The Importance of Laboratory Studies in the Process of Research and Cleaning of Historical Coins

Shaiba Khadir

Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Research Institute of Cultural Heritage & Tourism (RICHT)

Abstract

Laboratory studies are highly effective in making a better understanding of historical coins and providing comprehensive research information. While some experts may be able to identify the nature of a coin at first glance, this isn't always possible, especially when the coin is heavily covered with deposits or when questions about its authenticity arise. Therefore, accurate laboratory methods are necessary in addition to visual examination and comparative studies. It's also crucial to identify the material and the primary substrate of cultural artifacts, as well as the surface deposits during the protection and restoration process, as these play a significant role in determining the preservation methods. To achieve this, the use of instrumental and microscopic laboratory methods become indispensable.Various methods are employed in the study of coins to shed light on the economic, social, and political conditions of the time when the coin minting. Techniques such as Particle Induced X-ray Emission (PIXE) and X-ray Fluorescence (XRF) have gained attention from researchers due to their accuracy and non-destructive nature. This note discusses the role and importance of laboratory studies as a supplement to conservation and restoration efforts by introducing different methods used in the study of coins made by both hammering and machine minting.

Keywords: Coins, Cleaning coins, Archaeometry, Numismatics, Conservation and Restoration

Knowledge of Conservation and Restoration

Vol. 6(1) No.15
May 2023

https://kcr.richt.ir

Pages: 72 to 81

Corresponding Author
Shaiba Khadir
Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Research Institute of Cultural Heritage & Tourism (RICHT)

Email
shaiba.khadir@richt.ir

Copyright © 2020,Knowledge of Conservation and Restoration. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0. International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

یادداشت فنی

مقدمه‌ای بر روش‌شناسی مطالعات آزمایشگاهی در فرآیند پژوهش و پاک‌سازی سکه‌های تاریخی

شیبا خدیر

کارشناس ارشد مرمت آثار تاریخی-پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، تهران، ایران.

چکیده

مطالعات آزمایشگاهی در شناخت بهتر سکه‌های تاریخی و تکمیل اطلاعات پژوهشی کمک بسیار موثری هستند. شاید برخی از افراد خبره بتوانند با یک نگاه ماهیت سکه را تشخیص دهند ولی این امکان همیشه و به‌خصوص در شرایطی که سکه پوشیده از رسوبات حجیم باشد و یا بحث تعیین اصالت آن مطرح باشد، وجود نخواهد داشت. لذا لازم است در کنار دید تجربی و مطالعات تطبیقی از روش‌های دقیق آزمایشگاهی نیز بهره گرفت. از طرفی شناسایی ماده و بستر اصلی یک اثر فرهنگی و همین‌طور رسوبات سطحی در روند فرآیند حفاظت و مرمت جزء ارکان اصلی بوده و نقش بسزایی در تعیین راه و روش و بقای اثر دارد. برای رسیدن به این امر استفاده از روش‌های آزمایشگاهی دستگاهی و میکروسکوپی اجتناب‌ناپذیر است. روش‌های زیادی در مطالعه سکه‌ها به‌منظور روشن شدن شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی زمان ضرب سکه استفاده می‌شود. روش‌هایی مانند پیکسی(PIXE) و فلورسانس اشعه ایکس(XRF) به دلایلی مانند دقت و غیرمخرب بودن بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این یادداشت با معرفی روش‌های مختلف در زمینه مطالعات مسکوکات ساخته شده با ضرب چکشی و ماشینی، به نقش و اهمیت مطالعات آزمایشگاهی از جنبه مطالعات تکمیلی و امر حفاظت و مرمت پرداخته می‌شود.

واژگان کلیدی: سکه، پاک‌سازی، باستان‌سنجی، سکه‌شناسی، حفاظت و مرمت

فصلنامه دانش حفاظت و مرمت

سال ششم، شماره ۱

شماره پیاپی ۱۵، بهار ۱۴۰۲

https://kcr.richt.ir

صفحات: ۷۲ تا ۸۱

نویسنده مسئول

شیبا خدیر

کارشناس ارشد مرمت آثار تاریخی-پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، تهران، ایران.

رایانامه

shaiba.khadir@richt.ir

مقاله منتخب سیزدهمین همایش دو سالانه حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی - فرهنگی و آرایه‌های معماری

دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیرتجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می‌شود.

مقدمه

سکه‌های تاریخی بی‌شک یکی از معتبرترین اسناد تاریخی بشر هستند و ایران به‌عنوان یکی از نخستین سرزمین‌های مروج سکه دارای پیشینه تاریخی در این زمینه بوده و مجموعه‌های در خور توجه از سکه‌های ادوار مختلف تاریخ این سرزمین در موزه‌ها و مجموعه‌های داخل و خارج از آن نگهداری می‌شود. از حدود صدسال پیش، نقش سکه‌شناسی به‌عنوان دانش مکمل مطالعات تاریخی مورد توجه قرارگرفته است (برومند،۱۳۹۱، ص.۳). علاوه بر مطالعه طرح، نقش، خطوط، عبارات و نمادها، وزن و ابعاد سکه، سال ضرب، ضرابخانه و داده‌های دیگری که توسط پژوهشگران از بررسی سطح سکه‌ها به دست می‌آید، اطلاعات ذی‌قیمتی از روش‌های آزمایشگاهی مختلف هم قابل‌استخراج است که می‌تواند مکملی برای این مطالعات ارزنده باشد. درگذشته آنالیزهای عنصری و تعیین عیار سکه‌های دوره‌های مختلف مانند هخامنشی، اشکانی (Caley,1955)، ساسانی (Bacharach &Gordus,1972,p.280)و قاجار (کوهستانی اندرزی و دیگران،۱۳۹۸، ص.۲۱۱)توسط محققان انجام و توسط پژوهش‌های جدیدتر تکمیل شده است.

بر اساس شرایطی که سکه و مجموعه مورد مطالعه دارد و هدفی که از پژوهش مد نظر پژوهشگر است روش کار آزمایشگاهی تعریف و اجرا می‌شود. شرایطی مانند غیرتخریبی بودن که از مهمترین موارد در آنالیز سطح سکه به حساب می‌آید و در دسترس بودن آنالیز، دقت و سرعت هم از نکات مهم به شمار می‌آید.

