

بررسی عوامل موثر در ایجاد طیف‌های رنگی سبز و آبی در لعاب‌های حاوی ترکیبات مس

فاطمه جانبازی^۱، حسین سرپولکی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه صنایع دستی، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران، صندوق پستی: ۴۷۴۱۶۱۳۵۳۴

۲- دانشیار، گروه سرامیک دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۸۴۶

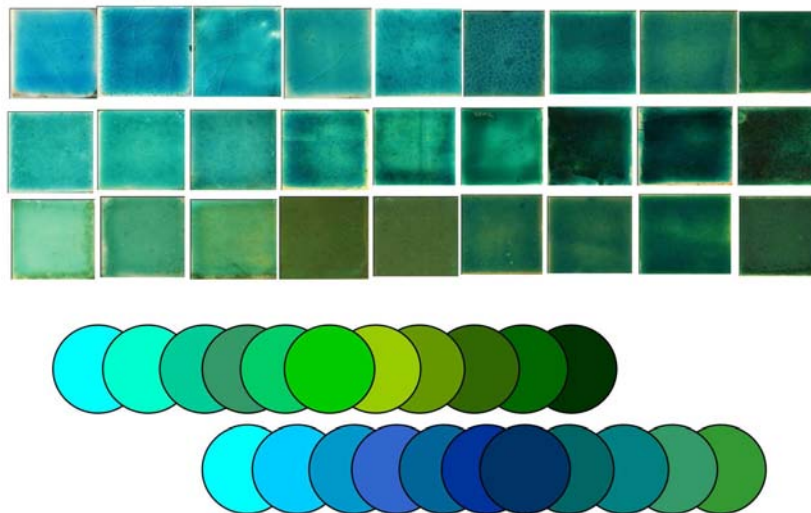
تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۹ تاریخ بازبینی: ۱: ۹۲/۶/۲۴ تاریخ بازبینی: ۲: ۹۲/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۶

چکیده

ترکیبات مس که مهم‌ترین آن اکسید مس است به عنوان عامل مولد رنگ از دیرباز در لعاب‌ها استفاده شده است. از سال‌ها قبل این ترکیبات به علت ایجاد رنگ‌هایی چون سبز، سبز-آبی و فیروزه‌ای در شرایط اکسیداسیون کوره در ترکیب انواع لعاب‌های سربی و قلیایی مورد استفاده قرار گرفته است. این مقاله براساس نتایج حاصل از تحقیق آزمایشگاهی و ساخت نمونه‌های متعدد ارائه شده است. به منظور انجام آزمایش‌ها در شرایط یکسان، یک لعاب پایه در نظر گرفته شده و مقادیر مختلف افزودنی به آن اضافه شد و همچنین تاثیر انگوب بر رنگ لعاب حاوی ترکیبات مس (اکسید مس، کربنات مس و سولفات مس) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افزودنی‌هایی چون کربنات سدیم، بوراکس و اکسید لیتیم در لعاب شفاف پایه سربی و قلیایی منجر به آبی‌تر شدن رنگ لعاب می‌شود که اکسید لیتیم موثرتر بوده است. از سوی دیگر در لعاب‌های شفاف، رنگ بدنه تاثیر زیادی بر رنگ لعاب دارد به همین دلیل بدنه‌ایی که توسط انگوب سفید پوشانده شده‌اند نسبت به بدنه سفالی، طیف‌های مختلفی از آبی فیروزه‌ای ایجاد کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی

لعاب، رنگ آبی فیروزه‌ای، ترکیبات مس، انگوب.



طیف‌های مختلف سبز، آبی و آبی فیروزه‌ای حاصل از ترکیبات مس

*Corresponding author: hsarpoolaky@iust.ac.ir

Study of effective parameters on variety of green and blue colors in copper containing glazes, F. Janbazy, H. Sarpoolaky

۱- مقدمه

پس از این که در آب سریعاً سرد و سپس ساییده شدند به صورت پودر در می‌آیند. این همان پودر لعاب شیشه بی‌رنگ است که در سفال‌گری لعاب اصلی به شمار می‌رود [۲].

۲-۱- ویژگی‌های لعاب

لعاب‌ها در مقابل مواد شیمیایی با pH اسیدی و قلیایی مقاوم‌اند. نفوذ آب در لعاب‌ها بسیار ناچیز و نزدیک به صفر است. همچنین بر روی مواد متخلخل و متراکم، سطوحی شفاف یا پشت‌پوش^۷ را تشکیل می‌دهند. به واسطه استفاده از برخی ترکیبات در لعاب رنگ‌های متفاوتی ایجاد می‌شود.

۲-۲- ترکیبات لعاب

مهم‌ترین مواد اولیه در تهیه لعاب، مواد اولیه اصلی می‌باشند. علاوه بر آن مواد اولیه مات‌کننده و مواد اولیه رنگی که باعث ایجاد رنگ در لعاب می‌شود نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور کلی در هر سری ترکیب، لعاب از ترکیبات کانی‌های طبیعی و مصنوعی تشکیل می‌شود. مهم‌ترین مواد اولیه در تهیه لعاب مواد اولیه اصلی شبکه‌سازها، واسطه‌ها و دگرگون‌سازهای شبکه می‌باشند [۳].

شبکه‌سازها^۸

شبکه‌سازها استخوان‌بندی و پایه شیشه یا لعاب را تشکیل می‌دهند و از کاتیون‌هایی تشکیل شدند که دارای شدت حوضه بسیار قوی هستند و میل و استعداد اتصال شدیدی نسبت به یکدیگر دارند. این شبکه‌سازها در صنعت لعاب‌سازی نیز به عنوان اکسیدهای اسیدی نامیده می‌شوند. [۴] فرمول عمومی آن‌ها عبارتند از: RO_2 , R_2O_3 , R_2O_5 .

