نشریه علمی
علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه رنگ

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی علوم و فناوری رنگ/ ۱۴ (۱۳۹۹)، ۲۳۵ـ۲۲۳
نوع مقاله: پژوهشی
20.1001.1.17358779.1399.14.3.6.8

شناسایی رنگ سیاه در سفال مینایی بر اساس مطالعات ساختاری و متون کهن

ملیکا یزدانی*
استادیار، گروه هنر اسلامی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۱۷۴۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۶ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۶/۳۰

چکیده

در این پژوهش، ۱۳ نمونه مطالعاتی سفال مینایی موجود در موزه ملی ایران و حفاری‌های علمی ری و دژ الموت مطالعه شده است. هدف اصلی این پژوهش، شناخت مواد رنگزا در ترکیبات رنگ سیاه، کاربرد و جایگاه قرارگیری این رنگ در سطح لعاب در سفال مینایی است. شناخت ساختار رنگ سیاه در لعاب مینایی، بر اساس سند کهن عرایس‌الجواهر، بخش دیگری از پژوهش را شامل می‌شود. برای دستیابی به اهداف پژوهش، نمونه‌ها با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروپیکسی بررسی شده است. پژوهش حاضر، در زمره تحقیقات توصیفی، تجربی به شمار می‌رود. نتایج نشان می‌دهد که رنگ سیاه در سفال مینایی گونه‌ای از نقاشی ترکیبی رولعابی و زیرلعابی است. رنگ سیاه کاربرد بسیار متنوعی داشته و برای ترسیم دورگیری، قلم‌گیری و رنگ‌گذاری زمینه استفاده شده است. هنرمندان، علاوه بر ترسیم خطوط کناره نقوش، برای ترسیم پیش‌طرح نیز از رنگ سیاه استفاده کرده‌اند. در نمونه‌های مورد مطالعه، سه گروه رنگ سیاه وجود دارد که اسپینل کرم، آهن و منیزیم سبب تولید آن هستند. نتایج این پژوهش صحت متون کهن را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سفال دوره اسلامی، سفال مینایی، رنگدانه سیاه، کرومیت، عرایس‌الجواهر و نفایس‌الاطایب.

The Identification of Black Painted Colorant in Mina'i Ceramic Based on Structural Investigation and Ancient Treatise

M. Yazdani
Department of Islamic Art, Isfahan University of the Arts, P. O. Box: 1744, Isfahan, Iran
Received: 22-08-2019 Accepted: 14-04-2020 Available online: 20-09-2020

Abstract

In this research, black painted colorant of 13 mina'i ceramic (a kind of medieval Persian Islamic dynasty polychrome overglaze painting ceramic) shards from national museum in Iran and excavated shards from Rayy historical region and Alamut castle are considered. This paper focuses on black color to identify process, chemical composition, microstructure and layers based on experimental observations, modern technological studies and famous historical document (Abu'l Qasim's treatise). Using SEM-EDS and MICRO-PIXE, the chemical composition and microstructure were investigated to characterize and identify the black colorants. The analytical and optical findings of this study points towards that while the majority of these shards featured three of black colors under a transparent glaze, ten of them are opacified and have overglaze decoration. Results indicate that chrome, iron, magnesia base color glazed for black has been applied to decoration and surrounded line over and under the areas. The results of this research confirms the ancient treatise information. Chromite (Muzarrad) and black haematite or magnetite, as black pigments, are observed in the shards. J. Color Sci. Tech. 14(2020), 223-235©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Islamic ceramic, Mina'i ceramic, Black pigment, Chromite, Araʾyis al-Javahir va Nafaʾyis al-Aṭaʾyib.

***Corresponding author: m.yazdani@aui.ac.ir**

۱ـ مقدمه

بخش عمده‌ای از اطلاعات امروزی دانشمندان در زمینه سفال مینایی بر میراثی بنا نهاده شده که پیشینیان آنرا مکتوب کرده‌اند. ابوالقاسم عبدالله‌بن‌محمدبن‌علی‌بن‌ابی‌طاهر؛ مورخ دربار ایلخانیان و یکی از نوادگان خاندان بزرگ و مشهور و سفالگر اهل کاشان به نام خاندان ابی‌طاهر، در خاتمه رساله عرایس الجواهر و نفایس الاطایب (۷۰۰ هـ‌ق)؛ با عنوان "در صنعت کاشی‌گری" [۱] توضیحات مفید و در عین حال جامعی، در خصوص برخی از روش‌های تولید سفال و لعاب در دوره ایلخانی و قبل از آن، نگاشته است. در این رساله، وی برای نخستین بار، واژه هفت‌رنگ را منحصرا برای گونه‌ای از سفال دوره میانی اسلامی که امروزه سفال مینایی نامیده می‌شود به‌کار گرفت [۱]. سفال مینایی به گروهی از سرامیک‌های خاص و تجملی با نقوش هندسی، گیاهی و پیکره‌ای با شیوه رولعابی اطلاق می‌شود که در مدت زمان کوتاهی در دوران میانی اسلام (قرن ۶-۷ هـ‌ق/ نیمه دوم قرن دوازدهم میلادی) به طور گسترده در ایران و به ندرت در دیگر کشورها از جمله سوریه و ترکیه رواج داشته است [۴-۲]. سفال مینایی به ویژه در کاشان، ری و ساوه توسط سفالگرانی که در بسیاری از موارد مشغول به ساخت زرین فام بودند، ساخته می‌شد. در ترسیم نقوش و موضوعات متنوع در سفال مینایی از رنگ‌های فیروزه‌ای، آبی، لاجوردی، زرد، قرمز، قهوه‌ای، سرخابی، صورتی، سبز، سفید و سیاه، استفاده شده است. در بسیاری از موارد اطراف نقوش نیز با رنگ سیاه، قرمز و قهوه‌ای دورگیری شده است [۲، ۵، ۶]. سفال مینایی علاوه بر نقوش روی آن که ادبیات کهن ایران را به تصویر می‌کشد [۷، ۸]، از نظر تنوع و کاربرد تعداد زیاد رنگدانه‌های سرامیکی نیز بسیار قابل توجه است به گونه‌ای که در هیچ یک از شیوه‌های سفال در دوره اسلامی چنین تنوع رنگی مشاهده نمی‌شود. رنگدانه‌های سرامیکی به منظور ایجاد رنگ لعاب‌ها، رولعابی ها و زیرلعابی‌ها در صنعت سرامیک همواره مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از نظر علمی، روش ایجاد رنگ در فاز شیشه‌ای این است که بلورهای غیرمحلول رنگی (رنگدانه) به خوبی در فاز شیشه‌ای پخش گردند. اکثر بلورهای مورد استفاده به عنوان رنگدانه‌های سرامیکی به صورت اکسید هستند و دلیل کاربرد آنها پایداری بالای ترکیب اکسیدی در مذاب سیلیکاتی است. رنگدانه‌های سرامیکی باید دارای پایداری حرارتی بالا، غیرقابل حل در لعاب و مقاوم به واکنش‌های شیمیایی با اسیدها و بازها باشند و همچنین در لعاب، گاز تولید نکنند. بیشتر این رنگدانه‌ها، بلورهای اکسیدی مخلوط مانند سیلیکات‌ها و اسپینل‌ها هستند [۹]

در جهت شناخت رنگ‌ها در سفال مینایی، تجزیه و تحلیل طیف وسیع‌تری از مواد تشکیل‌دهنده ضروری است تا بتوان به طور کامل‌تر، تنوع رنگ در این فن‌آوری را درک کرد. با این وجود، جایگاه پژوهش‌های منسجم در زمینه شناخت علمی درباره عناصر تشکیل دهنده رنگدانه‌ها در مورد سفال‌های مینایی کشف‌شده از یک منطقه خاص و مطالعه ویژه روی هر رنگ به طور مجزا، در منابع پژوهشی داخلی و بین‌المللی خالی به نظر می‌رسد.

در میان همه رنگ‌ها در سفال مینایی، رنگ سیاه تقریبا در تمامی نمونه‌ها به عنوان خطوط حاشیه نقوش و یا رنگ زمینه نقوش مورد استفاده قرار گرفته است و از این لحاظ به عنوان پرکاربرد ترین رنگ در سفال مینایی به شمار می‌آید. شناخت روشمند رنگدانه‌های تولید کننده رنگ سیاه، در شناسایی روند پیشرفت دانش تولید این رنگ در بخشی از تاریخ و فرهنگ ایران و شکل گیری صنایع وابسته و نوین، به پژوهشگران، کمک شایانی خواهد کرد. به منظور شناخت بهتر رنگ سیاه، متون کهن مرتبط و نتایج پژوهش‌های پیشین نیز بررسی و مورد توجه قرار خواهد گرفت.

