

## پژوهشی بر طلاکاری جیوه‌ای بر روی نقره

معصومه یوسفی\*، سید علی اصغر میرفتاح\*\*، فرزاد مافی\*\*\*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۵

### چکیده

طلاکاری جیوه‌ای روشی است که در دوره ساسانی برای تزئین آثار نقره به‌کاررفته است. این روش دارای ویژگی‌هایی است که باعث اتصال محکم لایه طلا به پایه نقره شده و لایه طلا با گذشت بیش از هزار سال از اثر جدا نشده است. در این تحقیق به معرفی طلاکاری جیوه‌ای پرداخته شده و این پرسش مطرح شده است که چه عاملی باعث دوام لایه طلا بر روی سطح نقره، بوده است؟ هدف از این پژوهش، یافتن شباهت‌ها و تفاوت‌ها بین اثر نقره دوره ساسانی و نمونه‌های حاصل از انجام تجربه‌های آزمایشگاهی است که منجر به شناخت چگونگی اجرای این روش و همچنین دلیل پایداری لایه طلا بر روی سطح نقره شده است. برای این منظور، طلاکاری جیوه‌ای بازیابی و اجرا شده و با یک نمونه قدیمی به‌عنوان شاهد مورد بررسی‌های متالوگرافی برای شناسایی ساختار قرار گرفته است. سپس به مطالعه و بررسی بیشتر سطح پوشش و چگونگی چسبندگی لایه طلا به فلز پایه با استفاده از (SEM) پرداخته شده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که، پوشش طلا از نوع پوشش نفوذی است که باعث چسبندگی محکم لایه طلا به پایه نقره می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: طلا، طلاکاری جیوه‌ای، ساسانی، SEM.

---

\* دانشجوی دکتری گروه باستان‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران. m2.yousefi@gmail.com

\*\* استادیار باستان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران. (نویسنده مسئول).

ali.mirfatah@yahoo.com

mafifarzad@gmail.com

\*\*\* استادیار باستان‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران.

## ۱- مقدمه

هنرها و صنایعی که امروزه در جهان شاهد آنها هستیم، نتیجه تلاش‌های پیشینیان در طول هزاره‌های گذشته است. آنچه که اکنون در موزه‌های جهان دیدگان مشتاق و ستایشگر بازدیدکنندگان را به خود جذب می‌کند، ساخته دست هنرمندانی است که فنون باستانی را با مهارت بر روی آثار هنری خود به کار گرفته و اشیایی را خلق کرده‌اند که علاوه بر هنر دوستان، توجه اهل علم را نیز به خود جلب کرده و کانون توجه محققان علوم گوناگون قرار گرفته‌اند. باید توجه داشت که این فنون در طی مسیرهای چند هزارساله خود، همواره در معرض خطر فراموشی قرار دارند و بر ماست که به‌عنوان حافظان آثار تاریخی، علاوه بر حفظ اشیای باستانی، با جمع‌آوری اطلاعات و مکتوب کردن آنها گامی در جهت حفاظت از بخش مهمی از میراث فرهنگی تحت عنوان میراث ناملموس برداریم.

طلاکاری یکی از هنرهای کهن در جهان است که همگام با شناخت فلز طلا بنا بر مقتضیات زمان و مکان در مناطق مختلف بر روی مواد گوناگون از جمله فلزات به کار گرفته شده است.

در این میان هنرمندان تمدن کهن ایران نقش به‌سزایی در پیشرفت انواع طلاکاری بر روی فلزات داشته و در دوره‌های مختلف تاریخی با آثار متنوع و بدیع خود، هنر جهان را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

دوره ساسانی در ایران یکی از دوره‌های تاریخی است که هنر طلاکاری بر روی نقره به دلیل شرایط خاص اجتماعی و سیاسی پیشرفت زیادی کرده و شیوه‌ای از طلاکاری به‌عنوان طلاکاری جیوه‌ای، با ویژگی‌هایی متفاوت از دیگر روش‌ها فراگیر شده و جایگزین روش‌های قبل می‌گردد. وسعت استفاده از طلاکاری جیوه‌ای در ایران دوره ساسانی به گونه‌ای است که این شیوه طلاکاری، روش بومی ایران دوره ساسانی محسوب می‌شود.

این روش معایب روش‌های دیگر، همچون استفاده از مقادیر زیاد طلا، جدا شدن و مفقود شدن قطعات طلا، قابل کنترل نبودن ضخامت لایه طلا را ندارد و به راحتی می‌توان از این شیوه بر روی نقوش موردنظر استفاده کرد. دوام پوشش طلا در این روش به حدی است که امروزه آثاری که از دوره ساسانی یافت شده و در موزه‌های بزرگ جهان قرار دارند، با وجود خوردگی نقره و پوشیده شدن سطح لایه طلا با محصولات خوردگی فلز (عکس ۱)، بعد از عملیات پاک‌سازی همچنان دارای پوشش طلای درخشان و سالم هستند. (عکس ۲).



عکس ۱- ظرف نقره-طلاکاری جیوه‌ای-قرن ۶ م-موزه رضا عباسی

منبع: معصومه یوسفی



عکس ۲- ظرف نقره-طلاکاری جیوه ای-قرن ۶ م-موزه میهو ژاپن

منبع: [www.miho.or.jp](http://www.miho.or.jp)

با این حال این شیوه امروزه به دلیل خطرناک بودن روش به واسطه استفاده از جیوه و جایگزین شدن روش طلاکاری الکترولیتی رو به فراموشی است. با توجه به اهمیت حفظ دانش‌های بومی، در این پژوهش علاوه بر معرفی و اجرای طلاکاری جیوه‌ای بر روی نقره به‌عنوان یکی از فنون فراموش شده ایران، روش‌های مختلف طلاکاری در طول زمان نیز معرفی شده و ویژگی‌های هرکدام بیان شده است.

پرسشی که در ارتباط با موضوع حاضر مطرح است این است که، پوشش طلای حاصل از این روش دارای چه ویژگی‌هایی است که برخلاف دیگر روش‌های طلاکاری، در طول زمان و تحت تأثیر عوامل محیطی از سطح نقره جدا ن‌شده و همچنان مستحکم بر روی آثار باقی مانده است؟

## ۲- روش تحقیق

این تحقیق به روش تحلیلی- تجربی و بر مبنای مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته است. برای این منظور ابتدا اطلاعات موجود در مورد این تکنیک جمع‌آوری شده است. سپس عملیات طلاکاری جیوه‌ای در آزمایشگاه بر روی سطح قطعات نقره اجرا شده است. در ادامه برای یافتن مشابهت‌ها و تفاوت‌ها، بررسی‌های متالوگرافی بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی و یک قطعه کوچک جدا شده از یک نمونه قدیمی به‌عنوان شاهد انجام گرفته است.

سپس با توجه به مختصاتی که در متالوگرافی مهم تشخیص داده شده، سطح لایه طلا و چگونگی چسبندگی این لایه به سطح نقره، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی‌های بیشتر قرار گرفته است که منجر به شناخت ویژگی‌های پوشش طلا و همچنین دلیل دوام لایه طلا بر سطح نقره شده است.

## ۳- پیشینه تحقیق

بخش عظیمی از آثار مزین با این روش که متعلق به دوره ساسانیان می‌باشد در موزه‌های معتبر جهان موجود است که غنی‌ترین مجموعه‌های آن متعلق به موزه رضا عباسی، ارمیتاژ، متروپولیتن و میهو می‌باشند.

بیشتر این نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفته و تحت عنوان طلاکاری جیوه‌ای معرفی شده‌اند. علاوه بر این محققینی همچون (Gunter-Jett: 1992) و (Meyers- Harper, 1981) که مطالعات بسیاری بر روی آثار نقره دوره ساسانی انجام داده‌اند، به اجرای این روش بر روی اشیا نقره دوره ساسانی اشاره کرده‌اند.

محققین دیگر از جمله (Oddy, 1991; Anheuser, 1997; Berpohl, 2001) نیز به نکاتی در مورد شیوه اجرا اشاره‌هایی داشته‌اند.

دانشمندان ایرانی نیز در نسخ خطی برجای مانده نکاتی از ساخت آلیاژ طلا-جیوه و همچنین نحوه اجرای طلاکاری جیوه‌ای را بیان کرده‌اند (عراقی، ۱۳۰۷، بخش: ۷۳، باب اول).

محققین اندکی نیز در مورد روش طلاکاری نقره‌های دوره ساسانی نظرات متفاوتی ارائه داده‌اند.

از جمله "ویلاردگری" به این نتیجه رسیده است که در زمان پارت‌ها و ساسانیان با استفاده از جریان الکتریسیته وسایل زینتی و ظروف فلزی را آب طلا می‌دادند و این همان عملی است که امروزه "گالوانوپلاستی"<sup>۱</sup> می‌نامند (آورزمانی، ۱۳۹۳: ۳۰۹).

در صورتی که در پژوهش اثبات خواهد شد که هیچ‌گونه جریان الکتریکی برای انجام این روش مورد نیاز نیست.

از میان تحقیقات فارسی، مطالعات علمی و عملی گسترده درباره طلاکاری جیوه‌ای بر روی مس و آلیاژهای آن در پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده به راهنمایی دکتر علیرضا بهرمان در دانشگاه هنر تهران انجام پذیرفته و در انجام پژوهش پیش رو، که بر روی نقره انجام پذیرفته، از دستاوردهای آن بهره گرفته شده است (یوسفی، ۱۳۸۷).

پس از آن مقاله‌ای درباره کتیبه مسی آرامگاه حضرت علی (ع) که با این شیوه مزین شده است توسط علیرضا بهرمان نگاشته شده است که به مطالعات علمی و آزمایشگاهی بر روی این کتیبه پرداخته است (بهرمان، ۱۳۹۱).

در مقاله دیگری این روش بر روی درب مسجد امام اصفهان که با این شیوه تزئین شده است توسط ایزدی و همکاران مورد آنالیزهای دستگاهی و مطالعات متالوگرافی قرار گرفته است (ایزدی، ۱۳۹۷).