روش‌هایی مانند فلورسانس اشعه ایکس پرتابل (Shackley,2018,p.7933) به علت قابلیت حمل و روش پیکسی (جوزی، ۱۴۰۱، ص.۲۱۵) (حاج ولیئی و دیگران،۱۳۸۸، ص.۱۴۱) به علت دقت در پژوهش‌های بسیاری مورد توجه قرار گرفته است.

باید در نظر داشت برای رسیدن به جواب گویا و شفاف، نیاز است سطح سکه قبل از انجام آنالیز به منظور مطالعه، تمیز و عاری از هرگونه آلودگی باشد. در این‌جا باید به اهمیت نقش فرایند اصولی مرمت از این یافته‌های تاریخی توجه کرد. قبل از اقدام به پاک‌سازی، حفاظت گر لازم است موضوعاتی از جمله شناخت سکه، محیط پیرامون یا محیط دفن و نگهداری آن، جنبه ساختاری، دقت در ضرب سکه و آسیب‌شناسی آن را مورد توجه قرار دهد. بررسی این موارد علاوه بر کمک به مطالعات سکه‌شناسی و تعیین اصالت آن می‌تواند در انتخاب روش بهینه برای پاک‌سازی نیز مؤثر باشد. باید در نظر داشت انتخاب نامناسب مواد شیمیایی و یا استفاده از ابزار نامناسب مکانیکی می‌تواند سبب بروز مشکلات جدی در سطح اثر شود و مطالعات بعدی آن را دچار اختلال کند.

روش‌های آزمایشگاهی که می‌تواند در رابطه با مسکوکات از جنبه‌های مختلف مانند عیارسنجی، منشاءیابی، اصالت، انتخاب شیوه بهینه پاک‌سازی نگهداری و پایش و غیره مورد استفاده قرار گیرد در این یادداشت در پاسخ به سؤالات محققین حوزه سکه شناسی و مرمت به آن‌ها اشاره شده است.

بررسی فنی سکه‌ها

سکه‌های تاریخی به‌طور معمول از فلزات طلا، نقره، مس و عمدتاً از آلیاژهای آن‌ها ساخته شده‌اند و همین‌طور آلیاژهایی از قلع و سرب و نیکل نیز در دوره‌های مختلف دیده می‌شود. روش‌های بسیاری، اعم از مخرب و غیر مخرب، برای تجزیه و تحلیل سکه‌های باستانی با اهداف مختلف و غالباً برای تعیین ترکیب شیمیایی آن‌ها به کار گرفته شده است. مطالعه سکه و آنالیز عنصری سکه اطلاعات ارزشمندی در رابطه با ثبات اقتصادی، وضعیت سیاسی و اجتماعی در اختیار محققان قرار می‌دهد. در مطالعه فلز سکه اطلاعاتی از فن ساخت، مراحل ذوب، شکل‌دهی، ضرب و شواهدی از سر سکه مورد استفاده آن به دست می‌آید و با تشخیص نوع آلیاژ و لایه‌های خوردگی کمک به تشخیص اصالت و تعیین منشأ و همین‌طور به انتخاب بهترین شیوه حفاظت و پاک‌سازی میسر می‌شود.

در گام اول در بررسی یک سکه تاریخی می‌توان از میکروسکوپ نوری به‌عنوان یک شیوه مطالعه سطح

استفاده کرد. در سکه‌هایی که از محیط دفن به دست آمده‌اند، توجه به مواردی چون رنگ، شکل فیزیکی، شکل کریستالی رسوبات سطحی و محصولات خوردگی دارای اهمیت است. در صورت لزوم انجام آزمون‌های شیمیایی (شیمی تر)[1] به نسبت در دسترس‌تر هستند و می‌توانند در شناخت بهتر ماهیت فلز اصلی و مواد حاصل از فرسایش در سطح کمکی باشند بهره گرفت. در این روش با کمک دستورالعمل‌های موجود و با مواد شیمیایی علاوه بر شناسایی کیفی عناصر فلزی امکان بررسی کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در محصولات حاصل از خوردگی به‌خصوص آنیون‌های مهاجم هم وجود دارد.

بررسی توسط میکروسکوپ با بزرگنمایی، امکان بررسی سکه‌های روکش شده (با روش‌های مختلف) را فراهم کرده و بر اساس نوع و روش پوشش استفاده شده، می‌توان در مورد اصل یا جعل بودن آن نیز بحث‌های کارشناسی انجام داد.

انجام آزمایش‌های عنصری و تعیین میزان عناصر فلزات، می‌تواند در شناخت فن‌آوری استخراج و سنگ معدن‌های مختلف مورد استفاده در سکه‌ها مفید باشد و در مطالعات منشایابی به کار رود. به‌طور مثال نسبت طلا به نقره، معرف خوبی برای فناوری استخراج سنگ معدن نقره است که این نسبت می‌تواند جهت شناسایی معادن نقره نیز به کار رود. (خادمی ندوشن و همکاران،۱۳۹۴، ص.۵۳) و همین‌طور آنالیز ایزوتوپ سرب که برای یافتن منشأ اشیاء فلزی به کار می‌رود در صورتی‌که نسبت‌های ایزوتوپی سرب نمونه مورد نظر با سنگ معدن مشخصی همخوانی داشته باشد، می‌توان آن‌ها را به‌هم نسبت داد. بدیهی است که صحت چنین نتیجه‌گیری به جامع بودن اطلاعات به دست آمده از تمامی معادن در دسترس بستگی دارد (استوارت،۱۳۹۳، ص.۵۰۴).

استفاده از روش‌های آزمایشگاهی غیر مخرب در مطالعه سکه‌ها از اولویت برخوردار است(Fabrizi et al.2018,p.419). البته در شرایطی که امکان نمونه‌برداری وجود داشته باشد مطالعه دقیق‌تر مانند بررسی‌های فلزشناسی (بخشنده‌فرد و جاوری،۱۳۹۶، ص.۶۱) و آنالیزهایی که نیاز به نمونه‌برداری دارند مانند طیف‌سنجی جذب اتمی[2] با قابلیت اندازه‌گیری کمی عناصر شیمیایی در کنار روش طیف‌سنجی جذب اتمی شعله[3] هم میسر می‌شود. با کمک روش فلزشناسی و میکروسکوپ‌های نوری می‌توان اطلاعات بسیاری از ریزساختار فلزات به دست آورد؛ مانند شناسایی ناخالصی‌ها، وجود حفره‌های گازی، آخال‌های فلزی و غیرفلزی موجود در زمینه فلزی و بررسی دوقلویی، مشاهده استحاله‌های فازی و مطالعه فازهای مختلف ظاهر شده در ریزساختار که می‌تواند بازگوکننده واکنش‌های مختلف شکل گرفته در حین مراحل ساخت باشد. همین‌طور به مطالعات خوردگی و فرسایش مانند تردشدگی، شکنندگی سکه‌های نقره کمک می‌کند (Thompson & Chatterjee,2014,p.115).

