



مطالعه ساخت لعاب زرین فام بر اساس اولین فرمول کتاب «جواهرنامه نظامی»

سید محمد میرشافیعی^{۱*}، مسعود باقرزاده کثیری^۲

۱- مربی، دانشکده هنرهای اسلامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۴۵۶۷-۵۱۳۸۵

۲- استادیار، مرکز تحقیقات مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۴۵۶۷-۵۱۳۸۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۴ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۵/۳/۲۰

چکیده

زرین فام، تشکیل لایه بسیار نازکی از نانو ذرات مس و نقره با جلای فلزی در طیف‌های رنگی گوناگون است که بر روی لعاب در سومین مرحله پخت در شرایط احیاء کوره ایجاد می‌گردد. در پژوهش حاضر با رویکردی تجربی، صحت فرمول‌های ارائه شده در کتاب «جواهرنامه نظامی» تألیف محمد بن ابی البرکات نیشابوری بررسی و اولین فرمول ارائه شده در کتاب فوق، به عنوان نمونه انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفته است. به طوری که مینای مذکور به صورت عملی بر روی سفال لعاب‌دار ایجاد گردیده و در ادامه ضخامت لعاب پایه و مینای زرین فام تشکیل یافته، ساختار شیمیایی این لایه‌ها و نحوه پخش عناصر عمده تشکیل دهنده آنها توسط مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که فرمول ارائه شده می‌تواند ما را به ساخت لعاب زرین فام برساند.

واژه‌های کلیدی: لعاب زرین فام، جواهرنامه نظامی، ترکیبات لعاب، میکروسکوپ الکترونی روبشی، پخت احیا.

The Study of Luster Glaze Synthesis on the Basis of the First Formula in Book "Javaher Name-ye-Nezami"

M. Mirshafiei*, M. Bagherzadeh Kasiri

Tabriz Islamic Art University, P. O. Box: 51385-4567, Tabriz, Iran

Received: 21-07-2015

Accepted: 04-01-2016

Available online: 09-09-2016

Abstract

Luster glaze is a very thin layer of silver and copper nanoparticles with a metallic luster in different color range formed on the surface of the glaze during the third stage of heating in reduction condition. Javaher name-ye-Nezami by Mohammad- ibn Abi-al-Barakat Juhari-Nishaboori is the earliest historical documents on Luster glaze which has various formulas for making this glaze. However, the key question is, whether one can still produce luster glaze based on these formulas. In the present study, by using an experimental approach, we verify the accuracy of one the formulas presented in this book. The first formula in the book Javaher Name-ye-Nezami was chosen while the research method was evaluative and it has been done through observations and experiments. The results show that the formula presented in Javaher-Name-ye-Nezami are quite capable of preparing Luster glaze. J. Color Sci. Tech. 10(2016), 71-78©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Luster glaze, Javaher Name-ye- Nezami, Glaze compounds, SEM, Reduction firing.

۱- مقدمه

لعاب زرین فام از جمله موضوعاتی است که به لحاظ تاریخی و فنی، همواره مورد توجه خاص پژوهشگران و هنرمندان سفالگر قرار گرفته است. فنون و شیوه ساخت لعاب زرین فام در طول تاریخ در اختیار افراد معدودی بوده که معمولاً از نسلی به نسل دیگر و نزد افراد خانواده انتقال می‌یافته است. پیچیدگی‌های ساخت لعاب زرین فام نیز موجب شده تا این روش به امری دست نیافتنی تبدیل گردد [۱]. نظرات محققین و پژوهشگرانی که به روش ساخت لعاب زرین فام پرداخته‌اند، تاکنون معطوف به دو کتاب تاریخی معروف در این زمینه یعنی «عرایس الجواهر و نفایس الاطایب»^۱ و «سه کتاب درباره هنر سفالگران»^۲ بوده، در حالی که قدیمی‌ترین و مفصل‌ترین منبع تاریخی در مورد میناهای زرین فام یعنی کتاب «جواهرنامه نظامی»

۱- کتاب «عرایس الجواهر و نفایس الاطایب»، درباره جواهرات، کانی‌ها، فلزات و عطرها می‌باشد. مولف آن ابوالقاسم عبدالله کاشانیدر سال ۷۰۰ هجق آن را نگاشته است. وی در بخش آخر کتاب خود، به معرفی صنعت کاشی‌گری و بیان اسرار و رموز لعاب زرین فام پرداخته، که خود آن را «غضاره» نام نهاده است. ابوالقاسم بخش غضاره را به سه بخش تقسیم کرده که عبارتند از: ۱- مقدمه در معرفت ادوات و آلات و اسباب و مایحتاج آن که به منابت ماده بود: وی در این بخش به معرفی ۱۲ ماده مهم معدنی پرداخته است و هر یک را مجزا معرفی نموده و خواص آنها را در صنعت سرامیک و کاشی ذکر کرده است و در برخی از مواد معادن موجود آن را نیز نام برده است. همچنین در توضیح ماده هشتم، نام هشت ماده را که به نظر در ساخت زرین فام موثر است، بدون توضیح آورده است. ۲- بر معرفت تحلیل آن آلات (تحلیل مواد): در این بخش طرز تهیه جوهر شیشه یا همان قلیاب و طرز تهیه و ساخت سرنج و سفیدآب آورده شده است. ۳- بر معرفت ترکیب آن آلات (ترکیب مواد): ابوالقاسم عبدالله کاشانی در بخش سوم به چگونگی و ترکیب مواد جهت ساخت بدنه سرامیکی و لعاب آن و چگونگی پخت کوره اشاره دارد و همچنین به فرمول مینای زرین فام که وی آن را لایقه دوآتشه می‌خواند پرداخته است.