در رساله عرایس الجواهر و نفایس الاطایب، نوع و ساختار رنگ سیاه مورد استفاده در سرامیک‌های لعاب‌دار، این‌گونه معرفی شده است: " سنگی است به غایت سیاه و تیره مثل کُحل (سنگ سرمه) که از آتش هم، سیاه براق برون می‌آید، معدن او به دیار خراسان است، از کوه‌های جاجرم و آن را «مُزَرَّد» خوانند" [۱]. در بخشی دیگر، کاشانی کاربرد "مزرد" را در سرامیک زیرلعابی چنین شرح می‌دهد: "اما منقش سپیدبوم، سیاهی را مُزرد، با قدری حَصا (کوارتز) آمیخته نقش کنند و سبزبوم را به مزرد مجرد نقش کنند و به جوهر آبگینهٔ مطحون (آسیاب‌شده) منخول (الک‌شده) به کتیرا در آب حل کرده، آلات را مدهون (اندود) کنند و بر سر غربالی فراخ چشمه (دهانه گشاد) نهند که مَکبّه (سرپوش) تَغاری (ظرف بزرگ سفال) باشد تا رنگ افزونی (اضافه) از او به تقطیر فرو چکد و به آفتاب خشک کنند" [۱]. علاوه بر مزرد، در فناوری سرامیک ایران، رنگدانه‌های دیگری نیز برای تولید رنگ سیاه شناخته شده است. رنگدانه سیاه حاصل از مغنیسیا از مهم‌ترین موادی است که در متون کهن به آن اشاره شده است. کاشانی و بیرونی اشاره می‌کنند که "مغنیسیا سنگی است سیاه که آبگینه‌گران (شیشه‌گران) و غضاره‌گران (سفالگران) آن را به کار برند"[۱،۱۰]. در بخش کاشیگری، ابوالقاسم کاشانی ترکیب "جوهر آبگینه (فریت شفاف) (۱۰ قسمت)+ مغنیسیا (۱ قسمت)"را برای تولید رنگ سیاه معرفی می‌کند [۱]. در دو قرن اخیر از این ماده با عنوان مغن (برگرفته از مغنیسیا)، گل مغن و گل کاشیگران [۱۱] که معادل اکسید منگنز و پیرولوزیت بوده، نام برده شده‌است [۱۲]. در جواهرنامه نظامی تالیف محمد ابن ابی البرکات نیشابوری (۵۹۲ هـ‌ق) نیز، به مغنیسیای سیاه که برای تولید رنگ سیاه به‌کار می‌رفته، اشاره شده است [۱۳]. اکسید آهن سیاه با نام‌های "شادنه و شادنج" نیز در ترکیب برخی از رنگدانه های سیاه تاریخی کاربرد داشته است [۱، ۱۳].

در سال ۱۳۱۴ هـ‌ش /۱۹۳۵ م، ریتر و همکارانش از انجمن آلمانی باستان شناسی در استانبول، با انتشار رساله عرایس الجواهر و نفایس الاطایب به زبان آلمانی، برای اولین بار این کتاب را به جامعه

جهانی معرفی کردند. ریتر و همکارانش، در ترجمه و بازخوانی عرایس الجواهر، معادل امروزی مزرد را، کانی هماتیت دانسته‌اند [۱۴].

در سال ۱۳۰۵ هـق/ ۱۸۸۸م، استادی سفال‌گر با نام علی محمد اصفهانی، رساله‌ای درباره رموز ساخت فراورده‌های سرامیک نگاشت. در متن این رساله از دو نوع ماده اولیه برای تولید رنگ سیاه با نام‌های سیاه‌قلم معدنی و مغن، نام برده شده است. علی محمد اضافه می‌کند که ماده اول و یک دهم از ماده دوم برای ساخت رنگ سیاه کاشی و ظروف استفاده شده که پس از سایش، جهت رسم خطوط و کناره نقوش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. در این متن به ترکیبات، محل استخراج یا محل تامین "سیاه قلم معدنی " اشاره نشده است. هولاکویی به نقل از علی محمد، دستورالعمل ساخت رنگ سیاه را "مغن (۴ مثقال) + پودر شیشه (۳۰ قسمت) + سنگ سیلیس (۵۰ قسمت) + فریت قلیایی (۳۰ قسمت) + شوره (نیترات پتاسیم، Saltpeter) (۳۰ قسمت)" بیان می‌کند [۱۵، ۱۲].

فلور به نقل از اُلمر، ترکیبات رنگ سیاه لعاب نقاشی که در دوره قاجار تهیه می‌شد را "سیاه قلم معدنی (۱۰ قسمت)+ مغن (۱ قسمت)" بیان کرده [۱۵] و همچنین ترکیبات رنگ سیاه دورگیری دیگری را با ترکیبات زیر معرفی می‌کند: "شیشه کوبیده (۴ قسمت)+ مغن (۳ قسمت)+کربنات سدیم (۲ قسمت)+ماسه (۳ قسمت)" [۱۵].

به نقل از متین و محمدی؛ در سال‌های ۴۴-۱۳۴۱هـش (۶۴-۱۹۶۲ م)، خانم دومون؛ قوم‌شناس اهل سوییس، درباره سفالگران میبد یزد، به پژوهش پرداخت. نتیجه این تحقیق، به‌صورت کتابی با نام "جامعه سفالگران ایران: میبد-یزد"[1] منتشر شد. علاوه بر آن‌که این کتاب شامل اطلاعات فراوانی در مورد فناوری سرامیک سنتی در میبد است، نکته جالب توجه اینکه دومون، ضبط و نگارش اسامی رایج در میبد را با توجه به گویش محلی، انجام داده است. وی در این پژوهش اشاره می‌کند که سفالگران منطقه، به منظور تهیه رنگ سیاه جهت رسم خطوط، از سیاه قلمی که "موزرات" یا "موزریت" خوانده می‌شود استفاده می‌کنند. استادکاران بومی، مکان استخراج این ماده را کوه‌های شمال نایین گزارش کرده‌اند [۱۶]. پژوهش‌های اخیر توسط شمسی پور و همکارانش، نشان می‌دهد که منطقه وسیعی از شمال نایین و اطراف یزد، غنی از معادن کرومیت است [۱۷]. کانه‌ای که حاوی بیش از ۱۰٪ اسپینل کرم دار باشد، کرومیت نامیده می‌شود [۱۸]. ظاهر این کانی به صورت نیمه شفاف تا کدر همراه با جلای نیمه‌فلزی است و در زیر میکروسکوپ به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار و درهم مشاهده می‌شود [۱۹].

دومون، با استناد به نظرات ریتر و همکارانش، موزریت را هماتیت دانسته است. استادکاران آذربایجان در منطقه زنوز و تبریز نیز سیاه قلم را با نام "میزارات" می‌شناسند [۱۶]. البته در کاربرد کلمه "سیا قلم" یا "سیاه‌قلم" باید با احتیاط، اظهار نظر کرد. پژوهش‌های میدانی که نگارنده انجام داده نشان می‌دهد؛ در بین استادکاران دوران معاصر، در بسیاری موارد کلمه سیاه قلم (از نظر نوع ماده اولیه مورد استفاده) تنوع معنایی دارد و به رنگدانه سیاه حاوی اکسید منگنز یا مغن نیز اطلاق می‌شود که ارتباطی با کرومیت ندارد.

از دیدگاه وولف ترکیبات اصلی سیاه مزبور، شامل ۸۵ ٪ اکسید کرم، ۱۰ ٪ اکسید منگنز و ۵ ٪ سیلیکات منیزیم است [۲۰]. چند سال بعد از پژوهش وولف، ترجمه انگلیسی عرایس الجواهر و نفایس الاطایب به وسیله آلن، در لندن منتشر گردید. در این ترجمه آلن در مورد ماهیت مزرد با احتیاط اظهار نظر می‌کند. او نیز در زمینه ترکیبات مزرد به نقل قول از وولف می‌پردازد و ترکیب پیشنهادی وولف را معرفی می‌کند. آلن عقیده دارد که مزرد برای ساخت رنگ مشکی زیرلعابی کاربرد داشته و ترکیبات اصلی آن تنها با برخی تجزیه شناخت عناصر در سفال‌های باقی‌مانده از دوره میانی اسلامی قابل تایید و استناد است [۲۱].

کارگر و آشوری روش ساخت رنگ سیاه در "سفال پلی کرم" نطنز را که گونه‌ای نقاشی زیرلعابی است، به شیوه میدانی و مصاحبه با اساتید فن سرامیک در نطنز، مورد پژوهش قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در نطنز از دیرباز برای قلم‌گیری از سیاه‌قلم استفاده می‌کرده‌اند. این‌گونه سیاه قلم، از کانی سیاه رنگی در معادن نزدیکی نطنز (روستایی به نام لایار) و نایین استخراج شده است. مشاهدات کارگر و آشوری نشان می‌دهد که این کانی سیاه رنگ، پس از ساییدن روشن‌تر شده و مایل به قهوه‌ای می‌گردد. کاربرد این رنگ برای طراحی اولیه روی بدنه‌ها و مرزبندی رنگ‌ها مورد استفاده در نقاشی زیر لعابی است. استادکاران محلی اهمیت مرزبندی با این سیاه قلم را عدم انتشار رنگ‌ها به بخش زمینه ذکر می‌کنند [۲۲]. کارگر و آشوری بدون اشاره به ماهیت سیاه قلم در نطنز، سیاه قلم را یک ماده ترکیبی دانسته و سیاه‌قلم مذکور را همان ترکیبات معرفی شده توسط وولف؛ (اکسید کرم ۸۵ ٪ ، اکسید منگنز ۱۰ ٪ و سیلیکات منیزیم ۵ ٪) [۲۲] معرفی می‌کنند. وولف، عقیده دارد که در دوره میانی، ترکیبات کرم نیز عامل ایجاد رنگ سیاه در لعاب‌ها بوده است [۲۰]. اندکی بعد از انتشار ترجمه عرایس الجواهر و نفایس الاطایب توسط آلن، زاوش ترکیب شیمیایی مزرد را کرومیت معرفی می‌کند [۲۳]. حیدرزاده (سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۴) با هدف تکمیل تحقیقات سان لیور دومون، پژوهش‌های میدانی را در مورد رنگ سیاه موزیریت در منطقه انجام داد. وی دریافت که سفال‌گری با نام استاد قنبر نایینی، در اواخر دوره قاجار (نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی)، ماده‌ای به نام "موزریت" را از زمین‌های خود واقع در امین‌آباد میبد استخراج می‌کرده است. حیدرزاده آثار معدن‌کاری را در محل پیشین زمین‌های استاد قنبر نایینی به‌دست آورد. جهت بررسی‌های

