



بررسی و ساخت مینای زرین فام روی بدنه آرکوپال

فهیمة رضوی^۱، مهدی قهاری^{۲*}، مجید رشیدی هویه^۳

۱- کارشناس ارشد، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، صندوق پستی: ۶۷۴-۹۸۱۳۵

۲- استادیار، گروه پژوهشی نانو مواد و نانو پوشش، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۳- استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، صندوق پستی: ۶۷۴-۹۸۱۳۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۳/۲۰

چکیده

مینای زرین فام پوششی دکوری است که از دیرباز، سفالگران آن را به عنوان لعاب تزئینی به کار می‌برده‌اند. مشخصه بارز این نوع لعاب، تلالو و درخشندگی منحصر به فرد آن است. به گونه‌ای که در زوایای مختلف به رنگ‌های متفاوت دیده می‌شود. این ویژگی‌ها از یک سو به تشکیل لایه‌های نازک و از سوی دیگر به تشکیل نانوذرات فلزی، در اینجا نقره، حین فرآیند تولید است. در این تحقیق، لعاب زرین فام با ترکیب جدید مناسبی برای بدنه آرکوپال تهیه شد و در نتیجه تعداد مراحل پخت از ۳ به ۱ مرحله کاهش یافت. آنالیزهای SEM و الگوی عنصری انجام شده روی نمونه‌های تولید شده، مبین وجود لایه‌های نازک مینای زرین فام، متشکل از نانوذرات محصور در محیط سیلیس، با ضخامت متوسط حدود ۲۰۰ الی ۴۰۰ nm می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعات نظری و شبیه‌سازی از طیف بازتابی در زوایای مختلف تطابق بسیار خوبی را با نتایج تجربی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: لعاب زرین فام، نانوذرات نقره، آرکوپال.

Production and Characterization of a Lustre Glaze on Arcopal Body

Fahime Razavi¹, Mahdi ghahari², Majid Rashidi-Huyeh¹

¹ Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Sistan & Baluchestan, P.O. Box: 98135-674, Zahedan, Iran

² Department of Nanomaterials and Nanocoatings, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 654-16765, Tehran, Iran

Received: 22-06-2013

Accepted: 04-11-2013

Available online: 10-06-2014

Abstract

Lustre production technique is one of the oldest methods of metal nanoparticles fabrication depended on chemical reducing atmosphere. This kind of ceramics is consisted of three steps; body production, applying white glaze on a body and after baking, recovering the lustre glaze on the opaque white glaze. Lustre has fascinating features due to the formation of a thin layer and metal nanoparticles. In this situation, the sample appears in different colors by changing the incident light angle. This happens due to the nano structures created during the manufacturing of the glaze. In this research, a new combination of lustre glaze was produced which is suitable for Arcopal body. Therefore, numbers of thermal treatment steps were reduced from 3 steps to one step. SEM analysis was used to identify the thickness of the thin layer. The layer varies between 200 to 400 nm. The theoretical studies and stimulation of the reflection spectra at different angles show that these results have good agreements with the experimental ones. *J. Color Sci. Tech.* 8(2014), 75-83©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: lustre, Silver nanoparticles, Arcopal.

۱- مقدمه

می‌کنند؛ یعنی تبادل یونی بین یون‌های قلیایی مانند سدیم و پتاسیم موجود در لعاب و یون‌های فلزی نقره و مس اتفاق می‌افتد و سطح لعاب را می‌پوشانند. سپس ترکیبات نقره و مس به فلزات احیا می‌گردند و نانوذرات فلزی با محدوده گسترده‌ای از رنگ‌های زیبا پدیدار می‌شود [۱۲، ۱۰].

بنابراین همان‌طور که در بالا اشاره شد، جهت ایجاد قوس و قزح رنگین‌کمانی، نانوذرات فلزی بایستی در بستری مناسب (بدنه سیلیسی آغشته به لعاب سفید با دمای نرم‌شدگی حدود 650°C) رشد یابند و هر نوع لعاب سفید در گستره دمایی 650°C نمی‌تواند مورد استفاده واقع گردد [۲]. در گذشته اثر قوس و قزحی روی لعاب سفید سربی-قلعی یا قلیایی پدیدار می‌گردید. در این پژوهش، هدف حذف مرحله پخت لعاب سفید و سپس به دست آوردن فرمول مینای زرین‌فام و ساخت آن روی بدنه آرکوپال است. بدنه آرکوپال معمولاً حاوی بیش از ۶۰ درصد سیلیس، آهک، کربنات سدیم، فلوراید و کریولیت است. حضور این مواد در ترکیبات آرکوپال سبب افزایش قوس و قزح موجود در مینای زرین‌فام شده و از لحاظ انرژی مقرون به صرفه می‌باشد. کنترل دما، مدت احیا، نسبت نقره و مس و ضخامت لایه مینا بر خاصیت رنگین‌کمانی تاثیر مهمی دارند.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

مواد اولیه‌ای که در این پژوهش برای ساخت لعاب مینای زرین‌فام استفاده گردید صنعتی بوده و عبارت‌اند از: کربنات پتاسیم (مرک)، مرکو کروم، اکسید آلومینیم، نیترات نقره، سولفات آهن، خاک اخرا، سرب و قلع. نسبت سرب به قلع ۳ به ۱ انتخاب، مخلوط و فریت تهیه شد.