۲- مولف کتاب «سه کتاب درباره هنر سفالگران» چپیریانو پیکولپاسو است که در سه جلد و در یک مجلد، با عنوان ایتالیایی "Li Tre Libridell'Arte del Vasaio" در سال ۹۶۶ هجق / ۱۵۵۸ م نگاشته است. پیکولپاسو دو فرمول برای میناهای زرین فام ارائه نموده است. اگر تعداد مواد اولیه معرفی شده در کتاب «سه کتاب درباره هنر سفالگران»، در مقایسه با «عرایس الجواهر و نفایس الاطایب»، کمتر است ولی شرح پیکولپاسو از فرآیند پخت بسیار دقیق‌تر و مفصل‌تر می‌باشد. وی ضمن تشریح ساختمان کوره، چندین تصویر از کوره‌های پخت زرین فام را نیز، به متن خود افزوده است. ابعاد کوره‌های ایتالیایی در مقایسه با کوره‌های ایرانی کوچک‌تر بوده، زیرا زمان پخت در آنها تنها ۴ ساعت طول می‌کشیده است. پیکولپاسو در مورد سوخت کوره‌ها نکات جالبی آورده و اشاره کرده است که زمان پخت میناها در شرایط احیاء، حدود یک ساعت به طول می‌انجامد و در خلال این مدت، باید از کوره نمونه‌برداری شود تا از پخت صحیح، اطمینان حاصل گردد [۲].

مورد توجه آنان قرار نگرفته است.

کتاب «جواهرنامه نظامی» تالیف محمد ابن ابی البرکات نیشابوری در سال ۵۹۲ هجری قمری می‌باشد که به نظر می‌رسد نه تنها قدیمی‌ترین اثر، بلکه بی‌تردید مفصل‌ترین اثر مکتوب در زمینه فناوری پیچیده میناهای زرین فام (تا پیش از قرن ۱۹ م) باشد. متن «جواهرنامه» پس از «الجماهر فی الجواهر» تألیف ابوریحان بیرونی (متوفی ۴۴۰) که به زبان عربی است، نخستین کتاب فارسی در مباحث مربوط به جواهر و فلزات و ممزوجات (آلیاژ) و تلاویحات (مینا) و آنچه رنگ آنها به آتش گردانیده می‌شود) است. اهمیت عمده جواهرنامه نظامی از این بابت است که مؤلف و پدرش و پسرش پیشه «جوهری» داشته‌اند، یعنی زرگر و حکاک بوده‌اند [۳]. نسبت نظامی به دنبال اسم کتاب منسوب است به نام وزیری که کتاب به آن شخص اهدا شده است. دو کتاب فارسی مرتبط به علم جواهرشناسی که پس از «جواهرنامه نظامی» تألیف شده‌اند، برگرفته از تألیف نیشابوری می‌باشند هر چند که مؤلفانشان اشاره‌ای نسبت به مأخذ اصلی و یا اشاراتی بدان نکرده است. یکی کتاب «تنسوخ نامه ایلخانی»، نوشته خواجه نصیرالدین طوسی و دیگری «عرایس الجواهر و نفایس الاطایب» از مورخ معروف ابوالقاسم کاشانی در سال ۷۰۰ هجق. بی‌تردید مأخذ عمده نیشابوری کتاب الجماهر بیرونی است. هفده بار به تصریح نام آن در این متن دیده می‌شود و از ابوریحان اغلب با ذکر «استاد» یاد کرده است. امروزه نسخه‌های متعددی از این کتاب شناسایی شده که ۵ نسخه متفاوت را استاد ایرج افشار در نسخه چاپی کتاب جواهرنامه معرفی کرده است. ایرج افشار ضمن مطالعه تطبیقی این ۵ نسخه اظهار می‌دارد که: «در هر پنج نسخه افتادگی‌ها زیاد است اما از مقابله میان آنها امکان آن حاصل شد که متن به صورت کنونی تقریباً کامل شود. ولی هنوز متن دارای پایان ناقص و ابتر است. زیرا هیچ یک از نسخه‌ها بخش خاتمه را ندارد» [۳].