---

۱- گالوانوپلاستی یا آبکاری الکتریکی روشی است که در آن لایه نازکی از یک فلز به وسیله جریان الکتریکی بر روی فلز دیگر نشانده می‌شود.

با این حال در این مقالات بیشتر به مطالعات آزمایشگاهی پرداخته شده و در مورد شیوه اجرای فن سخنی گفته نشده است. در این پژوهش به چگونگی انجام فن طلاکاری جیوه‌ای بر روی نقره پرداخته و سپس با انجام آزمون‌های مختلف، استفاده از فناوری طلاکاری با جیوه بر فلزات ساسانی اثبات و نحوه تشکیل لایه طلا بر روی فلز نقره با استفاده از روش مذکور بیان خواهد شد.

#### ۴- مطالعات تاریخی

در سال ۲۲۴ م. اردشیر پسر بابک، اردوان پنجم، فرمانروای اشکانی را مغلوب ساخت و پس از آن شروع به تشکیل حکومت در ایران نمود. این امپراتوری نزدیک به پنج قرن بر بخش‌های بزرگی از دنیای متمدن آن روزگار فرمانروایی کرد و با احداث شهرهای بزرگ و راه‌های ارتباطی و مراکز علمی و دینی، به رونق تجارت و ارتباط با دیگر ملل پرداخت.

در این دوره هنر با حمایت شاهان و بهره‌برداری از هنر و صنعت پیشینیان و همچنین الگوبرداری از عناصر هنری جدید، به شکل جدیدی ارائه شده است که نسبت به دوره‌های قبل تمایز آشکاری دارد، با این حال هنر این دوره، هنری کاملاً ایرانی و ادامه‌دهنده سنت‌های باستان است.

فلزکاری از جمله هنرهایی است که در زمان ساسانیان به واسطه ثروت امپراتوری بزرگ ساسانی و حمایت شاهان ساسانی از فلزکاران، شکوفا شده و قابلیت ساخت آثار فلزی نفیس را برای هنرمندان این دوره فراهم نموده است.

ویل دورانت در کتاب تاریخ تمدن می‌نویسد: فلزکاران زمان ساسانیان پارچه‌ها، لیوان‌ها، پیاله‌ها و ساغرهایی می‌ساختند که گویی خاص نسلی غول‌آسا بود (دورانت، ۱۳۹۲: ۱۸۴).

ظروف ساسانی، از آثار فلزی این دوره هستند که به دلایل تبلیغاتی و سیاسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

از آنجاکه این ظروف بیشتر به‌منظور پیشکش به بزرگان دیگر کشورها و یا برای معرفی پادشاه جدید و یا تبلیغ دین به کرات به خارج از مرزهای ایران فرستاده می‌شدند، استفاده از طلا مقدور نبوده و از نقره برای ساخت آنها استفاده شده است و چون نقره برای به رخ کشیدن شکوه امپراتوری ساسانی جلوه کافی نداشته، هنرمندان فلزکار این دوره ظروف را با فن طلاکاری جیوه‌ای زراندود کرده و توانسته‌اند جلوه زیبای طلایی را بدون استفاده از مقادیر زیاد طلا بر روی ظروف ایجاد نمایند. (عکس‌های ۳-۴)

روش طلاکاری جیوه‌ای تا قبل از دوره ساسانی در ایران رواج نداشته است و تاکنون یافته‌های قابل بررسی از دوره‌های قبل یافت نشده است.

گسترش استفاده از این روش در دوره ساسانی به‌گونه‌ای است که کاربرد هر نوع طلاکاری به‌جز طلاکاری جیوه‌ای برای یک شیء نقره متعلق به دوره ساسانی می‌تواند موردی غیرمعمول محسوب گردد (گانتر - جت، ۱۳۸۳: ۲۵۹).



عکس ۳- بشقاب نقره ساسانی - طلاکاری جیوه‌ای - قرن ۶-۵ م - موزه متروپولیتن

منبع: [www.Metmuseum.org](http://www.Metmuseum.org)





عکس ۴- بشقاب نقره ساسانی - طلاکاری جیوه‌ای - قرن ۶ م - موزه برلین  
منبع: آرشیو موزه پرگامون

## ۵- روش‌های ایجاد پوشش طلا بر روی فلزات باستانی

در طول دوره‌های مختلف تاریخی، برای ایجاد جلوه طلایی و طلاکاری بر روی آثار فلزی، ساده‌ترین روش‌های مکانیکی تا روش‌های کامل‌تر و پیچیده شیمیایی، توسط بشر ابداع شده و به کار گرفته شده است.

تاریخچه طلاکاری در جهان به صورت لایه طلا روی فلزات کم‌بهرتر مانند نقره و مس به حداقل ۵۰۰۰ سال قبل برمی‌گردد (Oddy, 1981: 75).

انواع طلاکاری عبارت‌اند از:

### ۱-۵- طلاکاری به روش غوطه‌وری در مذاب<sup>۱</sup>

روش غوطه‌وری در مذاب یکی از قدیمی‌ترین روش‌های طلاکاری بر روی فلزات است. در این روش، لازم است فلز طلا بتواند با فلز پایه تشکیل آلیاژ بدهد. در مقایسه

با سایر روش‌ها، پوشش طلای شکل گرفته در این روش نسبتاً ضخیم بوده و فلز پایه را به‌خوبی پوشش می‌دهد.

از این روش در روم باستان برای طلاکاری اشیاء فلزی به‌وفور استفاده شده است و اجرای روش به‌صورت ساده بدین ترتیب است که ابتدا شیء را حرارت داده و تا حد معینی گرم می‌کنند (برای به حداقل رساندن زمان غوطه‌وری) و سپس در یک‌زمان کوتاه در طلای مذاب غوطه‌ور می‌کنند. پس از سرد شدن شیء یک لایه طلا بر روی سطح فلز اصلی تشکیل می‌شود که اتصال محکمی با بدنه اثر دارد ( Goffer & Winefordner, 2007: 197).

#### ۵-۲- طلاکاری کاهشی<sup>۱</sup>

در این روش از طلاکاری شیء را با آلیاژی از طلا که بیشتر آلیاژهای طلا-مس یا طلا-نقره-مس هستند، می‌سازند. سپس سطح آن را در معرض یک محلول خورنده که فلز پایه را حل می‌کند قرار می‌دهند. بدین ترتیب یک لایه متخلخل از طلای خالص بر روی سطح باقی می‌ماند. این لایه متخلخل به‌وسیله صیقل زدن فشرده شده و لایه زرد درخشانی از طلای خالص بر سطح اثر به وجود می‌آید ( Goffer & Winefordner, 2007: 178). (عکس ۵)



عکس ۵ - تندیس آئینی طلاکاری تقلیلی  
قرن ۷ پس از میلاد - پاناما، آمریکای جنوبی  
محل نگهداری: موزه متروپولیتن  
منبع: [www.Metmuseum.org](http://www.Metmuseum.org)

### ۵-۳- طلاکاری ورقه‌ای<sup>۱</sup>

از ورق طلا به‌طور گسترده بر روی برنزهای قدیمی و فلزات دیگر به‌منظور تزئین و ایجاد ظاهر طلا مانند استفاده شده است. در این روش، طلای ورقه شده به‌وسیله اتصالات مکانیکی مانند تا کردن لبه‌های ورق بر روی لبه‌های شیء و یا درگیر کردن قسمت‌هایی از ورق با شیء، به اثر متصل می‌شود. گاهی نیز برای طلاکاری سطوح با ورق طلا، یک شیار در اطراف طرح موردنظر ایجاد شده و لبه‌های ورق طلا با فشار

یک ابزار نوک‌تیز داخل شیپار قرار گرفته و سپس لبه‌های شیپار با چکش کوبیده می‌شود تا ورق داخل شیپار جا گرفته و محکم شود (Oddy, 2003: 252). (عکس ۶)



عکس ۶ - کاسه نقره - طلاکاری ورقه‌ای

ایران - هخامنشی

محل نگهداری موزه بریتانیا

منبع: [www.britishmuseum.org](http://www.britishmuseum.org)

اتصال ورق طلا، اتصال محکمی نبوده و به‌مرور زمان امکان جدا شدن آن در اثر عوامل مختلف از شیء وجود دارد. همچنین برای تولید آن طلای زیادی مصرف می‌شود. به همین دلیل به‌سرعت استفاده از روش دیگری به نام طلاکاری برگه‌ای جایگزین آن می‌شود.

#### ۴-۵- طلاکاری برگه‌ای<sup>۱</sup>

برگه طلا، ورقه طلایی است که بسیار نازک شده است به طوری که ضخامت آن گاهی در حدود ۰/۱ میکرون می‌شود. ساختن برگه طلا با استفاده از خاصیت چکش‌خواری طلا عملی می‌شود و طلا با خلوص بسیار بالا می‌تواند بدون شکسته شدن به برگه تبدیل شود.

برای اتصال برگه‌های طلا بر روی سطح فلز روش‌های مختلف بیان شده است. برگه طلا می‌تواند بر روی فلز نقره به وسیله قرار دادن برگه بر روی سطح و حرارت دادن برای مدت‌زمان کوتاه، متصل شود. بر روی سطح مس و آلیاژهای آن که در اثر حرارت با یک لایه اکسید فلزی پوشیده شده و غیرقابل نفوذ می‌گردند و همچنین بر روی مواد غیرفلزی که نمی‌توان آنها را حرارت داد، از مواد چسبنده نظیر سریشم، سفیده تخم‌مرغ و صمغ برای چسباندن برگه طلا بر روی سطح استفاده شده است (Oddy, 2003: 252). (عکس ۷).



عکس ۷- کلاه خود مفرغی - طلاکاری برگه‌ای

عیلام میانه - جنوب غرب ایران

محل نگهداری موزه متروپولیتن

منبع: [www.Metmuseum.org](http://www.Metmuseum.org)

در برخی منابع نیز به چسباندن برگه طلا با استفاده از جیوه به سطح فلزی اشاره شده است (گانتر - جت، ۱۳۸۳: ۷۵).