۲-۲- روش کار

در تعیین خلوص مواد اولیه از روش XRF و ICP دستگاه فیلیپس با مدل PW1480 و Vista، استفاده گردید. جهت بررسی ریزساختاری از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با مدل TESCAN MIRA استفاده شد. همچنین طیف بازتاب لعاب به کمک دستگاه اسپکترو رادیومتر کونیکا مینولتا CS2000 با محدوده اندازه‌گیری $780 - 380\text{nm}$ اندازه‌گیری شد. سه ترکیب لعاب مینا با کد مشخص در جدول ۱ ساخته شد. این ترکیبات توسط تیزاب به نسبت ۲ به ۵ همگن شدند سپس با قلم مو، محلول روی بدنه آرکوپالی پوشش داده شد. پخت مینای زرین‌فام در کوره‌های الکتریکی در دمای 650°C و در زمان‌های متفاوت احیا صورت پذیرفت. از کربن (دوده مورد استفاده در صنایع رنگ‌سازی) یا چوب برای ایجاد شرایط احیا استفاده گردید. بدین ترتیب که بوته حاوی کربن یا چوب در دمای نرم‌شدگی لعاب، وارد کوره شد.

مینای زرین‌فام از لایه‌ای نازک، شامل نانوذرات مس و/یا نقره محصور در محیط سیلیس تشکیل شده است [۱]. ترکیب‌های فراوانی برای ساخت زرین‌فام از دوره‌های مختلف تهیه شده است اما در تمام موارد ترکیبات نقره، مس، خاک اخرا و ترکیبات سولفوری از عناصر اصلی بوده‌اند [۳، ۲]. به‌طور کلی در قرون مختلف، فرآیند تولید اینگونه سرامیک از سه مرحله پخت تشکیل شده است. ابتدا بدنه سفال، که از جنس پایه سیلیس است، پخت می‌شود. پخت دوم شامل ایجاد لایه‌ای میکرومتری سفیدرنگ شیشه‌ای همگن از اکسید قلع و اکسید سرب روی بدنه می‌باشد [۴]. دو پخت اول در دمای نسبتاً بالا حدود $800 - 950^{\circ}\text{C}$ صورت می‌پذیرد و مینای زرین‌فام در پخت سوم در دمای حدود $650 - 600^{\circ}\text{C}$ تحت شرایط احیا حاصل می‌گردد [۶، ۵]. لایه نازک بلوری مس و نقره از طریق اندودن محلولی از ترکیبات نقره، مس، اکسید آهن و برخی ترکیبات سولفوری تشکیل می‌گردد [۷]. لعاب‌های مناسب برای رسیدن به لایه زرین‌فام مطلوب، لعاب‌هایی هستند که در دمای احیا، شبکه شیشه‌ای آنها اتصالات خود را ضعیف کرده و به اتم‌ها و یون‌های فلزی اجازه ورود به شبکه را بدهند [۲]. البته تعیین نقطه ایده‌آل نرم‌شدگی لعاب، سخت‌تر از آن چیزی است که به نظر می‌رسد. حتی اگر دمای نرم‌شدگی لعاب مشخص شود، ورودی گرما به داخل کوره قبل از اینکه به آن دما برسد متوقف شود [۸]. اگر لعاب به اندازه کافی نرم نشود لایه زرین‌فام فلزی احیا شده به سطح لعاب نمی‌چسبد و ممکن است کنده شود و فقط لکه زرین‌فام کم فروغی که انعکاس ندارد ایجاد شود، ولی اگر حرارت اعمالی به لعاب زیادتر از حد ایده‌آل باشد، لایه فلزی (مس یا نقره) بخار می‌شود و خاک اخرا غنی از اکسید آهن که از اجزای اصلی لعاب زرین‌فام است، به لعاب نرم شده می‌چسبد و در نتیجه مینای زرین‌فام پوشیده و پنهان می‌شود و تنها لکه‌ای قهوه‌ای کمرنگ دیده می‌گردد و در نتیجه لعابی مات و نازک ایجاد می‌شود [۹]. ضخامت لایه زرین‌فام بستگی به ترکیب لعاب دارد. به خصوص نشان داده شده است که با افزایش نسبت سرب در ترکیب اولیه، ضخامت مینای زرین‌فام کاهش می‌یابد [۲]. لایه زرین‌فام خالی از سرب حتی با وجود زمان احیا طولانی و دمای بالاتر، درخشندگی فلزی از خود نشان نمی‌دهد. در حالی که در لعاب‌های غنی از سرب لایه زرین‌فام درخشندگی فلزی بالایی را از خود نمایان می‌سازد [۲]. به دلیل فقدان عوامل احیاکننده در ترکیب لعاب زرین‌فام، اتمسفر کوره هنگام پخت باید احیایی باشد. بنابراین، در مدت خاصی، یک اتمسفر احیایی در کوره توسط گاز مونوکسید کربن تولید شده به کمک کربن، ایجاد می‌شود [۱۰]. این گاز از هر منبع در دسترس، اکسیژن می‌گیرد و ترکیبات نقره و مس گرمایش به اکسید تبدیل شده‌اند، اکسیژن خود را از دست می‌دهند و به شکل لایه فلزی نازکی در لعاب رسوب می‌کنند [۱۱]. در اتمسفر احیایی ابتدا لعاب نرم می‌گردد و یون‌های فلزی در سطح لعاب نفوذ

جدول ۱: درصد وزنی ترکیبات مینای زرین فام به همراه فریت و شرایط تولید.