در نسخه چاپی (جوهری نیشابوری، ۱۳۸۳)، مجموع متن اصلی کتاب، ۳۱۹ صفحه می‌باشد. کتاب دارای چهار بخش تحت عناوین مرکبات و معدنیات، جواهر و احجار، فلزات، و مینا و تلاویحات می‌باشد. بخش چهارم به مینا و تلاویحات اختصاص داده شده است. در این کتاب واژه‌های مینا و تلاویحات بر سه نوع از ترکیبات و محصولات مختلف دلالت دارد؛ در مفهوم اول منظور از مینا، انواع جواهرات و سنگ‌های مصنوعی می‌باشد. جوهری نیشابوری در مورد ماهیت این گونه میناها، فرمول‌های تشکیل‌دهنده و نحوه پخت آنها مطالب بسیار جالبی را در صفحات ۳۴۳ الی ۳۵۲ بیان می‌نماید که بررسی این مطالب پژوهش‌های گسترده‌ای را می‌طلبد. در مفهوم دوم مولف به تلاویحی اشاره می‌کند که جهت نوشتن و ترسیم نقوش روی فلزات به کار می‌روند. در مفهوم سوم، وی از اصطلاح تلاویحات به منظور اشاره به میناهای زرین، استفاده می‌نماید. بحث مربوط به

می‌کند. لذا انتخاب نوع لعاب و نحوه ساخت آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. آنچه که در ساخت لعاب زرین فام موثر است لعابی است که در دمای بین ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد نرم شود [۵]. لعاب‌های سربی در مقابل احیا معمولاً دود زده و تیره می‌شوند. اما لعاب‌های قلیایی مقاومت بهتری از خود نشان می‌دهند: «اگر لعاب بیش از اندازه دارای سرب باشد شرایط احیایی باعث تیره و خاکستری شدن آن می‌شود. در اغلب شاهکارهای قدیمی ایران که دارای رنگ‌های متنوع می‌باشند مینا به عنوان آخرین تزئین بر روی لعاب‌های قلیایی به کار رفته است.» [۶].

همچنین با نگاهی به کتاب ابوالقاسم کاشانی تحت عنوان عرایس الجواهر و نفایس الاطائف متوجه می‌شویم که پایه لعاب زرین فام قلیایی است چرا که ترکیب شکر سنگ (سیلیس) با شخار (خاکستر گیاه اشنان که سرشار از مواد قلیایی است)، پس از فریت شدن، پایه لعاب را تشکیل می‌دهد [۷]. در واقع شخار یا اشنان تامین کننده مواد قلیایی لعاب می‌باشد. جهت انجام آزمایش‌ها، یک لعاب قلیایی مناسب به عنوان لعاب پایه در نظر گرفته شد که جهت نیمه مات کردن آن از اکسید قلع نیز به میزان ده درصد استفاده شده است. چرا که قلع در ایجاد بستر مناسب‌تر و نیز جلای بهتر لایه زرین فام تاثیر مثبت دارد [۸]. اکسید قلع می‌تواند در یک واکنش اکسایش و احیا با اکسیدهای فلزی شرکت کند و نقش یک احیا کننده داخلی را برای نفوذ اکسیدهای فلزی به داخل شبکه لعاب بازی کند [۹]. در ساخت لعاب از یک نوع فریت قلیایی استفاده شد تا بخشی از مواد قلیایی و سیلیس آنها به صورت فریت تامین شود تا کیفیت خوب و مناسبی در لعاب قلیایی بوجود آید. فرمول لعاب مورد نظر در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱: ترکیب لعاب قلیایی بوری مورد استفاده در این پژوهش.

مواد شبکه‌ساز (مول)	مواد واسطه (مول)	مواد کمک ذوب (مول)
(۲,۴) SiO ₂	(۰,۱) Al ₂ O ₃	(۰,۷۸) Na ₂ O
(۰,۶) B ₂ O ₃		(۰,۱۶) CaO
		(۰,۰۶) MgO

ساختار لعاب پایه پس از پخت در کوره، توسط میکروسکوپ الکترونیروشی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفت. تصویر شماره ۱ که از مقطع سرامیک لعاب‌دار گرفته شده است نشان می‌دهد که لعاب بخوبی در سفال پایه نفوذ کرده و همبستگی لازم را با بدنه ایجاد نموده است. همچنین، براساس این تصویر، ضخامت لایه لعاب تشکیل شده در حدود $270 \mu\text{m}$ اندازه‌گیری شد.

با استفاده از بخش آنالیز عنصری دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDX)، ترکیب شیمیایی لعاب تشکیل شده بر روی

میناهای زرین فام با عنوان "صفت انواع رنگ‌ها که بر قواریر و انواع اوانی قاشی، اصفهانی، شامی، چینی و غیر آن به کار دارند" آغاز می‌گردد و پس از آن، ۲۶ فرمول مختلف زرین فام ارائه می‌گردد. از جزئیات متن چنین بر می‌آید که بعضی از این فرمول‌ها را می‌توانسته‌اند هم به روی سطوح سرامیک‌ها - اوانی کاشی - و هم به روی محصولات شیشه‌ای - آبگینه به کار برند [۴]. تعداد مواد به کار رفته در ترکیبات «جواهرنامه» در حدود ۴۵ نوع می‌باشد. همین امر موجب شده است تا «جواهرنامه نظامی» نه تنها قدیمی‌ترین بلکه مفصل‌ترین اثر تاریخی در زمینه لعاب زرین فام باشد. در پژوهش حاضر ضمن معرفی کتاب مذکور، تعدادی از فرمول‌های ۲۶گانه ارائه شده در کتاب مورد بررسی قرار گرفته و یکی از آنها به صورت عملی بر روی سفال لعاب‌دار ایجاد گشته و در ادامه ضخامت لعاب پایه و مینای زرین فام تشکیل یافته، ساختار شیمیایی این لایه‌ها و نحوه عناصر عمده تشکیل دهنده آنها توسط مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی حاصل مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

