Semiannual Journal Of Indigenous Knowledge Iran
Volume 12, Issue 24, Autumn & Winter 2026, P 129-166
qjik.atu.ac.ir
DOI: doi.org/10.22054/qjik.2025.82085.1436

ATU PRESS

eISSN: 2538-2543 ISSN: 2345-6019 Received: 21/9/2024 Review: 29/4/2025 Accepted: 1/10/2025 Original Reserch

Analysis of Manufacturing Technology and Influencing Factors in the Formation of Ceramic -Luster Layers Based on Historical Written Sources

Mohamad Mirshafiei *
Assistance Professor, of Islamic Handicrafts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

Atefe Fazel
Assistance Professor, of Islamic Handicrafts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

Introduction

This study investigates the manufacturing technology of lustreware and analyzes the factors influencing the formation of its characteristic metallic sheen. Lustreware is produced by generating a thin film of metallic nanoparticles—primarily copper and silver—across the glaze surface during a controlled reduction firing. The technical challenges of this process, particularly the precise regulation of glaze composition, firing temperature, and reduction atmosphere, have made its reconstruction difficult. Drawing on historical treatises such as *ʿArāʾis al-Jawāhir Jawāhir-Nāma*, as well as experimental observations, this research identifies the variables that govern the formation of the metallic layer and proposes a scientifically grounded framework for reconstructing successful lustreware.

Literature Review

Previous studies have either focused on historical interpretations of lustreware or examined selected technical aspects of its production. Only a limited number of investigations have offered an integrated analysis of all factors contributing to metallic-layer formation based on both historical evidence and empirical data. Scholars such as Mirshafiei, Akbari, Neistani, and Ghassaei have explored lustre classifications, the reconstruction of certain formulas, and the influence of temperature and atmosphere, yet these works generally address only a portion of the process. The distinguishing contribution of the present study lies in its comprehensive model encompassing four principal variables—ceramic body, base glaze, lustre pigment, and reduction firing—and its analysis of their interdependent

* Corresponding Author: M.mirshafiee@tabriziau.ac.ir

How to Cite: Mirshafiei, M; Fazel, A.(2026). Analysis of Manufacturing Technology and Influencing Factors in the Formation of Ceramic Luster Layers Based on Historical Written Sources, *Semiannual Journal of Indigenous Knowledge Iran*,12(24), PP 129-166.

relationships. The research also establishes a systematic correlation between historical descriptions and laboratory findings.

Methodology

This research adopts a descriptive–analytical and applied approach. Data were collected through historical sources, library research, direct examination of artefacts, and laboratory experimentation. Historical manuscripts containing technical instructions and formulas were first extracted and then matched with modern chemical equivalents. The ceramic body was formulated using Zenouz kaolin, bentonite, and an alkaline frit. Three base glazes—alkaline, lead-bearing, and borax-based—were prepared, and five lustre pigment formulations composed of copper, silver, iron, bismuth, and various fluxes were developed. After glaze firing, the samples underwent reduction firing at 550–620°C in a dedicated reduction kiln. The intensity, duration, and frequency of smoke application were controlled to replicate the "soft smoke" described in *ʿArāʾis al-Jawāhir*. Following cooling, samples were cleaned for evaluation.

Results

The findings identify four key variables as determinative in the formation of the lustre layer:

1. **Ceramic Body:**
   white-firing bodies—such as the quartz–clay–frit mixture described by Kashani—provide an optimal visual substrate and reduce the need for an engobe.
2. **Base Glaze:**
   Glazes that soften at low temperatures (550–650°C) allow effective ion exchange between copper and silver compounds and the glaze matrix. Alkaline–lead–tin glazes performed best. Formula No. 3—containing alkaline frit, limited lead content, tin oxide, and silica—produced the brightest and most stable metallic sheen.
3. **Lustre Pigment (Liqe):**
   Among the five pigment formulations, the mixture composed of 10% copper sulfate, 10% silver nitrate, and 80% iron oxide yielded the strongest results. Iron oxide functioned as an internal reducing agent, preventing oxidation of metallic particles. The use of vinegar, consistent with historical recipes, facilitated conversion of salts into reactive acetates and improved layer formation.
4. **Reduction Firing:**
   Reduction firing proved the most sensitive variable. The optimal range was 550–620°C. Excessive reduction caused surface darkening, whereas insufficient reduction produced a weak sheen. Three to four cycles of gentle

smoke introduction yielded the most successful outcomes. Historical descriptions of "three days of soft smoke" correspond to approximately 1–1.5 hours of controlled reduction in a modern small-scale kiln.

Discussion

The results demonstrate that none of the four variables can independently produce a stable lustre layer; rather, the final quality depends on the coordinated interaction of glaze composition, pigment chemistry, glaze softening temperature, and reduction atmosphere. Much of the traditional knowledge of Iranian potters—such as using light-colored bodies, relying on alkaline glazes, incorporating tin oxide, applying vinegar, and maintaining gentle smoke—aligns closely with modern principles of nanoparticle behavior. The study confirms that even slight changes in alkali levels, lead content, or smoke intensity can compromise the metallic effect. Moreover, the alternating oxidation–reduction cycles typical of traditional wood kilns positively influence nanoparticle distribution and stability. By integrating historical documentation with experimental results, this study provides a replicable model for understanding this historical technology.

Conclusion

This study demonstrates that successful production of a lustre layer requires precise control of three core factors: a suitable base glaze, a chemically consistent pigment, and a carefully regulated reduction firing. Based on historical sources and experimental results, the reconstruction process can be articulated in six key stages: (1) preparing a white-firing ceramic body; (2) applying an alkaline–tin–lead glaze; (3) glaze firing; (4) applying a copper–silver–iron-based lustre pigment; (5) reduction firing at low temperature; (6) removing the residual clay layer to reveal the metallic sheen.

The research shows that combining traditional craftsmanship with modern laboratory methods makes it possible to reproduce a scientifically validated model of historical lustreware, thereby contributing to the preservation of Iranian ceramic heritage.

Keywords: Lustre glaze, 'Ara'is al-Jawahir, Abu'l-Qasim al-Kashani, Reduction Firing

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۶/۳۱
تاریخ بازنگری:۱۴۰۴/۲/۹
تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۷/۹
ISSN: 2345-6019
eISSN: 2538-2543

دو فصلنامه علمی دانش‌های بومی ایران
دوره دوازدهم، شماره ۲۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، ص ۱۲۹-۱۶۶
qjik.atu.ac.ir
DOI: doi.org/10.22054/qjik.2025.82085.1436

تحلیل فناوری ساخت و عوامل مؤثر بر شکل‌گیری لایه زرین‌فام سرامیک در منابع مکتوب تاریخی

محمد میرشفیعی * استادیار هنرهای صناعی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
عاطفه فاضل استادیار هنرهای صناعی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

زرین‌فام، جلوه‌ای از درخشش فلزی بر سطح لعاب سرامیک است که در اثر ایجاد لایه‌ای نازک حاوی ذرات فلزات احیاشده به وجود می‌آید و می‌تواند طیف‌هایی از رنگ‌های طلایی تا قرمز را منعکس کند. شکل‌گیری موفق این لایه وابسته به مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و فنی است که هرگونه اختلال در آن‌ها موجب کاهش درخشش یا ناپایداری لایه می‌شود. هدف این پژوهش، تحلیل فناوری ساخت و شناسایی عوامل مؤثر بر تشکیل لایه زرین‌فام بر اساس منابع مکتوب تاریخی و داده‌های حاصل از مطالعات آزمایشگاهی است. در همین راستا پژوهش حاضر به دو پرسش اساسی پاسخ می‌دهد؛ ۱- فاکتورهای متغیر در شکل‌گیری لایه زرین‌فام موفق چیست؟ ۲- با توجه به مطالعه منابع تاریخی و روش‌های آزمایشگاهی چگونه می‌توان مینای زرین‌فام ساخت؟. پژوهش ازنظر ماهیت و روش، جز پژوهش‌های توصیفی- تحلیلی است. در گردآوری اطلاعات از شیوه کتابخانه‌ای، مشاهده، تجربه در محیط آزمایشگاه استفاده‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که سه عامل اصلی شامل **لعاب پایه**، **ترکیبات مینایی و فرآیند پخت احیایی**، نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت تشکیل لایه زرین‌فام دارند. همچنین مشخص شد که در فرآیند احیا، تنظیم دقیق **دمای کوره**، **مدت‌زمان احیا و میزان دود دهی** از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، با کنترل مؤثر این فاکتورها و تطبیق آن‌ها با داده‌های تاریخی، امکان دستیابی به لایه زرین‌فام با کیفیت مطلوب و درخشش پایدار فراهم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مینای زرین‌فام، عرایس الجواهر، ابوالقاسم کاشانی، پخت احیایی.

* نویسنده مسئول: M.mirshafiee@tabriziau.ac.ir

مقدمه

لعاب‌های احیایی انواع مختلفی دارند که هرکدام دارای ویژگی‌های خاص خود هستند. در اغلب موارد لعاب‌ها در شرایط احیایی، نتیجه‌ای فلزفام و درخشنده دارند. انواع لعاب فلزفام در شرایط پخت احیایی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد؛ ۱) ترکیبات درون لعابی که به دو روش درون کوره‌ای و برون کوره‌ای انجام می‌شود، ۲) شیوه مینای زرین‌فام یا خمیر گلی، ۳) شیوه لاسترهای آماده رزیناتی. دراین‌بین لعاب «زرین‌فام یا خمیر گلی» ازجمله موضوعاتی است که همواره به لحاظ تاریخی و تکنیکی، بسیار موردتوجه پژوهشگران و هنرمندان سفالگر قرارگرفته است. فنون و شیوه ساخت لعاب زرین‌فام در طول تاریخ اجرای آن در اختیار افراد معدودی بوده که معمولاً از نسلی به نسل دیگر نزد افراد خانواده انتقال می‌یافته است.

همچنین پیچیدگی‌های ساخت لعاب زرین‌فام موجب شده تا این تکنیک یعنی تشکیل لایه زرین‌فام بسیار سخت حاصل شود. بر همین اساس هدف از مقاله، تحلیل جامع فناوری ساخت و شناسایی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری لایه مینای زرین‌فام در فرآیند پخت احیایی است. پژوهش با تکیه‌بر منابع تاریخی و نتایج حاصل از مطالعات و تجربیات آزمایشگاهی، در پی آن است تا ماهیت فیزیکی، شیمیایی و فنی این فرآیند پیچیده را روشن سازد و نقش هر یک از متغیرهای مؤثر - ازجمله ترکیب لعاب پایه، نوع و مقدار فلزات مورداستفاده، دمای احیاء، مدت‌زمان و میزان دود دهی - را در کیفیت نهایی لایه زرین‌فام تبیین کند.

ضرورت و اهمیت پژوهش در این حوزه به دلایل مختلفی است. اول، فرآیند تشکیل لایه زرین‌فام بسیار پیچیده و حساس است، به‌طوری‌که نیازمند کنترل دقیق عوامل مختلف می‌باشد. درک این عوامل برای موفقیت در اجرای این تکنیک بسیار ضروری است و هرگونه خطا می‌تواند منجر به عدم تشکیل لایه زرین‌فام شود. دوم، با ظهور فناوری نانو ذرات و دیگر فناوری‌های نوین، اکنون امکان دستیابی به درک بهتری از فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی مؤثر بر شکل‌گیری زرین‌فام فراهم‌شده است. این پژوهش می‌تواند با

بهره‌گیری از این فناوری‌ها، راهکارهای علمی و دقیق‌تری برای کنترل و بهبود این فرآیند ارائه دهد.

