازسازی علمی استفاده شود (۷۴). این روش‌ها نقش مهمی در تعیین اصالت آثار تاریخی و مرمت دقیق آن‌ها ایفا می‌کنند. به‌گونه‌ای که در صورت تخریب عمدی یا غیرعمدی، می‌توان با بهره‌گیری از بازسازی‌های مبتنی بر سی‌تی‌اسکن و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، فرایند مرمت و بازسازی را با بیشترین دقت انجام داد (۱۹، ۷۵) (شکل ۳ و جداول ۱ و ۲). از سوی دیگر، تصویربرداری غیرتهاجمی امکان استخراج و تجسم اطلاعات داخلی اشیاء تاریخی را بدون آسیب فیزیکی فراهم می‌سازد. اطلاعاتی که می‌توانند هم در برآورد ارزش مالی و تعیین مبالغ بیمه آثار و هم در بازنمایی الگوهای تاریخی و باستانی برای ساخت نمونه‌های بدلی، آموزش صنعتگران صنایع دستی و انتقال دانش فنی سنتی مورد استفاده قرار گیرند (۳۲، ۷۶، ۷۷) (شکل ۴).

بنابراین، در نظام حقوقی ایران، گذار از روش‌های تهاجمی به غیرتهاجمی، یک انتخاب صرفاً تکنولوژیک نیست، بلکه راهبردی برای جلوگیری از تضاد میان «تولید دانش علمی» و «الزامات آمره حقوقی و شرعی» است.

جدول ۱. عدد سی‌تی (CT number) یا به اصطلاح واحد هانسفیلد (Hounsfield unit- HU) بافت‌های مختلف بدن در دستگاه سی‌تی-

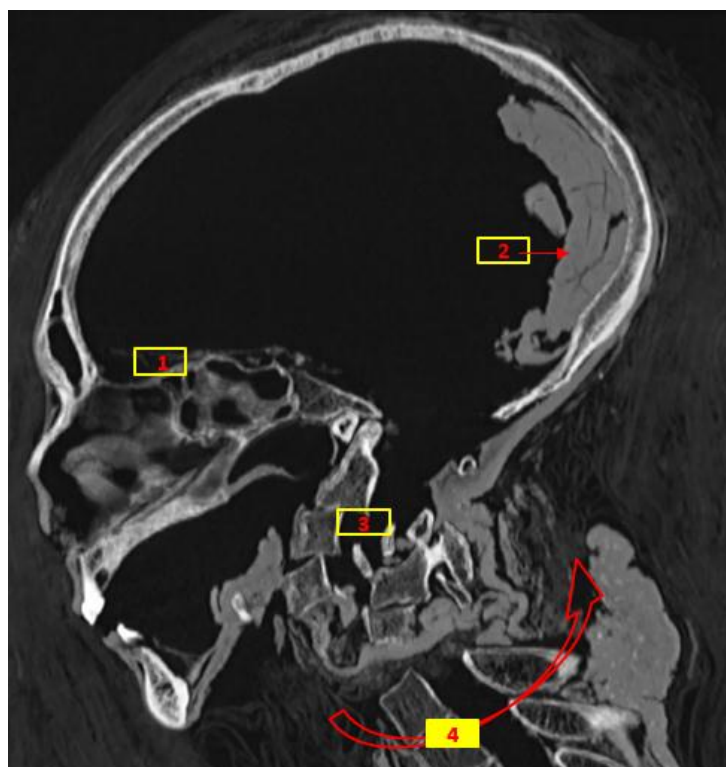
اسکن مولتی اسلایس (۷۸-۸۰).

بافت (ارگان مورد نظر)	عدد سی‌تی (میزان جذب اشعه)
ماده پرکننده دندان آمالگام (Amalgam)	+15383
مینای دندان (Enamel)	+2800
عاج دندان (Dentin)	+2000
استخوان متراکم (cortical bone)	+1949
سیمان دندان (Cementum)	+1240
استخوان اسفنجی (Trabecular bone)	+550
غضروف (Cartilage)	+105
بافت فیبروزی (Fibrous tissue)	+75

+71	عضلات (Muscle)
0	آب (Water)
-932	هوا (Air)

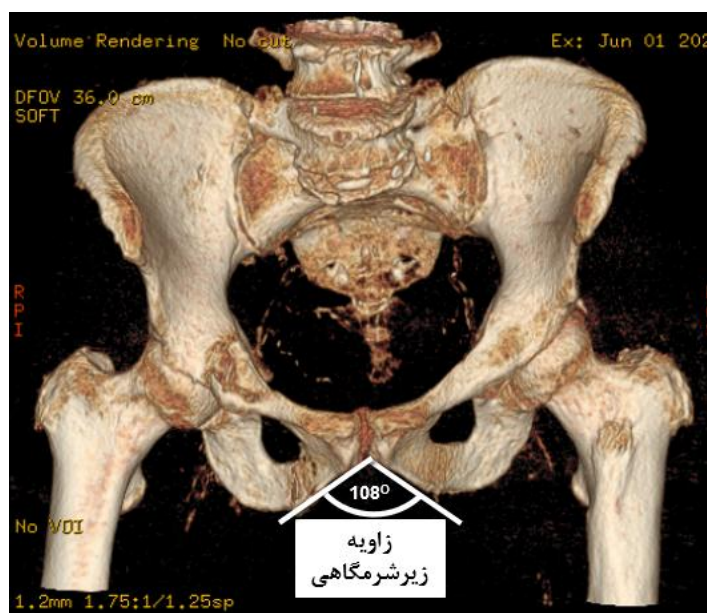
جدول ۲. عدد سی تی (CT number) عناصر فلزی و ترکیبات غیرفلزی در دستگاه سی تی اسکن مولتی اسلایس (۶۲، ۸۱-۸۳).

عدد سی تی (میزان جذب اشعه)	عنصر (ترکیب یا ماده)	
+3069	نقره (silver)	عناصر فلزی
+2921	تیتانیوم (titanium)	
+2908	طلا (gold)	
+2758	سرب (lead)	
+2329	آلومینیوم (Aluminum)	
+2222	استیل (stainless steel)	
+2800	سنگ آهک (limestone)	ترکیبات غیرفلزی
+2300	سنگ مرمر (marble)	
+2100	گرانیت (granite)	
+1751	کوارتز (Quartzite)	
+1600	ماسه سنگ (sandstone)	
+1417	ظروف سفالی (Pottery)	
+947	شیشه (glass)	
+120	رزین (Resin)	
+60	چوب (wood)	
+32	پلی اتیلن (polyethylene)	
-47	پلاستیک (plastic)	
-100	الیاف کتان (Linen fibers)	



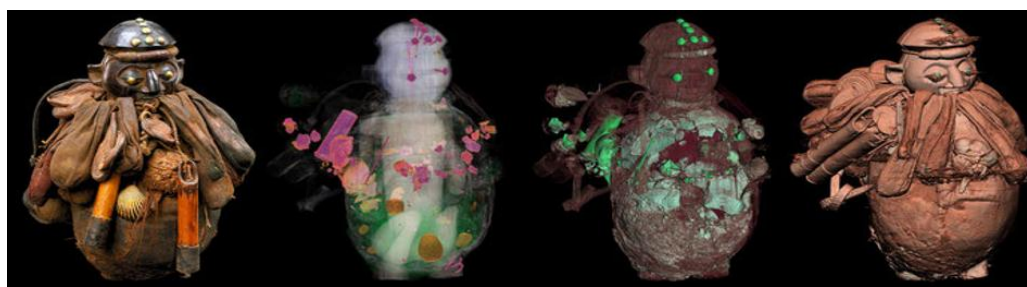
شکل ۱. تصویربرداری با استفاده از خطوط رادیولوژیک در بررسی آنترپومتری ساختار اسکلتی و ستون مهره‌های بقایای انسانی نقش مهمی دارد. تصویر سی‌تی‌اسکن ساژیتال از سر و گردن مومیایی Amenhotep I. تفسیر رادیولوژیک اعداد ۱ تا ۴ در تصویر بیانگر این امر است که آسیب در زمان حیات وی رخ داده و آسیب ناشی از فرایند مومیایی نبوده است. ۱- صفحه غربالی استخوان اتموئید دست نخورده باقی مانده است؛ ۲- مغز