زمان احیا (min)	عامل احیا	CuO	AgNO ₃	مرکور کروم	K ₂ CO ₃	Al ₂ O ₃	FeSO ₄	فریت قلع و سرب	خاک اخرا	گوگرد	
۳۰	کربن	۰,۵	۹	۲,۷	۵	۹,۶۲	۲۰	۴۱,۱۸	۲	۱۰	Sm1(a)
۷											Sm1(b)
۷	کربن	۰,۵	۹	۲,۷	۵	۱۵,۸	۲۵	۳۱	۱	۱۰	Sm2(a)
۷											Sm2(b)
۴	کربن										Sm3(a)
۴											Sm3(b)
۴		۰,۵	۹	۲,۷	۵	۲۰	۳۲	۲۰,۳	۰,۵	۱۰	Sm3(c)
۴	چوب										Sm3(d)

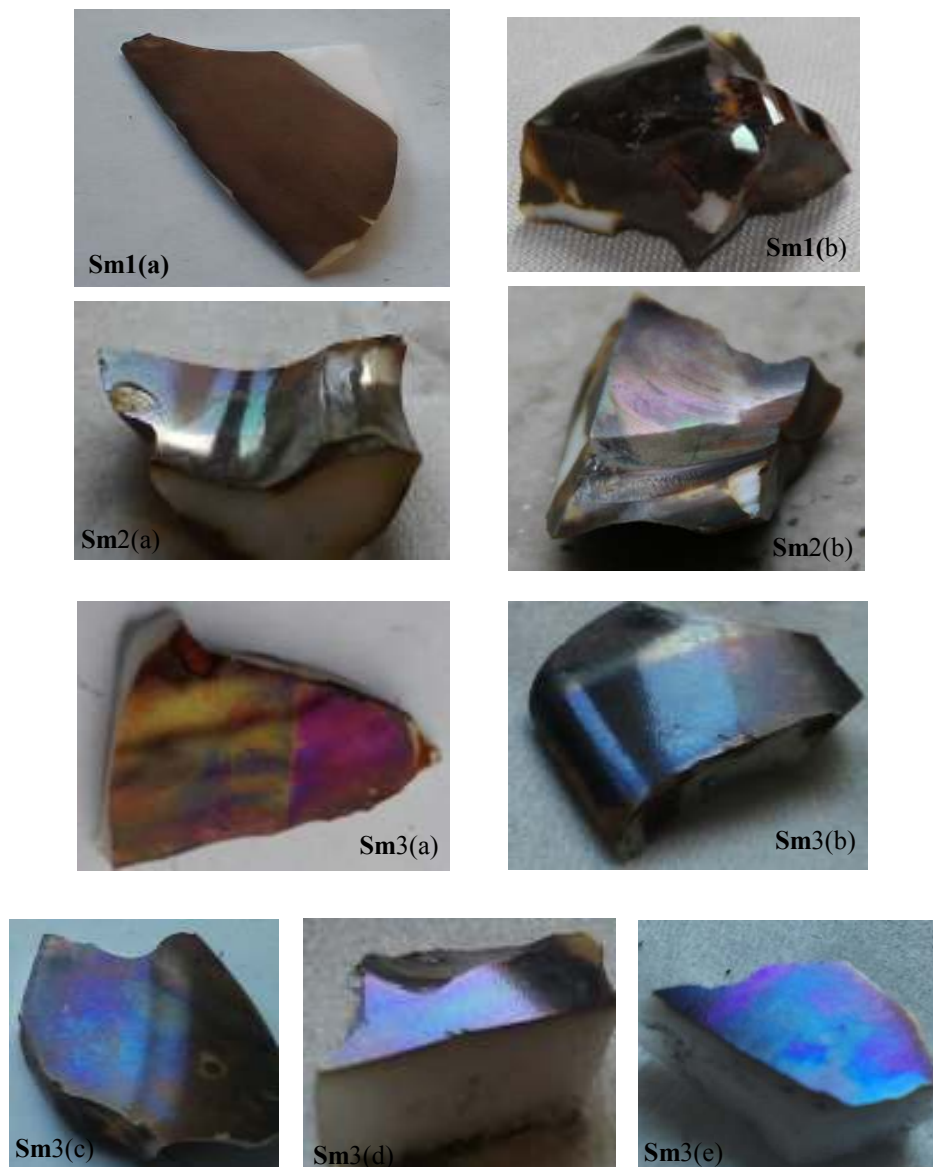
در شکل ۱ تصاویر نمونه‌های تولید شده در شرایط مختلف ارائه شده در جدول ۱، نشان داده شده است. در نمونه‌ی sm1(a)، با دمای پخت ۶۵۰ °C و ۳۰ دقیقه ایجاد شرایط احیا، جلای فلزی وجود ندارد و خاک اخرا روی بدنه چسبیده است که این امر خود به دلیل شرایط احیا طولانی است. در نمونه sm2(a) طول مدت شرایط احیا به ۷ دقیقه کاهش یافت. همان‌طور که از تصاویر شکل ۹ پیدا است رنگ لعاب به رنگ قهوه‌ای تیره-ارغوانی مبدل شده و از جلای خاصی برخوردار است. در نمونه sm2 مقدار آلومینا و سولفات آهن (عامل احیا) نسبت به sm1 افزایش یافته است. همانگونه که ملاحظه می‌شود جلای فلزی مناسبی در این نمونه مشاهده می‌شود و رنگ لعاب طلایی-زیتونی مشاهده می‌گردد و نمونه از قوس و قزح آبی، بنفش، طلایی برخوردار شده است. لعاب خام زرین فام در نمونه sm2(b) با ضخامت کمتری نسبت به نمونه‌های دیگر اعمال شد. نمونه پس از قرارگیری در معرض دود کربن به مدت ۷ دقیقه، از قوس و قزح بهتری برخوردار گردید. در نمونه sm3 درصد مواد پرکننده و سولفات آهن افزایش و طول مدت شرایط احیا در کوره کاهش یافت. دمای پخت ۶۵۰ °C و مدت احیا ۴ دقیقه به طول انجامید. شرایط احیا در نمونه sm3(d) و sm3(e) توسط چوب درحالی که در نمونه‌های دیگر با کربن صورت پذیرفت. مطابق شکل ۱، در هر نمونه رنگ‌هایی متفاوت مشاهده می‌شود. زیرا هر نمونه نسبت به فاصله‌ای که از ظرف کربن یا چوب خشک دارد، رنگ متفاوتی در آن شکل می‌گیرد. نمونه باید در معرض دود سبک قرار گیرد زیرا به دلیل حضور سرب در ترکیب رنگینه، لعاب نسبت به دود حساس است و بسیار سریع سیاه می‌شود. بنابراین علاوه بر ترکیب لعاب، طرز قرارگیری نمونه در کوره و نوع عامل احیا (دود کربن یا چوب) از عوامل موثر بر تغییر رنگ نمونه هستند. ضخامت و ترکیب لعاب خام زرین فام در هنگام لعاب‌دهی بدنه و همچنین ضخامت و ساختار آن پس از پخت، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. به منظور بررسی ساختار موجود در لعاب نهایی از آزمون SEM استفاده گردید که در بخش بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳- نتایج و بحث

