Application of Colorimetry for Compartive Study of Minium Pigment in Five Safavid Illustrated Manuscript Belonging to the National Museum of Iran

Somayeh Noghani [1]**,** ***Razieh Jafari*** *[2]**,** ***Parnia Modarresi*** [3]

1. Assistant Professor, Faculty of Conservation and Restoration, Iran University of Art, Tehran, Iran.

2*. Assistant Professor, Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran.

3. PhD Candidate, Art Research Group, Faculty of Theoretical Science and Higher Art Studies, Iran University of Art, Tehran, Iran.

Abstract

Red mineral pigments, including minium, vermilion and ocher, have historically been some of the most important and widely used colors ranges in painting, gilding, tabulation and marking verses. This color spectrum in the artworks from previous centuries has shown acceptable stability, with its brightness well-preserved. The preparation of color, as one of the most a significant tools for artists, has long been an important issue, leading to the documentation of color preparation methods in book design in book design treatises. Minium processing is mentioned as a red pigments in three treatises: Umdeh al-Kottab, Bayan al-Sana' at and Qanun al-Sovar. In the current research the text of these treatises were reviewed, and a comparative study of minium identified in a number of illustrated manuscripts from the Safavid period was carried out using colorimetric method. Initially for this purpose, in the first step, minium was mixed with specific ratios of vermilion to prepare red color tables based on minium. Eight samples of selected miniatures from Safavid period illustrated manuscripts (including 5 illustrated manuscripts from the National Museum of Iran) and 17 prepared color samples were subjected to spectral and color analysis using a spectrophotometer. The color difference values of the prepared samples and the historical samples were then calculated. The results indicate that there is an acceptable color difference between the prepared colors and the historical samples. Therefore, this method can be used in the reconstruction and homogenization of the red spectrum resulting from the minium pigment.

Keywords: Minium pigment, Art Treatises, Safavid Illustrated Manuscripts, Colorimetry, Color Difference

Knowledge of Conservation and Restoration

Vol. 6(4) No.18
March 2024

https://kcr.richt.ir/

Pages: 36 to 53

Coresponding Author
Razieh Jafari

Assistant Professor, Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran.

Email
jafari-ra@icrc.ac.ir

Copyright © 2020,Knowledge of Conservation and Restoration. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0. International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

کاربرد آنالیز رنگ‌سنجی به منظور مطالعه تطبیقی رنگدانه سرنج در پنج نسخه مصّور دورهٔ صفویه متعلق به موزه ملی ایران

سمیه نوغانی[۱]، راضیه جعفری[۲]*، پرنیا مدرسی[۳]

۱. استادیار، گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران.

۲*. استادیار، گروه پژوهشی دوباره تولید رنگ و کنترل رنگ، پژوهشکده فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران.

۳. دانشجوی دکتری پژوهش هنر، گروه پژوهش هنر، دانشکده علوم نظری و مطالعات عالی هنر، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران.

چکیده

رنگدانه‌های سرخ معدنی (شامل سرنج، شنگرف و اخرا) از طیف‌های رنگی مهم و پرکاربرد در نگارگری، تذهیب، جدول‌کشی و علامت آیه‌ها بوده اند. این طیف رنگی در آثار به‌جا مانده از سده‌های پیشین، ثبات قابل قبولی داشته و درخشندگی خود را حفظ کرده است. از سوی دیگر، تهیه رنگ به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم کار هنرمند از دیرباز مسئله‌ای حائز اهمیت بوده و به‌همین دلیل روش‌های تهیه و آماده‌سازی رنگ‌ها در رساله‌های کتاب‌آرایی مکتوب شده است. فرآوری رنگ سرنج به‌عنوان یکی از رنگدانه‌های سرخ، در سه رسالهٔ عُمدةالکُتّاب، بیانُ‌الصناعات و قانونُ‌آلصُوَّر، ذکر شده است. در پژوهش حاضر علاوه‌بر مرور متن این رساله‌ها، مطالعه تطبیقی رنگدانه سرنج شناسایی شده در تعدادی از نسخ مصوّر دورهٔ صفویه با روش رنگ‌سنجی انجام شده است. به این منظور در گام نخست، رنگدانه سرنج با نسبت‌های معینی از رنگدانه شنگرف ترکیب شده و جدول‌های رنگ سرخ با پایه سرنج آماده شدند. هشت نمونه نگاره‌های منتخب از نسخ مصوّر دورهٔ صفویه (شامل ۵ نسخهٔ مصوّر از موزه ملّی ایران) و ۱۷ نمونهٔ رنگی‌سازی شده با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی تحت تجزیه و تحلیل طیفی و رنگی قرار گرفتند. در پایان مقادیر اختلاف رنگ نمونه‌های آماده‌سازی شده با نمونه‌های نسخ مصور محاسبه شدند. نتایج حاکی از آن است که بین رنگ‌های آماده‌سازی شده و نمونه‌های تاریخی، همبستگی قابل قبولی وجود دارد. بنابراین این شیوه می‌تواند در بازسازی و رنگ همانندی طیف سرخ حاصل از رنگدانه سرنج مورد استفاده قرار گیرد

واژگان کلیدی: رنگدانه سرنج، رسالات کتاب‌آرایی، نسخ مصور صفویه، رنگ‌سنجی، اختلاف رنگ

فصلنامه دانش حفاظت و مرمت

سال ششم، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۸

زمستان ۱۴۰۲

https://kcr.richt.ir/

صفحات: ۳۶ تا ۵۳

نویسنده مسئول

راضیه جعفری

استادیار، گروه پژوهشی دوباره تولید رنگ و کنترل رنگ، پژوهشکده فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران.

بزرگراه صیادشیرازی (به سمت شمال)، خروجی لویزان، میدان حسین‌آباد، خیابان وفامنش، نبش کوچه شمس، پلاک ۵۵.

۱۶۶۸۸۳۶۴۷۱

رایانامه

jafari-ra@icrc.ac.ir

مقاله منتخب سیزدهمین همایش دو سالانه حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی – فرهنگی و آرایه های معماری

دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیرتجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می‌شود.

مقدمه

نگارگری ایران از دیرباز و از اولین سده‌های شکوفایی تا به امروز، دارای ترکیب‌بندی‌های منحصربه‌فرد و کاملی از رنگ‌هاست که همواره مورد تحسین پژوهشگران و هنرمندان داخلی و خارجی بوده است. این عنصر در نگارگری از جنبه‌های مختلفی مانند فن‌شناسی و شناخت نحوهٔ فرآوری و تولید رنگ، نمادشناسی و... بررسی شده است. بنابر نظر کارشناسان، در اکثر نسخ موجود چندین نگارگر به خلق اثر پرداخته و هرکدام در انتخاب رنگ نگاهی متفاوت داشته‌اند. از این‌رو علی‌رغم داشتن امضاء در بسیاری از آثار، یکی از روش‌های یافتن خالق اثر مطابقت رنگ‌های کار شده در آثار منسوب به وی است (شادقزوینی، ۱۳۸۲). از طرفی اهمیت و دیدگاه فلسفی و جهان‌بینی نقاش در به‌کاربردن رنگ‌ها و تأثیرپذیری از جریان‌های معاصر نگارگر در خلق اثر را نیز نمی‌توان نادیده گرفت (فرید، ۱۳۸۸).

از سویی دیگر تهیهٔ رنگ به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی کار هنرمند نیز مسئله‌ای حائز اهمیت است. کن‌بای در مقاله‌ای تحت عنوان ابزار و مصالح نگارگر ایرانی می‌گوید: «نگارگر برای آغاز نقاشی به ابزار اولیه چون کاغذ، رنگ و قلم‌مو نیاز دارد. نگارگر چه به صورت مستقل و چه با فعالیت در کتابخانهٔ سلطنتی، نیازمند آن است تا ابزارش را خود تأمین نموده و یا حداقل قلم و رنگش را مهیا سازد. هر یک از این ابزار نقش سازنده‌ای در نمود ظاهری و استحکام نهایی اثر ایجاد می‌کند» (کن‌بای، ۱۳۷۶). به‌همین دلیل است که در تمام رساله‌های مربوط به کتاب‌آرایی و نسخ خطی، بخش مهمی به رنگ و رنگ‌سازی اختصاص داده شده است. این رساله‌ها به‌عنوان منابع اصلی برای آگاهی از روش کار هنرمندان در هر دوره، بسیار مهم هستند. برای مثال یکی از مهم‌ترین این رساله‌ها، «گلستان هنر» اثر قاضی‌احمد منشی قمی است. در این رساله، نویسندهٔ در چندین جایِ مقدمهٔ کتاب خود از برخورد حضوری با هنرمندان دربار سخنَ گفته است، و از این منظر می‌تواند سندی قابل توجه و منبعی برای نقاشان درنظر گرفته شود (میرزایی مهر، ۱۳۹۱).

به طور کلی، مواد رنگ‌زا در آثار تاریخی دارای دو منشأ معدنی و آلی هستند. این اصل هم در رساله‌ها و کتب تاریخی، با اشاره به منابع تهیه رنگ (گیاهی، حیوانی و یا معدنی)، و هم در نتایج مطالعات آزمایشگاهی (برای مثال ر.ک. پورتر، ۱۳۹۲)، نشان داده شده است. همچنین نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که رنگ‌ها به‌ندرت به‌صورت خالص استفاده شده و در اکثر موارد برای ایجاد طیفی متنوع با هم ترکیب می‌شدند (Purinton & Waiters ,1991). این نکته را نیز نباید از نظر دور داشت که گاهی رنگ‌ها، ساختهٔ دست بشر و مصنوعی بوده و از ترکیب عناصر مختلف و با شیوه‌های فرآوری خاص به دست می‌آمدند. برای مثال، در رساله بیانُ الصَّناعات برای ساخت رنگ شنگرف گفته شده: «بستاند شیشه آبگینه سطبر تُرنجی، یعنی که بُن وی باریک باشد و سر وی تنگ چون کوزه فُقاع، و ژیوه [جیوه] در وی کند و چهار یکی گوگرد زرد با وی بیامیزد و اگر شش یکی [بود] بهتر بود. ..» (تفلیسی، ۱۳۳۴). در این متن به ترکیب جیوه و گوگرد و سپس حرارت دادن آن اشاره شده است که طی یک واکنش شیمیایی، ورمیلیون یا شنگرف مصنوعی (HgS) تشکیل می‌شود.

مطالعاتی که تاکنون پیرامون رنگدانه‌ها و طیف رنگ‌های استفاده شده در نگاره‌ها و نسخ صورت گرفته است، معمولاً در سه حوزه طبقه‌بندی می‌شوند:

۱. فن‌شناسی، بررسی تکنولوژی تولید و ترکیب شیمیایی مواد رنگزا، همچنین یافتن علت آسیب رنگ‌ها در نسخ و نگاره‌ها و راهکاریی برای جلوگیری از گسترش آسیب‌ها (زمردیان، ۱۳۹۴؛حق‌گو، ۱۳۹۵) (Mousavi et al,. 2015; 2021 Darzi et al,. 2021; Rostami-Charati et al,. 2022; Koochakzaei et al., 2022; Rossi et al,. Mahmoudi Khorandi,).

۲. به منظور تطبیق رنگ‌مایه به کار رفته در نسخ با روش‌های ذکر شده در رسالات هم‌دوره آن‌ها (Purinton & ,1991 Waiters)، (نعمتی بابای‌لو، کوچکزایی و قائم امیری، ۱۴۰۲؛ نعمتی بابای‌لو، کوچکزایی و ملکی‌فر، ۱۴۰۲؛ نوغانی، مدرسی و جعفری، ۱۴۰۰).