خشک‌شده در قسمت خلفی فضای مجمله حفظ شده است؛ ۳- شکستگی ستون فقرات گردنی دیده می‌شود در حالی که یکپارچگی پوشش (مواد مومیایی‌کننده) سالم است، و این بدان معناست که آسیب ناشی از فرایند مومیایی نیست؛ و ۴- یک نوار کتان آغشته به رزین، مهره‌های گردنی شکسته‌شده را بانداز و ثابت کرده است (۶۲).



scan) از سیستم اسکلتی بدون تخریب و آسیب فیزیکی بافت است. (تصویر سی‌تی اسکن ۱۶ اسلایس برگرفته از آرشیو شخصی دکتر ایوب رستم‌زاده).

شکل ۲. از آنجایی که دستگاه تناسلی خارجی و بافت نرم اجساد و بقایای انسانی در طول زمان تحلیل می‌رود، با استفاده از بررسی‌های مورفومتریک زاویه زیر شرمگاهی (subpubic angle) توسط تکنیک‌های تصویربرداری پزشکی می‌توان جنسیت فرد را تعیین نمود؛ مطابق اصول رادیولوژی چنانچه این زاویه بیشتر از ۹۰ درجه باشد فرد خانم و اگر کمتر از ۹۰ درجه باشد جنسیت فرد، مذکر است. تصویر سی‌تی اسکن سه بعدی بازسازی حجم (3D-volume rendering CT)

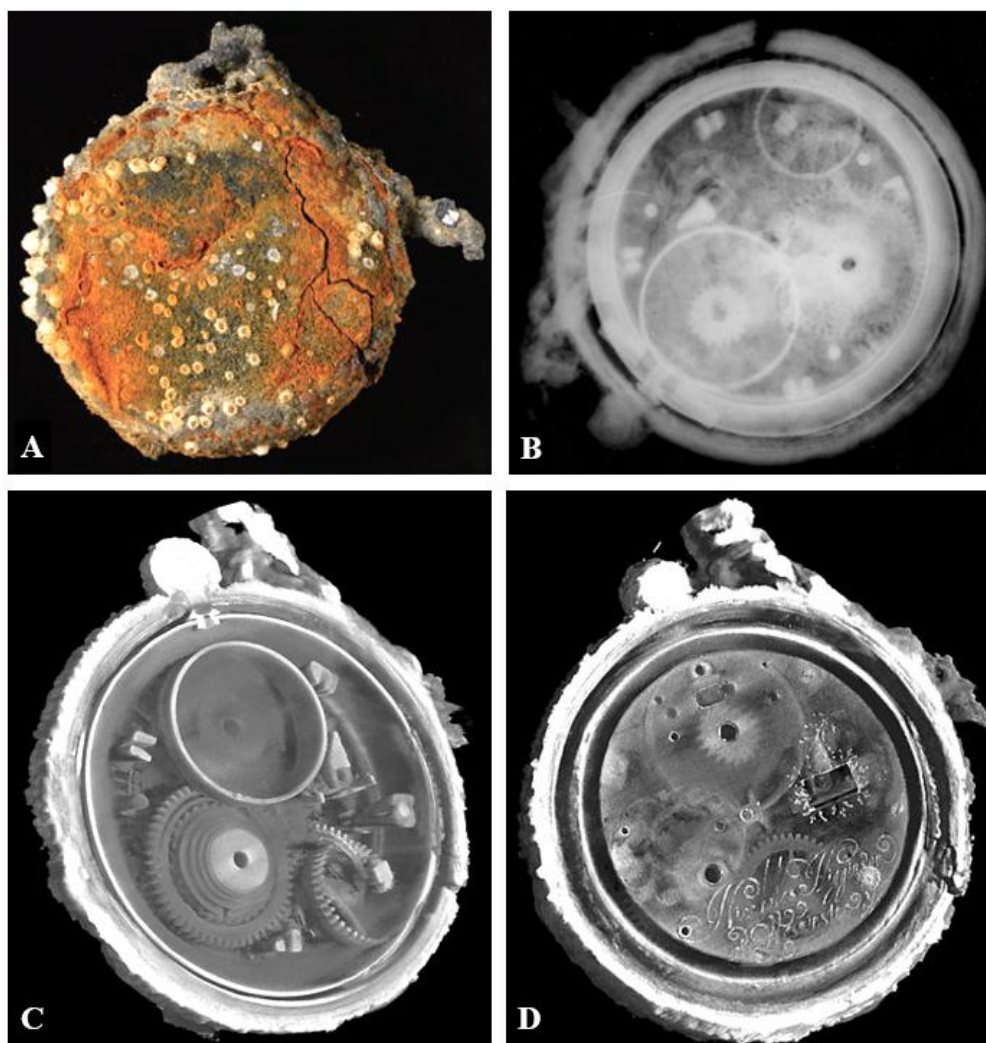


مجسمه واقعی

تصویربرداری روتین با CT

بازسازی سه بعدی با CT

شکل ۳. با استفاده از الگوریتم‌های بازسازی سی‌تی اسکن و زبان هوش مصنوعی می‌توان به بهترین نحو یافته‌ها را مرمت، بازسازی و تکثیر کرد.



شکل ۴. A) یک ساعت جیبی ۳۸۰ ساله از لاشه کشتی جنگی که در سال ۱۶۴۳ در سواحل اسکاتلند غرق شده بود. B) رادیوگرافی معمولی نتوانست ساختار داخلی و جزئیات طراحی یک ساعت جیبی را به دقت به تصویر بکشد. C) تکنیک CT اسکن ساختار سه بعدی حجم ساعت را با دقت بالا به تصویر کشید و الگوی داخلی طراحی آن را ارائه نمود. D) برش دوبعدی تصاویر سی تی اسکن حجمی، نوشته و امضای حکاکی شده صاحب ساعت، «نیکولاس هیگینسون وستمینستر» را نشان داد. استخراج و به تصویر کشاندن اطلاعات داخلی اشیاء می‌تواند در برآورد مبالغ بیمه، برآورد ارزش مالی اثر و همچنین به تصویر کشاندن الگوهای تاریخی و باستانی به صنعت‌گران صنایع دستی کمک کند (۷۷).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

امروزه بررسی مجازی (Virtual assessment) یک جسد، تقریباً جایگزین کالبد شکافی کلاسیک شده است (۳۲، ۷۵، ۸۴). ظهور تکنیک‌های غیرتهاجمی برای بررسی یافته‌های باستان‌شناسی، پیشرفتی در تاریخ پالئوپاتولوژی، تعیین اصالت اشیاء و فرایندهای حفظ و نگهداری بوده است، زیرا با این تکنیک‌ها می‌توان بدون تشریح و تخریب فیزیکی، به داده‌ها و تشخیص‌های دقیق دست یافت (۳۲، ۷۶). برای پرداختن به زوایای مختلف استفاده از روش‌های غیرتهاجمی، ضروری است ابتدا روش تهاجمی را تعریف کنیم. مطالعات نشان می‌دهد که اولین بررسی تهاجمی بقایای انسانی و مومیایی‌ها در اوایل قرن نوزدهم آغاز شد، که البته به‌عنوان نوعی سرگرمی عمومی مورد استفاده قرار می‌گرفت که اثراتی از جمله: تخریب جزئی/کلی آثار، آسیب فرد کارشناس بر اثر مواد شیمیایی و سمی و ... را در پی داشت (۸۵، ۸۶). اگرچه امروزه اطلاعات زیادی در مورد

