



اهمیت نمونه برداری از مواد و مصالح تاریخی در باستان سنجی و مفاهیم مرتبط با آن

یاسین صدقی^۱

دانشجوی دکتری حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، گروه حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر تهران

سید محمد امین امامی

استاد گروه مرمت و باستان سنجی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان

 <https://doi.org/10.22034/ciom.2025.2071460.1050>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۲

نوع مقاله: پژوهشی، صص ۶۰-۷۵

چکیده

باستان سنجی، به عنوان یک شاخه میان رشته ای، صرفاً محدود به تحلیل های دستگاهی و تفسیر داده های آزمایشگاهی از آثار تاریخی نیست، بلکه حوزه آن، تمامی ابعاد مرتبط با گردآوری نظام مند داده ها را دربرمی گیرد. در این راستا، نمونه برداری از مواد و مصالح تاریخی، به دلیل ناهمگنی ذاتی و تنوع ساختاری آثار، یک مؤلفه روش شناختی با اهمیت فزاینده محسوب می شود. تنوع در ماهیت اشیاء، مستلزم تنوع متناظر در فنون استخراج و شیوه های نمونه برداری است. از این رو، پروتکل اجرایی نمونه برداری یک مسئله بحرانی است؛ زیرا هرگونه خطا یا غفلت ناشی از عدم کفایت دانش در این خصوص، می تواند منجر به سوگیری های تحلیلی، بی اعتباری نتایج علمی و درنهایت، صدمات غیرقابل جبران به تمامیت مادی اثر تاریخی شود. لذا، مقاله حاضر با ماهیت آموزشی-تحلیلی، با هدف ارتقاء صلاحیت روش شناختی در میان دانشجویان و پژوهشگران، به تبیین دقیق اهمیت بنیادین نمونه برداری

در باستان‌سنجی می‌پردازد و اصول نظری، مفاهیم کلیدی، مانند حجم نمونه، قابلیت برداشت و چالش‌های عملیاتی مربوط به انتخاب و استخراج نمونه‌های معرف از آثار تاریخی را تشریح می‌کند.

واژگان کلیدی: نمونه‌برداری، اثر تاریخی، آنالیز، باستان‌سنجی

۱. مقدمه:

رشته میان‌رشته‌ای باستان‌سنجی^۱ در سال‌های اخیر، به‌عنوان یک پارادایم پژوهشی نوین، شاهد رونق و گسترش قابل ملاحظه‌ای در ایران بوده است؛ تا حدی که می‌توان دهه حاضر را "دهه مطالعات باستان‌سنجی" یا "دهه توجه به علوم باستان‌شناختی" قلمداد کرد. این مطالعات، به‌منزله یک فرآیند پیچیده و چندوجهی، شامل طیفی از وظایف پیوسته است که صحت خروجی نهایی، به رعایت دقیق اصول روش‌شناختی در تمامی مراحل آن وابسته است. عدم شناخت و غفلت از هر یک از این مراحل می‌تواند منجر به انحراف مسیر پژوهش شده و در نهایت، به انتشار گسترده داده‌های اشتباه و استنتاج‌های فاقد اعتبار در حوزه باستان‌سنجی منجر شود. اگرچه اجرای تحلیل‌های دستگاهی دقیق بر روی آثار موزه‌ای و یافته‌های باستان‌شناسی، علاوه بر دانش، نیازمند تجربه، نبوغ و پشتکار است، اما تدوین و اتخاذ تمهیدات روش‌شناختی استاندارد می‌تواند وابستگی فرآیند به عوامل غیرعلمی را به حداقل برساند. این تمهیدات شامل برنامه‌ریزی جامع، رعایت شیوه‌های مناسب نمونه‌برداری، تطبیق با استانداردهای کیفی بالا برای مواد، کالیبراسیون حرفه‌ای تجهیزات و اختصاص محیط آزمایشگاهی تخصصی است. در این میان، نمونه‌برداری از آثار تاریخی، نقشی اساسی و متمایز دارد؛ چراکه تصمیمات اتخاذ شده در این مرحله به‌طور مستقیم، کیفیت و قابلیت ارایه داده‌های تولیدی، صحت استنتاج‌های بعدی و حتی خط‌مشی‌های پژوهشی محققان دیگر را متأثر می‌سازد. لذا، کمبود تجربه و صلاحیت روش‌شناختی پژوهشگران جوان در امر نمونه‌برداری، به‌عنوان یک چالش محوری، ایجاب می‌کند که این مرحله حساس به‌طور عمیق و جدی مورد توجه و آموزش قرار گیرد.

۲. نمونه‌برداری چیست؟

نمونه‌برداری یا نمونه‌گیری^۲ یک استراتژی روش‌شناختی و یک اقدام عملی^۳ و اخلاقی^۴ است که برای برخورد با حجم معین یا تعداد مشخصی از داده‌ها و اشیاء است که باید مورد بررسی و مطالعه



1. Archaeometry
2. Sampling
3. Practical
4. Ethical

قرار گیرند. نمونه‌برداری به پژوهشگر امکان می‌دهد تا با "برداشت نمونه" یا "تکه‌برداری" از یک جمعیت بزرگتر (مانند یک منطقه باستانی، یک سایت، یا مجموعه‌ای از اشیاء تاریخی و هنری)، به درک انتقادی و تفسیر صحیح داده‌های خود دست یابد و در عین حال، بخش اصلی مجموعه را برای تحقیقات آتی محفوظ نگه دارد (Hirst, 2020). هدف واحد و بنیادین نظریه نمونه‌برداری، ایجاد زیرمجموعه‌ای معرف از جمعیت اصلی است؛ به گونه‌ای که هر جزء در زیرمجموعه، شانس برابری برای انتخاب از جامعه اصلی داشته باشد. نمونه‌ای که با این روش تولید می‌شود، باید به‌طور دقیق دامنه تنوع و ویژگی‌های کلیدی موجود در جامعه را بازتاب دهد. در تعریفی بسیار ساده و شفاف که سازمان ملی استاندارد ایران ارائه داده است نمونه‌برداری را "فرآیند برداشت نمونه" تعریف می‌کند (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵: ۲).

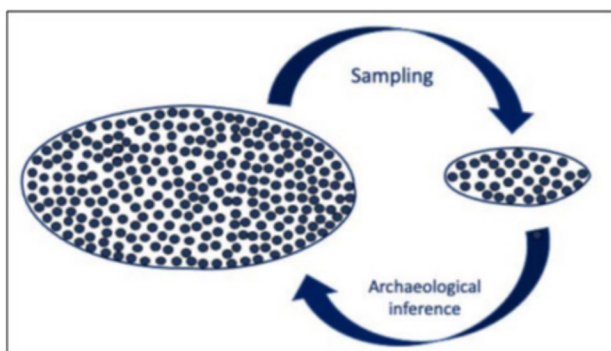
نمونه‌برداری در عمل، هم "علم" است و هم "هنر". این فرآیند مستلزم تفکر پیشینی در مورد یافته‌های مورد انتظار و در عین حال، عدم قطعیت و تجدیدنظر مستمر بر اساس داده‌های مشاهده‌شده است. پژوهشگر باید به‌طور مداوم، قبل، حین و بعد از نمونه‌برداری، اعتبار و قابلیت اعتماد اطلاعات به دست آمده را بررسی، مطالعه مجدد و آزمون نماید. به‌طور کلی نمونه‌برداری یک فن تخصصی است که باید توسط افراد متخصص یا دارای تجربه کافی انجام شود؛ چراکه ساده‌انگاری و عدم آگاهی در این مرحله، به‌طور مستقیم منجر به خطاهای نمونه‌برداری^۱ و نتایج اشتباه خواهد شد (Tite, 2008).

۳. نمونه مطالعاتی

نمونه مطالعاتی به بخش کوچکی از مصالح تشکیل دهنده که نماینده مناسبی از کل شیء است و برای بررسی‌های علمی از اموال فرهنگی برداشت می‌شود، می‌گویند (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵: ۲). پژوهشگر باید همواره این اصل بنیادین را در نظر داشته باشد که نمونه مطالعاتی، باید "نماینده" یا کاملاً معرف کل اثر یا جامعه مطالعاتی باشد. از آنجا که به دلایل اخلاقی و فنی، امکان آنالیز و نمونه‌برداری از تمامی موقعیت‌ها و اجزای یک شیء تاریخی یا هنری وجود ندارد، این امر حیاتی است. چراکه در نمونه‌برداری به‌طور مرسوم فقط قسمتی از مدارک باستان‌شناختی را بررسی و آزمون می‌کنند و براساس فرض نمایندگی، خصوصیات به دست آمده از جزء، به کل جامعه (جامعه‌ای که نمونه از آن برداشت شده) تعمیم داده می‌شود (شکل ۱). تعیین مقدار و حجم مناسب مواد باستان‌شناختی که به‌عنوان نمونه جمع‌آوری می‌شوند، در مواردی که امکان نمونه‌برداری از کل مواد مورد بررسی نیست، موضوعی است که باید مورد توافق روش‌شناختی قرار گیرد. لذا کل پدیده مورد تحقیق براساس اطلاعات حاصل از تحلیل نمونه‌ها انجام می‌گیرد. این فرآیند استنتاج، همانطور



اهمیت نمونه‌برداری از مواد و مصالح تاریخی در باستان‌سنجی و مفاهیم مرتبط با آن



■ تصویر ۱. تعداد کم نمونه‌های انتخاب شده باید استنباط‌های دقیقی در مورد جمعیت مورد بررسی امکان‌پذیر و مقذور سازد (Eliadou and Kiriati, 2023: 155)

که دیا اچ. تامس بیان می‌کند: "تحقیقات مفید باستان‌شناختی همیشه با تولید نمونه‌ها شروع شده و با تعمیم به جامعه‌ای که نمونه‌ها از آن برداشت شده‌اند کامل می‌گردد" (پولارد و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۸۳).

برای اطمینان از اینکه نمونه مشاهده شده، نماینده واقعی کل جامعه بوده و از خطاهای

نمونه‌برداری مصون مانده است، بهترین معیار، اتخاذ یک راهبرد نمونه‌برداری نظام‌مند است که شانس بروز خطا را در هر مرحله به حداقل می‌رساند. این کار زمانی امکان‌پذیر است که یک درک مبنایی از ماهیت پدیده مورد بررسی وجود داشته باشد و بهترین راهکارها برای تعمیم صحیح نتایج در تحقیق شناسایی شود. چنین رویکردی، تجسم کلیه پدیده‌هایی را که در کانون تحقیق قرار دارند، اعم از مقیاس منطقه‌ای، محوطه باستانی، مجموعه‌ای از اتاق‌ها، یا آثار منفرد داخل یک محوطه، یا یک تک اثر را ناگزیر می‌سازد. اگر نمونه‌ها نامناسب یا ناکافی باشند، نتایج بی‌معنی خواهند بود. در میان دانشمندان، این مفهوم اغلب در عبارت "ورودی بی‌ارزش، خروجی بی‌ارزش" خلاصه می‌شود (Artioli, 2010: 94).

۴. انواع نمونه‌برداری در باستان‌سنجی

نمونه‌برداری یک فرآیند تخصصی است که مستلزم دقت روش‌شناختی و تفکر انتقادی است. برای اطمینان از دستیابی به یک نمونه کامل و عینی که به‌درستی نمایانگر کل اثر باشد، فرآیند نمونه‌برداری باید مبتنی بر یک استراتژی روشن و روشمند باشد. اگرچه دسته‌بندی‌های مختلفی برای روش‌های نمونه‌برداری از آثار تاریخی وجود دارد، اما دو روش اصلی که بیشترین کاربرد را در باستان‌سنجی دارند، عبارتند از:

الف- نمونه‌برداری گزینشی یا انتخابی: این رویکرد، نمونه‌گیری هدفمند است و مستلزم آن است که پژوهشگر ابتدا یک شرح کامل از قطعات پازل (سؤالات، ابهامات، یا نواحی دارای اهمیت ویژه) که انتظار دارد بررسی کند، جمع‌آوری نماید. سپس، یک زیرمجموعه هدفمند از هر یک از آن قطعات یا نواحی را برای مطالعه انتخاب می‌کند. ماهیت آن بر اساس قضاوت و دانش متخصص از ماهیت اثر و اهداف تحقیق است. کاربرد آن اغلب برای بررسی نواحی دارای آسیب خاص، یا نقاطی

که از لحاظ ساختاری یا تاریخی دارای اهمیت متمایز هستند، استفاده می‌شود.

ب- نمونه‌برداری تصادفی^۱: در این روش، هدف این است که پژوهشگر ابتدا باید درکی جامع از تمام قسمت‌های یک اثر، نه صرفاً قسمت‌هایی که به نظرش مهم هستند، به دست آورد. سپس، با ایجاد یک سازوکار تصادفی (مانند استفاده از جدول اعداد تصادفی یا شبکه‌بندی)، نمونه مورد نظر خود را انتخاب کرده و نمونه‌برداری را انجام می‌دهد. ماهیت آن مبتنی بر احتمال ریاضی است تا اطمینان حاصل شود که هر جزء شانس برابری برای انتخاب دارد. همچنین هدف آن حذف سوگیری‌های ذهنی پژوهشگر در فرآیند انتخاب و تضمین بالاترین سطح قابلیت تعمیم است (Hirst, 2020).