میکروسکوپ الکترونی روبشی[4]، با امکان تصویربرداری از ساختار سطحی در کنار روش تجزیه عنصری طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس[5] امکان تجزیه فازهای مختلف را می‌دهد و زمینه بسیار مناسبی برای مطالعات ریزساختار و خوردگی سطح سکه را فراهم می‌کند. SEM_EDX یک روش بسیار معمول در تجزیه آثار هنری و باستانی و در پایش شیوه‌های درمان آثار است. این روش ضمن توانایی تجزیه نقطه‌ای از فازهای مختلف در پدیده‌های ترجیحی و انتخابی خوردگی متأثر از فن ساخت اثر و تغییر شرایط محیط، اسکن خطی عناصر اصلی و بررسی چگونگی توزیع آن‌ها در یک سطح مشخص، می‌تواند اطلاعات زیادی را ارائه دهد

دستگاه فلورسانس اشعه ایکس[6] قابل حمل به‌دلیل غیرتخریبی بودن و قابلیت حمل یکی از متداول‌ترین و محبوب‌ترین روش‌ها در شناسایی عنصری سکه‌ها به‌شمار می رود (Hughes & Hall,1979,p.321) و در خیلی از پژوهش‌هایی که در چند سال اخیر انجام شده به مطالعات سکه‌شناسی کمک بسیاری کرده است (سبزعلی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۹۱) (صبری و دیگران، ۱۴۰۲، ص ۲). از نتایج بررسی ترکیب شیمیایی سکه‌ها به روش فلورسانس اشعه ایکس، به‌منظور یافتن ارتباط احتمالی بین معادن مورد استفاده برای استخراج نقره و سکه‌های نقره ضرب شده، استفاده شده است. سودایی و همکارانش در پژوهشی با استفاده

از ایـن روش، عناصـر فلـزی Pb و Fe، Cu، Zn، Ag، Au را بـررسی کردنـد و نتایـج، نشـان‌دهنده اسـتفاده از یـک معـدن بـرای سـکه‌های ساسـانی در مجموعـه مـورد مطالعـه بـوده اسـت (Sodaei et al,2013, p.211). روش دیگـر، در تجزیـه عنصـری مسـکوکات فلـزی، فعال‌سـازی نوتـرونی اسـت (Gordus, 1967, p.78) بـرای تحقیـق در مـورد ترکیـب عنصـری، روش‌هـای دسـتگاهی تجزیه‌هـای فلورسـانس اشـعه و فعال‌سـازی نوتـرونی[۷] اغلـب بـا موفقیـت بـه کار گرفتـه می‌شـود. البتـه احتمـال جـذب مؤثـر بـالای هم‌زمـان طلا، نقـره و مـس بـرای نوترون‌هـای حـرارتی نیـز وجـود دارد کـه در ایـن صـورت می‌تـوان از روش تجزیـه پیکسـی[۸] اسـتفاده نمـود. در ایـن روش، نشـر پرتوهـای توسـط پروتون‌هـا انجـام می‌گیـرد و تقریبـاً ۲۵ تـا ۳۰ عنصـر را می‌تـوان به‌طـور هم‌زمـان، تشـخیص داد.

پیکسی و میکروپیکسی، یـکی از بهتریـن روش‌هـا بـرای بـررسی فرآیندهـای فناورانـه (فـنی) بـا امـکان تجزیـه عنصـری نمونه‌هـا به‌صـورت غیرتخریـبی هسـتند. بـا ایـن روش، می‌تـوان آنالیزهـای کـمی فلـزات و آلیاژهـا را انجـام داد و بـا اسـتفاده از نتایـج آنالیـز عنصـری و تحلیـل آمـاری، ارتبـاط بیـن عیـار و خلـوص سـکه‌های مدنظـر را بـررسی کـرد. (اولیـائی و همـکاران، ۱۳۹۴، ص.۱۹) از مزیت‌هـای ایـن روش دسـتگاهی، بـررسی پراکنـدگی و توزیـع عناصـر کم‌مقـدار فلـزی و غیرفلـزی موجـود در فلـزات و سـرباره‌ها و سـنگ‌های معـدنی مـورد اسـتفاده در ذوب و اسـتحصال فلـزی اسـت. بـررسی نمودارهـای هم‌بسـتگی، به‌خصـوص عناصـر کم‌مقـدار، امـکان اسـتفاده از ایـن روش در مطالعـات باستان‌سـنجی و منشـأ یـابی را فراهـم می‌کنـد. روش پیکسـی یـکی از روش‌هـای پرکاربـرد در زمینـه کمـک بـه پژوهش‌هـای متعـدد در حوزه‌هـای تاریـخ و باستان‌شـناسی در مطالعـه سـکه‌های تاریـخی اسـت و در بسـیاری از تحقیقـات بـه کار گرفتـه شـده اسـت (خـادمی ندوشـن و دیگـران،۱۳۹۴، ص.۵۳)

از روش‌هـای دیگـر در مطالعـه سـکه‌ها، روش طیف‌سـنجی نشـر اتـمی پلاسـمای جفـت شـده القـایی[۹] اسـت، در ایـن روش از طیـف نشـری بـرای شناسـایی و تعییـن کـمّی عناصـر موجـود در نمونـه اسـتفاده می‌شـود. شـدت ایـن انتشـار نشـان‌دهنده غلظـت عنصـر در نمونـه خواهـد بـود. آنالیـز عنصـری در ایـن روش، اطلاعـات بـا ارزشی در مـورد منشـأ فلـزات و فرآینـد سـاخت آن‌هـا ارائـه می‌دهـد. از ایـن روش در مطالعـه سـکه‌های رومی اسـتفاده شـده اسـت (اسـتوارت، ۱۳۹۳). طیف‌سـنجی میکرورامـان و پـراش سـنج اشـعه ایکـس[۱۰] (Fierascu et al.,2017,p.18)،نیـز امـکان شناسـایی ترکیـب آلیـاژ کـه بیشـتر از طریـق ماهیـت کانی‌شـناسی محصـولات خـوردگی سـطح انجـام می‌شـوند را دارنـد (Fabrizi et al.,2018,p.419). وجـود هـر عنصـری در سـاختار فلـز می‌توانـد سـبب بـروز یـک اتفـاق شـود. بـه طـور مثـال در مطالعـه‌ای کـه توسـط تامپسـون[۱۱] انجـام گردیـد نشـان داده شـد، در مجموعـه سـکه‌های مـورد مطالعـه، تمـام سـکه‌های شـکننده، حـاوی مقادیـر قابـل توجـهی سـرب بودنـد کـه دلیـل آن کاهـش حلالیـت جامـد سـرب در نقره اسـت (Thompson& Chatterjee,2014,p.115).

