نشریه هنرهای زیبا- هنرهای تجسمی ● دوره ۲۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

ارزیابی شیوه‌های عمل‌آوری متفاوت رنگدانه شنگرف در رسالات کتاب‌آرایی قرون ۱۰ و ۱۱ هجری قمری*

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

[۱] استادیار، گروه مرمت اشیاء فرهنگی تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر، تهران، ایران.
[۲] کارشناس ارشد هنر اسلامی، گروه هنر اسلامی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر، تهران، ایران.
[۳] استادیار، پژوهشکده فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۳/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۶)

چکیده

شنگرف، در نگارگری ایران از دیرباز رنگی پرکاربرد، با کیفیت و ماندگاری بالا بوده است. در مورد روش تهیه و آماده‌سازی این رنگ در رسالات کتاب‌آرایی مطالب مهمی ذکر شده اما از لحاظ عملی این روش‌ها کم‌تر مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. هدف از این پژوهش بررسی کیفیت بصری رنگ حاصل از رنگدانه شنگرف آماده‌سازی‌شده براساس متون رسالات قرون ۱۰ و ۱۱هجری قمری است، با این پرسش اصلی که براساس معیارهای استاندارد، رنگ‌های حاصل از روش‌های متفاوت آماده‌سازی، چه تفاوت‌هایی دارند؟ در این پژوهش روش‌های آماده‌سازی این رنگدانه در پنج رساله کتاب‌آرایی شاخص متعلق به قرون مذکور، براساس روش‌های توصیفی-تحلیلی و آزمایشگاهی با استناد به منابع کتابخانه‌ای و بازتولید عملی رنگدانه، بررسی شده است. نتایج بررسی رسالات کتاب‌آرایی حاکی از تفاوت آماده‌سازی شنگرف در مرحله اسیدشویی با دو اسید آلی (آب لیموترش و آب‌انار ترش) است. جهت بررسی تفاوت ته‌رنگ نمونه‌های بازتولید شده، نیاز به سیستم شبیه‌ساز بینایی انسان در شرایط استاندارد بود. این امر با استفاده از آنالیز اسپکتروفتومتر انعکاسی در سیستم استاندارد فضارنگ CIEXYZ، CIELAB و CIELCH انجام شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده بازسازی فام قرمز با ته‌رنگ‌های متفاوت شامل تنالیته قرمز شفاف، ته‌رنگ نارنجی و ته‌رنگ صورتی برای نمونه‌های مختلف شنگرف تولیدشده با مواد اسیدشویی متفاوت است.

واژه‌های کلیدی

دوره صفویه، رسالات کتاب‌آرایی، شنگرف، عمل‌آوری شنگرف، رنگ‌سنجی.

* مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده‌ی دوم، با عنوان «بازشناسی روش تولید و آماده‌سازی طیف رنگ سرخ به‌کاررفته در نسخ مصور دوره صفوی» است که با راهنمایی نگارندگان اول و سوم، در دانشگاه هنر ارایه شده است.

** نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۹۲۹۰۳۴۸۰، نمابر: ۶۶۷۲۳۶۹۰ -۰۲۱، E-mail: s.noghani@art.ac.ir.

مقدمه

نگارگری ایرانی مانند سایر آثار هنری ایران و جهان، نیازمند ابزار و وسایل خاص خود است. مهم‌ترین این ابزار شامل قلم، قلمو، مرکب، کاغذ، و رنگ است. در این بین، نظارت و آماده‌سازی ابزار و رنگ‌های مورد نیاز پیش از شروع کار، از وظایف مهم هنرمند بوده است (کن‌بای، ۱۳۷۶، ۹۴). علی‌رغم کارخانه‌ای شدن بسیاری از ابزار و رنگ‌های نگارگری، همچنان بسیاری از نگارگران رنگ‌ها و ابزار مورد نیاز کار خود را پیش از استفاده، آماده‌سازی و تولید می‌کنند. این امر در گذشته آن چنان مورد توجه بوده که رسالاتی در باب روش‌های تولید، آماده‌سازی و کار هنرمندان در کارگاه‌های هنری هر دوره نوشته شده است. این کتب با عنوان رساله‌های کتاب‌آرایی از منابع مهم در مورد روش کار و رنگ‌های مورد استفاده نگارگران هر عصر به‌شمار می‌رود (میرزایی‌مهر، ۱۳۹۱، ۴۶).

از رنگدانه‌های مهم و پرکاربرد در نگارگری ایران از دوران باستان تا عصر کتاب‌آرایی، رنگ معدنی شنگرف است. نتایج حاصل از انجام مطالعات آزمایشگاهی، حاکی از استفاده این رنگدانه در نقاشی‌های ایرانی است. به علاوه این رنگدانه از ثبات و درخشندگی قابل قبولی در گذر زمان برخوردار بوده است (Roy, 2012, 159). مطالعه و بررسی روش تولید و آماده‌سازی این رنگ مطابق با مطالب نگاشته‌شده در رسالات کتاب‌آرایی از مسائلی است که باید بیشتر بررسی شود. در این پژوهش، روش تولید و آماده‌سازی این رنگدانه در پنج رساله کتاب‌آرایی نگاشته‌شده در قرون ۱۰ و ۱۱ هجری قمری هم‌زمان با عصر درخشان هنری صفوی بررسی شده است. آنچه در این پژوهش حائز اهمیت است مقایسه شباهت‌ها و تفاوت‌های روش‌های ذکر شده در پنج رساله در یک مکتب هنری و تأثیر تفاوت در روش آماده‌سازی بر کیفیت رنگ نهایی است. هدف از این پژوهش، بازشناسی روش تولید و آماده‌سازی شنگرف به‌صورت علمی و براساس متن رسالات شاخص کتاب‌آرایی در دوره صفوی است. کیفیت بصری رنگ‌های حاصل از روش‌های آماده‌سازی متفاوت، به ویژه برای نگارگران که ترکیب‌بندی رنگی و تأثیرات بصری رنگ‌ها حتی در حد جزئی برایشان مهم تلقی می‌شود حائز اهمیت است. بنابراین پرسش اصلی این پژوهش، مبتنی بر بررسی تأثیر روش آماده‌سازی در کیفیت بصری رنگ نهایی است که براساس معیارهای استاندارد، رنگ‌های حاصل از روش‌های متفاوت آماده‌سازی، چه تفاوت‌هایی دارند؟ به منظور بررسی روشمند داده‌ها، روش رنگ سنجی بر مبنای اصول فیزیک رنگ جهت تبدیل داده‌های کیفی به کمّی و فراهم آوردن امکان مقایسه علمی، استفاده شده است.