همچنین، مطالعه عوامل مؤثر و فاکتورها در تشکیل لایه زرین‌فام، کمک می‌کند تا روش‌های علمی و نوین برای بهره‌برداری بهتر، بهبود کیفیت و استحکام لعاب، و توسعه تکنیک‌های نوین عرضه شود. در مجموع، این پژوهش به دلیل اهمیت تاریخی، فنی، علمی و توسعه‌ای، نقش مهمی در حفظ میراث فرهنگی و پیشرفت‌های فناورانه در هنر سفالگری ایفا می‌کند.

پیشینه پژوهش

در پژوهش‌های زیادی به موضوع تکنیک، تاریخچه و شیوه‌های ساخت زرین‌فام پرداخته‌شده است، اما کمتر پژوهشی به‌طور ویژه به متون تاریخی در این حوزه و بررسی مراحل ساخت و عوامل شکل‌گیری لایه مینای زرین‌فام پرداخته است. از جمله پژوهشگرانی که در حوزه بحث زرین‌فام به پژوهش پرداخته‌اند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

سید محمد میرشفیعی در مقاله با عنوان «ساخت لعاب زرین‌فام ایرانی بر اساس کتاب جواهر نامه نظامی» در مجله هنرهای زیبا (۱۳۹۴) و مقاله با عنوان «فن شناسی و ساخت مینای زرین‌فام شیشه بر اساس فرمول‌های کتاب جواهر نامه نظامی» در مجله باستان‌سنجی (۱۳۹۴) پژوهش‌های تکنیکی در رابطه با مینای زرین‌فام ارائه کرده است. عباس اکبری در کتاب «درس‌هایی از محمد بن ابی البرکات نیشابوری» (۱۳۹۳)، به‌اختصار به دسته‌بندی انواع لاستر پرداخته‌اند.

از دیگر پژوهش‌هایی که به ساخت مینای زرین‌فام و شرایط شکل‌گیری زرین‌فام توجه شده است پایان‌نامه کارشناسی ارشد سید محمد میرشفیعی تحت عنوان «بررسی و احیاء لعاب زرین‌فام خاندان ابوطاهر کاشانی» است که در سال (۱۳۹۰) در دانشگاه هنر اسلامی تبریز به راهنمایی مهدی محمد زاده و مسعود باقر زاده کثیری گردآوری‌شده است.

کتاب «ساخت لعاب زرین‌فام در ایران» تألیف جواد نیستانی و زهره روح فر (۱۳۸۹)، از جمله مطالعات انجام‌گرفته توسط محققان ایرانی در این زمینه است. این کتاب در فصل سوم به بررسی و تحلیل مواد معرفی شده در کتاب «عرایس الجواهر و نفایس الاطایب» پرداخته است. بهزاد اژدری در مقاله‌ای در فصلنامه الماس تحت عنوان مبانی فیزیک و شیمیایی زرین‌فام (۱۳۸۸)، به ساخت زرین‌فام و پیگمنت‌های مؤثر در ایجاد لایه فلزفام در زرین‌فام می‌پردازد که بیشتر برگرفته از ترجمه کتاب کایگر اسمیت می‌باشد.

مقاله «ساخت و بررسی تأثیر دما و اتمسفر بر لعاب زرین‌فام با هدف یافتن دمای بهینه و شرایط احیای مناسب» تألیف حسین قصایی، حمیدرضا رضایی و آزاده شمس (۱۳۸۶)، ازجمله مقالاتی است که به بررسی ساخت لعاب زرین‌فام به‌صورت آزمایشگاهی پرداخته است. در مقاله دیگری با عنوان «بررسی عملی تکنیک ایجاد تزئینات زرین‌فام بر روی لعاب‌های دوران اسلامی» تألیف عباس عابد اصفهانی و پرویز هلاکوئی (۱۳۸۵)، سعی شده است با آزمایش عملی تنها بر اساس کتاب عرایس الجواهر و نفایس الاطایب، لعاب زرین‌فام حاصل شود. کایگر اسمیت در کتاب «lustre pottery» (۱۹۸۵) بر اساس تجربیات خود چندین فرمول مینای زرین‌فام ارائه نموده‌اند.

این پژوهش با دیگر پژوهش‌های مرتبط در زمینه ساخت و تحلیل مینای زرین‌فام تفاوت اساسی دارد، زیرا علاوه بر طبقه‌بندی انواع لاستر و معرفی آن‌ها، به‌صورت جامع و منسجم به بررسی عوامل و فاکتورها مؤثر در شکل‌گیری لایه زرین‌فام پرداخته است. درحالی‌که بیشتر پژوهش‌های قبلی تمرکز بر مطالعات تاریخی، باستان‌شناسی و تحلیل مواد به‌صورت مجزا داشتند. این مطالعه سعی دارد تمامی شرایط و عوامل مؤثر در رسیدن به یک زرین‌فام ایده‌آل را در قالب یک چارچوب مدون و کامل بررسی کند تا بتوان به نتیجه‌ای مطلوب و بهینه رسید. به‌طور خلاصه، این پژوهش با نگاه کلی و منسجم به موضوع، قصد دارد یک راهنمای کامل و کاربردی برای ساخت و تحلیل زرین‌فام ارائه دهد که قبلاً کمتر در پژوهش‌ها به این صورت جامع و منظم انجام شده است.

روش تحقیق

پژوهش حاضر بر اساس هدف از نوع کاربردی و ازنظر ماهیت و روش، جز پژوهش‌های توصیفی-تحلیلی است. در گردآوری اطلاعات از شیوه کتابخانه‌ای، مشاهده و تجربه در محیط آزمایشگاه و مراجعه به وبگاه‌های معتبر استفاده‌شده است.

مقاله حاضر ابتدا منابع مکتوب و تاریخی در حوزه متغیرهای مهم در شکل‌گیری لایه مینای زرین‌فام را مطالعه می‌کند. سپس با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده و تجربه در آزمایشگاه به ساخت مینای زرین‌فام می‌پردازد.

موادی که در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفت شامل موارد زیر است؛ در نمونه‌های موردی انجام‌گرفته در این تحقیق تمامی بدنه‌های سرامیکی سفید با استفاده از خاک کائولن منطقه زنوز (تبریز) در ترکیب با بنتونیت و سیلیس ساخته‌شده است.

تحقیقات نشان داد لعاب پایه برای تشکیل مینای زرین‌فام ترکیبی از فریت و مواد گدازآور قلیایی مانند کربنات سدیم، پتاسیم، بوراکس و... است. لذا بر اساس منابع تاریخی، لعاب پایه از موادی مانند فریت ترانس، کربنات سدیم، بوراکس، قلع استفاده‌شده است. جهت ساخت پیگمنت موردنظر از مواد اکسید مس، سولفات مس، سولفید مس، نیترات نقره، نیترات بیسموت، اکسید آهن و کائولن بهره گرفته‌شده است. پخت لعاب پایه در کوره برقی ۱۵۰ لیتری با قدرت حرارتی ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام‌گرفته و برای پخت احیایی از کوره گازسوز و چوب سوز با حجم ۱۰۰ لیتر و با قدرت حرارتی ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده‌شده است.

یافته‌ها

عوامل مؤثر در شکل‌گیری مینای زرین‌فام

برای ایجاد لایه زرین‌فام بر سطح لعاب، مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و فنی به‌صورت هم‌زمان درگیر هستند. بااین‌حال، چهار عامل اصلی نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری موفق این لایه ایفا می‌کنند که عبارت‌اند از: الف) بدنه سرامیکی، ب) لعاب

پایه، ج) فرمول مینای زرین‌فام، و د) شرایط پخت احیایی. هر یک از این عوامل دارای ویژگی‌ها و الزامات خاصی هستند که عملکرد صحیح و هماهنگ آن‌ها برای دستیابی به درخشش فلزی و پایداری لایه زرین‌فام ضروری است.

در این پژوهش، هر یک از این چهار عامل ابتدا بر اساس منابع مکتوب تاریخی به‌ویژه متون تخصصی کهن همچون *عرایس‌الجواهر و جواهرنامه نظامی* موردبررسی و تحلیل قرارگرفته است. سپس با تطبیق داده‌های تاریخی با مواد و فناوری‌های امروزی، از ترکیبات شیمیایی مشابه و قابل‌دسترس برای بازسازی فرآیند ساخت مینای زرین‌فام در محیط آزمایشگاهی استفاده‌شده است. به‌این‌ترتیب، نمونه‌ای مشابه از لایه زرین‌فام تاریخی با بهره‌گیری از روش‌های علمی و تجربی جدید بازتولید گردیده است. شکل شماره (۱)، ساختار کلی و طبقه‌بندی این عوامل و زیرمجموعه‌های آن‌ها را نشان می‌دهد. در ادامه، هر یک از این مؤلفه‌ها به‌صورت تفصیلی موردبررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

شکل ۱- عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری لایه زرین‌فام (نگارندگان).

الف- بدنه سرامیکی: نقش ترکیب بدنه در بازتاب فلزی مینای زرین‌فام

بررسی منابع تاریخی و شواهد تجربی نشان می‌دهد که نوع بدنه سرامیکی، نوع بدنه و مواد آن در ساخت مینای زرین‌فام بی‌تأثیر بوده و هیچ نقشی به لحاظ تکنیکی در ایجاد لایه فلزفام، ایفا نمی‌کند، تنها بر روی لعاب پایه تأثیرگذار است. در آثار تاریخی مشاهده می‌شود که سفالگران از هر دو نوع بدنه رسی و بدنه سفید در تولید ظروف زرین‌فام استفاده کرده‌اند، بااین‌حال، بدنه‌های سفید به دلیل ایجاد زمینه‌ای روشن‌تر، باعث افزایش بازتاب نوری و جلوه بیشتر لایه فلزی می‌شوند.

به همین سبب، سفالگران گذشته یا از **گل‌آبه سفید** برای پوشاندن بدنه‌های تیره استفاده می‌کردند، یا **لعاب‌های اپک سفید** را به کار می‌بردند تا زمینه‌ای مناسب برای بروز جلای فلزی فراهم آورند. این انتخاب نه‌تنها جنبه زیبایی‌شناختی داشته، بلکه از دیدگاه عملکردی نیز باعث تقویت بازتاب نور در سطح لعاب می‌شده است. در مقابل، بدنه‌های تیره به دلیل جذب بیشتر نور، درخشندگی لایه زرین‌فام را کاهش می‌دهند. بدین ترتیب، در ظروف و کاشی‌های ساخته‌شده توسط خاندان ابی‌طاهر کاشانی، استفاده از بدنه‌های سفیدپخت موجب حذف نیاز به انگوب و افزایش خلوص رنگ و درخشش سطحی شده است.

ابوالقاسم کاشانی در کتاب *عرایس‌الجواهر* دستور ساخت بدنه‌ای سفید و نیمه شفاف را شرح می‌دهد که ترکیبی از **شکرسنگ سفید (۱۰ قسمت)**، **خمیرشیشه (۱ قسمت)** و **گل لوری (۱ قسمت)** است. در این فرمول، شکرسنگ سفید معادل امروزی **سیلیس (SiO_2)**، گل لوری معادل **بنتونیت**، و خمیرشیشه حاصل ترکیب **سیلیس و شخار** است. شخار که از گیاه اشنان به‌دست می‌آید، سرشار از مواد قلیایی مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم است و در گذشته نقش مهمی در ساخت لعاب‌ها و فریت‌های قلیایی داشته است.