روش کار بدین ترتیب ذکر شده است که جیوه به‌عنوان ماده چسباننده به‌صورت یک لایه نازک بر روی سطح فلز کشیده شده و برگه طلا بر روی آن قرار داده می‌شود و بدین ترتیب طلا چسبندگی محکمی با سطح پیدا می‌کند (Bostock & Riley, 1857: 114). استفاده از جیوه به‌منظور ایجاد اتصال بین طلا و سطح فلزی و شناخت خواص آن منجر به شکل‌گیری روش طلاکاری دیگری با عنوان طلاکاری جیوه‌ای می‌شود.

#### ۵-۵- طلاکاری جیوه‌ای<sup>۱</sup>

طلا از جمله فلزاتی است که به سهولت با جیوه تشکیل آلیاژ می‌دهد. خاصیت آلیاژ شدن طلا با جیوه از زمان‌های بسیار قدیم شناخته شده بوده است. از آلیاژ طلا و جیوه در زراندود کردن فلزات استفاده می‌شود و ایجاد پیوند محکمی که بین لایه طلا و سطح زیرین ایجاد می‌شود فقط در مورد فلزات امکان‌پذیر می‌باشد.

در طلاکاری جیوه‌ای، طلا با جیوه مخلوط شده و ماده خمیری شکلی ایجاد می‌کند که روی سطح تمیز نقره یا مس کشیده شده و جیوه آن به‌وسیله حرارت تبخیر می‌شود. حاصل کار یک لایه طلای کدر است که اتصال محکمی با سطح فلز زیرین دارد و با عملیات تکمیلی همچون صیقل‌کاری، براق و درخشان شده و برای تزئین سطح فلزی به کار می‌رود (Jones & Haldimand, 1832: 194).

در این روش لایه طلای به‌کاررفته بر روی این آثار، با سپری شدن زمانی طولانی، همچنان مستحکم بر روی فلز پایه باقی‌مانده و برخلاف روش‌های دیگر کمتر دچار آسیب شده است. چنین به نظر می‌رسد که این تکنیک دارای ویژگی‌هایی است که باعث اتصال محکم لایه طلا به پایه نقره شده است که نشان‌دهنده دانش نیاکان ما است. به همین دلیل در این پژوهش به بررسی این روش پرداخته خواهد شد.

## ۵-۶- آب طلاکاری<sup>۱</sup>

پوشاندن یک جسم با یک لایه نازک از یک فلز با کمک یک سلول الکترولیتی آبکاری نامیده می‌شود. آبکاری طلا از روش‌های نوین ایجاد پوشش طلا بر روی فلزات دیگر است که با روش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی انجام می‌شود. این روش اولین بار در سال ۱۸۴۰ انجام شد و در طول ۱۰۰ سال اول، آبکاری الکتریکی طلا برای مقاصد تزئینی به کار می‌رفت.

در آبکاری طلا، فاکتورهای مهم عبارت‌اند از: منبع طلا، عامل کمپلکس کننده برای طلا، یک نمک برای هدایت کردن و ایجاد شرایط لازم. گاهی نیز از یک فلز برای ایجاد رنگ و افزایش سختی استفاده می‌شود. منبع طلا عمدتاً سیانید طلا است. عامل کمپلکس کننده سیانید پتاسیم یا سدیم می‌باشند. نمک‌های هدایت کننده نیز عبارت‌اند از: سیانیدها، فسفات‌ها، کربنات‌ها، هیدروکسیدها و گاهی نیز سیتراتها و تارتراتها. امروزه در آبکاری تزئینی، لایه‌ای از پوشش نیکل بر روی نمونه انجام می‌شود و گاهی نیز پوشش طلا بر روی طلا عیار شده اعمال می‌گردد (قربانی، ۱۳۸۵: ۵۱-۴۹).

لازم به ذکر است که در مطالعات جدید، نظریاتی در باب موجودیت طلاکاری الکترولیتی در دوره پارتیان مطرح شده است. چنین گفته می‌شود که طلاکاری الکترولیتی بر روی برخی اشیاء در این دوره انجام گرفته است (Raub, 1993: 284-290).

همچنین در کاوش‌های باستان‌شناسی اشیایی سفالین شبیه به باطری در نزدیکی بغداد به دست آمده است. مطالعات متالورژیکی انجام گرفته بر روی آثار طلاکاری شده، نشان می‌دهد که روشی همانند طلاکاری الکترولیتی بر روی آنها انجام گرفته است (Eggert, 1995: 12-16).

این شیء از یک کوزه سفالی به ارتفاع ۱۴ سانتیمتر تشکیل شده است. درون این کوزه، ورقه مسی لوله شده‌ای به طول ۹/۸ سانتیمتر که میله آهنی به ارتفاع ۷/۵ سانتیمتر

درون آن قرار داده شده وجود دارد که به وسیله قیر در دهانه کوزه محکم شده است که با توجه به ساختار، کاربردی جز پیل الکتریکی نمی‌توان برای این شیء در نظر گرفت (Keyser, 1993: 81-82).

البته هنوز در مورد کاربرد این شیوه و صحت آبرکاری بر روی اشیا نظرات متفاوت وجود دارد.

### ۶- مقایسه بین طلاکاری جیوه‌ای و سایر روش‌ها

روش‌های مذکور همگی از نظر شیوه اجرا با تکنیک طلاکاری جیوه‌ای تفاوت دارند، ولی نتیجه همه آنها ایجاد یک روکش طلا بر روی فلز دیگر می‌باشد. وجود تفاوت‌ها و شباهت‌ها در نتایج حاصل می‌تواند معیاری برای مقایسه بین این روش‌ها قرار گیرد. در روش غوطه‌وری در مذاب اتصال طلا به فلز پایه جدایی‌ناپذیر است ولی پوشش طلا ضخیم بوده و به دست آوردن ضخامت‌های نازک بسیار مشکل است (فونتانا، ۱۳۸۶: ۴۱۲).

این روش دارای معایبی است که کاربرد آن را محدود نموده است. در این روش فلز مورد استفاده باید دارای نقطه ذوب بالاتر از طلا باشد که در اثر غوطه‌وری در مذاب طلا فرم خود را حفظ نماید. طلاکاری به روش غوطه‌وری در مذاب، بیشتر منحصر به ایجاد روکش کامل بر روی اشیاء و یا طلاکاری بر روی سطوح وسیع است و امکان اجرای آن بر روی نقوش و ظرافت‌ها محدود است چون طلای مذاب روی نقوش و ریزه‌کاری‌ها را می‌پوشاند. در صورتی که در طلاکاری جیوه‌ای می‌توان لایه طلا را با ضخامت‌های مختلف از چند میکرون تا ۱ میلی‌متر و بیشتر بر روی اثر اجرا کرد و همچنین طلاکاری نقوش ظریف موردنظر، بدون سرایت به دیگر سطوح امکان‌پذیر است. (ن ک: عکس‌های ۱-۲)

طلاکاری کاهشی، روشی است که در طول تاریخ مرسوم نبوده است و نمونه‌های اندکی از آن باقی مانده است. در این شیوه نیز روکش حاصل، به‌طور کامل به پایه متصل



است. در واقع روکش طلای ایجاد شده با این روش، جزئی از کل فلز است که با روش شیمیایی خالص شده است. به همین دلیل به واسطه استفاده از اسید، آثاری که به این روش ایجاد شده‌اند، ساختاری سست و متخلخل دارند که به شدت آسیب‌پذیر هستند.

همان‌گونه که در عکس ۳ دیده می‌شود، شیء در اثر استفاده از اسید، دارای ساختار غیر مستحکم بوده و صدمه خورده است. در طلاکاری کاهشی فلز مورد استفاده به صورت اجتناب‌ناپذیر باید از آلیاژهای طلا باشد ولی روش طلاکاری جیوه‌ای بر روی فلزات مختلف از جمله نقره و مس قابل اجرا است.

در طلاکاری با ورق طلا برای اتصال طلا به سطح فلز به‌طور معمول از اتصالات مکانیکی استفاده شده است. مثلاً با استفاده از پرچ قطعه تزئینی به بدنه اثر متصل شده است و یا قطعه طلا را در شیارهای ایجاد شده بر روی بدنه قرار داده و با ضربه زدن محکم کرده‌اند در این روش‌ها اتصال طلا به سطح، اتصال محکمی نبوده و به راحتی جدا می‌شوند. اتصال ورق طلا، اتصال محکمی نبوده و به‌مرور زمان امکان جدا شدن آن در اثر عوامل مختلف از شیء وجود دارد. همچنین برای تولید قطعات تزئینی، طلای زیادی مصرف می‌شود. به همین دلیل در سیر تطور طلاکاری به سرعت استفاده از روش طلاکاری برگه‌ای جایگزین آن شده است. در صورتی که در طلاکاری جیوه‌ای از روش‌های مکانیکی اتصال استفاده‌ن شده و اتصال ایجاد شده بین طلا و سطح فلز پایه با استفاده از حرارت انجام گرفته و اتصالی محکم و تفکیک‌ناپذیر می‌باشد.

در عکس ۴ که متعلق به کاسه هخامنشی است و با شیوه طلاکاری ورقه‌ای تزئین شده است، مشاهده می‌شود که قطعات طلا به‌مرور زمان جدا شده است و محل شیارهایی که قطعه را درون خود نگهداشته بودند، دیده می‌شود.

در طلاکاری برگه‌ای با نازک شدن ورقه‌های طلای مورد استفاده، میزان طلای مصرفی کاهش می‌یابد ولی چون اتصال برگه طلا با مواد چسباننده صورت می‌گیرد، فساد ماده چسباننده تحت تأثیر عوامل محیطی مانند رطوبت منجر به پوسته‌شدن و

ریختن برگه‌های طلا شده و گذشته از تخریب اثر، از نظر بصری نیز به زیبایی شیء صدمه می‌خورد.