روش پژوهش

در این پژوهش با استفاده از روش کتابخانه‌ای و بازخوانی متون رسالات تاریخی، روش‌های آماده‌سازی رنگ شنگرف در پنج رساله کتاب‌آرایی دوره صفویه (قرن ۱۰- ۱۱ هجری قمری) مورد مطالعه قرار گرفته است. این رسالات عبارت‌اند از: *گلستان هنر* (قاضی احمد قمی)، *قانون‌الصور* (صادقی افشار)، *مدادالخطوط* (میرعلی هروی)، *حلیه الکتاب* (نویسنده ناشناس)، و *آداب‌الخط* (مجنون رفیقی هروی) (جدول ۱). هریک از رسالات مورد استناد برای بازتولید و آماده‌سازی رنگدانه شنگرف از لحاظ تاریخ و مکان کتابت بررسی و از نسخ معتبر تصحیح‌شده بهره گرفته شده است.

سپس مواد و روش کار در باب رنگدانه شنگرف در هر یک از این رسالات، تحلیل شده و مطابق با روش‌های مستخرج از این رسالات، رنگدانه شنگرف در محیط آزمایشگاهی به‌صورت عملی آماده‌سازی شده است. کانی سینابار مورد استفاده در این پژوهش از کارگاه استاد جلیل جوکار تهیه شده است (به گفته استاد جوکار منشا کانی مورد استفاده از معادن ایتالیا است). در نهایت برای مقایسه بصری رنگ‌های به‌دست آمده از روش‌های آماده‌سازی متفاوت، و تبدیل توصیفات کیفی به داده‌های کمّی، از اندازه‌گیری انعکاس رنگ‌ها به وسیله‌دستگاه *اسپکتروفتومتر انعکاسی* قابل حمل *I1 pro* (ساخت شرکت X-Rite) استفاده شده است. این دستگاه دارای منبع نور D65 (لامپ تنگستنی) و حفره اندازه‌گیری دایره‌ای به قطر ۴/۵ میلی‌متر است که انعکاس‌ها را در محدوده طول موج ۳۸۰ تا ۷۳۰ نانومتر و به فاصله هر ۱۰ نانومتر یک انعکاس را اندازه‌گیری می‌کند. داده‌های انعکاسی خروجی با نرم‌افزار *X-Rite I1 share* خوانده شدند.

سپس داده‌های انعکاسی با استفاده از قوانین علم فیزیک رنگ و

جدو ل ۱- مشخصات رسالات کتاب‌آرایی مورد استناد برای بازتولید رنگ شنگرف.

	نام رساله	نویسنده	سال	نام کتاب	نام مصحح	سال چاپ	انتشارات
۱	گلستان هنر	قاضی احمد بن منشی ابراهیمی قمی	قرن ۱۱ ه. ق	گلستان هنر	احمد سهیلی خوانساری	۱۳۶۶	انتشارات منوچهری
۲	قانون‌الصور	صادق صادقی افشار	سال ۹۴۰ه. ق	کتاب‌آرایی در تمدن اسلامی	نجیب مایل هروی	۱۳۷۲	انتشارات آستان قدس رضوی
۳	مدادالخطوط	میرعلی هروی	سال ۹۳۵- ۹۳۶ه. ق	کتاب‌آرایی در تمدن اسلامی	نجیب مایل هروی	۱۳۷۲	انتشارات آستان قدس رضوی
۴	حلیه‌الکتاب	مجهول	سال ۱۰۰۵ه. ق	کتاب‌آرایی در تمدن اسلامی	نجیب مایل هروی	۱۳۷۲	انتشارات آستان قدس رضوی
۵	آداب‌الخط	مجنون رفیقی هروی	اواخر قرن دهم ه. ق	رسالاتی در خوشنویسی	حمیدرضا قلیچ‌خانی	۱۳۷۳	انتشارات روزنه

نرم‌افزار *متلب* (نسخه R2018b) به شاخص‌های کمّی در سیستم فضارنگ CIE تبدیل شده و باهم مقایسه شده‌اند. سیستم فضارنگ CIE، یکی از فضارنگ‌هایی است که توسط *کمیته بین‌المللی روشنایی* (International Commission on Illumination (CIE)، تعیین شده و تمام رنگ‌های قابل مشاهده برای چشم انسان را توصیف می‌کند.

پیشینه پژوهش

در اغلب تحقیقاتی که بر روی رسالات کتاب‌آرایی ایران شده، پژوهشگر به توصیف مواد معرفی شده و روش کار بسنده کرده است. از جمله این تحقیقات، کتاب پورتر (۱۳۹۲) با نام «آداب و فنون در نقاشی و کتاب‌آرایی» است. در این کتاب رنگ از منظر فلسفه و عرفان ایرانی بررسی شده و با ارجاع به چند رساله، رنگ‌مایه‌ها را توصیف می‌کند. در مورد آماده‌سازی شنگرف نیز توضیحی ارائه نمی‌دهد که احتمالاً به دلیل ناآشنایی او با کتابی مانند قانون‌الصور است که به نظم نوشته شده و توصیف کاملی از آماده‌سازی شنگرف دارد (مایل‌هروی، ۱۳۷۲، ۳۵۲).

