



مطالعه علمی سفال‌های خمیر سخت آبی - سفید اواخر اسلام در ایران^۱

یانینگ ما، ژیمین لی، لیانگرن ژانگ، جینگوی وو، بینگفی شیونگ، علی وحدتی، جیاپانگ ژانگ.

برگردان به پارسی: فاطمه ابتهجی^۲

دانش آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹



چکیده

سفال‌های خمیر سخت آبی^۳ - سفید نتیجه نوآوری‌ها و تلاش سفالگران خاور نزدیک برای تقلید از محصولات چینی در طول دوره اسلامی می‌باشد. براساس نتایج مطالعات قبلی، این مقاله درصدد افزایش دانش ما درباره این نوع سفال، با آنالیز کردن ۱۶ نمونه دوره قاجار از تپه نادری شمال استان خراسان ایران است که به وسیله میکروسکوپ استریو (سه بعدی)^۴، طیف سنجی رامان^۵ و میکروسکوپ الکترونی روبشی^۶ انجام شده است. این آنالیزها نشان می‌دهد که خمیر نمونه‌ها از سیلیکون و قلیای بالای تشکیل شده که نشانه سفال‌های سنتی ایران می‌باشد. نمونه‌ها با لعاب قلیایی شفاف پوشیده شده‌اند و با عناصر شیمیایی Cr, Co, Fe و Mn بدست آمده از کرومیت، هماتیت و فریت کبالت رنگ شده‌اند؛ فریت کبالت از سنگ معدن این ماده، شناسایی شده از قمصر (کاشان) در ایران استخراج گردیده است. هرچند در حال حاضر منشأ این نمونه‌ها را به دلیل کم بودن مطالعات (نبودن مطالعات) سفال‌های هم عصر در خاور نزدیک، نمی‌توان مورد بررسی قرار داد.

واژه‌های کلیدی: لعاب آبی - سفید، کبالت آبی، ایران، دوره قاجار، خمیر سخت.

۱ برای دسترسی به مقاله اصلی و لینک‌های داده‌ها به آدرس زیر مراجعه شود: <https://doi.org/10.1111/arc.12765>

۲ Fa.ebtehaji@gmail.com

۳ رایانامه مترجم:

۳ Stone paste wares

۴ Stereo microscopy

۵ Raman spectroscopy

۶ scanning electron microscopy

مقدمه

سفال‌های خمیر سخت آبی - سفید نتیجه نوآوری‌ها و تلاش سفالگران خاور نزدیک برای تقلید از محصولات چینی در طول دوره اسلامی می‌باشند.^۱ تکنیک ساخت خمیر سخت در قرن ۱۱ در مصر اختراع شد و سپس در سراسر خاور نزدیک منتشر گردید (که با نام‌های خمیر شیشه‌ای^۲، کوارتز-شیشه^۳، فیانس^۴ و خمیر دست ساز^۵ هم شناخته می‌شود).^۶ این تکنیک جدید نه تنها دامنه مواد خام را گسترش داد بلکه خمیرهایی مناسب با سختی و درخشندگی مطلوب فراهم کرد. کاربرد دانه‌های آبی کبالت در مصر هم زمان با قرن ۱۴ ق.م گسترش یافت ولی بعد از دوره روم متأخر متروک شد.^۷ این کاربری ابتدا در اوایل قرن ۹ در عراق^۸ و بعد از آن در قرن ۱۲ در مصر، سوریه و ایران با الهام از محصولات (تولیدات) چینی مجدداً احیا شد؛ زمانی که احتمالاً این دانه‌ها با خمیر سخت ترکیب شدند تا ظروفی از این جنس با نقوش زیرلعابی آبی تولید شود.^۹ تزئینات چندرنگ زیرلعابی سوریه، از جمله کبالت آبی، در چین گسترش یافت تا ظروف چینی آبی - سفید در اوایل قرن ۱۴ را بوجود آورد و بعداً در همین قرن به مصر و سوریه بازگردانده شود که به تولید سفال خمیر سخت آبی - سفید کمک کند.^{۱۰}

گزارشی کامل و طبقه‌بندی شده از پیشرفت سفال‌های آبی - سفید خمیر سخت دوره اسلامی توسط محقق برجسته آرتورلن^{۱۱} ارائه شده است. دوره‌های درخشان عباسی، تیموری، صفوی و همچنین نمونه‌های شاخص منطقه‌ای مانند سفال‌های ایزنیک^{۱۲} (ترکیه)، مورد توجه خاص مورخان هنر و محققان سرامیک (سفال) قرار داشته است.^{۱۳} همانطور که مشخص شد، سفال‌های با کیفیت مانند خمیر سخت‌های آبی - سفید در مراکز کمی با گستره وسیع تولید می‌شده^{۱۴}، برخی از این مراکز کرمان، مشهد و نیشابور در دوره صفوی هستند که از اسناد تاریخی (مکتوب یا کتیبه‌ای) و باستان‌شناسی شناسایی شده‌اند.^{۱۵} بعد از دوره قاجار (1785-1925) سفال‌های خمیر سخت آبی - سفید افت قابل توجهی هم از نظر



¹ (Lane, 1947)

² fritware

³ quartz-frit

⁴ faience

⁵ artificial paste

⁶ (Golombek & Reilly, 2013; Mason, 1995, p. 307; Mason & Tite, 1994, p. 77; Tite et al., 2011, p. 570; Watson, 1999, p. 301)

⁷ (Friedman & Borromeo, 1998).

⁸ (Priestman, 2011, pp. 89-90)

⁹ (Lane, 1957, p. 24; Mason et al., 2001, p. 194)

¹⁰ (Golombek et al., 1996, p. 125).

¹¹ (1947, 1957)

¹² Iznik pottery

¹³ (Agosti & Schweizer, 2002; Bernsted, 2003, pp. 23-28; Golombek, 2003; Golombek & Reilly, 2013; Golombek et al., 1996, 2001; Kapur et al., 1998; Kennet, 2004, p. 57; Mason & Golombek, 2003; Mason & Keall, 1991; Tite, 1989, 2011; Tite et al., 2011; Wilkinson, 1973, p. 180; Wood et al., 2007)

¹⁴ (Lane, 1957, p. 6)

¹⁵ (Lane, 1957, p. 91; Mason, 2013, p. 187)

کیفیت و هم از نظر توجه و علاقه تحقیقات داشته‌اند^۱ و این تأثیر مبهم بزرگی در حوزه چشم انداز دانشی ما از سفال اسلامی ایجاد کرده است.

در این مقاله نویسندگان نتایج مطالعات علمی ۱۶ نمونه دوره قاجار از سفال های آبی - سفید خمیر سخت مربوط به تپه نادری واقع در شمال خراسان ایران را ارائه می دهند (تصویر ۱). این تپه با بیش از ۲۰ متر ارتفاع دارای قلعه‌ای نسبتاً صاف به قطر ۷۵ متر می باشد. محیط محوطه (حریم محوطه) تقریباً بیضی شکل با قطر ۱۴۸-۱۸۵ متر است. البیت یکی از بزرگ‌ترین محوطه‌های این استان (خراسان) می باشد ولی نه در گزارش‌های تاریخی ثبت شده و نه به خوبی بررسی شده است. کار میدانی (مطالعه میدانی) در مقیاس بزرگ تنها در سال ۲۰۱۶ آغاز شد؛ زمانی که هیئت مشترک چینی - ایرانی گمانه‌ای بزرگ در جبهه جنوبی تپه را به منظور "کشف تعامل انسان و محیط در طول شکل‌گیری و پس از آن" کاوش کردند. در نتیجه، تپه به عنوان محوطه اوایل عصر مفرغ تا اوایل عصر آهن 27 ± 2752 BP to 158 ± 5128 BP شناخته شد؛ زمین‌های اطراف با رسوبات دریاچه‌ای به ضخامت ۸ متر پوشیده شده‌اند که چندین سازه و چاله‌های زباله^۲ (پسماند) زیادی از اواخر دوره اسلامی در آن مدفون شده است.^۳ در گودال زباله کیفی شکل F5 - با دهانه ۱.۱۶ متر، کف ۲.۹۶ متر و عمق ۲.۴۸ متر - در ضلع شمالی ترانشه ده‌ها تکه از سفال‌های آبی - سفید خمیر سخت کشف شدند (تصویر ۲). تاریخ گذاری تنظیم شده با رادیوکربن که توسط آنالیز بتا^۴ از قطعه استخوان حیوانی در این چاله دور ریز آماده شده (انجام شده)، تاریخ 145 ± 146 سال قبل (۲۰ یا 1804 ± 145 میلادی) را نشان می‌دهد که مربوط به دوره قاجار است. دو تاریخ گذاری ترمولومینسانس^۵ (گرماتابی) از دو نمونه سفال TN9 و TN19 که توسط مرکز حفاظت موزه شانگهای^۶ آزمایش شدند، تاریخ ۱۸۰-۲۵۰ و ۱۵۰-۲۱۰ سال قبل، یا بین ۱۷۰۰ و ۱۸۰۰ میلادی را نشان می‌دهند که با رادیوکربن ذکر شده در بالا همخوانی دارد.