۳. شناسایی اصل یا جعلی بودن آثار (رادرفورد، ۱۳۸۹)، به‌ویژه در حوزه جعل اسناد با توجه به بررسی رنگ جوهرها (Khan et al ,2018). در بررسی و ارائه راه‌کارهای مرمتی، شناسایی نوع مواد به‌کار رفته در نسخ، یکی از مراحل انجام کار است که با استفاده از روش‌های بررسی و آنالیز مختلف حاصل می‌شود. روش‌های معمول و رایجی که تاکنون در پژوهش‌ها از آنها بهره گرفته شده است، عبارتند از: میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (SEM-EDX) (Tanevska et al,. 2014; 2015 Koochakzaei, Nemati Babaylou & Daneshpoor, Darzi et al,. 2021;).

طیف‌سنجی لیزری رامان و طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون

قرمز (FTIR) مجهز به طیف‌بینی مادون قرمز بازتاب کلی تضعیف شده ATR (بهادری و بحرالعلومی، ۱۳۹۶)، 2023; Burgio et al,. 2021; Darzi et al,. 2008) Koochakzaei, Alireza & Mobasher Maghsoud,, Clark & Mirabaud, 2006; Jelodarian Bidgoli (Knipe et al,. 2018; Hayez et al,. 2004; و روش پراش پرتو ایکس (XRD) (رادرفورد، ۱۳۸۹) (Niknejad &, 2019 .(Barkeshli, 2015; Karimy

عموماً این روش‌ها نیمه تخریبی بوده و نیازمند نمونه‌برداری هرچند اندک از نسخ هستند (مگر در روش‌هایی مانند ATR که به نمونه‌برداری نیازی نیست). به‌علاوه در این روش‌ها ماهیت شیمیایی و مینرالوژیک رنگدانه شناسایی شده و کیفیت و ویژگی‌های بصری ماده رنگ‌زا، بررسی نمی‌شود.

علاوه‌بر پژوهش‌های ذکرشده، پژوهش‌های دیگری هم وجود دارد که از روش‌های غیرتخریبی دیگری جهت شناسایی پالت رنگی نقاش استفاده کرده‌اند. از مهم‌ترین این پژوهش‌ها می‌توان به دو پروژه تحقیقاتی که درخصوص شناخت رنگ و تکنیک نقّاش بر روی دو اثر مهم نقاش هلندی ونسان ونگوگ، در پژوهشکدهٔ رنگ مانسل (آمریکا) صورت گرفته، اشاره کرد. در پژوهش اول، ایمای و همکارانش با عکس‌برداری طیفی از پیکسل های خودنگاره ونگوگ در گالری هنر واشنگتن و بررسی رنگ‌های پالت رنگی به‌کاررفته، میزان پیگمنت‌ها در هر پیکسل و به‌دست آوردن ضخامت لایهٔ رنگی، اطلاعات جامعی از این اثر برای ارائه راه‌کارهای حفاظتی و همچنین تهیهٔ نسخهٔ کپی با حداقل اختلاف بصری فراهم آوردند. این پژوهش، با بهره‌گیری از دوربین دیجیتال طیفی IBM 300 Pr0 با منبع نوری D65 انجام شده است. اثر با استفاده از پرینتر Epson Photo Style 1200 کپی و با دستگاه اسپکتروفتومتر Gretage Spectrolino و منبع نوری D50 بررسی شده است. میانگین اختلاف رنگ اندازه‌گیری‌شده در فضارنگ CIELAB مقدار ۵ ذکر شده و برای رنگ اصلی در پالت رنگ نقاش در این پژوهش مقدار ۱۰ گزارش شده است. همچنین امکان تعیین ضخامت لایه رنگ با استفاده از قوانین کیوبلکا - مانک (Kubelka – Munk) نیز در این روش میسر است (Imai et al.,2001). در پژوهش دیگری با روشی مشابه، تابلوی شب پر ستاره ونگوگ تحت عکاسی طیفی قرار گرفته است که به غیر از سفید سرب، مقدار سایر رنگ‌ها ۱۰ شناسایی شدند. ژوآ و همکارانش در این پژوهش با استفاده از قوانین کیوبلکا- مانک ضخامت و مقدار پیگمنت در هر نقطه از نقاشی را با دقت بالا اندازه‌گیری کرده اند (2008 .(Zhao et al.,

همچنین در مقاله‌ای از مدرسی و همکاران نیز به کاربرد این روش در بازتولید رنگدانه شنگرف و چگونگی رنگ‌سنجی با استفاده از آنالیز رنگی در فضارنگ‌های CEILAB و CIELCH پرداخته شده است. در این پژوهش نیز نمونه‌های شنگرف، براساس رساله‌های کتاب‌آرایی بازتولید شده و با نمونه‌های مرجع تاریخی مقایسه و نزدیک‌ترین نمونه‌های بازتولیدی نسبت به آنها معرفی شده‌اند (Modarresi,, 2021, p.13 Jafari & Noghani). براساس مطالعات آزمایشگاهی که تاکنون بر روی نسخ مصور و نگاره‌های ایرانی انجام شده، ثابت شده است که عمدتاً سه رنگدانه شنگرف (HgS)، سرنج (Pb_3O_4) و اُخرا (Fe_2O_3)برای ایجاد تنالیته سرخ‌رنگ رنگدانه‌های سرخ معدنی از دوران باستان تا سده‌های متأخر استفاده شده است (پورتر،۱۳۹۲، ص. ۱۰۱ –۱۲۱؛ باقرزاده کثیری و نقیبی، ۱۳۹۸) (Ciomartan, Clark, 1996 (Muralha et al., 2012; و اگر نسخه از لحاظ تاریخی اصل باشد تا پیش از ۱۵۰ سال پیش امکان استفاده از ماده معدنی جایگزینی وجود ندارد (رادرفورد، ۱۳۸۹).

سرنج (سرب قرمز، Pb_3O_4)، یکی از رنگ‌های مهم و پرکاربرد در هنر نگارگری ایران است. استفاده از این رنگدانه معدنی در بسیاری از پژوهش های انجام شده بر روی نسخ تاریخی گزارش شده است (Tanevska et al., 2014). آنچه در خصوص این رنگ حائز اهمیت است، حضور فراوان آن در نسخ مصور دورهٔ صفوی و در پالت رنگی نگارگران این عصر است که با ته رنگ قرمز– نارنجی، قابل شناسایی است.

سرنج، از ترکیبات ثابت سرب است و از سربِ (II) اکسید (PbO) به‌دست می‌آید. سرب (III) تترا اکسید دارای کاربردهای بسیاری است. علاوه بر کاربرد این مادهٔ رنگ‌زا در آثار هنری، از مهم‌ترین مصارف این ترکیب می‌توان به عنوان رنگ محافظ خوردگی بر روی سطح فلزات، گالوانیزه کردن لاستیک‌ها، چسب تسمه چرخ‌ها، مواد ضدآب، رنگ شیشه‌ها و سرامیک‌ها، پوشش محافظ در برابر تشعشع پرتو ایکس و گاما و. .. نام برد. این ماده به‌صورت کریستال‌های براق و یا پودر قرمز - نارنجی وجود دارد (چگالی $9.1\ g.cm^{-3}$ و دمای ذوب 500°C). این ترکیب در آب و الکل نامحلول و در استیک اسید سرد، هیدروکلریک اسید گرم و ترکیب رقیق نیتریک اسید و هیدروژن پراکسید حل می‌شود. سرب تتراکسید با حرارت دادن سرب مونواکسید (سرب سفید) در هوا و دمای ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود. همچنین این ترکیب از حرارت دادن مخلوط سرب منواکسید و سرب دی‌اکسید در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد نیز تشکیل می‌شود (2003, .(Patnaik

گزارش شیوهٔ آماده سازی این رنگدانه در برخی رساله‌ها ازجمله سه رسالهٔ تاریخی عُمده‌الکُتّاب (قرن ۴ ه.ق) (صنهاجی، ۱۳۸۹)، بیان‌الصناعات (قرن ۶ ه.ق) (تفلیسی، ۱۳۳۶) و قانون‌الصُوَّر (۹۴۰ ه.ق) (مایل‌هروی، ۱۳۷۲) ذکر شده است. در ترجمه فارسیِ رسالهٔ عُمده الکُتّاب در صنعت اول مربوط به ساخت مداد گلرنگ (به رنگ گُل؛ سرخ رنگ؛ لغت‌نامه دهخدا، ذیل گلرنگ) نویسنده گفته است: «بستانند اسفیداج اَرزیز [سفیداب قلع] دو جزو و سرنج یک جزو و خمیر سازند به سرکه و در دیگی کنند که به گِل حکمت [مخلوط گِل کوزه‌گری خالص که با آب، خمیر شده باشد، تا خوب چسبنده شود با هم وزنش سرگین (پهن) بیخته و موی حیوانی ریزریز شده که برای هر رَطل (نوعَی واحد وزن؛ پیمانه) آن یک کف دست نمک به آن افزوده باشند؛ لغت نامه دهخدا] گرفته‌باشند و در کوره بالائینِ آبگینه گران نهند سه شبانه‌روز. پس بیرون آورند و بسایند و بریزند بر آن اندک آب مازوی سفید و در آن اندازند قدری صمغ عربی و بنویسند» (صنهاجی، ۱۳۸۹، ص. ۲۰).

در باب اول رساله بیانُ‌الصُّناعات، ذیل عنوان «مرداسنگ و سرنج کردن» آمده است: «سرب را صَفیحا [صفیحه در لغت نامه دهخدا به معنی سنگ پهن؛ روی هر چیز پهن، آمده است] بکند و بر قدر صفیحه آتشدانی بسازد. پس اگر نیم کوفت [در لغت نامه دهخدا به معنی نیم کوب، نیم کوفته و بلغور است] درون آتشدان بپراکند و صَفیحه سرب بَروی [بر وی] بنهد و بالای صفیحه دیگر پاره[ای] نیم کوفت پیدا کند و صفیحه دیگر بالایش بنهد و هم بدین قیاس همی‌کند، پس چون صفیحه نماند اگر نیم کوفت بروی [بر وی] پراکند و بعد از آن اگر کوفته بالایش بریزد، و از آن پس از همه جانب آتشدان و نیز بالایش شبانروزی آتش همی‌کند، بعد از آن چون نگاه کند مُرداسنگ [لغت نامه دهخدا: اکسید دو ظرفتی سرب؛ لیتارژ: PbO] گشته باشد. پس اگر خواهد که سرنج کند شبانروزی دیگر آتش وی زیادت کند همچنان‌که نخست کرد. پس از آن چون نگاه کند آن مُرداسنگ سرنج گشته باشد» (تفلیسی، ۱۳۳۶).