در این پژوهش ابتدا تلاش شد تا معادل امروزی مواد مذکور در اولین فرمول کتاب شناسایی شوند. سپس برای ساخت لعاب پایه و مینای زرین فام از مواد شیمیایی آزمایشگاهی و تجاری به قرار زیر استفاده شد. سولفید نقره از نوع آزمایشگاهی (مرک آلمان) مورد استفاده قرار گرفته و سایر مواد از جمله اکسید منگنز، گوگرد و سولفات مس از منابع تجاری تهیه شدند. لعاب پایه جهت اعمال مینای زرین فام از نوع قلیایی بوری است که جهت ساخت آن از فریت قلیایی نیز بهره گرفته شده است. همچنین از اکسید قلع، جهت نیمه‌مات شدن لعاب استفاده شد.

برای مطالعه ساختار شیمیایی و فیزیکی لعاب پایه و مینای زرین فام نیز از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM-EDX مدل TESCAN (جمهوری چک) استفاده شد.

۲-۱-۱- لعاب پایه

مینای زرین فام دارای متغیرهای مختلفی از قبیل لعاب پایه، ترکیبات مینای زرین فام و چگونگی فرآیند احیاء است. فرآیند احیاء نیز شامل متغیرهای دما، مدت و شدت احیاء می‌باشد. متغیرهای فوق هر کدام به تنهایی تاثیر بسزایی در چگونگی تشکیل لایه زرین فام داشته و هر یک در جایگاه خود دارای اهمیت خاص می‌باشند. در واقع ساخت یک لعاب زرین فام ایده‌آل در گرو شناخت دقیق و به‌کارگیری صحیح عوامل فوق می‌باشد.

لعاب پایه نقش بسیار اساسی را در تشکیل لایه زرین فام ایفا

رنگ سرخ به غایت سرخ

"بگیرند مغنیسیاینج درم^۱، زاج سبز دو درم و نیم، گوگرد سفید دو درم و نیم، فضّه محرقّ که آن را به گوگرد زرد سوخته باشند دو درم و نیم. این جمله را بکوبند و ببیزند و به سرکه کهن مصلوب کنند و به روی آبگینه و اوانی کاشی و غیر آن هر نقش که خواهند کنند و رها کنند تا خشک شود. پس آن را در دوددان نهند چنانکه پیش از این مذکور است و همان مقدار آتش که یاد کرده شدست بیش نکنند، و چون آتش تمام کرده شود رها کنند تا سرد شود. پس برون کنند و آن را پاکیزه بشویند. لونی به غایت سرخ پدیدار آمده بود"^[۲].

اسامی مواد اولیه ذکر شده در فرمول پیشنهادی نیشابوری نام‌هایی است که در گذشته کاربرد داشته و امروزه این اسامی ناآشنا هستند. لذا ضروری است تا جهت شناخت دقیق این مواد و ترکیبات ارائه شده، معادل امروزی اسامی مواد اولیه و ترکیبات شیمیایی آنها در دسترس باشد. جدول شماره ۳ تمامی مواد اولیه و اصطلاحات به کار رفته با آوانویسی و مشخصات کانی و فرمول شیمیایی آنها را نشان می‌دهد.

مواد مذکور در ترکیب منتخب در کتاب جواهر نامه به صورت معادل امروزی که در جدول شماره ۳ آمده‌اند برای انجام آزمایش انتخاب شدند که مقدار آنها در ساخت مخلوط مینای زرین‌فام در جدول ۴ آمده است.

۱- درم: واحد اندازه‌گیری که برابر یک دهم وزن سکه درهم است [۱۰].

بدنه سرامیک نیز تعیین شد که نتایج بدست آمده بر اساس درصد وزنی عناصر در جدول ۲ آمده است.

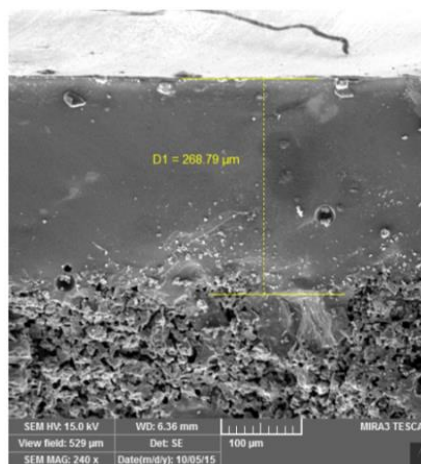
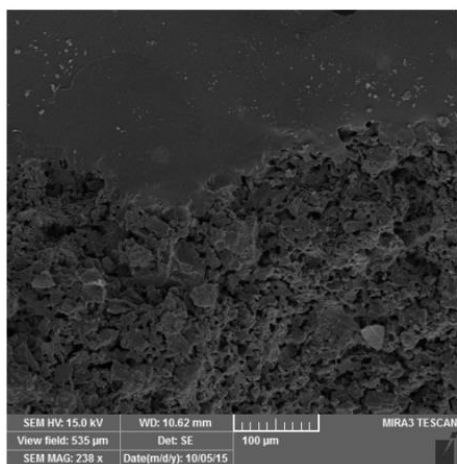
جدول ۲: میزان عناصر شیمیایی موجود در لعاب پایه تشکیل شده روی بدنه سرامیک.