بیماری‌های گذشته از طریق بررسی بقایای انسانی یافته‌ایم، اما سوال اینجاست که از منظر حقوقی و اخلاقی تا چه اندازه مجازیم این اطلاعات را افشا کنیم؟ اگرچه دستورالعمل‌های حقوقی و اخلاقی برای نحوه کار و استفاده از اطلاعات شخصی نمونه‌های انسانی و اجساد (مانند تشریح جسد فیکس شده در سالن آناتومی و برنامه‌های اهدای عضو، اهدای جسد، استفاده از نمونه‌های ژنتیکی و سلول‌های بنیادی رویان) در دهه‌های اخیر مصوب و عملیاتی شده است (۱۱، ۸۷)، اما تاکنون برای مطالعات بقایای انسانی (مانند مومیایی‌های مصر باستان، مردان نمکی زنجان و مرد یخی دوران نوسنگی اروپا) دستورالعملی وجود نداشته است (جدول ۳). این در حالی است که مسائل اخلاقی در علم زیست پزشکی مدرن از اهمیت بالایی برخوردار است (۸۸) و امکان تمایز بین ساختار واقعی بافت‌ها هنگام مرگ و مواد فیکس‌کننده/نگهدارنده را میسر می‌سازد. به‌عنوان مثال، افتراق بین اینکه آسیب یا ضربه آثار یا بقایای انسانی ناشی از فرایند حفظ و نگهداری^۱ یا بر اثر حوادث در زمان حیات فرد و یا ساخت اثر، اتفاق افتاده است (۸۶). بدیهی است از این طریق می‌توان در موضوع بررسی بقایای انسانی (مومیایی)، بین مرگ طبیعی و یا مرگ در اثر ضربه و صدمات جسمی یا بیماری پادشاهان در ادوار تاریخی تمایز قائل شد که در عصر حاضر نیز از این تکنیک در تحقیقات پزشکی قانونی استفاده می‌شود (۳۲، ۸۴، ۸۹). بقایای انسانی و مومیایی‌ها، منابع منحصر به فردی از اطلاعات در مورد بیماری‌های گذشته و تکامل آن‌ها هستند (۹۰). از این رو حفظ این منابع ارزشمند و جلوگیری از هرگونه تخریب اعم از فیزیکی و یا شیمیایی/القایی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۹۱). این سؤال که چگونه می‌توان یکپارچگی نمونه‌های باستان‌شناسی (نمونه‌های استخوانی، آثار چوبی/نخی/شیشه/فلزی و اشیاء سنگی) را در جریان بررسی این شواهد به بهترین نحو حفظ کرد، یکی از چالش‌های اصلی

تحقیقاتی بوده است (۱۱، ۴۲). از دیدگاه تحقیقاتی استفاده از تکنیک‌های غیرتهاجمی (مانند رادیوگرافی، CT اسکن و MRI) جهت بررسی یافته‌های باستان‌شناسی، امری راهبردی است، زیرا با کمک این تکنیک‌ها می‌توان بدون تشریح، به تشخیص‌های دقیق‌تری دست یافت (جدول ۲). به‌طوری‌که که در تحقیقات حوزه پزشکی و علوم اعصاب نشان داده شده است که استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری غیرتهاجمی می‌تواند اطلاعات دقیقی در خصوص ساختار و حتی پروفایل متابولیت‌های نواحی خاص مغزی (محل ضایعه، نوع ضایعه، تغییرات غلظت متابولیتی) ارائه دهد؛ به‌گونه‌ای که از این اطلاعات به‌عنوان نشانگرهای قابل اتکایی جهت پیگیری روند بیماری استفاده می‌شود (۹۲-۹۶). با این حال، عمدتاً به دلیل تفاوت‌های ساختاری بین بافت‌های نرم موجود و قدیمی، کارایی تکنیک‌های غیرتهاجمی بارها مورد سوال قرار گرفته است. بسیاری از محققان معتقدند که تشخیص دقیق فقط از طریق معاینه مستقیم جسد درست می‌باشد (به‌عنوان مثال، کالبد شکافی، آندوسکوپی). با این حال، این رویکرد در میان موزه‌داران و باستان‌شناسان به دلیل ایراد خسارات و تخریب‌های برگشت‌ناپذیر و تغییر ماهیت و هویت آثار، نگرانی ایجاد می‌کند. در این مطالعه، ضمن توجه به مزایای روش غیرتهاجمی از منظر گسترده‌تر، یک پروتکل ارزیابی جامع بر اساس معیارهای دقیق علمی، حقوقی و اخلاقی پیشنهاد می‌کنیم.

در نهایت، این تکنیک‌ها با فراهم‌سازی داده‌های دقیق درباره آسیب‌شناسی بافت‌های سخت و نرم، امکان تحلیل علمی شیوه‌های حفظ و نگهداری بقایای انسانی و اشیاء تاریخی - از جمله فرایندهای پیچیده‌ای مانند مومیایی‌سازی در مصر باستان - را مهیا می‌کنند و بدین ترتیب، نقشی کلیدی در پیوند میان تصویربرداری پزشکی، باستان‌شناسی و حقوق میراث فرهنگی ایفا می‌نمایند (۶۲، ۷۶، ۸۶، ۹۷).

^۱Fixation process and maintenance procedures

جدول ۳. سؤالات و چالش‌های حقوقی مهم پیش رو تحقیقات باستان‌شناسی (۲۶، ۹۸).