1- Une communauté de potiers en Iran: Le Centre de Meybod, Yazd

آزمایشگاهی، نمونه‌برداری از این محل انجام شد. این پژوهش براساس شباهت ساختاری واژه‌های میزارات، موزریت با "مـزرد" شـروع و بـا هدف شـناخت ماهیـت موزریـت ادامـه یافـت. در آزمـایش حرارتـی مقدماتی، نمونه‌های برداشت شده از معدن موزریت در امین آباد میبد، در معرض دمای ۱۳۵۰°C قرار داده شد. در این دما، علائمی از ذوب و تغییر رنگ در نمونه مشاهده نشد [۱۶]. نکته جالـب توجـه، یکسـان بودن ویژگی "مقاومت بالا در برابر حرارت" در ایـن پـژوهش و مـتن عرایس الجواهر، با مضمون "سنگی است، که از آتش هـم سـیاه بـراق برون آید" [۱] است. متین و محمدی به نقل از حیدرزاده، موزریت را معادل واژه مزرد و کانی کرومیت دانسته‌اند [۱۶]. معادن کرومیت در دوره میانی اسلامی، با استناد به عرایس الجواهر، جاجرم [۱] (حـدود ۳۰۰ کیلومتری غرب نیشابور بوده است. وولف و همکارانش و دومون، یکی از مهـم‌تـرین معـادن اسـتخراج کرومیـت و منگنـز را در تولیـد لعاب‌های دوره اسلامی، نایین معرفی می‌کنند [۲۴، ۱۶]. پژوهش‌های پرنیکا و مالیس نشان می‌دهدکه در قرن ۸-۶ هـق، کـرم بـه عنـوان یک کالای وارداتی از افغانستان، به صنعت لعاب‌سازی ایران وارد شده است [۲۵]. قربانی، کانسارهای گسترده‌ای از کرومیت را در محـدوده سبزوار-تربت جام ما بین فریمان و شاهرود که تا نیشابور وسعت دارد را معرفی کرده است [۲۶]. کرومیت، دارای دو عضـو انتهـایی آهـن و منیزیم است و از جمله کانی‌های دیرگداز است کـه در پـژوهش‌هـای مختلف، فازهای متنوعی از آن در صنعت لعاب‌های تـاریخی گـزارش شده است [۲۸، ۲۷]. در صورتی که آهن-کرم سـاختمان اسـپینل را تشکیل دهند به آن فروکرومیت ($FeCr_2O_4$) گفته می‌شـود [۲۹]. در برخـــی منـــابع اســـپینل ترکیبـــی منیـــزیم-آهـــن-کـــرم ($(Mg,Fe^{2+})(Cr,Al,Fe^{3+})_2O_4$) نیز گزارش شده است. چنانچه کاتیون منیـــزیم در ســـاختمان کرومیـــت وجـــود داشـــته باشـــد بـــه آن منیزیوکرومیت ($MgCr_2O_4$, Picrochromite) اطلاق می‌شود [۲۹].

اسمیت، عقیده دارد رنگدانه سیاه شناسایی شـده در نمونـه‌هـای مینایی موجود در مـوزه متروپـولیتن، شـامل میـزان بـالایی مینـرال کرومیت است. کرومیت بر روی تمامی قطعات سـفال مینـایی مـورد مطالعه این مجموعه در موزه متروپولیتن یافـت شـد. وی بـا مقایسـه نتایج مزبور با رساله کاشانی به این نتیجه دست یافـت کـه ابوالقاسـم کاشانی، از کرومیت با نام مزرد یاد کرده‌است [۳]. کاس و همکارانش، عقیده دارند، حضور میزان قابل توجه اکسید کرم و آهـن در ترکیـب رنگ مشکی سفال‌های مینایی گالری فریر و موزه متروپولیتن، نشـان می‌دهد برای تولید رنگ سیاه، از مینرال کرومیت استفاده شده است. عنصر آهن و کرم تقریبا در همه رنگ‌های سیاه در سفال مینایی ایـن مجموعه مشاهده شد. کاس و همکارانش، نتایج حاصل را با مکتوبـات کاشـانی در ایـن زمینـه مقایسـه کردنـد و کرومیـت را همـان مـزرد دانستند [۶]. در این دو پـژوهش، مکـان کشـف آثـار مینـایی بـرای بررسی رنگ‌ها در نظر گرفته نشده است. تایت، منابع تولید رنگ سیاه در دوره اسـلامی را بـه دو گـروه کلـی دارای کـرم و بـدون کـرم تقسیم‌بندی می‌کند. وی رنگ‌های حاوی کرم را کرومیت و رنگ‌های بدون حضور کرم را ترکیب اکسید آهن و منگنز معرفـی کـرده اسـت [۳۰]. گرادمان، عامل ایجاد رنگ سـیاه را در برخـی لعـاب‌هـای دوره اسلامی به چهار گروه بلورهای کلینوپیروکسن غنـی از آهـن، اکسـید منگنز، ترکیب اکسید منگنز و آهن و کرومیت تقسیم‌بندی مـی‌کنـد [۳۱]. ون و پلارد، سه گروه اصلی رنگ سیاه را در سفال‌های مینـایی موزه ویکتوریا و آلبرت را شناسایی کردند: گـروه اول، حـاوی مقـادیر بالای اکسید آهن و کـرم بـود کـه آن را دلیـل اسـتفاده از کرومیـت دانسته‌اند. گروه دوم، ترکیبات اکسید منگنز همـراه بـا اکسـید آهـن بوده و گروه سوم میزان بالای اکسید آهن (مگنتیـت، $FeO.Fe_2O_3$) را شامل می‌شـد [۳۲]. هولاکـویی و همکـارانش، سـفال‌هـای گلابـه‌ای نیشابور و افراسیاب در خراسان را مورد پژوهش قرار داده و دریافتنـد که برای ساخت رنگ سیاه از کرومیت، هماتیت سیاه، اکسـید منگنـز (Hausmannite، Mn_3O_4) و ترکیب اکسید منگنز و هماتیت (احتمالا مینرال ژاکوبسیت ($MnFe_2O_4$)) استفاده شده است [۳۳].

در این پژوهش، رنـگ سـیاه در سـفال مینـایی ری و المـوت کـه تاکنون درباره آنها پژوهشی انجام نشده، با توجه به ویژگی‌های ظـاهری مرتبط با فناوری، با هدف شـناخت سـاختار و ترکیـب شـیمیایی ایـن رنگ و جایگاه قرارگیری آن در سطح لعاب مورد کنکـاش قـرار گرفتـه است. معتبرترین شیوه بـرای دسـتیابی بـه فنـون کهـن، مطالعـه آثـار مکشوفه از حفاری‌های علمی است. روند پژوهش برای شناخت یک فن، فرآیندی زنجیره‌ای بوده بنابراین، قابل استنادترین روش برای دسـتیابی به فنون کهن، آثار یافت شده از حفاری‌های علمی است. یکی از بهترین روش‌ها برای شناخت این آثـار، بـه‌کـارگیری علـوم و فنـاوری نـوین و راستی آزمایی آن با دستورالعمل‌های احتمالی ارایه شده در اسناد کهن است. بر این اساس در این پژوهش سعی شـده بـرای شـناخت بیشـتر رنگ سیاه در سفال مینایی، جامعه آماری نمونه‌ها، از آثار مینایی یافـت شده در حفاری‌های علمی همچون؛ دژ المـوت و ری انتخـاب شـود. در انتهـای پـژوهش، نتـایج حاصـل از بررسـی شـیمیایی و مطالعـات میکروسکوپی، برای شناخت نوع عناصر در رنگ سیاه مورد توجـه قـرار گرفته و با مکتوبات عرایس الجواهر قیاس شده است. هدف از انجام این پژوهش، شناخت رنگدانه های تولیدکننده رنگ سیاه در سفال مینـایی، به ویژه دو منطقه تـاریخی ری، المـوت و مـوزه ملـی ایـران اسـت کـه تاکنون پژوهشی خاص در جهت مطالعه مواد رنگزا در رابطه بـا نقـوش آنها انجام نشده است. گرچه در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در رابطه با ترکیبات سفال مینایی در دنیا انجام شده است امـا پژوشـگران ایرانی در این زمینه نقش بسیار کمی داشته‌اند. به ویژه اینکـه در مـورد رنگدانه‌ای خاص در سفال مینایی یک منطقـه و مقایسـه آن بـا متـون کهن نیز پژوهشی انجام نشده است. بدین منظور، مطالعه رنگ سیاه در ۱۳ نمونه مینایی انجام شده است. شیوه شـناخت رنـگ سـیاه در ایـن

پژوهش، با استناد به پژوهش‌های نوین و کهن، بهره بردن از عرایس‌الجواهر و نفایس‌الاطایب و استفاده از روش توانمند میکروپیکسی و میکروسکوپ الکترونی است.