براساس این ابیات، توصیف آماده سازی سرنج در قانون الصوّر بدین‌صورت است: مقدار مورد نیاز سرب را در دیگی سِفالین ریخته و آن را بر آتشدان قرارداده تا بر اثر حرارت کاملاً ذوب شود. سپس با کفچه (کفگیر) آهنی، این مذاب را هم زده تا

در مورد ساخت سرنج در رساله قانون الصوَّر آمده است (مایل‌هروی، ۱۳۷۲):

«بوَد مشکل به منزل راه بردن — به خود سرراه هر منزل سپردن
کنم چون با تو دارم حق یاری — ز تعلیمت رفیقی سازگاری
بگیر از سرب هر چندان که باید — به دیگی از سفالین کُن که شاید
بِنه بر دیگدان دیگِ مقرّر — بکن آتش که گردد آب یکسر
به آهنْ کفچه‌اش یکسان بیاشور — چو خاکستر ز سیّالی شود دور
بسان سرمه گردد تیره خاکی — فِتد آتش در او از تابناکی
بِنه سرپوش و محکم دار پیوند — گشوده راهِ آتشگاه مپسند
چو گردد سرمه باید پختن خوب — به آب مِلح شستن پاک و مرغوب
سه بارش چون بشستی ای نکورای — بنه نوشادر و با سرکه می‌سای
به عَذب از وی نشادر پاک بستان — بکن خشک و دگر می‌سای با آن
چو کردی شستن و سَحقَش مکرّر — بپرداز از خلاصش بارِ دیگر
ز بَعدِ آن خلاص او را بشو پاک — که گردی از صفای او فرحناک
بری گر بار دیگر در خلاصش — بیفزایی خلاصی در خلاصش
چو فارغبال [فارغبال] گردی از دواتش — برون آید سرنج پاک و بی‌غش»

خاکستر (حاوی ناخالصی ها؛ احتمالا منظور سرباره است) از سرب مذاب دور شود. لازم به ذکر است که واژه "بیاشور" از مصدر "شوریدن" در لغت دهخدا به معنی برهم زدن و درآمیختن چیزهایی با یکدیگر با آلتی یا با دست یا به یک انگشت؛ و بیامیختن با کفچه و انگشت و مانند آن، آمده است. پس از آن که مذاب مانند سرمه تیره شد و به حالت کاملاً مذاب و گداخته درآمد (فتد آتش در او از تابناکی)، در پوش ظرف را گذاشته، چنان که کاملاً راه هوا بسته شود. پس از آن که خوب مانند سرمه پخته شد، با آب ملح (نمک) سه مرتبه آن را شسته و سپس آن را با نُشادر (آمونیوم کلرید؛ NH_4Cl) و سرکه می‌سابند. در مرحله بعد و برای حذف نشادر، به عذب اشاره شده‌است (در نسخه دانش پژوه (۱۳۴۹)، این واژه به‌صورت "عضب" نوشته شده است). عَذْبْ یا عَضْبْ، میوه و ثمره چوب گز است (برهان قاطع، ۱۳۶۹). پس از حذف نشادر با عَذب، ماده را خوب خشک کرده و مجدداً باید این عمل را تکرار کرد. پس از سَحق (ساییدن و نرم کردن) و شستن مکرر، «... بپرداز از خلاصش بار دیگر»؛ شاید در اینجا منظور آن است که مجدداً فرایند قرارگرفتن در مجاورت آتش و اکسیژن انجام‌شود چراکه خَلاص به معنی صاف‌شدن آمده (لغت نامه دهخدا) و همچنین واژه خِلاص به معنی ناب و ناآمیخته و گداخته زر و سیم (فرهنگ معین) نیز استفاده شده است. سپس شستشو و مجدداً حرارت دادن «... بیفزایی خلاصی در خلاصش»، تا رسیدن به سرنجی خالص و مرغوب، در واقع احتمالا واژه "خلاص" اول به معنی خلوص و "خلاص" دوم به معنی فلز گداخته باشد. اگر طبق نظر دانش پژوه (۱۳۴۹) در بیت آخر، واژه "دو آتش" به جای "دواتش" صحیح باشد، آن‌گاه واژه خلاص به‌معنی در معرض حرارت قراردادن و گداختن، معنا می‌یابد. خلاصه مقایسه روش های آماده سازی سرنج براساس این سه رساله، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱. مقایسه سه روش آماده‌سازی سرنج براساس رساله‌های عمده الکُتاب، بیان‌الصّناعات، و قانون‌الصوّر

شماره	نام رساله	شیوه تولید	روش آماده‌سازی	مرحله ساییدن و شستشو	بست مورد استفاده	توضیحات
۱	عمده الکُتاب	تهیه خمیری از اسفیداج ارزیز (سفیداب قلع) + سرنج + سرکه	در دیگی پوشیده از گِل حکمت قرارداده و سه شبانه روز، در اتاقک بالایی کوره شیشه‌پزی حرارت‌دهند.	آب مازوی سفید	صمغ عربی	این روش برای آماده‌سازی مداد گلرنگ است و نه مشخصا سرنج. محیط پخت: احیا
۲	بیان الصّناعات	صفیحه‌های (سنگ پهن) سرب (احتمالا کانی گالن) در آتشدانی (کوره سرباز) قرار گرفته و با نیم‌کوفت (ماده سوختنی گیاهی) پوشانده می‌شوند	برای تهیه مُرداسنگ (سرب سفید) به مدت یک شبانه روز آتش درون آتشدان روشن است و برای تهیه سرنج، یک شبانه روز دیگر نیز فرایند حرارت‌دهی ادامه می‌یابد.	–	صمغ عربی	صمغ عربی برای آماده‌سازی تمامی رنگ‌ها برای نقاشی ذکرشده است. پخت: تشویه و اکسیداسیون
۳	قانون الصوّر	استفاده از سرب احتمالاً به شکل کانی آن	حرارت‌دادن سرب در دیگی سفالین تا ذوب‌شود، همزدن مذاب با کفگیر آهنی و جداسازی ناخالصی‌ها، سپس پوشاندن کامل درِ ظرف	شستشو با آب نمک در سه مرحله، سپس استفاده از نُشادر و سرکه، استفاده از عَذب برای حذف نشادر، در نهایت شستشو با آب	–	به‌نظر می‌رسد براساس دستور این رساله، فرایند ذوب و خالص‌سازی، حداقل ۲ مرتبه باید تکرارشود. پخت: اکسیداسیون

اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش بازخوانی شیوه تولید و آماده‌سازی رنگدانه سرنج بر اساس متن رسال‌های تاریخی و مطالعهٔ تطبیقی رنگ سرنج در نسخ تاریخی با استفاده از روش رنگ‌سنجی است. ارزیابی روش های رنگ‌سنجی در مطالعه تطبیقی رنگ های بازتولید و یا آماده‌سازی شده نسبت به رنگ‌های به کاربرده شده در نسخ تاریخی جهت معرفی نزدیک‌ترین رنگ سرخ نسبت به نگاره‌های تاریخی می‌تواند جهت اقداماتی مانند موزون‌سازی رنگی در قسمت های کمبود، کاربردی باشد.

بازخوانی رسال‌های هنری– تاریخی، امکان دسترسی به منابع دست اولی را فراهم می آورد که هنرمندان در دوران‌های مختلف با این شیوه ها مواد و ابزار مورد نیاز خود را آماده می‌ساختند. در کنار بازخوانی شیوه‌های فرآوری و تولید مواد هنری از جمله مواد رنگ‌زا، آزمودن این شیوه‌ها و میزان بهره‌وری و کاربردی بودن آنها، می تواند برای بازتولید رنگ جهت موزون‌سازی در قسمت‌های کمبود استفاده شود براساس رنگ‌هایی که از لحاظ علمی، ویژگی‌های بصری آنها تعیین شده و تنها مبتنی بر ارزیابی‌هایی با چشم که احتمال خطا وجود دارد، نیستند.

روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی و مبتنی بر روش تجربی (براساس داده‌های آزمایشگاهی) بوده و از آنالیز رنگ‌سنجی (Colorimetry) براساس دانش فیزیک رنگ جهت ارزیابی و تشخیص اختلاف رنگ میان نمونه‌های تولیدی و نمونه‌های به کاربرده شده در نسخ تاریخی، استفاده شده است.

جلوه‌هایی از خواص نوری اجسام در قالب پدیده‌هایی نظیر سفیدی، سیاهی، درخشندگی، رنگ اجسام و یا اختلاف رنگ بین آنها هستند که هیچ‌گاه به‌طور مستقل قابل اندازه‌گیری و سنجش نیستند (Berns, 2000; Jafari, & Amirshahi, 2008). از جمله مشخصه‌های فیزیکی سطح اجسام که قابلیت اندازه‌گیری دارد، رفتار انعکاسی نمونه است که آن هم مقدار مطلقی نبوده و به‌صورت درصدی از نور تابیده شده به سطح نمونه تعریف می‌شود. این مؤلفه بسته به هدف مورد نظر در ارزیابی‌های دستگاهی در محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس یا در طول موج‌های خاص اندازه‌گیری می‌شود. در ادامه در نتیجه انتگرال‌گیری مجموع حاصل ضرب سه پارامتر طیف انعکاسی جسم، توزیع انرژی طیفی منبع نور و حساسیت طیفی مشاهده کننده که به‌نام توابع رنگ همانندی شناخته می‌شوند، مشخصه‌های رنگی نمونه‌ها در فضارنگ‌های مختلف قابل محاسبه خواهد بود. پارامترهای مختلفی منجر به تفاوت بین نتایج ارزیابی‌های چشمی و اندازه‌گیری‌های دستگاهی می‌گردد. به‌منظور رفع این مشکل در هنگام اندازه‌گیری‌های دستگاهی نمونه‌ها، پارامترهای مختلفی نظیر نوع منبع روشنایی، هندسه مشاهده، لحاظ یا عدم لحاظ‌کردن برق و تابش فرابنفش به‌طور مشابه با شرایط ارزیابی چشمی تعریف‌می شود. علاوه‌بر این، پارامترهای دیگری نیز به‌لحاظ دستگاهی و یا وابسته به ساختار جسم تأثیرگذار خواهند بود که از آن‌جمله می‌توان به نوع دستگاه، اندازه دهانه روزنه اندازه گیری، دقت در کالیبراسیون دستگاه، خطای اندازه‌گیری دستگاه و بافتار یا ساختار سطحی نمونه اشاره نمود (جعفری، ۱۴۰۱ ;Roderick,1997) در انتها، پایگاه داده‌هایی فراهم می‌شود که در قالب اعداد، مشخصه‌های رنگ‌ها را به صورت‌هایی کلی نظیر فام، خلوص و روشنایی در فضارنگ‌های مختلف قابل تعریف می‌سازد. در بیان کلی، فضارنگ‌ها با هدف تعریف مشخصه‌های رنگی اجسام، آنها را در ابعاد مختلف براساس فاکتورهای تعریف‌شدهٔ رنگی و یا در قالب مختصات رنگی تعریف‌می‌کنند.

در این پژوهش جهت تعریف پارامترهای رنگی نمونه‌ها و محاسبه اختلاف رنگ آنها از فضارنگ CIELAB استفاده شده است. همچنین جهت تعریف میزان خلوص نمونه‌ها و بیان زاویهٔ فام آنها از تعریف پارامترهای رنگی نمونه‌ها در فضارنگ CIELCH استفاده شده است.