به‌طور خلاصه، انتخاب استراتژی مناسب (گزینشی یا تصادفی) به نوع سؤال پژوهش، ماهیت اثر مورد مطالعه و محدودیت‌های اخلاقی و عملی نمونه‌برداری بستگی دارد.

۵. طرح نمونه‌برداری

پیش از انجام هرگونه اقدام نمونه‌برداری در محل، تهیه یک طرح نمونه‌برداری^۲ یا پروتکل نمونه‌برداری امری ضروری و حیاتی است. این طرح، نقشه راهی است که تمام جزئیات عملیات را مشخص می‌سازد و برای تضمین کیفیت پژوهش تدوین می‌شود. در طرح نمونه‌برداری باید به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

- (۱) حجم نمونه: چند عدد نمونه باید برداشت شود؟ (تعیین تعداد بهینه نمونه‌ها)
 - (۲) مکان نمونه‌برداری: از کجا باید نمونه‌ها برداشت شوند؟ (تعیین محل‌های دقیق برداشت نمونه)
 - (۳) زمان‌بندی: چه هنگام (در چه شرایط زمانی) باید عملیات نمونه‌برداری صورت گیرد؟
- هدف اصلی از تدوین این طرح، تضمین معرف بودن نمونه است. این بدان معناست که هر نمونه مطالعاتی برداشته شده باید به‌مثابه نماینده‌ای مناسب از جامعه آماری خود (سطح، حجم اثر، یا محیط مورد مطالعه) عمل کند. طراحی دقیق پروتکل‌های نمونه‌برداری برای بالا بردن کیفیت داده‌های حاصله و دستیابی به خروجی‌های معتبر در پایان پروژه ضروری است. خروجی موفقیت‌آمیز این طرح، شامل پیشرفت در تحقق اهداف پژوهش، تضمین کیفیت داده‌ها و امکان ارائه آنالیزهای تجزیه و تحلیل درست و قابل اعتماد خواهد بود (باقری، ۱۳۹۱: ۸۳).

۶. تعداد، مقدار و شکل نمونه‌ها

تعیین تعداد، مقدار و شکل مناسب نمونه‌ها در پروژه‌های مطالعاتی باستان‌سنجی و نیز حفاظت



اهمیت نمونه‌برداری از مواد و مصالح تاریخی در باستان‌سنجی و مفاهیم مرتبط با آن



و مرمت تابع یک قانون جهانی واحد نیست و باید بر اساس یک ارزیابی جامع و چندوجهی صورت پذیرد. این تصمیم‌گیری به عوامل کلیدی متعددی وابسته است:

(۱) **ماهیت و مقیاس تحقیق:** وسعت کلی پروژه، بودجه و چارچوب زمانی موجود، مستقیماً بر تعداد نمونه‌های قابل جمع‌آوری اثر می‌گذارد (Eliadou and Kiriati, 2023: 157).

(۲) **سؤالات و اهداف پژوهش:** سؤالات تحقیق تعیین می‌کنند که کدام ویژگی‌ها باید مورد بررسی قرار گیرند و بنابراین، چه تعداد نمونه برای دستیابی به توان آماری کافی لازم است.

(۳) **نوع ماده تاریخی:** میزان و تنوع نمونه‌برداری در مواد مختلف، به شدت متفاوت است؛ برای مثال، نمونه‌برداری از سفال و مواد معدنی با استخوان‌های جانوری/ انسانی یا نهشته‌های باستانی، از لحاظ شیوه و آگاهی تخصصی، کاملاً متمایز است (Degryse and Rademakers, 2023: 195).

(۴) **الزامات تکنیک تحلیلی:** هر تکنیک آزمایشگاهی (مانند XRD, XRF, ICP) دارای الزامات خاص برای آماده‌سازی نمونه است که مستقیماً در مقدار نمونه مورد نیاز (مثلاً از ۳۰۰ گرم تا ۵ گرم) و وضعیت فیزیکی آن (تکه یا پودر) منعکس می‌شود (Eliadou and Kiriati, 2023: 158).

(۵) **تنوع ذاتی مشترک:** در موادی مانند نمونه‌های سرامیکی، تعداد نمونه‌ها باید بر اساس تنوع ذاتی گروه تعیین شود. به طور کلی، ۳ تا ۵ نمونه در هر گروه به عنوان حداقل در نظر گرفته می‌شود و ۷ تا ۱۰ نمونه تعداد قابل قبولی برای نمایش گروه‌های یکنواخت ماکروسکوپی و مورفولوژیکی است. تعداد نمونه‌های انتخابی در نمونه‌های بالاتر باید براساس داده‌های آماری تنظیم شود (همان).

به طور کلی تعداد و اندازه نمونه‌ها علاوه بر موارد فوق، بسیار متکی بر نوع آثار تاریخی مورد مطالعه است چرا که این اثر تاریخی است که تعیین می‌کند چطور و چگونه و چه میزان از آن نمونه‌برداری کرد و آنها را به آزمایشگاه منقل نمود. در بسیاری از موارد ممکن است یک اثر به تکه‌های مختلفی شکسته و تقسیم شده باشد در این حالت می‌توان به میزان مورد نظر (در اینجا نوع آزمایش تعیین می‌کند) نمونه‌برداری کرد و پس از اتمام مراحل آنالیز آن را به اثر بازگرداند. اما در بسیاری از مواقع ممکن است دارای یکپارچگی و تقریباً سالم بوده در این حالت نمی‌توان به راحتی نمونه‌برداری انجام داد و باید بسیاری از ضوابط و شرایط را در نظر گرفت. در نهایت باید این نکته را متذکر شد تعداد و مقدار و شکل نمونه‌برداری هرچه قدر که باشد نباید به ماهیت و اصالت اثر مورد مطالعه خدشه و آسیب وارد نماید و نمونه‌برداری باید متناسب با اندازه^۱ باشد.