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ ترکیبات رنگ سیاه در سرامیک دوره اسلامی

در این بخش نمونه‌های مینایی موزه ملی ایران و نمونه‌های یافت شده از حفاری‌های ری و الموت بر اساس روش‌های دستگاهی و متون کهن بررسی می‌شود. متن کهن مورد استفاده در این پژوهش رساله عرایس‌الجواهر و نفایس‌الاطایب [۱] است. براساس این رساله، دو ترکیب برای ساخت رنگ سیاه زیرلعابی را می‌توان استخراج کرد که در هر دو ترکیب از مزرد به عنوان ماده اصلی رنگزا نام برده شده است. این دو ترکیب در جدول ۱ مشاهده می‌شود: با توجه به پیشینه پژوهش [۲۱، ۱۶، ۶، ۳]، مزرد، میزارات، موزارات و موزیریت، معادل با مینرال کرومیت و سیاه قلم معدنی در نظر گرفته می‌شود.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که هنرمندان و صنعت‌گران در دوره اسلامی از مواد رنگزای متنوعی برای ساخت رنگ سیاه بهره برده‌اند. در جدول ۲ مواد و ترکیبات رنگ سیاه در صنعت سرامیک دوره اسلامی مشاهده می‌شود. در این پژوهش، نتایج حاصل از پژوهش‌ها و مطالعات میکروسکوپی، با توجه به رنگ‌های رایج در دوره اسلامی مد نظر قرار خواهد گرفت و مشخص خواهد شد که آیا رنگ سیاه در سفال مینایی، زیر مجموعه ترکیبات یا مینرال‌های رایج، برای ساخت رنگ سیاه دوره اسلامی بوده یا ترکیب جداگانه‌ای در سفال مینایی استفاده می‌شده است.

۲ـ۲ـ معرفی نمونه‌های مورد پژوهش

تاکنون روی رنگ سیاه در سفال مینایی، پژوهش منحصر و جامعی انجام نشده است. به ویژه اینکه، به طور خاص روی نمونه‌های حفاری شده از ری و الموت و موزه ملی ایران نیز، پژوهشی انجام نشده است. در این پژوهش، به منظور شناخت رنگ سیاه مورد استفاده در سفال مینایی، ۱۳ نمونه مورد مطالعه قرار گرفت. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در این پژوهش، ۴ نمونه مینایی مکشوفه از ری با شناسه اموال RG1754، RE3451، RD211 و RG7434 که در موزه ملی ایران نگهداری می‌شود، ۲ نمونه حفاری شده از دژ الموت با شناسه اموالی A12 و A3، و ۶ نمونه مطالعاتی در موزه ملی ایران با مکان کشف نامشخص و با شناسه مشخص شده M24 ، M42، M35، M43، M26 و M12، بررسی شده است.

۲ـ۳ـ تجهیزات و دستگاه‌ها

در این پژوهش از آنالیزهای عنصری نیمه‌کمی و کیفی با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA III، ساخت شرکت TESCAN، به‌همراه دستگاه طیف‌سنج تفرق پرتو ایکس (EDS) مدل RONTEC ساخت آلمان استفاده شده است.

مطالعه مواد با استفاده از باریکه یونی میکرونی روش میکروپیکسی (Micro-PIXE) انجام شد. با این روش می‌توان یک نقطه از نمونه را بررسی کرد و سطح نمونه را توسط باریکه میکرونی پروتون جاروب کرد و توزیع عناصر مربوط به هر نقطه را به دست آورد [۳۹]. برای شناخت پراکندگی عناصر لعاب و تزیینات روی سطح، از باریکه پروتون با انرژی ۲٫۲ MeV-۲ و جریان باریکه‌ای در حدود ۵۰-۳۰ pA (پیکو آمپر) که توسط شتاب دهنده واندوگراف ۳ MeV تولید می‌شود، استفاده شده است. قطر باریکه پروتون در این آزمایش در حدود ۱۰ میکرون است. برای آشکارسازی پرتو X از آشکارساز Si(Li) که در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به پرتوهای پروتون فرودی قرار گرفته و دارای قدرت تفکیک ۱۵۰ eV است. برای آشکارسازی ذرات عبوری از نمونه نیز از آشکارساز سد سطحی (Surface barrier detector) که پشت نمونه در زاویه ۲۰ درجه نسبت به باریکه قرار گرفته، استفاده شده است. به این ترتیب آشکارساز Si(Li)، پرتوهای x-گسیلی از نمونه را آشکار و عناصر تشکیل دهنده آن را مشخص می‌کند. آشکارساز سد سطحی، پروتون‌هایی که از نمونه عبور کرده‌اند را آشکار و به نوعی ضخامت و ساختار نمونه را از نظر چگالی مشخص می‌سازد. همچنین از میکروسکوپ لوپ دیجیتال (Dino-Light)، مدل AM413T-MA ساخت کشور تایوان، با بزرگ‌نمایی در حدود ۵۰۰ برابر برای بررسی جزییات بهتر لایه‌ها بهره گرفته شد.

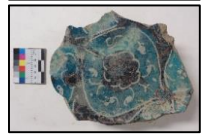
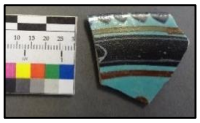
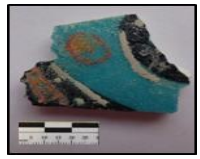
جدول ۱: ترکیبات رنگ سیاه در زیرلعابی بر اساس رساله کاشانی [۱].

	رنگ لعاب زمینه	ترکیب رنگ سیاه زیرلعابی
ترکیب ۱	شفاف (بی رنگ)	مزرد+حصا
ترکیب ۲	شفاف (سبز)	مزرد

جدول ۲: ترکیبات رنگ سیاه در صنعت سرامیک دوره اسلامی.

ترکیب رنگ سیاه	منابع
اکسید منگنز	[۶، ۱۰، ۳۳-۳۶]
اکسید منگنز+اکسید آهن	[۳۱، ۳۳ ، ۳۵-۳۷]
اکسید منگنز+اکسید آهن+ اکسید کبالت	[۳۲]
اکسید منگنز+ اکسید کرم	[۱۶]
اکسید کرم+اکسید آهن+اکسید مس	[۳۶]
کرومیت	[۲، ۳، ۶، ۳۲، ۳۳، ۳۸]
اکسید آهن	[۱، ۱۱، ۱۳، ۳۱، ۳۳]

جدول ۳: معرفی نمونه‌های مورد پژوهش.

شماره نمونه	شناسه	مکان کشف/نگهداری	عکس	شناسه	مکان کشف/نگهداری	عکس
۱	RG1754	ری، موزه ملی ایران		M42	نامشخص، موزه ملی ایران	
۲	RE3451	ری، موزه ملی ایران		M35	نامشخص، موزه ملی ایران	
۳	RD211	ری، موزه ملی ایران		M43	نامشخص، موزه ملی ایران	
۴	RG7434	ری، موزه ملی ایران		M26	نامشخص، موزه ملی ایران	
۵	A12	دژ الموت		M12	نامشخص، موزه ملی ایران	
۶	A3	دژ الموت		M22	نامشخص، موزه ملی ایران	
۷	M24	نامشخص، موزه ملی ایران				

۳ـ نتایج و بحث

۳ـ۱ـ مطالعات تجربی رنگ سیاه نقاشی در سفال‌های مینایی مورد پژوهش

۳ـ۱ـ۱ـ کاربردهای رنگ سیاه در سطح لعاب از نظر شیوه اجرا

با توجه به نمونه‌های بررسی شده در پژوهش حاضر، کاربرد رنگ سیاه در سفال مینایی به دو شیوه تقسیم‌بندی می‌شود:

الف: رنگ‌گذاری زمینه و پوشش سطح نقوش (شکل ۱، الف). ب: خطوط محیطی (شکل ۱، ب). در بسیاری از آثار مینایی که دارای طراحی پیکره‌ای هستند؛ مانند نمونه RG1754، سه گونه کاربرد رنگ سیاه در خطوط کناره نقوش مشاهده می‌شود:

- طراحی اولیه (پیش‌طرح) با خطوط کم‌رنگ سیاه زیر قلم‌گیری (شکل۱، ج).
- قلم‌گیری (شکل ۱، ج).
- دورگیری (شکل ۱، د).

در نگارگری ایرانی، قلم‌گیری و دورگیری، دو مقوله جداگانه شناخته می‌شوند. تحریر یا دورگیری در نقاشی، خطوطی با ضخامت یکنواخت را شامل می‌شود که نقاش برای زیبا ساختن نقش، در اطراف تصویر ترسیم می‌کند و بیشتر در کتاب‌آرایی رواج دارد. این‌گونه دورگیری با مفهوم قلم‌گیری رایج در نگارگری متفاوت است، زیرا قلم‌گیری با ضعف و قوت خط همراه است و کاربرد زیباشناسانه دارد اما در تحریر، بنا بر ظرافت و یکسانی، خطوطی باریک و یکنواخت به‌کار برده می‌شود [۴۰].

۳ـ۱ـ۲ـ مطالعات دستگاهی و توزیع عنصری رنگ سیاه

در جدول ۴ نتایج آنالیز عنصری رنگ سیاه به شیوه میکروپیکسی ارائه شده است. نتایج داده‌ها نشان می‌دهد که ساختار لعاب، به جز نمونه A12 و A3 در الموت که رنگ سیاه در پایه لعاب قلیایی شکل گرفته، در نمونه‌های ری و سفال‌های مینایی مطالعاتی موزه ملی، رنگ سیاه در پایه لعاب سربی-قلیایی ساخته شده است. در نمونه‌های M43، M35، M26، M24، M22، M12 و RG7434، RE3451 RG1754، A3 و A12، رنگ سیاه دارای اکسید کرم، آهن و منیزیم به عنوان ماده رنگزا است ولی در رنگ سیاه نمونه RD211 و M43، ترکیبات کرم وجود ندارد بلکه در آنها، اکسید آهن (۲۲,۳۳ و ۷,۲۹ ٪) مشاهده می‌شود. ایجاد رنگ سیاه از اکسید آهن، احتمال استفاده از هماتیت سیاه یا مگنتیت را برای تولید رنگ سیاه نشان می‌دهد [۳۳]. در نمونه‌های سیاه که دارای سه اکسید کرم-آهن- منیزیم هستند، محدوده وزنی اکسید کروم ۱۸,۲۱-۳,۶۹ درصد، اکسید آهن ۹,۲۸-۱,۹۷ درصد و اکسید منیزیم در چهار نمونه M35، RG1754، RE3451 و RG1754، ۲,۱۸-۱ درصد بوده و در بقیه نمونه‌ها کمتر از ۱ درصد است.