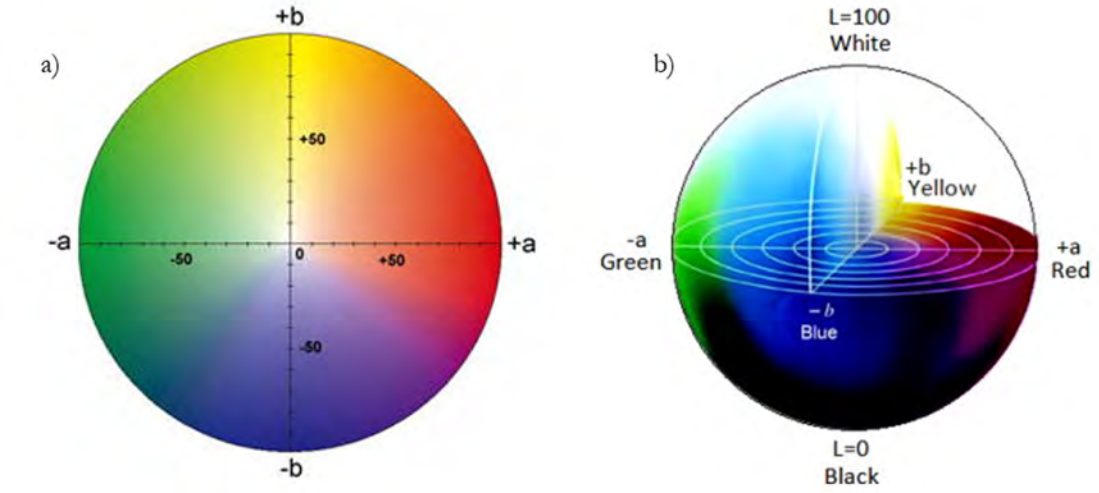
فضارنگ CIELAB از جمله کاربردی‌ترین فضارنگ‌های پیشنهادی است که در سال ۱۹۷۶ توسط CIE (کمیسیون بین‌المللی روشنایی) پذیرفته شد. معادلات ۱ تا ۳ بیانگر مؤلفه‌های رنگی نمونه‌ها در این فضارنگ هستند (جعفری، ۱۴۰۱):

$$L^*=116(Y/Yn)^{1/3} - 16 \quad (1)$$

$$a^*=500[(X/Xn)^{1/3} - (Y/Yn)^{1/3}] \quad (2)$$

$$b^*=200[(Y/Yn)^{1/3} - (Z/Zn)^{1/3}] \quad (3)$$

در روابط فوق Xn , Yn , Zn مقادیر محرکه‌های سه‌گانه استاندارد روشنایی و X , Y , Z مقایر محرکه‌های سه‌گانه نمونه‌ها هستند. به‌جای مؤلفه‌های Xn , Yn , Zn عموماً مقادیر محرکه‌های سه‌گانه منبع نوری مورد استفاده به‌عنوان مرجع درنظر گرفته می‌شود. مؤلفه L^* بیانگر میزان روشنایی نمونه‌هاست که مقدار آن از صفر تا ۱۰۰ به‌ترتیب برای یک سیاه ایده‌آل تا یک سفید ایده‌آل متغیر است. مؤلفه a^* در مقادیر مثبت بیانگر میزان قرمز بودن نمونه‌ها است و در مقادیر منفی، میزان سبزبودن نمونه ها را مشخص می کند. همچنین



شکل ۱. (a) دیاگرام a*b* در فضارنگ CIELAB (Roderick ,1997) و (b) فضارنگ CIELAB (منبع تصویر: http://www. html.09_co/Contenu/C02_optique-ingenieur.org/en/courses/OPI_ang_M07) تاریخ دسترسی: ۱۴۰۳/۲/۵.

b* در مقادیر مثبت بیانگر میزان زردبودن و در مقادیر منفی بیانگر میزان آبی‌بودن نمونه‌هاست (جعفری، ۱۴۰۱؛ Berns ,2000; Roderick ,1997). شکل ۱ موقعیت نمونه‌ها را در دیاگرام دو بعدی a*b* فضارنگCIELAB نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۱، محور افقی (a*)، مقادیر تغییرات فام نمونه‌ها از قرمز تا سبز را برای مقادیر مثبت تا منفی نشان می‌دهد، و در محور قائم (b*) نیز مقادیر مثبت تا منفی به‌ترتیب بیانگر میزان زرد بودن تا آبی بودن نمونه‌هاست. شایان ذکر است محور L* که بیانگر میزان روشنایی نمونه‌هاست بر این فضای دو بعدی عمود است. شکل (b-1)، فضای سه‌بعدی فضارنگ CIELAB را به‌خوبی نشان می‌دهد (جعفری، ۱۴۰۱).

در فضارنگ CIELAB فام و خلوص نمونه‌ها تحت روابط ۴ و ۵ تعریف می‌شوند.

$$h\ (\text{hue angle}) = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (4)$$

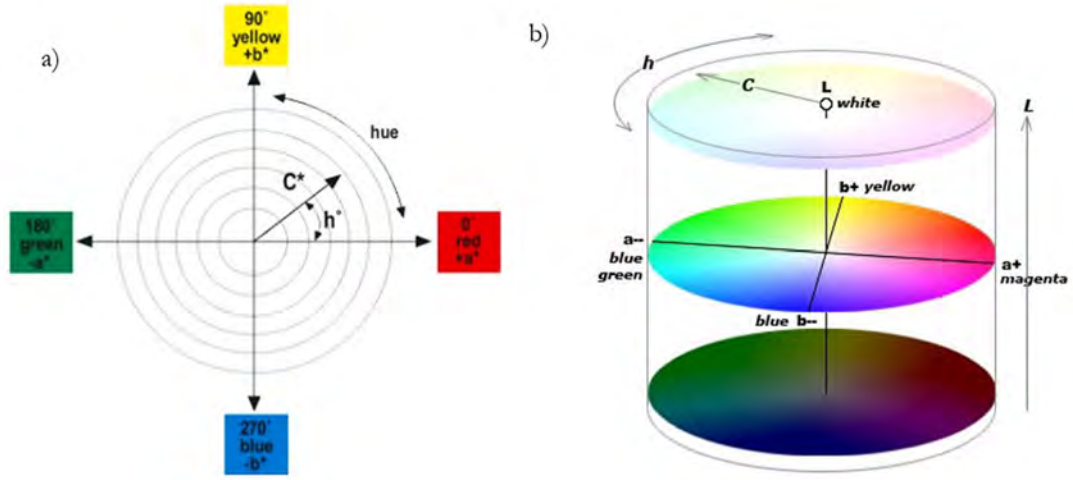
$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})0.5 \quad (5)$$

که h زاویهٔ فام و C* میزان خلوص نمونه ها را نشان‌می‌دهد.

شکل ۲، زاویهٔ فام و خلوص نمونه‌ها را نشان‌می‌دهد. مطابق این شکل چنان‌چه نمونه در ربع اول دیاگرام a*b* واقع شود، فام آن از قرمز (a* مثبت) تا زرد (b* مثبت) تغییر خواهدکرد و زاویهٔ فام آن بین ۰ تا ۹۰ درجه خواهد بود. به همین ترتیب، اگر نمونه در ربع دوم دیاگرام a*b* باشد فام آن از زرد (b* مثبت) تا سبز (a* منفی)، و زاویهٔ متریک فام بین ۹۰ تا ۱۸۰ درجه خواهد بود. چنان‌چه نمونه در ربع سوم دیاگرام a*b* واقع شود فام آن از سبز (a* منفی) تا آبی (b* منفی) و زاویهٔ فام بین ۱۸۰ تا ۲۷۰ درجه متغیر خواهد بود. در پایان، اگر نمونه در ربع چهارم دیاگرام a*b* واقع شود، فام آن از آبی (b* منفی) تا قرمز (a* مثبت) و زاویهٔ فام از ۲۷۰ تا ۳۶۰ درجه تغییر خواهد کرد (جعفری، ۱۴۰۱).

بدیهی است میزان روشنایی نمونه‌ها در بُعد سوم و توسط محورِ روشنایی (L*) تعیین خواهد شد. در دیاگرام فوق موقعیت یک سیاه ایده‌آل برابر با مقادیر مؤلفه‌های رنگی L*=a*=b* =0 خواهد بود، درحالی‌که برای یک سفید ایده‌آل میزان روشنایی در جهت عکس و برابر با حداکثر مقدار آن خواهد بود (یعنی a*=b*=0 و L*=100). این فضارنگ که در واقع تعبیر قطبی از فضارنگ CIELAB است به نام فضارنگ CIELCH خوانده می‌شود (شکل ۲-b).

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری اجسام (خصوصیات رنگی و ویژگی‌های هندسی) دستگاه‌های مختلفی به کار می‌روند. به‌عنوان مثال، برای سنجش ویژگی‌های رنگی عمدتاً سه دستگاه اسپکتروفتومتر، کالری‌متر و اسپکتروراديومتر استفاده می‌شوند.



شکل ۲. (a) زاویهٔ فام و خلوص در فضارنگ CIELCH

(https://www.sabic-ip.com/cxp/jsp/user/LearnAboutColor/ColorBasicsDetail/cielab_lch.jsp)

(b) فضارنگ CIELCH

(https://www.handprint.com/HP/WCL/color7.html)

(تاریخ دسترسی: ۱۴۰۳/۲/۵)

اسپکتروفتومتر یکی از مهمترین تجهیزات آزمایشگاهی برای کنترل کیفیت است که قادر به اندازه‌گیری رفتار انتقالی و انعکاسی اجسام و یا هردو پدیده می‌باشد. خروجی دستگاه به‌شکل منحنی‌هایی از درصد نور منعکس شده و یا انتقال‌یافته از جسم در مقابل طول موج است که در گام های ۱، ۵، ۱۰ و یا ۲۰ نانومتری رسم می‌شود. در مرحله بعدی با استفاده از نرم‌افزار دستگاه، مقادیر مشخصه‌های رنگی اجسام در فضارنگ‌های مختلف و تحت شرایط استاندارد روشنایی و مشاهده، قابل محاسبه بوده و همراه با منحنی‌های انتقالی و یا انعکاسی نمونه ها گزارش می‌شود (جعفری، ۱۴۰۱؛ 1997, Choudhury ,2000; Roderick).

معرفی نمونه‌ها و مراحل انجام مطالعات آزمایشگاهی

برای انجام مطالعهٔ تطبیقی رنگ سرنج آماده‌سازی‌شده با نسخ مصوّر دوره صفوی، پنج نسخه متعلق به موزه ملی ایران انتخاب شده است. مشخصات این نسخ و صفحه‌نگاره رنگ‌سنجی شده (شکل ۳) در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به‌ذکر است که شماره‌گذاری نمونه‌ها در آنالیز، براساس شماره نسخه‌ها انجام شده است.

با توجه به اثرات سوءِ سرب بر محیطزیست و سلامت، از پودر

جدول۲. مشخصات نسخه موزه ملی ایران

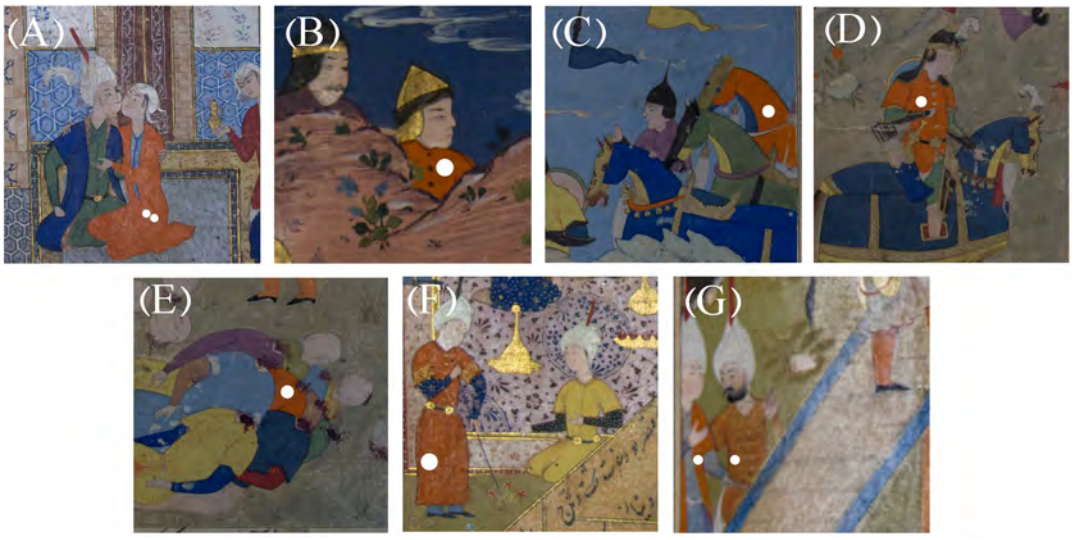
ردیف	نام نسخه	شماره نسخه	سال	کاتب	ابعاد (cm)	شماره صفحه نگاره
۱	خسرو و شیرین نظامی	۳۷۱۷	۹۹۲ه. ق	–	۲۲/۳ در ۱۲	۱۰۹
۲	شاهنامه فردوسی	۴۳۳۶	قرن دهم هجری	–	۱۷/۸ در ۲۸/۵	۳۲۶
۳	شاهنامه فردوسی	۴۳۶۱	۹۳۸ ه. ق	محمد کاتب	۲۳ در ۳۷/۸	۵۰۱
۴	شاهنامه قاسمی	۴۳۶۲	قرن دهم هجری	–	۲۳/۸ در ۳۵/۱	۱۷۹
۵	خمسه نظامی	۴۳۶۳	۹۳۳ ه. ق	–	۱۷/۷ در ۱۹/۸	۵۳۹

شکل ۳. صفحات نگاره های بررسی شده در این پژوهش.