مواد قلیایی و اکثر منابع تأمین‌کننده آنها محلول در آب هستند. لذا برای استفاده از این مواد در ساخت لعاب و یا جوهر شیشه، جهت کیفیت بهتر ناگزیر به تهیه فریت قلیایی

بوده‌اند. همان‌طور که در کتاب «عرایس الجواهر» مشخص است ساخت فریت از دیرباز در ایران مورداستفاده بوده و امروزه کاربرد بسیار وسیعی دارد. استفاده از فریت در این ترکیب نه‌تنها موجب چسبندگی بهتر ذرات کوارتز و استحکام بدنه می‌شود، بلکه نشان‌دهنده شناخت فنی پیشرفته سفالگران ایرانی از کنترل ترکیبات قلیایی در فرآیند ذوب و پخت است.

بر اساس توضیحات *عرایس‌الجواهر*، این بدنه از نوع **خمیرسنگ (بدل‌چینی)** با دمای پخت پایین بوده که با ترکیب دقیق مواد قلیایی و سیلیسی، بدنه‌ای مناسب برای اجرای لعاب پایه زرین‌فام فراهم می‌کرده است. در این پژوهش، برای بازسازی فرمول تاریخی فوق از مواد معاصر استفاده شد. فرمول پیشنهادی برای بدنه سرامیکی مناسب در این آزمایش در جدول شماره (۱) ذکرشده است.

جدول ۱- فرمول پیشنهادی جهت ساخت بدنه سفید بر اساس منابع تاریخی (نگارندگان)

فرمول بدنه سفید بر اساس منبع تاریخی عرایس الجواهر (نگارندگان)		
کائولن zmk2 (حاوی درصد بالایی سیلیس)	بنتونیت (معادل گل لوری)	فریت (معادل لعاب فریت)
۸۵ درصد	۵ درصد	۱۰ درصد (منبع تأمین‌کننده در این پژوهش از فریت ترانس mt60)

این فرمول با توجه به داده‌های تاریخی و با اصلاح علمی ترکیبات، زمینه‌ای مناسب برای اعمال لعاب پایه زرین‌فام فراهم می‌کند.

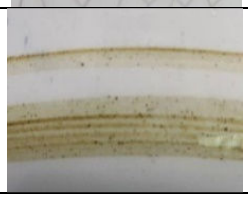
ب- لعاب پایه: تأثیر ترکیب شیمیایی و دمای نرم شوندگی لعاب پایه در شکل‌گیری لایه زرین‌فام لعاب پایه یکی از عوامل اصلی و تعیین‌کننده در تشکیل موفق لایه زرین‌فام است؛ زیرا نوع ترکیب و دمای نرم شوندگی آن، مستقیماً بر فرآیند تبادل یونی و تشکیل نانوذرات فلزی تأثیر می‌گذارد. از میان انواع لعاب‌های متداول - قلیایی،

سربی، و بوری - تنها لعاب‌هایی که در دمای نسبتاً پایین (حدود ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد) به حالت نرم شوندگی می‌رسند، بستر مناسبی برای تشکیل لایه فلزی زرین‌فام فراهم می‌کنند. ابوالقاسم کاشانی در *عرایس‌الجواهر* به این نکته اشاره می‌کند که «دودی نرم می‌دهند تا رنگ دوآتشی بگیرد» (کاشانی، ۱۳۸۶: ۳۴۶)، عبارتی که نشان می‌دهد مرحله تشکیل زرین‌فام در دمای پایین و در شرایطی انجام می‌شود که لعاب هنوز نرم است و فرآیند احیاء آغاز می‌گردد. در چنین دمایی (حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد)، امکان تبادل یون‌های مس و نقره از ترکیبات مینایی با یون‌های سدیم و پتاسیم موجود در شبکه لعاب فراهم می‌شود.

در پی این واکنش، ابتدا جوانه‌زنی و سپس رشد نانوذرات فلزی صورت می‌گیرد که منجر به درخشش فلزی ویژه زرین‌فام می‌شود. نقطه نرم شوندگی لعاب از حساس‌ترین بخش‌های فرآیند به شمار می‌رود؛ زیرا دمای نامناسب می‌تواند مانع شکل‌گیری لایه فلزی شود. اگر دما پایین‌تر از حد لازم باشد، مهاجرت یون‌های فلزی به درون لعاب انجام نمی‌شود و در نتیجه لایه فلزی به‌صورت سطحی و ناپایدار تشکیل می‌گردد. در مقابل، اگر دما بیش‌ازاندازه بالا رود، یون‌ها در فاز مذاب لعاب حل می‌شوند و پس از سرد شدن، تنها اثراتی قهوه‌ای‌رنگ از زرین‌فام باقی می‌ماند.

بر همین اساس، لعاب‌هایی با نقطه ذوب بالا (و درنتیجه شبکه اتمی پایدارتر) برای ایجاد لایه زرین‌فام مناسب نیستند، زیرا میزان گدازآورها در آن‌ها کمتر است و نفوذ فلز به داخل شبکه لعاب را محدود می‌کند (متین، ۱۳۸۷). با توجه به آنچه گفته شد لعاب پایه و دست‌یابی به دمای مناسب در مراحل احیا یکی از فاکتورهای مهم در شکل‌گیری لایه زرین‌فام است، چنانچه از پایه لعاب مناسبی استفاده نشود و یا مراحل دما دهی و احیا به‌خوبی صورت نگیرد. امکان بروز دو اتفاق وجود دارد یا لایه مینای زرین‌فام کمرنگ و رنگ‌پریده می‌شود. یا به دلیل دمای بالا و نرم شدگی لعاب، مینای زرین‌فام در پایه لعاب فرورفته و اثر قهوه‌ای‌رنگ به‌جا می‌گذارد. جدول شماره ۲، عکس مربوط به این دو اتفاق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- اهمیت پایه لعاب، دمای مناسب و شرایط احیا در ایجاد لایه مینای زرین‌فام (نگارندگان)

اهمیت پایه لعاب و دما در ایجاد لایه مینای زرین‌فام		
نمونه اول: تیره شدن مینای زرین‌فام به دلیل دما		دمای بالاتر از میزان مناسب و نرم شدن بیش‌ازحد لعاب که سبب فرورفتن مینای زرین‌فام در پایه لعاب می‌شود.
نمونه دوم: کمرنگ شدن مینای زرین‌فام به دلیل دما		دمای پایین‌تر از میزان مناسب و آماده نبودن لعاب سبب کمرنگ شدن و عدم تشکیل لایه مینای زرین‌فام مناسب می‌شود.

در میان انواع لعاب‌ها، لعاب‌های قلیایی عملکرد بهتری نسبت به لعاب‌های سربی دارند. لعاب‌های سربی در برابر محیط احیایی تمایل به دودزدگی و تیرگی دارند، درحالی‌که لعاب‌های قلیایی در چنین شرایطی براق‌تر و شفاف‌تر باقی می‌مانند. به همین دلیل، در بسیاری از آثار تاریخی ایران که دارای رنگ‌های درخشان و متنوع‌اند، مینای زرین‌فام معمولاً بر روی لعاب قلیایی اجراشده است (بصیری، ۱۳۶۳: ۴۰۲).

بر پایه توصیفات *عرایس‌الجواهر و نفایس* الاطائب، کاشانی ساخت لعاب پایه را از ترکیب شکرسنگ آسیاب شده (معادل سیلیس) و شخار (قلیا یا خاکستر گیاه اشنان) شرح می‌دهد.

این دو ماده پس از ذوب و سرد شدن، ترکیب «خمیر شیشه» یا «جوهر آبگینه» را تشکیل می‌دهند که در واقع نوعی لعاب قلیایی شفاف است. ابوالقاسم عبدالله کاشانی در کتاب خود ساخت لعاب را این‌چنین شرح داده است؛ «چنانکه باید شکرسنگ آسیاب شده را که خوب از صافی گذشته باشد به مقدار ۱۵۰ جزء با ۱۰۰ جزء شخار آرد شده مخلوط نمود و حرارت داد. مثلاً در برابر یک من (۳ کیلوگرم) شکر سنگ، یک من و نیم (۴/۵ کیلوگرم) شخار بدست آمده از تبریز لازم است.

پس از مخلوط کردن این دو ماده باید آن را به مدت یک صبح تا شب در کوره حرارت داد و در طول حرارت دادن آن را مرتب با یک ملاقه آهنی بر هم زد تا خوب مخلوط شوند. این ماده ترکیبی در واقع خمیر شیشه است که شیشه‌گران با آن اشیا شیشه‌ای می‌سازند. پس از هشت ساعت این ماده مذاب را با یک ملاقه از کوره بیرون آورده و درون گودالی پر از آب که نزدیک کوره قرار دارد می‌ریزند، چون این ماده داغ با آب تلاقی پیدا کند صدای هولناکی شبیه رعدوبرق به وجود می‌آورد. پس از سرد شدن، صنعتگران این ماده را که به آن جوهر می‌گویند خوب ساییده و نرم کرده و آن را جهت استفاده حفظ می‌کنند» (نیستانی و روح‌فر، ۱۳۸۹: ۱۸۲).

با توجه به کتاب ابوالقاسم کاشانی، پایه لعاب مناسب جهت ایجاد لایه زرین‌فام «لعاب قلیایی» است چراکه ترکیب شکر سنگ (سیلیس) با شخار و فریت آن، جوهر شیشه را تشکیل می‌دهد. همان‌طور که اشاره شد شخار نیز سرشار از ترکیبات قلیایی ازجمله سدیم و پتاسیم است و در ترکیبات خاکستر آن نیز کلسیم و منیزیم وجود دارد. در واقع جوهر شیشه یک لعاب قلیایی ترانسپارنت (شفاف) است. اما در توضیحات دیگر این کتاب این مسئله نیز مشخص است که برای اپک کردن جوهر شیشه از ترکیب سرب و قلع استفاده می‌کردند، که یک لعاب اپک قلیایی سربی تشکیل می‌داده است.

در ادامه، برای ایجاد لعاب اپک، کاشانی افزودن ترکیب سرب و قلع را توصیه می‌کند. این ترکیب موجب تشکیل لعاب «قلیایی- سربی - قلعی» می‌شود که ضمن داشتن بستر قلیایی مناسب، درخشندگی و جلای طلایی‌رنگ فلزفام را افزایش می‌دهد. نظر عمومی بر این است که حضور قلع در ایجاد بستر مناسب‌تر و نیز جلای بهتر لایه فلزی تأثیر مثبت دارد. نانو ذرات نقره نور تابیده را منعکس نموده و در این حالت نور بازتاب شده با رنگ نقره‌ای مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، ذرات قلع باعث شکست و پراکندگی نور تابیده می‌گردند. مجموع این دو واکنش باعث می‌گردد که نور بازتاب شده با رنگ طلایی به نظر آید (متین، ۱۳۸۷: ۵). علت دیگری که برای کمک کردن و تأثیرگذاری اکسید قلع به ایجاد لایه زرین‌فام مطرح می‌باشد این است که اکسید قلع می‌تواند در یک

واکنش اکسیداسیون و احیاء با اکسیدهای مس و نقره شرکت کند و نقش یک احیاکننده داخلی را برای نفوذ اکسیدهای نقره و مس به داخل شبکه لعاب بازی کند. اکسید قلع چهار ظرفیتی (SnO_2) در شرایط احیایی به اکسید قلع دو ظرفیتی (SnO) تبدیل می‌شود. یون‌های نقره و مس با توجه به واکنش‌های زیر به‌راحتی در حضور یون قلع دو ظرفیتی (Sn^{+2}) به فلزهایشان احیاء می‌شوند و در شبکه لعاب نفوذ می‌کنند (قصایی، ۱۳۸۶: ۶).