نمونه‌ها

همانطور که در تصویر ۱ می‌بینید، بیشتر ۱۶ نمونه لبه و کف کاسه‌ها هستند اما تعداد اندکی لبه‌های بشقاب هم وجود دارد که همه از ویژگی‌های اشکال و فرم‌های چینی هستند. نقوش شامل اشکال هندسی، گل‌ها، حیوانات و طرح‌های قالیچه‌ای^۷ (اسلیمی) می‌باشند؛ طرح‌های ترکیبی، مشخصه تقلیدهای اسلامی، از کنار هم گذاشتن طرح‌های چینی و نقوش محلی، متناسب با ذائقه مصرف کننده بومی است. مشاهده بصری (دیداری) برای اینکه بگوییم خمیره این نمونه‌ها خشن^۸، متخلخل^۹ و لکه دار^{۱۰} می‌باشد، کافی است و نقوش قیل از اضافه کردن لعاب‌ها نقش شده‌اند. در چهار نمونه (TN7، 13، 14، 15) لعاب‌ها سفید شیری است. در پنج نمونه (TN16-20) لعاب‌ها در قسمت‌های قابل رؤیت سفید شیری

¹ (Lane, 1957, pp. 83, 101; Watson, 2006, p. 333)

² unraveling the human-environment interaction during and after its formation

³ trash pits

⁴ (Vahdati & Zhang, 2018; L. Zhang et al., 2021)

⁵ Beta Analytic, Inc.

⁶ thermoluminescence dates

⁷ Conservation Center of the Shanghai Museum

⁸ florals

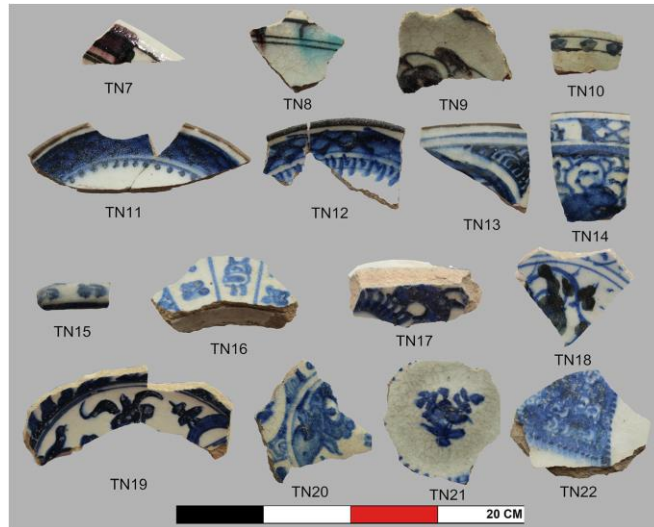
⁹ gritty

¹⁰ porous

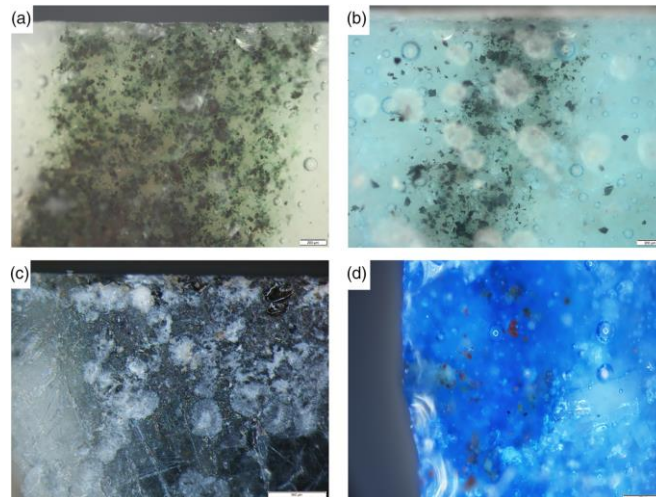
¹¹ mottled



هستند و در دیگر قسمت‌ها (کف، قسمت‌های غیرقابل رویت) شبیه سبز مایل به خاکستری (سبز بیدی) هستند و در بقیه نمونه‌ها لعاب‌ها سبز مایل به خاکستری (سبز بیدی) هستند. در سه قطعه (TN7-9) طرح‌ها به رنگ قهوه‌ای نقش شده‌اند در حالی که در بقیه ۱۳ قطعه طرح‌ها در طیف‌های متنوع از آبی طراحی شده‌اند. در نمونه TN8 هنوز لکه آبی قابل مشاهده است. در برخی از نمونه‌ها (TN7,8,9,11,12,13,14,22) رنگ آبی به خارج طرح‌ها نفوذ می‌کند و خطوط طرح‌ها را محو می‌کند. علاوه بر این در قطعه TN18 سه ضربه (لکه) به رنگ آبی تیره به طور تصادفی روی یک خط کشیده شده‌اند و گرنه طرح‌ها به خوبی نقش شده‌اند. به نظر می‌رسد کیفیت کلی این سفال‌ها، همانطور که در تحقیقات قبلی به ما گفته شده است^۲، نامرغوب‌تر از نمونه‌های دوره صفوی است.



تصویر ۱: ۱۶ نمونه از پیت F5، لبه‌های کاسه‌ها: TN7-8,10,13-14؛ کف‌های کاسه‌ها: TN9,16-22؛ لبه‌های بشقاب‌ها: TN11-12؛ دسته: TN15.



تصویر ۲: تصویر نوری (بصری) از سطح نمونه‌ها: a: خراش‌های سطح TN7؛ b: حفره‌های خوردگی در لعاب TN8؛ c: حفره‌های خوردگی در TN9؛ d: خراش‌های سطح TN14

¹ celadon

² three strokes

³ (Lane, 1957, pp. 83, 101; Watson, 2006, p. 333).

ابزارها و شرایط تحلیل (مطالعه و بررسی)

برای خواص فیزیکی و شیمیایی، ۱۶ نمونه در "دپارتمان علم حفاظت موزه قصر"^۱ در پکن چین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. قطعه کوچکی از هر نمونه برای مطالعات و آزمایشات سطحی و مقطعی، برش داده شد. نمونه‌های کوچک بعد از تثبیت در اپکسی رزین^۲، طبق روش استاندارد، آسیاب شده و صیقل داده شدند.^۳

مشخصه‌های فیزیکی سطوح و مقاطع با استفاده از یک میکروسکوپ استریو (سه بعدی) SZX16 که توسط المپوس^۴ ژاپن تولید شده، تعریف شدند. ساختارهای شیمیایی خمیره‌ها، رنگدانه‌ها و لعاب‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی TESCAN VEGA3 مجهز به اشعه X پراکنده کننده انرژی 610 M (Bruker XFlash 610 M) در ولتاژ شتاب دهنده 20 kV، آنالیز شدند. مقطع نمونه‌ها قبل از انجام آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی پراکنده کننده انرژی اشعه X و تجزیه و تحلیل طیف سنجی (SEM-EDX) با کربن پوشیده شده‌اند.