سرنج (Pb_3O_4) ساخت شرکت مرک استفاده شد. به‌دلیل درشت دانه بودن پودر آماده شده، مجدداً با آب و صمغ عربی، خمیر شده و در هاون چینی ساییده شد. پس از سه مرتبه شستشو با آب مقطر، پودر رنگ با صمغ عربی ترکیب و آماده استفاده شد. با توجه به اینکه معمولاً از یک رنگ به صورت خالص در نگارگری استفاده نمی‌شود، در این بررسی سرنج به عنوان رنگ پایه قرار گرفته و ۵ میلی لیتر شنگرف نیز به صورت قطره قطره (هر قطره ۰/۰۵ میلی لیتر) به سرنج اضافه شد.

در مرحله نهایی، با ترکیب سرنج و شنگرف به نسبت های معین، جدول رنگ سرخ بازسازی‌شده بر روی کاغذهای آزمایشگاهی (واتمن) آهار و مهره شده، تهیه شد (شکل ۴). برای تجزیه و تحلیل رنگی و طیفی، جدول‌های رنگی آماده شده با نسخ منتخب در موزه ابتدا با چشم غیرمسلح تطبیق داده شد و سپس برای هر نمونه رنگ در نسخ، سه نمونه بازسازی‌شده با بیشترین مشابهت انتخاب و مختصات آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی و تحت شرایط یکسان اندازه‌گیری‌شد. در نهایت پایگاه داده‌های انعکاسی نمونه‌ها با استفاده از فرمول‌های مرتبط، به مشخصه‌های رنگی تبدیل‌شده و اختلاف رنگ آنها با نمونه‌های آماده‌سازی‌شده محاسبه و نمونه‌های دارای بیشترین شباهت مشخص‌شدند. برای اندازه‌گیری مشخصات طیفی رنگ‌ها به‌دلیل محدودیت خارج‌کردن نمونه‌های موجود در موزه، از دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی قابل حمل I1 pro ساخت شرکت X-Rite استفاده شد. شایان ذکر است به دلیل احتمال آسیب‌دیدن نسخ در هنگام فلش‌زدن، بخش نور فرابنفش دستگاه بسته شد. ابعاد محل اندازه‌گیری، دایره‌ای به قطر۴/۵ میلی‌متر بوده است. انعکاس نمونه‌ها در محدودهٔ طیف مرئی از طول موج ۳۸۰ تا ۷۳۰ نانومتر و با گام‌های ۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شده است. در ادامه با استفاده از اطلاعات انعکاسی به‌دست آمده مختصات نمونه‌ها در دیاگرام کروماتیسیتی و نیز مشخصه‌های رنگی آنها در فضارنگ‌های CIELCH و CIELAB تحت استاندارد روشنایی D65 و مشاهده کننده استاندارد CIE1964 محاسبه شدند. کلیهٔ محاسبات با نرم‌افزار متلب (MathWorks MATLAB R2018b) انجام‌شده و اختلاف رنگ‌های آماده‌سازی شده با نمونه‌های مرجع، با استفاده از فرمول اختلاف رنگ ΔE 1976 محاسبه و بررسی شدند.

شکل ۴. نمونه جداول رنگ‌های آماده‌سازی شده بر پایه سرنج– شنگرف.



شکل ۵. (A) نمونه‌های ۱-۳۷۱۷ و ۲-۳۷۱۷، (B) نمونه ۳-۴۶۳۶، (C) نمونه ۴-۴۳۶۱، (D) نمونه ۵-۴۳۶۱، (E) نمونه ۶-۴۳۶۱، (F) نمونه ۷-۴۳۶۲، (G) نمونه‌های ۸-۴۳۶۳ و ۹-۴۳۶۳.

جدول ۳. مشخصه‌های رنگی نمونه‌های موزه ملی

کد	شماره نمونه ها	رنگ‌ها	L*	a*	b*	C*	h°
1	میانگین نمونه ۱و۲-۳۷۱۷	سرنج	51.67	45.47	46.10	64.75	45.40
2	نمونه۳-۴۶۳۶	سرنج	50.75	43.91	42.99	61.46	44.39
3	نمونه ۴-۴۳۶۱	سرنج	55.41	45.64	48.50	66.60	46.74
4	نمونه۵-۴۳۶۱	سرنج	55.72	41.90	42.47	59.66	45.39
5	نمونه ۶-۴۳۶۱	سرنج	54.13	43.26	45.68	62.92	46.56
6	نمونه ۷-۴۳۶۲	سرنج	51.51	42.85	41.97	59.98	44.40
7	نمونه ۸-۴۳۶۵	سرنج	49.87	19.63	29.54	35.46	56.39
8	نمونه ۹-۴۳۶۵	سرنج	53.26	42.36	43.92	61.02	46.04

داده ها و نتایج

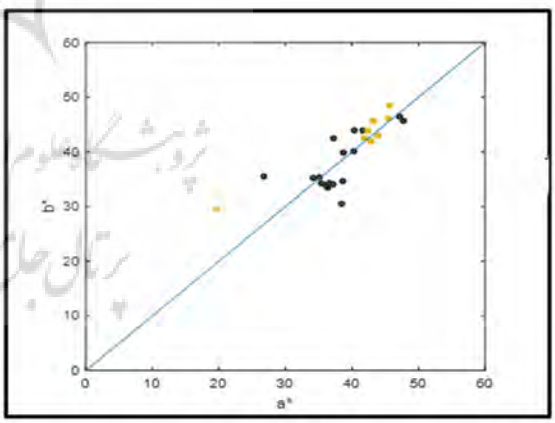
پس از اندازه‌گیری منحنی انعکاسی کلیه نمونه‌ها (شکل۵)، در گام بعدی مشخصه‌های رنگی نمونه‌های منتخب از موزه ملی و نمونه‌های آماده‌سازی شده به‌دست آمد. (جدول ۳) مشخصه‌های رنگی نمونه‌های منتخب از موزه ملی را به‌عنوان نمونه‌های مرجع در دوفضارنگ CIELAB و CIELCH نشان می‌دهد.

جدول ۴ نیز مشخصه‌های رنگی نمونه‌های آماده‌سازی‌شده از سرنج در ترکیب با شنگرف را در دو فضارنگ CIELAB و CIELCH نشان می‌دهد.

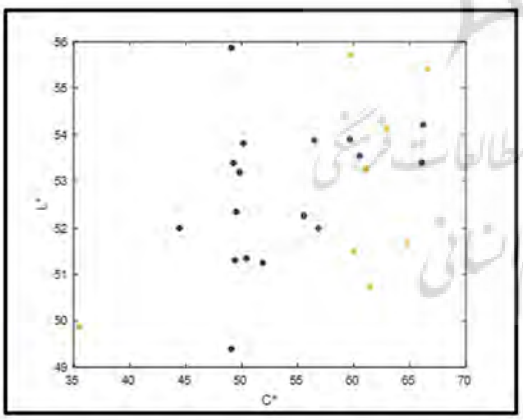
جهت نمایش بهتر موقعیت نمونه‌ها در فضارنگ‌های یاد شده، توزیع کلیه نمونه‌ها (نسخ موزه ملی و نمونه‌های آماده‌سازی شده) در دیاگرام‌های a*b* از فضارنگ CIELAB و C*L* از فضارنگ CIELCH در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، تمامی نمونه‌ها در فضارنگ CIELAB در ربع اول نمودار و بین فام های قرمز و زرد قرار گرفته‌اند. شایان ذکر است نمونه‌هایی که دقیقاً بر روی نیمساز نمودار قراردارند، با فام قرمزی و زردی تقریباً یکسان، با رنگ نارنجی قابل رویت بوده و همه آنها دارای پایه رنگ سرنج هستند و در دسته سرنج‌ها قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر زوایای فام (h) برای نمونه‌های قرار گرفته در دسته سرنج‌ها در محدوده ۴۱- ۴۶ درجه است که اثر شید فوق‌الذکر را تأیید می‌نماید.

جدول ۴. مشخصه‌های رنگی نمونه‌های بازتولید شده از سرنج در ترکیب با شنگرف

کد	رنگ‌ها	توضیحات	L*	a*	b*	C*	h°
1'	سرنج	۵ قطره شنگرف= ۰/۲۵ سی‌سی	51.35	37.15	34.06	50.40	42.52
2'	سرنج	۶ قطره شنگرف= ۰/۳ سی‌سی	53.88	37.22	42.47	56.47	48.77
3'	سرنج	۷ قطره شنگرف= ۰/۳۵ سی‌سی	52.00	40.26	40.13	56.84	44.91
4'	سرنج	۱ قطره شنگرف= ۰/۰۵ سی‌سی	52.00	26.73	35.51	44.44	53.03
5'	سرنج	۲ قطره شنگرف= ۰/۱ سی‌سی	53.40	47.71	45.68	66.05	43.76
6'	سرنج	۳ قطره شنگرف= ۰/۱۵ سی‌سی	54.21	47.13	46.47	66.19	44.60
7'	سرنج	۴ قطره شنگرف= ۰/۲ سی‌سی	53.54	41.63	43.92	60.51	46.54
8'	سرنج	۸ قطره شنگرف= ۰/۴ سی‌سی	53.90	40.34	43.93	59.64	47.44
9'	سرنج	۹ قطره شنگرف= ۰/۴۵ سی‌سی	52.26	38.69	39.86	55.55	45.85
10'	سرنج	۱۰ قطره شنگرف= ۰/۵ سی‌سی	53.81	36.58	34.29	50.14	43.15
11'	سرنج	۱۱ قطره شنگرف= ۰/۵۵ سی‌سی	52.34	36.12	33.85	49.50	43.14
12'	سرنج	۱۲ قطره شنگرف= ۰/۶ سی‌سی	51.31	36.36	33.45	49.41	42.61
13'	سرنج	۱۳ قطره شنگرف= ۰/۶۵ سی‌سی	49.40	38.44	30.50	49.07	38.42
14'	سرنج	۱۴ قطره شنگرف= ۰/۷ سی‌سی	53.19	35.07	35.36	49.80	45.24
15'	سرنج	۱۵ قطره شنگرف= ۰/۷۵ سی‌سی	53.39	35.40	34.24	49.25	44.05
16'	سرنج	۱۶ قطره شنگرف= ۰/۸ سی‌سی	51.25	38.62	34.66	51.89	41.90
17'	سرنج	خالص	55.87	34.17	35.23	49.08	45.88



شکل ۶. توزیع نمونه‌ها در دیاگرام a*b*، نمونه‌های موزه ملی (■) و نمونه‌های آماده‌سازی شده (●).



شکل ۷. توزیع نمونه‌ها در دیاگرام C*L*، نمونه‌های موزه ملی (■) و نمونه‌های آماده‌سازی شده (●).

شکل ۷، موقعیت کلیه نمونه‌ها را در دیاگرام C*L* از فضارنگ CIELCH نشان می‌دهد. محور X مقادیر خلوص (C*) یا همان اشباع رنگی نمونه‌ها و محور Y بیانگر فاکتور روشنایی (L*) نمونه‌ها است.