۲. ضرورت حفظ سلامت و اصالت اثر (ملاحظات اخلاقی)

مهم‌ترین اصل در نمونه‌برداری، حفظ اصالت^۲ و سلامت فیزیکی اثر تاریخی است. تناسب اندازه

1. Sampling proportional to size

2. Authenticity

یعنی تعداد، مقدار و شکل نمونه‌ها باید متناسب با اندازه و ماهیت اثر باشد و تحت هیچ شرایطی نباید به اصالت و یکپارچگی اثر خدشه یا آسیب وارد کند. در موارد دارای یکپارچگی (آثار سالم و موزه‌ای)، نمونه‌برداری باید با احتیاط و در نظر گرفتن ضوابط سختگیرانه صورت گیرد. در موارد شکستگی یا تکه‌تکه شدن، امکان برداشت نمونه متناسب با نیاز آزمایشگاهی و با در نظر گرفتن قابلیت بازگشت نمونه پس از آنالیز وجود دارد. پژوهشگران حوزه باستان‌سنجی و مرمت باید همواره سلامت آثار تاریخی را در اولویت قرار دهند و سلامت آن را فدای اهداف پژوهشی خود نکنند. برداشت نمونه‌های بزرگتر از حد معمول از آثار سالم و نمایشی صرفاً با هدف بایگانی برای مطالعات آتی، مصداق تخلف پژوهشی محسوب می‌شود.

براساس مصادیق ابلاغی وزارت علوم: "عدم رعایت سلامت، ایمنی، ضوابط و استانداردهای لازم جهت حفاظت و آسایش آزمودنی‌های (انسان، حیوان، گیاه، اشیاء، اسناد و مدارک، آثار باستانی و محلی) در حین پژوهش به بهانه پیشرفت علم و منافع جامعه، جزو تخلفات پژوهشی محسوب می‌شود و تحقیق ارائه شده غیر قابل قبول خواهد بود (وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، ۱۳۹۳). از این رو تمامی پژوهشگران و دانشجویان حوزه میراث فرهنگی باید به این نکته مهم توجه کافی داشته باشند.

۸. ارتباط آنالیز و نمونه‌برداری با یکدیگر

انجام آنالیزهای آزمایشگاهی و دستگاهی دقیق بر روی آثار موزه‌ای یا مواد حاصل از حفاری‌های باستان‌شناسی، فراتر از یک فعالیت صرفاً علمی، یک مهارت تخصصی است. اگرچه این فرایند مستلزم تجربه، نبوغ و پشتکار است، اما برای کاهش وابستگی فرایند به شانس، تمهیدات روش‌شناختی ضروری وجود دارد. براساس نوشته پولارد و همکارانش، کیفیت خروجی تحلیل‌ها، حاصل زنجیره‌ای از اقدامات دقیق است که ارتباط مستقیمی بین نمونه‌برداری و آنالیز ایجاد می‌کند. این تمهیدات عبارتند از:

۱) **برنامه‌ریزی و نمونه‌برداری مناسب:** تدوین یک طرح خوب و استفاده از شیوه‌های صحیح نمونه‌برداری در مرحله آغازین؛

۲) **تطبیق استانداردها:** اعمال استانداردهای کیفی بالا بر روی مواد مورد آزمایش؛

۳) **نگرش حرفه‌ای به تجهیزات:** رعایت دقیق اصول کالیبراسیون دستگاه‌ها؛

۴) **انتخاب درست:** تعیین نوع آنالیزهای انتخابی متناسب با سؤال پژوهش و ماهیت نمونه؛

۵) **محیط مناسب:** اختصاص یک آزمایشگاه مناسب برای اجرای دقیق آنالیز نمونه (Pollard et al., 2018). عدم توجه به هر یک از این مراحل، به‌ویژه در مرحله نمونه‌برداری، تأثیر منفی مستقیم و عمیقی بر هدف نهایی پژوهش و اعتبار نتایج خواهد گذاشت. به‌طورکلی آنالیزهای تجزیه و شناسایی مواد



اهمیت نمونه‌برداری از مواد و مصالح تاریخی در باستان‌سنجی و مفاهیم مرتبط با آن

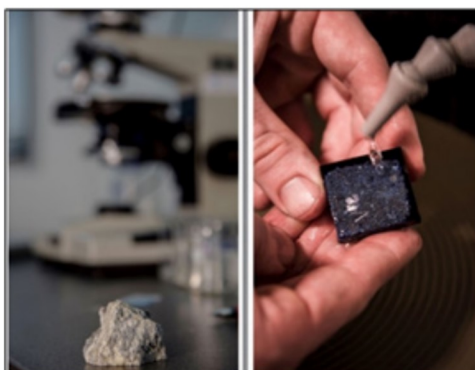
تاریخی بر اساس میزان مداخله و آسیبی که به نمونه مطالعاتی وارد می‌کنند، به سه دسته‌بندی اصلی زیر تقسیم می‌شوند:

الف) آنالیز مخرب^۱: این آنالیزها مستلزم برداشت حجم مشخصی از نمونه مطالعاتی و تخریب کامل آن در طول فرآیند آماده‌سازی و تحلیل هستند (مانند حل کردن نمونه در اسید یا پودر کردن آن برای تکنیک‌های خاص). این روش‌ها، که اغلب دقیق‌ترین نتایج ترکیبی را ارائه می‌دهند، برای مواد باستانی که حجم نمونه‌برداری در آن‌ها محدودیت کمتری دارد (مانند تکه‌های سفال یا مواد حاصل از حفاری‌های پرتعداد)، مناسبتر هستند و باید با دقت و ملاحظات اخلاقی بالا برای آثار موزه‌ای استفاده شوند. این نوع آنالیزها مستلزم نمونه‌برداری‌های متعدد از آثار است که معمولاً در آثار و بناهای تاریخی و میراثی غیرقابل قبول است. به‌همین منظور استانداردها و اصول موجود، در ابتدا، استفاده از روش‌های غیرمخرب و نیمه‌مخرب را توصیه می‌کند (شکل ۲) (Jaskowska-Lemaska & Przesmycka, 2020).

روش پتروگرافی می‌تواند یکی از مهم‌ترین روش‌های تخریبی ولی پرکاربرد مطالعات باستان‌سنجی باشد؛ روش‌های دیگری نظیر XRF^2 و XRD^3 و نیز SEM-EDS هم می‌توانند جزو این دسته از آنالیزها باشند. استفاده از چنین آزمایش‌هایی نیازمند نمونه‌برداری مخرب و درنهایت آسیب به شیء می‌شود. این نکته را باید متذکر شد که آزمایشی همچون SEM-EDS^۴ بنا به نوع اثر مطالعاتی و شیوه نمونه‌برداری می‌تواند هم در دسته آنالیزهای مخرب و هم غیرمخرب قرار گیرد؛ به‌طورمثال اگر نمونه مطالعاتی، بخشی از یک اثر بسیار بزرگ (مانند نقاشی دیواری) باشد، ناگزیر باید از اثر مورد نظر نمونه‌برداری مخرب (برداشتن یک تکه کوچک) انجام شود تا سپس با روش SEM-EDS آنالیز صورت گیرد؛ در این حالت، مداخله به دلیل لزوم نمونه‌برداری، مخرب محسوب می‌شود. اما اگر نمونه مورد نظر یک شیء بسیار کوچک مانند یک مهره یا سکه ریز باشد که ابعاد آن به اندازه‌ای است که می‌تواند به‌طور کامل و بدون نیاز به تکه‌برداری در محفظه دستگاه قرار گیرد و آنالیز شود، آنگاه می‌توان بدون عمل نمونه‌برداری (تخریب)، اثر را مطالعه نمود و این روش در عمل غیرمخرب تلقی می‌شود. بنابراین، طبقه‌بندی یک روش تحلیلی به میزان زیادی به ملاحظات عملیاتی نمونه‌برداری و ابعاد فیزیکی شیء وابسته است.