ترکیبات رنگ دانه‌ها در مقاطع توسط میکروسکوپ طیف سنجی رامان با لیزر هم کانونی Renishaw inVia شناسایی شدند که شامل یک میکروسکوپ لیکا^۵ مجهز به نور نئون به عنوان منبع سیگنال، یک لنز شی ۱۰۰×، یک طیف سنج با توری (فیلتر) ۱۸۰۰ شیار در میلی‌متر، یک دوربین Peltier-cooled CCD در کنار نور مادون قرمز / اشعه ماوراء بنفش تقویت شده، می‌باشد. محدوده طیف ۱۰۰-۶۰۰۰ نانومتر، وضوح طیفی 1 cm^{-1} ، طول موج پرتو لیزر فردی ۵۳۲ نانومتر، قدرت لیزر ۲۸۰ میلی‌وات (mW)، چگالی توان لیزر ۱٪، محلول فضا $0.5\ \mu\text{m}$ <، زمان اسکن (تصویربرداری) ۱۰ ثانیه و ۱۰ بار تصویربرداری بود.

نتایج و بحث (توضیحات و شرح)

سطوح نمونه‌ها

همانطور که در تصویر ۲ می‌بینید، خراش‌ها (TN7, TN9, TN14, TN17-20) حفره‌های خوردگی (TN8-9)، خوردگی رنگین کمانی^۶ (TN20-21) و ترک‌ها (TN16) در لعاب‌های بسیاری از قطعات قابل مشاهده است که نشان می‌دهد ظروف قبل از آسیب دیدن و دور ریخته شدن بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. خوردگی رنگین کمانی معمولاً در شیشه یا لعاب سربی در دامی پایین و یا لعاب با قلیایی زیاد دفن شده در خاک یافت می‌شود (ایجاد می‌شود)^۷. اکثر نقوش قهوه‌ای و آبی هستند و هر دوی آن‌ها طیفی وسیعی از دامنه‌های رنگی را نمایش می‌دهند- از روشن تا تیره- در مورد

¹ Department of Conservation Science of the Palace Museum in Beijing

² epoxy resin

³ (Scott, 1991, pp. 72-73).

⁴ Olympus

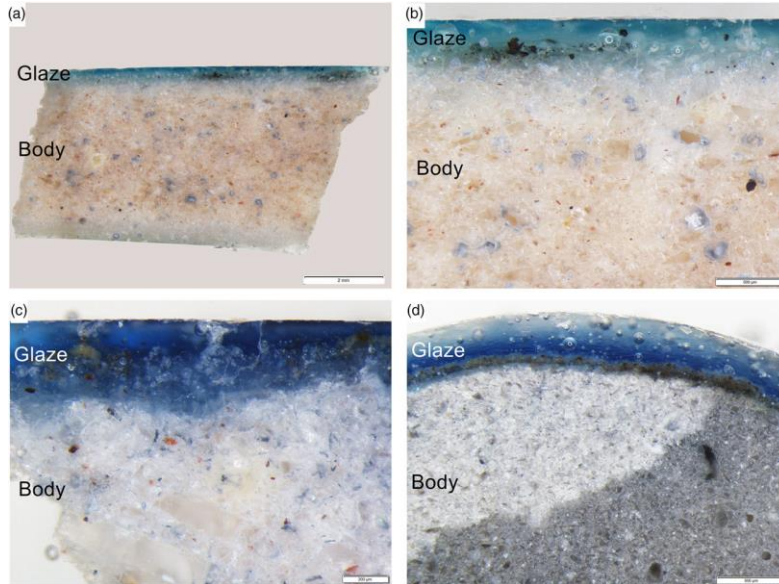
⁵ Leica DMLM

⁶ Corrosion iridescence

⁷ (H. Zhang & Hu, 2010, pp. 18-21)



قهوه‌ای، تیره‌ترین طیف مشکی است. دو نقش کنار هم گذاشته شده غالباً یا از هم جدا هستند (TN11-14) یا روی هم افتاده‌اند (TN7, 9, 10, 18) که معمولاً آبی روی قهوه‌ای است. هرچند در بیشتر موارد (TN15-17, TN19-22) فقط رنگ آبی مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این نقوش عمومی، نقش سبز تیره در نمونه TN7 بدست آمده است. به جز نمونه TN8 که لکه‌ای از آبی فیروزه‌ای را نشان می‌دهد، لعاب تمام نمونه‌ها شفاف هستند.



تصویر ۳: تصویرهای بصری نشان دهنده لعاب شفاف، نقش و خمیره در مقطع نمونه‌های (a,b) TN8 و (c) TN14 و (d) TN15.



مقاطع (برشهای مقطعی) نمونه‌ها

همانطور که در تصویر ۳ می‌بینید، نقش‌ها اساساً با رنگ‌های آبی و قهوه‌ای اجرا شده‌اند که یا به صورت جدا از هم هستند یا روی هم افتاده؛ زمانی که روی هم افتادگی وجود داشته باشد، معمولاً رنگ آبی روی قهوه‌ای انباشته می‌شود. در بعضی از نمونه‌ها (TN11, 12, 13, 17, 19, 22) رنگ آبی شامل مقداری دانه‌های مشکی خالص است که در سطوح خمیره پخش شده‌اند. همچون یک قانون، دو نقش روی خمیره و زیر لعاب‌های شفاف اضافه شده‌اند اما در خمیره و لعاب نیز پخش شده‌اند. حفره‌های خوردگی، خوردگی رنگین کمانی و بلورها غالباً قابل رؤیت هستند ولی ترک‌ها کمتر به چشم می‌آیند؛ در نقش‌های آبی و لعاب‌ها شاهد هوازدگی^۱ شدید قبل از دور ریخته شدن هستیم.

این برداشتی از مقطع نمونه‌هاست که بیشترین مواد برای ساختن خمیره‌ها کوارتز و رس زرد است (تصویر ۳). ذرات آبی عموماً در مواد تشکیل دهنده پراکنده شده‌اند؛ در موارد گوناگون (TN11-19, 22) مواد تشکیل دهنده مختلف آنقدر متمرکز شده‌اند که دو بخش (فاز) مجزا تشکیل شده است. به این ترتیب خمیره نمونه‌ها کاملاً ترکیبی از ذرات سفید، زرد، قرمز، قهوه‌ای و آبی است، به جز یک نمونه (TN15) که خمیره آن کاملاً آبی فام می‌باشد.

¹ heavy weathering

ترکیبات (ساختار) شیمیایی خمیره‌ها

به دنبال آنالیزهای میکروسکوپ استریو (سه بعدی)، ۱۶ نمونه تحت آنالیزهای SEM-EDX قرار گرفتند تا ترکیبات شیمیایی خمیره آن‌ها ارزیابی شود.

همانطور که در جدول ۱ می‌بینید، خمیره‌های ۱۶ نمونه در کل شامل سیلیکای بالا (زیاد) (81.2–91.1 wt% SiO₂) و آلومینیوم پایین (کم) (2.1–5.5 wt% Al₂O₃) هستند. علاوه بر این، خمیره‌ها از 1.6–3.9 wt% Na₂O, 0.5–3.4 wt% MgO, 0.7–1.4 wt% K₂O, 1.1–4.7 wt% CaO 0.8–2.5 wt% Fe₂O₃ هم تشکیل شده‌اند.