عنصر	C	O	Sn	Si	Al	Mg	Ca	Na
مقدار (w%)	۱۸,۴	۶۰	۰,۷	۱۱,۳	۱,۱	۱,۶	۰,۱	۵,۳

نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که عناصر سیلیس و اکسیژن به عنوان عناصر تشکیل دهنده ترکیب اصلی شبکه‌ساز (B_2O_3)، بیشترین مقدار را در بین عناصر تشکیل دهنده لعاب دارا هستند.

۲-۱-۲- مینای زرین فام

چنانچه قبلاً نیز اشاره شد فرمول‌های ارائه شده در «جواهرنامه» برای ساخت لعاب زرین فام ۲۶ مورد می‌باشد. اما در این پژوهش اولین فرمول آمده در کتاب معرفی و مورد آزمایش قرار گرفته است. نیشابوری در آغاز این ترکیبات می‌نویسد: "صفت انواع رنگ‌ها که بر قواریب و انواع اوانی قاشی، اصفهانی، شامی، چینی و غیر آن به کار دارند. چنان که آن‌ها البتّه مادام که این حیز به جای بود زایل نشود" [۲]. سپس فرمول‌های مختلف را آورده است که اولین آنها با عنوان "رنگ سرخ به غایت سرخ"، به قرار زیر می‌باشد:



تصویر ۱: تصاویر مقطع سفال لعاب‌دار که توسط دستگاه SEM گرفته شده است.

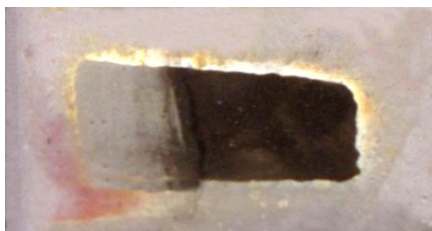
جدول ۳: مواد اولیه و ترکیب شیمیایی مینای زرین فام در کتاب «جواهرنامه نظامی» [۲].

ردیف	نام ماده شیمیایی	آوا نویسی	مشخصات کانی و فرمول شیمیایی
۱	زاج سبز یا قلقند	Qolqand-ZajSabz	زاج (کات) سبز - $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
۲	فضه محرق به گوگرد زرد سوخته باشند	Fezzezard	سولفید نقره - Ag_2S
۳	گوگرد سفید	Kohl sefid	گوگرد نهشته در کنار چشمه ها، گوگرد ناخالص S
۴	مغنیسیا	maqniisiya	MnO_2

جدول ۴: فرمول مینای منتخب از کتاب جواهرنامه نظامی جهت آزمایش.

نام ماده	اکسید منگنز (مغنیسیا)	سولفات مس (زاج سبز)	گوگرد سفید (گوگرد)	سولفید نقره (فضه محرق که به گوگرد زرد سوخته باشند)
مقدار (g)	۱۵	۷,۵	۷,۵	۷,۵

است چرا که لایه مینا از روی سطح لعاب به سختی پاک شد و این نشان دهنده آن است که لعاب پایه بیش از اندازه حرارت دیده و نرم شده است و همین موضوع موجب شده تا لایه مینا بیش از حد درون سطح لعاب نفوذ کرده و به لعاب بچسبد و تاثیری بر روی لعاب نگذارد. همچنین در اطراف لایه مینا، درز زرد دیده می شود که نشان می دهد نقره و مس در اطراف لایه اصلی بر روی سطح لعاب تاثیر گذاشته است. درز زرد در واقع نشان دهنده پخش شدن زرین فام به اطراف لایه اعمال شده است که این حالت به علت بالا بودن دمای احیاء به وجود می آید. واسطه گلی از قسمت چپ آزمایش پاک شده و درز زرد در اطراف لایه مینا دیده می شود.



تصویر ۲: تصویر لعاب ایجاد شده در شرایط احیاء الف.

احیاء ب

با توجه به نتیجه حاصل در شرایط احیاء الف، در این آزمایش سعی شده است تا دمای احیاء کاهش یابد. پس از اتمام آزمایش اضافه های مینا یا همان واسطه گلی از سطح لعاب پاک شد و همان طور که در تصویر ۳ دیده می شود، نتیجه آزمایش تشکیل لایه زرین فام با تالو طلایی را نشان می دهد. بدنه و لعاب پایه سیاه و دود زده نیستند که نشان می دهد مقدار دوددهی مناسب است. دمای احیاء نیز مناسب می باشد. لایه زرین فام در نمونه آزمایش شده نیز یکنواخت به نظر می رسد.