جدول ۵. مقادیر اختلاف رنگ ΔE^* ، اختلاف فام (Δa^*، Δb^*) و اختلاف روشنایی (ΔL^*) بین نمونه‌های سرنج بازتولید شده با نمونه‌های موزه ملی

کد نمونه های موزه	1				2				3				4			
کد نمونه های بازتولیدی	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
1'	-0.32	-8.32	-12.04	14.64	0.60	-6.76	-8.93	11.22	-4.06	-8.49	-14.43	17.23	-4.37	-4.75	-8.41	10.60
2'	2.21	-8.25	-3.63	9.28	3.13	-6.70	-0.52	7.41	-1.53	-8.43	-6.03	10.47	-1.84	-4.68	0.00	5.03
3'	0.33	-5.21	-5.97	7.93	1.25	-3.66	-2.86	4.81	-3.40	-5.39	-8.37	10.52	-3.72	-1.64	-2.34	4.69
4'	0.32	-18.74	-10.60	21.53	1.25	-17.19	-7.49	18.79	-3.41	-18.92	-12.99	23.20	-3.73	-15.17	-6.97	17.11
5'	1.73	2.24	-0.42	2.86	2.65	3.79	2.69	5.35	-2.00	2.06	-2.82	4.02	-2.32	5.81	3.21	7.03
6'	2.54	1.66	0.37	3.06	3.47	3.22	3.48	5.87	-1.19	1.49	-2.02	2.78	-1.51	5.23	4.00	6.76
7'	1.87	-3.84	-2.18	4.80	2.79	-2.28	0.93	3.72	-1.87	-4.02	-4.58	6.37	-2.18	-0.27	1.45	2.63
8'	2.23	-5.13	-2.17	6.00	3.15	-3.57	0.93	4.85	-1.50	-5.30	-4.57	7.16	-1.82	-1.56	1.46	2.80
9'	0.58	-6.78	-6.24	9.24	1.51	-5.22	-3.14	6.28	-3.15	-6.96	-8.64	11.53	-3.47	-3.21	-2.61	5.40
10'	2.14	-8.89	-11.81	14.93	3.06	-7.33	-8.70	11.78	-1.60	-9.06	-14.20	16.92	-1.91	-5.32	-8.18	9.94
11'	0.66	-9.35	-12.25	15.43	1.59	-7.79	-9.15	12.12	-3.07	-9.52	-14.65	17.74	-3.39	-5.78	-8.62	10.92
12'	-0.37	-9.11	-12.65	15.59	0.56	-7.55	-9.54	12.18	-4.10	-9.28	-15.04	18.15	-4.42	-5.54	-9.02	11.47
13'	-2.27	-7.03	-15.61	17.26	-1.35	-5.47	-12.50	13.71	-6.01	-7.20	-18.00	20.30	-6.32	-3.46	-11.98	13.98
14'	1.51	-10.40	-10.75	15.03	2.44	-8.85	-7.64	11.94	-2.22	-10.58	-13.14	17.01	-2.54	-6.83	-7.12	10.19
15'	1.72	-10.07	-11.86	15.65	2.65	-8.51	-8.75	12.49	-2.01	-10.24	-14.25	17.67	-2.33	-6.50	-8.23	10.74
16'	-0.42	-6.85	-11.45	13.34	0.51	-5.29	-8.34	9.89	-4.15	-7.02	-13.84	16.07	-4.47	-3.28	-7.82	9.58
17'	4.19	-11.30	-10.87	16.23	5.12	-9.74	-7.76	13.46	0.46	-11.47	-13.26	17.54	0.14	-7.73	-7.24	10.59

کد نمونه های موزه	5				6				7				8			
کد نمونه های بازتولیدی	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
1'	-2.78	-6.11	-11.62	13.42	-0.16	-5.70	-7.90	9.75	1.47	17.52	4.53	18.16	-1.91	-5.21	-9.86	11.32
2'	-0.25	-6.05	-3.21	6.85	2.37	-5.64	0.50	6.14	4.00	17.59	12.93	22.19	0.62	-5.15	-1.46	5.38
3'	-2.13	-3.01	-5.55	6.66	0.49	-2.60	-1.84	3.22	2.13	20.63	10.60	23.29	-1.26	-2.11	-3.79	4.52
4'	-2.13	-16.54	-10.18	19.53	0.49	-16.13	-6.46	17.38	2.12	7.10	5.97	9.51	-1.26	-15.64	-8.42	17.80
5'	-0.73	4.44	0.00	4.50	1.89	4.85	3.71	6.40	3.53	28.08	16.15	32.58	0.14	5.34	1.76	5.63
6'	0.09	3.87	0.79	3.95	2.70	4.28	4.51	6.77	4.34	27.50	16.94	32.59	0.96	4.77	2.55	5.49
7'	-0.59	-1.64	-1.76	2.47	2.03	-1.23	1.95	3.07	3.66	22.00	14.39	26.54	0.28	-0.73	0.00	0.79
8'	-0.23	-2.92	-1.76	3.41	2.39	-2.51	1.96	3.98	4.03	20.71	14.39	25.54	0.64	-2.02	0.00	2.12
9'	-1.87	-4.58	-5.83	7.64	0.75	-4.17	-2.11	4.73	2.38	19.06	10.32	21.81	-1.00	-3.67	-4.07	5.57
10'	-0.32	-6.68	-11.39	13.21	2.30	-6.27	-7.68	10.18	3.93	16.95	4.76	18.04	0.55	-5.78	-9.63	11.25
11'	-1.79	-7.14	-11.83	13.94	0.83	-6.73	-8.12	10.58	2.46	16.49	4.31	17.23	-0.92	-6.24	-10.08	11.89
12'	-2.82	-6.90	-12.23	14.32	-0.20	-6.49	-8.52	10.71	1.43	16.74	3.92	17.25	-1.95	-6.00	-10.47	12.23
13'	-4.73	-4.82	-15.19	16.62	-2.11	-4.41	-11.47	12.47	-0.48	18.82	0.96	18.85	-3.86	-3.92	-13.43	14.51
14'	-0.94	-8.20	-10.33	13.22	1.68	-7.79	-6.61	10.35	3.31	15.44	5.82	16.83	-0.07	-7.30	-8.57	11.26
15'	-0.73	-7.86	-11.44	13.90	1.88	-7.45	-7.72	10.90	3.52	15.77	4.71	16.83	0.14	-6.96	-9.68	11.93
16'	-2.87	-4.64	-11.03	12.30	-0.26	-4.23	-7.31	8.45	1.38	18.99	5.12	19.72	-2.00	-3.74	-9.27	10.19
17'	1.74	-9.09	-10.45	13.96	4.36	-8.68	-6.73	11.82	5.99	14.55	5.70	16.73	2.61	-8.19	-8.69	12.22

بررسی میزان مطابقت نمونه‌های آماده‌سازی شده سرنج با نمونه‌های موزه ملّی

برای بررسی تطبیقی نمونه‌های آماده‌سازی شده با نمونه‌های موزه ملی، مقادیر اختلاف رنگ در فضا رنگ CIELAB محاسبه شده و نمونه‌ها با کمترین اختلاف‌رنگ معرفی می‌شوند. بدیهی است عواملی نظیر، متفاوت بودن پس‌زمینه‌های دو نمونه مورد بررسی به‌لحاظ جنس، رنگ و ضخامت و همچنین تفاوت در میزان تعداد رنگدانه در محل اندازه‌گیری و همچنین تفاوت در اندازه مش رنگدانه‌ها موجب بروز اختلاف رنگ خواهد شد.

به‌علاوه متفاوت بودن عمر رنگدانه نمونه‌های بررسی شده (قدمت نسخ حدود ۴۰۰ سال)، سبب بیشترشدن روشنایی (L*) نمونه نگاره‌ها نسبت به نمونه‌های آماده‌سازی شده می‌شود. گذر زمان و اتفاقات طبیعی از جمله تجمع گردوغبار و چرکی نیز از عوامل غیرقابل چشم‌پوشی است که منجر به کمتر شدن خلوص (C*) در نمونه‌های بررسی‌شده نسبت به نمونه‌های باز تولید شده می‌شود. البته با توجه به محدودیت دسترسی به نسخ، تلاش بر این بوده که نمونه‌های سالم و با کیفیت بالا در میان نگاره‌های صفوی موجود در موزه ملی انتخاب شود، اما با این وجود تأثیر عوامل ذکرشده سبب ایجاد اختلاف رنگ در اندازه‌گیری‌های دستگاهی و ارزیابی‌های چشمی می‌شوند. برای تطبیق بهتر، ضمن محاسبه مقادیر اختلاف‌رنگ بر اساس فرمول CIEDE1976، اختلاف در فاکتورهای مرتبط با فام نمونه‌ها و همچنین اختلاف روشنایی هر نمونه از نسخ با تمام نمونه‌های بازتولید شده که طیف رنگی مشابه دارند، به‌صورت جداگانه بررسی و در جدول ۵ ارائه شده است.

جمع‌بندی

– نمونهٔ شمارهٔ ۱و۲–۳۷۱۷: این نمونه با اختلاف رنگ ۲/۸۶، با نمونه ۵' که در فام قرمز (a*) دارای اختلاف ۲/۲۴ و در فام زرد دارای اختلاف ۰/۴۲ (b*) است، همانند می‌شود. نمونه‌های مذکور در روشنایی (L*) نیز به مقدار ۱/۷۳ اختلاف دارند که علامت مثبت نشان‌دهنده روشن‌تر بودن نمونهٔ ۵' است. خلوص نمونهٔ ۱، ۶۴/۷۵(c*) و نمونهٔ ۵'، ۶۶/۰۵ است.

– نمونهٔ شمارهٔ ۳–۴۶۳۶: این نمونه با اختلاف رنگ ۳/۷۲، با نمونه ۷'، که در فام قرمز (a*) دارای اختلاف ۲/۲۸ و در فام زرد دارای اختلاف ۰/۹۳ (b*) است، همانند می‌شود. نمونه‌های مذکور در روشنایی(L*) نیز به مقدار ۲/۷۹ اختلاف دارند که علامت مثبت نشان‌دهنده روشن‌تربودن نمونهٔ ۷' است. خلوص نمونه ۲، ۶۱/۴۶ (C*) و نمونهٔ ۷'، ۶۰/۵۱ است.

– نمونهٔ شمارهٔ ۴–۴۳۶۱: این نمونه با اختلاف رنگ ۲/۷۸، با نمونهٔ ۶'، که در فام قرمز (a*) دارای اختلاف ۱/۴۹ و در فام زرد دارای اختلاف ۲/۰۲ (b*) است، همانند می‌شود. نمونه‌های مذکور در روشنایی(L*) نیز به مقدار ۱/۱۹ اختلاف دارند که علامت منفی نشان‌دهنده روشن‌تر بودن نمونه ۴ است. خلوص نمونهٔ ۳، ۵۹/۶۶ (C*) و نمونهٔ ۶'، ۶۰/۵۱ است.

– نمونهٔ شمارهٔ ۵–۴۳۶۱: این نمونه با اختلاف رنگ ۲/۶۳، با نمونهٔ ۷'، که در فام قرمز (a*) دارای اختلاف ۰/۲۷ و در فام زرد اختلاف ۱/۴۵ (b*) است، همانند می‌شود. نمونه‌های مذکور در روشنایی (L*) نیز به مقدار ۲/۱۸ اختلاف دارند که علامت منفی نشان‌دهنده روشن‌تر بودن نمونهٔ ۴ است. خلوص نمونهٔ ۴، ۶۶/۹۸ (C*) و نمونهٔ ۷'، ۶۰/۵۱ است.