مقدار اندک از Al₂O₃ در خمیره‌های ۱۶ نمونه نشان می‌دهد که مواد خام تشکیل دهنده کائولن ندارند. در عوض سیلیکای بالای ترکیبات نشان دهنده ساخت خمیره‌ها از خمیر سخت است. این موضوع با تصاویر SEM از TN12 و TN15 اثبات شده است، تصاویری که ثابت می‌کند خمیره‌ها ترکیبی از ذرات درشت کوارتز زاویه‌دار^۲ است و فضاهای خالی با خاک رس و شیشه^۳ (تصویر^۴) پر شده‌اند. ذرات آبی در آن‌ها احتمالاً از لعاب‌های دورریز^۴ استخراج شده است. براساس گفته‌های (گزارشات) ابوالقاسم کاشانی، سفالگر ایرانی، این گونه خمیره شامل ۱۰ قسمت پودر کوارتز برای سفید کردن آن، یک قسمت خمیره شیشه برای ذوب کردن پودر کوارتز و یک قسمت خاک رس برای تقویت شکل پذیری خمیره می‌باشد^۵. این به خمیره ویژگی‌های سختی، سفیدی و قابلیت نازک شدن می‌دهد. علاوه بر این می‌توانیم لعاب قلیایی شفاف را مستقیماً بدون لعاب گلی عبوری^۶ به خمیره اضافه کنیم^۷.

جدول ۱: اطلاعات ساختاری (ترکیبات) خمیره‌های نمونه‌ها (wt%)

No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
TN7	3.1	1.1	3.7	86.2	1.3	2.8	1.7
TN8	2.7	1.0	3.6	86.1	1.4	3.6	1.6
TN9	2.9	1.0	4.4	85.0	1.2	3.7	1.9
TN10	1.6	0.5	2.9	89.3	1.1	2.3	2.4
TN11	1.6	0.8	2.7	90.3	1.0	2.6	1.0
TN12	2.6	1.8	4.5	83.8	1.1	4.7	1.5
TN13	2.4	0.7	3.2	89.8	1.3	1.6	1.0
TN14	2.7	1.0	3.5	87.4	1.1	2.8	1.6
TN15	3.9	3.4	3.2	83.5	1.0	4.1	1.0
TN16	3.9	1.4	5.5	81.2	1.4	4.1	2.5
TN17	2.2	0.7	3.0	91.1	1.0	1.1	1.0
TN18	2.0	0.8	2.1	89.6	1.2	3.4	0.9
TN19	3.1	1.0	2.9	87.1	1.1	1.9	0.9
TN20	3.4	1.4	4.0	85.3	1.2	3.0	1.7
TN21	2.2	1.4	3.0	87.6	1.1	2.8	1.8
TN22	1.8	0.8	3.4	89.9	0.7	2.7	0.8

¹ Mass fraction, کسر جرمی

² angular quartz

³ glass

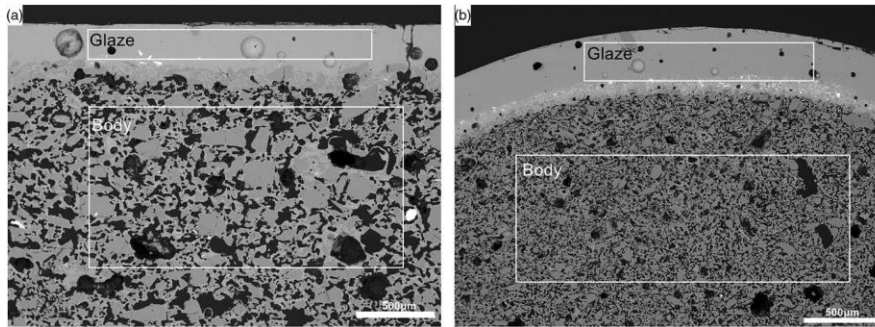
⁴ waste glaze

⁵ (Allan, 1973; Mason & Tite, 1994, p. 77).

⁶ transit slip, لعاب گلی روی سطح سفال خام

⁷ (Allan, 1971)





تصویر ۴: تصاویر SEM، لعاب شفاف و خمیره را در مقطع نمونه‌های (a) TN8 و (b) TN15 نشان می‌دهند.

تایت‌دریافت خمیر سخت زمانی تشکیل می‌شود که خمیر شیشه برای به هم پیوستن ذرات کوارتز ذوب شده است. همانطور که میسون و تایت^۲ بررسی کردند، این تکنیک در قرن‌های ۸ و ۹ میلادی در بغداد و عراق عباسی ابداع شد، جایی که قطعات شیشه برای تولید سفال به خمیره رس اضافه می‌شدند. پس از رفتن سفالگران عراقی به مصر فاطمی در اواخر قرن ۱۰ میلادی، ماده جدید متشکل از دو قسمت کوارتز خرد شده، سه قسمت شیشه و پنج قسمت خاک رس متولد شد. در قرن ۱۱ میلادی، خمیر سخت واقعی بوجود آمد زمانی که کوارتز خرد شده، ماده تشکیل دهنده اصلی شد و نسبت‌های شیشه و خاک رس کاهش یافتند. سفالگران مصری این تکنیک را به سوریه و ایران آوردند و بعد از قرن ۱۲ میلادی خمیر سخت ماده خام اصلی برای سفال‌های با کیفیتی به خوبی سفال‌های خشن (درشت) شد. تایت و همکاران^۳ خمیر سخت را در دمای پخت ۹۰۰-۱۲۰۰ درجه سانتیگراد بازسازی کرده و تنوع جغرافیایی و زمانی سفال‌های خمیر سخت اسلامی را بر اساس این شواهد تعریف کردند. ۱۶ نمونه زیر مجموعه این مقاله، شامل یک نوع جدید از خمیر سخت چند رنگ می‌شوند که تولید دوره قاجار ایران است.



ترکیبات شیمیایی لعاب‌ها

همانطور که در جدول ۲ می‌بینید، اجزای اصلی لعاب‌های ۱۶ نمونه Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , Fe_2O_3 هستند که حجم آن‌ها بسیار متنوع است. حجم SiO_2 در محدوده 52.7–82.5 wt% در نوسان استدر حالی که مقدار Al_2O_3 در محدوده 1.3–5.7 wt% است به جز در TN15 که این مقدار تا 8.2 wt% بالا رفته است. در میان اکسیدهای قلیایی، MgO حدود 1.1–4.6 wt% و CaO حدود 2.5–11.4 wt% در لعاب‌ها وجود دارد، در حالی که Na_2O در حدود 5.9–17.1 wt% و K_2O در حدود 1.5–3.1 wt% است.

با مجموع بیش از 10 wt% اکسیدهای قلیایی، از لعاب‌های ۱۶ نمونه به نظر می‌رسد خمیره شیشه‌های سنتی ایرانی با قلیای زیاد ساخته می‌شدند و شامل مخلوط‌های ذوب شده از کوارتز آسیاب شده و سودا/گیاه^۴ هستند. سودا در زمان ابوالقاسم کاشانی، سفالگر ایرانی، یک عامل استاندارد روان کننده بوده است.^۵ منشأ Na_2O با مقدار MgO آن تعیین

¹ (1989, pp. 121–122)

² (1994)

³ (2011, pp. 576–579)

⁴ soda/plant

⁵ (Allan et al., 1973, p. 171)

می‌شود. اگر MgO مقداری کمتر از 1.3 wt% باشد، منشأ معدنی در سدیم کربنات می‌باشد و اگر از 2 wt% بالاتر بود منشأ خاکستر گیاهی است^۱. K₂O و Na₂O دمای پخت و چسبندگی لعاب را کاهش می‌دهند و لعاب با حالت شیشه‌ای (شدن) بالاتر و حباب کمتر فرم می‌گیرد. علاوه بر این Na₂O انعطاف پذیری و قابلیت کشسانی لعاب را نیز کاهش می‌دهد و باعث ترک خوردگی می‌شود زیرا این ماده بالاترین انبساط حرارتی^۲ را در میان مواد قلیایی دارد^۳. اکسیدهای قلیایی اضافی، پایداری شیمیایی لعاب را نیز کاهش می‌دهند. همچنین زمانی که CaO و MgO استفاده می‌شوند انبساط حرارتی لعاب کاهش می‌یابد^۴.