در برخی تحقیقات انجام شده بر روی مواد و ابزار نگارگری، محققین کمی فراتر رفته و پس از شناسایی رنگ‌مایه‌های به‌کاررفته در نسخ مصور با استفاده از روش‌های آنالیز دستگاهی، صحت و سقم داده‌های به‌دست‌آمده را با رسالات کتاب‌آرایی که از لحاظ تاریخی هم دوره با نسخ مصور بودند، مقایسه کرده‌اند. از جمله این تحقیقات، مقاله‌ی بهادری و بحرالعلومی (۱۳۹۶) با عنوان «شناسایی رنگینه‌ها و رنگدانه‌های به‌کاررفته در تزیینات و مرکب نسخ خطی قرآنی دوره صفوی» است که در آن نتایج آنالیز شش برگ از قرآن‌های دوره صفویه با استفاده از روش شیمیایی و آنالیز دستگاهی، ارائه شده و نتایج حاصل با مکتوبات نُه رساله کتاب‌آرایی از قرن پنجم هجری تا دوره صفویه مقایسه شده است. در این تحقیق سه نمونه از رنگ‌های قرمز به‌کاررفته در نسخ، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به تجزیه شیمیایی پراش انرژی پرتو ایکس (SEM-EDX) بررسی شده و با توجه به مشاهده درصد قابل توجه جیوه در این نمونه‌ها و براساس مکتوبات رسالات کتاب‌آرایی، نوع رنگدانه، شنگرف شناسایی شده است. در مقاله‌ای دیگر با عنوان «آنالیز رنگینه‌ها و رنگدانه‌های نسخ مصور اسلامی (قرن۱۶- ۱۸ میلادی)»، تانوسکا و همکارانش (۲۰۱۴) رنگ‌های پنج نسخه مصور ایرانی متعلق به کتابخانه ملی دانشگاه اسکوپیا را با دو روش آنالیز *SEM-EDX* و طیف‌سنجی رامان بررسی کرده‌اند. در نتایج حاصل از این پژوهش در مورد ترکیب رنگ قرمز، به حضور عناصر جیوه، گوگرد و سرب (عناصر سازنده رنگدانه‌های شنگرف و سرنج) اشاره شده است.

در مقاله‌ای دیگر با عنوان «بررسی مواد مورد استفاده نقاشان ایرانی قرون وسطی»، رنگدانه‌های ۱۹ نقاشی ایرانی موجود در موزه هنر لس‌آنجلس متعلق به قرن ۱۵ تا ۱۷ میلادی، توسط پارینتون و ویترز (۱۹۹۱) با روش *فلوئورسانس اشعه ایکس* (*XRF*)[1] بررسی و نتایج با دو رساله گلستان هنر و قانون‌الصور مقایسه شده‌اند. در مورد رنگ‌های سرخ به‌کاررفته در این نسخه‌ها، ترکیبات اکسید جیوه، اکسید آهن، قرمز سرب و زرنیخ سرخ به همراه روناس و لاک گزارش شده و به منابع احتمالی تهیه این ترکیبات از جمله تولید شنگرف با ترکیب جیوه و گوگرد و یا استفاده از سینابار (کانی این ترکیب) اشاره شده است.

در مقاله‌ای با عنوان «طیف‌سنجی رامان رنگدانه‌های نسخ ایرانی قرن ۱۶- ۱۷ میلادی»، مورالا و همکارانش (۲۰۱۲) با استفاده از روش طیف‌سنجی رامان، به بررسی ترکیب رنگی چهار نسخه مصور قرون ۱۶ تا ۱۷ میلادی متعلق به موزه ویکتوریا و آلبرتا پرداخته، دو ماده شنگرف و سرنج را برای رنگ سرخ شناسایی و با مکتوبات موجود در رساله‌های گلستان هنر و قانون‌الصور مقایسه کرده‌اند.

علاوه بر پژوهش‌های انجام شده در رابطه با شناسایی رنگدانه‌ها در نسخ تاریخی، تحقیقاتی نیز برای مقایسه علمی کیفیت بصری تنالیته‌های رنگی حاصل از یک رنگ خاص مانند سفید و مشکی در شرایط مختلف انجام شده که از این دست تحقیقات می‌توان به این موارد اشاره کرد: تعریف رنگ و نحوه اندازه‌گیری آن با توجه به بینایی ناظران (جعفری، ۱۳۹۳ الف)، (Jafari & Amirshahi, 2007) و (Jafari & Amirshahi, 2008)، رنگ مشکی و تأثیر ویژگی‌های رنگی در درک سیاهی (جعفری، ۱۳۹۳ ب)، استفاده از فضارنگ‌های مختلف CIELAB، CIELCH و CIEXYZ در زمینه رنگ سیاه و کاربرد معیارهای علمی برای ارزیابی این رنگ‌ها (Jafari, Amirshahi & Hosseini Ravandi, 2016) و (Jafari & Ameri, 2018).

مبانی نظری پژوهش

۱- شنگرف

شنگرف (با نام معرّب شنجرف، Vermilion) و با نام علمی سولفید جیوه (HgS)، رنگدانه‌ای معدنی است که به‌صورت طبیعی از سنگ معدن سینابار به‌دست می‌آید (تصویر۱). سینابار[2] نوعی سولفید جیوه محسوب می‌شود که منبع اصلی تهیه جیوه در دنیاست. مهم‌ترین استفاده سینابار در تهیه فلز جیوه و نمک‌های آن است. کاربرد دیگر این کانی، در تهیه رنگ‌های هنری و رنگ‌های پلاستیکی است. این ماده رنگی تا دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد ثبات رنگی داشته و از این دما، تغییرات رنگی آن به سمت تنالیته قهوه‌ای آغاز می‌شود. در دمای ۳۸۶ درجه سانتی‌گراد به سولفید سیاه رنگ تبدیل شده که با سردشدن مجدد قرمز رنگ می‌شود. انحلال‌پذیری آن در تیزآب سلطانی و محلول قلیایی سولفید فلزات است و در سولفوریک اسید غلیظ و داغ، تجزیه می‌شود (Patnaik, 2002, 579).

۲- روش آماده‌سازی رنگدانه شنگرف به نقل از گلستان‌هنر

در خاتمه گلستان هنر نویسنده آن، قاضی احمد منشی قمی، در باب جدول، تذهیب، رنگ‌های الوان، ساختن مرکب، شستن لاجورد و سایر

تصویر ۱- کانی سینابار مورد استفاده جهت تهیه رنگ شنگرف در این پژوهش.