محور	نقش تصویربرداری غیرتهاجمی	چالش اخلاقی	چالش حقوقی
مالکیت آثار باستانی	تصویربرداری امکان مستندسازی کامل بدون تصرف فیزیکی را فراهم می‌کند و تعارض مالکیت-دسترسی علمی را کاهش می‌دهد.	خطر تبدیل آثار به دارایی شخصی و تضعیف مفهوم میراث مشترک بشری	آثار مکشوفه معمولاً مشمول قوانین میراث فرهنگی بوده و متعلق به دولت یا مالک زمین هستند؛ نگهداری شخصی فاقد وجاهت قانونی است.
کاوش در املاک خصوصی	تصویربرداری پیش‌کاوش (X-ray, GPR, CT) امکان حداقل مداخله و احترام به حقوق مالک را فراهم می‌کند.	تعارض میان حق مالکیت خصوصی و منافع عمومی	نیازمند اخذ مجوز همزمان از مالک و نهاد دولتی؛ تخطی موجب مسئولیت کیفری
آسیب محوطه یا اثر	تصویربرداری غیرتهاجمی جایگزین روش‌های مخرب شده و اصل حداقل آسیب را محقق می‌سازد.	تخریب غیرقابل بازگشت اطلاعات تاریخی (non-renewable data)	آسیب عمدی یا ناشی از قصور حرفه‌ای موجب ضمان قانونی است.
کشف اتفاقی آثار	تصویربرداری سریع امکان ثبت شواهد پیش از مداخله فیزیکی را فراهم می‌کند.	خطر بهره‌برداری غیرعلمی یا قاچاق	الزام قانونی به اعلام فوری و منع دخل و تصرف
مشارکت داوطلبان	آموزش مبتنی بر داده‌های تصویربرداری (3D models) بدون تماس مستقیم با اثر	خطر ناآگاهی و آسیب ناخواسته	نیاز به نظارت نهادی و آموزش؛ مسئولیت تضامنی در صورت تخلف
ماهیت بقایای انسانی	تصویربرداری غیرتهاجمی توازن میان احترام به کرامت انسانی و تحقیق علمی را ممکن می‌سازد.	تعارض میان کرامت متوفی و تولید دانش	فقدان اجماع: قلمداد به‌عنوان هم بدن انسانی و هم شیء فرهنگی
پژوهش و نمونه‌برداری	تصویربرداری امکان تحلیل داخلی بدون نمونه‌برداری مخرب را فراهم می‌کند.	از بین رفتن بخشی از بقایای غیرقابل جایگزین	روش‌های مخرب نیازمند توجیه و مجوز خاص
موزه‌ها و نمایش عمومی	نمایش دیجیتال (CT-based reconstructions) جایگزین نمایش فیزیکی بقایا	شیء‌انگاری بدن انسان و حساسیت‌های فرهنگی	مسئولیت قانونی حفاظت و عدم تخریب
مخاصصات مسلحانه و قاچاق	مستندسازی تصویری پیشگیرانه برای اثبات اصالت و پیگیری حقوقی	نابودی حافظه تاریخی جمعی	تخریب و انتقال غیرقانونی نقض حقوق بین‌الملل
مرمت و بازسازی	CT و هوش مصنوعی امکان بازسازی دقیق و مستند را فراهم می‌کنند.	خطر بازسازی نادرست یا تحریف تاریخی	الزام به حفظ اصالت اثر
ارزش‌گذاری و بیمه آثار	تصویربرداری داخلی برای ارزیابی علمی ارزش بدون آسیب	تجاری‌سازی بیش از حد میراث	نیاز به تعیین ارزش حقوقی و مالی

مطالعه Natalia Khmara و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که تصویربرداری پسامرگ تحت عنوان «کالبدگشایی مجازی»^۱ به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان جایگزین یا مکمل کالبدگشایی کلاسیک در پزشکی قانونی پذیرفته شده است. در یک پیمایش جهانی شامل ۱۰۰ مؤسسه از ۲۹ کشور و ۶ قاره، توموگرافی کامپیوتری پسامرگ^۲ به‌عنوان روش غالب در ۸۹٪ مراکز گزارش شد که بیانگر بلوغ فنی و پذیرش گسترده

^۱ Virtopsy

روش‌های غیرتهاجمی است. با این حال، تمرکز مؤسسات اروپایی (۶۹٪) و الزام ادامه‌دار به کالبدگشایی تهاجمی در ۴۸٪ مراکز، حتی در صورت کفایت یافته‌های تصویربرداری، نشان‌دهنده نابرابری منطقه‌ای و تداوم چالش‌های حقوقی و نهادی است. از نظر اجرایی، انجام تصویربرداری عمدتاً توسط رادیوگرافرها (۶۵٪) و تفسیر تصاویر توسط رادیولوژیست‌های

تخصصی تصویربرداری پسامرگ دیده‌اند. با وجود این، عدم عضویت ۵۲٪ از پاسخ‌دهندگان در انجمن‌های تخصصی مرتبط، بیانگر نبود چارچوب‌های بین‌المللی هماهنگ است. در مجموع، هرچند تصویربرداری غیرتهاجمی از نظر فنی به بلوغ رسیده، پذیرش آن به‌عنوان ابزار تشخیصی مستقل همچنان وابسته به تحولات حقوقی، نهادی و فرهنگی است؛ امری که مستقیماً با مباحث شناسایی، اصالت‌سنجی و حفاظت از بقایای انسانی و اشیای تاریخی هم‌راستا است (۷۳).

کاربرد CT اسکن در مطالعه مومیایی‌ها و بقایای انسانی، امکان بررسی دقیق ساختارهای داخلی، آسیب‌شناسی استخوانی و بافت نرم، الگوهای بیماری، شیوه‌های مومیایی‌سازی و حتی مداخلات پسامرگ را بدون نیاز به گشودن یا تخریب نمونه فراهم کرده است (۹۹). این تحول نه‌تنها افق‌های جدیدی در بازسازی تاریخ پزشکی و انسان‌شناسی گشوده، بلکه مفهوم کالبدشکافی مجازی^۱ را به‌عنوان جایگزینی معتبر و اخلاق‌مدار برای روش‌های تهاجمی تثبیت کرده است (۱۰۰). مطالعه Nuzzolese (۲۰۲۱) نشان می‌دهد که تصویربرداری غیرتهاجمی، به‌ویژه در قالب «کالبدشکافی دندان پزشکی مجازی^۲»، نقش محوری در فرایند شناسایی بقایای انسانی ایفا می‌کند؛ زیرا داده‌های دندانی در کنار DNA و اثر انگشت، به‌عنوان شناسه‌های اولیه هویت شناخته می‌شوند (۱۰۱). در این رویکرد، تصویربرداری رادیولوژیک شامل رادیوگرافی‌های دندانی، تصاویر پانورامیک، CT اسکن، فوتوگرامتری و اسکن سه‌بعدی امکان بررسی غیرمخرب فک و دندان‌ها و مقایسه داده‌های پیش و پسامرگ را بدون انجام کالبدگشایی تهاجمی فراهم می‌سازد (۱۰۲). اهمیت این روش در زمینه‌های انسان‌دوستانه نیز برجسته است؛ به‌طوری‌که در ایتالیا، بر اساس داده‌های «Missing Migrants Project»، از سال ۲۰۱۴ تاکنون ۱۷،۱۲۴ مرگ و ناپدیدشدگی مهاجران ثبت شده و بیش از ۶۰٪ قربانیان همچنان ناشناس باقی مانده‌اند (۱۰۳). VIRENTOPSY با اتکا به تصویربرداری و ارزیابی از راه دور توسط متخصصان پزشکی قانونی، نه‌تنها دقت و سرعت شناسایی را افزایش می‌دهد، بلکه با کاهش تماس مستقیم، خطرات زیستی را نیز کاهش داده و امکان استفاده در سناریوهایی با کمبود متخصص، بلایای جمعی و بررسی بقایای

انسانی تاریخی و باستان‌شناختی را فراهم می‌کند (۵۲، ۱۰۴). با گسترش استفاده از فناوری‌های نوین تصویربرداری، هوش مصنوعی و بازسازی سه‌بعدی، پرسش‌های جدیدی درباره مسئولیت حقوقی ناشی از خطاهای احتمالی مطرح شده است که تحلیل آن‌ها برای تدوین چارچوب‌های حقوقی ضروری است (۱۴، ۱۷، ۱۹). انواع خطاهای احتمالی در فرایند تصویربرداری و تحلیل دیجیتال را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱- خطاهای فنی: شامل نقص در کالیبراسیون دستگاه، خطای نرم‌افزاری یا تفسیر نادرست داده‌های خام (مثلاً تشخیص نادرست ضایعه پاتولوژیک به‌دلیل آرتیفکت‌های تصویری).

۲- خطاهای تحلیلی: شامل تفسیر اشتباه داده‌های صحیح توسط پژوهشگر (مثلاً نسبت‌دادن یک آسیب به دوره حیات در حالی که مربوط به فرایند پس از مرگ است).

۳- خطاهای بازسازی: شامل تحریف واقعیت‌های تاریخی در فرایند بازسازی سه‌بعدی یا استفاده نادرست از الگوریتم‌های هوش مصنوعی که منجر به ارائه تصویری غیر واقعی از اثر می‌شود (۱۴، ۵۳).