با استناد به داده‌های مذکور، کاربرد سه ترکیب ماده رنگزای سیاه، در مناطق گوناگون مورد پژوهش، قابل تایید است:

الف. مینرال غنی از اکسید کرم-آهن-منیزیم (حدودا ۲۶-۱۰ ٪) در نمونه‌های ری، الموت و موزه ملی ایران با شناسه: M42، M24، M22، A3، A12، RG1754، RE3451 و RG7434 RG1754

ب. مینرال حاوی اکسید کرم-آهن-منیزیم (۷,۱-۶,۹ ٪) در نمونه‌های موزه ملی ایران (یافت شده از مناطق مختلف) با شناسه: M26، M12 و M35

ج. مینرال غنی از اکسید آهن (۲۲,۳۳-۷,۲۹ ٪) در نمونه‌های ری و موزه ملی ایران با شناسه: RD211 و M43

از نظر لایه قرارگیری رنگ سیاه در سطح، مشاهده سطح مقطع نمونه‌ها با میکروسکوپ دیجیتال، حضور رنگ سیاه را در زیر و روی لعاب زمینه نشان می‌دهد، رنگ سیاه در روی لعاب (شکل ۲، نمونه M22) و زیر لعاب زمینه (شکل ۳، نمونه A12) اجرا شده است.

الف: رنگ‌گذاری رولعابی در سطح مو و خطوط دورگیری اجزا چهره

ب: کاربرد قلم‌گیری رقیق و غلیظ در اعضای چهره

ج: کاربرد پیش‌طرح کم‌رنگ و قلم‌گیری روی آن در طراحی دست.

د: کاربرد دورگیری اطراف رنگ قرمز با استفاده از رنگ سیاه غلیظ

شکل ۱: تنوع کاربرد رنگ سیاه در نمونه RG1754، ری، مکان نگهداری موزه ملی ایران.

جدول ۴: آنالیز عنصری رنگ سیاه در نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش میکروپیکسی.

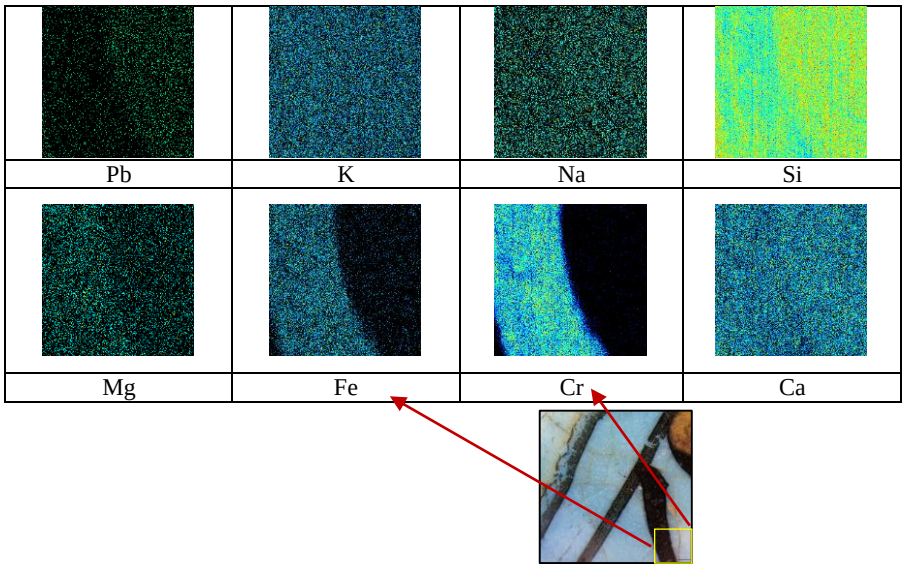
شناسه	مکان در سطح	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	Fe_2O_3	MnO	Cu_2O	PbO	SnO_2
M12	روی لعاب	۶,۲۰	۰,۹۵	۲,۲۰	۵۰,۷۳	۰,۳۴	۱,۳۹	۲,۰۲	۰,۰۸	۳,۶۶	۲,۴۹	۰,۱۳	۰,۶۹	۲۵,۷۹	۲,۷۷
M22	روی لعاب	۲,۲۸	۰,۳۳	۳,۰۳	۳۷,۲۶	۰,۳	۱,۳۰	۳,۰۸	۰,۱۷	۱۵,۶۰	۷,۱۱	–	۵,۴۲	۱۷,۴۸	۶,۵۳
M24	روی لعاب	۱,۵۹	۰,۲۵	۲,۱۷	۴۱,۶۱	۰,۲۵	۱,۷۷	۳,۴۴	۰,۱۴	۸,۶۰	۵,۳۰	-	۳,۱۲	۲۶,۲۷	۵,۴۴
M26	روی لعاب	۲,۱۲	۰,۷۸	۱,۳۸	۴۷,۳۷	۰,۳۶	۱,۴۴	۵,۶۶	۰,۱۶	۳,۶۹	۱,۹۷	-	۳,۵۱	۲۶,۱۳	۲,۵۲
M35	روی لعاب	۷,۲۵	۱,۰۷	۲,۶۵	۴,۸۷	۰,۳	۱,۰۸	۲,۴۴	۰,۰۹	۲,۹۹	۲,۴۱	۰,۱۴	۰,۱۷	۲۵,۹۷	۴,۴
M42	روی لعاب	۲,۶۲	۰,۷۹	۲,۱۷	۴۹,۴۵	۰,۱۸	۲,۰۷	۳,۳۷	۰,۱۳	۶,۵۸	۹,۲۸	-	۲,۵۵	۱۴,۶۸	۶,۱۰
M43	روی لعاب	۲,۰۴	۰,۹۵	۱,۶۵	۶۱,۵	۰,۳۱	۲,۰۸	۶,۲۳	۰,۱۳	۰,۱	۷,۲۹	۰,۰۶	۲,۱۷	۲۱,۰۳	۵,۰۷
RG1754	روی لعاب	۴,۱۶	۲,۱۷	۵,۸۷	۴۴,۷۳	۰,۳۴	۲,۱۱	۳,۵۶	۰,۱۴	۱۱,۹۵	۴,۹۱	-	۳,۶۹	۱۳,۱	۲,۲۸
RE3451	روی لعاب	۳,۱۷	۱,۶۸	۳,۹۵	۴۷,۵۶	۰,۲۴	۲,۰۷	۳,۲۶	۰,۱۹	۱۸,۲۱	۶,۰۴	-	۳,۵۷	۶,۶۷	۲,۷۸
RG7434	روی لعاب	۲,۰۹	۱,۲۷	۲,۲۱	۴۷,۲۷	۰,۲۵	۱,۶۷	۳,۹۴	۰,۱۲	۸,۴۱	۲,۴۲	-	۰,۱۳	۲۱,۸۲	۸,۳۴
RD211	زیر لعاب	۵,۸	۰,۶	۴,۶۸	۴۴,۳۵	۰,۲۲	۱,۱	۱,۸۷	۰,۰۷	۰,۶۱	۲۲,۳۳	۰,۱	۰,۳۲	۱۶,۵۴	۲,۰۵
A3	زیرلعاب	۶,۷۳	۲,۳۳	۱,۳۲	۶۰,۷۴	۰,۱۱	۱,۱۵	۶,۸۷	۰,۰۸	۱۰,۲۹	۴,۵	-	۳,۸۶	۲,۶۲	–
A12	زیر لعاب	۵,۵۷	۲,۱۶	۳,۶	۶۸,۷۹	۰,۸	۲,۳۹	۵	۰,۲۲	۵,۱۰	۲,۵۸	-	۲,۶۸	۱,۴۴	–

شکل ۲: کاربرد رنگ سیاه در رنگ گذاری به شیوه رولعابی، نمونه M22، با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر در لوپ Dino Light.

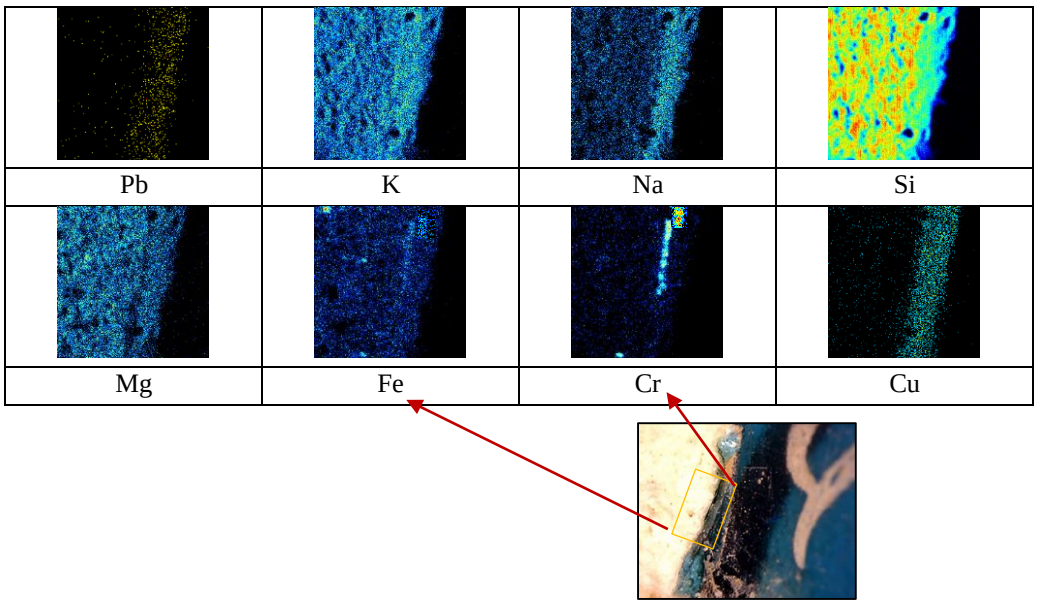
شکل ۳: کاربرد رنگ سیاه در رنگ‌گذاری به شیوه زیرلعابی، نمونه A12، با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر در لوپ Dino Light.