جدول ۲، آنالیز XRF از خاک اخرا را نشان می‌دهد که حضور ۶۳٪ اکسید فریک (Fe₂O₃) را تایید می‌نماید. نکته قابل توجه آن است که رس‌ها از عناصر قابل حل در برابر بخار شدن، محافظت به عمل می‌آورند. خاک‌های رسی حاوی اکسید آهن، از لایه زرین فام در برابر دوباره اکسید شدن محافظت به عمل می‌آورد. در خلال پخت زرین فام، اکسیدفریک Fe₂O₃ موجود در اخرا، در محیط احیا به اکسید فرو FeO تبدیل می‌شود و نهایتاً در مرحله سرد شدن، اکسید فرو از جذب اکسیژن به وسیله اتم‌های نقره و مس جلوگیری به عمل می‌آورد و خود تبدیل به Fe₂O₃ می‌گردد [۲]. در این تحقیق از مرکور کروم با فرمول شیمیایی (C₂₀H₈Br₂HgNa₂O) نیز استفاده شد. مرکور کروم حاوی جیوه است و به عنوان عامل کمک کننده به احیاء و همچنین به دلیل برخورداری از اکسیدهای رنگ‌دهنده اصلی چون منگنز (به میزان ۰,۵ الی ۲ درصد) به همراه لعاب‌های سربی، طیف رنگ‌های ارغوانی، بنفش و قهوه‌ای ایجاد می‌کند [۱۱]. همچنین موادی چون گوگرد، سولفات آهن به عنوان مواد احیاگر در ترکیب لعاب مورد استفاده واقع می‌شود تا از شرایط سخت کنترل احیا در طول مدت احیا کاسته شود.

جدول ۲: درصد خلوص خاک اخرا مورد استفاده در لعاب با استفاده از XRF.

ترکیب	درصد وزنی	ترکیب	درصد وزنی
Na ₂ O	۸,۷	K ₂ O	۰,۱۳
P ₂ O ₅	۶۳	Fe ₂ O ₃	۰,۰۶
TiO ₂	۱۲,۴	SiO ₂	۰,۳۲
MgO	۰,۷۶	MnO	۰,۲۱
SO ₃	<۱	V&Zn&Ba	۰,۴۸
CaO	۵,۷۱	L.O.I	۵,۱
Al ₂ O ₃	۳,۱		

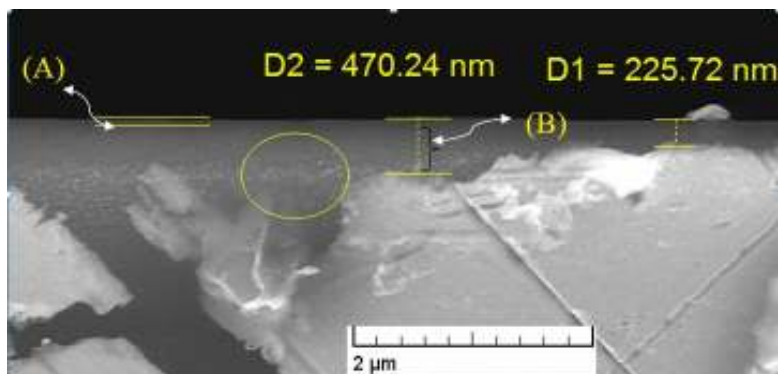


شکل ۱: تصویر نمونه‌های تولید شده sm1، sm2 و sm3.