در صورتی که خطای تصویربرداری یا بازسازی منجر به تخریب فیزیکی اثر، از بین رفتن اطلاعات تاریخی یا جعل هویت اثر شود، می‌تواند مشمول عناوین کیفری زیر باشد:

- تخریب آثار تاریخی (ماده ۵۵۹ قانون مجازات اسلامی): اگر خطای فنی منجر به آسیب فیزیکی به اثر شود، مثلاً قرارگیری نادرست نمونه در دستگاه CT و القای آسیب‌های حرارتی ناشی از تابش مداوم.

- خطای حرفه‌ای: اگر پژوهشگر یا اپراتور دستگاه، بدون رعایت استانداردهای فنی و پروتکل‌های مصوب اقدام به تصویربرداری نماید و این بی‌احتیاطی منجر به خسارت شود.

- جعل و دستکاری تکنولوژیک: اگر بازسازی دیجیتال به‌گونه‌ای انجام شود که اصالت اثر را مخدوش نموده یا اطلاعات نادرست را به‌عنوان واقعیت تاریخی منتشر کند.

در مجموع، فناوری‌های تصویربرداری غیرتهاجمی مانند CT اسکن، MRI و کالبدگشایی مجازی، تحولی بنیادین در مطالعه بقایای انسانی و آثار باستان‌شناختی ایجاد کرده‌اند و امکان دستیابی به اطلاعات دقیق علمی را بدون تخریب فیزیکی نمونه‌ها فراهم ساخته‌اند. با این حال، استفاده از این فناوری‌ها

² VIRENTOPSY¹ Virtual Autopsy/Virtopsy

مستلزم تدوین چارچوب‌های جامع حقوقی و اخلاقی برای حفظ کرامت انسانی، اصالت آثار و جلوگیری از آسیب‌های جبران‌ناپذیر به میراث فرهنگی است.

این مطالعه نشان داد که نظام حقوقی ایران با وجود داشتن قوانین پراکنده (قانون حفظ آثار ملی، قانون مجازات اسلامی)، فاقد پروتکل‌های اختصاصی برای کاربرد فناوری‌های تصویربرداری است. در این راستا پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد: (۱) وزارت میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی، دستورالعمل‌های فنی و حقوقی مدونی برای تصویربرداری از آثار تاریخی و بقایای انسانی تدوین نماید؛ (۲) کمیته‌های اخلاق پژوهش، ارزیابی حساسیت‌های فرهنگی را در فرآیند صدور مجوزها الزامی کنند؛ (۳) استانداردهای ملی برای مستندسازی، نگهداری و سطح‌بندی دسترسی به داده‌های دیجیتال تعریف شود؛ و (۴) دوره‌های آموزشی تخصصی برای اپراتورها و پژوهشگران جهت کاهش ریسک‌های حقوقی و فنی برگزار گردد. اجرای این پیشنهادات، زمینه را برای بهره‌برداری پایدار، اخلاق‌مدار و قانونمند از فناوری‌های نوین تصویربرداری در حفاظت و پژوهش میراث فرهنگی ایران فراهم خواهد ساخت. بر اساس یافته‌های این مطالعه و تجارب بین‌المللی، چارچوب اجرایی زیر به‌منظور استانداردسازی فرایند تصویربرداری از بقایای انسانی و آثار تاریخی پیشنهاد می‌شود:

ردیف	مرحله	اقدامات اجرایی	استانداردهای الزامی	نهاد نظارتی
۱	اخذ مجوز	- ارائه طرح پژوهشی مشتمل بر اهداف علمی، روش تصویربرداری و پروتکل حفاظتی - اخذ تأییدیه کمیته اخلاق پژوهش - دریافت مجوز از سازمان میراث فرهنگی	- فرم استاندارد درخواست مجوز - گواهی صلاحیت فنی اپراتور - تعهدنامه رعایت اصول حفاظتی	وزارت میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی، کمیته اخلاق دانشگاه
۲	مستندسازی پیش از تصویربرداری	- ثبت وضعیت فیزیکی اثر (عکس و شرح مکتوب) - تعیین شرایط محیطی (دما و رطوبت) - برچسب‌گذاری و کدگذاری نمونه	- چک‌لیست مستندسازی اولیه - فرم ارزیابی ریسک	موزه یا مؤسسه نگهدارنده اثر
۳	انجام تصویربرداری	- کالیبراسیون دستگاه پیش از اسکن - رعایت پارامترهای استاندارد (KV، mA و Slice Thickness) - حضور هم‌زمان باستان‌شناس و رادیولوژیست	- پروتکل فنی مصوب - ثبت تنظیمات دستگاه در فرم استاندارد - حداقل‌سازی زمان مواجهه نمونه با پرتو	اپراتور دستگاه، ناظر فنی
۴	مدیریت و نگهداری داده‌ها	- ذخیره‌سازی داده‌های خام (Raw Data) در فرمت استاندارد DICOM - ایجاد نسخه پشتیبان در دو مکان فیزیکی مجزا - رمزنگاری داده‌های حساس	- استاندارد DICOM 3.0 - پروتکل امنیت سایبری - دوره نگهداری حداقل ۲۰ سال	مرکز داده‌های پژوهشی، وزارت میراث فرهنگی
۵	تحلیل و تفسیر	- بازبینی تصاویر توسط حداقل دو متخصص (رادیولوژیست و باستان‌شناس) - ثبت عدم قطعیت‌ها و محدودیت‌های تحلیل - خودداری از تعمیم‌های فراتر از داده‌ها	- فرم گزارش تفسیر رادیولوژی - چک‌لیست کنترل کیفیت	کمیته تخصصی بررسی نتایج
۶	انتشار و نمایش عمومی	- اخذ مجوز انتشار از نهاد متولی - رعایت حریم فرهنگی و حساسیت‌های قومی-مذهبی - ارائه نسخه‌های دیجیتال به‌جای نمایش فیزیکی بقایا	- فرم درخواست انتشار - پروتکل اخلاق انتشار - سطح‌بندی دسترسی (عمومی، پژوهشی، محرمانه)	کمیته اخلاق، وزارت میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی
۷	بازگرداندن نمونه	- تحویل نمونه در وضعیت اولیه - ثبت نهایی وضعیت اثر - ارائه گزارش پایانی به نهاد متولی	- چک‌لیست بازگرداندن - فرم تحویل و تحول	موزه یا مؤسسه نگهدارنده

نمونه‌ها فراهم ساخته‌اند. با این حال، استفاده از این فناوری‌ها مستلزم تدوین چارچوب‌های جامع حقوقی و اخلاقی برای حفظ کرامت انسانی، اصالت آثار و جلوگیری از آسیب‌های جبران‌ناپذیر به میراث فرهنگی است.

تشکر و قدردانی

در مجموع، فناوری‌های تصویربرداری غیرتهاجمی مانند CT اسکن، MRI و کالبدگشایی مجازی، تحولی بنیادین در مطالعه بقایای انسانی و آثار باستان‌شناختی ایجاد کرده‌اند و امکان دستیابی به اطلاعات دقیق علمی را بدون تخریب فیزیکی

مفهوم‌پردازی مطالعه، گردآوری منابع، تدوین اولیه و تفسیر داده‌ها؛

انعام‌الحق گرگیچ و محمد حسین‌زاده حصاری: جستجوی منابع، تحلیل و بازبینی علمی مقاله؛

امیر رئوفی: نظارت علمی، بازبینی و ویرایش نهایی مقاله. تمامی نویسندگان در بازبینی و تأیید نسخه نهایی مقاله مشارکت داشتند.