عکس ۵ یک کلاه‌خود عیلامی را نشان می‌دهد. نقوش روی این اثر، با قیر طبیعی ساخته شده و با برگه‌های طلا تزئین شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برگه‌های طلا به‌مرور زمان و در اثر عوامل محیطی پوسته شده و ریخته‌اند و بدنه قیری قابل مشاهده است.

آب طلاکاری نیز از روش‌های نوین طلاکاری محسوب می‌شود و از نظر روش به‌طور کلی با طلاکاری جیوه‌ای متفاوت است. در این روش یون‌های فلزی طلا به کمک عبور جریان مستقیم بر روی فلز پایه رسوب می‌کنند و به‌این ترتیب بر روی سطح می‌چسبند (فونتانا، ۱۳۸۶: ۴۱۰).

روش آب طلاکاری معمولی در ابتدا نسبت به روش طلاکاری جیوه‌ای که در قرن نوزدهم به‌طور گسترده رایج و معمول بود نواقصی داشت و معمولاً نتیجه‌ای که به دست می‌آمد در مقایسه با طلاکاری جیوه‌ای ضعیف‌تر بود. زیرا در طلاکاری جیوه‌ای یک روکش ضخیم‌تر و در نتیجه مقاوم‌تر و با رنگ زیباتر به دست می‌آمد. ولی امروزه با روش‌های آب‌کاری آلیاژی و افزودن مواد سخت‌کننده می‌توان روکش‌های سخت‌تر و مقاوم‌تر در برابر سایش به دست آورد و نقایص روش آبکاری سنتی را برطرف کرد (بریل، ۱۳۸۴: ۴۶۱).

نکته مهم و قابل توجه در آبکاری طلا، آن است که بعضی از فلزات به‌راحتی به پوشش آبکاری شده طلا نفوذ می‌کنند و خواص فیزیکی سطح را تغییر می‌دهد. مثلاً مس و یا آلیاژهای آن به‌آسانی می‌توانند در طی عملیات آبکاری به پوشش طلا نفوذ کنند. بنابراین از آلیاژهای مس و یا حتی از مس به‌عنوان زیرپوشش در آبکاری طلا و آلیاژهای آن استفاده نمی‌شود. معمولاً ابتدا لایه نیکل را بر سطح این فلزات می‌نشانند و بعد پوشش آبکاری طلا را انجام می‌دهند (قربانی، ۱۳۸۵: ۱۳۰).

در آب طلاکاری روکش به دست آمده کاملاً درخشان و براق است و در مقایسه با پوشش به دست آمده از طلاکاری جیوه‌ای تخلخل بسیار کمی دارد و نیازی به عملیات تکمیلی ندارد.

پوشش طلای حاصل از طلاکاری جیوه‌ای به دلیل وجود تخلخل‌های مذکور از سختی پایین تری برخوردار است در حالی که روکش طلای به دست آمده از آبکاری دارای سختی بیشتر و در نتیجه مقاومت بالاتر است.

#### ۷- روش اجرای طلاکاری جیوه‌ای

در این تحقیق، روش طلاکاری جیوه‌ای با استفاده از اطلاعات موجود بازیابی و بر روی فلز نقره اجرا گردیده است.

یافته‌های موجود نسبت طلا به نقره (Hawthorne & Smith, 1979: 110)، ابزارهای مورد نیاز (Considine & Jamet, 2000: 283) و شیوه انجام کار (عراقی، ۱۳۰۷ ق: ۷۳ باب اول) را بیان کرده‌اند. مهمترین این یافته‌ها توسط ابوالقاسم عراقی نوشته شده است که درباره طریقه ساخت خمیر طلا و جیوه چنین آورده است:

هشت مثقال زر خالص را با سوهان براده کنند بسیار ریز و شصت مثقال سیماب اقل (به معنی حداقل). زیبق (جیوه) را با نمک باید شست که چرک از او برود. بعد از آن داخل هم نموده و در هاون سنگی بسائید تا زر در میان سیماب ناپیدا شود که هیچ اثر در او نماند از درشتی زر، که هر دو یکی شوند. آنقدر باید سایید که مثل مغز سر گوسفند شود وقتی که بر دست بمالی. بعد از آن در قرح سنگی یا کاسه گلی گرفته بر سر آتش ملایم بگذارند که اندک گرم شود، سپس از روی آتش برداشته و با دسته هاون سنگ یا سفالین بسایید و در سائیدن مبالغه کنند، تا حدی که در میان انگشت مثل مغز استخوان بغایت نرم باشد که هیچ درشتی در او نباشد و جمله زر را سیماب خورده باشد (عراقی، ۱۳۰۷ ق: ۷۳، باب اول).

### ۷-۱- آماده‌سازی مواد و تهیه خمیر جیوه

قبل از شروع عملیات باید توجه داشت که جیوه و ترکیبات آن برای انسان سمی بوده و حتی در دمای اتاق نیز بخارات سمی و نامرئی تولید می‌کند که غلظت آن در موقع حرارت دادن بسیار بالاست. بخار جیوه از راه‌های تنفسی جذب بدن شده و در آن می‌ماند. بدین ترتیب در اثر کار زیاد و تأثیر مداوم این بخارات، غلظت جیوه در بدن به طور خطرناکی افزایش می‌یابد. عوارض ناشی از آن در ابتدا عبارتند از: عفونت‌های لته و گلو، اختلالات عصبی، تحریک پذیری، دردهای عمومی، لرزش‌های ماهیچه‌ها و فراموشی و در برخی موارد خطر مرگ وجود دارد.

با توجه به اینکه جیوه از طریق منافذ پوست نیز جذب می‌گردد، باید از تماس مستقیم با آن اجتناب کرده و پوشش حفاظتی غیرقابل نفوذ به تن کرد. تنفس بخار آن بسیار خطرناک است و از این رو، کار باید اساساً در فضای آزاد و زیر یک هود سالم صورت بگیرد. به علاوه استفاده از یک ماسک حفاظتی با فیلتر تنفسی مخصوص جیوه ضروری است. (بریل، ۱۳۸۴: ۴۰۶)

برای شروع کار، ابتدا پودر طلا و جیوه به نسبت مورد نیاز وزن می‌شود. نسبت ذکر شده برای تهیه این آلیاژ در منابع، ۸ قسمت جیوه و یک قسمت پودر طلا ذکر شده است تا همه طلا در جیوه حل شود (Brepohl, 2001: 366).

طلا به صورت غیر پودری خمیر تشکیل نمی‌دهد چون سطح طلا با جیوه پوشانده شده و مانع از مخلوط شدن طلا با جیوه می‌شود. برای به حداکثر رسیدن سطح تماس طلا با جیوه، حتماً باید از پودر طلا استفاده شود.

پودر طلا از طریق روش مکانیکی مانند براده کردن و یا از طریق شیمیایی به دست می‌آید. از آنجاکه تهیه پودر طلا به روش مکانیکی در مقادیر بالا، سخت و زمان‌بر است می‌توان از روش شیمیایی استفاده کرد. برای تهیه پودر طلا در روش شیمیایی، مقدار

مورد نیاز طلا در تیزاب سلطانی<sup>۱</sup> حل می‌شود. سپس طلای حل شده به وسیله سولفات آهن رسوب داده می‌شود. بعد از گذشت چند ساعت بسته به میزان طلای حل شده، طلای خالص به صورت لجن در کف ظرف رسوب می‌کند. این رسوب از صافی عبور داده شده و پس از خشک شدن، به صورت پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد. (عکس ۸)



عکس ۸- پودر طلا

منبع: معصومه یوسفی

طلا و جیوه پس از وزن کردن، داخل یک هاون سنگی قرار داده شده و ساییده می‌شود تا همه ذرات طلا و جیوه با هم مخلوط شوند. (عکس‌های ۹-۱۰)

---

<sup>۱</sup> - مخلوطی از اسید نیتریک و اسید کلریدریک است.



عکس ۹- مخلوط کردن پودر طلا و جیوه  
منبع: معصومه یوسفی

مخلوط کردن طلا و جیوه در ظروف فلزی به دلیل واکنش جیوه با فلزات دیگر، باعث خراب شدن خمیر می‌شود.  
در مرحله سایش، خمیری نرم با رنگ نقره‌ای شکل می‌گیرد که بسیار روان بوده و به آسانی روی سطح فلز کشیده می‌شود.



عکس ۱۰- ساییدن طلا و جیوه  
منبع: معصومه یوسفی

### ۷-۲- آماده‌سازی پایه نقره

در این مرحله اگر سطح صاف موردنیاز باشد، سطح نقره باید با سمباده نرم پولیش و سپس پاک‌سازی شود.

برای آماده کردن فلز نقره جهت انجام طلاکاری باید سطح فلز از آلودگی و چربی و همچنین اکسیدهای فلزی پاک شود.

برای این منظور در روش سنتی، از سرکه استفاده شده است ( Murkami, 2000: 158).

استفاده از سرکه، چربی و آلودگی‌های سطحی را از بین می‌برد، منجر به ایجاد تخلخل اندکی در سطح نقره می‌شود و در واقع خوردگی اندکی در سطح نقره به وجود می‌آورد که به نفوذ بهتر خمیر آلیاژ در نقره کمک می‌کند و باعث می‌شود روکش طلا به صورت محکم‌تری به فلز پایه متصل شود.

همچنین در این تحقیق مواد دیگر نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از کلرید آمونیوم<sup>۱</sup> (نشادر) نیز می‌تواند در این مرحله بر سرعت کار و همچنین نفوذ بهتر لایه طلا به پایه نقره کمک کند.

نشادر به راحتی در آب گرم حل می‌شود و محلول اسیدی ملایمی را به وجود می‌آورد که بدون صدمه زدن به بدنه فلزی، سطح آن را متخلخل و قابل نفوذ می‌سازد. در این مرحله سطح نقره با محلول گرم نشادر در نیم لیتر آب حل شده و به وسیله پنبه بر سطح نقره کشیده می‌شود.