1. Invasive Methods یا Destructive Test (DT)
2. X-Ray Fluorescence
3. X-Ray Diffraction
4. Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy



■ تصویر ۳. آماده‌سازی تخریبی نمونه برداشت شده بوسیله دستگاه ساب و برش در آزمایش پتروگرافی مقطع نازک (Microanalysis Aus-tralia, 2017)



■ تصویر ۲. نمونه‌برداری مخرب از سکه تاریخی و تخریب سکه: آنچه که در این تصویر نشان داده شده این است که بخشی از سکه با اره مویی به عنوان نمونه بریده شده و جای خالی آن با استفاده از رزین اپوکسی پر و سپس موزون‌سازی شده است (نگارنده)

ب) آنالیز نیمه‌مخرب^۱: این روش‌ها به مقدار بسیار اندکی از ماده اصلی نیاز دارند. اگرچه فرایند تحلیل شامل تخریب موضعی یا مصرف بخش بسیار کوچکی از نمونه است، اما این میزان تخریب معمولاً در حدی است که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نبوده و به اصالت کلی اثر لطمه‌ای وارد نمی‌کند. نمونه‌های برداشتی در این دسته اغلب در ابعاد میکرو^۲ هستند (Artioli, 2010: 94-96). در چنین شرایطی که آنالیز از نمونه مورد نظر باعث تخریب شود استفاده از روش‌های مؤثرتر و کم مخاطره‌تر، همچون روش‌های نیمه‌مخرب (یعنی روش‌های آزمایش با تخریب کم) توصیه می‌شود (Kloiber et al., 2015). از جمله مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان آنالیز مادون قرمز تبدیل فوریه یا همان FT-IR^۳ را نام برد.

پ) آنالیز غیرمخرب^۴: آنالیزهای غیرمخرب روش‌هایی هستند که برای تجزیه و تحلیل آثار تاریخی و فرهنگی، نمونه‌برداری فیزیکی را به حداقل رسانده یا کاملاً حذف می‌کنند و بدون آسیب رساندن یا تغییر ماهیت نمونه، امکان تجزیه و تحلیل مستقیم را فراهم می‌آورند. در این حالت، نمونه‌ای که برای آنالیز استفاده می‌شود، اغلب همان شیء تاریخی اصیل است. این روش‌ها برای آثار موزه‌ای و منحصربه‌فرد که نمی‌توان از آن‌ها نمونه جدا کرد، ایده‌آل هستند. به همین دلیل استفاده از روش‌های غیرمخرب (بدون نمونه‌برداری) در مطالعات باستان‌سنجی و مرمت بسیار توصیه می‌گردد چراکه امکان تجزیه و تحلیل انواع مختلف آثار را (بدون تخریب و درمحل^۵) فراهم می‌کند



اهمیت نمونه‌برداری از مواد و مصالح تاریخی در باستان‌سنجی و مفاهیم مرتبط با آن

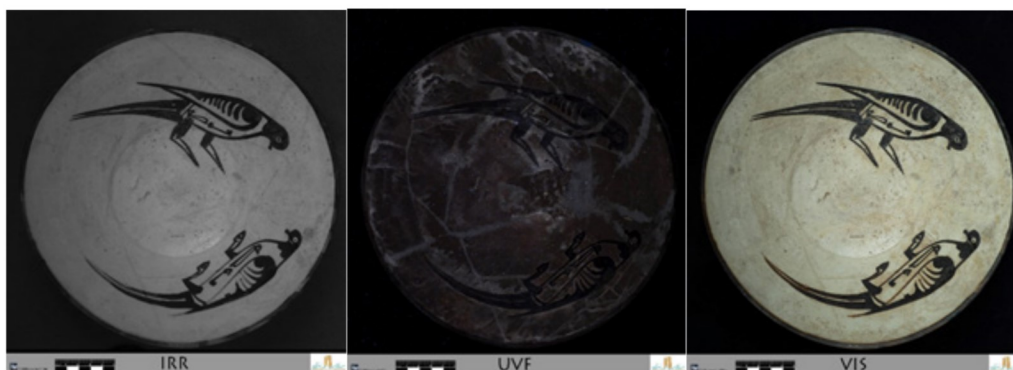
1. Semi-Destructive Test (SDT) یا Micro-Invasive Methods
2. Micro-Sampling
3. Fourier-transform infrared spectroscopy
4. Non-Destructive Test (NDT) یا Non-Invasive Methods
5. in situ

تا یکپارچگی آنها حفظ شوند. روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد. همه این تکنیک‌ها در کنار یکدیگر به منظور ارائه اطلاعات ارزشمند در مورد ترکیب عنصری و ساختاری و همچنین وضعیت نگاهداشت و در برخی موارد در مورد فرآیندهای خلاقانه انجام شده توسط هنرمندان در آثار مناسب هستند (Rizzutto et al., 2015). لذا برای آثار موزه‌ای و منحصر به فرد که برداشت و جداسازی نمونه از آنها غیرممکن یا غیرمجاز است، بسیار ایده‌آل هستند.

بهترین نوع آنالیزهایی که می‌توان در این روش از آنها بهره برد استفاده از آنالیزگرهای پرتابل^۱ و یا دستی^۲ هستند. به طور مثال روش‌های P-Raman، P-XRF و P-XRD از این دست آنالیزها هستند (شکل ۵). همچنین استفاده از روش‌های تصویربرداری نوری یا طیفی گزینه بسیار خوبی برای مطالعات غیرمخرب محسوب می‌شوند که کارایی بسیار خوبی در مطالعات بررسی سطح دارند (شکل ۴). در جدول زیر انواع روش‌های آن ذکر شده است (جدول ۱).