دگرگون‌ساز شبکه^۹

این نوع مواد اولیه در داخل فضاهای شبکه قرار گرفته و آن را کم و بیش پر می‌کنند و باعث تغییر و گسستگی در ساختار لعاب یا شیشه می‌شوند [۳]. کاتیون‌های مبدل شبکه دارای شدت حوضه نسبتاً ضعیف‌تری نسبت به شبکه‌سازها هستند و همچنین یون‌ها اتصال کمتری با یکدیگر دارند. این مواد در صنعت لعاب به عنوان اکسیدهای بازی یا قلیایی نامیده می‌شوند [۴]. فرمول عمومی آن‌ها عبارتست از: RO , R_2O .

مواد واسطه

غیر از دو گروه مواد فوق یعنی شبکه‌سازها و مبدل شبکه‌ها یک گروه واسطه یا میانی وجود دارد که نسبت به شرایط موجود، تغییر حالت می‌دهند. این اکسیدهای خنثی یا بی تفاوت، گاهی به عنوان دگرگون‌ساز و گاهی نیز به عنوان شبکه‌ساز در تشکیل لعاب اثر می‌گذارند. فرمول کلی آن‌ها عبارتست از: R_2O_3 .

لعاب‌ها براساس معیارهای متفاوتی طبقه‌بندی شده و به دو صورت سنتی و صنعتی تولید می‌شوند. لعاب پوششی است که به‌صورت لایه‌ای نازک، طی مراحل پخت، روی اشیای سفالین را می‌پوشاند [۱]. در صنعت سرامیک موارد مختلفی جهت تزئین فرآورده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایجاد رنگ در فرآورده‌ها بی‌تردید رایج‌ترین روش تزئین می‌باشد. عوامل رنگزا در لعاب را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱- عناصر واسطه یا انتقالی که اکسیدهای عناصر مولد رنگ و یا ترکیباتی از آن‌ها به عنوان جزئی از مواد اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. ۲- رنگینه‌های معدنی که مخلوطی از اکسیدها و ترکیبات مختلف عناصر مولد رنگ و نیز احتمالاً ترکیبات دیگر (مانند کائولن^۱، فلدسپات^۲، سیلیس^۳ و غیره) می‌باشند که در درجه حرارت‌های مختلف کلسینه شده‌اند. رنگ حاصل از عناصر مذکور یا به‌طور کلی رنگ حاصل از یک ماده مولد رنگ، همواره در تمامی موارد یکسان نبوده و عواملی چون ترکیب شیمیایی محیط اطراف ماده مولد رنگ، محیط و درجه حرارت کوره موثرند. از مهم‌ترین اکسیدهای عامل مولد رنگ می‌توان به ترکیبات مس اشاره کرد. این ترکیبات (خصوصاً اکسید مس) به لحاظ تاریخی از قدیمی‌ترین رنگینه‌ها در لعاب‌سازی بوده که مورد استفاده قرار گرفته و مصری‌ها حدود ۳۰۰۰ ق. م از آن در لعاب استفاده کرده و عامل مهمی در ایجاد طیف‌های سبز و آبی می‌باشند. در راستای مقاله به تاثیر نقش بدنه سفالی و انگوب بر رنگ لعاب‌های حاوی ترکیبات مس، و نیز میزان اکسید مس، کربنات مس و سولفات مس لازم جهت رسیدن به طیف‌های رنگی سبز، آبی و فیروزه‌ای پرداخته شده، رفتار اکسید مس، کربنات مس و سولفات مس از نظر طیف و شدت رنگی مقایسه می‌شود. این فرضیه‌ها مطرح می‌گردد که: طیف‌های آبی و سبز کم رنگ‌تری از کربنات مس و سولفات مس در حین پخت لعاب، نسبت به اکسید مس در لعاب شفاف ایجاد می‌شود. همچنین حضور ترکیبات مس در لعاب‌های قلیایی و سربی سبب به وجود آمدن طیف‌های رنگی فیروزه‌ای، آبی و سبز خواهد شد. و نیز ترکیب شیمیایی و رنگ بدنه در ایجاد رنگ‌های حاصل از ترکیبات مس موجود در لعاب‌ها موثر است.

۲- لعاب

لعاب شیشه‌ای در اثر حرارت سیلان یافته^۴ و به صورت شفاف و بی‌رنگ (حاکی ماورا)^۵ یا مات (حاجب ماورا)^۶ تجلی می‌کرده است. پاره‌ای از اکسیدها از جمله اکسید سیلیس (سیلیکا)، فلدسپات، گرافیت، کربنات باریم، قلیا و غیره در اثر حرارت زیاد به شیشه شفاف تبدیل می‌گردند و

^۱ Kaolin
^۲ Feldespat
^۳ Silica

^۴ روان شدن

^۵ به لعاب‌های شفاف و بی‌رنگ که رنگ بدنه قابل دیدن است، پشت پیدا (حاکی ماورا) گویند.

^۶ به لعاب‌های مات که رنگ بدنه قابل دیدن نیست، پشت ناپیدا (حاجب ماورا) گویند.

^۷ Opaque

^۸ Network forming-element

^۹ Network modifier or modifying ion

۲-۳- انواع لعاب

انواع دسته‌بندی در مورد لعاب وجود دارد که آن را از نظر ترکیب شیمیایی، روش تولید و شکل ظاهری متمایز می‌دارد. از لحاظ ترکیب شیمیایی، می‌توان به لعاب سربی و قلیایی اشاره کرد.