حمایت مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی از سوی سازمان‌ها یا مؤسسات دولتی یا خصوصی دریافت نکرده است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

References

- [1]. Fisher M, Fradley M, Flohr P, Rouhani B, Simi F. Ethical considerations for remote sensing and open data in relation to the endangered archaeology in the Middle East and North Africa project. *Archaeological Prospection*. 2021;28(3):279-92.
- [2]. Frerking C, Gill-Frerking H. Human remains as heritage: categorisation, legislation and protection. *Art Antiquity & L*. 2017;22:49.
- [3]. Seidemann RM. Authorship and control: Ethical and legal issues of student research in archaeology. *Alb LJ Sci & Tech*. 2003;14:451.
- [4]. Lambert PM. Ethics and issues in the use of human skeletal remains in paleopathology. *A companion to paleopathology*. 2012:17-33.
- [5]. Brown B. Cultural heritage: Concepts, places and issues. *Botswana cultural heritage and development: A handbook of theory and practice*. 2020:16-57.
- [6]. Vecco M. A definition of cultural heritage: From the tangible to the intangible. *Journal of cultural heritage*. 2010;11(3):321-4.
- [7]. Petti L, Trillo C, Makore BN. Cultural heritage and sustainable development targets: a possible harmonisation? *Insights from the European Perspective. Sustainability*. 2020;12(3):926.
- [8]. TK GK, Singh AK. Intangible Cultural Heritage: Knowledge Classification and Management. *Informatics Studies*. 2022;9(2):09-24.
- [9]. Kutut V, Lepkova N, Žróbek S. Immovable cultural heritage usage modes: Theoretical approach. *European research studies journal*. 2021;24(1):1136-51.
- [10]. Sesana E, Gagnon AS, Bertolin C, Hughes J. Adapting cultural heritage to climate change risks: perspectives of cultural heritage experts in Europe. *Geosciences*. 2018;8(8):305.
- [11]. Kansa EC, Kansa SW. Promoting data quality and reuse in archaeology through collaborative identifier practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(43):e2109313118.
- [12]. Binford LR. *Archeological perspectives*. *Archeology in Cultural Systems*: Routledge; 2017. p. 5-27.
- [13]. Svensson P, Goldberg DT. *Introduction: Between Humanities and the Digital*. *Between Humanities and the Digital*. 2015.
- [14]. Vodanović M, Subašić M, Milošević D, Tomczyk J, Čavka M, Bedić Ž, et al. Modern technologies and artificial intelligence in archaeology and bioarchaeology. *Bulletin of the International association for paleodontology*. 2023;17(1).
- [15]. Rousaki A, Moens L, Vandenabeele P. Archaeological investigations (archaeometry). *Physical Sciences Reviews*. 2018;3(9):20170048.
- [16]. Zhang M. Forensic imaging: a powerful tool in modern forensic investigation. *Forensic Sciences Research*. 2022;7(3):385-92.
- [17]. Moullou D, Vital R, Sylaiou S, Ragia L. Digital Tools for Data Acquisition and Heritage Management in Archaeology and Their Impact on Archaeological Practices. *Heritage*. 2023;7(1):107-21.
- [18]. Parfenov V, Igoshin S, Masaylo D, Orlov A, Kuliashou D. Use of 3D laser scanning and additive technologies for reconstruction of damaged and destroyed cultural heritage objects. *Quantum Beam Science*. 2022;6(1):11.
- [19]. De Reu J, De Smedt P, Herremans D, Van Meirvenne M, Laloo P, De Clercq W. On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice. *Journal of Archaeological Science*. 2014;41:251-62.
- [20]. Pomara C, Fineschi V, Scalzo G, Guglielmi G. Virtopsy versus digital autopsy: virtual autopsy. *La Radiologia medica*. 2009;114(8):1367-82.

بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی قزوین، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری و مرکز تصویربرداری سعادت آباد تقدیر و قدردانی می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه یک بررسی مقطعی و روایی بر اساس منابع علمی منتشرشده و تجربیات موردی پژوهشگران مطالعه بود و شامل مشارکت مستقیم افراد انسانی یا استفاده از نمونه‌های انسانی جدید نبود. در مورد تصاویر پزشکی نیز اسم و مشخصات افراد به‌صورت محرمانه باقی ماند و از روی تصاویر حذف گردید. اصول استناددهی صحیح در تمامی مراحل رعایت شد.