لوازم کتابخانه سخن گفته است. روند آماده‌سازی شنگرف براساس روش ذکرشده در گلستان هنر (منشی‌قمی، ۱۳۶۶، ۱۶۷) به شرح زیر است: سنگ شنگرف را مانند سرمه خوب می‌سایند. سپس آن را درکاسه رنگین به همراه آب ریخته و خوب هم می‌زنند. بعد آن را چند ساعت بدون حرکت گذاشته تا شنگرف ته‌نشین شود. سپس آب اضافه آن را خالی کرده و مجدد شنگرف خیس را در هاون می‌سایند و این عمل را دو بار تکرار می‌کنند (البته در ادامه اشاره می‌کند که سه مرتبه باید شستن انجام شود)، تا گردوخاک آن گرفته شود. در نهایت به آن صمغ عربی اضافه می‌کنند تا غلظت پیدا کند و اگر برای خطاطی قرار است استفاده شود به آن آب بیشتری اضافه می‌کنند تا رقیق شود و برای نوشتن با قلم کشش مناسب داشته باشد.

۳- روش آماده سازی رنگدانه شنگرف به نقل از قانون‌الصور

در رساله *قانون‌الصور* سروده صادقی افشار (در اواخر قرن دهم)، روش تولید و آماده‌سازی شنگرف به نظم سروده شده (مایل‌هروی، ۱۳۷۲، ۷۴) و حاکی از آن است که حدود سه یا چهار مثقال جیوه (گریزنده) را با سه مثقال گوگرد (که در متن شعر از اصطلاح کبریت استفاده شده) با هم ترکیب کرده و خوب می‌سایند و سپس در ظرفی شیشه‌ای گِل‌اندودشده قرار داده و مدت‌زمانی معادل پسین (عصر) تا شام (شب) آن را حرارت دهند. پس از سردشدن، شنگرفی مناسب و قرمزرنگ تولید شده است.

۴- روش آماده‌سازی رنگدانه شنگرف به نقل ازمدادالخطوط

مدادالخطوط رساله‌ای است که به جهاتی می‌توان آن را دنبالهٔ صراط‌السطور (رساله‌ای منظوم، نوشته سلطانعلی مشهدی خوش‌نویس مشهور قرن نهم هجری در هرات، در باب نکته‌های فنی خط، کتابت و دیگر ادوات خط) دانست و نوشته میرعلی هروی است (مایل‌هروی، ۱۳۷۲، ۵۲).

از متن این رساله (مایل‌هروی، ۱۳۷۲، ۹۹-۱۰۰) چنین استنباط می‌شود که شنگرف با کیفیت، احتمالاً محصولی وارداتی بوده و بهترین نمونه آن در روم [ایتالیا] بوده است. اما علاوه بر استفاده از کانی، روش تهیه آن نیز به این صورت است: ترکیبی از گِل‌ولای جوی‌ها و گُل ختمی (خطمی) و سبوس و موی سر انسان را خوب مخلوط کرده، و درون شیشه‌ای ترجیحاً سفیدرنگ را تا نیمه با آن پُرکنند و تمامی رطوبت آن را می‌گیرند. سپس ترکیب جیوه و گوگرد (تقریباً با مقدار مساوی از هر دو) را با هم به خوبی ساییده و باقی مانده شیشه را با این ترکیب پر کرده، در شیشه را کامل بسته و تنها به اندازه سوراخ یک جوالدوز در آن روزنه‌ای قرار دهند.از صباح (صبح زود) تا نیم‌روز (ظهر) این شیشه را در آتش قرار دهند. پس از خروج مقادیری دود سیاه (ناشی از تجزیه مواد آلی ترکیب گِل‌ولای وغیره)، دود سفید از شیشه بیرون می‌آید. در این هنگام سوراخ شیشه را محکم پوشانده تا ترکیب درون شیشه کاملاً حرارت دیده و مذاب شود. پس از سردشدن شنگرف مطلوبی تولید شده است. برای آماده‌سازی شنگرف هم باید آن را روی سنگی قرارداده، به آرامی و قطره‌قطره آب‌انار ترش به آن اضافه کرده و بسایند. سپس آن را با آب شسته، به مدت سه ساعت در ظرفی می‌ریزند تا زردآب آن جمع شود و درنهایت در ظرف سفالی‌ای پاکیزه و بدون غبار که رطوبت ندیده باشد، خشک کرده و نگهداری می‌کنند. برای کتابت با رنگ آماده‌شده نیز آن را با آب سریشم و صمغ [عربی] ترکیب کنند.

۵- روش تولید رنگدانه شنگرف به نقل از حلیه‌الکتاب

در بخش سوم از فصل دهم این رساله، نگارنده (ناشناس) در رابطه با روش آماده‌سازی شنگرف مطالبی ذکر کرده (مایل‌هروی، ۱۳۷۲، ۵۰۴) که از متن آن می‌توان چنین استنباط کرد: پس از ساییدن مناسب رنگدانه و شستشوی آن، از آب لیموترش استفاده کرده و اجازه میدهند تا خشک شود... و درنهایت با صمغ عربی ترکیب کرده و استفاده می‌کنند.

۶- روش آماده سازی رنگدانه شنگرف به نقل از آداب‌الخط

رساله آداب‌الخط سروده مجنون رفیقی، خوش‌نویس شیعی اواخر سده نهم و نیمه نخست قرن دهم هجری است. در رابطه با تهیه شنگرف در این رساله (قلیچ‌خانی، ۱۳۷۳، ۱۹)، روشی مشابه با آنچه در مدادالخطوط ذکر شده، آمده است با این تفاوت که در اینجا روش آماده‌سازی به نظم سروده شده و به ترکیب گِل‌ولای و گل ختمی و سبوس و موی سر، اشاره نشده است.