در گذشته، مواد قلیایی از سوزاندن گیاه اشنان به‌دست می‌آمد که خاکستر آن سرشار از ترکیبات سدیم و پتاسیم بود. امروزه در صنعت سرامیک، مواد خالص‌تری مانند **کربنات سدیم، کربنات پتاسیم و بوراکس** جایگزین منابع طبیعی قلیا شده‌اند و اغلب لعاب‌ها به‌صورت **فریت قلیایی آماده** مورداستفاده قرار می‌گیرند. انتخاب چنین لعاب‌هایی با نقطه نرم شوندگی پایین (۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد) برای تشکیل زرین‌فام ضروری است، زیرا امکان تبادل یونی را در دمای احیاء فراهم می‌کند.

بر اساس بازخوانی منابع تاریخی و آزمون‌های آزمایشگاهی، در این پژوهش سه فرمول لعاب پایه با ترکیبات مختلف قلیایی، سربی و بوراکسی بررسی شد. هر سه فرمول در کنار پنج نوع ترکیب مینای زرین‌فام، در شرایط پخت احیایی آزمایش شدند. نتایج نشان داد که فرمول شماره ۳، که شامل نسبت بهینه‌ای از سیلیس، فریت قلیایی، مقدار محدود سرب و اکسید قلع بود، بهترین هماهنگی را با بدنه و لیقه زرین‌فام نشان داد و درخشندگی پایدارتر و براقیت بالاتری ایجاد کرد. جدول شماره ۳، نمونه لعاب‌های آزمایش‌شده در آزمایشگاه را طبقه‌بندی کرده است.

جدول ۳- مطالعه لعاب‌های پایه بر اساس کتاب عرایس الجواهر و مواد موجود امروزی در صنعت (نگارندگان)

فرمول شماره ۱						
sn	$Na_2B_4O_7$	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	PbO	فرمول لعاب پایه
۵٪ اکسید قلع	۴٪ از منبع تأمین‌کننده بوراکس	تأمین این بخش به‌صورت نیمه فریت ۱۰٪ مقدار سیلیس و ۷۰٪ فریت mt60 از کارخانه مشهد	۱٪ از منبع تأمین‌کننده کائولن	۱۰٪ کربنات سدیم	-	مقدار درصد مواد
فرمول شماره ۲						
sn	$Na_2B_4O_7$	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	PbO	فرمول لعاب پایه
۵٪ اکسید قلع	۴٪ از منبع تأمین‌کننده بوراکس	تأمین این بخش به‌صورت نیمه فریت ۱۵٪ مقدار سیلیس و ۶۰٪ فریت mt60 از کارخانه مشهد	۶٪ از منبع تأمین‌کننده کائولن	۵٪ کربنات سدیم	۵٪ سرنج	مقدار درصد مواد
فرمول شماره ۳						
sn	$Na_2B_4O_7$	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	PbO	فرمول لعاب پایه
۵٪ اکسید قلع	۷٪ از منبع تأمین‌کننده بوراکس	تأمین این بخش به‌صورت نیمه فریت ۱۵٪ مقدار سیلیس و ۶۰٪ فریت mt60 از کارخانه مشهد	۳٪ از منبع تأمین‌کننده کائولن	۷٪ کربنات سدیم	۳٪ سرنج	مقدار درصد مواد

نکته قابل‌توجه در بررسی‌های آزمایشگاهی این است که تمامی عوامل مؤثر بر فرآیند شکل‌گیری لایه زرین‌فام به‌صورت هم‌زمان و در تعامل با یکدیگر عمل می‌کنند، درحالی‌که ثبت و تحلیل داده‌ها ناگزیر به‌صورت خطی و مرحله‌به‌مرحله انجام می‌شود. بر این اساس، در مرحله نخست پژوهش، بدنه سرامیکی مطابق فرمول تاریخی بازسازی و آماده‌سازی گردید. سپس سه ترکیب مختلف لعاب پایه، در کنار پنج فرمول پیشنهادی لیقه یا پیگمنت زرین‌فام، تحت شرایط احیایی (Reduction) در کوره مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از ارزیابی نتایج، مشخص شد که یکی از ترکیبات لعاب پایه (فرمول شماره ۳) به دلیل هماهنگی ساختاری با بدنه و سازگاری شیمیایی با لیقه زرین‌فام، بهترین بستر برای تشکیل لایه فلزی براق و پایدار را فراهم می‌آورد. بر این اساس، فرمول شماره ۳ به‌عنوان ترکیب بهینه برای ادامه مراحل پژوهش انتخاب شد.

ج- فرمول مینای زرین‌فام: بازسازی فرمول تاریخی لیقه دو آتشه و نتایج آزمایشگاهی

میناهای زرین‌فام، لایه‌هایی بسیار نازک از نانوذرات فلزات مس و نقره هستند که در اثر فرایند احیاء، بر سطح لعاب سرامیک‌های تاریخی شکل می‌گیرند و با انعکاس نور، درخششی فلزی یا رنگین‌کمانی در طیف‌های طلایی تا قرمز ایجاد می‌کنند. مواد اولیه اصلی این میناها ترکیبات و نمک‌های مس و نقره است که معمولاً همراه با کانی‌های رسی به کار می‌روند.

در جریان پخت، احیای یون‌های نقره و مس منجر به تشکیل نانوذرات فلزی می‌شود؛ نقره رنگ‌های طلایی و مس رنگ‌های سرخ‌فام با جلای فلزی ایجاد می‌کند. پژوهش‌های معاصر با روش‌های نوین آنالیز، ابعاد این ذرات را حدود ۵ تا ۱۰۰ نانومتر گزارش کرده‌اند (متین، ۱۳۸۷: ۴). در تکنیک زرین‌فام، رنگ‌دانه یا «لیقه» روی لعاب پیش‌پخته اعمال می‌شود و سپس در مرحله‌ای دوم از پخت، در دمایی پایین‌تر (حدود ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد)، در محیطی احیایی حرارت می‌بینند. در این فرایند، ترکیبات نقره و مس

موجود در لیقه اکسیژن خود را ازدست‌داده و به‌صورت لایه‌ای فلزی درون لعاب نفوذ می‌کنند. پس از سرد شدن و صیقل سطح، درخششی صدف‌گون و چندرنگ بر سطح لعاب ظاهر می‌شود (واتسون، ۱۳۸۲: ۲۷).

یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در فرآیند ایجاد لایه زرین‌فام، **ترکیب جوهر یا مینای زرین‌فام** است که در متون تاریخی با عنوان «لیقه دوآتشه» از آن یادشده است. ابوالقاسم کاشانی در کتاب *عرایس‌الجواهر* دو فرمول برای ساخت این لیقه ارائه کرده، درحالی‌که در اثر قدیمی‌تر، *جواهرنامه نظامی*، که بیش از یک قرن پیش از آن نوشته‌شده، تعداد ۲۶ فرمول مختلف برای ساخت مینای زرین‌فام ذکرشده است.

بررسی محتوای هر دو منبع نشان می‌دهد که در هیچ‌یک از این دستورها از طلا یا ترکیبات وابسته به آن استفاده‌نشده است؛ بلکه ساختار کلی فرمول‌ها متکی بر ترکیبات متنوع فلزی و معدنی است. این ترکیبات شامل مواد متعددی چون مس، نقره، آهن، زرنیخ، شنگرف، توتیا و سایر گدازآورها بوده و تنوع بالای آن‌ها نشان می‌دهد که زرین‌فام محدود به رنگ طلایی نیست، بلکه می‌تواند طیفی از رنگ‌ها و تلألؤهای فلزی مختلف را ایجاد کند.

از دیگر ویژگی‌های مشترک در تمامی این دستورها، **استفاده از سرکه** به‌عنوان محیط ترکیب مواد اولیه است. استادان سفالگر ایرانی، بنا بر روایات تاریخی، مواد تشکیل‌دهنده مینای زرین‌فام را برای مدتی در سرکه نگه می‌داشتند. این کار چندین اثر فنی داشت: نخست، برخی از نمک‌های نقره و مس به استات تبدیل می‌شدند که در دمای حدود ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌راحتی تجزیه‌شده و محیطی یکنواخت‌تر برای توزیع یون‌های فلزی فراهم می‌کرد. دوم، این تجزیه موجب **ایجاد احیای موضعی** در سطح لعاب می‌شد و درنتیجه به تشکیل لایه فلزی کمک می‌کرد.

سوم، خاصیت تبخیر سریع سرکه باعث می‌شد که لایه نقاشی شده زودتر خشک‌شده و از حرکت و پخش شدن رنگ بر سطح لعاب جلوگیری شود. افزون بر این، سرکه با انحلال نسبی ترکیبات نامحلول و ایجاد استات‌های نقره و مس، به تقویت واکنش احیایی و

افزایش درخشش نهایی لایه زرین‌فام یاری می‌رساند (متین، ۱۳۸۷: ۴۵؛ اژدری، ۱۳۸۸: ۳۱). این شواهد نشان می‌دهد که درک استادکاران ایرانی از رفتار شیمیایی مواد، اگرچه تجربی بوده، اما از دیدگاه فناوری و کنترل واکنش‌های احیایی در سطح لعاب، کاملاً منطبق با اصول علمی شناخته شده امروز است.

بر اساس تحلیل ترکیبات تاریخی در منابع *عرایس‌الجواهر و جواهرنامه نظامی*، سه گروه ماده در ساخت میناهای زرین‌فام و تشکیل لایه فلزی نقش اصلی دارند، عبارت‌اند از:۱. **عناصر فلزی (عامل درخشش)**: این گروه شامل مس، نقره و مشتقات آن‌ها مانند اکسید، کربنات، زنگار یا استات، سولفات، سولفید، سولفور و آرسنات است. در فرایند احیایی، نانوذرات نقره موجب ایجاد درخشش طلایی می‌شوند و نانوذرات مس رنگ‌هایی مایل به قرمز با جلای فلزی تولید می‌کنند. نسبت و نوع ترکیب این عناصر، تعیین‌کننده طیف رنگی و شدت درخشش نهایی لایه زرین‌فام است.

۲. **ترکیبات آهن و مواد رسی (عامل پایداری و واسطه احیاء)**: در بیشتر فرمول‌های تاریخی، ترکیبات آهن مانند سولفات فریک (زاج زرد)، سولفات آهن (مرقشیثای ذهبی و فضی) و اکسید آهن یا اخرا (شادنج یا هماتیت) حضور دارند. این ترکیبات نقش واسطه گِلی را در فرمول ایفا کرده و در حین پخت، اکسید فریک (Fe_2O_3) به اکسید فرو (FeO) تبدیل می‌شود. این واکنش مانع از ترکیب مجدد اکسیژن با نقره و مس می‌گردد و به پایداری لایه فلزی کمک می‌کند. در مرحله سرد شدن، FeO دوباره به (Fe_2O_3) تبدیل می‌شود و با تثبیت ساختار، استحکام و دوام لایه را افزایش می‌دهد. همچنین، ماهیت ریزدانه و خاصیت چسبندگی طبیعی مواد رسی، موجب می‌شود مخلوط زرین‌فام بافتی یکنواخت و خمیری پیدا کند که اجرای آن بر سطح لعاب را با قلم‌مو آسان‌تر می‌سازد.