■ جدول ۱. انواع روش‌های تصویربرداری نوری استفاده شده به منظور مطالعه آثار مختلف (نگارنده)

دسته اول: روش‌های بازتابی	دسته دوم: روش‌های لومینسانس	دسته سوم: روش‌های ترکیبی
مرئی بازتابی (VIS)	لومینسانس فرابنفش انگیخته (UVL)	رنگ غیرواقعی مادون قرمز بازتابی (IRR-FC)
فرابنفش بازتابی (UVR)	لومینسانس مادون قرمز فرابنفش انگیخته (UVIL)	رنگ غیرواقعی فرابنفش بازتابی (UVR-FC)
مادون قرمز بازتابی (IRR)	لومینسانس مادون قرمز مرئی انگیخته (VIL)	تفریق تصویر بازتابی چند باندی (MBR)



■ تصویر ۴. تصاویر تهیه شده به روش تصویربرداری‌های نوری یا طیفی از یک بشقاب لعبدار سفالی (آرشیو موسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد)

1. Portable analyzer
2. Handheld analyzer



از منظر فلسفی، رویکرد به آنالیز و آزمایش‌های صورت گرفته بر روی آثار تاریخی و فرهنگی با یک فرض بنیادین آغاز می‌شود: تمامی مداخلات مخرب محسوب می‌شوند. این دیدگاه فراتر از مفهوم تخریب فیزیکی در آزمایشگاه می‌رود و شامل مجموعه‌ای از فرایندهاست که ردی از خود بر روی اصالت اثر بر جای می‌گذارند. حتی برخی از فرایندهای آنالیز دستگاهی و تجزیه که از نظر تئوری خودشان غیرمخرب قلمداد می‌شوند (مانند رویکردهای مختلف میکروسکوپی)، ممکن است نیازمند آماده‌سازی نمونه باشند که به‌طور اساسی با یکپارچگی یا سیمای اصلی اثر تداخل ایجاد می‌کند. این مرحله آماده‌سازی به خودی خود، مخرب ارزیابی می‌شود، به‌طور مثال، در پتروگرافی با ایجاد برش‌های ظریف برای تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی، در میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDS) پوشش‌دهی کربن و طلا برای هدایت الکتریکی نمونه ممکن است مخرب محسوب شوند. همچنین قرار دادن نمونه در محفظه دستگاه، فرایندی که ممکن است مستلزم شکسته شدن نمونه یا برش‌های خاصی باشد تا در محفظه دستگاه جا گیرد و منجر به تخریب یا تداخل در ساختار آن می‌شود از این نوع تداخل محسوب شود. بنابراین، دیدگاه فلسفی هشدار می‌دهد که حتی فرایندهای به ظاهر غیرمخرب نیز باید با احتیاط کامل مورد استفاده قرار گیرند، زیرا آسیب به معنا و بافت اثر می‌تواند به اندازه آسیب فیزیکی جدی باشد (Biró, 2005).



■ تصویر ۵. استفاده از آنالیز غیرمخرب HH-XRF (طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس دستی) به منظور بررسی فلزات بکار رفته در تزئین پارچه‌های تاریخی به جای نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه (نگارنده)



اهمیت نمونه‌برداری از مواد و مصالح تاریخی در باستان‌سنجی و مفاهیم مرتبط با آن

۹. نمونه‌برداری و حفاظت و مرمت

اساساً در روش‌های کلاسیک و مخرب (که هنوز به طور گسترده در پژوهش‌های باستان‌سنجی و مرمت ایران رایج است)، دستیابی به اهداف تحلیلی نیازمند نمونه‌برداری فیزیکی از اثر است؛ حتی اگر آن اثر دارای ارزش تاریخی و هنری بی‌نظیری باشد. سؤال اینجاست که نمونه‌برداری‌های مخرب و نیمه‌مخرب چگونه می‌توانند با مبانی فکری مرمت آثار تاریخی و هنری تناسب یابند. تناسب این روش‌ها با مبانی مرمت، تحت شرایط و توافقات سختگیرانه‌ای قابل توجیه است:

۱. **اصل حداقل مداخله:** نمونه‌برداری مخرب تنها زمانی اخلاقی و قابل قبول است که هیچ روش غیرمخرب یا نیمه‌مخرب دیگری قادر به پاسخگویی به سؤالات حیاتی پژوهش نباشد. میزان نمونه

مورد نظر باید در حداقل ممکن و متناسب با نیاز تکنیک تحلیلی باشد و از برداشتن نمونه‌های اضافی (برای بایگانی یا مطالعات آتی) به شدت پرهیز شود.

۲. اصل برگشت‌پذیری و عدم آسیب به اصالت: نمونه‌برداری باید در نقاطی از شی انجام شود که کمترین تأثیر بصری و ساختاری را بر اصالت و یکپارچگی کلی اثر داشته باشد (مانند نقاط پنهان، شکستگی‌های قبلی یا لبه‌های نامنظم). محل نمونه‌برداری باید در صورت امکان، پس از برداشت به گونه‌ای مرمت شود که تا حد امکان شواهد مداخله را پنهان سازد (Brandi, 1977).

۳. ضرورت پژوهشی: نمونه‌برداری مخرب تنها برای اهدافی قابل توجیه است که خروجی آن‌ها ارزش علمی و حفاظتی افزوده داشته باشد. این اطلاعات باید برای درک بهتر مکانیسم تخریب، تعیین اصالت، شناسایی منابع ساخت یا تدوین پروتکل‌های مرمتی ضروری باشد. پژوهشگران باید پیش از نمونه‌برداری، توجیه علمی و اخلاقی کافی مبنی بر اینکه چرا این تحلیل برای نگاهداشت از اثر یا دانش باستان‌شناسی ضروری است، ارائه دهند.

تناسب نمونه‌برداری مخرب با مبانی حفاظت و مرمت میراث فرهنگی در یک معادله متوازن قرار دارد که در آن ارزش کسب دانش علمی و مرمتی باید به‌طور قاطع بر آسیب جزئی و محدود وارد شده به اثر برتری داشته باشد. این توافق اخلاقی باید تحت نظارت نهادهای متولی میراث فرهنگی و با رعایت کامل پروتکل‌های استاندارد صورت پذیرد.

مطالعات نوین و علمی بر روی اشیاء و مواد دارای ارزش‌های تاریخی و یا فرهنگی، معمولاً شامل استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف به‌منظور استخراج اطلاعات عینی از این مواد است. این روش‌های آنالیز علمی می‌تواند برای مطالعات عینی و متقن اشیاء تاریخی و هنری با ارزش استفاده شود (Janssens et al; 2000). از سویی دیگر یک پژوهشگر، علاوه بر توجه به میزان تخریب روش‌های آنالیز، می‌بایست به این نکته توجه نماید که آنالیز مورد استفاده چه میزان از سطح و عمق شی را درگیر می‌نماید. هرکدام از این روش‌ها ممکن است برای به ثمر رسیدن آنالیز، به سطح، با عمق کم یا کل حجم اثر نیاز داشته باشد (Leucci, 2019). همچنین این انتظار می‌رود که تمامی مداخلات و نمونه‌برداری‌ها به وضوح مستند و ثبت شوند.