پس از وزن کردن مواد ترکیب فوق، تمامی آنها با سرکه مخلوط گردید و در هاون آزمایشگاهی بیش از نیم ساعت سائیده شد. لازم به ذکر است که آسیاب مواد و پودر شدن بیشتر مواد نیز می تواند به تشکیل لایه زرین فام کمک کند. چنانکه ابوالقاسم کاشانی نیز به این مطلب اشاره دارد: «بر صلايه دو شبانه روز سحق کنند تا به غایت نرم شود» [۶]. پس از آماده شدن مینای مذکور، توسط قلم مو بر روی قطعات سفالی آماده شده اعمال گردید تا پس از پخت احیاء و دوددهی مورد بررسی قرار گیرد.

۳- نتایج و بحث

پس از اعمال مینای تهیه شده بر روی سطح، قطعات سرامیکی در شرایط پخت متفاوت قرار گرفتند تا بتوان شرایط مناسب احیاء را نیز به طور تجربی به دست آورد. کوره مورد استفاده در این آزمایش ها، کوره الکتریکی با حجم مفید ۷۰ لیتر بود. جدول ۵ شرایط عملیات های مختلف پخت احیاء را نشان می دهد. عامل احیاء نیز چوب نئوپان می باشد. ابوالقاسم کاشانی در کتاب خود جهت پخت لعاب آورده است در کاشان از هیزم های نرم استفاده می شود و در دارالسلام و تبریز و دیگر شهرها از چوب بید پوست باز کرده استفاده می شود تا دود نکند [۶]، اما در مورد نوع چوب در پخت احیاء مطلبی را ذکر نکرده است و فقط آمده است که دودی نرم می دهند تا رنگ دو آتشی بگیرد [۶]. که خود نشان دهنده این مطلب است که نیاز به حجم دود بسیار زیاد نیست.

احیاء الف

همان طور که در تصویر ۲ مشخص است نتیجه به دست آمده تحت شرایط احیاء شماره الف نشان می دهد که دمای احیاء کمی بالا بوده

احیاء ج

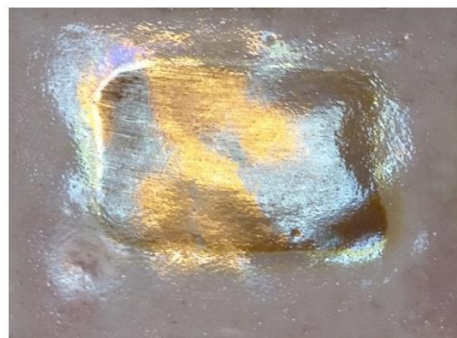
در این آزمایش سعی شده است تا دمای احیاء مجدد کمی کاهش یابد تا حصول نتیجه بهتر، مورد بررسی قرار گیرد. همانطور که در تصویر شماره ۴ دیده می‌شود، لایه مینای زرین فام پس از پاک شدن بدون هیچ‌گونه اثرگذاری از سطح لعاب پاک شده است که این موضوع نشان‌دهنده این مطلب است که دمای احیاء پایین‌تر از حد

لازم بوده و لعاب به نقطه نرم‌شوندگی خود نرسیده است و ترکیبات مینا نتوانسته درون سطح لعاب نفوذ پیدا کند و پس از شستشو به راحتی از روی سطح لعاب پاک شده بدون اینکه تاثیری چندانی روی آن ایجاد کرده باشد.

جدول ۶ خلاصه‌ای از نتایج حاصل از شرایط مختلف پخت احیایی لعاب زرین‌فام (بر اساس جدول ۵) را نشان می‌دهد.

جدول ۵: شرایط عملیاتی پخت احیاء.

عنوان احیا	دمای احیاء (C°)	زمان احیاء (min)	عامل احیاء	دفعات احیاء	شدت احیاء
الف	۶۲۰	۶۰	چوب	۳ مرتبه	در هر بار دوددهی، ۲ قطعه نئوپان ۵×۵ سانتی‌متر
ب	۵۸۰	۷۰	چوب	۴ مرتبه	در هر بار دوددهی، ۲ قطعه نئوپان ۳×۵ سانتی‌متر
ج	۵۶۰	۹۰	چوب	۴ مرتبه	در هر بار دوددهی، ۲ قطعه نئوپان ۳×۵ سانتی‌متر



تصویر ۳: تصاویر لعاب زرین فام ایجاد شده در شرایط پخت احیای ب.



تصویر ۴: تصویر لعاب ایجاد شده در شرایط احیای ج.

جدول ۶: جدول نتایج آزمایشات عملی مربوط به شرایط مختلف پخت احیایی مینای زرین فام.

عنوان احیاء	الف	ب	ج
نتیجه مشاهده شده	عدم تشکیل لایه زرین فام و ایجاد درز زرد	تشکیل لایه زرین فام	تاثیر بسیار ضعیف و عدم تشکیل لایه زرین فام
رنگ زرین فام	-----	طلایی	-----

نیز مورد استفاده قرار گرفتند. مصباحی‌نیا و همکارانش نیز در کار پژوهشی خود به تشکیل نانو ذرات نقره در لعاب زرین‌فام دوره ایلخانی اشاره کرده‌اند [۱۳].