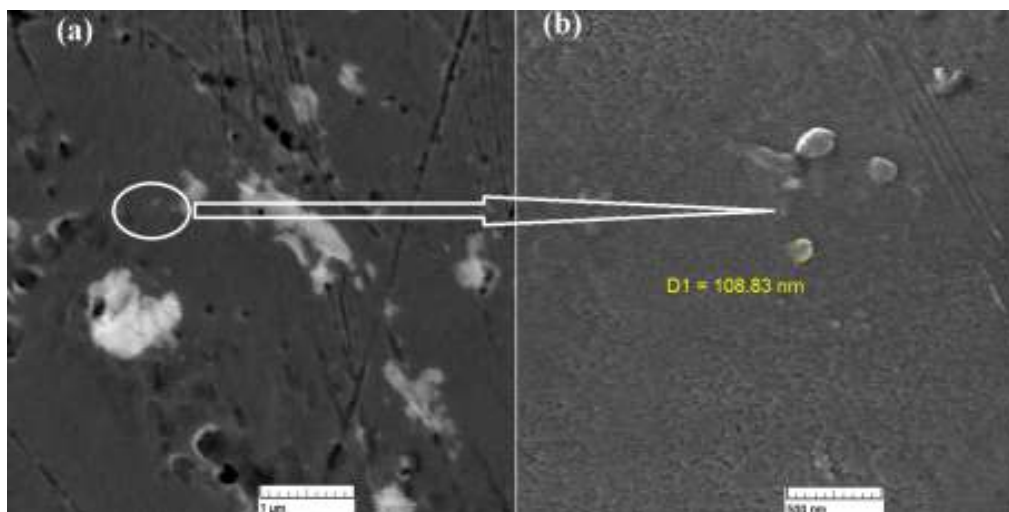
شکل ۳ تصویر SEM حاصل از الکترون‌های پس‌پراکنده از سطح لعاب sm3(a) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سطح مورد بررسی از دو ترکیب متفاوت از نظر جرم اتمی تشکیل شده است. آنالیز EDX (شکل ۴) از سطح موجود در شکل ۳(a) نشان می‌دهد که ۰.۷۴٪ سیلیس، ۶.۵۶٪ سدیم، ۵.۹۱٪ نقره، ۲.۷۵٪ مس، ۰.۷۴٪ سرب و ۵.۵۳٪ آلومینیم در سطح موجود است. لذا می‌توان بیان داشت که مناطق روشن‌تر با توجه به مقادیر کمتر آنها، تجمعی از ذرات سنگین نظیر سرب، نقره و مس و مناطق وسیع تیره، غنی از سیلیس می‌توانند باشند. با بزرگنمایی بیشتر بر روی مناطق روشن که در شکل ۳(b) نشان داده شده است، ذرات کروی شکلی نمایان شدند که احتمالاً ذرات نقره می‌توانند باشند.

۳-۱- تحلیل ساختاری

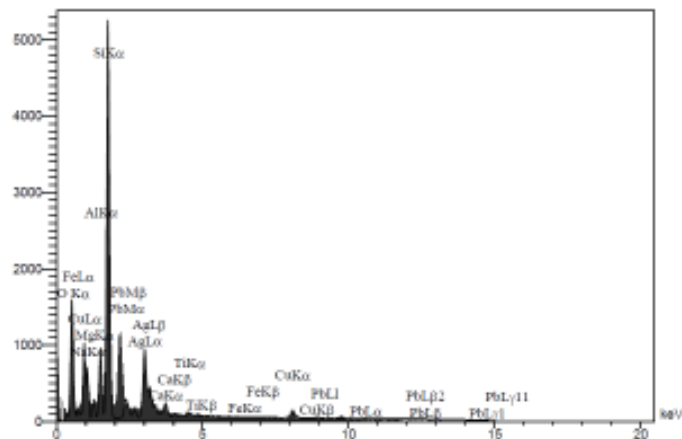
در شکل ۲ تصویر مربوط به الکترون‌های پس‌پراکنده (BSE) از سطح مقطع بدنه آرکوپال دارای مینای زرین‌فام آورده شده است لایه‌ای متشکل از شیشه با ضخامت حدود ۵۰ نانومتر، شکل ۲ (A)، روی سطح خارجی لعاب قابل مشاهده می‌باشد. پس از آن لایه‌ای با ضخامت متغیر حدود ۲۰۰ الی ۴۰۰ nm متشکل از نانوذرات روی بدنه در شکل ۲ (B) مشاهده می‌شود. بدنه با رنگی روشن‌تر در شکل کاملاً مشخص است. این ساختار لایه‌ای و ترکیب آن در تعیین خواص نوری بسیار تعیین‌کننده است که در بخش‌های بعدی مورد توجه قرار خواهد گرفت.



شکل ۲: تصویر SEM با الکترون‌های پس‌پراکنده BSE از سطح مقطع نمونه (a) sm3. مکان A مبین ضخامت لایه شیشه‌ای و B ضخامت لایه‌ای از نانوذرات فلزی محصور و لایه شیشه‌ای است.