معرفی روش‌های کمّی سازی رنگ‌ها

برای مقایسه رنگ‌های آماده‌سازی شده از رنگدانه‌شنگرف‌باروش‌های متفاوت، نیاز است توصیفات کیفی به کمّی تبدیل شود. مثلاً برای بیان تفاوت تنالیته رنگ‌های قرمز می‌توان گفت قرمز مایل به نارنجی، یا قرمز دارای ته‌رنگ زرد. این گونه توصیفات ممکن است در نظر ناظرهای مختلف و در شرایط مختلف (مانند منبع نوری موجود) متفاوت باشد. به همین دلیل، برای بیان دقیق علمی و هنری نیاز است این اختلاف رنگ‌ها، هرچند جزئی، با شیوه‌ای استاندارد و مورد قبول برای هر شرایطی بیان شوند. به منظور توصیف علمی رنگ، ایجاد یک سیستم روشمند با مشخصه‌های رنگی که قادر به بیان ظاهر یک رنگ به‌صورت کمّی باشد ضروری به نظر می‌رسد. سیستم‌های رنگ منظم یا فضارنگ‌ها (بازنمایی هندسی رنگ‌ها در فضایی سه‌بُعدی) به‌طور کلی بر دو اساس پایه‌گذاری شده‌اند:

۱. براساس نمونه‌های واقعی مانند فضارنگ مانسل؛

۲. براساس نمونه‌های غیرواقعی مانند سیستم CIE.

برای معرفی و درک مفهوم رنگ، هر رنگ را با سه مشخصه در فضای سه بُعدی می‌توان توصیف کرد (جعفری و قرنجیگ، ۱۳۹۷، ۶۵). یکی از فضا رنگ‌های مهم و پرکاربرد، فضارنگ مانسل دانشمند آمریکایی است. این سیستم با سه مشخصه ته‌رنگ یا فام[۳]، اشباع رنگی یا خلوص[۴] و روشنایی یا عمق[۵] بیان می‌شود (مرادیان، ۱۳۷۴، ۹۹).

-فام: کیفیتی از رنگ است که بنا به نور تابیده بر آن و نور بازتاب شده از سطح، توسط لغاتی مانند قرمز، زرد، سبز، آبی و غیره تعریف می‌شود.

- خلوص: کیفیتی از رنگ است که میزان شفافیت را توصیف‌می‌کند و با کم‌شدن شفافیت و کدرشدن، رنگ به سمت خاکستری می‌رود.

- ارزش: کیفیتی از رنگ است که توسط لغاتی چون روشنی و تیرگی بیان می‌شود و رنگ را به یک خاکستری که روشنایی مشابه دارد مربوط می‌سازد.

کمیته بین المللی روشنایی (CIE) سیستمی را برای بیان‌محرکه‌های رنگی توسعه داد که از سال ۱۹۳۱ کاربرد وسیعی پیدا کرده است. از جمله پرکاربردترین فضارنگ‌ها[۶] در این سیستم می‌توان به فضارنگ CIEXYZ،

CIELAB و CIELCH اشاره کرد.

برای توصیف و تحلیل رنگ شنگرف بازتولید شده در این تحقیق با استفاده از سه فضارنگ مذکور، مشخصه‌های رنگی، رنگ‌های بازتولید شده مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که در ادامه به اختصار شرح داده شده‌اند.

مشخصه‌های رنگی نمونه‌ها در فضارنگ CIEXYZ توسط مقادیر محرک‌های سه‌گانه X، Y و Z تعریف می‌شوند. این مقادیر در مفاهیم اولیه، تقریباً با میزان قرمزی، سبزی و آبی بودن نمونه‌ها مترادف بوده و از طریق معادلات تعریف شده در رابطه (۱) به‌دست می‌آیند. در معادلات تعریف شده تحت رابطه (۱)، پارامتر $E(\lambda)$ بیان‌گر میزان توزیع انرژی طیفی منبع نوری، فاکتور $R(\lambda)$ نشان‌دهنده میزان انعکاس طیفی نمونه‌ها و سه پارامتر $\bar{X}$، $\bar{Y}$ و $\bar{Z}$ وبیان‌گر توابع رنگ همانندی مشاهده کننده هستند. فاکتور (λ) نیز بیان‌گر طول موج طیف مرئی از حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است. همچنین ثابت k ضریبی است که با هدف بهنجارنمودن میزان روشنایی منبع نوری استاندارد برابر با ۱۰۰ به کار برده می‌شود. با این تعریف، مقدار k برابر است با $\frac{100}{[\sum \bar{Y}(\lambda)E(\lambda)]}$ (امیرشاهی و آگهیان، ۱۳۸۶، ۱۱-۱۲).

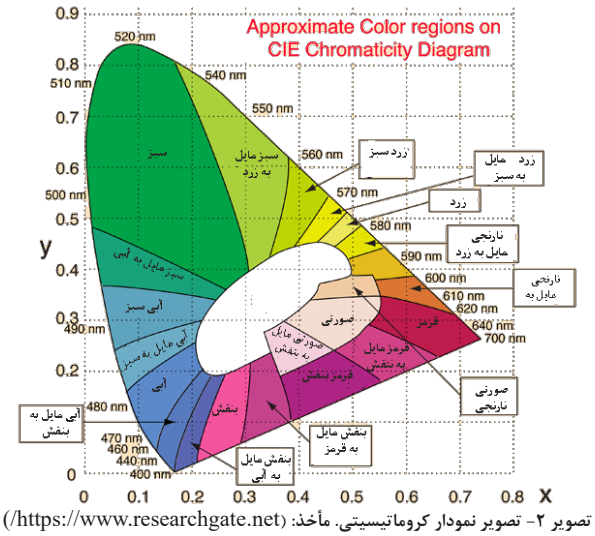
$$X = k\sum_{400}^{700} E(\lambda)\,R(\lambda)\bar{x}(\lambda)$$
$$Y = k\sum_{400}^{700} E(\lambda)\,R(\lambda)\bar{y}(\lambda)$$
$$Z = k\sum_{400}^{700} E(\lambda)\,R(\lambda)\bar{z}(\lambda)$$

رابطه (۱)

اگرچه این مقادیر، رنگ‌ها را به‌صورت کمّی تعریف کرده و فام و سایر مشخصات رنگی را بیان نمی‌کنند، اما این محرک‌های سه‌گانه در نمودار کروماتیسیتی (فام‌داری)، بیانگر فام (مختصات رنگی نمونه‌ها در دو بُعد X و Y) و روشنایی (بر روی محور Z) هستند. تصویر (۲) نمودار کروماتیسیتی را نشان می‌دهد. مختصات رنگی نمونه‌ها در این نمودار از معادلات تعریف شده در رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$x = \frac{X}{(X+Y+Z)}$$
$$y = \frac{Y}{(X+Y+Z)}$$