در شکل ۴، توزیع عنصری برخی از عناصر موجود در سیاه نمونه RG7434 که با استفاده از میکروپیکسی از سطح لعاب اسکن شده، مشاهده می‌شود. در تصاویر، نقاط روشن، تراکم عناصر را نشان می‌دهد. عناصر کرم، آهن و منیزیم که به صورت لکه‌های روشن در سطح شکل‌ها مشاهده می‌شوند، دارای پراکندگی یکسان در نقاط مشترک هستند که روی لعاب اجرا شده‌اند. این عامل می‌تواند به دلیل حضور کانی دارای کرم-آهن-منیزیم باشد که برای ساخت رنگ سیاه استفاده شده است.

در شکل ۵، توزیع عنصری برخی از عناصر موجود در زیرلعابی سیاه در نمونه A12 که با استفاده از میکروپیکسی، از سطح مقطع آنالیز شده، مشاهده می‌شود. در تصاویر، خطوط روشن که در زیر لعاب قرار گرفته‌اند، نشان دهنده عناصر کرم و آهن هستند. در شکل ۵، پایین سمت راست نیز کاربرد رنگ سیاه در زیر لعاب زمینه آبی و قلم‌گیری سفید مشاهده می‌شود.



شکل ۴: توزیع عنصری برخی از عناصر موجود در لعاب نمونه RG7434 که از سطح لعاب آنالیز شده است. در تصاویر، لکه‌های روشن که نشان دهنده عناصر کرم، آهن و منیزیم هستند، کاربرد رنگ سیاه به صورت رولعابی را نشان می‌دهد.

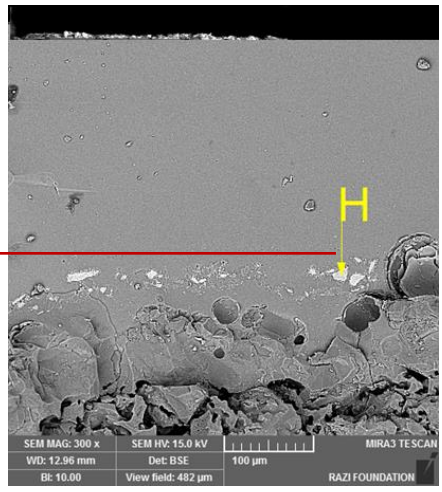


شکل ۵: توزیع عنصری برخی از عناصر موجود در بدنه و لعاب نمونه A12 که از سطح مقطع آنالیز شده است. در تصاویر، خطوط روشن که نشان دهنده عناصر کرم و آهن هستند، کاربرد رنگ سیاه را به صورت زیرلعابی نشان می‌دهند. در شکل پایین سمت چپ نیز کاربرد رنگ سیاه در زیر لعاب زمینه آبی و قلم‌گیری سفید، روی لعاب زمینه مشاهده می‌شود.

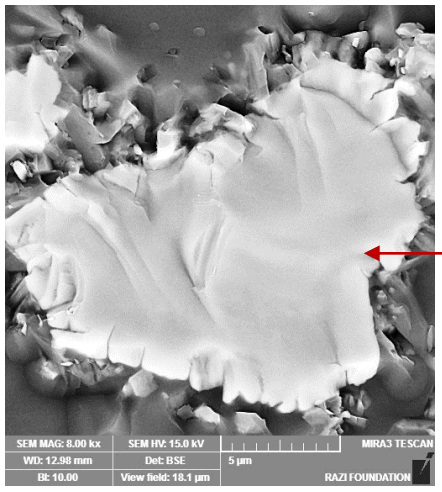
همان‌گونه که در تمام نمونه‌های بخش الف M42، M24، M22، A3، A12، RE3451، RG7434 و RG1754 مشاهده می‌شود، درصد بالای اکسید کرم-آهن سبب شده، رنگ سیاه حالت پوشاننده داشته و دارای خطوط محیطی بسیار واضح باشد که درون لعاب زمینه نیز حل نشده است (شکل ۲). این ویژگی در نمونه RD211 با اکسید آهن بالا نیز مشاهده می‌شود اما در نمونه‌های گروه ب (M26، M12، M35 و M43)، ظاهرا رنگ‌ها رقیق‌تر استفاده شده‌اند و رنگ زمینه از زیر آنها قابل مشاهده است. احتمالا هنرمند این رنگ‌ها را به عنوان پیش طرح استفاده کرده یا به دلایلی از غلظت آنها کاسته تا آنها را روشن‌تر استفاده کند.

در راستای تجزیه و تحلیل کیفی بهتر نتایج، برش عرضی نمونه‌های A3 وA12، با میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه A12، نشان می‌دهد که رنگ سیاه به صورت زیر لعابی و مستقیما روی بدنه اجرا شده است (شکل ۶). آنالیز نیمه‌کمی این کانی، کاربرد اسپینل ترکیبی آهن-کرم-منیزیم را نشان می‌دهد. این ذرات لبه‌دار و مقاوم، حضور منیزوکرومیت را تایید می‌کنند که بدون حل شدن درون لعاب، در زیر لعاب پراکنده هستند (شکل ۷). این ویژگی در تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه A3 نیز مشاهده می‌شود (شکل ۸).

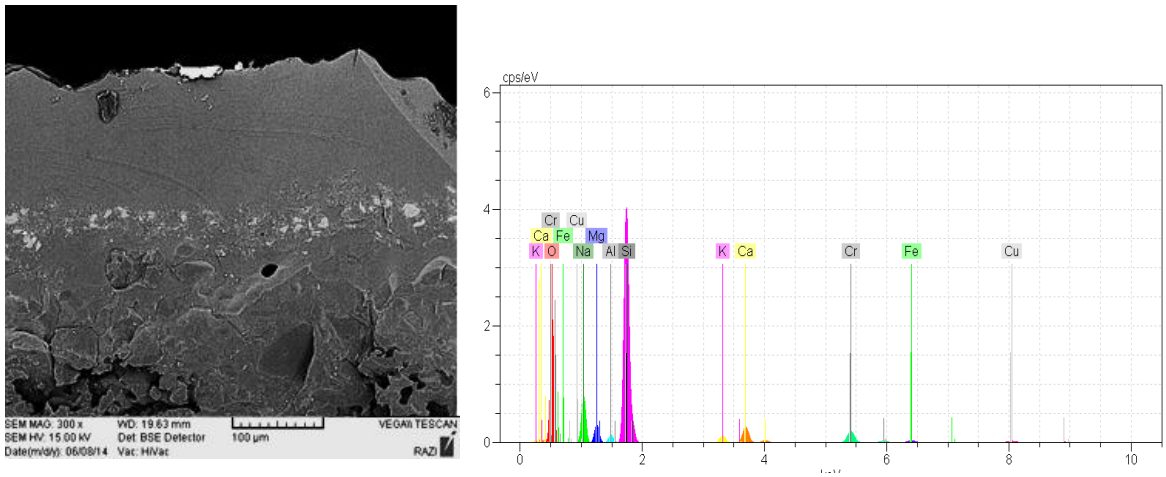
تاکنون سفال مینایی توسط پژوهشگران، به عنوان یک شیوه رولعابی مطرح بوده است [۸-۵ ،۳ ،۲] اما رنگ‌گذاری زیرلعابی سیاه که در دو نمونه الموت (A12 و A3) و یک نمونه ری (RD211) مشاهده شد، شیوه ترکیبی زیرلعابی و رولعابی، در سفال مینایی که با استفاده از لوپ، میکروسکوپ الکترونی و میکروپیکسی قابل مشاهده است را تایید می‌کند. همان‌گونه که نتایج آنالیزهای نیمه‌کمی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد، کرومیت در تهیه رنگ سیاه در سفال مینایی نقش بسزایی داشته است [۳۷، ۳۲، ۳۱، ۶، ۳، ۲]. از ویژگی‌های کاربرد رنگدانه‌های به دست آمده از کرم، می‌توان به مقاومت دمایی و مقاومت شیمیایی بالا، اندازه ذرات ریز و قدرت پوشش خوب اشاره کرد [۴۱]. می‌توان این علت را به ساختمان بلوری و شبکه متراکم یون‌های اکسیژن در مینرال کرومیت نسبت داد که یکی از دلایل پایداری و مقاومت زیاد این کانی است و کمک می‌کند که رنگ سیاه حاصل از این مینرال در لعاب مذاب حل نشده و داخل لعاب منتشر نشود. در نتیجه، از انتشار خطوط و نقوش ترسیم شده درون لعاب، جلوگیری می‌کند [۴۲]. این کاربرد هوشمندانه، می‌تواند یکی از دلایل مهم استفاده از کرومیت برای قلم‌گیری به‌وسیله استادان سفالگر ایرانی باشد. به نظر می‌رسد سفال‌گران با شناخت ویژگی کرومیت، از آن برای رسم نقوش و به ویژه خطوط کناره استفاده کرده‌اند.