برخی از روش‌های آنالیز و بررسی وجود دارند که به مقدار بسیار اندک نیازمند نمونه هستند. با این حال، این سؤال پیش می‌آید که اندازه بسیار کم و کوچک از نمونه ممکن است بر نتایج حاصل و نتیجه‌گیری‌های ما تأثیر منفی بگذارد. آیا نمونه‌های برداشت شده، می‌تواند نماینده کل اثر باشد؟ آیا کافیتست؟ و نماینده برای چه چیزی بوده است؟ در پاسخ به این مهم باید ذکر شود، که نگاه پژوهشگر، باید هدف‌محور باشد و خودخواهانه تصمیم‌گیری نکند و مسئله نمونه‌برداری و آنالیز از اثر را می‌بایست براساس اهداف تعیین شده که در راستای نگاهداشت از شی خواهند بود در نظر بگیرد. اما اگر صرفاً و بدون تعیین هدف و براساس حقیقت موجود عمل نماید و نمونه‌برداری صورت گیرد،



آن وقت است که مسئله نمونه‌برداری و استفاده از آنالیزهای مخرب می‌تواند ضربه بزرگی به اثر و درنهایت مقوله نگاهداشت اثر وارد آورد.

۱۰. تفاوت نمونه‌برداری در رشته‌های مختلف

مسئله نمونه‌مطالعاتی و نمونه‌برداری از آثار تاریخی، در دو حوزه حفاظت و مرمت و باستان‌شناسی، دو مقوله مجزا با سطوح چالش متفاوت محسوب می‌شود. در حوزه باستان‌شناسی، موضوع نمونه‌برداری و نمونه‌مطالعاتی عموماً کم‌چالش‌تر است. تعریف نمونه‌مطالعاتی در باستان‌شناسی، اغلب شامل موادی است که فاقد فرم کامل، غیرموزه‌ای و ناسالم تلقی می‌شوند و صرفاً کاربرد مطالعاتی دارند؛ نظیر قطعات شکسته و خردشده سفال‌های تاریخی که به‌وفور در کاوش‌ها یافت می‌شوند. اما این مقوله در حوزه حفاظت و مرمت آثار تاریخی بسیار پیچیده‌تر و چالش‌برانگیزتر است؛ چرا که اکثر مرمت‌گران آثار تاریخی به‌طور مستقیم با نمونه‌های سالم، موزه‌ای و ارزشمند در ارتباط‌اند و مسئله نمونه‌برداری و استفاده از روش‌های مخرب فرایندی بسیار پرچالش و حساسیت‌برانگیز است.

این مقوله در حوزه حفاظت و مرمت به‌طور چشمگیری پیچیده‌تر و حساسیت‌برانگیزتر است؛ چرا که از منظر مبانی نظری مرمت، هر قطعه‌ای از یک شیء، حتی یک بخش نامعلوم از یک سفال یا سنگ، به‌مثابه یک سند تاریخی انگاشته می‌شود. این سند ممکن است واجد ارزش‌های هنری پایین، اما حاوی داده‌های تاریخی و فرهنگی بالایی باشد که صیانت از آن را ضروری می‌سازد. براساس مبانی نظری مرمت نحوه برخورد با یک سند تاریخی ولو دارای ارزش‌های هنری پایین می‌تواند دارای داده‌های تاریخی و فرهنگی بالایی باشد و مستلزم صیانت است. بنابراین، با اتخاذ رویکرد حفاظت و اصول اخلاقی مرمت، به‌سادگی نمی‌توان حکم به برداشت بخش یا کل قطعه به‌منظور مطالعه داد، زیرا این امر با اصل حفظ اصالت و سندیت در تضاد است.

براین اساس پیشنهاد می‌شود که در حفاظت و مرمت علمی باید مقوله روش‌های آنالیز غیرمخرب را مدنظر قرار داد تا به شیء آسیبی وارد نگردد. اما مطالعات باستان‌سنجی، با توجه به تنوع اهدافش، می‌تواند هر دو دیدگاه را در بر گیرد، اگر هدف در راستای حفاظت و مرمت اثر باشد، باید از رویکرد کم‌تهاجمی پیروی کند، و اگر هدف صرفاً باستان‌شناختی باشد (مانند مطالعه مواد فاقد یکپارچگی موزه‌ای)، رویکرد می‌تواند منعطف‌تر باشد (قانونی و صدقی، ۱۴۰۲). آنچه که مهم است در هر صورت، صیانت از آثار تاریخی یک الزام اخلاقی است و به بهانه نمونه‌برداری نباید بخشی از آن جدا شود که به اصالت آن خدشه‌ای وارد کند.



اهمیت نمونه‌برداری از
مواد و مصالح تاریخی
در باستان‌سنجی و
مفاهیم مرتبط با آن

نتیجه‌گیری

اهمیت نمونه‌برداری در مطالعات باستان‌سنجی یک اصل بدیهی است؛ به‌طوری که هرچند تجزیه و آنالیز نمونه‌ها با بالاترین دقت انجام شود، در صورت عدم اجرای صحیح نمونه‌برداری، کل کار انجام شده فاقد ارزش علمی خواهد بود. این وابستگی متقابل دوطرفه است؛ یعنی حتی اگر نمونه‌برداری به بهترین نحو انجام پذیرد، در صورت عدم دقت در تجزیه و آنالیز یا انتخاب نادرست روش تحلیلی، باز هم تمامی فعالیت‌های صورت گرفته بیهوده تلقی می‌شود. عدم شناخت و درک صحیح از هر مرحله در فرایند نمونه‌برداری و آنالیز، می‌تواند منجر به بروز خطاها و اشتباهاتی شود که پژوهش مورد نظر را به‌طور کامل از اعتبار ساقط کند. این مشکلات اغلب در طول فرایند از چشم پژوهشگر پنهان مانده و تنها در زمان نتیجه‌گیری نهایی خود را نمایان می‌سازد. از این‌رو، فردی که در حوزه باستان‌سنجی پژوهش می‌کند، باید بر تمام مراحل و سرگذشت نمونه خود اشراف کامل داشته باشد، زیرا این مراحل یک زنجیره برگشت‌ناپذیر را تشکیل می‌دهند و هر اشتباهی در هر مرحله، زیان‌آور خواهد بود. هفت مرحله حیاتی در سرگذشت نمونه (برگشت‌ناپذیر) به شرح ذیل است:

۱) طرح نمونه‌برداری: تدوین پروتکل جامع برای اثر یا آثار تاریخی مورد نظر.
۲) تعیین نقطه و محل نمونه‌برداری: انتخاب دقیق مکان برداشت بر اساس ملاحظات علمی و اخلاقی

۳) برداشتن نمونه: اجرای عملیات استخراج نمونه با ابزارهای مناسب و رعایت حداقل مداخله
۴) انتقال نمونه به آزمایشگاه: حمل و نقل نمونه‌ها تحت شرایط کنترل شده برای حفظ سلامت نمونه
۵) تجزیه و آزمایش: اجرای آنالیزهای دستگاهی و شیمیایی
۶) اتمام نمونه و یا ذخیره آن: مدیریت باقیمانده نمونه (مصرف کامل یا ذخیره‌سازی اصولی).
۷) تبدیل داده: نمونه به‌صورت داده شیمیایی یا ساختاری در اختیار پژوهشگر قرار می‌گیرد.