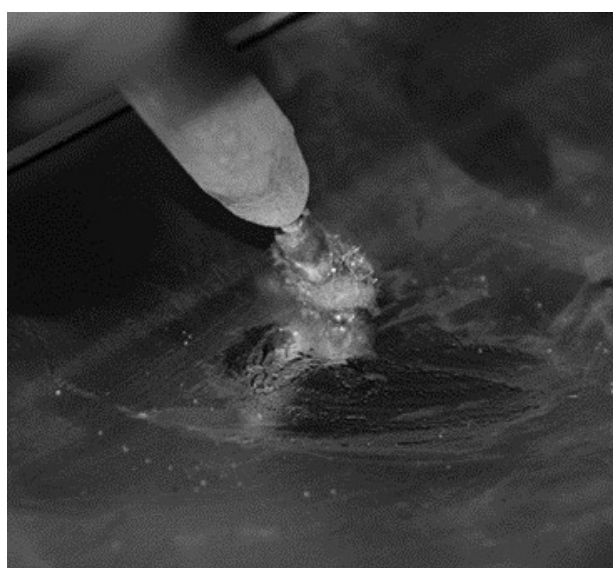
### ۷-۳- استفاده از خمیر جیوه

انجام این مرحله به دو صورت امکان‌پذیر است. در روش اول خمیر جیوه که مانند رنگ روان و نرم است با قلم مویی بر روی سطح موردنظر کشیده می‌شود. سپس بدنه فلزی روی حرارت قرار داده می‌شود تا جیوه خارج شود.

---

<sup>1</sup> Ammonium Cheuride (NH<sub>4</sub>Cl)

در روش دوم، ابتدا پایه فلزی روی منبع حرارتی قرار داده می‌شود و پیش‌گرمایش داده می‌شود. در همین حال خمیر جیوه بر روی قسمت‌های موردنظر کشیده می‌شود. در این روش باید از قلم‌هایی با سر برنجی استفاده شود چون قلم‌های مویی در حرارت سوخته و کاربردی نخواهند داشت. (عکس ۱۱)



عکس ۱۱ - کشیدن خمیر جیوه بر سطح نقره

منبع: معصومه یوسفی

نتیجه چسبندگی لایه طلا به بدنه نقره در هر دو روش یکسان است ولی مزیت روش دوم در این است که سرعت بالاتری دارد زیرا جیوه هم‌زمان با آغستن سطح تصعید<sup>۱</sup> می‌شود. همچنین روش دوم قابل‌کنترل‌تر است چون در حین متصاعد شدن جیوه می‌توان ضخامت لایه تشکیل شده را مشاهده نمود و در صورت عدم پوشش سطح، مجدد از خمیر جیوه استفاده کرد.

---

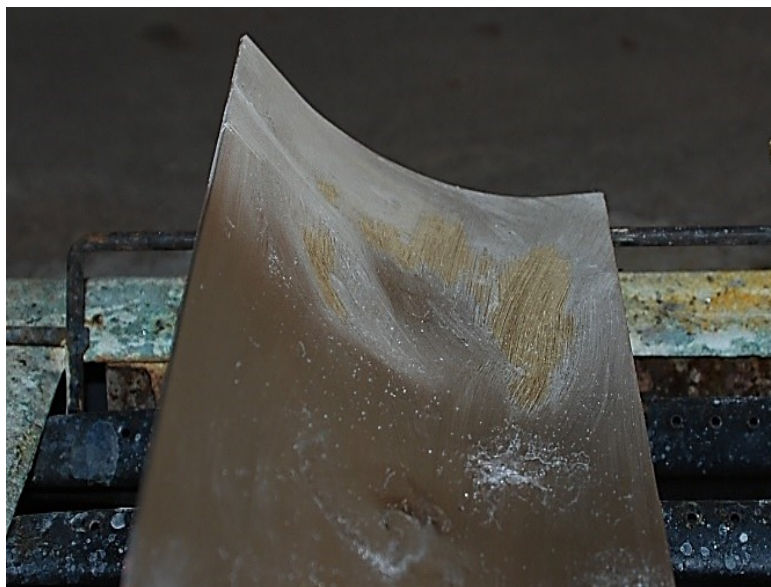
<sup>۱</sup> - تبدیل حالت ماده از جامد به گاز بدون وارد شدن به حالت (فاز) مایع را، تصعید می‌گویند.



پژوهشی بر طلاکاری جیوه‌ای بر روی...، یوسفی و همکاران | ۴۹۳

ایجاد ضخامت‌های بیشتر با افزودن مقادیر بیشتر خمیر جیوه بر روی لایه قبلی امکان‌پذیر است و نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که هیچ‌گونه ناپیوستگی بین لایه‌ها دیده نمی‌شود.

درجه حرارت مورد نیاز در اجرای این روش در حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد است که به راحتی با منابع حرارتی معمولی تولید می‌شود. نقطه تبخیر جیوه ۳۵۷ درجه سانتی‌گراد است و در درجه حرارت بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، همه جیوه اضافی که در ترکیب وارد نشده به صورت بخار خارج می‌شود. (عکس ۱۲)



عکس ۱۲ - تصعید جیوه و تشکیل لایه طلا

منبع: معصومه یوسفی

توجه داشته باشید که این مرحله به دلیل سمی بودن بخارات جیوه برای سلامتی انسان خطرناک است و باید ایمنی شرایط کار رعایت شود.

مرحله حرارت دادن، مهم‌ترین مرحله تشکیل لایه طلا است. در بررسی‌های انجام شده این نتیجه به دست آمده است که ایجاد لایه طلا بدون اعمال حرارت، با وجود گذشت چندین ماه نیز ممکن نبوده است (Anheuser, 1997: 27-39). با شروع حرارت دادن، از حدود ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد جیوه شروع به تصعید می‌کند و لایه نقره‌ای رنگ خمیر جیوه که حالت مایع دارد، به تدریج تغییر رنگ داده و به حالت جامد زردرنگ کدری درمی‌آید. (عکس ۱۳)



عکس ۱۳- شکل‌گیری لایه کدر طلا

منبع: معصومه یوسفی

با شکل‌گیری لایه طلا باید حرارت را پایین آورده و شیشه را در دمای محیط سرد کرد. زیرا بالا رفتن درجه حرارت و یا حرارت دادن بی‌از حد باعث اکسید شدن فلز پایه و ایجاد گسستگی بین لایه طلا و بدنه نقره خواهد شد. همچنین با به وجود آمدن اکسیدهای فلزی و نفوذ آنها در تخلخل‌های لایه طلا، لکه‌های ناموزون در لایه طلا دیده می‌شود.

#### ۷-۴- صیقل دادن لایه طلا

لایه طلایی که پس از انجام کار تشکیل می‌شود به دلیل تخلخل ناشی از خروج جیوه از سطح، دارای بافت اسفنجی کدر و مات است. برای به دست آوردن جلوه براق طلایی باید سطح متخلخل فشرده و متراکم شود. بهترین وسیله برای این کار سنگ‌های صیقلی و صاف هستند که می‌توانند بدون صدمه زدن به لایه طلا و یا ایجاد واکنش نامعمول و بدون برجا گذاشتن اثر رنگی، سطح را فشرده و صاف کنند. (عکس ۱۴)



عکس ۱۴- صیقل زدن لایه طلا

منبع: معصومه یوسفی

بعد از صیقل زدن، سطحی یکنواخت و براق از طلا با جلای فلزی کاملاً درخشان

بر روی سطح فلز اصلی باقی می‌ماند. (عکس ۱۵)



عکس ۱۵- قطعات نقره طلاکاری شده

منبع: معصومه یوسفی

کلیه عملیات با نتایج یکسان بر روی فلز مس نیز انجام داده شده است (یوسفی، ۱۳۸۷).

در آخر اشاره به این نکته ضروری است که این عملیات به دلیل مطالعه بر روی بشقاب‌های نقره دوره ساسانی، بر روی سطوح بزرگ و صاف و یا با اندکی انحنا انجام شده است و امکان اجرای این روش بر روی سطوح پیچیده و زیورآلات ظریف مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است.

#### ۸- بررسی ویژگی‌های آزمایشگاهی طلاکاری جیوه‌ای

برای اثبات یکسان بوده روش اجرا در نمونه قدیمی و جدید علاوه بر تطابق بصری، نیاز به بررسی‌های آزمایشگاهی نمونه‌ها نیز می‌باشد. در این پژوهش ابتدا مطالعات متالوگرافی انجام شده است.

### ۸-۱- آزمایش‌های متالوگرافی

پس از اجرای طلاکاری جیوه‌ای، از نمونه‌های آزمایشگاهی و همچنین یک نمونه کوچک جدا شده از یک بشقاب نقره طلاکاری شده ساسانی متعلق به یک مجموعه خصوصی، مقاطعی تهیه شده و پس از مانت کردن<sup>۱</sup>، صیقل کاری سطح، با محلولی متشکل از ۳ گرم  $\text{CrO}_3$  و ۱۰۰ میلی‌لیتر  $\text{HCl}$ ، در زمان ۳۰ ثانیه اچ<sup>۲</sup> شده و برای متالوگرافی آماده شده‌اند. این عملیات در آزمایشگاه متالوگرافی دانشگاه امیرکبیر انجام گرفته است.

نمونه شماره ۱ (S1) نمونه قدیمی اجرا شده بر روی پایه نقره می‌باشد که به‌منظور مشاهده یکسان بودن نتایج و به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شده است.

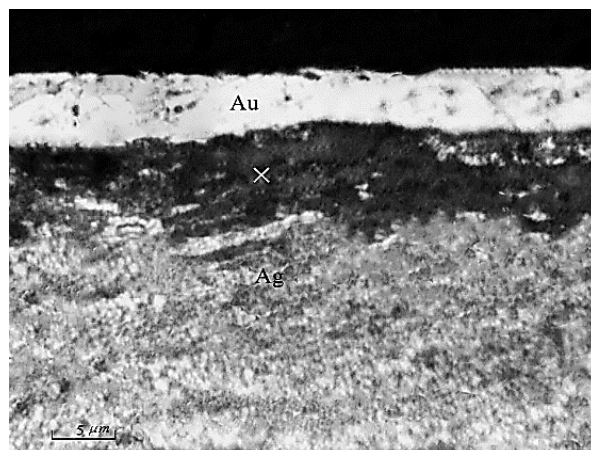
نمونه‌های شماره ۲ و ۳ (S2) و (S3) با استفاده از روش طلاکاری جیوه‌ای در آزمایشگاه، بر روی فلز نقره مشابه‌سازی شده است.