رنگدانه‌های لعاب

همانطور که در جدول ۳ می‌بینید، اکسیدهای شیمیایی اصلی Fe₂O₃, Cr₂O₃, MnO و CoO هستند و محدوده‌های حجمی آن‌ها به ترتیب 0.2–2.6, 1.1–13.3, 0.6–7.7 و 0.2–1.6 wt% است. تا زمانی که لعاب‌ها از کوارتز و سودا ساخته شده‌اند، Fe₂O₃ زیاد موجود در لعاب‌ها احتمالاً از رنگدانه‌ها گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه سنگ معدن کبالت معروف قمصر (کاشان) حاوی مقادیر زیادی Fe و As است اما اصلاً Ni, Cu, Zn ندارد^۵؛ می‌توان استنباط کرد این کبالت برای رنگ آبی نقوش بیشتر این ۱۶ نمونه به کار رفته است. علاوه بر این کرومیت برای رنگ سیاه و هماتیت برای رنگ قهوه‌ای استفاده شده است.



جدول ۲: اطلاعات ترکیباتی از لعاب‌های نمونه‌ها

No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CuO	MnO	CoO	Cr ₂ O ₃	Chromogenic elements
TN7	10.5	2.2	3.3	70.8	1.6	3.8	2.5		1.6		3.7	Fe, Mn, Cr
TN8	13.9	2.1	2.5	66.8	2.9	8.1	1.6	1.0	0.3		0.7	Fe, Mn, Cr, Cu
TN9	12.7	2.2	3.4	70.7	1.7	2.5	2.8		0.9		3.2	Fe, Mn, Cr
TN10	9.7	4.1	5.7	54.8	2.6	10.8	10.6			1.8		Fe, Co
TN11	13.2	3.8	1.6	66.1	2.3	9.1	3.5			0.2		Fe, Co
TN12	13.4	2.3	2.9	69.1	1.7	7.4	2.8			0.5		Fe, Co
TN13	15.2	2.7	3.7	63.8	2.4	7.2	3.6			0.5	0.8	Fe, Co, Cr
TN14	7.9	1.1	2.7	81.3	1.5	2.5	2.7			0.3		Fe, Co
TN15	13.4	2.8	8.2	52.7	1.6	5.3	13.3			2.6		Fe, Co
TN16	11.9	2.2	4.0	61.8	3.1	8.5	7.7			0.8		Fe, Co
TN17	10.0	1.9	4.0	59.1	2.5	10.7	10.5			1.3		Fe, Co
TN18	9.2	4.6	5.3	54.6	2.2	9.1	6.4		0.2	0.6	7.7	Fe, Mn, Cr, Co
TN19	10.9	2.1	2.9	66.3	2.2	11.2	2.8	SO ₃ 0.4	As ₂ O ₃ 0.4	0.4	0.4	Fe, Co, Cr
TN20	5.9	1.2	2.3	82.5	1.6	3.2	3.1			0.2		Fe, Co
TN21	16.2	1.7	2.2	69.4	1.9	7.0	1.3			0.3		Fe, Co
TN22	13.0	4.1	1.3	66.4	2.6	11.4	1.1			0.1		Fe, Co

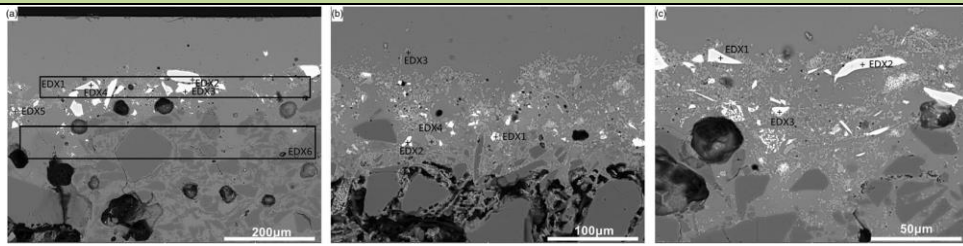
¹ (Gradmann, 2016, p. 216)

² coefficient of thermal

³ (Hu et al., 2011, pp. 532–534).

⁴ (Ma, 2013, p. 161).

⁵ (Matin & Pollard, 2017a, p. 743)



تصویر ۵: تصاویر SEM از دانه‌های شیمیایی در لعاب نمونه‌های (a) TN7، (b) TN15 و (c) TN18.

جدول ۳: دانه‌ها (ذرات) موجود در لعاب TN15، TN7 و TN18.

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO
TN7-EDX1	9.8	3.7	5.8	50.8	2.1	5.0	14.4	2.9	5.3		0.4
TN7-EDX2		18.1	20.5				48.3	7.7	5.4		
TN7-EDX3		13.7	11.1				59.8	7.9	7.6		
TN7-EDX4		14.6	18.7				50.9	9.3	6.6		
TN7-EDX5		17.4	16.1				49.7	7.6	9.2		
TN7-EDX6	6.1	0.9	3.8	82.7	1.5	2.8		0.9	1.4		
TN15-EDX1	0.2	2.2	0.2	0.8		0.1			81	15.5	
TN15-EDX2	2.1	2.5	1.1	4.8	0.3	1.1			63.7	24.4	
TN15-EDX3	2.4	16.2		52.4		27.0			1.7	0.3	
TN15-EDX4	5.9	15.3	1.4	52.1		12.4			14	0.3	
TN18-EDX1	0.3	19.3	14.2	0.2		0.2	54.5	0.1	6.5	4.7	
TN18-EDX2		15.6	9.8	0.3		0.3	59.7	0.5	10.2	3.5	
TN18-EDX3		10.3	8.0	0.5	0.1	0.4	57.7	0.3	9.4	13.2	



نمونه‌های TN19 و TN8 تا حدودی برجسته (شاخص) هستند (جدول ۳). TN19 شامل 0.4 wt% As₂O₃ و 0.4 wt% SO₃ می‌شود. آرسنات کلسیم در طی فرایند پخت تولید می‌شود اما S و As در سولفید کبالت و سولفید آرسنیک بسیار فراوان هستند. در نتیجه، بقایای آن‌ها در لعاب ناچیز است. مقادیر ناچیز S و As در TN19 تأیید می‌کند که رنگدانه کبالت از سنگ معدن کبالت قمصر (کاشان) تهیه می‌شده است. در نمونه TN8، نقش آبی شامل 1.0 wt% CuO می‌شود.

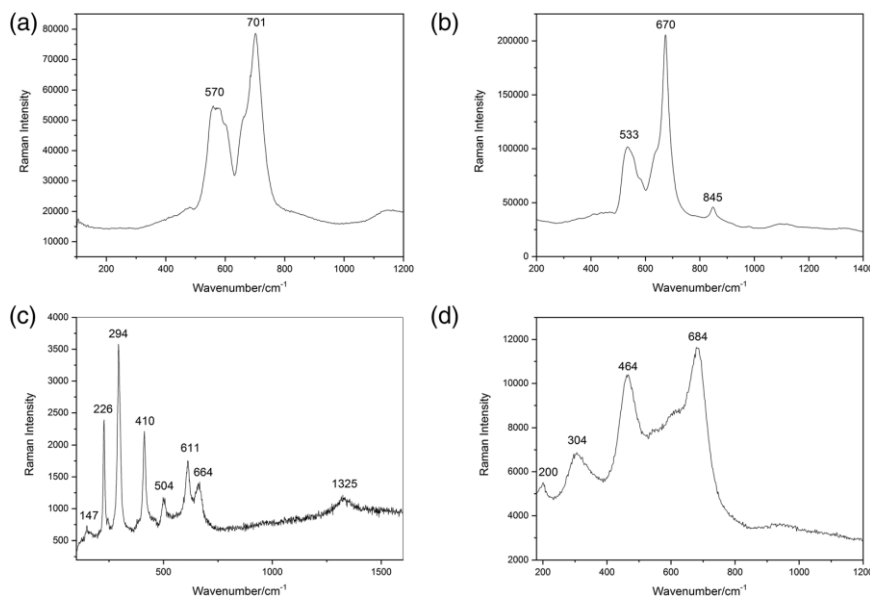
تصاویر SEM-EDX تعداد زیادی دانه را در لعاب TN7 نمایان می‌کنند (تصویر ۵). همانطور که در جدول ۳ می‌بینید، MgO و Al₂O₃ به ترتیب 13.7–18.1 wt% و 11.1–20.5 wt%، Cr₂O₃ در نسبت بزرگی به مقدار 48.3–59.8 wt% و MnO و Fe₂O₃ به ترتیب 7.6–9.3 wt% and 5.4–9.2 wt% از حجم دانه‌ها را تشکیل می‌دهند. بر اساس نسبت‌های مولی^۲، رنگ دانه مشکی می‌تواند کرومیت (Mg(Fe,Mn)Cr(Al)2O₄) باشد که با نتایج طیف ستجی رامان تأیید می‌شود (تصویر ۶a).