۳. **مواد گدازآور یا فِلِکس‌ها (عامل نفوذ و پیوند)**: گروه سوم شامل ترکیباتی مانند بوره، بوره نطرون، توتیا (اکسید روی)، شنگرف (سولفور جیوه)، سرنج، لیتارژ،

سولفور سرب و زرنیخ زرد و سرخ است. این مواد با کاهش نقطه ذوب ترکیب مینا، امکان واکنش آن با سطح لعاب را در دمای پایین‌تر فراهم می‌کنند و به نفوذ مؤثرتر یون‌های مس و نقره در شبکه لعاب کمک می‌نمایند. در نتیجه، پیوند بین لایه فلزی و لعاب تقویت‌شده و درخشش زرین‌فام با پایداری بیشتری شکل می‌گیرد (میرشفیعی، ۱۳۹۰: ۱۰۷). درمجموع، این سه گروه از مواد با عملکرد هم‌افزا، سازوکار فیزیکی و شیمیایی تشکیل لایه زرین‌فام را کامل می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که عناصر فلزی منبع درخشش، ترکیبات آهن عامل پایداری و گدازآورها تسهیل‌کننده واکنش و نفوذ در سطح لعاب به شمار می‌روند.

ابوالقاسم کاشانی در کتاب، *عرایس‌الجواهر*، به‌صورت دقیق و گام‌به‌گام ترکیب و شیوه آماده‌سازی **لیقه زرین‌فام** را تشریح کرده است. وی در توضیح فرمول نخست چنین می‌نویسد: «و سیاقت لیقه بدین تفصیل است؛ فراگیرند زرنیخ زرد و سرخ یک من و نیم، مرقشیثای فضّی یا ذهبی یک من، زاج زرد طیسی نیم‌من، نحاس محرّق چاریکی – معجون مدقون مطحون مسحوق، چاریکی ازو با شش درم نقره صاف محرّق مسحوق بر صلایه دو شبانه‌روز سحق کنند تا به‌غایت نرم شود. آنگاه با قدری دوشاب یا سرکه حل کرده بر آلات نقش کنند چنانکه خواهند، و باز در شاخوره ثانی نهند که برای این کار ساخته باشند و سه شبانه‌روز دودی نرم می‌دهند تا رنگ دو آتشی بگیرد، و چون سرد شود برون کنند و به خاک نمگین بمالند صبغی مثل زر برون آید. گروهی دیگر بر این لیقه ادویه چند زیادت می‌کنند، چون سرنج و زنجار» (کاشانی، ۱۳۸۶: ۳۴۶).

تحلیل ترکیب فوق نشان می‌دهد که عناصر **مس**، **نقره** و **آهن** در کنار **زرنیخ زرد** و **سرخ** نقش محوری در ساخت مینای زرین‌فام دارند. افزوده شدن موادی مانند **سرنج** (اکسید سرب) و **زنگار** (استات مس) نیز که کاشانی در ادامه به آن اشاره می‌کند، نشانگر شناخت استادان سفالگر از کارکرد گدازآورها در کاهش دمای واکنش و تسهیل احیای فلزات است. سرنج به‌عنوان یک فِلِکس یا گدازآور در دماهای پایین‌تر فعال می‌شود و موجب بهبود چسبندگی مینا به سطح لعاب می‌گردد، درحالی‌که زنگار (استات مس) در فرآیند احیا به آزادسازی سریع‌تر یون‌های مس کمک می‌کند.

در فرمول دوم، کاشانی ترکیب ساده‌تری ارائه می‌دهد و می‌نویسد؛ «اما به‌جای همه، شادنج مفرد با نقره محرّق همین کار بکند، و آنچه از آن آتشی معتدل یافته باشد، مثل زر سرخ درفشد و مانند روشنی آفتاب درخشد» (کاشانی، ۱۳۸۶: ۳۴۷). در این نسخه از فرمول، تنها **شادنج (ترکیبات آهن)** و **نقره محرّق (نقره احیاءشده)** به‌کاررفته است که نشان می‌دهد ترکیبات مینای زرین‌فام می‌توانند بسته به نوع درخشش مطلوب، ساده‌تر یا پیچیده‌تر باشند. به‌طورکلی، ابوالقاسم کاشانی در این بخش از کتاب خود به **ده ماده اصلی** (غیر از سرکه و دوشاب به‌عنوان حلال) اشاره می‌کند که مجموعه‌ای از فلزات، مواد معدنی و گدازآورها را شامل می‌شوند. این ترکیبات نه‌تنها تنوع فنی بالایی را در روش‌های تاریخی زرین‌فام نشان می‌دهند، بلکه گواهی بر درک عمیق هنرمندان ایرانی از اصول شیمیایی و رفتار فلزات در شرایط احیایی دارد.

در کتاب *جواهرنامه نظامی*، ماده **شادنج** (که در منابع دیگر با نام‌های شادنه، شاذنه یا حجرالدم نیز ذکرشده است) چنین توصیف‌شده است؛ «شادنج سنگی است معدنی به رنگ سرخ تیره مایل به سیاه که هنگام ساییدن، رنگی سرخ و درخشان چون خون تازه از آن جدا می‌شود. این سنگ دو نوع دارد؛ نوع نخست را *«عدسی»* گویند که به‌صورت دانه‌های متصل شبیه عدس است، و نوع دوم *«جاورسی»* نام دارد که دانه‌های آن چون ارزن و به‌صورت پراکنده دیده می‌شود. هر دو نوع در خاکی سرخ‌رنگ یافت می‌شوند. اگر سنگ مغناطیس را به‌آرامی بسوزانند، خاصیتی همانند شادنج می‌یابد» (جوهری نیشابوری، ۱۳۸۳: ۲۷۰).

ازآنجاکه کتاب *عرایس‌الجواهر* ابوالقاسم کاشانی در بسیاری از بخش‌ها بازنویسی یا اقتباسی از *جواهرنامه نظامی* است، در مورد شادنج نیز مطالب مشابهی تکرار شده است. کاشانی آن را سنگی سرخ‌رنگ معرفی می‌کند که در اثر ساییدن به رنگ خون درمی‌آید و به همین دلیل «سنگ خون» نیز خوانده می‌شود. در برخی منابع از آن با نام «شجره‌النحاس» یادشده است. امروزه این ماده معادل **هماتیت** (Fe_2O_3) یا اکسید دوفر شناخته می‌شود.

گاهی نیز نوع مصنوعی آن را از سوزاندن سنگ مغناطیس به دست می‌آوردند. برای آماده‌سازی شادنج، آن را با آب و نمک شسته، خشک کرده و چندین بار برشته می‌کردند تا پودر سرخ و خالصی حاصل شود. ماده مشابهی با نام **خماهن** نیز در متون کهن آمده که همان هماتیت متبلور است؛ سنگی سیاه و براق که در اثر سایش، پودر سرخ‌رنگی چون خون آزاد می‌کند. از خماهن علاوه بر استفاده در تزیینات، نوعی رنگ یا مرکب قرمز نیز می‌ساختند (نیستانی و روح‌فر، ۱۳۸۹: ۱۸۴).

از دیگر ترکیبات ذکرشده در فرمول مینای زرین‌فام، **دوشاب** است. هرچند دوشاب نقشی مستقیم در شکل‌گیری لایه فلزی زرین‌فام ندارد، اما به‌عنوان **عامل چسباننده و روان کننده** در ترکیب به کار می‌رفته است. این ماده موجب سهولت در اجرای نقاشی زرین‌فام، افزایش چسبندگی مینا بر سطح لعاب، و یکنواختی لایه رنگی در هنگام پخت می‌شده است.

در ادامه همین کتاب، بخش مربوط به میناهای زرین‌فام با عنوان «صفت انواع رنگ‌ها که بر قواریر و انواع اوانی قاشی و اصفهانی و شامی و چینی و غیر آن به کار دارند» آغاز می‌شود. در این بخش، **۲۶ فرمول مختلف** برای ساخت زرین‌فام ارائه گردیده است. بررسی دقیق این فرمول‌ها نشان می‌دهد که برخی از آن‌ها برای لعاب‌کاری بر روی بدنه‌های سرامیکی (کاشی‌ها و ظروف سفالین) و برخی دیگر برای تزئین محصولات شیشه‌ای و آبگینه به کار می‌رفته‌اند.

ازآنجاکه نام بسیاری از مواد در متون کهن با اصطلاحات بومی یا کهن بیان‌شده و امروزه چندان آشنا نیستند، برای درک علمی ترکیبات و بازسازی دقیق آن‌ها، لازم است معادل‌های **کانی‌شناسی** و **فرمول‌های شیمیایی** این مواد شناسایی و تطبیق داده شوند. جدول شماره (۴) در این پژوهش، فهرست کاملی از مواد اولیه ذکرشده در منابع تاریخی را همراه با آوانویسی، منشأ معدنی و ترکیب شیمیایی معاصر آن‌ها ارائه می‌دهد.

جدول ۴- واژه‌نامه فارسی، عربی و انگلیسی مواد اولیه زرین‌فام در کتاب «عرایس الجواهر» و «جواهرنامه نظامی»(نگارندگان)

فارسی	معادل شیمیایی	عربی
کانی مالاخیت	$Cu(OH)_2$,$CuCO_3$	دهنج
سولفور نقره	Ag, Ag_2S	فضهٔ محرقهٔ
براده آهن	Fe Fe(OH)3 Fe (CH3 COO) 2.4H2 O	حدید (توبال آهن، توبال زعفران، برادهٔ، محرق بالکبریت، حرارت داده شده با نمک آمونیوم (نشادر) و آلوم)
(کالامین طلا) سنگ معدن روی+ طلا (کالامین‌مس) سنگ معدن روی+ مس	سرباره و باقی‌مانده کوره ذوب طلا حاوی کربنات روی $ZnCO_3$ سرباره و باقی‌مانده کوره ذوب مس	اقلیمیا الذهبی اقلیمیا النحاس
استات قلع	$Sn(CH_3Coo)2$	اسفیداج الرصاص
سرب قرمز	Pb_3O_4	اسرنج (سرنج)
گوگرد (زرد، سفید، سیاه، قصاری)	S	کبریت (اصفر، ابیض، أسود، قصاری)
سنگ لاجورد کبالت	(Na.Ca)8(Al.Si)12O24(S.SO4)CoO	لاجورد یا لازورد
دی اکسیدمنگنز	MnO2	مغنیسیا
پیریت (سولفید آهن)	Fes_2	مرقشیسا
سرب زرد (لیتارژ) (مردار سنگ)	PbO	مرتک
مس (قرمز، سوخته با سولفور، سوخته با سولفور و آرسنیک، سوخته با آرسنیک و آمونیاک (نشادر)، استات مس (زنجار)	Cu CuO Cu2 S Cu(CH3 COO)2. 2H2 O	نحاس (احمر، محرق بالکبریت، محرق بالکبریت والزرنیخ، محرق بالزرنیخ و النشادر، توبال الشبه، روسختج، حلقوس) زنجار
آمونیاک، نوشادر	$(NH_4)HCO_3$. $(NH_4)CO_2NH_2$	نوشادر
روی	Zn	کلس القلعی