در بررسی‌های انجام شده، شکل ظاهری لایه طلا و پیوستگی و یکنواختی آن در هر دو نمونه، یکسان است. نکته قابل‌توجه وجود لایه‌ای متفاوت با طلا و نقره، در قسمت مشترک لایه طلا و سطح نقره، با رنگ تیره می‌باشد که در تصاویر متالوگرافی با علامت (x) مشخص شده است. (عکس‌های ۱۶-۱۷)

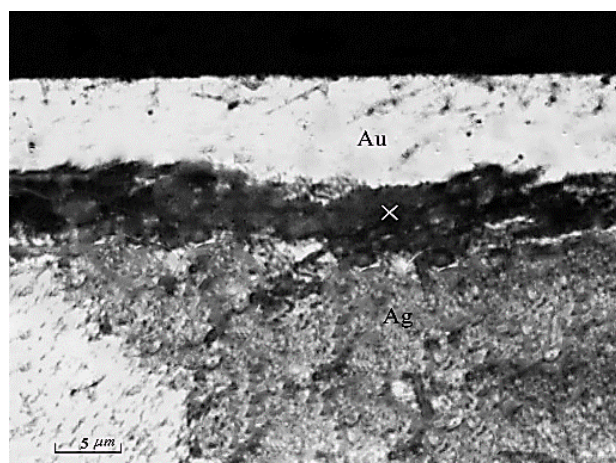
---

<sup>۱</sup> - قرار دادن و ثابت کردن نمونه‌های کوچک درون پلیمر یا رزین خاص را مانت کردن می‌گویند. به این طریق نمونه‌ها راحت‌تر بررسی و حمل و نقل می‌شوند.

<sup>۲</sup> - اچ کردن عبارت است از استفاده از محلولی که با ایجاد خوردگی در نقاط پر انرژی سطح نمونه مثل مرز دانه‌ها و فازها باعث آشکار شدن دانه‌بندی، فازها و اجزای ریزساختار، پوشش، فصل مشترک‌ها، ... می‌شود.



عکس ۱۶- عکس متالوگرافی مقطع عرضی نمونه قدیمی (S1) با بزرگنمایی ۱۰۰۰  
منبع: یافته‌های تحقیق



عکس ۱۷- عکس متالوگرافی مقطع عرضی نمونه (S2) با بزرگنمایی ۱۰۰۰  
منبع: یافته‌های تحقیق

با مشاهده این قسمت، بررسی‌های بعدی در راستای حذف‌های لایه طلا و سطح نقره و بر روی لایه مذکور متمرکز شده و ماهیت این لایه و چگونگی چسبندگی لایه طلا به نقره، با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفته است.

#### ۸-۲- بررسی با میکروسکوپ الکترونی (SEM)

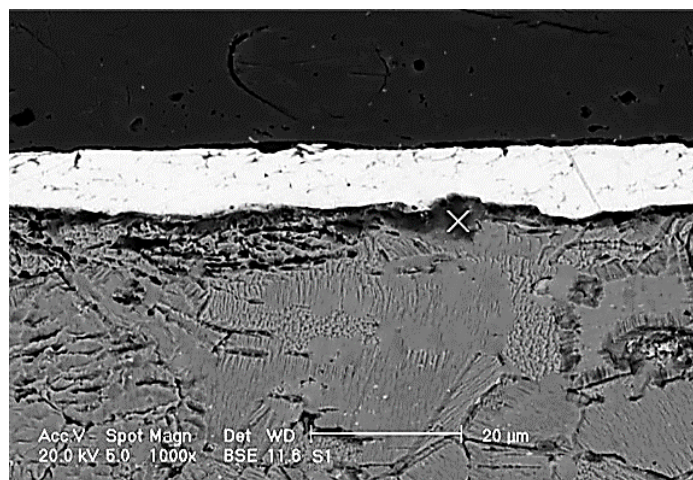
نمونه‌های انتخابی در آزمایشگاه SEM دانشگاه تربیت مدرس از دو جنبه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند:

۱. بررسی فرآیند چسبندگی لایه طلا به سطح نقره با بررسی مقطع نمونه در قسمت مشترک لایه طلا - سطح نقره و همچنین پاسخ به سؤال‌هایی درباره استحکام اتصال و عوامل مؤثر بر چسبندگی و امکان جدا شدن پوشش از پایه نقره.
۲. آنالیز لایه طلا برای شناخت ماهیت شیمیایی لایه، و بررسی چگونگی سطح پوشش برای مشاهده ویژگی لایه طلای تشکیل شده، و همچنین مشاهده بافت لایه قبل از عملیات صیقل کاری و تغییرات آن پس از صیقل کاری، برای توضیح نحوه تغییر سطح کدر و مات اولیه به لایه درخشان و براق با استفاده از عملیات مکانیکی و همچنین امکان ایجاد لایه طلا با ضخامت بیشتر.

#### ۸-۲-۱- بررسی فرآیند چسبندگی لایه طلا به سطح نقره

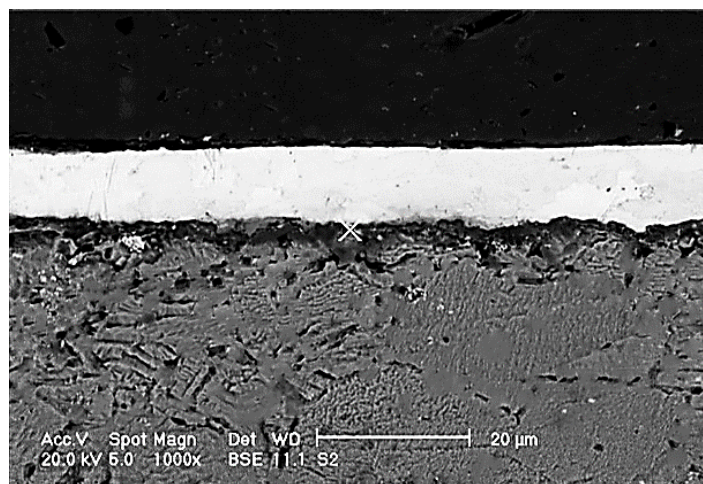
در بررسی بیشتر با SEM، لایه تیره متمایز شده بین لایه طلا و سطح نقره مورد مطالعه بیشتر قرار گرفته است.

بررسی بر روی نمونه‌های مورد آزمایش، نشان می‌دهد که در هر دو نمونه، علاوه بر یکنواختی و یکسان بودن لایه طلا، یک لایه با رنگ متفاوت در منطقه چسبندگی لایه به زیرلایه وجود دارد. (عکس‌های ۱۸-۱۹)



عکس ۱۸- عکس SEM لایه طلا بر روی نقره، نمونه S1

منبع: یافته‌های تحقیق



عکس ۱۹- عکس SEM لایه طلا بر روی نقره، نمونه S2

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج آنالیز SEM-EDX از نقاط مشخص شده، نشان دهنده تغییر فاز در این ناحیه و به وجود آمدن آلیاژی از طلا، جیوه و نقره در این محل می‌باشد.



پژوهشی بر طلاکاری جیوه‌ای بر روی...، یوسفی و همکاران | ۵۰۱

همچنین آنالیزهای دیگر از مناطق مختلف نشان می‌دهد که در قسمت آلیاژی نزدیک به لایه طلا، غلظت طلا بیشتر بوده و در قسمت‌های نزدیک به پایه نقره، غلظت نقره بیشتر است. نتایج حاصل از آنالیز و تصاویر، تشخیص ایجاد یک لایه آلیاژی در بخشی مشترک، بین لایه طلا و سطح نقره در اثر پدیده نفوذ می‌باشد، که منجر به تشکیل یک پوشش از نوع نفوذی شده است.

#### ۸-۲-۱-۱- پوشش نفوذی

پوشش نفوذی نوعی پوشش است که در آن فلز پوش شده به داخل شبکه کریستالی فلز پایه نفوذ می‌کند و اتصال مستحکم بین پوشش و فلز پایه حاصل می‌شود. عمل نفوذ معمولاً در دماهای بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قابل ملاحظه است. از جمله مشخصه‌های ویژه پوشش‌های نفوذی، پیوند متالورژیکی به وجود آمده بین پوشش و زیرلایه در اثر فرآیند نفوذ است (گلعدار، ۱۳۸۲: ۲۳۸-۲۳۷).

#### ۸-۲-۱-۱-۱- مکانیزم تشکیل پوشش نفوذی

تحقیقات نشان داده است که صرفاً در اثر تماس فلزات خاصی با همدیگر، امکان نفوذ آنها در یکدیگر در دمایی زیر نقطه ذوب آنها وجود دارد. شواهد نشان می‌دهد که نفوذ در فلزات بیشتر با مکانیزم جاخالی می‌باشد. جاخالی‌ها به صورت عادی در ساختمان بلورها وجود دارند و این عیوب بلورها، به مقدار قابل ملاحظه‌ای نفوذ اتم‌ها را امکان‌پذیر می‌سازند (اونر، ۱۳۸۴: ۱۱۴). در مکانیزم نفوذ، هر اتم باید خود را از لایه‌های اتم‌های دیگر عبور دهد تا به مکان جدید برسد. برای این کار مقداری انرژی لازم است (مصطفوی رجالی، ۱۳۸۵: ۱۰۹). در شبکه فلزی می‌توان این انرژی را با افزایش مناسب دما تأمین کرد (قربانی، ۱۳۸۵: ۱۸۲).