همچنین به‌طور ساده اهداف نمونه‌برداری شامل: از کجا، چه هنگام، چگونه، چه تعداد، چند وقت یک بار نمونه برداشته شود و چه مقدار نمونه لازم است، چگونه از نمونه حفاظت شود، چه مدت نمونه پایدار خواهد بود، از چه محیطی نمونه برداشته شود، چه چیزی تجزیه و آزمایش شود و نمونه چگونه نگهداری شود؛ هستند.

عدم آگاهی و تسلط ناکافی بر مبانی روش‌شناختی نمونه‌برداری، یکی از چالش‌های بنیادین در پژوهش‌های باستان‌سنجی محسوب می‌شود. تجربه نشان داده است که بسیاری از پژوهشگران، به دلیل فقدان دانش لازم در این مرحله، صرفاً با اتکا به یک نمونه ناکافی یا نامناسب از اثر تاریخی اقدام به آنالیز می‌کنند؛ این امر، علاوه بر آنکه به دلیل عدم سلامت یا عدم نمایندگی نمونه، به از



دست رفتن زمان و تحمیل هزینه پژوهشی بدون کسب خروجی علمی معتبر منجر می‌شود، دامنه وسیع‌تری از آسیب‌رسانی و تخریب آثار تاریخی را تحت عنوان مطالعه علمی در پی دارد. لذا، برای جلوگیری از این تخلفات پژوهشی و تضمین اعتبار نتایج، تدوین یک طرح نمونه‌برداری صحیح که مبتنی بر مطالعه جامع و کامل اثر مورد نظر باشد، پیش از هرگونه اقدام به نمونه‌برداری، یک ضرورت مطلق روش‌شناختی است.

منابع

- باقری، هاشم. (۱۳۹۱). نمونه‌برداری و تجزیه دستگاهی نمونه‌های معدنی و زیست محیطی، ویرایش دوم، اصفهان: جهاد دانشگاهی.
- بولارد، مارک؛ بت، کاترین؛ استرن، بن؛ یانگ، سوزان. (۱۳۹۵). کاربردهای شیمی تجزیه در علوم باستان‌شناختی، ترجمه مسعود باقرزاده کثیری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۵). حفاظت از اموال فرهنگی-نمونه‌برداری از مصالح اموال فرهنگی-روش‌شناسی-مقررات عمومی، نشر استاندارد ملی ایران، ICS: ۹۷, ۱۹۵.
- قانونی، محسن؛ صدقی، یاسین. (۱۴۰۲). فرآیند کارشناسی و اصالت‌سنجی آثار موزه‌ای، بر مبنای مطالعات غیرمخرب در مؤسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد. بنیان هنر؛ جستارهای موزه‌داری، مرمت، باستان‌شناسی و تاریخ هنر، ۱(۱)، ۱۴۳-۱۶۹.
- وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. (۱۳۹۳). مصادیق تخلفات پژوهشی، تصویب شده در ۵۷ بند به تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۲۳.

- Artioli, G. (2010). Scientific methods and cultural heritage: an introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science. OUP Oxford.
- Biró, K. T. (2005). Non-destructive research in archaeology. Journal of radioanalytical and nuclear chemistry, 265(2), 235-240.
- Brandi, C. (1977). Theory of Restoration. Istituto Centrale del Restauro.
- Degryse, Patrick; and Rademakers, Frederik. (2023). Sampling inorganic materials for chemical (elemental and isotopic) analysis, in Evi Margaritis, Artemios Oikonomou, Efthymia Nikita and Thilo Rehren (Eds), Field Sampling for Laboratory Analysis in Archaeology, (pp. 193-199), The Cyprus Institute Nicosia, Cyprus.
- Eliadou, Maria Dikomitou; Kiriati, Evangelia. (2023). Sampling for ceramic analysis, in Evi Margaritis, Artemios Oikonomou, Efthymia Nikita and Thilo Rehren (Eds), Field Sampling for Laboratory Analysis in Archaeology, (pp. 153-164), The Cyprus



اهمیت نمونه‌برداری از مواد و مصالح تاریخی در باستان‌سنجی و مفاهیم مرتبط با آن



فصلنامه بنیان هنر
شماره هشتم
پاییز ۱۴۰۴

۷۵

Institute Nicosia, Cyprus.

- Hirst, K. Kris., (2020 January 06). Sampling in Archaeology, Retrieved from <https://www.thoughtco.com>.
- Janssens, K., Vittiglio, G., Deraedt, I., Aerts, A., Vekemans, B., Vincze, L., ... & Snigirev, A. (2000). Use of microscopic XRF for non-destructive analysis in art and archaeometry. *X-Ray Spectrometry: An International Journal*, 29(1), 73-91.
- Jaskowska-Lemańska, J., & Przesmycka, E. (2020). Semi-destructive and non-destructive tests of timber structure of various moisture contents. *Materials*, 14(1): 96.
- Kloiber, M., Drdácý, M., Machado, J. S., Piazza, M., & Yamaguchi, N. (2015). Prediction of mechanical properties by means of semi-destructive methods: A review. *Construction and Building Materials*, 101: 1215-1234.
- Leucci, G. (2019). Nondestructive testing technologies for cultural heritage: Overview. *Nondestructive Testing for Archaeology and Cultural Heritage*, 15-73.
- Microanalysis Australia. (2017). Petrographic Analysis & Thin Sectioning. <https://www.microanalysis.com.au/news/thin-sectioning/>.
- Pollard, A.M., Wilson, L., & Heron, C. (2018). *Archaeological Chemistry*. (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.
- Rizzutto, M. A., Curado, J. F., Bernardes, S., Campos, P. H. O. V., Kajiya, E. A. M., Silva, T. F., ... & Added, N. (2015). Analytical techniques applied to study cultural heritage objects.
- Tite, M. S. (2008). Integrating archaeological and scientific data. *Archaeometry*, 50(2): 291-303.