¹ (Y. Chen et al., 1993, pp. 59–60)

² mole ratios

کرومیت مانند دیگر مواد معدنی ایران - مثلاً آهن، مس، سرب و روی - در ایران فراوان است^۱؛ رنگ دانه سیاه *muzarrad*^۲ از کوه های جاجرم خراسان که در شرح ابوالقاسم کاشانی، سفالگر ایرانی، به آن اشاره شده، برای کرومیت پیشنهاد می شود^۳. اولین بار استفاده از ماده معدنی به عنوان رنگدانه سیاه، در دوره عبید در خاور نزدیک (4000-5500 BCE) مورد استفاده قرار گرفت. پایدار تر از کبالت آبی، رنگ سیاهی بود که معمولاً برای ترسیم خطوط محیطی نقش های تزئینی در سفال ها مورد استفاده قرار می گرفت. برای مثال در طول دوره سلجوقی (1037-1194 CE) تعداد زیادی سفال های خمیر سخت با رنگدانه های مشکی یا مشکی آبی نقش شدند در حالی که تعداد کمی از آن ها تنها با رنگدانه آبی نقش می شدند^۴.

همانطور که در جدول ۳ می بینید، Fe_2O_3 و CoO به ترتیب 63.7 wt%, 81 wt% و 24.4 و 15.5 wt% از دانه های سفید روشن EDX1 و EDX2 در TN15 را بدون Cu , Ni یا هر عنصر دیگری تشکیل می دهند. Fe_2O_3/CoO با نسبت 5.2 و 2.6 است که نشان میدهد رنگ دانه کبالت قمصر (کاشان) با مشخصه ی آهن بالا و منگنز کم، به عنوان رنگدانه و فریت کبالت تولید و استفاده شده است. رنگ قهوه ای باید هماتیت باشد (Fe_2O_3). حجم های Fe_2O_3 و Cr_2O_3, CoO در دانه های سفید EDX1-3 در TN18 به ترتیب 54.5%, 59.7%, 57.7 wt%, 4.7%, 3.5%, 13.2% و 9.4 wt%, 10.2%, 6.5% هستند. احتمال می رود سنگ معدن کبالت و کرومیت قمصر (کاشان) برای نقوش آبی و مشکی استفاده می شده است.



تصویر ۶: طیف رامان دانه های شیمیایی در لعاب: (a) کرومیت در TN7؛ (b) منگنز در TN7؛ (c) هماتیت در TN13 و (d) فریت کبالت در EDX1/TN15 (در تصویر 5b)

¹ (Li & Wu, 2008, pp. 265–266)

² black pigment *muzarrad* (مترجم: احتمالاً رنگدانه سیاهی که از کرومیت بدست می آید)

³ (Allan, 1973, pp. 112, 117)

⁴ (Allan, 1992, pp. 11–12; Gradmann & Schüssler, 2015, p. 350; Holakoei et al., 2019, pp. 764–765; Klesner et al., 2019, pp. 12–13; Matin et al., 2020, p. 21; Simsek & Geckinli, 2012, p. 925; Tite, 2011, p. 337).



بر اساس نتایج SEM-EDX (تصویر ۵؛ جدول ۳) رنگ دانه های نمونه های TN7, TN15 و T18 را MnO و Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , CoO تشکیل می‌دهند. برای تعیین اجزای شیمیایی آن‌ها، نویسندگان نمونه‌های TN7, TN13 و TN15 را برای طیف سنجی رامان پیشنهاد دادند تا ذرات شیمیایی آن‌ها شناسایی شوند. همانطور که در تصویر ۶ می‌بینید، رنگدانه‌های شیمیایی سه نمونه، کرومیت (FeCr_2O_4) با فرمول شیمیایی $(\text{Fe}_2+\text{Mg}_2+)(\text{Cr}_3+\text{Fe}_3+\text{Al}_3+)\text{O}_4$ [مگنتیت], $(\text{Fe}_2+\text{Fe}_3+2\text{O}_4)$ هماتیت (Fe_2O_3) و فریت کبالت ($\text{Co}_3\text{-xFexO}_4$) هستند.^۲

استفاده از کبالت آبی به عنوان یک عامل رنگ آمیزی اولین بار در ظروف شیشه‌ای مصری حدود ۲۰۰ میلادی بدست آمده است.^۳ بر اساس شرح ابوالقاسم کاشانی، سفالگر ایرانی، نوعی از سنگ معدن کبالت که به لاجورد معروف است (بین سفالگران بومی به نام سلیمانی شناخته می‌شود) از قمصر (کاشان) استخراج می‌شود. مشخصات این سنگ معدن به خوبی با مشخصات کبالتیت (CoAsS) و اربتریت (کبالت قرمز) ($\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) از آن معدن مطابقت دارد.^۴ این سنگ معدن جدای از ویژگی‌های سنتی آهن زیاد و منگنز کم، آرسنیک زیادی هم دارد.^۵ بنابراین برای ذوب این ماده معدنی لازم است مقدار زیادی عامل روان کننده به آن اضافه کرد که انتشار (پراکندگی) آن در لعاب را افزایش دهد. Fe بالا در این ۱۶ نمونه و وجود As در TN19 (مقدار زیادی از As در طول مراحل رنگدانه شدن تبخیر می‌شود)، با نبود Zn و Ni به خوبی مشابه سنگ معدن کبالت از قمصر (کاشان) است. این نشان می‌دهد سنگ معدن این معدن که به عنوان رنگدانه کبالت آبی معروف شده است فقط از اوایل دوران میانی اسلامی^۷ می‌توانسته برای تولید آن‌ها استفاده شده باشد.

تولید ظروف آبی - سفید پرسلان (بارفتن)^۸ چینی در سلسله تانگ^۹ (618-907 CE) در شهر گونگی^{۱۰} امروزی استان هنان^{۱۱} امتحان شد و بعد از وقفه‌ای در سلسله‌های سانگ^{۱۲} (960-1279)، در سلسله‌های یان و مینگ^{۱۳} در جینگدژین^{۱۴} استان ژیانگجین^{۱۵} احیا و اصلاح شد^{۱۶}. باید اشاره شود که عوامل رنگی مورد استفاده برای بهترین سفال‌ها که به سفارش خانۀ امپراطوری ساخته می‌شده، بسیار متنوع هستند. "آبی سومانی پو"^{۱۷} و "آبی محمدی"^{۱۸} که هر دو



¹ (A.Wang et al.,2004,p.669)

² (T.Wang et al., 2017, pp. 268-269).