لعاب سربی^۱

استفاده و تهیه لعاب‌های سربی در اواخر هزاره دوم و هزاره اول گسترش یافت [۵]. در لعاب‌های سربی خالص اکسید سرب تنها گدازآور موجود می‌باشد که «عمل ذوب را تسریع و همچنین موجب ازدیاد شفافیت و درخشندگی لعاب می‌شود [۴]. درجه حرارت این نوع لعاب حدود ۸۸۰°C می‌باشد و فقط از سیلیس و اکسیدهای آلومینیم و سرب استفاده می‌شود [۶].

لعاب قلیایی^۲

لعاب‌های قلیایی خالص شامل گدازآورهای عمده اکسیدهای سدیم و پتاسیم می‌باشند. برای پایین آوردن دمای ذوب از این گدازورها و استفاده می‌گردد. اکسیدهای قلیایی باعث افزایش ضریب انبساط حرارتی، حلالیت اکسیدهای رنگی، درخشندگی لعاب، پایین آمدن دامنه پخت می‌شوند. بر روی اکثر بدنه‌ها ترک‌های مویی ایجاد می‌کنند، و این به دلیل تأثیری است که بر ضریب انبساط حرارتی لعاب می‌گذارد. از لحاظ روش تولید نیز می‌توان به لعاب‌های خام و فریت اشاره داشت.

لعاب خام^۳

با لعاب‌کاری خام هزینه تهیه کاهش می‌یابد. بدنه خام تخلخل کمتری نسبت به بدنه بیسکویت شده دارد. لعاب خام معمولاً از مواد اولیه پودری شکل غیر محلول در آب، کانی‌ها و ترکیبات شیمیایی که به صورت دوغاب در می‌آیند، تشکیل شده است [۷].

لعاب فریت^۴

فریت، یک ترکیب سرامیک، و به طور مشخص‌تر جزئی از مواد تشکیل دهنده لعاب‌ها (و گاهی بدنه‌ها) می‌باشد که پس از ذوب، به سرعت سرد شده و به تکه‌های شیشه‌ای تبدیل می‌گردد [۶]. از مزایای فریت می‌توان به مواردی اشاره نمود که عبارتند از: مواد اولیه محلول در آب را به ترکیبات نامحلول تبدیل می‌کند. مواد اولیه سمی را به ترکیبات غیر سمی تبدیل می‌کند. گازهای نامطلوبی که از بعضی مواد اولیه مانند موادی حاوی گازهای کربن در هنگام پخت آزاد می‌شود را خارج می‌کند و به همین دلیل مانع از بروز حباب و ناصافی لعاب می‌گردد. سبب می‌شود لعاب بهتر و سریع‌تر ذوب شود. از اثرات بدی مانند لعاب نگرفتگی جلوگیری می‌کند. از لحاظ شکل ظاهری می‌توان به لعاب‌های

شفاف^۵، لعاب‌های پشت‌پوش و لعاب‌های براق^۶ و مات^۷ اشاره کرد. لازم به ذکر است که لعاب‌های شفاف تحت عنوان رایج به لعاب‌های شفاف، و لعاب‌های اپک نیز به لعاب‌های کدر مرسوم شده‌اند.

الف- لعاب‌های شفاف و پشت‌پوش

بعضی لعاب‌ها به گونه‌ای هستند که رنگ خمیر بدنه و یا تزئینات زیر آن به آسانی دیده می‌شود (لعاب‌های پشت پیدا). برخی دیگر همچون پوششی مانع از رویت رنگ خود سفال در زیر لعاب می‌شود (لعاب‌های پشت ناپیدا). این لعاب‌ها دارای سطح خارجی صیقلی و براق هستند. در اکثر موارد این لعاب‌ها باید سفید بی‌رنگ باشند و به نوعی بدنه‌های رنگی را بپوشانند.

ب- لعاب‌های براق و مات

لعاب‌های براق دارای سطحی صاف و هموار می‌باشند و به همین علت سبب انعکاس تصاویر در سطح جسم لعاب‌دار می‌شود. لعاب‌های مات کم و بیش دارای سطوح خشن و ناهمواری بوده که به راحتی کثیف شده و به سختی تمیز می‌گردند. لعاب‌های مات متضاد لعاب‌های براق بوده و کلیه این لعاب‌ها اپک نیز هستند.

۳- رنگ

رنگ‌ها نوعی احساس بصری می‌باشند که اثرهای کمابیش عمیقی بر بیننده می‌گذارند. در محدوده نورهای قابل رؤیت، چشم انسان نورهایی با طول موج‌های مختلف را به صورت رنگ از یکدیگر تمیز می‌دهد. مثلاً امواجی با طول موج ۷۰۰ nm به رنگ قرمز و امواجی با طول موج حدود ۴۰۰ nm به رنگ بنفش مشاهده می‌گردند [۸].

۳-۱- ویژگی‌های رنگ

برای توجیه یا شرح دادن یک رنگ، سه ویژگی زیر دارای اهمیت است:

الف- کیفیت^۸ رنگ که نوع رنگ یک جسم را تعیین می‌کند و صفتی از رنگ است که جایگاه آن را در سلسله رنگی (از قرمز تا بنفش) مشخص می‌کند.

ب- اشباع^۹ رنگ که شدت درجه رنگین بودن و میزان خلوص فام آن را مشخص می‌کند مانند زرد پر رنگ یا قرمز تند و غیره که مشخص می‌کند. و به مقدار نور جذب شده و یا منعکس شده بستگی دارد.

ج- «شدت»^{۱۰} رنگ نیز غلظت و یا پرنگی نور را تعیین نموده و با توجه به مقدار نور سفیدی که تجزیه گردیده مشخص می‌شود. [۶].