شکل ۳: تصویر (a) در مقیاس ۱ میکرومتر و (b) در مقیاس ۵۰۰ نانومتر از محل تعیین شده در شکل (a) را نشان می‌دهد.



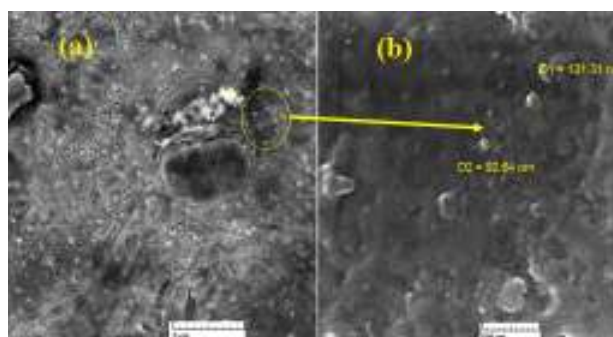
شکل ۴: آنالیز BSE از سطح موجود در شکل ۳b.

است. به طوری که لعاب در زوایا و نقاط مختلف به رنگ‌های متفاوت نمایان می‌شود. این خاصیت در شکل ۸، که مربوط به تصویر نمونه‌های sm3(a)، sm3(b) و sm3(c) در زوایای مختلف می‌باشد، به خوبی قابل ملاحظه است. در حقیقت این خاصیت به علت وجود لایه نازک تشکیل شده روی سطح لعاب می‌باشد [۱۰]. تغییر رنگ لعاب در مکان‌های مختلف به علت تغییر ضخامت لعاب و همچنین تغییر ساختار لعاب به ویژه غلظت و اندازه نانوذرات در نقاط مختلف لعاب می‌باشد. به منظور بررسی کمی این خاصیت، طیف بازتابی نمونه sm3(a) در زوایای مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج در نمودار شکل ۹ آمده است. ملاحظه می‌شود که دامنه طیف بازتابی و بیشینه‌های نسبی به زاویه مشاهده وابسته است. در حالی که همه طیف‌ها در طول موج حدود ۶۵۰ nm به کمینه مقدار خود می‌رسد. این مقدار کمینه مربوط به جذب پلاسمونی ناشی از حضور نانوذرات نقره در لعاب می‌باشد [۱۲]. به منظور بررسی این پدیده، سطح مقطع جذب نانوذره نقره محصور در محیط سیلیس با شعاع‌های مختلف از ۲۰ تا ۱۱۰ nm، به کمک نظریه «می» محاسبه گردید.

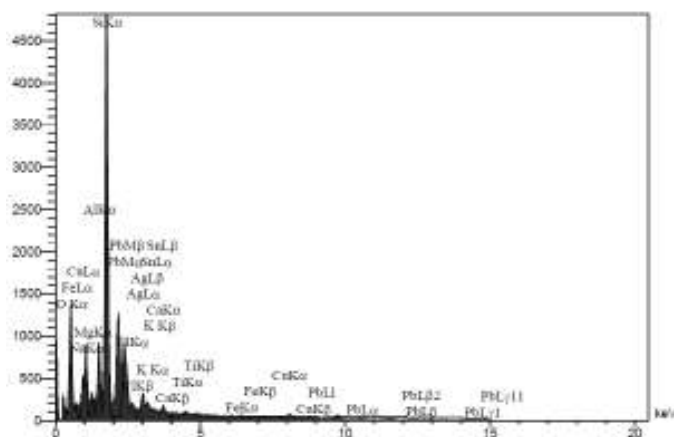
شکل ۵ تصویر SEM حاصل از الکترون‌های پس‌پراکنده از سطح لعاب sm2(b) است. در این نمونه، به نظر می‌رسد توزیع مواد سنگین نظیر سرب و نقره در بستر سیلیسی مناسب‌تر از نمونه sm3(a) (شکل ۳a) است. نقشه عنصری از این نمونه (شکل ۷) نیز این موضوع را تاکید می‌کند. همانطور که از شکل ۷ مشخص است، توزیع فراوانی عناصر سیلیس، آلومینا و سرب بیشتر از عناصری نظیر نقره، قلع و آهن است. با توجه به آنالیز EDX (شکل ۶) مشخص می‌شود که روی سطح لعاب حدود ۳۰٫۴۴٪ سیلیس، ۵٫۴۱٪ آلومینیم، ۲٫۹۶٪ سرب، ۰٫۵۹٪ مس، ۱٫۹۸٪ نقره و ۰٫۴۱٪ قلع و ۰٫۰۶٪ سدیم وجود دارد. همان‌طور که از شکل b ۵ مشخص است، در اینجا نیز ذرات کروی شکل با اقطار حدود بین ۸۰ الی ۱۰۰ نانومتر مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که ابعاد ذرات در تعیین خواص نوری و به خصوص در جذب نوری لعاب اطراف فرکانس تشدید پلاسمای سطحی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند که در بخش بعد مورد توجه قرار می‌گیرد.