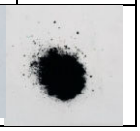
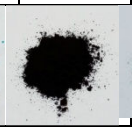
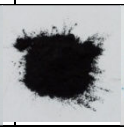
سرمه، سولفور سرب و سولفور آنتیموان	Pbs, Sb_2O_3	کحل
شادنج، کانی هماتیت (سولفات آهن)	(Fe2 O3)	شادنج (سادنج)
زاج سفید، آلوم	$K_2SO_4.Al_2(SO_4)_3.24H_2O$	شبّ یمانی شبّ مصری
اکسید روی	ZnO	توتیا
آهن قلقند: زاج سبز (سولفات مس) قلقنت، قلقطار: زاج زرد قلقندیس: زاج سفید	سولفات فلزات $CuSO_4..5H2\ O$ Fe2(SO4)3.9H2O $K_2SO_4.Al_2(SO_4)_3.24H_2O$	زاج (سوری، اخضر، اصفر، شحیرة) قلقند، زاج سبز قلقنت یا قلقطار، زاج زرد قلقندیس یا زاج سفید
زرنیخ زرد یا دی سولفور آرسنیک (زرنیخ قرمز یا تری سولفور آرسنیک)	As2 S3 As2 S2	زرنیخ أصفر زرنیخ أحمر
جیو (شنجرف، زنجفر)	HgS	زنجفر، سنجفر، قنبار

بر اساس بررسی دقیق منابع تاریخی، به‌ویژه دو اثر ارزشمند **عرایس‌الجواهر** اثر ابوالقاسم کاشانی و **جواهرنامه نظامی**، پنج فرمول منتخب از میان ترکیبات سنتی موسوم *به لیقه* یا *پیگمنت زرین‌فام* برای اجرای نقاشی بر روی بدنه لعاب خورده ظروف سرامیکی انتخاب و بازسازی شد. این فرمول‌ها با هدف تطبیق‌پذیری با داده‌های تاریخی و امکان‌سنجی عملی در شرایط آزمایشگاهی تنظیم گردیدند.

در ترکیب این پنج فرمول، از مجموعه‌ای از مواد فلزی و غیرفلزی بهره گرفته شد که هر یک نقشی خاص در ایجاد لایه درخشان زرین‌فام ایفا می‌کنند. مواد فلزی شامل ترکیبات مس یا *نحاس* در اشکال مختلف نظیر **اکسید مس (CuO)**، **سولفات مس ($CuSO_4$)**، **کربنات مس ($CuCO_3$)** و **سولفید مس (Cu_2S)** بوده‌اند که عامل اصلی

بروز طیف‌های رنگی قرمز، قهوه‌ای و مسی محسوب می‌شوند. در کنار این مواد، از ترکیبات مکملی همچون **اکسید منگنز** (**MnO_2**) یا *مغنیسیا* برای کنترل تیرگی رنگ، **زرنیخ زرد** (**As_2S_3**) به‌عنوان تثبیت‌کننده رنگ، **نیترات بیسموت** (**$Bi(NO_3)_3$**) برای افزایش چسبندگی، و **نیترات نقره** (**$AgNO_3$**) یا *فضه محرقه* برای ایجاد درخشش طلایی بهره گرفته شد. افزون بر این، **اکسید آهن** (**Fe_2O_3**) به‌عنوان واسطه گلی احیایی و**کائولن** به‌منزله بستر معدنی و عامل یکنواخت کننده بافت در ترکیب حضورداشته است.

جدول ۵- عکس مواد مورداستفاده در فرمول مینای زرین‌فام (نگارندگان)

اکسید مس	کربنات مس	سولفید مس	سولفات مس	اکسید منگنز	زرنیخ زرد	نیترات بیسموت	نیترات نقره
							

با توجه به شناخت مواد و آگاهی از ویژگی‌های هر یک در شرایط احیایی، و همچنین با در نظر گرفتن تأثیر قرارگیری عناصر در کنار یکدیگر و مطالعه منابع تاریخی، پنج فرمول برای آزمایش لایه مینای زرین‌فام تدوین شد. این فرمول‌ها پس از نقاشی بر روی بدنه سرامیکی لعاب خورده، در شرایط کوره احیایی پخت شدند. در نهایت، یک فرمول به‌عنوان بهترین نتیجه انتخاب گردید. جدول شماره ۶، پنج فرمول لیقه یا پیگمنت ساخته‌شده برای مینای زرین‌فام را نشان می‌دهد.

جدول ۶- پنج فرمول پیشنهادی جهت ساخت مینای زرین‌فام (نگارندگان)

فرمول	اکسید مس	سولفات مس	کربنات مس	سولفید مس	اکسید منگنز	زرنیخ زرد	نیترات	نیترات نقره	اکسید آهن	کائولن
۱	٪۱۰	٪۵	٪۵	–	-	-	٪۲	-	٪۳۰	**٪۳۰**
۲	–	–	-	-	–	٪۱	٪۲	٪۸	٪۸۵	–
۳	–	٪۱۰	-	-	-	–	-	٪۱۰	٪۸۰	–
۴	–	-	-	٪۲۰	-	-	–	٪۲	٪۴۰	**٪۲۰**
۵	–	٪۴	-	-	٪۱۰	-	–	٪۶	٪۸۰	–

پس از اندازه‌گیری مقادیر موردنیاز مواد، تمامی آن‌ها داخل هاون سرامیکی ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت به‌طور کامل ساییده می‌شوند. در این فرآیند، ذرات مواد کاملاً ریز شده و با یکدیگر ترکیب می‌شوند. پس از ساییدن مواد خشک، مقداری سرکه به ترکیب افزوده‌شده و مجدداً به مدت ۴ ساعت ساییده می‌شوند. عکس شماره ۱، مراحل ترکیب مواد در هاون سرامیکی را نشان می‌دهد.

عکس ۱- ترکیب مواد و ساییدن لیقه مینای زرین‌فام در هاون سرامیکی (نگارندگان).

پیش‌تر به این نکته اشاره شد، تمامی فرمول لعاب‌های پایه و تمامی فرمول‌های لیقه مینای زرین‌فام با یکدیگر مورد آزمایش قرار گرفتند. در این مقاله فقط به فرمول‌هایی اشاره می‌شود که نتیجه مطلوبی حاصل‌شده است. در میان پنج فرمول آزمایشی، **فرمول شماره ۳** (حاوی ۱۰٪ سولفات مس، ۱۰٪ نیترات نقره و ۸۰٪ اکسید آهن) بهترین نتیجه را نشان داد. این ترکیب توانست لایه‌ای براق، یکنواخت و پایدار از مینای زرین‌فام ایجاد کند و ازنظر درخشش فلزی و چسبندگی با لعاب، عملکرد بهینه‌ای داشته باشد.

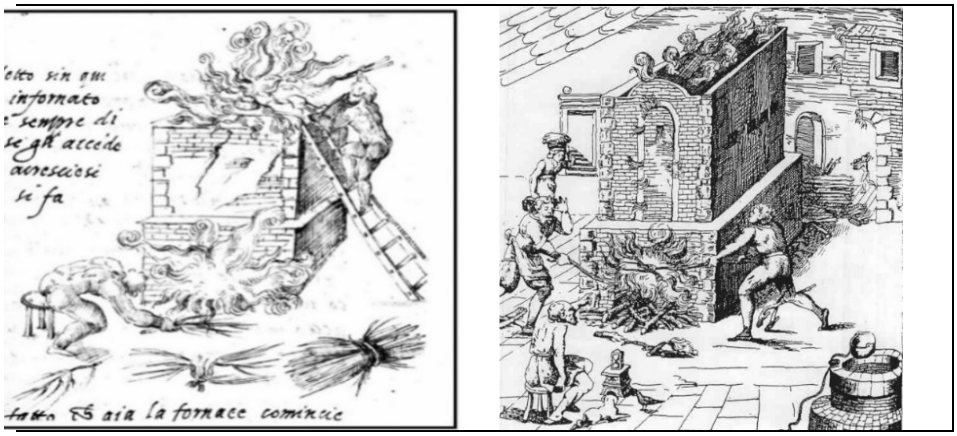
د- شرایط پخت احیا: تحلیل شرایط حرارتی و احیایی در پایداری لایه زرین‌فام

یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین مراحل در شکل‌گیری لعاب زرین‌فام، **فرآیند پخت احیایی** (Reduction Firing) است؛ مرحله‌ای حساس که کیفیت نهایی درخشش فلزی و پایداری لایه زرین‌فام به آن وابسته است. در این فرآیند، ترکیبات فلزی نظیر اکسیدهای مس و نقره در مجاورت گازهای احیایی، به فلزات خالص تبدیل می‌شوند و لایه‌ای نازک با جلای فلزی بر سطح لعاب ایجاد می‌کنند. این عمل به‌وسیله سوخت ناقصی مثل مونوکسید کربن صورت می‌گیرد. از دیدگاه علمی، واکنش احیا زمانی رخ می‌دهد که اکسیژن از ترکیب اکسیدی جداشده و عنصر فلزی به حالت خالص خود بازگردد. این فرایند معمولاً در حضور گاز مونوکسید کربن (CO) انجام می‌شود که با جذب اکسیژن از ترکیبات اکسیدی، به دی‌اکسید کربن (CO_2) تبدیل می‌گردد (اژدری، ۱۳۸۸: ۳۰). درنتیجه، لایه‌نازکی از فلزات نقره و مس بر روی سطح لعاب تشکیل‌شده و بازتاب فلزی و زرین‌گونه زرین‌فام پدید می‌آید. در سنت سفالگری ایرانی، پخت زرین‌فام به‌عنوان **پخت سوم** پس از پخت بدنه و لعاب محسوب می‌شود و خود شامل سه عامل کلیدی است؛ الف) دمای پخت احیا، ب) مدت و زمان احیاء و ج) تعداد دفعات دود دهی و شدت احیاء.

الف) دمای پخت احیاء؛ دمای مناسب احیا به نوع لعاب بستگی دارد و باید تا حدی افزایش یابد که لعاب به حالت نیمه نرم درآمده و امکان مهاجرت یون‌های مس و نقره در سطح آن فراهم شود (متین، ۱۳۸۷: ۵). ابوالقاسم کاشانی در *عرایس‌الجواهر* به این مرحله با تعبیر «سه شبانه‌روز دودی نرم دهند تا رنگ دو آتشی بگیرد» اشاره می‌کند (کاشانی، ۱۳۸۶: ۳۴۷) که بیانگر دمایی حدود **۵۵۰ تا ۶۲۰ درجه سانتی‌گراد** است. دمای بیش از این مقدار موجب نفوذ بیش‌ازحد پیگمنت در لعاب و تیرگی سطح می‌شود، درحالی‌که دمای کمتر از آن مانع چسبندگی لایه زرین‌فام به لعاب خواهد شد.