– نمونهٔ شمارهٔ ۶–۴۳۶۱: این نمونه با اختلاف رنگ ۲/۴۷، با نمونهٔ ۷'، که در فام قرمز (a*) دارای اختلاف ۱/۶۴ و در فام زرد دارای اختلاف ۱/۷۶ (b*) است، همانند می‌شود. نمونه‌های مذکور در روشنایی (L*) نیز به مقدار ۰/۵۹ اختلاف دارند که علامت منفی نشان‌دهنده روشن‌تربودن نمونهٔ ۵ است. خلوص نمونهٔ ۵، ۶۲/۹۲ (C*) و نمونهٔ ۷'، ۶۰/۵۱ است.

– نمونهٔ شمارهٔ ۷–۴۳۶۲: این نمونه با اختلاف رنگ ۳/۰۷، با نمونهٔ ۷'، که در فام قرمز (a*) دارای اختلاف ۱/۲۳ و در فام زرد دارای اختلاف ۱/۹۵ (b*) است، همانند می‌شود. نمونه‌های مذکور در روشنایی (L*) نیز به مقدار ۲/۰۳ اختلاف دارند که علامت مثبت نشان‌دهنده روشن‌تر بودن نمونهٔ ۷' است. خلوص نمونهٔ ۶، ۵۹/۹۸ (C*) و نمونهٔ ۷'، ۶۰/۵۱ است.

– نمونهٔ شمارهٔ ۸–۴۳۶۳: همان‌طور که پیشتر گفته شد این نمونه دارای فام زرد بیشتری نسبت به نمونه‌های مورد بررسی است که در محدوده این پژوهش نمی‌گنجد. اختلاف‌های محاسبه شده در جدول (۳) نیز گویای همین مسئله است.

– نمونهٔ شمارهٔ ۹–۴۳۶۳: این نمونه با اختلاف رنگ ۰/۷۹، با نمونهٔ ۷'، که در فام قرمز (a*) دارای اختلاف صفر و در فام زرد دارای اختلاف ۰/۷۳ (b*) است، همانند می‌شود. نمونه‌های مذکور در روشنایی (L*) نیز به مقدار ۰/۲۸ اختلاف دارند که علامت مثبت نشان‌دهنده روشن‌تر بودن نمونهٔ ۷' است. خلوص نمونهٔ ۸، ۶۱/۰۲ (C*) و نمونهٔ ۷'، ۶۰/۵۱ است.

– در بین کلیهٔ نمونه‌های همانند شده، کمترین اختلاف رنگ مربوط به نمونهٔ شمارهٔ ۸ و نمونهٔ ۷'بازتولید شده است که مقدار آن برابر با ۰/۷۹ و کمتر از ۱ محاسبه شده است.

نتیجه‌گیری

یافتن روش کار هنرمندان در گذشته، برای ارائه راهکارهای مداخلات مرمتی یا حفاظت پیشگیرانه جهت حفظ و نگهداری آثار تاریخی، بسیار حائز اهمیت است. یکی از منابعی که می‌توان جهت یافتن این مهم در خصوص نسخ مصور از آن بهره گرفت، رساله‌های کتاب‌آرایی است. این رساله‌ها منابعی هستند که نگارندگان‌شان یا خود هنرمندان بوده‌اند و یا در کنار هنرمندان دیگر در کتابخانه به استنساخ این کتب می‌پرداختند. لذا از فنون کتابت، مصوّرسازی و تجلید نسخ آگاهی داشتند. ابزار و رنگ‌های استفاده شده توسط نگارگران، بخش مهمی از کیفیت شکل‌گیری آثار را شامل می‌شود و این امر چنان در

گذشته مهم انگاشته می‌شد که خود هنرمند بدان می‌پرداخت و یا به صورت مستقیم بر چگونگی انجام آن نظارت می‌کرد.

رنگدانه‌هایی که در گذشته براساس روش‌های مکتوب در رساله‌های کتاب‌آرایی تولید و فرآوری‌شده و در مصوّرسازی نسخ استفاده می‌شدند، کیفیت بالا و درخشندگی قابل‌توجهی را تا روزگار معاصر حفظ‌کرده‌اند. از جملهٔ این رنگ‌ها طیف رنگ سرخ است که شامل سه رنگدانه معدنی اخرا، شنگرف و سرنج می‌شود.

در این پژوهش آماده‌سازی رنگدانه سرنج و مطابقت آن با نمونه‌های تاریخی از طریق آنالیز رنگ‌سنجی انجام گرفت. نمونه‌های آماده‌سازی شده سرنج به‌همراه مقادیر اندکی شنگرف (هر قطره معادل ۰/۰۵ میلی لیتر)، بر روی کاغذ واتمنِ آهار و مهره شده، اجرا شد. مشخصه‌های رنگی ۱۷ نمونه آمادَه‌سازی شده و ۸ نمونهٔ مرجع شامل صفحات نگارگری منتخب از ۵ نسخهٔ مصوّر متعلق به موزه ملی (نسخهٔ شمارهٔ ۳۷۱۷ خسرو و شیرین خمسه نظامی (۹۹۲ ه.ق)، نسخهٔ شمارهٔ ۴۶۳۶ شاهنامهٔ فروسی (قرن۱۰ ه.ق)، نسخهٔ شمارهٔ ۴۳۶۱ شاهنامهٔ فردوسی (۹۳۸ ه.ق)، نسخهٔ شمارهٔ ۴۳۶۲ شاهنامهٔ قاسمی (قرن ۱۰ه.ق) و نسخهٔ شمارهٔ ۴۳۶۳ خمسهٔ نظامی (۹۳۳ ه.ق) در شرایط یکسان و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی قابل حمل pr I1، در محدودهٔ طیف مرئی از طول موج ۳۸۰ تا ۷۳۰ نانومتر و با گام‌های۱۰ نانومتر اندازه‌گیری‌شد. سپس داده‌ها جهت تطبیق رنگ‌های سرخ نگاره‌های منتخب با رنگ‌های آماده‌سازی‌شده در فرمول اختلاف‌رنگ ΔE 1976 قرار گرفته و تحلیل شدند.

نتایج حاکی از آن است که در میان ۱۷ نمونه آماده‌سازی شده، نمونهٔ با پایه سرنج همراه با ترکیب چهار قطره شنگرف (معادل ۰/۲ میلی‌لیتر) با ۵ نمونه از رنگ سرنج به‌کار رفته در این نگاره‌ها، بیشترین مطابقت و اختلاف رنگ قابل‌قبولی را نشان می‌دهد. مقادیر اختلاف رنگ به دست‌آمده از کمترین مقدار ۰/۷۹ تا بیشترین مقدار ۳/۷۲ متغیر بوده‌است. از میان سه نمونه نگاره باقی‌مانده، یک نمونه اختلاف رنگ قابل قبولی را با نمونه‌های آماده‌سازی‌شده نشان نداد که احتمال‌می‌رود به‌دلیل کهنگی و فرسودگی نسخه باشد. دو نمونهٔ دیگر نیز با نمونه‌های سرنج با ترکیب دو قطره (۰/۱ میلی لیتر) و سه قطره (۰/۱۵ میلی لیتر) شنگرف اختلاف رنگ قابل قبولی را نشان دادند.

در مجموع می توان اظهارداشت که آنالیز رنگ‌سنجی به‌عنوان روشی غیرتخریبی، در فن‌شناسی و مطالعات تطبیقی مواد رنگزا در نسخ و نگاره‌ها، و همچنین تعیین میزان شباهت رنگ بازسازی‌شده هنگام موزن‌سازی‌های رنگی، حائز اهمیت بوده و می تواند قابلیت های فراوانی در اختیار مرمتگران قرار دهد.

منابع

– باقرزاده کثیری، مسعود؛ و نقیبی، سپیده. (۱۳۹۸). شناسایی رنگ‌دانه‌های آبی و قرمز به‌کار رفته در پنج نسخهٔ خطی منسوب به دورهٔ صفوی. دانش حفاظت و مرمت، ۲ (۱)، ۱ - ۱۲.

– بهادری، رویا؛ و بحرالعلومی، فرانک. (۱۳۹۶). شناسایی رنگینه‌ها و رنگ‌دانه‌های به کار رفته در تزیینات و مرکب نسخ خطی قرآنی دوره صفوی. گنجینه اسناد، ۲۷(۱ (پیاپی ۱۰۵))، ۱۰۴–۱۲۵.

– برهان، محمدحسین بن خلف. (۱۳۴۲). برهان قاطع. به اهتمام محمد معین، تهران: ابن سینا.

– پورتر، ایو. (۱۳۹۲). آداب و فنون نقاشی و کتاب‌آرایی. مترجم زینب رجبی. تهران: فرهنگستان هنر.

– تفلیسی، حبیش بن ابراهیم بن محمد. (۱۳۳۶). بیان‌الصناعات، تصحیح ایرج افشار. فرهنگ ایران زمین، شمارهٔ ۵، ۲۷۸ – ۴۵۸.

– جعفری، راضیه. (۱۴۰۱). اصول و مبانی رنگ‌سنجی. کمال الدین قرنجیگ، رنگرزی الیاف نساجی با مواد رنگزای طبیعی، چاپ اول، تهران: انتشارات پژوهشگاه رنگ، ۴۷۷–۵۰۸.

– حقگو، محسن. (۱۳۹۴). فن‌شناسی، آسیب‌شناسی و ارائه طرح حفاظت و مرمت نسخه خطی خمسه جامی متعلق به کتابخانه و موزه ملی ملک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مرمت اشیاء فرهنگی – تاریخی. دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر ایران.

– دانش‌پژوه، محمدتقی. (۱۳۴۹). «قانون الصور». نشریه هنر و مردم، شمارهٔ ۹۰، ۱۱–۲۱.

– دهخدا، علی اکبر. (۱۳۹۹). لغت نامه، تهران: موسسه لغت نامه دهخدا.

– رادرفورد، گتنز. (۱۳۸۹). آزمایش های فنی اولیه بر روی رنگ‌های بکار رفته در نسخه خطی اندرزنامه – کاپوسنامه. نامه بهارستان، ۱۱(۱۷)، ۱۸۱–۱۸۹.

– زمردیان، عاطفه. (۱۳۹۵). فن‌شناسی و آسیب‌شناسی نسخه «رساله المشفیه للامراض المشکله» صفوی، به منظور ارائه طرح حفاظتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مرمت اشیاء

فرهنگی – تاریخی. دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر ایران.

– شادقزوینی، پریسا. (۱۳۸۲). بررسی پالت رنگ در ۵ نگاره از نگاره‌های شاهنامه شاه طهماسب. جلوه هنر، ۲۳، ۱۴ – ۲۳.

– صنهاجی، ابن بادیس. (۱۳۸۹). رساله بوقلمون در رنگ‌ها (ترجمه قدیمی بخش رنگ‌ها از کتاب عمده‌الکتاب)، ترجمه نادر مطلبی کاشانی، نامه بهارستان، شماره ۱۷، ۱۷ – ۳۰.

– فرید، امیر. (۱۳۸۸). بررسی و کاربرد رنگ و رنگ‌آمیزی در نگارگری سنتی ایران، کتاب ماه هنر، شماره ۱۳۶، ۵۸ – ۶۳.

– کن‌بای، شیلا. (۱۳۷۶). ابزار و مصالح نگارگر ایرانی، ترجمه مهدی حسینی، فصلنامه هنر، شماره ۳۴، ۹۴ – ۱۰۷.

– مایل هروی، نجیب. (۱۳۷۲). کتاب‌آرایی در تمدن اسلامی. مشهد: آستان قدس رضوی.

– میرزایی‌مهر، علی اصغر. (۱۳۹۱). مقایسه تطبیقی گلستان هنر با مناقب هنروران، هنر و معماری. هنرهای زیبا– هنرهای تجسمی، ۴۹، ۴۵–۵۵.