۳-۲- طیف بازتاب

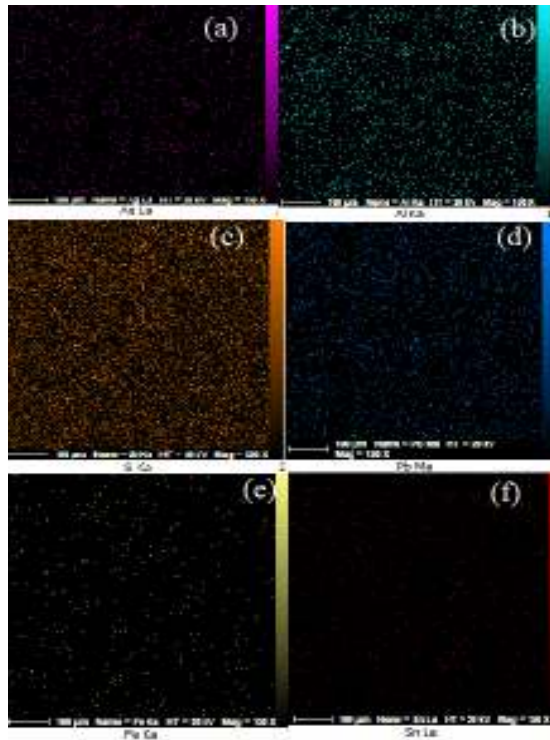
یکی از خواص مورد توجه لعاب زرین فام، خاصیت قوس و قزحی آن



شکل ۵: تصویری با الکترون‌های بازگشتی (BSE) از نمونه sm2(b) شکل (a) در مقیاس ۵ میکرومتر و شکل (b) در مقیاس ۵۰۰ نانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۶: آنالیز EDX از سطح موجود در شکل ۵.



شکل ۷: (a) تصویر SEM از سطح لعاب نمونه (b) نقشه عناصر (a) نقره، (b) آلومینا، (c) سیلیس، (d) سرب، (e) آهن و (f) قلع را نشان می‌دهد.

$$b_n = \frac{\psi_L(mx)\psi'_L(x) - m\psi'_L(mx)\psi_L(x)}{\psi_L(mx)\eta'_L(x) - m\psi'_L(mx)\eta_L(x)} \quad (5)$$

پاسخ نوری نانوذرات تحت تابش امواج الکترومغناطیس بر حسب نسبت ضریب شکست مختلط نانوذره فلزی $\tilde{n} = n - ik$ به ضریب شکست محیط پیرامون n_m آن، $\tilde{m} = \frac{n - ik}{n_m}$ و $x = \frac{2\pi n_m R}{\lambda}$ که، شعاع ذره، λ طول موج تابش الکترومغناطیس فرودی، تعیین می‌گردد [۱۳]. مطابق نظریه می سطح مقطع جذب، پراکندگی و خاموشی به ترتیب Q_{Ext} و Q_{Sca} ، Q_{Abs} برای یک کره همگن به صورت سری نامحدود (رابطه‌های ۵-۱) معرفی می‌شود [۱۴].

نتایج در نمودار شکل ۱۰ آمده است. ملاحظه می‌شود که سطح مقطع جذب در طول موج خاصی موسوم به طول موج تشدید پلاسمای سطحی به بیشینه مقدار خود می‌رسد. همچنین مشاهده می‌شود که طول موج تشدید پلاسمای سطحی به ابعاد ذره وابسته است. از جمله ملاحظه می‌شود، حداکثر جذب برای نانوذرات با شعاع ۱۱۰ nm در طول موج حدود ۴۶۵ nm است که با کمینه مقدار بازتاب اندازه‌گیری شده (شکل ۹) در تطابق است. لذا می‌توان دریافت که نانوذرات موجود در لعاب دارای شعاع متوسط حدود ۱۱۰ nm می‌باشد و این خود با تصاویر SEM در تطابق است.

$$Q_{ext} = \frac{2}{k^2} \sum_{L=1}^{\infty} (2L+1) \text{Re}[a_L + b_L] \quad (1)$$

$$Q_{sca} = \frac{2}{k^2} \sum_{L=1}^{\infty} (2L+1) [a_L^2 + b_L^2] \quad (2)$$

$$Q_{abs} = Q_{ext} - Q_{sca} \quad (3)$$

که a_n و b_n به قرار زیر است:

$$a_n = \frac{m\psi_L(mx)\psi'_L(x) - \psi'_L(mx)\psi_L(x)}{m\psi_L(mx)\eta'_L(x) - \psi'_L(mx)\eta_L(x)} \quad (4)$$



Sm3(a)

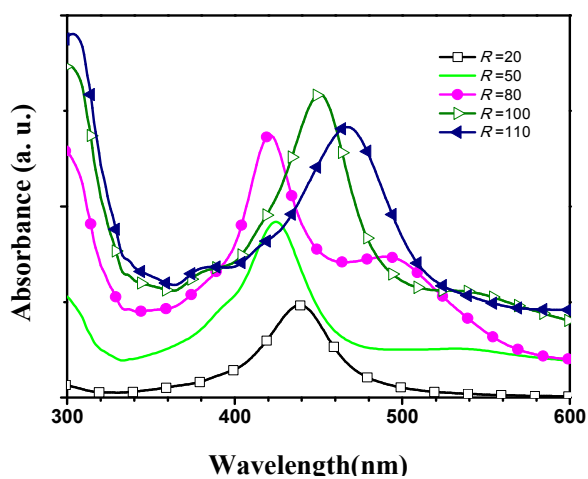


Sm3(b)