⁵ Transparent

⁶ Brilliant or Shiny

⁷ Matt

⁸ Quality

⁹ Lightness

¹⁰ Saturation

¹ Lead glaze

² Alkaline glaze

³ Raw glaze

⁴ Frit glaze

پخش می‌شوند. و سعی می‌شود تا حد امکان مقدار کمی از رنگدانه، توسط مذاب لعاب حل شود. باید توجه داشت که رنگ خود مواد اضافه‌شده یک تیرگی در لعاب ایجاد می‌کند. استفاده از رنگ‌های کلئیدی از دیگر روش‌های رنگی کردن لعاب است. در رنگ‌های کلئیدی ذرات سوسپانسیونی لعاب به اندازه‌های کلئیدی ۱۰ تا ۱۰۰ nm وجود دارند. این ذرات، طول موج خاص اندازه ذرات را جذب کرده و فقط محدوده‌های قرمز، زرد و آبی را منعکس می‌کند [۷].

۴- نقش ترکیبات مس در لعاب

مس یکی از عناصر شیمیایی با نشانه Cu دارای عدد اتمی ۲۹ و وزن اتمی ۶۳/۵۴۶ است. به دلیل برخورداری از خواص شیمیایی، فیزیکی، الکتریکی و مکانیکی فوق‌العاده جزء عناصر بسیار سودمند محسوب می‌گردد. ترکیبات مختلف مس در صنعت سرامیک بخصوص در لعاب به‌عنوان عوامل رنگزا استفاده می‌شوند که در جدول ۱ به برخی از آنها اشاره شده است. «مصرف مس کمتر مورد توجه صنایع است اما برای هنرمندان و سنتی‌کاران به خاطر ته رنگ‌های متفاوت‌ترین جذابیت را دارد. این تفاوت ته‌رنگ‌ها به خاطر اثر pH لعاب مصرفی بر روی رنگ حاصل از مس می‌باشد. اگر پوشش، ماده قلیایی داشته باشد آبی فیروزه‌ای رنگی به دست می‌آید اما اگر پوشش ماده اسیدی داشته باشد نتیجه رنگ سبز زیبایی خواهد بود.» [۹].

۴-۱- اکسید مس (CuO)

اکسید مس معمولاً در ترکیبات سرامیک باعث ایجاد ته رنگ‌های سبز می‌گردد. ولی چنانچه در لعاب‌های حاوی مقادیر زیادی اکسیدهای قلیایی به کار روند، ته رنگ‌های زیبای آبی، سبز آبی و فیروزه‌ای به وجود می‌آید [۶]. رنگ‌های سبز و آبی حاصل از اکسید مس، به شدت در برابر محیط کوره حساس می‌باشند. و به منظور کسب این رنگ‌ها لازم است که محیط کوره اکسیدکننده باشد [۶].

بنابراین هر رنگ ویژگی‌های مربوط به خود را دارد که توجه به انواع رنگ‌ها و ویژگی‌های آن‌ها در بسیاری از موارد حالات ذهنی و عاطفی - روانی خاصی را موجب شده و اثرات خاصی را در مخاطب ایجاد می‌کند.

۳-۲- رنگ در لعاب

یکی از مواد عمده و مهم لعاب، مواد رنگزا است که تعیین کننده زیبایی و به عنوان عنصری چشم نواز در آثار سفالی باعث جلب نگاه مخاطب و افزودن ارزش بصری می‌گردد. برای تغییر شکل ظاهری اجسام سرامیکی، رنگ لعاب دارای اهمیت زیادی است. از عوامل موثر بر رنگ لعاب می‌توان به ترکیب عمومی لعاب، نوع و مقدار مواد رنگی، نحوه آسیاب کردن، دمای پخت، اتمسفر و محیط کوره، میزان ضخامت، رنگ بدنه اشاره کرد. «برای رنگ کردن لعاب‌ها، از کربنات‌ها و فسفات‌های غیرمحلول، اکسیدها، به ندرت کلریدها، نیترات‌ها، سولفات‌های محلول در آب استفاده می‌شود.» [۳]. رنگ‌های حاصل از عوامل مولد رنگ در درجه حرارت‌های بالا ممکن است تغییر نموده و یا از بین روند. بنابراین بسیاری از این عوامل مولد رنگ در درجه حرارت خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مثلاً رنگ‌های سبز و آبی حاصل از ترکیبات مس در بالاتر از درجه حرارت‌هایی حدود ۱۰۰۰ °C از بین می‌روند [۶]. معمولاً برای به دست آوردن رنگ یکنواخت در لعاب‌های مات از اکسیدها جهت رنگ کردن استفاده نشده بلکه از ترکیبات آن‌ها که قابلیت پخش‌شوندگی مناسب‌تری دارد به‌کار گرفته می‌شود. اگر به یک حالت رنگ غیریکنواختی احتیاج باشد از اکسیدها استفاده می‌شود و همچنین آن‌ها را کمتر آسیاب می‌کنند یا اینکه فقط آن‌ها با لعاب پایه مخلوط کرده و به این صورت مورد استعمال قرار می‌دهند. در موقع اضافه کردن کربنات‌ها به عنوان ماده رنگ‌کننده به لعاب باید مقدار آن‌ها را به دقت محاسبه کرد زیرا نمی‌توان به همان مقدار که اکسید وارد لعاب می‌شود به همان اندازه کربنات جهت رنگ کردن اضافه نمود [۴]. از دیگر عوامل مولد رنگ در لعاب استفاده از رنگدانه‌هاست. در این شیوه مواد رنگی به صورت ذرات ریز در لعاب

جدول ۱- منابع تامین‌کننده ترکیبات مس.