– نعمتی بابای‌لو، علی؛ کوچکزایی، علیرضا؛ و ملکی فر، لیلا. (۱۴۰۲). استفاده از روش‌های طیف‌سنجی و میکروسکوپی در بررسی شاخصه‌های شناسایی رنگدانه تولیدی براساس دستورالعمل‌های سنتی ایرانی: قرمز شنگرف. علوم و فناوری رنگ، ۱۸ (۱)، ۲۵ - ۳۶.

– نعمتی بابای‌لو، علی؛کوچکزایی، علیرضا؛ و قائم امیری، احمدرضا. (۱۴۰۲). استفاده از روش‌های طیف‌سنجی و میکروسکوپی در بررسی شاخصه‌های شناسایی رنگ‌ماده تولیدی بر اساس دستور العمل‌های سنتی ایرانی: زرد زرنیخ. مطالعات در دنیای رنگ، ۱۴ (۱)، ۱۹ – ۳۲.

– نوغانی، سمیه؛ مدرسی، پرنیا؛ و جعفری، راضیه. (۱۴۰۰). ارزیابی شیوه‌های عمل‌آوری متفاوت رنگدانه شنگرف در رسالات کتاب‌آرایی قرون ۱۰ و ۱۱ هجری قمری. نشریه هنرهای زیبا: هنرهای تجسمی، ۲۶ (۲)، ۶۱ – ۶۹.

- Bahadri, R., & Bahr al-Uloomi, F. (2016). Identification of pigments and pigments used in the decorations and composites of Quranic manuscripts of the Safavid period, Ganjaneh Asnad, 105, 104- 125. [in Persian].

- Bagherzadeh Kasiri M, Naghibi S. (2019). Identifying the Structure of Pigments Used in the Context of Five Manuscripts Related to Safavid Period. KCR, 2 (1), 1- 12. [in Persian].

- Barkeshli, M. (2015). Material technology and science in Manuscripts of Persian Mystical Literature. Manuscr Cult, 8, 187- 214.

- Berns, R. S. (2000). Billmeyer and Saltzman's principles of color technology. John Wiley & Sons. Burgio, L., Clark, R. J., Muralha, V. S., & Stanley, T. (2008). Pigment analysis by Raman microscopy of the non-figurative illumination in 16th-to 18th-century Islamic manuscripts. Journal of Raman Spectroscopy: An International Journal for Original Work in all Aspects of Raman Spectroscopy, Including Higher Order Processes, and also Brillouin and Rayleigh Scattering, 39(10), 1482-1493.

- Burhan, M. (1342). Burhan-i Qati. Tehran: Ibn Sina. [in Persian].

- Canby, Sh. R. (1376). Iranian painter's tools and materials. Translated by Mehdi Hosseini, Faslnameh-e Honar, 34, 94 -107.[in Persian].

- Choudhury, A. K. (2000). Modern concepts of color and appearance. Science publishers Inc, New Humpshire, 2000.

- Ciomartan, D. A., & Clark, R. J. (1996). Raman microscopy applied to the analysis of the pigments used in two Persian manuscripts. Journal-Brazilian Chemical Society, 9, 395-402.

- Clark, R. J., & Mirabaud, S. (2006). Identification of the pigments on a sixteenth century Persian book of poetry by Raman microscopy. Journal of Raman Spectroscopy: An International Journal for Original Work in all Aspects of Raman Spectroscopy, Including Higher Order Processes, and also Brillouin and Rayleigh Scattering, 37 (1-3), 235- 239.

- Danesh Pajouh M.T. (1349). Qanoun al-Sovvar. Honar va Mardom, 90, 11-21. [in Persian].

- Darzi, M., Stern, B., Edwards, H. G., Surtees, A., & Rachti, M. L. (2021). A study of colourant uses in illuminated Islamic manuscripts from the Qājār period (1925–1789 CE), early modern Iran. Journal of Archaeological Science: Reports, 39, 103-119.

- Dehkhoda, A.A. (1399). Dehkhoda Dictionary. Tehran: Dehkhoda Dictionary Institute. [in Persian].

- Farid, A. (1388). Iinvestigation and application of color and coloring in traditional Iranian painting. Ketab Mah Honar,136, 58-63.[in Persian].

- Haqgoo, M. (2014). Technology, pathology and presentation of conservation and restoration plan of Khamsa Jami manuscript belonging to Malek National Library and Museum. M.A. Thesis. Faculty of Conservation and Restoration, Iran University of Art. [in Persian].

- Hayez, V., Denoel, S., Genadry, Z., & Gilbert, B. (2004). Identification of pigments on a 16th century Persian manuscript by micro-Raman spectroscopy. Journal of Raman Spectroscopy, 35 (8-9), 785 -781.

- Imai, F. H., Rosen, M. R., & Berns, R. S. (2001, October). Multi-spectral Imaging of a van Gogh's Self-portrait at the National Gallery of Art Washington DC. In PICS. (PP. 185-189)

- Jafari, R., & Amirshahi, S. H. (2008). Variation in the decisions of observers regarding the ordering of white samples. Coloration Technology, 124 (2), 127 -131.

- Jafari, R. (1401). Principals and basics of colorimetry. In Gharanjig, K. Dyeing textile fibers with natural colorants. Tehran: Institute for Color Science and Technology (pp. 477 – 508). [in Persian].

- Khan, M. J., Yousaf, A., Abbas, A., & Khurshid, K. (2018). Deep learning for automated forgery detection in hyperspectral document images. Journal of Electronic Imaging, 27 (5), 053001-053001.

- Knipe, P., Eremin, K., Walton, M., Babini, A., & Rayner, G. (2018). Materials and techniques of Islamic manuscripts. Heritage Science, 6, 1-40.

- Koochakzaei, A. R., Nemati Babaylou, A., & Daneshpoor, L. (2015). Identification of pigments used in decoration of paper inscription related to Ansarin house of Tabriz. Journal of Color Science and Technology, 9 (4), 297 -306.

- Koochakzaei, A., Alizadeh Gharetapeh, S., & Jelodarian Bidgoli, B. (2022). Identification of pigments used in a Qajar manuscript from Iran by using atomic and molecular spectroscopy and technical photography methods. Heritage Science, 10 (1), 30.

- Koochakzaei, A., Mobasher Maghsoud, E., & Jelodarian Bidgoli, B. (2023). Non-invasive imaging and spectroscopy techniques for identifying historical pigments: A case study of Iranian manuscripts from the Qajar era. Heritage Science, 11 (1), 157.

- Mahmoudi Khorandi, M. (2022). Investigation of colour materials applied in Shāhnāma manuscripts of 15th Century by non-invasive analytical methods (Doctoral dissertation, Staats- und Universitőtsbibliothek Hamburg Carl von Ossietzky).

- Mayel Heravi, N. (1372). The art of bibliopegy in Islamic civilization: A collection of articles on penmanship Ink making, papers. Mashhad: Astan Quds Razavi Publishing House. [in Persian].

- Mirzaeimehr, A. (2012). A Comparative study on two books of the " Golestan – e - Honar" with "Managheb – e- Honarvaran. Journal of Fine Arts: Visual Arts, 4 (49), 45 -56. [in Persian].

- Modarresi, P., Jafari, R., & Noghani, S. (2021). Recognition of vermilion preparation methods in Safavid illustrated manuscripts through colorimetric analysis. Archaeometry,1327 -1341 63 (6),.

- Mousavi, S. M., Ahmadi, H., Abed-Esfahani, A., Mortazavi, M., & Aceto, M. (2015). Identification and analytical examination of copper alloy pigments applied as golden illuminations on three Persian manuscripts. Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material, 36 (2), 81 -100.

- Muralha, V. S., Burgio, L., & Clark, R. J. (2012). Raman spectroscopy analysis of pigments on 17–16th c. Persian manuscripts. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and

Biomolecular Spectroscopy, 92, 21 -28.

- Nemati-Babaylou, A., Koochakzaei, A., & Malekifar, L. (2024). Using Spectroscopic and Microscopic Methods in the Study of the Identification Characteristics of Paint Materials Produced Based on Traditional Persian Recipes: Cinnabar Red. Journal of Color Science and Technology, 1 (18), 25 -36. [in Persian].

- Nemati Babaylou, A., Koochakzaei, A., & Ghaem Amiri, A. (2024). Using Spectroscopic and Microscopic Methods in the Study of the Identification Characteristics of Produced Paint Based on Traditional Persian Recipes: Orpiment. Journal of Studies in Color World,14 (1), 19 -32. [in Persian].

- Niknejad, M., & Karimy, A. H. (2019). Lead white or lead whites? Reconsideration of methods of sefidāb-i-sorb production in Iran. Studies in Conservation, 64 (1), 1 -9.

- Noghani, S., Modarresi, P., & Jafari, R. (2021). * Evaluation of Different Vermilion Treatment Methods Presented in Art Treatises of the 16th – 17th Centuries. Journal of Fine Arts: Visual Arts, 26 (2), 61 -69. [in Persian].

- Patnaik, P. (2003). Handbook of inorganic chemicals (Vol. 529, pp. 771-769). New York: McGraw-Hill.

- Porter E. (1392). The manners and techniques of painting and book design. Tehran: Farhangistan Honar Publications. [in Persian].

- Purinton, N., & Waiters, M. (1991). A study of the materials used by medieval Persian painters. Journal of the American Institute for Conservation, 30 (2), 125 -144.

- Roderick M.D. (1997). Color Physics for Industry. 2nd Ed, Bradford, Dyers company publication trust.

- Rossi, C., Zoleo, A., Bertoncello, R., Meneghetti, M., & Deiana, R. (2021). Application of Multispectral Imaging and Portable Spectroscopic Instruments to the Analysis of an Ancient Persian Illuminated Manuscript. Sensors, 21 (15), 49 -98.

- Rostami-Charati, F., Rahmani, G., Bahadori, R., & Madani, F. S. (2021). A Spectroscopic and Nondestructive Analysis Methods for Investigation of Inorganic Pigments in A Cultural Heritage in North of Iran. Wood Research Journal, 12 (1), 1 -9.

- Rutherford, G. (1389). Preliminary technical tests on the colors used in the manuscript of Andarznameh - Kapusnameh. Baharestan Letter, 11 (17), 181 -189.[in Persian].

- Sanhaji I.B. (1389). Turkey (Bouqalamoun) treatise on colors (an old translation of the colors part of Omdat al-Kottab). Naameyh Baharestan, 17, 17 -30. [in Persian].

- Shad Qazvini, P. (1382). Examination of the color palette in 5 paintings of the Shahnameh of Shah Tahmasab, Jelve- Honar, 23, 14 -23.[in Persian].

- Tanevska, V., Nastova, I., Minčeva-Šukarova, B., Grupče, O., Ozcatal, M., Kavčić, M., & Jakovlevska-Spirovska, Z. (2014). Spectroscopic analysis of pigments and inks in manuscripts: II. Islamic illuminated manuscripts (16th–18th century). Vibrational Spectroscopy, 73, 127 -137.

- Tbilisi H. (1336). Bayan al-Sanaat. Farhang Iran Zemin, 5, 278 -458. [in Persian].

- Zhao, Y., Berns, R. S., Taplin, L. A., & Coddington, J. (2008). An investigation of multispectral imaging for the mapping of pigments in paintings. In Computer image analysis in the study of art, 6810, 65 -73.

- Zomorodian, A. (2015). Technology and pathology of the Safavid edition of "Resale Al-Mushfiyyah Le-Amaraz al-Moshkelah", in order to present a conservation plan. M.A. Thesis. Faculty of Conservation and Restoration, Iran University of Art. [in Persian].

- https://www.handprint.com/HP/WCL/color7.html (Access date: 1403/02/05).

- http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI_ang_M07_C02/co/Contenu_09.html (Access date: 1403/02/05).

- https://www.sabic-ip.com/cxp/jsp/user/LearnAboutColor/ColorBasicsDetail/cielab_lch.jsp (Access date: 1403/02/05).