رابطه (۲)



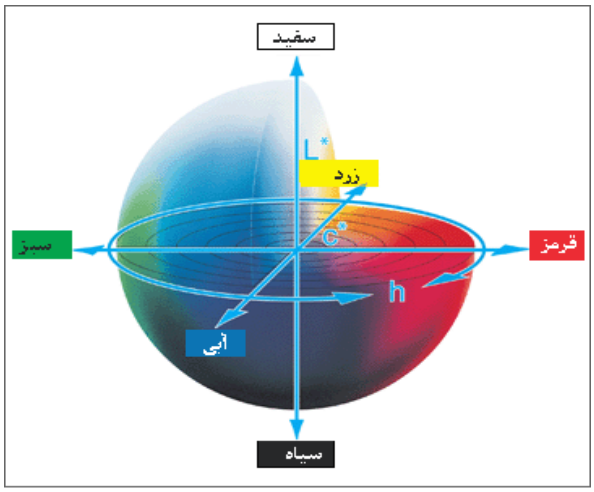
تصویر ۲- تصویر نمودار کروماتیسیتی. مأخذ: (https://www.researchgate.net/)

نمودار درتصویر (۲)، تمامی طیف رنگ‌های مرئی از طول موج ۴۰۰ نانومتر (بنفش) تا ۷۰۰ نانومتر (قرمز) را در برگرفته و بُعد سوم یا روشنایی بر روی محور Z که عمود بر دو محور X و Y قرار دارد، نشان داده می‌شود (امیرشاهی و آگهیان، ۱۳۸۶، ۳۰- ۳۱).

فضارنگ CIELAB توسط کمیته بین‌المللی روشنایی (CIE) در سال ۱۹۷۶ و براساس روابط غیرخطی حاکم بر مقادیر محرک‌های سه‌گانه، معرفی شد. در فضارنگ CIELAB، فام رنگ با محور a^* و b^* در یک صفحه مشخص می‌شود. مقادیر مثبت تا منفی محور a^* میزان قرمز- سبز بودن و مقادیر مثبت تا منفی محور b^* به ترتیب بیانگر میزان زرد-آبی بودن را نشان می‌دهند. عمود بر صفحه فام، محور L^* قرار می‌گیرد که بیانگر میزان روشنایی نمونه‌هاست. سه پارامتر a^*، b^* و L^* تحت معادلات تعریف شده در رابطه (۳) قابل محاسبه هستند (جعفری و قرنجیگ، ۱۳۹۷، ۶۷). تصویر (۳) نیز فضارنگ CIELAB را نشان می‌دهد.

$$a^* = 500\left[\left(\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right)\right]$$
$$b^* = 200\left[\left(\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right)\right]$$
$$C^* = \left(a^{*2} + b^{*2}\right)^{0.5}$$
$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

رابطه (۳)

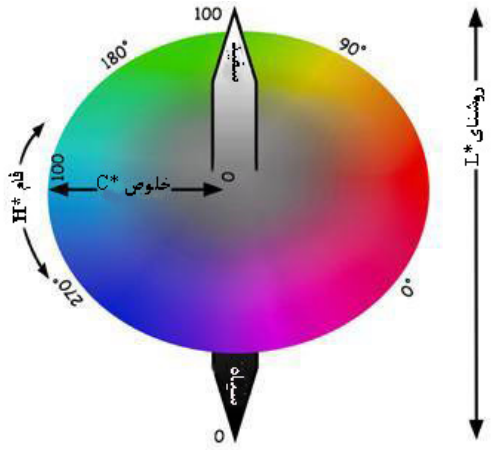


تصویر۳- فضارنگ CIELAB. مأخذ: (emensplendidus.blogspot.com)

از فضارنگ CIELCH برای توصیف مقادیر خلوص و زاویه‌فام نمونه‌ها استفاده می‌شود. در این فضارنگ که توصیف فضارنگ CIELAB در یک مختصات قطبی است، رنگ‌ها با استفاده از پارامترهای L^* روشنایی، C^* خلوص و h زاویه فام توصیف می‌شوند. h موقعیت نمونه را در صفحه a^*b^* نشان می‌دهد. زاویه صفر درجه فام یعنی محور a^* مثبت بیانگر فام قرمز و زاویه نود درجه فام یعنی محور b^* مثبت بیانگر فام زردی است (جعفری و قرنجیگ، ۱۳۹۷، ۶۷). بنابراین تغییرات فام از رنگ قرمز تا نارنجی و بعد زرد، با تغییرات زاویه فام از صفر تا نود درجه همراه است. این پارامترها با معادلات (۴) محاسبه می‌شوند. فضارنگ CIELCH در تصویر ۴ نشان داده شده است.

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$
$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$$

رابطه (۴)



تصویر ۴- فضارنگ CIELCH. مأخذ: (/https://www.semanticscholar.org)

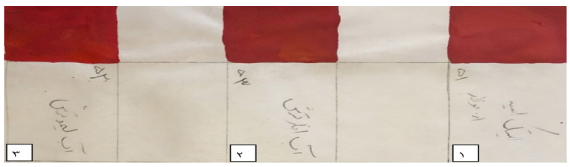
روش آماده‌سازی شنگرف در این پژوهش

به منظور بررسی روش‌های آماده‌سازی شنگرف براساس متن رسالات ذکرشده، در این پژوهش از *سینابار* (ماده معدنی این رنگدانه) استفاده شد. ابتدا این کانی را در هاون چینی سفیدرنگ، ساییده و نرم کرده و سپس آن را با مقدار اندکی آب مقطر و صمغ عربی ترکیب کرده تا با ایجاد حالت خمیری، خوب ساییده شود. در هر پنج رساله روش آماده‌سازی تا این مرحله مشابه بوده و تفاوت در مرحله اسیدشویی است. در رساله *مدادالخطوط* برای اسیدشویی از آب‌انار ترش و در رساله *حلیه‌الکتاب*، آب لیموترش اشاره شده است. شنگرف آماده شده پس از مرحله ساییدن، برای بررسی تفاوت روش‌های اسیدشویی بر رنگ نمونه، به سه قسمت تقسیم گردید.