ب) مدت و زمان احیاء؛ مدت‌زمان احیا بسته به ابعاد کوره و میزان بارگذاری آن متفاوت است. همان‌طور که در متن «عرایس الجواهر» آمده است سه شبانه‌روز دودی نرم می‌داده‌اند. و این می‌رساند که کوره‌ای بزرگی جهت کار داشته‌اند و به نظر می‌رسد این سه روز شامل چیدن آثار داخل کوره و دوره سرد شدن آن را نیز شامل می‌شود. شواهد تاریخی ازجمله در *عرایس‌الجواهر* نشان می‌دهد که در گذشته دوره احیا تا سه شبانه‌روز ادامه داشته است؛ اما در آزمایش‌های امروزی با کوره‌های کوچک، زمان احیاء مؤثر حدود **یک تا یک و نیم ساعت** تعیین‌شده است.

ج) تعداد دفعات دود دهی و شدت احیاء؛ در ایام گذشته از کوره‌های سنتی چوب سوز جهت پخت سرامیک و همچنین پخت احیاء زرین‌فام استفاده می‌شده است. این مسئله نیز هم در کتاب «عرایس الجواهر» و هم در کتاب «سه کتاب درباره هنرمندان» تألیف پیکولپاسو آمده است. حتی طرح‌هایی از کوره و شرایط احیا، از پیکولپاسو موجود می‌باشد (عکس ۲ و ۳). در کوره‌های چوب سوز سنتی محیط کوره دائماً در حال تبدیل از احیا به اکسیداسیون و بالعکس می‌باشد که این مطلب خود به پخش و آرایش بهتر اتم‌های مس و نقره در سطح لعاب کمک کرده و موجب تشکیل لایه فلزی منظم‌تر و دقیق‌تر می‌شود.



عکس ۲- طراحی پیکولپاسو از کوره چوب سوز در حال احیا و دود دهی در دوره رنسانس ایتالیا (رادز، ۱۳۸۲: ۵۹).

گذشته از شیوه ساخت مینای زرین‌فام، **طراحی و عملکرد کوره** نیز نقشی تعیین‌کننده در موفقیت فرآیند احیا و درخشش نهایی لایه زرین‌فام دارد. پیکولپاسو در نوشته‌های خود گزارش می‌کند که به باور سفالگران ایتالیایی دوران رنسانس، «تمام هنر زرین‌فام در ساخت و تنظیم کوره نهفته است»؛ تا جایی که کوره‌ها در فضاهای بسته و محافظت‌شده نگهداری می‌شدند تا کنترل دقیق حرارت و اتمسفر درونی آن‌ها تضمین شود (واتسون، ۱۳۸۲: ۳۲). مطالعات تاریخی درباره دوران سلجوقی، ایلخانی و نیز ایتالیا در عصر رنسانس نشان می‌دهد که در فرآیند احیای زرین‌فام، **محیط کوره از آغاز پخت تا پایان، حالت دودزا و احیایی داشته است.** در نزدیکی نقطه اوج دما، شدت احیا افزایش‌یافته تا شرایط لازم برای تبدیل ترکیبات فلزی به لایه براق فلزی فراهم شود. بااین‌حال، از اواخر قرن نوزدهم میلادی، تجربیات عملی نشان داد که **ایجاد محیط احیایی یکنواخت از ابتدای پخت تا رسیدن به دمای اوج ضرورتی ندارد. در** کوره‌های چوب سوز سنتی، به دلیل ماهیت سوخت، تغییر مداوم میان دو حالت احیایی و اکسیداسیون امری طبیعی بوده است. این نوسانات متناوب باعث جابه‌جایی و توزیع بهتر اتم‌های مس و نقره بر سطح لعاب شده و در نهایت، به تشکیل لایه‌ای باثبات‌تر و

درخشان‌تر منجر می‌شده است (متین، ۱۳۸۷: ۵). در اجرای احیا، پس از نخستین مرحله دود دهی و بسته به ظرفیت و منافذ کوره، گازهای منوکسیدکربن و دی‌اکسید کربن به‌تدریج از محفظه خارج‌شده و اکسیژن جایگزین آن‌ها می‌شود. بنابراین در **کوره‌های مدرن الکتریکی یا گازی** لازم است برای حفظ شرایط احیا، دود دهی در چند نوبت تکرار شود؛ معمولاً **سه تا چهار مرتبه** با فاصله‌های نیم‌ساعته مرحله احیا صورت می‌گیرد. این فرآیند معمولاً با واردکردن چوب خشک یا مواد آلی به درون کوره انجام می‌شود. در *عرایس‌الجواهر* به نوع چوب مصرفی هنگام احیا اشاره‌ای نشده، اما ابوالقاسم کاشانی در بخش مربوط به پخت لعاب می‌نویسد: «به کاشان هیزم نرم سوزانند و به دارالسلام و تبریز و دیگر بلاد، چوب بید پوست‌کنده تا دود نکند» (کاشانی، ۱۳۸۶: ۳۴۱). این اشاره نشان می‌دهد که انتخاب چوب با میزان دود مناسب، بخشی از مهارت فنی سفالگران بوده است.

نکته مهم دیگر، **کنترل شدت دود دهی** است؛ موضوعی که کاشانی از آن با تعبیر «دودی نرم» یاد می‌کند. آزمایش‌های معاصر نیز نشان داده‌اند که **دود دهی بیش‌ازحد موجب سیاهی و دوده زدگی سطح اثر می‌شود**، درحالی‌که **دود دهی کم، از تشکیل کامل لایه فلزی جلوگیری می‌کند**. بنابراین، یافتن تعادل میان دما، زمان و شدت دود دهی نیازمند تکرار آزمایش و تجربه عملی است.

به‌طورکلی، تنظیم صحیح اتمسفر کوره ــ نه به‌صورت احیای شدید با دود سیاه، بلکه با کنترل نرم و متعادل جریان دود ــ مهم‌ترین عامل در **پایداری و درخشش لایه زرین‌فام** به شمار می‌رود. همان‌گونه که رادز (۱۳۸۲: ۲۶۰) تأکید می‌کند، با چند نوبت آزمایش و تجربه در هر کوره جدید، می‌توان به میزان احیای مطلوب دست‌یافت و نتایج موفق را با دقت و تکرارپذیری بازتولید کرد.

بر اساس یافته‌های پژوهش و مطالب *عرایس‌الجواهر*، **میزان دود دهی و دمای احیا** از مهم‌ترین عوامل در شکل‌گیری لایه مینای زرین‌فام هستند. تغییر در هر یک از این دو عامل می‌تواند موجب تیره شدن لعاب یا عدم تشکیل لایه فلزی شود. در این تحقیق، برای بازسازی شرایط احیای سنتی، از **کوره‌ای فلزی با دیواره‌های عایق پتونسوز و توان**

حرارتی ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد (عکس شماره ۳). این کوره امکان کنترل دقیق دما و تنظیم میزان ورود هوا و دود را فراهم می‌کرد تا شرایط احیای ملایم و مشابه توصیفات تاریخی شبیه‌سازی شود. در این مرحله، **نمونه‌ها در بازه دمایی میان ۵۵۰ تا ۶۲۰ درجه سانتی‌گراد** تحت فرآیند احیا قرار گرفتند. این بازه دمایی بر اساس نرم شوندگی لعاب پایه و نتایج آزمایش‌های پیشین انتخاب شد تا امکان تبادل یون‌های مس و نقره در لعاب فراهم گردد. همچنین مطابق طراحی پیکولپاسو (عکس شماره ۲)، از **کوره‌های آجری** نیز می‌توان بهره گرفت که به دلیل حفظ حرارت و پایداری بیشتر، در تشکیل رنگ‌های طلایی و قرمز نتایج بهتری دارند.

تنظیم دقیق دما، دما دهی و میزان دود دهی نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت فرآیند دارد؛ زیرا دود زیاد موجب تیرگی سطح و دود کم باعث ناقص ماندن واکنش احیا می‌شود. بنابراین، همان‌گونه که منابع تاریخی و نتایج آزمایشگاهی تأیید می‌کنند، دستیابی به لایه زرین‌فام درخشان و پایدار تنها از طریق **تکرار، تجربه و کنترل دقیق شرایط حرارتی و احیایی** ممکن است.

عکس ۳- کوره چوب سوز و گازسوز آجری و فلزی، مناسب برای پخت احیای و دود دهی جهت تشکیل لایه مینای زرین‌فام (نگارندگان)

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل فناوری ساخت زرین‌فام و شناسایی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری لایه درخشان آن، با تکیه‌بر منابع مکتوب تاریخی همچون *عرایس‌الجواهر و جواهرنامه نظامی* و همچنین شواهد تجربی حاصل از آزمایش‌های کارگاهی انجام گرفت. در پاسخ به **سؤال اول پژوهش**، مبنی بر اینکه *فاکتورهای متغیر در شکل‌گیری لایه زرین‌فام موفق کدام‌اند*، نتایج حاصل از تحلیل متون تاریخی و آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهد که پدید آمدن لایه‌ای پایدار و درخشان از زرین‌فام، حاصل برهم‌کنش دقیق و کنترل‌شده چند عامل اصلی است. این عوامل عبارت‌اند از؛ **لعاب پایه مناسب، ترکیب دقیق مینای زرین‌فام (لیقه دوآتشه)** و **پخت احیایی کنترل‌شده**.

در میان این عوامل، **لعاب پایه** نقش بنیادی دارد. لعابی که در برابر شرایط احیا و دود دهی مقاوم باشد و در دمای پایین (حدود ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد) به نرم شوندگی برسد، بستر مناسبی برای تشکیل لایه زرین‌فام ایجاد می‌کند. بر اساس شواهد تاریخی، ازجمله *عرایس‌الجواهر* ابوالقاسم کاشانی، لعاب‌های **قلیایی** متشکل از *شکر سنگ (سیلیس) و شخار یا قلیا (اشنان)*، به دلیل پایداری در برابر احیا و امکان تبادل یونی بهتر، بهترین عملکرد را داشته‌اند. افزودن **سرب و قلع** نیز به‌عنوان مواد اپک‌کننده، ضمن تقویت جلای فلزی، موجب شکست نور و درنتیجه افزایش درخشندگی سطح زرین‌فام می‌شود.

ترکیب مینای زرین‌فام (لیقه دوآتشه) دومین فاکتور کلیدی است. بر اساس بررسی دو منبع تاریخی اصلی (*عرایس‌الجواهر و جواهرنامه نظامی*)، مواد پایه مینا شامل *مس، نقره و آهن* و ترکیبات آنها مانند؛ اکسید، استات، سولفات، سولفید، است. نانوذرات نقره مسئول ایجاد رنگ‌های طلایی و نانوذرات مس عامل رنگ‌های قرمز با جلای فلزی‌اند. در این میان، **اکسید آهن (اخرا)** نقش واسطه‌ای مهمی در فرآیند احیا دارد و با جذب اکسیژن، از اکسید شدن مجدد فلزات جلوگیری می‌کند. همچنین استفاده از **سرکه**، که در

متون تاریخی به آن اشاره‌شده، موجب تبدیل برخی نمک‌ها به استات‌های محلول و درنتیجه یکنواختی بیشتر در توزیع فلزات می‌شود. این ماده ضمن کمک به تثبیت نقش، خشک شدن سریع‌تر و تسهیل فرآیند احیا را نیز فراهم می‌کند.