مطالعـات آزمایشـگاهی، در تعییـن اصالـت آثـار هـم کاربـرد گسـترده‌ای دارنـد. بـا تعییـن دقیـق عناصـر، بـررسی و شناسـایی عناصـر کـم مقـدار و مقایسـه آن‌هـا بـا مجموعه‌هـای معتبـر اطلاعـات ذی‌قیمتـی بـه دسـت می‌آیـد. علاوه بـر آن شـواهد زیادی در سـطح و محصولات خـوردگی سـطحی ذخیـره شـده به‌خصـوص در مـواردی کـه سـکه دسـت نخورده باشـد کـه اسـتخراج ایـن داده‌ها و مطالعـه آن‌هـا قبـل از هرگونـه پاک‌سـازی ضـروری اسـت. در سـکه‌هایی کـه از کاوش‌هـای علـمی بـه دسـت نمی‌آیند و کشـف و اصالـت آن‌هـا بـا تردیـد همـراه اسـت، وجـود محصـولات خـوردگی کـه به‌صـورت لایه‌لایـه در سـطح نشسـته‌اند و نـوع و میـزان اسـتحکام آن‌هـا می‌توانـد در بررسی‌هـای اصالت‌سـنجی، بـرای پژوهشـگر مفیـد باشـد. همچنیـن شـواهدی از حضـور مـواد و بقایـای مـواد آلی و معـدنی می‌توانـد کمـک مؤثـری باشـد. در این‌گونـه مـوارد از روش‌هـای دسـتگاهی ماننـد طیف‌سـنجی مادون‌قرمـز تبدیـل فوریـه[۱۲] و روش‌هـای میکروسـکوپی در مطالعـه شـواهد مـواد آلی باقی‌مانـده در سـطح نیـز می‌تـوان بهـره گرفـت و از گذشـته سـکه، اطلاعـاتی بـه دسـت آورد.

علاوه بـر روش‌هـای آنالیـزی، روش‌هـای دیگـری هـم بـرای فرآینـد مطالعـه حفاظـت و مرمـت سـکه‌های تاریـخی مـورد توجـه هسـتند. یـکی از روش‌هـایی کـه می‌توانـد در بررسی‌هـای اولیـه کمـک زیـادی کنـد،

تصویربـرداری اشـعه ایکـس اسـت. اسـتفاده از ایـن روش، امـکان ارزیـابی وضعیـت سـاختار کلی سـکه، به‌خصـوص بـرای سـکه‌های پوشیـده از رسـوبات حجیـم محصـولات خـوردگی و رسـوبات نـاشی از محیـط پیرامـون را فراهـم می‌کنـد. وجـود و یـا عـدم وجـود باقی‌مانـده مغـز فلـزی می‌توانـد در رویکـرد انتخـاب شیـوه درمـان و نگهـداری، دارای اهمیـت باشـد. در تشـخیص و بررسـی قسـمت‌های آسـیب‌دیده، کمبودهـا، ترک‌هـا، ریزترک‌هـا و بـررسی و شناسـایی پوشـش‌هایی ماننـد روکـش طلا و نقـره کـه بـر روی سـکه‌ها اسـتفاده شـده اسـت کمـک می‌کنـد. همین‌طـور اطلاعـات مفیـدی را بـرای مطالعـه تصویـر و نقـش باقی‌مانـده در محصـولات خـوردگی در مـورد سـکه‌هایی کـه به‌طـور کامـل خـورده شـده و بـه ترکیبـات معدنـی تبدیـل شـده‌اند، ارائـه دهـد. ایـن روش علاوه بـر این‌کـه می‌توانـد بـه مرمتگـر در راسـتای حفاظـت صحیـح آن کمـک زیـادی نمایـد، در راسـتای مطالعـات پژوهشـگر سکه‌شـناس نیـز مفیـد خواهـد بـود، زیـرا گاهی، مطالعـه همیـن نقـوش باقی‌مانـده، تنهـا اطلاعـاتی اسـت کـه در سـطح سـکه ذخیـره شـده اسـت.

وجـود تـرک و عـدم آگاهی از آن می‌توانـد در سیـر پاک‌سـازی سـکه‌ها و شـرایط نگهـداری آن‌هـا، حفاظـت گـر را بـا مشـکل مواجـه کنـد.

سـکه‌ای کـه دارای سـاختار سسـت و شـکننده اسـت و در زیـر حجـم رسـوبات سـطحی و محصـولات خـوردگی پوشیـده شـده، در هنـگام اسـتفاده از روش‌هـایی مانند روش مکانیـکی بـا اعمـال فشـار حـتی جـزئی و یـا اسـتفاده از حمـام اولتراسـونیک به‌راحـتی می‌توانـد شکسـته شـود

کاربـرد دیگـر ایـن روش، بـرای مسـکوکات به‌هم چسـبیده و آثـاری اسـت کـه به‌خصـوص از محیط‌هـای زیرزمیـن و یـا از محیط‌هـای دریـایی بـه دسـت می‌آینـد کـه معمـولاً تـوده به‌هـم فشـرده و سـختی از آثـار تاریـخی و مـواد محیـطی را تشـکیل می‌دهنـد. بـرخی از ایـن آثـار بـه هـم چسـبیده ممکـن اسـت جنس‌هـای مختلـفی داشـته باشـند و لـذا پیش‌بیـنی وجـود تفـاوت سـاختاری و وضعیـت خـوردگی ایـن آثـار نیـاز بـه مطالعـه دقیـق دارد. اسـتفاده از شیـوه رادیوگـرافی امـکان ارزیـابی شـرایط اثـر در داخـل توده‌هـای پوشیـده از رسـوبات محیـطی را فراهـم می‌کنـد و ایـن امـر بـرای اتخـاذ تصمیـم صحیـح بعـدی در تکمیـل مطالعـه لازم و شیوه‌هـای جداسـازی، پاک‌سـازی و درمـان بسیـار مهـم اسـت.