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپ الکترونی A12 ، الف: حرف H، ذرات سفید رنگ پخش شده در زیر لعاب.

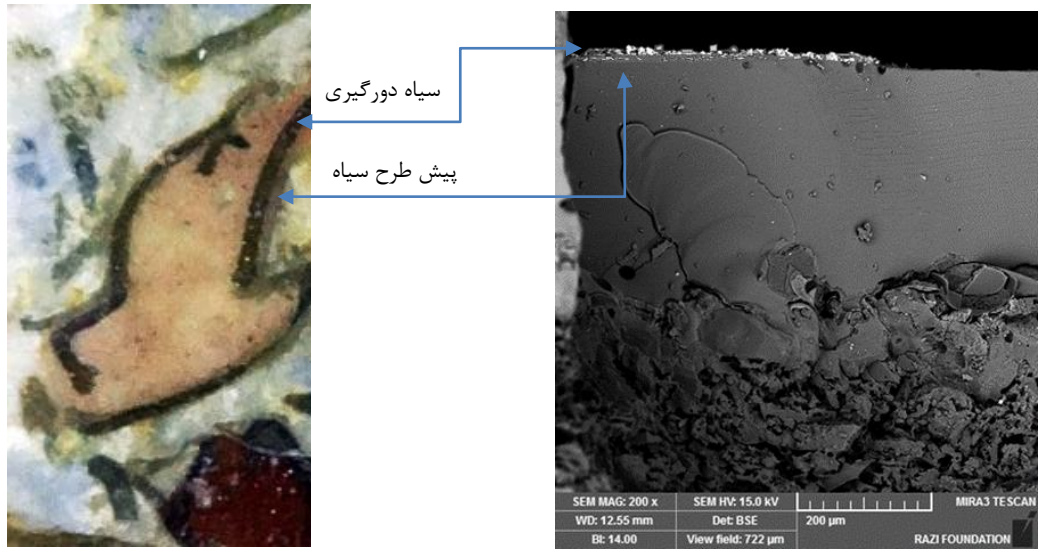


شکل ۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی A12 ، نمای نزدیک از مینرال غنی از کرم-آهن (کرومیت).



شکل ۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی و نمودار فراوانی اکسیدهای تشکیل دهنده رنگ زیرلعابی سیاه در نمونه A3، وجود اکسید آهن، اکسید کرم و اکسید منیزیم.

در شکل ۹ مشاهده می‌شود، رنگ سیاهی که در طراحی اولیه و یا زیر لعاب یافت می‌شوند از دانه‌بندی کوچک‌تری نسبت به آنهایی که در روی لعاب زمینه اجرا شده، برخوردارند. در سطح مقطع گرفته شده از نمونه RG1754، دو لایه سیاه متمایز در زیر و روی یکدیگر قرار گرفته است. لایه بالایی، مات‌تر و متراکم‌تر بوده و دارای ذرات بزرگتر کرومیت است، در حالی که ذرات کرومیت در طراحی اولیه، از دانه‌بندی بسیار ریزتری برخوردار هستند (شکل ۹). این دو نوع دانه‌بندی را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که به منظور ساخت رنگ سیاه پیش‌طرح، رنگ بیشتر ساییده شده تا دانه‌بندی ریزتری ایجاد شود (شکل ۹). در انتها قلم‌گیری نهایی در رو و یا اطراف آن اجرا می‌شده است. تراکم کمتر در رنگ سیاه طراحی اولیه، به صورت ظاهری نیز قابل مشاهده است. نتایج آنالیز کمی میکروسکوپی نیز که در نمونه‌های M26، M12 و M35 نشان می‌دهد که رنگ به صورت رقیق‌تر نیز استفاده شده تا سطح کاملا پوشیده نشود و از نظر چشمی ارزش و قدرت خطی کمتری نسبت به قلم‌گیری تیره داشته باشد و فقط محدوده طرح (قبل از اجرای اصلی) مشخص شود. همان گونه که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده می‌شود، اندازه کوچک‌تر و پراکنده ذرات در لایه‌های پایین‌تر، سطحی نازک از ذرات کرم-آهن- منیزیم را با میزان کمتر از ۷ درصد را نشان می‌دهد، در حالی که ذرات بزرگ‌تر در لایه بالایی به عنوان قلم‌گیری نهایی، خطوط برجسته‌تر را از دانه‌بندی درشت‌تر و متراکم‌تر با میزان حدود ۱۹ درصد ایجاد می‌کنند (شکل ۹).



شکل ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه RG1754. رنگ سیاه به صورت رولعابی (ذرات براق سفید) روی طراحی اولیه سیاه کار شده است. فشردگی ذرات کرومیت و ضخامت بیشتر لایه رنگ، نسبت به پیش طرح، در تصویر مشاهده می‌شود.

۴ـ نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های میکروسکوپی رنگ سیاه در نمونه‌های الموت، ری و نمونه‌های مطالعاتی موزه ملی، کاربرد دو شیوه رنگ‌گذاری با رنگ سیاه، برای نقوش و خطوط کناره را نشان می‌دهد. رنگ سیاه به عنوان رنگ‌گذاری زمینه به عنوان پرکننده نقش (به صورت رولعابی و زیرلعابی) و قلم‌گیری یا دورگیری (به صورت رولعابی) به کار برده شده است. مطالعات میکروپیکسی و میکروسکوپ الکترونی در دو نمونه الموت و یک نمونه ری، کاربرد سیاه در زیر لعاب و بقیه رنگ‌ها در روی لعاب را نشان می‌دهد در حالی که بقیه رنگ‌ها رولعابی هستند. این موضوع نشان می‌دهد که سفال مینایی که تاکنون به عنوان یک روش رولعابی روی لعاب زمینه اپک، مطرح بوده در مناطق خاصی از ایران همچون ری و الموت به صورت ترکیبی زیرلعابی و رولعابی اجرا می‌شده است و در این موارد لعاب زمینه یک لعاب شفاف است. بر اساس نتایج این پژوهش باید در زمینه تعریف سفال مینایی تجدید نظر کرد و این‌گونه سفال را یک فن ترکیبی زیرلعابی و رولعابی دانست. نتایج پژوهش‌ها در این بخش نشان می‌دهد، با وجودی که کاربرد اکسید منگنز به عنوان ماده رنگزای سیاه از دوران کهن مطرح بوده اما در هیچ کدام از نمونه‌های مورد بررسی نمی‌توان اکسید منگنز (مغن) را عامل ایجاد رنگ دانست. در میان ۱۳ نمونه تنها در یک نمونه زیرلعابی-رولعابی ری و یک نمونه رولعابی موزه ملی ایران، از اکسید آهن برای تولید رنگ سیاه استفاده شده است. در موارد محدودی در پیشینه پژوهش نیز، به اکسید آهن، برای تولید رنگ سیاه اشاره شده است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که پرکاربردترین رنگ سیاه در سفال مینایی مناطق مشخص ری، الموت و موزه ملی ایران را رنگدانه حاوی کرم-آهن-منیزیم تشکیل می‌دهد. با توجه به نتایج این پژوهش و پیشینه بررسی شده، منظور کاشانی از واژه مزرد برای ساخت رنگ سیاه، کرومیت بوده که مطابق با نتایج پژوهش، کاربرد آن در میان صنعت‌گران دوره میانی برای تولید رنگ سیاه در سفال‌های مینایی ری، الموت و دیگر مناطق، رایج بوده و بیشترین کاربرد را داشته است. دمای ذوب بالای کرومیت، که به دلیل ساختار مولکولی آن ایجاد شده است، باعث نامحلول بودن کرومیت در لعاب زمینه و پایداری آن می‌شود. همین ویژگی سبب می شود، خطوط قلم‌گیری به خوبی از سطوح زیرین یا رویی لعاب تفکیک شده و دارای خط جدایش باشند. این ویژگی کرومیت، در نقاشی مینایی که نیاز به قلم‌گیری و طراحی اولیه داشته، ضروری به نظر می‌رسیده است. براساس نتایج حاصل از پژوهش‌های نوین، کرومیت، سیاه قلم یا مزرد یکی از مواد اولیه‌ای است که در فناوری سرامیک‌های سنتی ایران به عنوان رنگدانه مشکی جهت ترسیم خطوط اطراف نقوش و طرح‌ها، حداقل در طی هزار سال اخیر مورد استفاده قرار گرفته است با این وجود در منابع کهن مورد مطالعه در این پژوهش، در مورد ماهیت کرومیت به عنوان ماده معدنی هیچ‌گونه اطلاعاتی ارایه نشده و تنها یک‌بار در عرایس‌الجواهر به آن اشاره شده که معدن آن در جاجرم ذکر شده است. شناخت رنگ سیاه در لایه‌های سطحی لعاب، نشان داد که این رنگ یکی از پرکاربردترین رنگ‌ها در ترسیم نقوش مینای به شمار می‌رفته است. دانش نسبی به دست آمده در این پژوهش، سبب تقسیم‌بندی دقیق‌تر رنگدانه‌ها در تولید رنگ سیاه و در نهایت، سبب یک تعریف نوین در رابطه با فناوری سفال مینایی به عنوان یک فن زیرلعابی و رولعابی شد. نتیجه این تحقیق سبب شناخت بخشی از دانش فراموش شده در رابطه با فناوری سفال و نقاشی در دوره اسلامی گردید.