سومین و شاید حساس‌ترین عامل، **شرایط احیا** است که سه متغیر کلیدی را شامل می‌شود؛ ۱. **دمای احیا**؛ که باید متناسب با نقطه نرم شوندگی لعاب پایه باشد (حدود ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد). ۲. **مدت احیا**؛ که بسته به نوع و حجم کوره، از حدود یک تا یک‌ونیم ساعت متغیر است. ۳. **شدت و دفعات دود دهی**؛ که باید به‌دقت کنترل شود؛ چراکه احیای بیش‌ازحد موجب تیرگی سطح و احیای ناکافی موجب بی‌جلا ماندن لایه فلزی می‌شود. درمجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که **ایجاد یک‌لایه زرین‌فام موفق، نیازمند توازن میان سه فاکتور اصلی (لعاب مناسب، ترکیب دقیق مینا و شرایط احیا کنترل شده)** است. دستیابی به این توازن مستلزم تکرار آزمایش، تجربه عملی و درک عمیق از رفتار شیمیایی مواد در فرآیند احیایی است؛ همان‌گونه که در سنت‌های سفالگری ایران و در آثار مکتوب هنرمندان قدیم به آن اشاره‌شده است.

در پاسخ به **سؤال دوم پژوهش**، مبنی بر اینکه *با توجه به منابع تاریخی و روش‌های آزمایشگاهی چگونه می‌توان مینای زرین‌فام را ساخت*، نتایج حاصل از تحلیل متون تاریخی و آزمایش‌های تجربی این پژوهش نشان می‌دهد که بازسازی مینای زرین‌فام ایرانی، فرایندی چندمرحله‌ای و وابسته به هماهنگی میان بدنه، لعاب، مینا و شرایط احیاست. بررسی منابع تاریخی به‌ویژه دو کتاب **عرایس‌الجواهر** اثر ابوالقاسم کاشانی و **جواهرنامه نظامی**، همراه با آزمایش‌های عملی انجام‌شده در این تحقیق، نشان داد که ساخت لایه زرین‌فام در اصل بر پایه همان اصولی انجام می‌شود که هنرمندان سفالگر ایرانی در قرون میانه به کار می‌بردند؛ با این تفاوت که امروزه این فرآیند با بهره‌گیری از مواد شیمیایی کارخانه‌ای و کنترل دقیق‌تر حرارت و اتمسفر کوره بازآفرینی می‌شود.

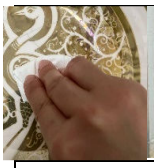
بر اساس نتایج تجربی و تطبیق با متون تاریخی، **مراحل اصلی ساخت مینای زرین‌فام** بدین شرح است؛ ۱. **ساخت بدنه سرامیکی سفید**، بدنه از ترکیب ۸۵٪ کائولن، ۵٪ بنتونیت و ۱۰٪ فریت ساخته‌شده و به روش چرخ‌کاری فرم می‌گیرد. این ترکیب ضمن ایجاد استحکام، انقباض حرارتی مناسبی با لعاب پایه دارد و از ترک خوردن لعاب جلوگیری می‌کند. ۲. **اعمال لعاب پایه**، لعاب قلیایی شفاف با ترکیب پیشنهادی شامل ۶۰٪ فریت (MT60)، ۱۵٪ سیلیس، ۷٪ بوراکس، ۵٪ اکسید قلع، ۷٪ کربنات سدیم، ۳٪ سرنج و ۳٪ آلومینا تهیه می‌شود. این لعاب ضمن مقاومت در برابر احیا، قابلیت نرم شوندگی در دمای پایین و امکان نفوذ یون‌های فلزی را فراهم می‌کند. ۳. **پخت لعاب در کوره**، بدنه لعاب خورده در کوره برقی تا دمای ۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد پخت می‌شود. این مرحله سبب تثبیت لعاب بر روی بدنه و زمینه‌ساز نفوذ مناسب مینا در لایه بعدی است.۴. **نقاشی با لیقه زرین‌فام**، ترکیب مینا یا لیقه بر اساس منابع تاریخی بازسازی شد و از سه جزء اصلی تشکیل گردید، سولفات مس، ۱۰٪ نیترات نقره و ۸۰٪ اکسید آهن (اخرا). این مواد به کمک سرکه به شکل خمیر یکنواختی درآمده و با قلم‌مو روی سطح لعاب خورده اجرا می‌شوند. اکسید آهن در این ترکیب نقش احیاکننده داخلی دارد و از اکسید شدن مجدد مس و نقره در مراحل بعدی جلوگیری می‌کند. ۵. **پخت احیایی (دما دهی و دود دهی)**، مرحله احیاء در دمای **۵۵۰ تا ۶۲۰ درجه سانتی‌گراد** و در محیطی با دود نرم و پیوسته انجام شد.

در این مرحله، اکسیدهای مس و نقره با از دست دادن اکسیژن خود به فلز خالص تبدیل می‌شوند و درون سطح لعاب پخش‌شده، لایه‌ای نازک از نانوذرات فلزی تشکیل می‌دهند که بازتاب نور، ظاهر زرین‌فام را ایجاد می‌کند. شدت زیاد احیا موجب سیاهی سطح و احیای کم باعث بی‌جلا ماندن کار می‌شود، بنابراین کنترل دقیق زمان، دما و شدت دود دهی ضروری است. ۶. **پاک کردن لایه واسطه**، پس از سرد شدن کوره، سطح ظرف

با پارچه زبر یا خاک نمک ساییده می‌شود تا لایه گلی واسطه پاک شود و درخشش فلزی لایه زرین‌فام آشکار گردد.

نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که این ترکیب و شرایط حرارتی، بهترین کیفیت ازنظر رنگ، جلای فلزی و چسبندگی لایه به لعاب را ایجاد می‌کند. جدول شماره ۷، مراحل ساخت به همراه عکس را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مراحل ساخت بدنه، لعاب پایه، ایجاد مینای زرین‌فام (نگارندگان)

					
۱- ساخت بدنه با گل‌سفید به روش چرخکاری	۲- اعمال لعاب پایه بر روی بدنه	۳- پخت لعاب در کوره برقی	۴- نقاشی مینای زرین‌فام بر روی بدنه لعاب خورده	۵- دما دهی و احیا زرین‌فام در دمای ۵۵۰ الی ۶۲۰ درجه	۶- پاک کردن واسطه گلی و نمایان شدن سطح طلایی بر روی ظرف

به‌طورکلی، پژوهش حاضر با **تلفیق داده‌های تاریخی و روش‌های علمی نوین** توانست الگویی بازسازی‌شده و قابل تکرار از فرایند تولید زرین‌فام ایرانی ارائه دهد. این مدل نشان می‌دهد که درک کامل از رابطه میان بدنه، لعاب، ترکیب مینا و شرایط احیاء، کلید بازآفرینی موفق فناوری تاریخی زرین‌فام است؛ فناوری‌ای که از تلفیق دانش شیمی، هنر و تجربه استادکاران ایرانی شکل‌گرفته و امروز نیز می‌تواند با روش علمی احیا شود.

مشارکت نویسندگان: این مقاله حاصل تلاش نویسندگان که بامطالعه منابع تاریخی و بررسی‌های آزمایشگاهی در محیط آزمایشگاه صورت گرفته است.

تضاد منافع و حمایت مالی:

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه حمایت مالی و تضاد منافعی مرتبط با تحقیق حاضر ندارند.

سپاسگزاری:

مقاله فوق در دانشگاه هنر اسلامی تبریز با حمایت‌های مادی و معنوی این موسسه انجام‌شده است و شایسته است از این موسسه برای تمامی حمایت‌های مادی و معنوی صمیمانه سپاسگزاری شود.

ORCID

Mohamad Mirshafiei https://orcid.org/0009-0000-9676-4395

Atefe Fazel http://orcid.org/0009-0005-7325-5420

منابع

- اکبری، عباس. (۱۳۹۳)، *درس‌هایی از محمد بن ابی البرکات جوهری نیشابوری*، تهران: انتشارات مؤلف.
-اژدری، بهزاد. (۱۳۸۸)، «مبانی فیزیک و شیمیایی زرین‌فام»، *فصلنامه الماس*، سال دهم، شماره ۳۱: ۲۶-۳۱.
- بصیری، رضا. (۱۳۶۳)، *لعاب، کاشی، سفال*، تهران: گوتنبرگ، چاپ اول.
- جوهری نیشابوری، محمد بن ابی البرکات. (۱۳۸۳)، *جواهر نامه نظامی*، به کوشش ایرج افشار، تهران: میراث مکتوب، چاپ اول.
-رادز، دانیل. (۱۳۸۲)، *کوره‌های پخت سرامیک*، شعبانعلی تشکری، تهران: انتشارات فنی حسینیان، چاپ دوم.
- عابد اصفهانی، عباس و هلاکوئی، پرویز. (۱۳۸۵)، «بررسی عملی تکنیک ایجاد تزئینات زرین‌فام بر روی لعاب‌های دوران اسلامی»، *مطالعات هنر اسلامی*، سال سوم، شماره ۵: ۱۵۵-۱۶۹. Doi:10.22034/IAS.2007.125676
- قصایی، حسین. (۱۳۸۶)، ساخت و بررسی تأثیر دما و اتمسفر بر لعاب زرین‌فام با هدف یافتن دمای بهینه و شرایط احیای مناسب، *ششمین کنگره سرامیک ایران*.ICC06_090
- کاشانی، ابوالقاسم عبدالله. (۱۳۸۶)، *عرایس الجواهر و نفایس الاطایب*، به کوشش ایرج افشار، تهران: انتشارات المعی، چاپ اول.
- متین، مهران (۱۳۸۷). «قدیمی‌ترین سند مکتوب فناوری نانو، کتاب «عرایس الجواهر و نفایس الاطایب» نیست»، *همایش فناوری‌های بومی ایران*، تهران، دانشگاه صنعتی شریف. https://civilica.com/doc/54159
- میرشفیعی، سید محمد. (۱۳۹۰)، بررسی و احیاء لعاب زرین‌فام خاندان ابوطاهر کاشانی، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، رشته هنر اسلامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
-میرشفیعی، سید محمد و محمدزاده، مهدی. (۱۳۹۴)، «ساخت لعاب زرین‌فام ایرانی بر اساس کتاب جواهرنامه نظامی»، *نشریه هنرهای زیبا*، سال بیستم، شماره ۱: ۵۹-۶۶. Doi:10.22059/JFAVA.2015.55445.

- میرشفیعی، سید محمد و محمدزاده، مهدی. (۱۳۹۴)، «فن شناسی و ساخت مینای زرین‌فام شیشه، بر اساس فرمول‌های کتاب جواهر نامه نظامی»، *نشریه باستان‌سنجی*، سال اول، شماره ۲: ۲۷-۳۸. Doi: 10.29252/jra.1.2.27

- نیستانی، جواد و روح فر، زهره. (۱۳۸۹)، *ساخت لعاب زرین‌فام در ایران*، تهران: آرمان‌شهر، چاپ اول.

- واتسون، آلیور. (۱۳۸۲)، *سفال زرین‌فام ایرانی*، شکوه ذاکری، تهران: سروش، چاپ اول.

- Caiger-Smith, Alan. (1985). ***Lustre pottery***, London:The Herbert Press.

استناد به این مقاله: میرشفیعی، سیدمحمد و فاضل، عاطفه. (۱۴۰۴). تحلیل فناوری ساخت و عوامل مؤثر بر شکل‌گیری لایه زرین‌فام سرامیک در منابع مکتوب تاریخی. *دو فصلنامه دانش‌های بومی ایران*، ۱۲(۲۴)، ۱۲۹-۱۶۶.

Indigenous Knowledge Iran Semiannual Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.