فرمول شیمیایی	انواع ترکیب‌های مس
CuO	اکسیدمس دوظرفیتی، پودر سیاه، سمی
CuCO ₃ .Cu(OH) ₂	کربنات هیدروکسید مس دوظرفیتی، کربنات مس قلیایی، پودر سبزآبی، سمی
Cu ₃ (PO ₄) ₂	فسفات مس، سمی
Cu(CH ₃ COO) ₂ .2H ₂ O	استات مس دوظرفیتی، پودر سبز، سمی
CuCl ₂ .2H ₂ O	دی‌هیدرات کلرید مس، محلول در آب، سمی
CuCl ₂	کلرید مس، سمی
Cu(NO ₃) ₂ .3H ₂ O	نیترات مس دوظرفیتی، محلول در آب، سمی
CuSO ₄ .5H ₂ O	سولفات مس دوظرفیتی، محلول در آب، سمی
Cu(OH) ₂ .CuCO ₃	فریت رنگی حاوی مس، جسم رنگی حاوی مس، مالاخیت

۴-۲- کربنات مس (CuCO_3)

بوراکس ($2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$): بوراکس متشکل از اکسید سدیم و اسید بوریک می‌باشد. این ماده همانند کربنات سدیم محلول در آب می‌باشد و نقش قلیایی آن در لعاب امکان تغییر رنگ در لعاب با وجود ترکیبات مس را محرز خواهد کرد. بوراکس^۲ اگر به صورت خالص باشد می‌تواند به‌عنوان پاک‌کننده و گندزدا و گدازآور استفاده شود.

۵- تاثیر انگوب بر عوامل مولد رنگ در لعاب

«انگوب» یا گلابه همان دوغاب سرامیکی است که برای پوشاندن سطح بدنه و بیشتر به منظور تغییر رنگ بدنه سفالینه به رنگ سفید به کار می‌رود. «یک لایه انگوب که از ترکیبات رسی شیشه‌ای شده بر روی بدنه می‌زند، پوششی است برای کاهش تخلخل بدنه و جلوگیری از خروج مواد فرار.» [۱۲]. اعمال انگوب، هنگامی صورت می‌پذیرد که بدنه تا حدودی آب خود را از دست داده ولی هنوز به طور کامل خشک نگردیده است. در بسیاری موارد لازم است که به منظور تزیین قطعه، انگوب‌هایی به رنگ‌های مختلف مثل آبی، سبز، صورتی و غیره مورد استفاده قرار گیرند که بدین منظور نیز از رنگینه‌های^۳ مختلف استفاده می‌شود.

۶- بخش آزمایشگاهی و تجربی

۶-۱- مواد

الف- بدنه‌های به کار گرفته شده

۱- بدنه سفالی ۲- بدنه سفید پخت (انگوب)

جدول ۲ - مقادیر مواد به کار رفته جهت انگوب.

نام ماده	مقدار
کائولن زنون	۱۰۰۰ گرم
بالکلی ^۴ NT-2	۸۰۰ گرم
فلدسپات چغایی	۲۰۰ گرم
کربنات سدیم	۲ گرم
سیلیکات سدیم	۷/۴۲ گرم
آب	۱۱۴۰ سی سی

ب- لعاب‌های به کار گرفته شده

لعاب انتخابی، لعاب شفاف پایه سربی و قلیایی از کارخانه لعاب مشهد (سربی با کد ۲۳۹ و قلیایی با کد ۲۰۳) که مطابق جزییاتی که تولیدکننده در اختیار گذاشته است، درصد اکسیدهای قلیایی در محدوده ۶۰ تا ۷۰٪ وزنی در لعاب‌های قلیایی و لعاب سربی شامل ۶۰٪ وزنی سرنج می‌باشد.

ج- ترکیبات مس جهت نمونه آزمون‌ها

از اکسید مس، کربنات مس و سولفات مس که صنعتی و آزمایشگاهی بوده و ساخت کشور آلمان می‌باشند، استفاده شد.

کربنات مس پودر سبز رنگی بوده و میزان استفاده از آن جهت به دست آوردن رنگ، با اکسید مس متفاوت است. چرا که دی اکسید کربن با افزایش دما آزاد شده و خارج می‌گردد و آنچه باقی می‌ماند اکسید مس است. در درجات حرارتی کم در لعاب‌های قلیایی بالا، کربنات مس رنگ‌های فیروزه‌ای^۱ (آبی ایرانی) تولید می‌کند. کربنات مس در لعاب‌های سربی رنگ سبز ایجاد می‌کند و همچنین تا ده برابر بر میزان سمی بودن لعاب‌های سربی می‌افزاید و بنابراین این نوع لعاب‌ها را نباید برای ظروف غذاخوری و یا آشامیدنی مصرف کرد [۱۰].

۴-۳- سولفات مس ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

این ماده، اکثراً تحت عنوان کات کبود شناخته می‌شود و به شکل بلورهای ریز آبی رنگ بوده و محلول در آب می‌باشد. «این ترکیب، منبعی برای آب‌کاری و بالاخره به عنوان یک ماده قارچ‌کش مورد استفاده واقع می‌گردد. چنانچه در معرض حرارت واقع شود به تدریج به سولفات سه آبه و با درجه حرارت بیشتر به سولفات سفید رنگ بدون آب تبدیل می‌گردد. چنانچه درجه حرارت افزایش یابد در بالاتر از 70.2°C تجزیه شده به SO_3 و CuO تبدیل می‌شود.» [۱۱].

۴-۴- تاثیر افزودنی‌های موثر بر رنگ لعاب‌های حاوی مس

اکسید پتاسیم (K_2O) و اکسید سدیم (Na_2O): این مواد جزء قلیایی‌ها هستند. در لعاب‌های محتوی اکسید پتاسیم و سدیم، ترکیبات مس، رنگ آبی تولید می‌کنند که با افزایش مقدار قلیایی‌های لعاب این رنگ شدیدتر می‌شود، تا زمانی که نهایتاً لعاب کاملاً قلیایی خالص شده و رنگ آن نیز سرانجام آبی شود. این رنگ آبی بنام آبی ایرانی و در برخی کتاب‌ها آبی مصری نامیده می‌شود. اکسید سدیم و پتاسیم در بسیاری موارد ویژگی‌های برابر و مشابه‌ای دارند ولی اثر آن‌ها بر روی اکسیدهای رنگ‌کننده تا حدی متفاوت است [۴].