روش دیگـر مبتـنی بـر اسـتفاده از اشـعه‌ی ایکـس، توموگـرافی کامپیوتـری[۱۳] (CT-Scan) اسـت. ایـن روش در مـواردی می‌توانـد، اطلاعـات مفیـدی، از وضعیـت سـکه‌های پوشیـده از رسـوبات حجیـم و در سـکه‌هایی بـا مقـدار انـدکی مغـز فلـزی بـاقی مانـده و یـا سـکه‌های به‌هـم چسـبیده ارائـه دهـد.

علاوه بـر جنبـه مطالعـه سـکه، بررسی‌هـای علـمی و آزمایشـگاهی، در ارائـه راهـکار مناسـب پاک‌سـازی سـطح سـکه، نیـز بـه حفاظـت گـر، می‌تواننـد کمـک شـایانی ارائـه دهنـد. البتـه لازم بـه ذکـر اسـت؛ در مجموعه‌هـای سـکه کـه تعـداد آن‌هـا معمـولاً بیـش از صدهـا عـدد اسـت انجـام آزمایش‌هـای شیـمی دسـتگاهی، بـرای تمـام یـا اکثـر سـکه‌ها، نـه مقـدور اسـت و نـه می‌توانـد توجیـه منطـقی داشـته باشـد. داشـتن اطلاعـات عنصـری و آلیـاژی در مطالعـات سکه‌شـناسی و سـایر مطالعـات تکمیـلی تاریـخی اهمیـت دارد، ولی از جنبـه حفاظـتی و مرمـتی بـرای سـکه‌های دچـار آسـیب و مشـکوک مطالعـات آزمایشـگاهی ضـروری اسـت، زیـرا در مـواردی، در مجموعه‌هـا جنسـیت آثـار (کـه در فرآینـد درمـان از اهمیـت زیـادی برخـوردار اسـت)، برحسـب ظاهـر بـه اشـتباه گـزارش می‌شـود کـه نحـوه برخـورد در پاک‌سـازی بـه روش شیمیـایی آن‌هـا متفـاوت خواهـد بـود به‌عنـوان مثـال سـکه‌های نقـره کـه بـه دلیـل تفـاوت مـواد آلیـاژی و خـوردگی از نظـر رنـگ ظاهـری بـا نمونـه سـکه‌های آلیـاژ سـرب- مـس بـا رسـوبات سـطحی و خوردگی‌هـای معمـول دارای شـباهت ظاهـری هسـتند. یـا در مـورد سـکه‌های نقـره آلیـاژ شـده بـا مـس کـه ظاهـری پوشیـده از رسـوبات خـوردگی مـس، دارنـد.

ایـن موضـوع در رابطـه بـا سـکه‌های ماشیـنی ماننـد تعـدادی از سـکه‌های دینـار قاجـاری بـا ظاهـر نقـره‌ای ولی از آلیـاژ نیـکل و مـس نیـز صـدق می‌کنـد. لـذا لازم اسـت کـه مجموعـه‌دار و یـا حفاظـت گـر قبـل از اقـدام بـه اسـتفاده از روش‌هـای مختلـف پاک‌سـازی، از آلیـاژ آن‌هـا بـه طـور دقیـق آگاهی داشـته باشـد و فقـط بـه ظاهـر آن‌هـا اکتفـا نکنـد. البتـه دسـترسی بـه اطلاعـات سـکه‌های ماشیـنی میسـر اسـت، امـا لازم اسـت قبـل

از هـر اقـدامی جهـت پاک‌سـازی، بـررسی و تحقیـق هـر چنـد سـطحی در ایـن زمینـه صـورت گیـرد. توصیـه می‌شـود سـکه‌ها بـه صـورت دسـت نخـورده حفـظ شـوند و از اقـدام بـه پاک‌سـازی و شـفاف کـردن سـطح آن بـه جـز مـوارد ضـروری اجتنـاب کـرد.

علاوه بـر شناسـایی کـه مدنظـر حفاظتگـران قبـل از اقـدام بـه پاک‌سـازی اسـت، بـرای حصـول نتیجـه دقیـق از آنالیـز بـرای مطالعـات پژوهـشی، لازم اسـت ابتـدا سـطح سـکه تمیـز شـده باشـد. گروه‌هـای مخاطـب بـرای سـکه‌هایی بـا سـطح تمیـز و شـفاف عبارت‌انـد از پژوهشـگران (بـرای مطالعـه دقیـق) و مجموعـه‌داران (بـرای نمایـش، چـاپ کاتالـوگ، کتـاب و مقالـه) کـه بـه محـض دسـترسی بـه سـکه ابتـدا آن را بـا هـر روشی کـه در دسـترس باشـد، پاک‌سـازی می‌کننـد. ایـن روش می‌توانـد اسـتفاده از مـواد معمـول تـا مـواد شیمیـایی تخصصی‌تـر و یـا روش‌هـایی ماننـد اسـتفاده از ابزارهـای مکانیـکی نامناسـب باشـد. بارهـا دیـده شـده کـه پژوهشـگر بـدون در نظـر گرفتـن شـرایط خـاص هـر سـکه، تمـامی مجموعـه مـورد نظـر خـود را بـا یـک مـاده شیمیـایی خـاص تمیـز کـرده اسـت. نکتـه تأسـف‌بار بیشـتر، عـدم رعایـت مـوارد لازم بعـد از پاک‌سـازی شیمیـایی اسـت. مـواردی نظیـر شسـتشـوی فـراوان بـا آب مقطـر، کنتـرل صحیـح پسـاب شستشـو بـرای اطمینـان از خـروج مـواد شیمیـایی از سـطح و نیـز توجـه بـه بـاقی مانـدن مـواد شیمیـایی در خلـل و فـرج، تـرک و ریزترک‌هـا کـه در حفاظت‌هـای بعـد از آن اثـر بسـزایی دارد.