هر قسمت با یک ماده اسیدشویی آماده‌سازی شد. ترکیب مواد اسیدشویی در نمونه‌ها عبارت‌اند از: آب‌انار ترش (pH=3)، آب لیموترش (pH=1) و یک نمونه با سیتریک اسید ۰/۱ مولار (pH=1). لازم به ذکر است که برای به حداقل رساندن متغیرهای احتمالی موثر بر نتایج، شرایط آماده‌سازی برای نمونه‌ها، به جز نوع ماده اسیدشویی، یکسان بوده است. در سه ظرف آزمایشگاهی، ۲۰۰ میلی‌لیتر از ترکیب اسیدی (با اسیدیته ذکر شده) آماده شد. مقدار ۱۰ گرم از شنگرف ساییده‌شده به ترکیب اسیدها اضافه شده و به مدت دو ساعت و با استفاده از هم‌زن مغناطیسی، هم‌زده و اسیدشویی شده‌اند. پس از ته‌نشین‌شدن ماده مذکور، هر کدام از نمونه‌ها چندین بار با آب شسته شده تا خاصیت اسیدی در آن باقی نماند. سه نمونه شنگرف آماده شده در ظروف جداگانه نگهداری شده و با مقدار یکسان صمغ عربی به‌عنوان بست ترکیب شدند.

باید خاطرنشان کرد که اسیدهای غالب در آب‌انار ترش فرولیک اسید و تانیک اسید هستند و در تحقیقات انجام‌شده توسط صبحی و همکارانش این دو اسید عامل پایداری رنگ قرمز انار معرفی شده‌اند (صبحی و دیگران، ۱۳۸۹، ۷۴). در لیموترش گروه‌های اسیدی زیادی وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها جوهرلیمو یا سیتریک اسید است. از نمونه آزمایشگاهی این اسید نیز محلولی با pH مشابه با آب لیموترش مورد استفاده، تهیه شد (اسیدشویی نمونه سوم با سیتریک اسید ۰/۱ مولار).

برای مشاهده رنگ و مقایسه رنگ حاصل از تأثیر سه ماده اسیدشویی بر روی رنگدانه شنگرف، این رنگ‌های آماده شده در مربع‌های ۲ در ۲ سانتی‌متر با تکنیک نگارگری به‌صورت تخت و یک دست روی کاغذهای آزمایشگاهی مارک Watman که سلولزی و از لحاظ اسیدی خنثی هستند، با قلمو اجرا شدند (تصویر ۵). البته پیش از اجرای رنگ، این کاغذها، مطابق با روش‌های آماده‌سازی کاغذ پیش‌از انجام نقاشی در نگارگری، به آهار نشاسته آغشته شده و پس از خشک‌شدن مهره‌کشی شدند. نشاسته گندم از موادی است که در رسالات کتاب‌آرایی، بارها به استفاده از آن اشاره شده و در تست‌های آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی نسخ نیز استفاده از آن تایید شده است (Barkeshli, 2003, 10-11).



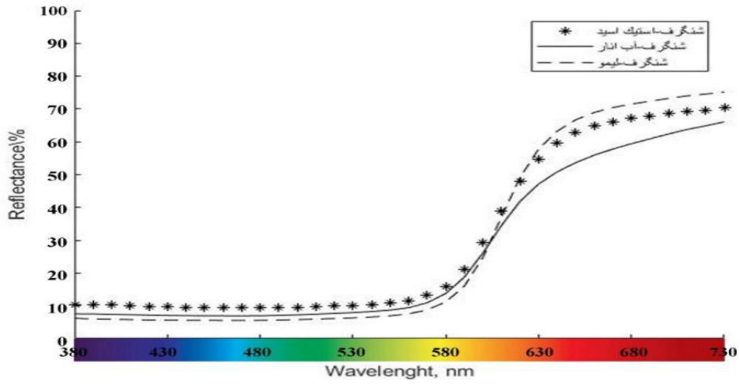
تصویر ۵- نمونه شنگرف‌های آماده‌سازی و اعمال شده بر روی کاغذ آهار و مهره. نمونه ۱ با اصطلاح *شنگرف- استیک‌اسید*، نمونه اسیدشویی شده با استیک اسید است. نمونه ۲ با اصطلاح *شنگرف- آب‌انار*، نمونه اسیدشویی‌شده با آب‌انار ترش و نمونه ۳ با اصطلاح *شنگرف- لیمو*، نمونه اسیدشویی شده با آب لیموترش است.

نتایج و بحث

پس از اجرای رنگ‌ها بر روی کاغذ و انجام آنالیز با اسپکتروفتومتر انعکاسی، در ادامه با استفاده از نرم‌افزار *متلب* (MathWorks MATLAB R2018b)، داده‌های انعکاسی تحلیل و نمودارهای لازم برای مقایسه رنگ‌ها رسم شدند. نمودار (۱)، نمودار انعکاسی سه نمونه را در محدوده طول موج ۳۸۰ تا ۷۳۰ نانومتر نشان می‌دهد.

در نمودار (۱) محور عمودی، درصد انعکاس و محور افقی طول موج مرئی بر حسب نانومتر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کم‌ترین میزان انعکاس هر سه نمونه تا قبل ازطول موج حدود ۵۸۰ نانومتر بوده و پس از آن میزان انعکاس نمونه‌ها تا طول موج‌های بلند طیف مرئی افزایش می‌یابد که این مشخصه ویژگی رفتار انعکاسی رنگ‌هایی با فام قرمز است. بدیهی است تفاوت رفتار انعکاسی نمونه‌ها در طول موج‌های کوتاه و بلند طیف مرئی ناشی از تفاوت روش‌های آماده‌سازی است. مقایسه رفتار انعکاسی نمونه‌ها در محدوده طول موج‌های بلند مربوط به فام قرمز، بیانگر آن است که نمونه شنگرف اسیدشویی شده با آب لیموترش بیش‌ترین میزان انعکاس و شنگرف اسیدشویی شده با آب‌انار کم‌ترین میزان انعکاس را نشان می‌دهند. این نکته علت تفاوت فام‌های قرمز مشاهده‌شده را توضیح می‌دهد. برای مقایسه دقیق‌تر این سه رنگ لازم است داده‌های انعکاسی به مشخصه‌های رنگی CIEXYZ، CIELAB و CIELCH تبدیل شوند. این مشخصه‌ها با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شده و در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

ستون دوم از جدول (۲)، L^* (روشنایی) را نشان می‌دهد. از مقایسه مقادیر روشنایی (L^*) سه نمونه می‌توان دریافت، نمونه شنگرف-لیمو کم‌ترین روشنایی و نمونه شنگرف-استیک‌اسید با تفاوت قابل توجهی



نمودار ۱- نمودار انعکاسی نمونه شنگرف‌های آماده‌سازی‌شده در این تحقیق.