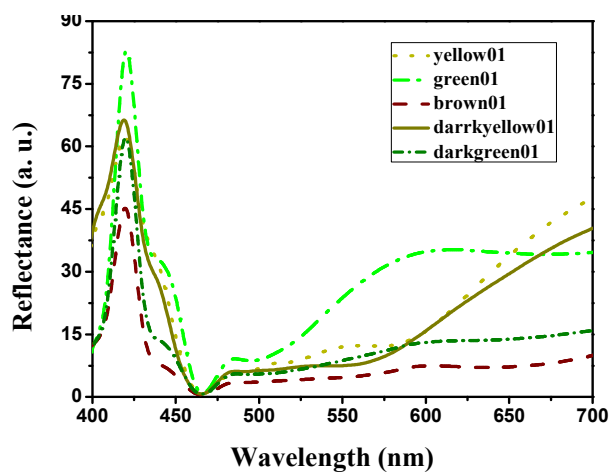


Sm3(c)

شکل ۸: تصویر نمونه‌های Sm3(a), Sm3(b) و Sm3(c) در زوایای مختلف.



شکل ۱۰: طیف سطح مقطع جذب محاسبه شده به کمک نظریه «می» برای نانوذره نقره محصور در یک محیط سیلیس به ازای شعاع‌های مختلف نانوذره نقره.



شکل ۹: طیف بازتابی از سطح لعاب نمونه Sm3(a) در زوایای مختلف.

شبه‌سازی، حضور نانوذرات فلزی با اندازه ۱۱۰ nm روی سطح لعاب را تایید که تطابق بسیار زیادی با نتایج SEM نشان می‌دهد. علاوه بر ترکیب لعاب، طرز قرارگیری نمونه در کوره و نوع عامل احیا (دود کربن یا چوب) از عوامل موثر بر تغییر رنگ نمونه هستند.

تشکر و قدردانی

از خانم مهندس مریم صالحی کارشناس گروه رنگدانه‌های معدنی و لعاب، به دلیل نقش بسیار موثری که در این طرح و اجرای آن بر عهده داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش لعاب زرین فام مناسب برای بدنه آرکوپال تهیه شد. تعداد مراحل فرآیند ساخت لعاب زرین فام روی آرکوپال، نسبت بدنه کاشی کاهش می‌یابد و نیازی به تهیه بستری مناسب برای رشد نانوذرات فلزی وجود ندارد. آزمون XRF درصد خلوص بالای مقدار آهن را در خاک اخرا تایید می‌نماید که تاثیر مهمی در کیفیت لعاب زرین فام نهایی دارد. آنالیز SEM نشان داد که در نمونه‌ها دارای نانوذرات نقره با اندازه متوسط ۱۱۰ nm هستند. همچنین با بررسی سطح مقطع لعاب زرین فام، ضخامت آن حدود ۱۵۰ الی ۴۰۰ nm تخمین زده شد. اندازه‌گیری طیف بازتاب نمونه‌ها و مقایسه آن با طیف

۵- مراجع

1. J. Roqué, J. Molera, P. Sciau, E. Pantos, M. Vendrell-Saz. Copper and silver nanocrystals in lustre lead glazes: Development and optical properties. *J. Eur. Ceram. Soc.* 26(2006), 3813-3824.
2. A. Caiger-Smith, *Lustre Pottery: Technique, tradition and innovation in islam and the western world*, Faber & Faber. London, 1985.
3. J. Molera, M. Mes quida, J. Perez Arantequi, T. Pradell, M. Vendrell, lustre recipes from a medieval workshop from paterna. *Archaeometry*. 43(2001), 455-460.
4. P. Fredrickx, J. Verbeeck, D. Schryvers, D. Hélar, E. Darque-Ceretti, Nanoparticles in lustre reconstructions. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 852(2005), 851-857.
5. M. Mohammadzadeh Mianji, H. Ghassai, Preparation of zarrin faam 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.
6. A. Polvorinos delrio, S. Roehrs, M. Acouturier, J. Castaing, A. Bouquillon, Medina Al-zahra lustre ceramics: 10 th century local Nanotechnology or important from middle east. *Arab. J. Sci. Eng.* 35(2010), 157-168.
7. I. Borgia, B. Brunetti, I. Mariani, A. Sgamellotti, F. Cariati, P. Fermo, M. Mellini, C. Vitti, G. Padeletti., Heterogeneous distribution of metal nanocrystals in glazes of historical pottery. *Appl. Surf. Sci.* 185 (2002), 206-216.
8. V. Reillon, Caractérisation et modélisation des propriétés optiques et colorimétriques des céramiques lustrées. THESE DE DOCTORAT del 'Université Pierre et Marie Curie. (2008), 20-23.
9. Secrets Retrouvé du Lustre Abbasside, *Revue Céramique & Verre N°*, 139(2004), 13-20.
10. V. Reillon, S. Berthier, C. Andraud, New perspective for the understanding of the optical properties of middle -age nano cermits: the lusters. *Physica B.* 394(2007), 242-247.
11. J. M. Chavarria Climent, *Glazing techniques*, WASTON GUPtill (1999).
12. V. SergeBerthier, S. Chenot, Nanostructures produced by cosputtering to study the optical Properties of artistic middle-age nano-cermets: The lusters. *Physica B.* 394(2007), 238-241.
13. D. W. Hahn., light scattering theory, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Florida. (2009), 1-13
14. U. Vollmer: *Optical properties of metal clusters*, Springer Series in Materials Science, (1995).