کربنات سدیم (Na_2CO_3): این ماده از مشتقات اکسید سدیم می‌باشد که محلول در آب است. استفاده خام آن در لعاب می‌تواند مشکلاتی چون شوره زدن، ایجاد حباب و جوش زدن را به وجود آورد. در صنعت سرامیک این مواد را به صورت نامحلول (از طریق فریت) تبدیل خواهند کرد. وجود این ماده در لعاب، نقش قلیایی داشته که افزودن آن به ترکیبات مس سبب تغییر رنگ لعاب خواهد شد.

اکسید لیتیم (Li_2O): اکسید لیتیم فعال‌ترین کمک ذوب قلیایی است. در مقایسه با دیگر اکسیدهای قلیایی، عیب حباب‌زایی به واسطه استفاده از آن بیشتر به وجود خواهد آمد [۹]. لعاب‌های لیتیمی با اکسید مس یا ترکیبات دیگر آن رنگ آبی می‌دهد که با افزایش مقدار اکسید مس این رنگ شدیدتر می‌شود. این ماده «باعث کاهش درجه حرارت پخت بدنه و ذوب لعاب و کاهش انبساط حرارتی می‌گردد» [۶].

² Borax

³ Stain

⁴ Ball clay

¹ Persian blue

د- افزودنی‌های لعاب از کربنات سدیم، اکسید لیتیم و بوراکس استفاده شد که تمامی این افزودنی‌ها صنعتی و آزمایشگاهی می‌باشند. کربنات سدیم و اکسید لیتیم ساخت کشور آلمان و بوراکس محصول کشور ترکیه بود.

ه- دما و محیط کوره

دمای نهایی پخت لعاب و بدنه 1000°C و 20 دقیقه توقف برای پخت لعاب در بیشینه درجه حرارت می‌باشد. زمان رسیدن لعاب به دمای نهایی 7 ساعت در نظر گرفته شده است. محیط کوره دارای شرایط اکسیداسیون برقی بود.



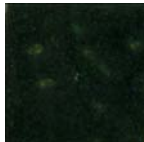
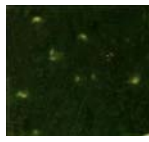




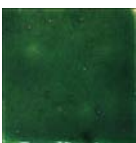
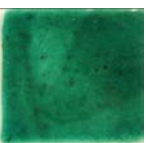
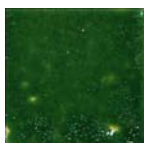
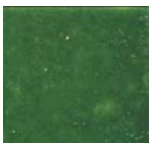
۲-۶- روش کار

ترکیب مورد نظر مطابق فرمولاسیون توزین شده و پس از اختلاط دستی در هاون ساییده و با افزودن مقادیر کافی آب، به‌صورت دوغاب لعاب آماده شد.

۷- نتایج و بحث

در این تحقیق نتایج و بحث از طریق آزمایش نمونه‌های متعدد و نتایج از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. ترکیبات مس در لعاب شفاف قلیایی به رنگ آبی و در لعاب سربی به رنگ سبز تمایل دارد. حضور انگوب سبب می‌شود از شدت رنگ، رنگ‌های حاصل از ترکیبات مس در لعاب شفاف سربی و قلیایی، کاسته شود (جدول ۳).

جدول ۳- تاثیر لعاب پایه (شفاف سربی و قلیایی) و بدنه (سفالی و انگوب) بر رنگ حاصل از ترکیبات مس در لعاب.


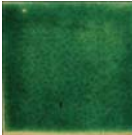



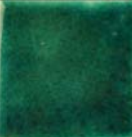
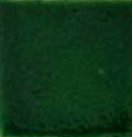





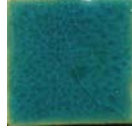
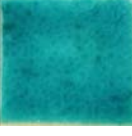


مقدار ترکیبات مس	شفاف قلیایی		شفاف سربی	
	بدنه سفالی	بدنه انگوب	بدنه سفالی	بدنه انگوب
۷ درصد اکسیدمس				
۷ درصد سولفات مس				
۷ درصد کربنات مس				

تاثیر بوراکس بر رنگ حاصل از اکسید مس و کربنات مس را در جدول ۵ مشاهده کرده که با توجه به نمونه‌های آزمایش شده این‌گونه نتیجه می‌شود که افزایش بوراکس (از ۱۰ گرم به ۱۵ گرم) در لعاب حاوی ترکیبات مس، رنگ لعابی را به سمت سبز-آبی سوق می‌دهد که این در لعاب قلیایی تا حدودی محسوس بوده و در لعاب سربی تغییر قابل ملاحظه‌ای را ایجاد نکرده است. با استفاده از کربنات مس در لعاب‌های پایه در حضور بوراکس رنگ‌های فیروزه‌ای بر بدنه انگوب ایجاد شده و استفاده از بوراکس خصوصاً در لعاب سربی مواردی چون از هم گسیختگی لعاب را ایجاد کرده است. تاثیرات کربنات سدیم و بوراکس به میزان برابر (۱۰ گرم) در حضور ۱۰ گرم سولفات مس در جدول ۶ مشاهده می‌شود که در لعاب قلیایی با حضور کربنات سدیم و بوراکس بر بدنه سفال رنگ سبز و بدنه انگوب رنگ سبز فیروزه‌ای ایجاد می‌گردد و این در حالی است که در لعاب سربی نتایج چندان مطلوبی به دست نیامد و جدایش لعاب خصوصاً در استفاده از بوراکس به وجود آمد.