می‌توان گفت که دما مهم‌ترین عامل در فرآیند طلاکاری جیوه‌ای است. دما، علاوه بر اینکه در مرحله ایجاد لایه طلا، با تبخیر جیوه به شکل‌گیری پوشش طلا کمک

می‌کند، به‌طور هم‌زمان باعث انجام فرآیند نفوذ طلا در پایه نقره گردیده و به تشکیل لایه آلیاژی منجر می‌شود.

در مکانیزم نفوذ، هر اتم باید خود را از لایه‌های اتم‌های دیگر عبور دهد تا به مکان جدید برسد. برای این کار مقداری انرژی لازم است. اتم در مرحله اول در یک نقطه کم انرژی و در حالتی نسبتاً پایدار است. دمای موجود باعث می‌شود که اتم، انرژی مورد نیاز را کسب نموده و از محل خود حرکت کرده و در فضاهای خالی از اتم فلز دیگر جایگزین شود. به همین دلیل در طلاکاری جیوه‌ای بر روی نقره، بین لایه طلا و سطح نقره لایه آلیاژی متشکل از طلا و جیوه و نقره شکل می‌گیرد.

#### ۸-۲-۲- آنالیز لایه طلا و نتایج حاصل از آن

آنالیز لایه طلا در نمونه قدیمی مورد آزمایش و نمونه آزمایشگاهی نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها شامل مقادیر قابل توجه جیوه می‌باشند. علاوه بر این، در تحقیقات مختلف که بر روی نمونه‌های دیگر انجام گرفته‌اند، وجود جیوه در لایه طلا مورد بررسی قرار گرفته و وجود جیوه در آنها، اثبات شده است. این نتایج نشان می‌دهند که باوجود حرارت دهی و خروج جیوه از لایه طلا، همواره مقداری جیوه وارد فاز پایدار شده و در لایه طلا باقی می‌ماند. به همین دلیل اولین مشخصه شناسایی آثار طلاکاری شده به روش جیوه‌ای، وجود مقداری جیوه در پوشش طلا می‌باشد که در لایه طلا باقی‌مانده و از طریق انجام آزمایش‌های مختلف شناسایی می‌شود.

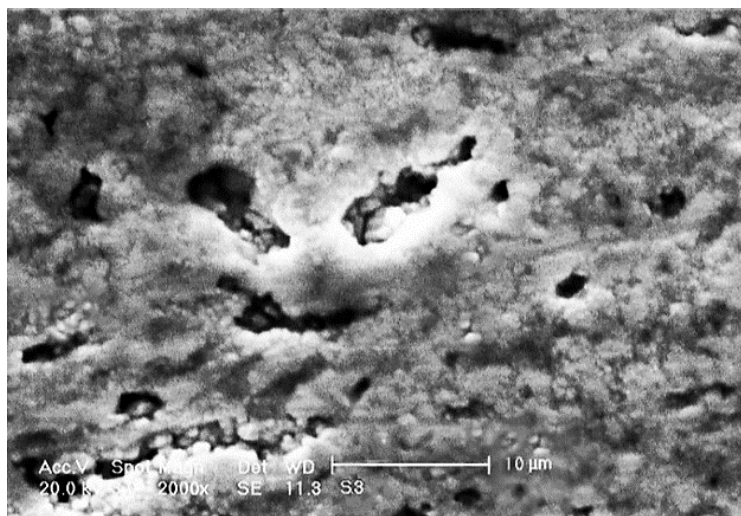
#### ۸-۲-۲-۱- ویژگی‌های لایه طلای تشکیل شده در طلاکاری جیوه‌ای

نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های مورد آزمایش در این تحقیق و نمونه‌های آزمایش شده در پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهند که پس از عملیات حرارت‌دهی، لایه کدر طلا به‌صورت یک پوشش متخلخل است که در اثر خروج جیوه ایجاد شده است.

پژوهشی بر طلاکاری جیوه‌ای بر روی...، یوسفی و همکاران | ۵۰۳

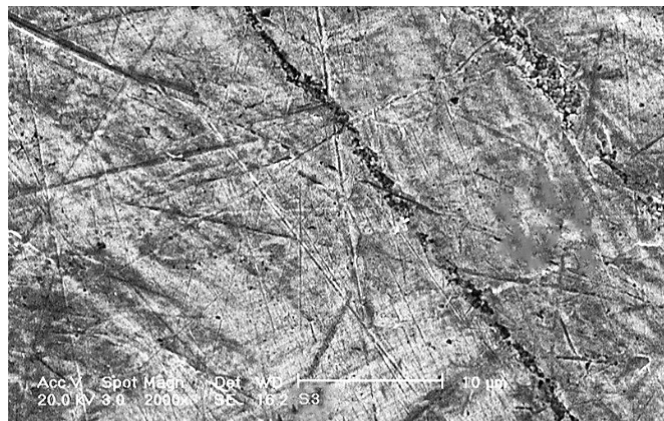
مطالعات مختلف نشان می‌دهند این بافت متخلخل، مجموعه‌ای از ذرات آلیاژ طلا و جیوه است که بر روی سطح فلز پایه نشسته و بی‌نظمی زیاد آن باعث به وجود آمدن جلوه‌مات در سطح است. هنگامی که سطح به وسیله ابزار، صیقل زده و فشرده می‌شود، این ذرات هم‌سطح و هموار شده و حفرات تا حد زیادی فشرده شده و نسبتاً صاف به نظر می‌رسند (Murakami, 2000: 159).

در تصاویر به‌دست‌آمده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه مورد آزمایش نیز چگونگی تخلخل لایه طلا قبل از عملیات صیقل‌کاری (عکس ۲۰) و تغییر شکل لایه، پس از صیقل زدن و پرداخت (عکس ۲۱) قابل مشاهده است. در عکس سطح صیقل‌خورده، بافت متخلخل باقیمانده در حفره‌ها و شیارهایی که ابزار صیقل زنی، امکان اثرگذاری بر روی آنها را نداشته است، به‌خوبی دیده می‌شود.



عکس ۲۰ - عکس SEM، تخلخل لایه طلا در نمونه S3

منبع: یافته‌های تحقیق

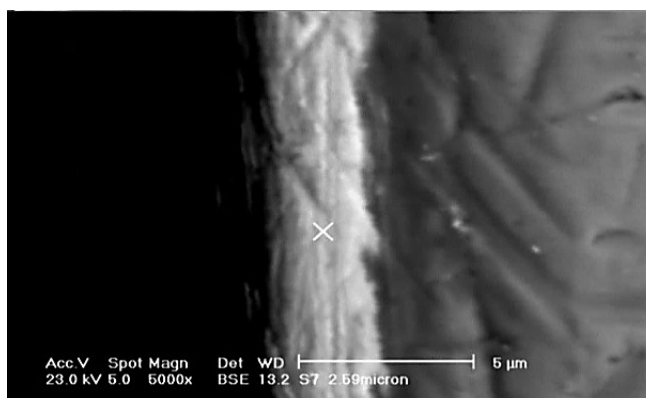


عکس ۲۱- عکس SEM، سطح لایه طلا پس از عملیات صیقل زدن در نمونه S3

منبع: یافته‌های تحقیق

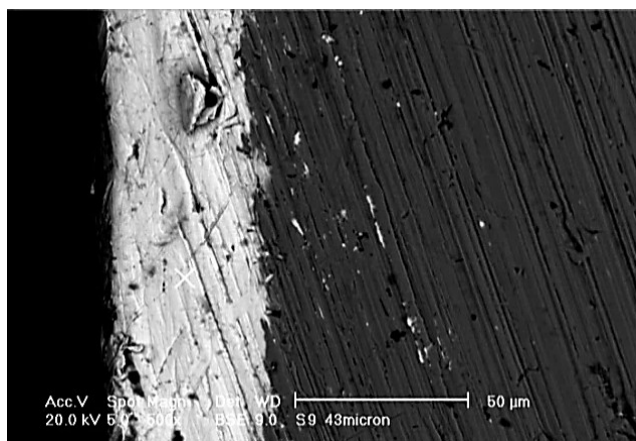
#### ۸-۲-۲-۲- اندازه‌گیری ضخامت لایه طلا

در این بخش ضخامت لایه طلا در نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری شده و امکان اجرای چندلایه بر روی یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، لایه طلا از ضخامت ۲/۵۹ میکرون (عکس ۲۲) تا ۴۳ میکرون (عکس ۲۳) ایجاد شده است و به دست آوردن لایه‌هایی با ضخامت بیشتر نیز با تکرار عملیات، امکان‌پذیر می‌باشد.



عکس ۲۲- ایجاد ضخامت ۲/۵۹ میکرون لایه طلا بر سطح نقره

منبع: یافته‌های تحقیق



عکس ۲۳- ایجاد ضخامت ۴۳ میکرون لایه طلا بر سطح نقره

منبع: یافته‌های تحقیق

#### ۸-۲-۲-۳- سختی سنجی لایه طلا

در این بخش سختی سطحی لایه طلا در نمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه قدیمی، مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است. این آزمون توسط دستگاه میکرو سختی سنج انجام گرفته است.

با بررسی میانگین به دست آمده از سختی سنجی نمونه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که سختی لایه طلا در نمونه قدیمی و نمونه‌های آزمایشگاهی مشابه بوده و تفاوت محسوسی مشاهده نمی‌شود. یکسان بودن میزان سختی، نشان‌دهنده یکسان بودن روش اجرا و مواد و مصالح مورد استفاده است.

#### ۹- روش‌های شناسایی طلاکاری جیوه‌ای بر روی آثار

چند ویژگی خاص در مورد طلاکاری جیوه‌ای، این روش را از سایر روش‌ها متمایز و قابل شناسایی می‌سازد. با استفاده از روش‌های شناسایی دستگاهی همچون فعال‌سازی نوترونی (NAA)، فلورسانس پرتو (XRF، X) و EDS و اثبات وجود مقادیر قابل توجه

جیوه می‌توان به وجود جیوه در لایه طلا و در نتیجه استفاده از روش طلاکاری جیوه‌ای پی برد. این روش‌ها شیوه‌های مطمئن‌تری برای تشخیص این فن می‌باشد ولی استفاده از آنها همیشه امکان‌پذیر نیست.