در انتها با استفاده از روش نقشه‌برداری^۱ سعی شد تا نحوه پخش این چهار عنصر در روی مینای زرین‌فام نیز تعیین گردد. تصویر ۶ سطح انتخاب شده از مینای زرین‌فام را برای این مطالعه نشان می‌دهد.

در ادامه ساختار شیمیایی مینا مورد مطالعه قرار گرفت که جدول ۷ ترکیب درصد وزنی عناصر عمده موجود در مینای تشکیل یافته را نشان می‌دهد. چگونگی پراکندگی این عناصر و نحوه توزیع آنها در سطح منتخب، به تفکیک عناصر در تصویر ۷ آورده شده است. نحوه توزیع عناصر Ag, Cu, Mn و S در سطح منتخب نشان می‌دهد که این عناصر به صورت یکنواخت در سطح مینا پخش شده و باعث ایجاد یکنواختی رنگ و تاللو طلایی مینای زرین‌فام می‌شوند.

1- Mapping

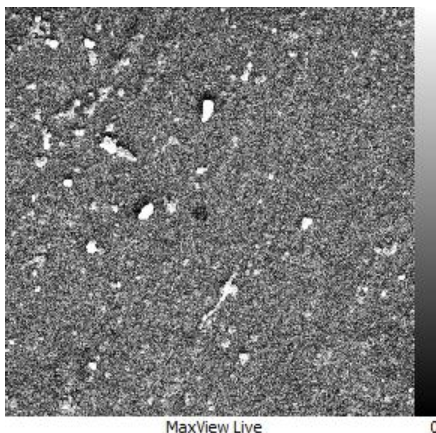
همان‌طور که در جدول شماره ۶ دیده می‌شود آزمایش صورت گرفته در شرایط احیاء ب لایه زرین‌فام با جلای طلایی ایجاد کرده است. محمدزاده و قصابی نیز نشان داده‌اند که دمای کوره و شرایط احیاء از موثرترین عوامل در پدیده تشکیل مینای زرین‌فام است [۱۲]. در ادامه نمونه تهیه شده در شرایط احیایی فوق، توسط دستگاه SEM-EDX مورد بررسی قرار گرفت تا ضخامت مینای تشکیل شده، ترکیب عنصری آن و در نهایت، چگونگی پخش این عناصر در سطح مینای مورد نظر تعیین شوند.

در ابتدا تصویری SEM از مقطع عرضی سرامیک حاوی مینای زرین‌فام تهیه گردید (تصویر ۵) که نشان می‌دهد این لایه مینا بخوبی و به صورت یکنواخت با ضخامت تقریبی $1.32 \mu\text{m}$ بر روی لعاب پایه چسبیده است.

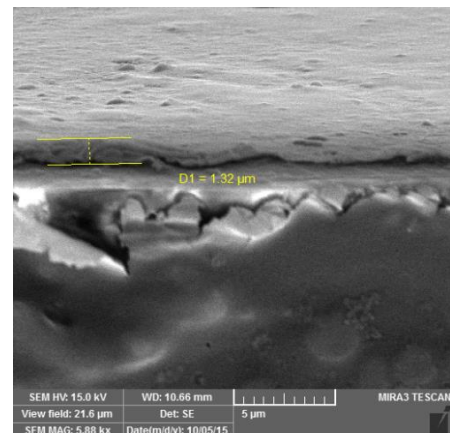
نتایج حاصل حضور مس و نقره را در ساختار شیمیایی مینا نشان می‌دهند که حضور آنها به همراه منگنز و گوگرد، باعث تاللو و طلایی جلوه نمودن مینای زرین‌فام می‌شود. این عناصر ترکیباتی هستند که در مخلوط اولیه مورد استفاده برای تهیه مینای زرین‌فام (جدول ۴)

جدول ۷: میزان عناصر شیمیایی موجود در لایه مینای زرین‌فام.

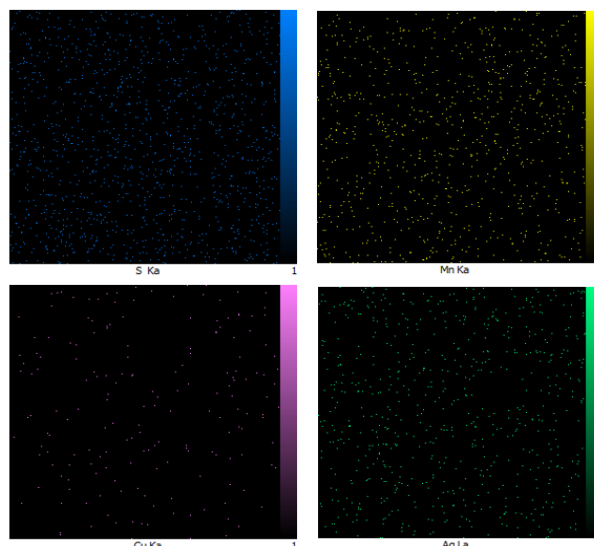
عنصر	As	Sn	S	Mn	Cu	Ag
مقدار (w%)	۳۱٫۶۵	۲۹٫۵۴	۱۰٫۵۵	۱۹٫۲۱	۴٫۴	۴٫۶۳



تصویر ۶: تصویر سطح انتخاب شده از مینای زرین‌فام برای بررسی نقشه‌برداری.