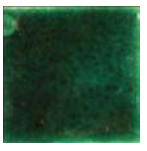
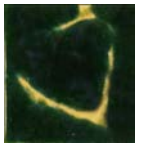

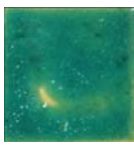


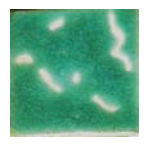




جدول ۴ تاثیر کربنات سدیم بر رنگ حاصل از اکسید مس و کربنات مس را نشان می‌دهد که با توجه به نمونه‌های آزمایش شده این‌طور نتیجه می‌شود که حضور کربنات سدیم (۱۰ گرم) در لعاب حاوی اکسید مس (۴ گرم) سبب ایجاد رنگ سبز بر بدنه سفال و انگوب در لعاب سربی و قلیایی می‌شود و با افزایش مقدار کربنات سدیم به ۱۵ گرم رنگ لعاب به سمت سبز آبی تمایل پیدا کرده است و این تغییر در لعاب قلیایی محسوس‌تر است.

همچنین تاثیر مقدار ۱۰ گرم کربنات سدیم در ۴ گرم کربنات مس سبب ایجاد رنگ سبز آبی در بدنه‌های سفالی در لعاب سربی و قلیایی شده، در بدنه انگوب رنگ فیروزه‌ای را در لعاب قلیایی ایجاد کرده و در لعاب سربی تغییری حاصل نشده است. با افزایش میزان کربنات سدیم (۱۵ گرم) رنگ لعاب تمایل بیشتری به سمت آبی بر بدنه سفالی و فیروزه‌ای بر بدنه انگوب در لعاب قلیایی داشته و این در حالی است که در لعاب سربی چندان محسوس نمی‌باشد.







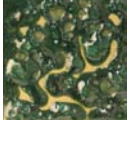

جدول ۴- تاثیر کربنات سدیم و افزایش آن بر رنگ حاصل از اکسید مس و کربنات مس در لعاب پایه.

مقدار ترکیبات مس	شفاف قلیایی		شفاف سربی		مقدار کربنات سدیم
	بدنه سفالی	بدنه انگوب	بدنه سفالی	بدنه انگوب	
۴ درصد اکسید مس					۱۰ درصد
					۱۵ درصد
۴ درصد کربنات مس					۱۰ درصد
					۱۵ درصد

جدول ۵- تاثیر بوراکس و افزایش آن بر رنگ حاصل از اکسید مس و کربنات مس در لعاب پایه.

مقدار ترکیبات مس	شفاف قلیایی		شفاف سرپی		مقدار بوراکس
	بدنه سفالی	بدنه انگوب	بدنه سفالی	بدنه انگوب	
۴ درصد اکسید مس					۱۰ درصد
					۱۵ درصد
۴ درصد کربنات مس					۱۰ درصد
					۱۵ درصد

جدول ۶- تاثیر کربنات سدیم و بوراکس بر رنگ حاصل از سولفات مس در لعاب پایه.

مقدار سولفات مس	شفاف قلیایی		شفاف سرپی		افزودنی‌ها
	بدنه سفالی	بدنه انگوب	بدنه سفالی	بدنه انگوب	
۱۰ درصد					۱۰ درصد کربنات سدیم
					۱۰ درصد بوراکس

کاسته شده و انواع رنگ فیروزه‌ای بر بدنه انگوب ایجاد شود. همچنین افزایش مقدار کربنات مس (از ۴ به ۷ گرم) با کاهش اکسید لیتیم (از ۱۰ به ۷ گرم) به شدت رنگ افزوده و تونالیته مختلفی از سبز بر بدنه سفال و طیف‌های مختلف فیروزه‌ای بر بدنه انگوب ایجاد می‌گردد. در مورد سولفات مس پایه لعاب تفاوت چندان محسوسی در رنگ حاصله ایجاد نکرده و این در حالی است که نوع بدنه

جدول ۷ تاثیر اکسید لیتیم بر رنگ حاصل از ترکیبات مس را نشان می‌دهد. اکسید مس (۴ گرم) با حضور اکسید لیتیم (۵ گرم) در لعاب قلیایی بر روی سفال رنگ سبز و روی انگوب هم سبز - آبی و در لعاب سرپی، رنگ سبز ایجاد کرده که این رنگ بر بدنه انگوب روشن‌تر است. افزایش اکسید لیتیم (از ۵ به ۷ و ۱۰ گرم) با ثابت نگه داشتن اکسید مس (۴ گرم) باعث می‌شود از شدت رنگ

به المنتها نزدیکتر شدند که تا حدی در برطرف کردن این عیوب موثر بوده است و نشان می‌دهد درجه حرارت از عوامل مهم بر رنگ لعاب است. به‌طوری‌که از تیرگی رنگ کاسته شده است.

تفاوت رنگ‌ها را نشان می‌دهد که بدنه سفالی به رنگ سبز و بدنه انگوب به رنگ فیروزه‌ای می‌باشد. لازم به ذکر است در مواردی به دلیل ایجاد برخی عیوب چون تشکیل حباب و شوره زدن در سطح لعاب، نمونه‌ها مجدداً پخته و



جدول ۷- تاثیر اکسید لیتیم و افزایش آن بر رنگ حاصل از ترکیبات مس در لعاب پایه.