³ (J. Chen, 1995, p. 25; F. Zhang, 2000, p. 126)

⁴ (Gradmann, 2016; Matin & Pollard, 2017a, 2017b)

⁵ (Wen, 2017, pp. 151-152)

⁶ fluxing agent

⁷ (Matin & Pollard, 2017a, p. 744)

⁸ blue-white porcelain

⁹ Tang dynasty

¹⁰ Gongyi

¹¹ Henan

¹² Song

¹³ Yuan and Ming

¹⁴ Jingdezhen

¹⁵ Jiangxi

¹⁶ (Li & Lu, 1998, pp. 364-383; Wu et al., 2015, pp. 103-104)

¹⁷ Sumani-Po Blue

¹⁸ Mohammedan Blue

وارداتی هستند و ممکن است به کبالت وارداتی از ایران بازگردند و همچنین "آبی پوتانگ"^۱ محلی در طول سلسله مینگ مورد استفاده بوده اند.^۲ همچنین مشخص شده که سفالگران سلسله مینگ خواص رنگدانه‌های مختلف کبالت را تشخیص می‌دادند و از مزایای مختلف مواد وارداتی و داخلی با مخلوط کردن نسبت‌های معین از آنها در پاسخ به نیاز طرحها استفاده می‌کردند در حالی که در سلسله چینگ^۳ مصادف با دورانی که ۱۶ نمونه تولید شده‌اند، کبالت بومی کاملاً با کبالت وارداتی جایگزین شده است.^۴

نتیجه گیری (نتایج)

۱۶ نمونه از تپه نادری فرصتی مطلوب برای مشاهده خواص فیزیکی و شیمیایی سفال‌های خمیر سخت آبی - سفید اواخر دوره اسلامی در اختیار ما قرار داد. تاریخ گذاری این نمونه‌ها با رادیوکربن و ترمولومینسانس (گرماتابی) به اوایل قرن ۱۹ بازمی‌گردد و آثاری از کاربرد زیاد - یعنی خراش، خوردگی و ترک - روی سطح خود دارند. به نظر می‌رسد کیفیت کلی نقوش آبی و لعاب‌ها کمتر از تولیدات اوایل دوره صفوی است. به دلیل عدم وجود تحقیقات در مورد سفال‌های همزمان در خاور نزدیک، در حال حاضر نمی‌توان به منشأ نمونه‌ها پرداخت.

خمیره نمونه‌ها مشخصاً دارای سیلیکا و قلیای بالا هستند و از ذرات درشت کوارتز زاویه‌دار، خاک رس و شیشه تشکیل شده‌اند که یادآور خمیر سخت سنتی ایران است. ماده اصلی آبی در بعضی خمیره‌ها احتمالاً از لعاب‌های باز یافتی (دورریز) استخراج یا جدا شده‌اند. لعاب‌های قلیایی شفاف این نمونه‌ها با Na_2O به عنوان عامل روان کننده اصلی، مشخص می‌شوند که یادآور لعاب خمیر سخت سنتی ایران است: ترکیبی از کوارتز آسیاب شده، سودا/خاکستر گیاهی. بخاطر استفاده از ذرات کبالت، حجم کلی اکسیدهای قلیایی در لعاب‌های اکثر نمونه‌ها تا بیشتر از 10 wt% بالا رفته‌اند.

نقش‌های زیر لعاب‌ها در نمونه‌ها با رنگدانه‌های مشکی، قهوه ای و آبی، به تنهایی یا در ترکیب با هم ترسیم شده‌اند. عناصر شیمیایی اصلی در لعاب Cr , Fe , Co و Mn هستند. رنگدانه مشکی کرومیت است که در دمای بالا به Fe_2O_3 , Fe_2O_4 , Cr_2O_3 و دیگر عناصر تجزیه می‌شود. برای رنگدانه آبی، سنگ معدن کبالت بومی قمصر (کاشان) که دارای آهن بالا و منگنز پایین است استفاده می‌شده است. با توجه به وجود مقادیر کم S و As می‌توان آن را کبالتیت (CoAsS) در نظر گرفت. استفاده از این رنگدانه نیازمند افزودن مقدار زیادی عامل روان کننده برای کاهش دمای ذوب است که به پخش شدن رنگدانه در لعاب در دمای بالا کمک می‌کند. از نتایج طیف سنجی رامان بر می‌آید که ماده شیمیایی اصلی رنگ قهوه‌ای، هماتیت (Fe_2O_3) و مشکی، مگنتیت (Fe_3O_4) و کرومیت (FeCr_2O_4) است. فریت کبالت ($\text{Co}_3\text{-xFexO}_4$) محصول تجزیه سنگ معدن کبالت قمصر (کاشان) است که برای تولید رنگدانه آبی استفاده شده است.

¹ Po-Tang Blue”

² (Yu & Miao, 1996, p. 257)

³ Qing

⁴ (Jianget al., 2020, p. 1).



REFERENCES

- Agosti, M. D. & Schweizer, F. (2002). Technical analyses. In Y. Crowe (Ed.), *Persia and China: Safavid blue and white ceramics in the Victoria & Albert Museum, 1501–1738* (pp. 293–303). Thames & Hudson.
- Allan, J. W. (1971). *Medieval middle eastern pottery*. Ashmolean Museum.
- Allan, J. W. (1973). Abu'l-Qasim's treatise on ceramics. *Iran*, 11, 111–120. <https://doi.org/10.2307/4300488>.
- Allan, J. W. (1992). *Islamic ceramics*. Ashmolean Museum.
- Allan, J. W., Llewellyn, L. R., & Schweizer, F. (1973). The history of so-called Egyptian faience in Islamic Persia: investigations into Abu'l Qasim's treatise. *Archaeometry*, 15(2), 165–173. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1973.tb00087.x>
- Bernsted, A. K. (2003). *Early Islamic pottery: materials and techniques*. Archetype.
- Chen, J. (1995). *History of world ceramics art*. Heilongjiang Fine Arts.
- Chen, Y., Guo, Y., & Chen, H. (1993). An investigation on the source of cobalt pigment used in Yuan blue and white. *Chinese Ceramics*, 132(5), 57–62.
- Friedman, F. D., & Borromeo, G. (1998). *Gifts of the Nile: Ancient Egyptian faience*. Thames & Hudson.
- Golombek, L. (2003). The Safavid ceramic industry at Kirman. *Iran*, 41, 253–270. <https://doi.org/10.2307/4300647>
- Golombek, L., & Reilly, E. (2013). Safavid society and the ceramic industry. In L. Golombek, R. B. Mason, P. Proctor, & E. Reilly (Eds.), *Persian pottery in the First Global age: the sixteenth and seventeenth centuries* (pp. 13–56). Brill.
- Golombek, L., Mason, R. B., & Bailey, G. A. (1996). *Taberlame's tableware: a new approach to the Chinoiserie ceramics of fifteenth- and sixteenth-century Iran*. Mazda in association with Royal Ontario Museum.
- Golombek, L., Mason, R. B., & Proctor, P. (2001). Safavid potters' marks and the question of provenance. *Iran*, 39, 207–236. <https://doi.org/10.2307/4300605>
- Gradmann, R. (2016). *Analysis of historical Islamic glazes and the development of a substitution material*. Dissertation, Institute of Geography and Geology, Julius Maximilians Universität Würzburg.
- Gradmann, R., & Schüssler, U. (2015). Composition and colouring agents of historical Islamic glazes measured with EPMA and μ -XRD2. *European Journal of Mineralogy*, 27(3), 325–335. <https://doi.org/10.1127/ejm/2015/0027-2456>.
- Holakoei, P., de Lapérouse, J. F., Carò, F., Röhrs, S., Franke, U., Müller-Wiener, M., & Reiche, I. (2019). Non-invasive scientific studies on the provenance and technology of early Islamic ceramics from Afrasiyab and Nishapur. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 24, 759–772. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.02.029>