سهم نویسندگان

سید محمد بحرینی و ایوب رستم‌زاده: طراحی و

- [21]. Seiler R, Eppenberger P, Rühli F. Application of portable digital radiography for dental investigations of ancient Egyptian mummies during archaeological excavations: Evaluation and discussion of the advantages and limitations of different approaches and projections. *Imaging science in dentistry*. 2018;48(3):167-76.
- [22]. Ariaei A, Bahreini SM, Rustamzadeh A. Proteomics and Genomics as Identification Procedures in Human Anthropology. *Gene, Cell and Tissue*. 2023;10(3).
- [23]. White KN, Chiasserini D, Loynes R, David AR, van Dongen BE, Drosou K, et al. Enhancing mummy 'palaeobiographies' through the use of multidisciplinary techniques and approaches. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2023;47:103784.
- [24]. Soderland HA, Lilley IA. The fusion of law and ethics in cultural heritage management: The 21st century confronts archaeology. *Relevance and Application of Heritage in Contemporary Society*: Routledge; 2018. p. 160-85.
- [25]. Barilan YM. Bodyworlds and the ethics of using human remains: a preliminary discussion. *Bioethics*. 2006;20(5):233-47.
- [26]. Nilsson Stutz L. Between objects of science and lived lives. The legal liminality of old human remains in museums and research. *International Journal of Heritage Studies*. 2023;29(10):1061-74.
- [27]. Piombino-Mascali D, Squires K, Zink A. Ethical challenges in the bioanthropological and biomedical investigation of Sicilian mummies-Past experience and future pathways. *American journal of biological anthropology*. 2025;186(1):e24946.
- [28]. Swain H. Museum practice and the display of human remains. *Archaeologists and the dead: Mortuary archaeology in contemporary society*. 2016:169-83.
- [29]. Squires K, Errickson D, Márquez-Grant N. Ethical approaches to human remains. *A global challenge in bioarchaeology and forensic anthropology*. 2019.
- [30]. Gerstenblith P. The Destruction of Cultural Heritage: A Crime Against Property or a Crime Against People? *John Marshall Review of Intellectual Property Law*. 2016;15(336).
- [31]. Paschall G. Protecting our past: The need for uniform regulation to protect archaeological resources. *TM Cooley L Rev*. 2010;27:353.
- [32]. Fusco R, Licata M, Larentis O, Cermesoni B, Ravagnan A, Ciliberti R, et al. "Mummies outside their closets". Paleoradiological investigation of Egyptian mummified remains. *Forensic Imaging*. 2020;22:200397.
- [33]. DiCristina B. Criminology and the "essence" of crime: The views of Garofalo, Durkheim, and Bonger. *International Criminal Justice Review*. 2016;26(4):297-315.
- [34]. Crofts T. Reforming the age of criminal responsibility: state of the science. *South African Journal of Psychology*. 2016;46(4):436-48.
- [35]. Ristroph A. Criminal law as public ordering. *University of Toronto Law Journal*. 2020;70(supplement 1):64-83.
- [36]. Nayyeri MH. New Islamic penal code of the Islamic republic of Iran: an overview. *Research Paper Series*. 2012:1-25.
- [37]. Anorboev MRU. The History Of The Development Of The Norms Of The Criminal Code Providing For Public Necessity And Responsibility For Interference In Investigation Or Consideration Of Cases In Court In Uzbekistan. *Educational Research in Universal Sciences*. 2022;1(3):96-109.
- [38]. Gottlieb Y. Criminalizing destruction of cultural property: A proposal for defining new crimes under the Rome Statute of the ICC. *Penn St Int'l L Rev*. 2004;23:857.
- [39]. Manacorda S. Criminal law protection of cultural heritage: An international perspective. *Crime in the art and antiquities world*: Springer; 2011. p. 17-48.
- [40]. Isakhan B. Creating the Iraq cultural property destruction database: calculating a heritage destruction index. *International Journal of Heritage Studies*. 2015;21(1):1-21.
- [41]. Rotroff SI. Archaeologists on conservation: how codes of archaeological ethics and professional standards treat conservation. *Journal of the American Institute for Conservation*. 2001;40(2):137-46.
- [42]. Bertrand L, Schöeder S, Anglos D, Breese MB, Janssens K, Moini M, et al. Mitigation strategies for radiation damage in the analysis of ancient materials. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2015;66:128-45.
- [43]. Sarkaya Levent Y. Historical Evaluation of the Turkish Legislative System Considering the Integration of Archaeological Sites into the Planning Process. *Conservation and Management of Archaeological Sites*. 2019;21(4):256-79.
- [44]. Timothy DJ, Nyaupane GP. Protecting the past: Challenges and opportunities. *Cultural heritage and tourism in the developing world*. 2009:34-55.
- [45]. LaBelle JM. Hunter-gatherer adaptations of the Central Plains and Rocky Mountains of western North America. *Hunter-Gatherer Behavior*: Routledge; 2016. p. 139-64.
- [46]. Rivera LEC, Ramos AP, Sánchez JIC, Serrano MED. Origin and control strategies of biofilms in the cultural heritage. *Antimicrobials, Antibiotic Resistance, Antibiofilm Strategies and Activity Methods*; IntechOpen: London, UK. 2019:51-74.
- [47]. Pyzik A, Ciuchcinski K, Dziurzynski M, Dziewit L. The Bad and the good—Microorganisms in cultural heritage environments—An update on biodeterioration and biotreatment approaches. *Materials*. 2021;14(1):177.
- [48]. David ME, Ion R-M, Grigorescu RM, Iancu L, Andrei ER. Nanomaterials used in conservation and restoration of cultural heritage: An up-to-date overview. *Materials*. 2020;13(9):2064.
- [49]. Artesani A, Di Turo F, Zucchelli M, Traviglia A. Recent advances in protective coatings for cultural heritage—an overview. *Coatings*. 2020;10(3):217.
- [50]. Negi A, Sarethy IP. Microbial biodeterioration of cultural heritage: events, colonization, and analyses. *Microbial ecology*. 2019;78(4):1014-29.
- [51]. Garvin HM, Stock MK. The Utility of Advanced Imaging in Forensic Anthropology. *Academic forensic pathology*. 2016;6(3):499-516.
- [52]. Licata M, Tosi A, Ciliberti R, Badino P, Pinto A. Role of Radiology in the Assessment of Skeletons from Archeological Sites. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. 2019;40(1):12-7.
- [53]. Alafer F. Emerging Imaging Technologies in Forensic Medicine: A Systematic Review of Innovations, Ethical Challenges, and Future Directions. *Diagnostics*. 2025;15(11):1410.

- [54]. Panga SK, Balaji D, Dubey H, Dwivedi S, Yadav A, Rathod GB, et al. Recent Advances in Forensic Medicine: An Overview. *Medical Science: Recent Advances and Applications*. 2025:145.
- [55]. Papagrigorakis MJ, Karamesinis KG, Daliouris KP, Kousoulis AA, Synodinos PN, Hatziantoniou MD. Paleopathological findings in radiographs of ancient and modern Greek skulls. *Skeletal radiology*. 2012;41(12):1605-11.
- [56]. Papa V, Vaccarezza M, Galassi FM, Varotto E. Discover the anatomy of the mummies: how imaging techniques contribute to understanding disease in the past. *Italian Journal of Anatomy and Embryology*. 2023;127(1):23-34.
- [57]. Panzer S, Treitl M, Zesch S, Rosendahl W, Helmbold-Doyé J, Thompson RC, et al. Radiological evidence of purulent infections in ancient Egyptian child mummies. *International Journal of Paleopathology*. 2022;36:30-5.
- [58]. Papa V, Varotto E, Vaccarezza M, Galassi FM. Morphologic and Clinical Aspects of Pott Disease in Ancient Human Remains: A Scoping Review. *Spine*. 2025;50(4):E56-E69.
- [59]. Gibson AP. Medical imaging applied to heritage. *The British Journal of Radiology*. 2023;96(1152):20230611.
- [60]. González-Reimers E, Cockerill S, Marrero-Salas E, Ruiz-González H, Ribot-Hernández I, Suárez-Toste E, et al. Hounsfield attenuation coefficient and taphonomic changes in the radiological evaluation of ancient bones. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2025;67:105439.
- [61]. Corrieri B, Márquez-Grant N. What do bones tell us? The study of human skeletons from the perspective of forensic anthropology. *Science progress*. 2015;98(4):391-402.
- [62]. Saleem SN, Hawass Z. Digital Unwrapping of the Mummy of King Amenhotep I (1525-1504 BC) Using CT. *Frontiers in Medicine*. 2021:2292.
- [63]. Wade AD, Nelson AJ. Radiological evaluation of the evisceration tradition in ancient Egyptian mummies. *Homo*. 2013;64(1):1-28.
- [64]. Blake J. Beyond death: The treatment of indigenous human remains—A human rights perspective. *Islam and Christian-Muslim Relations*. 2007;18(3):367-75.
- [65]. Stenou K. UNESCO Universal Declaration on Cultural Diversity: a vision, a conceptual platform, a pool of ideas for implementation, a new paradigm. 2002.
- [66]. Wiessner S. Indigenous sovereignty: A reassessment in light of the UN Declaration on the Rights of Indigenous Peoples. *Vanderbilt Journal of Transnational Law*. 2008;41(4):1141.
- [67]. Auganbai A, Kalymbek B, Shulanbekova G, Urisbaeva A, Yerezhepkyzy R. Protection of objects of historical and cultural heritage: Legal problems and the application of information technologies. *Environmental Policy and Law*. 2020;49(6):379-88.
- [68]. Gaitenidis N. Indigenous Peoples, Cultural Heritage, and Traditional Knowledge: Untying the Gordian Knot of Human Rights and Intellectual Property in International Law. *International Journal on Minority and Group Rights*. 2025;1(aop):1-45.
- [69]. Golmohamadi B, Falah Kharyaki M, Niknejad J. Restriction of Private Ownership on Cultural-historical Property based on the Public Interest in Iranian Law. *International Journal for the Semiotics of Law-Revue internationale de Sémiotique juridique*. 2023;36(2):701-16.
- [70]. Shafiea S. Legislative report on the amendment of certain provisions of the Law on the Preservation of National Heritage enacted in 1930 (criteria and process for registering immovable cultural heritage). *Journal of Expert Reports of the Research Center of the Islamic Consultative Assembly*. 2022; 30 (2):1-29.
- [71]. Pour-Ebrahim A, Pour-Ghorbani M. An analysis of the status of recidivism under the Islamic Penal Code of 2013. *The Judgment Quarterly (Faslnameh Qazavat)*. 2018;18(95):67-90.
- [72]. Mirshekari A, Fattahi A. The Dignity of the Deceased. *Encyclopedia of Islamic Medical Ethics*. 2025;1(1):1-18.
- [73]. Khmara N, Baumeister R, Schweitzer W, Thali M, Ampanozi G. Virtopsy concept around the world: Institute-based survey of worldwide forensic postmortem imaging. *Forensic Imaging*. 2024;37:200595.
- [74]. Hadjimitsis DG, Themistocleous K, Cuca B, Agapiou A, Lysandrou V, Lasaponara R, et al. Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes: Best Practices and Perspectives Across Europe and the Middle East: Springer; 2019.
- [75]. Bagga S, Gupta S, Sharma DK. Computer-assisted anthropology. *Internet of Things in Biomedical Engineering*: Elsevier; 2019. p. 21-47.
- [76]. Eppenberger PE, Cavka M, Habicht ME, Galassi FM, Rühli F. Radiological findings in ancient Egyptian canopic jars: comparing three standard clinical imaging modalities (x-rays, CT and MRI). *European radiology experimental*. 2018;2(1):1-9.
- [77]. Troalen LG, Cox D, Skinner T, Ramsey A, Bate D. Three-Dimensional Computed Tomography X-Radiographic Investigation of a 17th-Century Watch from the Wreck of the Swan, off Duart Point, Mull, Scotland. *International Journal of Nautical Archaeology*. 2010;39(1):165-71.
- [78]. Emadi N, Safi Y, Bagheban AA, Asgary S. Comparison of CT-number and gray scale value of different dental materials and hard tissues in CT and CBCT. *Iranian endodontic journal*. 2014;9(4):283.
- [79]. Gonzalez SM. Interpretation basics of cone beam computed Tomography: John Wiley & Sons; 2021.
- [80]. Kaviani F, Rashid RJ, Shahmoradi Z, Gholamian M. Detection of foreign bodies by spiral computed tomography and cone beam computed tomography in maxillofacial regions. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*. 2014;8(3):166.
- [81]. Bolliger SA, Oesterhelweg L, Spendlove D, Ross S, Thali MJ. Is differentiation of frequently encountered foreign bodies in corpses possible by Hounsfield density measurement? *Journal of forensic sciences*. 2009;54(5):1119-22.
- [82]. Choi HJ, Lee HJ, Kang SG. The clinical significance of Hounsfield number of metallic and non-metallic foreign bodies in the soft tissue. *Soonchunhyang medical science*. 2010;16(2):226-30.
- [83]. Tseng H-J, Hanna TN, Shuaib W, Aized M, Khosa F, Linnau KF. Imaging foreign bodies: ingested, aspirated, and inserted. *Annals of Emergency Medicine*. 2015;66(6):570-82. e5.
- [84]. Giovannetti G, Guerrini A, Minozzi S, Panetta D, Salvadori PA. Computer tomography and magnetic resonance for