انتخـاب مـاده در پاک‌سـازی شیمیـایی، بایـد بـا توجـه بـه جنـس سـکه و رسـوبات سـطحی بـا دقـت انتخـاب شـود(Moreno et al,2016,p.85). بایـد در نظـر داشـت؛ سـطح سـکه تمیـز و شـفاف شـده بیـش از هـر زمـانی آمـادگی بـرای خـوردگی در برابـر عوامـل محیـطی را دارد. لـذا لازم اسـت نـکات حفاظـتی پیشـگیرانه را بـا اسـتفاده از پوشـش مناسـب و بسـته بـه شـرایط سـکه، لحـاظ کـرد. در پاکسـازی‌های غیرحرفـه‌ای، از ایـن موضـوع مهـم کـه اثـر خـود را در سـال‌های آتی نشـان می‌دهـد، بـه راحـتی می‌گذرنـد. توصیـه می‌شـود بـرای پاک‌سـازی بـه روش شیمیـایی بـرای هـر سـکه بـه صـورت جداگانـه اقـدام و از ریختـن تعـداد زیـادی سـکه بـه طـور همزمـان در محلـول جـداً اجتنـاب کـرد؛ زیـرا هـر سـکه تاریـخی یـک اثـر منحصـر به‌فـرد شـناخته می‌شـود، روش برخـورد خـاص خـود را در تمیـز کـردن دارد. حـتی اگـر آلیاژهـا نیـز شـبیه بـه هـم باشـد ولی نـوع رسـوب و شـرایط مربـوط بـه گذشـته فلـز، ایـن اجـازه را بـه مرمتگـر نمی‌دهـد کـه بـه طـور همزمـان سـکه‌های تاریـخی را در یـک محلـول، مـورد شستشـو قـرار دهـد. در تمـام مراحـل اسـتفاده از مـاده شیمیـایی بـرای پاک‌سـازی، بایـد نظـارت و کنتـرل لازم صـورت گیـرد. یـک روش کاربردی، اسـتفاده از دسـتگاه اسیدسـنجی[14] بـرای کنتـرل pH سـطح سـکه اسـت. در اسـتفاده از بـرخی مـواد شیمیـایی احتمـال ایجـاد تغییـراتی در سـطح سـکه وجـود دارد. معمول‌تریـن آن تغییـر رنـگ سـطح اسـت کـه یـک امـر شـایع در امـر پاک‌سـازی شیمیـایی اسـت. ایـن تغییـر رنـگ بسـته بـه مـوادی کـه بـرای پاک‌سـازی اسـتفاده می‌شـود و ماهیـت رسـوبات و محصـولات خـوردگی و آلیـاژ فلـز متغیـر اسـت(Palomar,2016,p.20).

روش‌هـای تمیزکـردن مکانیـکی بـه دلیـل تمـاس فیزیـکی مسـتقیم بیشـتر تهاجـمی هسـتند. در سـکه‌های نقـره بـا آلیاژهـای بـا درصـد خلـوص نقـره بـالا احتمـال ایجـاد خراش‌های مایکروسـکوپی و میکروسـکوپی در سـطح در اثر سـایش مـواد حـتی با پنبـه و یـا هرگونـه الیاف دیگـری نیز وجـود دارد. در مجموعه‌هـا، سـکه‌هایی بـا رسـوبات خیلی حجیـم کمتـر دیـده می‌شـوند. سـکه‌های نقـره معمـولاً بـا لایـه ظریـفی از زنـگار تیـره رنـگ کـه باعـث زیبـایی آن نیـز می‌شـود، پوشیـده شـده اسـت. توصیـه می‌شـود؛ ایـن لایـه صـاف و یکنواخـت تـا زمانی‌کـه بـرای خوانـش و مطالعـه نقـش و طـرح سـکه و سلامـت سـکه ممانعـتی ایجـاد نکـرده اسـت، از حـذف آن خودداری شـود. می‌توان، بـا کنتـرل شـرایط و رعایـت اصـول حفاظـت پیشـگیرانه بـه سلامـت سـکه کمـک کـرد. در هرحـال در صورتی‌کـه لازم بـه حـذف ایـن لایـه باشـد، اسـتفاده از روش‌هـای اصـولی پاک‌سـازی ضـروری اسـت.

امـا در مـورد سـکه‌های بـه دسـت آمـده از محیـط خـاکی ایـن شـرایط فـرق می‌کنـد. فرسـودگی سـکه‌های نقـره قدیـمی کـه از زیرزمیـن بـه دسـت می‌آینـد بسـته بـه کیفیـت آلیـاژ و ماهیـت خـاکی کـه در آن مدفـون بوده‌انـد متفـاوت اسـت. محصـولات خـوردگی نقـره ماننـد سـولفور

و کلـرور نقـره معمـولاً خاکسـتری رنـگ هسـتند، در حالی‌کـه در سـکه‌های نقـره کـه بـا مـس آلیـاژ شـده‌اند، نمک‌هـایی ماننـد کوپریـت قرمـز، مالاکیـت سـبز رنـگ در سـطح سـکه مشـاهده می‌شـود. در برخـورد اول تشـخیص آن‌هـا از سـکه‌های مـسی کار دشـواری اسـت. همین‌طـور، سـکه‌هایی کـه بـه دلیـل حضـور یون‌هـای مهاجـم دچـار خوردگی‌هـای شـدید و تردشـدگی شـده‌اند در معـرض خطـر شکسـتگی نیـز قـرار می‌گیرنـد. خوردگی‌هـای موضـعی، از مـوارد شـایع در سـکه‌ها هسـتند و می‌تواننـد سـبب آسـیب و بیمـاری در سـکه شـوند و بـا توجـه بـه نوع فلـز سـکه ماهیـت ایـن خوردگی‌هـای موضـعی متفـاوت هسـتند کـه پـس از بـررسی شیء و در صـورت تشـخیص بیمـاری، نیـاز بـه درمـان دارنـد. در سـکه‌های آلیـاژ مـس بـا وجـود رسـوبات خـاکی و محصـولات خـوردگی حجیـم، گاهـاً خـوردگی موضـعی، سـاختار اصـلی فلـز را بـا مشـکل مواجـه کـرده و در نتیجـه نقـوش و کتیبه‌هـای موجـود نیـز بـه دلیـل حـملات خـوردگی مخـدوش شـده‌اند.