در مشاهدات میکروسکوپی، سطح طلاکاری شده به روش جیوه‌ای در صورت صدمه نخوردن، کاملاً صاف بوده و به صورت محکم و تفکیک‌ناپذیر به سطح زیرین اتصال پیدا کرده است. در این نوع طلاکاری، به علت نرم بودن آلیاژ طلا و جیوه، این قابلیت وجود دارد که علاوه بر سطوح صاف و بزرگ، سطوح کوچک و شکل‌های پیچیده نیز طلاکاری شوند. این آلیاژ می‌تواند کاملاً بر روی جزئیات موردنظر محدود شده و به کار رود. معمولاً هنگامی که این روش بر روی سطوح کوچک و نقوش اجرا می‌شود به علت روان بودن آلیاژ جیوه و طلا که مانند رنگ می‌باشد، طلاکاری از حد نقوش بیرون رفته و پخش می‌شود. (عکس ۲۴)



عکس ۲۴- بشقاب نقره ساسانی - طلاکاری جیوه‌ای - قرن ۵ م - موزه متروپولیتن

منبع: [www.Metmuseum.org](http://www.Metmuseum.org)

در مشاهدات میکروسکوپی لایه طلا به علت تبخیر جیوه و خارج شدن آن، دارای بافت متخلخل می‌باشد. اسفنجی بودن این لایه در صورت صیقل نخوردن کامل سطح، قابل مشاهده می‌باشد و گاهی حتی بعد از صیقل کاری نیز تخلخل آن به خوبی آشکار است.

برای پرداخت نهایی سطح در طلاکاری جیوه‌ای، از ابزارهایی از جنس سنگ عقیق، عاج یا ابزار صاف کننده دیگر که بافت اسفنجی را با فشار متراکم می‌کند، استفاده می‌شود. حرکات رفت و برگشت این نوع ابزارها، خطوط موازی را بر روی سطح طلاکاری شده به وجود می‌آورند که با میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده هستند (Murkami, 2000: 158).

در برخی آثار که دارای نقوش ریز و جزئیات زیاد هستند، در محل گودی‌هایی که بر اثر ابزار ایجاد می‌شوند و امکان خوب پرداخت شدن ندارند، حالت دانه‌دانه‌ای بودن ساختار خمیری شکل ملغمه دیده می‌شود (گانتز - جت، ۱۳۸۳: ۱۷۵-۱۷۴). مشاهده علائم مذکور به شرایط خلق اثر و عواملی همچون درجه حرارت، مدت زمان اعمال حرارت، دقت هنرمند سازنده اثر، ابزار مورداستفاده، ... بستگی دارد. باین حال روش‌های دستگاهی و مشاهده یک یا چند علامت بارز در یک اثر می‌تواند در تشخیص تکنیک طلاکاری جیوه‌ای راهگشا باشد.

## ۱۰- نتیجه‌گیری

وجود مشابهت‌ها و نتایج به دست آمده یکسان در نمونه قدیمی و نمونه‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که روش کلی کار، بر اساس یافته‌ها یکسان بوده و نمونه‌های ساخته شده با نمونه قدیمی از بسیاری جهات مشابه می‌باشند. این شباهت‌ها می‌توانند نشان‌دهنده یکسان بودن نوع مواد و مصالح مورداستفاده، عملیات یکسان، درجه حرارت و دیگر عوامل محیطی مشابه در اجرا باشند.

از جمع‌بندی مطالب عنوان شده می‌توان چنین نتیجه گرفت:

- پوشش طلا، آلیاژی از طلا و جیوه با خلوص بالای طلا می‌باشد. این ویژگی یکی از روش‌های تشخیص روش طلاکاری جیوه‌ای از سایر روش‌ها می‌باشد که با روش‌های مختلف آنالیز می‌توان آن را به اثبات رساند.
- پوشش طلا از نوع پوشش نفوذی بوده و یک لایه آلیاژی مشخص در ناحیه بین لایه طلا و پایه نقره به وجود می‌آید که ترکیبی از طلا و جیوه و نقره است.
- نفوذی بودن پوشش و داخل شدن اتم‌های طلا به فضاهای خالی پایه نقره و بالعکس، سبب چسبندگی بسیار زیاد لایه به سطح شده است. به همین دلیل، پوسته‌شدن و جدا شدن چنین پوششی در شرایط عادی بسیار دشوار است. این ویژگی سالم بودن لایه طلا در اشیایی که با این روش طلاکاری شده‌اند را باوجود گذشت زمان زیاد و شرایط نامطلوب محیطی، تعبیر و تفسیر می‌کند.

### سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند ابتدا از دکتر محمد موسوی خویی به خاطر کمک‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان سپاسگزاری نمایند. همچنین از آقایان مهندس رضایی (مسئول آزمایشگاه SEM دانشگاه تربیت مدرس)، مهندس مولایی (مسئول آزمایشگاه متالوگرافی دانشگاه امیرکبیر)، و تمامی کسانی که در این پژوهش همراهی داشتند، قدردانی و تشکر می‌نماییم. این مقاله برگرفته از رساله دکتری معصومه یوسفی با عنوان بررسی سیر تطور فلزکاری دوره‌های تاریخی با محوریت دوره ساسانی به راهنمایی دکتر سید علی‌اصغر میرفتاح می‌باشد. امید است گامی هرچند کوچک در جهت معرفی میراث فرهنگی سرزمینمان باشد.



## منابع

- آورزمانی، فریدون. (۱۳۹۳)، *هنر ساسانی*، تهران، پازینه.
- اونر، سیدنی. (۱۳۸۴)، *آشنایی با متالورژی فیزیکی*، ترجمه: علی‌اکبر آهنی، تبریز: فن افزار.
- ایزدی دهکردی، مهتاب. (همکاران)، (۱۳۹۷)، بررسی روش ساخت و مطالعه تکنیک طلاکاری روکش فلزی درب مسجد امام اصفهان، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی سطح*، شماره ۳۸.
- برپل، اهرارد. (۱۳۸۴)، *مهندسی طلاسازی تئوری و عملی*، مترجم: محمدرضا فرامرزی، تهران: نشر طراح.
- بهرمان، علیرضا. (۱۳۹۱)، بررسی علمی-آزمایشگاهی شیوه طلاکاری تزئینات حرم مطهر مولای متقیان علی (ع)، *دو فصلنامه علمی و پژوهشی دانشگاه هنر*، شماره دوم.
- دورانت، ویلیام جیمز. (۱۳۹۲)، *تاریخ تمدن*، ترجمه: احمد آرام و دیگران، تهران: انتشارات علمی و فرهنگی.
- فونتانو، مارس. ج. (۱۳۸۶)، *مهندسی خوردگی*، ترجمه: احمد ساعتچی، اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- قربانی، محمد. (۱۳۸۵)، *پوشش دادن فلزات*، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.
- گانتز، آن کلابیرن و جت، پل. (۱۳۸۳)، *فلزکاری ایران در دوران هخامنشی، اشکانی و ساسانی*، ترجمه: شهرام حیدرآبادیان، تهران: گنجینه هنر.
- گلعدار، محمدعلی. (۱۳۸۲)، *عملیات حرارتی و مهندسی سطح*، اصفهان: ارکان.
- یوسفی، معصومه. (۱۳۸۷)، *احیا و فن شناسی طلاکاری به روش ملغمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، رشته مرمت آثار فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر تهران.
- Anheuser, Kilian., (1997), The practice and characterization of historic fire gilding techniques, *JOM*, 49,58–62.
- Berpohl, Erhard, (2001), *The Theory and Practice of Goldsmithing*, Translated by: Charles Lewton Brain, Tim Mccright (ed), Brynmorgen Press.
- Bostock, John and Henry, Riley, (1857), *The Natural History of Pliny*, Published by H.G.Bohn.
- Eggert, Gerhard, (1995), On the Origin of a Gilding Method of the Baghdad Silversmiths, *Gold Bulletin* 28 (1).
- Goffer, Zvi and James.D Winefordner, (2007), *Archaeological Chemistry*, Wiley interscience Publication.

- Gunter, Ann.Clibern and Paul, Jet, (1992), *Ancient Iranian Metalwork in the Arthur M. Sackler Gallery and the Freer Gallery of Art*, Arthur M. Sackler Gallery, Smithsonian Institution.
- Jones, Thomas P and Jane, Haldimand,, (1832), *New Conversation on chemistry*, Published by John Grigy, Filadelfia.
- Keyser, Paul.T, (1993), The purpose of the parthian galvanic cells.a first- century A.D. electric battery used for analgesia. *Jornal of Near Eastern Studes*,vol (25)
- Meyers, Pieter and Prodence,Harper, (1981), *Silver vessels of the Sasanian period*. I: the Royal Imagery New York, The Metropolitan Museum of Art, New York.
- Murakami, Ryu, (2000), Archaeological Gilded Metals Excavated in Japan, in book: *Gilded Metals, History, Technology and Conservation*,Terry Drayman - Wisser (ed), Archetype Publication.
- Northover, Peter and Kilian, Anheuser, (2000), Gilding in Britain: Celtic, Roman and Saxon, in book: *Gilded Metals, History, Technology and Conservation*, Terry Drayman-Wisser (ed), Archetype Publication.
- Oddy, Andrew, (1981), Gilding through the ages: an outline history of the process in the old world, *Gold Bulletin*, 14 (2),75-79.
- Oddy, Andrew, (1991), *Gilding: an outline of the technological history of the plating of gold on to silver or copper in the old world*, Endeavour, New Series, 15, Pergamon Press plc, Great Britain.
- Oddy Andrew, (2003), The Gilding of Other Metals Since 3000 BC,in book *Physics Methods in Archaeometry*, Marco Martini, Mario Milazzo, M.Piacentini (eds), IOS Press.
- Raub, Christoph, (1993),”The History of Electroplating”, in book *Metal Plating and Patination: Cultural, Technical and Historical Developments*, Susan. La Niece, paul Craddock (eds), Oxford: Butterworth - Heinemann Publication.