- Hu, D., Zhang, H., & Liu, S. (2011). A study of the porcelain unearthed from the Ming dynasty imperial kiln site in Jingdezhen. Science Press.
- Jiang, X., Weng, Y., Wu, X., Cui, J., Lyu, H., Jiang, J., et al. (2020). Early globalized industrial chain revealed by residual submicron pigment particles in Chinese imperial blue-and-white porcelains. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 117(12), 201916630. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916630117>.
- Kapur, S., Sakarya, N., Fitzpatrick, E. A., Karaman, M., & Sakarya, M. (1998). Mineralogy and micromorphology of Iznik ceramics. *Anatolian Studies*, 48, 181–189. <https://doi.org/10.2307/3643055>.
- Kennet, D. (2004). Sasanian and Islamic pottery from Ras al-Khaimah: classification, chronology and analysis of trade in the Western Indian Ocean. *Society for Arabian Studies Monographs*, Archaeopress.
- Klesner, C. E., MacDonald, B. L., Dussubieux, L., Akymbek, Y., & Vandiver, P. B. (2019). Local production and long-distance trade of Islamic glazed ceramics in Central Asia: a compositional analysis of ceramics from southern Kazakhstan by NAA and LA-ICP-MS. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 26, 101905. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.101905>
- Lane, A. (1947). *Early Islamic pottery: Mesopotamia, Egypt, and Persia*. Faber & Faber.
- Lane, A. (1957). *Later Islamic pottery: Persia, Syria, Egypt, Turkey*. Faber & Faber.
- Li, J., & Lu, J. (1998). *History of science technology in China. Volume of ceramics*. Science Press.
- Li, J., & Wu, L. (2008). Geological characteristics of major metal mineral resources in Iran. *Mineral Deposits*, 27(2), 265–266.
- Ma, T. (2013). *Ceramics technology*. China Light Industry.
- Mason, R. B. (1995). Criteria for the petrographic characterization of stonepaste ceramics. *Archaeometry*, 37(2), 307–321. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1995.tb00745.x>.
- Mason, R. B. (2013). The Safavid workshops and petrographic analysis. In L. Golombek, R. B. Mason, P. Proctor, & E. Reilly (Eds.), *Persian pottery in the First Global age: the sixteenth and seventeenth centuries* (pp. 183–210). Brill Academic Publishers.
- Mason, R. B., & Golombek, L. (2003). The petrography of Iranian Safavid ceramics. *Journal of Archaeological Science*, 30, 251–261. <https://doi.org/10.1006/jasc.2002.0712>.
- Mason, R. B., & Keall, E. J. (1991). The Abbasid glazed wares of Siraf and the Basra connection: petrographic analysis. *Iran*, 29, 51–66. <https://doi.org/10.2307/4299848>.
- Mason, R. B., & Tite, M. S. (1994). The beginnings of Islamic stonepaste technology. *Archaeometry*, 36(1), 77–91.



- <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1994.tb01066.x>.
- Mason, R. B., Tite, M. S., Paynter, S., & Salter, C. (2001). Advances in polychrome ceramics in the Islamic world of the 12th century AD. *Archaeometry*, 43(2), 191–209. <https://doi.org/10.1111/1475-4754.00014>.
- Matin, M., & Pollard, A. M. (2017a). From ore to pigment: a description of the minerals and an experimental study of cobalt ore processing from the Kashan mine, Iran. *Archaeometry*, 59(4), 731–746. <https://doi.org/10.1111/arc.12272>.
- Matin, M., & Pollard, A. M. (2017b). Historical accounts of cobalt ore processing from the Kashan mine, Iran. *Iran*, 53(1), 171–183. <https://doi.org/10.1080/05786967.2015.11834755>.
- Matin, M., Gholamnejad, M., & Abkenar, A. N. (2020). “We must send you a sample.” A Persian–European dialogue: insights into late nineteenth-century ceramic technology based on chemical analysis of tiles from the Ettehadieh house complex, Tehran, Iran. *Notes and Records*, 75, 5–37. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2020.0015>.
- Priestman, S. M. N. (2011). Opaque glazed wares: the definition, dating and distribution of a key Iraqi ceramic export in the Abbasid period. *Iran*, 49(1), 89–113. <https://doi.org/10.1080/05786967.2011.11834431>.
- Scott, D. A. (1991). Metallography and microstructure of ancient and history metals (pp. 72–73). Getty.
- Simsek, G., & Geckinli, A. E. (2012). An assessment study of tiles from Topkapı palace museum with energy-dispersive X-ray and Raman spectrometers. *Journal of Raman Spectroscopy*, 43(7), 917–927. <https://doi.org/10.1002/jrs.3108>.
- Tite, M. S. (1989). Iznik pottery: an investigation of the methods of production. *Archaeometry*, 31(2), 115–132. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1989.tb01008.x>.
- Tite, M. S. (2011). The technology of glazed Islamic ceramics using data collected by the late Alexander Kaczmarczyk. *Archaeometry*, 53(2), 329–339. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2010.00546.x>.
- Tite, M. S., Wolf, S., & Mason, R. B. (2011). The technological development of stonepaste ceramics from the Islamic Middle East. *Journal of Archaeological Science*, 38(3), 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.10.011>.
- Vahdati, A. A., & Zhang, L. (2018). Report of the Joint Sino-Iran expedition at TepeNaderi, Shirvan: second campaign (unpublished).
- Wang, A., Kuebler, K. E., Jolliff, B. L., & Haskin, L. A. (2004). Raman spectroscopy of Fe-Ti-Cr-oxides. Case study: Martian meteorite EETA79001. *American Mineralogist*, 89(5–6), 665–680. <https://doi.org/10.2138/am-2004-5-601>.



- Wang, T., Zhu, T., Brunet, M., Deshayes, C., & Sciau, P. (2017). Raman study of Yuan Qinghua porcelain: the highlighting of dendritic CoFe₂O₄ crystals in blue decorations. *Journal of Raman Spectroscopy*, 48(2), 267–270. <https://doi.org/10.1002/jrs.5029>.
- Watson, O. (1999). Fritware: Fatimid Egypt or Seljuq Iran? In M. Barrucand (Ed.), *L’Egypte Fatimide; son art et son histoire* (pp. 299–310). Paris, Université de Paris Sorbonne.–M.
- Watson, O. (2006). Almost hilariously bad: Iranian pottery in the nineteenth century. In D. Behrens-Abouseif & S. Vernoit (Eds.), *Islamic art in the 19th century: tradition, innovation, and eclecticism* (pp. 333–362). Brill.
- Wen, R. (2017). On the source and transliteration of “S_{um}alíqīng” from Sulaimani. *Palace Museum Journal*, 1, 144–163.
- Wilkinson, C. K. (1973). Nishapur: pottery of the early Islamic period. *Metropolitan Museum of Art*.
- Wood, N., Tite, M. S., Dherty, C., & Gilmore, B. (2007). A technological examination of ninth–tenth century AD Abbasid blue-and-white ware from Iraq, and its comparison with eighth century AD Chinese blue-and-white sancai ware. *Archaeometry*, 49(4), 665–684. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2007.00327.x>.
- Wu, J., Zhou, J., Li, Q., Zhang, M., & Wu, J. (2015). Study on the imitation of cobalt blue and white pigment during the reign of Kangxi. *China Ceramics*, 51(3), 103–108.
- Yu, K. N., & Miao, J. (1996) Non-destructive analysis of Jingdezhen blue and white porcelains. *Archaeometry*, 38(2), 257–262.
- Zhang, F. (2000). *The science of Chinese ancient ceramics*. Shanghai People’s Fine Arts Publishing.
- Zhang, H., & Hu, D. (2010). The analysis of peacock green, sprinkle blue and melon green porcelains unearthed from the Jingdezhen Ming dynasty royal porcelain site. *Science of Conservation and Archaeology*, 22(4), 14–27.
- Zhang, L., Li, W., Guo, Z., Qiao, Y., Qin, J., Shui, T., & Vahdati, A. (2021). Brief report on the archaeological survey at Tepe Naderi, Iran. *Kaoguxue Jikan*, 24(2021), 215–227.