بـه دلیـل اهمیـت بـرخی از ایـن آثـار از نظـر اطلاعـات باستان‌شـناختی، انتخـاب شیـوه صحیـح پاک‌سـازی بـه صـورت مرحلـه بـه مرحلـه بـا ثبـت مـدارک تصویـری می‌توانـد حداکثـر اطلاعـات را بـه محقـق ایـن حـوزه در شناسـایی نقـوش و خوانـش آن‌هـا انتقـال دهـد. بـرای ایـن منظـور تمـام مراحـل کار رسـوب‌برداری، بـا اسـتفاده از میکروسـکوپ و یـا ذره بیـن صـورت می‌گیـرد. ایـن مـورد بخصـوص در رابطـه بـا مسـکوکات مـسی از اهمیـت بیشـتری برخورداراسـت چـرا کـه بـا خـوردگی زیـاد ایـن مسـکوکات، به‌خصـوص در خوردگی‌هـای پیشـرفته و آثـار بـه دسـت آمـده از خـاک کلریـدی، نقـوش اولیـه از بیـن رفتـه و اسـتفاده از شیوه‌هـای غوطـه‌وری شیمیـایی کنتـرل نشـده تـا رسـیدن بـه سـطح فلـز، می‌توانـد منجـر بـه از بیـن رفتـن کلیـه اطلاعـات آن شـود.

در بـرخی از مـوارد لازم اسـت، تصاویـری از نقـوش و قسـمت‌های خـورده شـده در تصاویـر رادیوگـرافی، در اختیار حفاظـت گـر باشـد. ایـن امـر بایـد بـا اتخـاذ شیـوه کنتـرل شـده مکانیـکی، شیمیـایی و یـا هـر دو و نیـز بـا دانـش قبـلی از وضعیـت اثـر صـورت بگیـرد تـا احتمـال اسـتخراج هرچـه بیشـتر اطلاعـات لازم بیشـتر باشـد. از مـوارد مهـم دیگـر، بـررسی سـکه‌های دارای پوشـش اسـت. در بعـضی از مـوارد سـکه بـا پوشـشی از فلـز دیگـر روکـش شـده اسـت. در برهه‌هـایی از تاریـخ بـه علـت کـم شـدن طلا و نقـره، سـکه‌ها از جنس‌هـای ارزان‌تـر سـاخته شـده و سـطح آن‌هـا را بـا نقـره یـا طلا پوشـش می‌دادنـد. در ایـن مـوارد حفاظـت و مرمـت سـکه، نیازمنـد توجـه زیـادی خواهـد بـود.

عـدم توجـه بـه انتخـاب روش مناسـب، در زمانی‌کـه کل سـکه در زیـر رسـوبات و محصـولات خـوردگی مخـفی اسـت، می‌توانـد سـاختار اصـلی فلـز را به‌طـور کلی از بیـن ببـرد. تشـخیص اشـتباه نـوع آلیـاژ فلـزی کـه گاهـاً به‌دلیـل شـباهت ظاهـری اتفـاق می‌افتـد، می‌توانـد سـبب از بیـن رفتـن فلـز بدنـه شـده یـا بعـد از پاک‌سـازی فقـط فلـز پوشـش کـه از فلـز نجیب‌تـری اسـت و بـه علـت حفاظـت کاتـدی بهتـر محافظـت شـده بـه صـورت سسـت و شـکننده بـاقی بمانـد. در زمینـه سـکه‌های آبـکاری شـده یـا طلا شـور، بـا روش ملغمـه یـا روش‌هـای مختلـف دیگر بایـد دقـت زیـادی در امـر پاک‌سـازی و همین‌طـور حفـظ و نگهـداری آن‌هـا بـه کاربـرد. پژوهشـگران حـوزه حفاظت، بـرای بـررسی رفتـار فلـز سـکه بعـد از روش‌هـای مختلـف پاک‌سـازی و سـنجش آن‌هـا علاوه بـر روش‌هـایی کـه در بـالا ذکـر شـد، روش‌هـای مختلـف آزمایشـگاهی ماننـد رنگ‌سـنجی و بـررسی تغییـرات درخشـش را نیـز مـورد اسـتفاده قـرار می‌دهنـد.

جمع‌بندی

بـررسی و مطالعـه آلیـاژی سـکه‌ها اطلاعـات ذی‌قیمـتی در رابطـه بـا وضعیـت اقتصـادی، سیاسـی، معـادن و فنّـاوری ضـرب سـکه در اختیـار مـا قـرار می‌دهـد. ارزیـابی عناصـر فلـزات و وجـود عناصـر کمیـاب نشـانه‌هایی در مورد سـنگ معـدن (تعییـن منشـأ فلـز) و روش سـاخت ارائـه می‌دهـد. در مطالعـه سـکه‌ها اسـتفاده از روش‌هـای غیرتخریـبی در اولویـت اسـت. تعییـن نـوع ابـزار آزمایشـگاهی، دسـتگاهی و میکروسـکوپی بـا توجـه بـه سـؤال مدنظـر پژوهشـگر و امکانـات در دسـترس انتخـاب می‌شـود. از دیـدگاه حفاظـتی و مرمـتی، بهتـر اسـت قبـل از اقـدام بـه پاک‌سـازی، بسـته بـه شـرایط سـکه، مراحـل مستندسـازی و ثبـت جزئیـات و بررسی‌هـای آزمایشـگاهی تـا حـد معمـول و نیـاز، انجـام شـود کـه در تصمیم‌گیـری بـرای انتخـاب شیـوه بهینـه

مرمت اهمیت بسزایی دارد. انجام آنالیزهای دقیق برای پاسخ به سؤالات مطالعات سکه‌شناسی که نیاز به سطح تمیز سکه دارد، باید بعد از فرآیند پاک‌سازی انجام شود. علاوه بر بررسی ماهیت فلز سکه، شناسایی رسوبات، نوع و محصولات خوردگی‌های سطح نیز، می‌تواند در پژوهش مربوط به گذشته و تاریخ سکه، شرایط قرارگیری آن و اشیایی که در مجاورت آن بوده، به محقق کمک زیادی ارائه دهد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری که فرصت مطالعه بر آثار فلزی و بخصوص سکه‌های تاریخی را برای اینجانب فراهم آورده سپاسگزاری می‌گردد.

حامیان مادی و معنوی

این مقاله با حمایت‌های مادی و معنوی پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی انجام شده است.