تصویر ۵: تصویر مقطع عرضی لایه مینای تشکیل شده بر روی لعاب پایه (بزرگنمایی ۵٫۸۸ kx).



تصویر ۷: نحوه توزیع عناصر عمده موجود در مینای زرین فام.

این نکته بود که این مینا بخوبی و به صورت یکنواخت با ضخامت تقریبی $1.32 \mu\text{m}$ بر روی لعاب پایه چسبیده است. نتایج حاصل از آنالیز عنصری نیز حضور مس و نقره را در ساختار شیمیایی مینا نشان دادند که حضور این عناصر به همراه منگنز و گوگرد، باعث تاللو و طلائی جلوه نمودن مینای زرین فام می‌شود. نحوه توزیع عناصر Ag، Cu، Mn و S در سطح منتخب نیز نشان داد که این عناصر بصورت یکنواخت در سطح مینا پخش شده و باعث ایجاد یکنواختی رنگ و تاللو طلائی مینای زرین فام می‌شوند. پژوهش حاضر نشان داد که جهت به دست آوردن لعاب زرین فام رعایت این نکته ضروری است که متغیرهای تاثیرگذار در شکل‌گیری لایه زرین فام از جمله لعاب پایه، ترکیب مینا و شرایط احیاء بایستی به درستی در کنار یکدیگر قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اولین فرمول ارائه شده توسط محمدبن ابی‌البرکات نیشابوری در کتاب جواهرنامه نظامی که به رنگ سرخ به غایت سرخ توصیف شده است انتخاب و بر روی لعاب قلیایی بوری و در شرایط احیاهای مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. جهت تامین مواد در ترکیب منتخب، ابتدا اسامی امروزی آنها مشخص و اکسید منگنز معادل مغنیسیا و سولفات مس معادل زاج سبز و گوگرد معادل گوگرد سفید و سولفید نقره معادل فضه محرق به گوگرد زرد به کار گرفته شد. نتیجه به کاربردن ترکیب مواد مندرج در «جواهرنامه»، تشکیل لایه زرین فام با جلای فلزی و تاللو طلائی بود. این نتیجه در شرایط احیاء ب، با دمای کوره 580°C و مدت ۷۰ دقیقه و چهار مرتبه دوددهی، حاصل شد. تصویر SEM از مقطع عرضی سرامیک حاوی مینای زرین فام نمایانگر

۵- مراجع

- O. Watson, Persian lustre ware. Boston, London, 1985.
- C. Piccolpasso, Three books of the potter's art. R. Lightbown, & A. Caiger-Smith, (eds), London, Scholar Press, 1980.
- M. Juhari Nayshaburi, JavaherNamahNizami, MirasiMaktub, Tehran, 2004, 23.
- M. Matin, The oldest written document of nanotechnology, http://www.civilica.com/Paper-DOMESTICTECH01-DOMESTICTECH01_019.html.
- M. Mirshafiei, Studying and revival of the luster glaze of AbouTaherKashani Clan (6-7th hijri), M. A. thesis, Tabriz Islamic Art University, Iran, 2011.
- R. Basiri, Glaze tile pottery. Gutenberg, Tehran, 1984, 84.
- A. Kashani, Arayes o al javahirvanafayis o al atayib. Al Moa, Tehran, 2007.
- A. Caiger-Smith, Lusterware technique. London, Herbert Press, 1991, 226-227.
- H. Ghassai, H. R. Rezai, A. Shams, Study of temperature and atmosphere influence on enamel luster glaze to obtain the real temperature and suitable reduction condition, in Proceeding of 6th Congress of Iranian Ceramic Society, Karaj, Iran 2008.
- A. Rahimi, M. Matin, Technology of fine ceramics. Khake Chini Iran, Tehran, 2007.
- F. Razavi, M. Ghahari, M. Rashidi-Huyeh, Production and characterization of a lustre glaze on arcopal body. *J. Color Sci. Tech.* 8(2014), 75-83
- M. MohammadzadehMianji, H. Ghassai, Prepration of zarrinfaam glaze (luster Glaze) and study of effective factors on creation of enamel layer with emphasize on influence of temperature and thickness. *J. Color Sci. Tech.* 5(2011), 35-42.
- A. Mesbahinia, M. Rashidi-Huyeh, M. Shirdel-Havar, M. ShafieeAfarani, Formation of silver nanoparticles and lead oxide sub-micron particles in the lustre glaze of Il-Khanate dynasty and influence of silver nanoparticles concentration on the glaze color. *J. Color Sci. Technol.* 8(2015), 333-338.
- Dehkhoda, FarhangeDehkhoda. Tehran University, Tehran, 2010.