تشکر و قدردانی

نگارنده مراتب تقدیر و تشکر خود را از مسوولین محترم بخش واندوگراف سازمان انرژی اتمی ایران، آقایان پروفسور محمد لامعی رشتی، مهندس داوود آقا علی‌گل اعلام می‌دارد. همچنین از اساتید محترم دانشگاه هنر اصفهان، جناب آقای دکتر احمدی و آقای دکتر امامی بسیار سپاسگزار است. نگارنده همچنین از مسوولین موزه ملی ایران؛ خانم دکتر مهناز عبداله خان گرجی، خانم مارال داداشی‌زاده، آقای عبداله معنوی ثانی، آقای شهاب شهیری، به خاطر همکاری بی‌دریغ و تحویل نمونه‌های مینایی موزه ملی و اسناد مربوطه، کمال تشکر را دارد. نگارنده لازم می‌داند از دکتر حمیده چوبک، سرپرست هیات باستان شناسی محوطه الموت، جهت همکاری در ارایه اطلاعات مربوط به محوطه تاریخی الموت و فراهم نمودن نمونه‌های یافت شده از حفاری‌های محوطه مذکور، سپاسگزاری کند.

۵ـ مراجع

۱. ابوالقاسم عبداله کاشانی (۷۰۰ هـق)، عرایس‌الجواهر و نفایس الاطایب، بکوشش ایرج افشار. چاپ اول. تهران: المعی، ۱۳۸۶.

2. A. M. Keblow-Bernsted, Early Islamic pottery materials and techniques, Archetype, 1ST edition, 2003, 44-49.
3. D. Smith, Considering the colors of mina'i ware. *Met. Objectives*, 3(2001), 9-11.
4. M. Aga-Oglu, The origin of the term Mina and its meanings, University of Chicago Press, *Near Eastern Studies*, 5(1946), 241-257.
5. O. Watson, Ceramics from Islamic Lands, Thames & Hudson in association with al-sabah collection, Dar al-Athar al-Islamiyyah, Kuwait National Museum, 2004, 1.
6. K. Koss, B. McCarthy, E. Salzman Chase, D. Smith,

Analysis of persian painted mina'i ware in scientific research on historic asian ceramics, *Sci. Res. Historic Asian Ceram. Washington D.C*, (2009), 33-47.
7. G. Fehérvári, Ceramics of the Islamic World: In the Tareq Rajab Museum, I. B. Tauris, 2000, 126-128.
8. E. J. Grube, Islamic Pottery of the 8th to the 15th Century in the Keir Collection, Faber & Faber, 1976, 195.
۹. ب. بشیرزاده، س. ح. جزایری، م. ع فقیهی ثانی، ز. نعمتی، سنتز رنگدانه قهوه‌ای بر پایه اسپینل آهن، روی و کروم نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ، (۱۳۸۷)۲، ۴۹-۵۶
۱۰. ابوریحان محمد بن احمد بیرونی، الجماهر فی الجواهر، تحقیق یوسف الهادی، تهران: میراث مکتوب، ۱۳۷۴.
۱۱. ع.ع. شروه، م. انوشفر، لعاب، کاشی، سفال، تهران: جاودان خرد، ۱۳۸۵.
12. P. Holakooei, Technological study of the seventeenth century haft rang tiles in Iran with a comparative view to the cuerda seca tiles in Spain, PhD thesis, Università degli Studi di Ferrara, Italy, 2012.
۱۳. محمدبن ابی البرکات جوهری نیشابوری (۵۹۲ هـق)، جواهرنامه نظامی، به کوشش ایرج افشار، تهران: میراث مکتوب، ۱۳۸۳.
14. H. Ritter, J. Ruska, F. Sarre, R. Winderlich, Orientalische Steinbucher unde Persische Fayence technik, Istanbuler Mitteilungen III. (1935), 16-36.
۱۵. و. فلور، صنایع کهن در دوره قاجار، ترجمه: علیرضا بهارلو، تهران: پیکره، ۱۳۹۳.
۱۶. م. متین، م. محمدی، مهدی، مزرد؛ اسپینل کرومیت در فناوری سرامیک‌های سنتی ایران، نخستین همایش فناوریهای بومی ایران، (۱۳۸۷)، ۹-۱
۱۷. ر، شمسی پور دهکردی، م. صادقی، ز، غلامی فشارکی، بررسی منشا کرومیت و عناصر گروه پلاتین در افیولیت شمال نایین. زمین شناسی اقتصادی. (۱۳۹۰)۳، ۱۲۵-۱۱۱.
18. L. Matsumoto, S. Arai, Petrology of dunite harzburgite with decimeter-scale stratification Mineralogy and Petrology Sciences. *J. Mineral. Petrol. Sci.* 96(2001), 19-28.
19. S, T. Sanchez-Segado, L. Makanyire, Y. Escudero-Castejon, A. Hara, Reclamation of reactive metal oxides from complex minerals using alkali roasting and leaching–an improved approach to process engineering. *Green Chem*. 17(2015), 2059-2080
۲۰. هـ ای. وولف، صنایع دستی کهن ایران. ترجمه سیروس ابراهیم‌زاده، تهران: علمی و فرهنگی، ۱۳۸۴.
21. J. W, Allan, Abu 'l-Qasim's treatise on ceramics, *Iran*: 11(1973), 111-120.
۲۲. م. کارگر، م. آشوری، سرامیک پلی کروم نطنز، *فصلنامه تحلیلی پژوهشی نگره*، ۱۱(۱۳۸۸)، ۵۹-۳۱.
۲۳. م. زاوش، کانی شناسی در ایران قدیم، ج ۲، تهران: بنیاد فرهنگ ایران، ۱۳۵۴.
24. H. E. Wulff, H.S. Wulff, L. Koch, Egyptian faience-a possible survival in Iran. *Archaeology*. 21(1968), 98-107.
25. E. Pernicka, H. Malissa, Examination of Islamic glazes with the electron microprobe. Paper presented at the Nature, Aim and Methods of Microchemistry; *International Microchem. Symposium*. 55, (1976).
26. M. Ghorbani, The economic geology of Iran, mineral deposits and natural resources, Springer, Dordrecht, 2013, 100-101.
27. B. Zhang, P. Shi, J. Maofa, Advances towards a clean hydrometallurgical process for chromite, *Miner*. 6(2016): 1-12.
28. Ph. Boch, J. C. Niepce, Ceramic Materials: Processes, Properties and Applications. ISTE Ltd, 2007, 217.
29. A. Dodd, D. Murfin, Dictionary of Ceramics. 3rd edition. The Institute Of Minerals, 1994, 62-63-232-233.
30. M. S. Tite, The technology of glazed islamic ceramics using data collected by the late alexander kaczmarczyk. *Archaeometry*, 53(2011), 329-339.
31. R. Gradmann, Analysis of historical Islamic glazes and the Development of a substitution material. Institute of Geography and Geology, PhD Thesis, Julius Maximilans University Würzburg, Germany, 2016.
32. R. Wen, M. Pollard, The pigments applied on the Mina'i wares and the correlation with Chinese blue-and-white porcelain. *Archaeometry*. 58(2016), 1–16.
33. P. Holakooei, J. F. Lapérouse, F. Caròc, S. Röhrsd, U. Frankee, M. Müller-Wienere, I. Reiche. Non-invasive scientific studies on the provenance and technology of early Islamic ceramics from Afrasiyab and Nishapur. *J. Archaeolog. Sci*. 24(2019), 759-779.
34. V. Hill, The Materials and Technology of Glazed Ceramics from the Dehluran Plain, Southwestern Iran, British Archaeological Reports, 2006, 12.
35. Ph. Colomban, Lapis lazuli as unexpected blue pigment in iranian lajvardina ceramics. *J. Raman Spectrosc.* 34(2003): 420–423.
36. R. Chapoulie, C. Déléry, F. Daniel, M. Vendrell-saz, Cuerda seca ceramics from al-andalus, islamic spain and Portugal (10th- 12th centuries ad): Investigation with SEM–EDX and cathodoluminescence. *Archaeom.* 47(2005), 519-534.
37. P. Holakooei, F. Tisato, C. Vaccaro, F. C. Petrucci, Haft rang or cuerda seca? Spectroscopic approaches to the study of overglaze polychrome tiles from seventeenth century Persia. *J. Archaeolog. Sci*. 41(2014), 447-460.
38. R. B. Mason, M. S. Tite, S. Paynter, C. Salter, Advances in Polychrome Ceramics in the Islamic World of the 12th Century. *Archaeom.* 43(2001), 191-209.
۳۹. لامعی رشتی، محمد. نقش تحلیل عنصری در باستان‌سنجی، مجله فیزیک، (۱۳۸۲)، سال بیست و یکم: ۹-۱۴
۴۰. م.م. هراتی، س.ع. میرعلی نقی. دانشنامه جهان اسلام، جلد۱، تهران: بنیاد دایرة المعارف اسلامی، ۱۳۷۵
۴۱. ع. بابایی دارانی، م. خواجه امینیان، س. اردشیری، ح. زارع. ساخت و بررسی مشخصات ساختاری نانورنگدانه‌های سرامیکی Cr_2O_3، $CoCr_2O_4$ و Al_2O_3-$2Cr_2O_3$ به روش هیدروترمال. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. ۱۲(۱۳۹۷)، ۲۸۰-۲۷۱
۴۲. ا. رحیمی، م. متین، تکنولوژی سرامیک‌های ظریف، جلد ۲، شرکت صنایع خاک چینی ایران، (۱۳۶۸).