پی‌نوشت‌ها

1. Wet chemical analysis
2. Atomic Absorption (AAS)
3. Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS)
4. Scanning Electron Microscope (SEM)
5. Energy Dispersive X-ray Microanalysis (EDX)
6. X-Ray Fluorescence (XRF)
7. Neutron Activation Analysis (NAA)
8. Particle-Induced X-Ray Emission (PIXE)
9. Inductively Coupled Plasma–Atomic Emission (ICP-AES)
10. X-Ray Diffraction (XRD)
11. Thompson
12. Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)
13. Computed Tomography
14. pH Meters

منابع

استوارت، باربارا. (۱۳۹۳). روش‌های تجزیه‌ی مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی. ترجمه مسعود باقرزاده کثیری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی

اولیائی، پروین. آفریده، حسین و آقاعلی گل، داوود (۱۳۹۴). مطالعه آماری سکه‌های نقره هخامنشی، اشکانی و ساسانی با استفاده از آنالیز عنصری به روش پیکسی. مطالعات باستانشناسی، ۷(۱)، ۲۸-۱۷.

بخشنده فرد حمیدرضا و جاوری محسن (۱۳۹۶). شناسایی فنی و خوانش خطوط سکه های مسی حفاری شده از محوطه تاریخی فیض آباد کاشان. پژوهه باستان سنجی، ۳ (۲)، ۶۱-۷۹.

برومند، صفورا (۱۳۹۱). آسیب شناسی پژوهش‌های سکه شناختی در ایران: مطالعه موردی سکه‌های ایران باستان. تاریخ نگری و تاریخ نگاری.۹۴(۱۰) ۱-۲۸.

جوزی، زهره(۱۴۰۱).تجزیه عنصری سکه های نقره هرمزد چهارم ساسانی، ضرب شده در بیشاپور به روش پیکسی (PIXE). نشریه پژوهش های باستان شناسی ایران،۱۲(۳۴)،۲۱۵-۲۴۰.

حاج ولیئی، مهدی، محمدی‌فر، یعقوب، قیاسی، کیارش، لامعی رشتی، محمد و اولیایی، پروین. (۱۳۸۸). مطالعه و تحلیل ۳۰ سکه نقره ای دوره‌ی ساسانی موزه‌ی همدان با استفاده از روش پیکسی. ادبیات و زبان‌ها: مطالعات ایرانی، (۱۶)،۱۴۱-۱۵۰.

خادمی ندوشن، فرهنگ، محقق، مریم، هژبری نوبری، علیرضا و مسجدی خاک، پرستو (۱۳۹۴). بررسی اوضاع سیاسی اقتصادی حکومت اشکانیان در سال‌های (۵۷-۲ ق.م.) دوران پادشاهی ارد دوم و فرهاد چهارم (براساس مطالعه‌ی ترکیبات شیمیایی سکه‌های نقره با روش آزمایشگاهی PIXE. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران ،۵(۸)،۵۳-۶۶.

صبری، حسین. اعوانی، غالمرضا و مدنی، فرح السادات (۱۴۰۲). سنجش عیار نقره سکه‌های درهم عباسی قرن دوم هجری، متعلق به موزه‌ی ملی ایران، با استفاده از آزمایش XRF مطالعات باستان‌شناسی دوران اسلامی. ۲(۳)، ۲-۷.

سبزعلی، مهدی، گودرزی، علیرضا، خزایی کوهپر، مصطفی و خادمی ندوشن، فرهنگ (۱۳۸۹). مطالعه وضعیت اقتصادی اشکانیان در دوران مهرداد اول و مهرداد دوم، بر اساس آزمایش سکه‌های نقره (یک درهمی) بوسیله دستگاه XRF. پیام باستان‌شناس، ۷(۱۳)، ۹۱-۱۰۰.

کوهستانی اندرزی، حسین، نصراللهی، زهرا، یاغی زهی، مریم و سعادت مهر، محمد امین (۱۳۹۸) تجزیهٔ عنصری سکه‌های نقرهٔ ناصرالدین شاه قاجار ضرب شده دریزد به روش پیکسی (PIXE). پژوهشنامه تاریخ اجتماعی اقتصادی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۸ (۲)، ۲۱۱-۲۳۵.

Bacharach, J.L. & Gordus, A.A. (1972). The purity of Sasanian silver coins and introduction. Journal of the American Oriental Society ,92(2), 280-283

Caley, E. (1955). Chemical composition of Parthian coins, numismatic notes and monogram. American Numismatic Society, 129.

Fabrizi, L., Francesca,D.T., Medeghini, L.,& Di Fazio, M. (2018). The application of non-destructive techniques for the study of corrosion patinas of ten Roman silver coins: The case of the medieval Grosso Romanino. Microchemical Journal, 145, 419-427.

Fierascu, R.C., Fierascu, I., & Ortan, A. (2017). Complex archaeometallurgical investigation of silver coins from the XVIth-XVIIIth century'. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 401, 18-24.

Gordus, A.A. (1967). Quantitative Non-destructive Neutron Activation analysis of silver in coins. Archaeometry 10(1), 78–86.

Guerra, M.F. (1998). Analysis of Archaeological Metals. The Place of XRF and PIXE in the Determination of Technology and Provenance. X-Ray Spectrometry 27(2), 73–80.

Hughes, M.J., & Hall, J.A. (1979). X-ray fluorescence analysis of late Roman and Sassanian silver plate. Journal of Archaeological Science. 6(4) , 321-344

Moreno-Suõrez, A.I., Ager, F.J. (2016). Feasibility of different cleaning methods for silver-copper alloys by X-ray fluorescence: Application to ancient Greek silver coin. Spectrochemical Acta Part B: Volu 116, 85-91

Palomor, T.)2016(. A Comparative study of cleaning methods for tarnished silver. Journal of Cultural Heritage.17,20-26

Shackley, M.S. (2018). X-Ray Fluorescence (XRF): Applications in Archaeology. Encyclopedia of Global Archaeology. 7933–7938

Sodaei, B., Masjedi Khak, P., & Khazaie, M.(2013). A Study of Sasanian Silver Coins Employing the XRF Technique. Interdisciplinaria archaeological Natural Sciences in Archaeology 4 (2): 211-215.

Thompson, F. C., & Chatterjee, A. K. (1954). The Age- Embrittlement of Silver Coins. Studies in Conservation, 1(3), 115-126.