- multimodal imaging of fossils and mummies. *Magnetic Resonance Imaging*. 2022.
- [85]. David AR. *The Manchester Museum Mummy Project: multidisciplinary research on ancient Egyptian mummified remains*: Manchester University Press; 1979.
- [86]. Bewes JM, Morphet A, Pate FD, Henneberg M, Low AJ, Kruse L, et al. Imaging ancient and mummified specimens: Dual-energy CT with effective atomic number imaging of two ancient Egyptian cat mummies. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2016;8:173-7.
- [87]. Cambon-Thomsen A, Rial-Sebbag E, Knoppers BM. Trends in ethical and legal frameworks for the use of human biobanks. *European Respiratory Journal*. 2007;30(2):373-82.
- [88]. Kapp MB. Ethical and legal issues in research involving human subjects: do you want a piece of me? *Journal of clinical pathology*. 2006;59(4):335-9.
- [89]. Ikram S. *Death and burial in ancient Egypt*: American University in Cairo Press; 2015.
- [90]. Moissidou D, Day J, Shin DH, Bianucci R. Invasive versus non invasive methods applied to mummy research: will this controversy ever be solved? *BioMed Research International*. 2015;2015.
- [91]. Chaparro-Sainz Á, Rodríguez-Pérez RA. Perceptions on the use of heritage to teach history in Secondary Education teachers in training. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2020;7(1):1-10.
- [92]. Heidari Z, Mahmoudzadeh-Sagheb H, Shakiba M, Gorgich EAC. Brain structural changes in schizophrenia patients compared to the control: an MRI-based Cavalieri's Method. *Basic and clinical neuroscience*. 2023;14(3):355.
- [93]. Heidari Z, Mahmoudzadeh-Sagheb H, Moghtaderi A, Ramazanpour N, Gorgich EAC. Structural changes in the brain of patients with relapsing-remitting multiple sclerosis compared to controls: a MRI-based stereological study. *Irish Journal of Medical Science (1971-)*. 2020;189(4):1421-7.
- [94]. Heidari Z, Moghtaderi A, Mahmoudzadeh-Sagheb H, Gorgich EAC. Stereological evaluation of the brains in patients with parkinson's disease compared to controls. *Revista Romana de Medicina de Laborator*. 2017;25(3):265-74.
- [95]. Heidari Z, Mahmoudzadeh-Sagheb H, Shakiba M, Gorgich EAC. Stereological analysis of the brain in methamphetamine abusers compared to the controls. *Int J High Risk Behav Addict*. 2017;6(4):e63201.
- [96]. Gorgich EA, Heidari Z, Mahmoudzadeh-Sagheb H, Rustamzadeh A, Shabani A, Amirzadeh A, et al. Brain Metabolite Profiles are Associated with Selective Neuronal Vulnerability and Underlying Mechanisms in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *ACS Chemical Neuroscience*. 2025;16(8):1469-80.
- [97]. Öhrström L, Bitzer A, Walther M, Rühli FJ. Terahertz imaging of ancient mummies and bone. *American journal of physical anthropology*. 2010;142(3):497-500.
- [98]. Faniel I, Kansa E, Whitcher Kansa S, Barrera-Gomez J, Yakel E, editors. *The challenges of digging data: a study of context in archaeological data reuse*. Proceedings of the 13th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries; 2013.
- [99]. Thompson RC, Allam AH, Zink A, Wann LS, Lombardi GP, Cox SL, et al. Computed Tomographic Evidence of Atherosclerosis in the Mummified Remains of Humans From Around the World. *Global Heart*. 2014;9(2):187-96.
- [100]. Ahuja P, Ansari N. *Virtopsy: A New Era in Forensic Medico-Legal Autopsies*. In: Dogan KH, editor. *Autopsy - What Do We Learn from Corpses?* London: IntechOpen; 2022.
- [101]. Nuzzolese E. VIRDENTOPSY: Virtual Dental Autopsy and Remote Forensic Odontology Evaluation. *Dentistry Journal*. 2021;9(9):102.
- [102]. Perju-Dumbravă D, Anitan S, Siserman C, Fulga I, Opincaru I. Virtopsy-an Alternative to Conventional Autopsy. *Romanian Journal of Legal Medicine*. 2010;18(1):75-8.
- [103]. Olivieri L, Mazzarelli D, Bertoglio B, De Angelis D, Previderè C, Grignani P, et al. Challenges in the identification of dead migrants in the Mediterranean: the case study of the Lampedusa shipwreck of October 3rd 2013. *Forensic science international*. 2018;285:121-8.
- [104]. Ruttly GN, Biggs MJ, Brough A, Morgan B, Webster P, Heathcote A, et al. Remote post-mortem radiology reporting in disaster victim identification: experience gained in the 2017 Grenfell Tower disaster. *International journal of legal medicine*. 2020;134(2):637-43.