مقدار ترکیبات مس	شفاف قلبایی		شفاف سربی		مقدار اکسید لیتیم
	بدنه سفالی	بدنه انگوب	بدنه سفالی	بدنه انگوب	
۴ درصد اکسید مس					۵ درصد
					۷ درصد
					۱۰ درصد
۴ درصد کربنات مس					۱۰ درصد
۷ درصد کربنات مس					۷ درصد
۷ درصد سولفات مس					۱۰ درصد

۸- نتیجه‌گیری

با توجه به نمونه‌های آزمایش شده، در راستای اهداف این تحقیق چنین نتیجه می‌شود که:

۱- میزان ۴ گرم اکسید مس و کربنات مس و ۷ گرم کربنات مس و سولفات مس، در حضور افزودنی‌هایی چون: اکسید لیتیم (۵، ۷ و ۱۰ گرم)، بوراکس و کربنات سدیم (۱۰ و ۱۵ گرم) جهت ایجاد طیف‌های سبز، آبی و فیروزه‌ای مناسب بوده است که در درجه حرارت ۱۰۰۰ °C در زمان ۷ ساعت ایجاد شده است.

۲- در لعاب‌های سربی امکان ایجاد رنگ سبز بیشتر است و در لعاب‌های قلیایی سبزه‌ها کم‌رنگ‌تر و تمایل به آبی شدن دارند.

۳- کلیه لعاب‌های با تونالیته مختلف آبی فیروزه‌ای روی بدنه‌های حاوی انگوب به دست آمده‌اند.

۴- مقادیر مساوی اکسید مس، کربنات مس و سولفات مس در لعاب شفاف (سربی، قلیایی) روی انگوب باعث شدند اکسید مس رنگ سبز تیره، کربنات مس رنگ سبز متوسط و سولفات مس رنگ آبی فیروزه‌ای مایل به سبز بسیار روشن داشته و همین مقادیر روی بدنه سفال باعث شده، اکسید مس رنگ سبز و آبی با جلای فلزی، کربنات مس رنگ سبز متوسط مایل به زیتونی و سولفات مس رنگ زیتونی ایجاد نماید.

۵- در لعاب‌های سربی و قلیایی با مقادیر مساوی کربنات سدیم یا بوراکس یا اکسید لیتیم و مقادیر مساوی کربنات مس و اکسید مس، مشاهده شد که لعاب‌های حاوی کربنات مس رنگ‌مایه آبی‌تری نسبت به

لعاب‌های حاوی اکسید مس دارند. به این دلیل که کربنات مس نسبت به اکسید مس مقادیر کمتری اکسید مس وارد فرمول شیمیایی می‌نماید. $(\text{CuCO}_3 \rightarrow \text{CuO} + \text{CO}_2 \uparrow)$. هرچه میزان اکسید مس کاهش یابد، رنگ لعاب به سمت آبی سوق پیدا می‌کند. بنابراین منبع تامین مس خود بر رنگ لعاب تاثیر دارد.

۶- از بین مقادیر مساوی افزودنی‌های نام‌برده در لعاب حاوی سولفات مس سبب شده رنگ لعاب بر بدنه انگوب در حضور بوراکس سبز با حضور کربنات سدیم سبز آبی و در حضور اکسید لیتیم آبی شده و بر بدنه سفال رنگ لعاب سبز شود.

۷- افزایش افزودنی‌های به کار گرفته شده (اکسید لیتیم، کربنات سدیم و بوراکس) در لعاب سربی و خصوصاً قلیایی بر بدنه سفالی و انگوب با میزان برابر ترکیبات مس سبب شده رنگ لعاب آبی‌تر شده و از شدت رنگ کاسته شود و از بین آن‌ها اکسید لیتیم در ایجاد رنگ آبی فیروزه‌ای خصوصاً روی بدنه انگوب موثرتر بوده است.

۸- در لعاب‌های شفاف پایه قلیایی نتایج بهتر و کم‌عیب‌تری نسبت به لعاب شفاف پایه سربی به دست آمده است. (مواردی چون شوره زدن، ایجاد حباب، عدم یکنواختی و تنوع کمتری ازطیف‌های سبز و آبی در لعاب‌های سربی بیشتر محسوس است).

۹- رنگ حاصل از لعاب، تابع درجه حرارت، اتمسفر و محیط کوره، نوع لعاب و مواد مورد استفاده در ترکیب با لعاب می‌باشد که در این مقاله این موارد مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۹- مراجع

1. L. Rafiee, "Iranian pottery", Yasavoli, Tehran, 54, 1998.
2. S. Kambakhsh Fard, "Ceramics and pottery in Iran (from the early Neolithic Until the recent), Ghoghnoos, Tehran, 455, 2001.
3. B. Mir-Hadi, "Raw materials and colors glazes and their calculating", Amirkabir University, Tehran, 53, 57, 104, 2001.
4. M. M. Abbasian, "Glaze making and The glaze colours industry", second Printing, Gothenburg, Tehran, 16, 17, 27, 164, 129, 2000.
5. F. Tohidi, "Technique and art of pottery", Samt, Tehran, 166, 2000.
6. A. Rahimi, M. Matin, "Technology of fine ceramics", Vol. 1 and 2, Fourth Printing, Company of sahami Enteshar, Tehran, 145, 484, 512, 521, 517, 529, 127, 2007.
7. B. Mir-Hadi, "Theory and Technology of Ceramic Glaze", Amirkabir University, Tehran, 2001.161, 118.
8. J. Ethan, translator J. Bahram Doust, "Elements of Color", Efaf, Tehran, 1999.
9. A. Aplr, Richard, Douglas R. Aplr, translator H. Shams nazari, "Glazes and glass coatings", Danesh Iran, Tehran, 164, 26, 2003.
10. S. Gorjestani, "Education of ceramics art & Technique, Art University", Tehran, 285, 2000.
11. S. Ahmadi, "Encyclopedia of compressed chemistry and chemical engineering", Vol 2, Company of Standard Foundation, Tehran, 839, 1994.
12. Translator S. Hashemi zenuz, Production process of Ceramic tile" (From technology through machinery to kilns: for sacmi tile), Iranian Ceramic Society, Tehran, 2002.