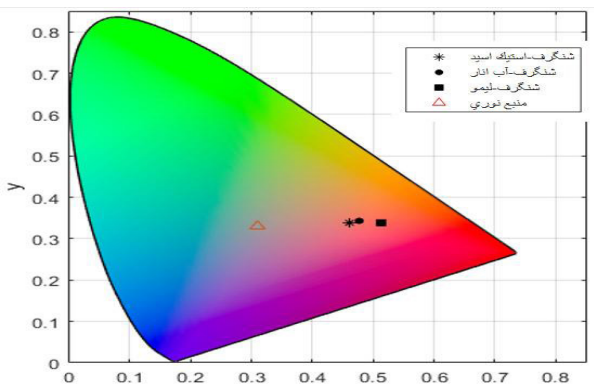
جدول۲- مشخصه‌های رنگی شنگرف‌های آماده‌سازی‌شده در این پژوهش در فضارنگ CIELAB (L^*: روشنایی، a^*: فام قرمزی-سبزی، b^*: فام زردی-آبی، C^*: خلوص، h: زاویه فام، X،Y و Z: شاخصه‌های CIEXYZ).

	نمونه شنگرف	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y
1	شنگرف- استیک‌اسید	48.55	35.59	19.95	40.80	29.28	23.45	17.23	10.22	0.461	0.339
2	شنگرف- آب انار	44.85	35.73	22.29	42.11	31.95	20.08	14.43	7.57	0.477	0.343
3	شنگرف-لیمو	43.87	43.71	26.55	51.14	31.27	20.85	13.75	6.05	0.513	0.338

بیش‌ترین میزان روشنایی را دارا هستند. ستون سوم جدول فوق a^* یا فام قرمزی- سبزی را نشان می‌دهد که مقدار مثبت a^* سه نمونه، بیان کننده فام قرمز در هر سه نمونه بوده و بیش‌ترین مقدار فام قرمز مربوط به نمونه شنگرف-لیمو است. ستون سوم، b^* یا فام زردی-آبی را بیان می‌کند که مقدار مثبت هر سه نمونه ناشی از عدم وجود فام آبی است و در بین سه نمونه مورد بررسی، نمونه شنگرف لیمو با مقدار b^*=۲۶/۵۵ بیش‌ترین مقدار فام زرد را دارا است. ستون پنجم، C^* (خلوص) نمونه‌ها را نشان می‌دهد که نمونه شنگرف-لیمو با اختلاف نسبتا زیادی دارای بیش‌ترین خلوص و نمونه شنگرف-استیک‌اسید دارای کم‌ترین مقدار خلوص هستند.

با استفاده از مؤلفه‌های X، Y و Z و رابطه (۲)، مشخصه‌های x و y محاسبه شده و نمودار کروماتیسیتی مطابق نمودار (۲) رسم و موقعیت سه نمونه شنگرف بازسازی شده در این نمودار تعیین شده است.

در نمودار (۲) موقعیت سه نمونه شنگرف آماده‌سازی‌شده بر روی نمودار کروماتیسیتی نشان داده شده است. هر سه نمونه شنگرف به رنگ قرمز ولی دارای ته‌رنگ‌های متفاوت با هم هستند. نمونه شنگرف-لیمو، با



نمودار ۲- موقعیت سه نمونه شنگرف آماده‌سازی‌شده در این تحقیق در نمودار کروماتیسیتی، علامت ستاره نشان‌دهنده شنگرف-استیک‌اسید، دایره شنگرف-آب‌انار و مربع شنگرف-لیمو هستند.

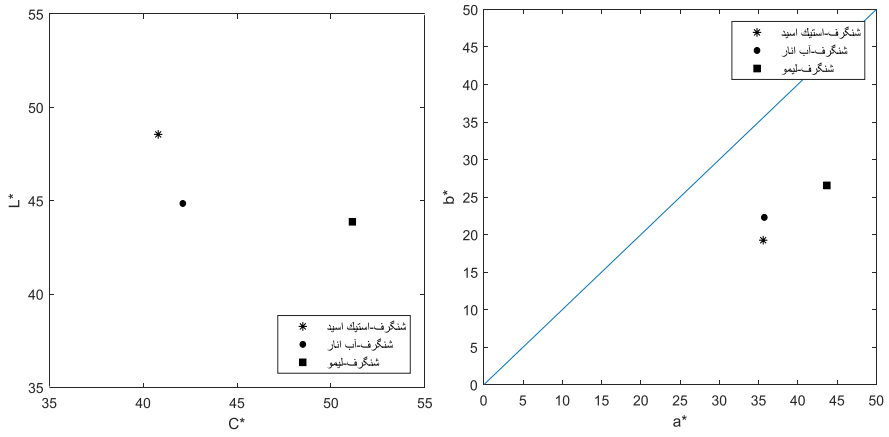
قرمزی بیشتر، نمونه شنگرف-آب‌انار با ته‌رنگ نارنجی و نمونه شنگرف-استیک‌اسید دارای کمی ته‌رنگ صورتی است.

برای مشخص‌شدن دقیق سه مؤلفه تأثیرگذار یعنی فام، خلوص و روشنایی بر روی بینایی انسان که در نهایت منجر به دیده شدن این سه رنگ به شکل نمودار کروماتیسیتی (نمودار ۲) می‌شود،موقعیت سه نمونه مذکور در مختصات a^*b^* و C^*L^* به ترتیب از فضارنگ‌های CIELAB و CIELCH در نمودار (۳- الف و ب) نشان داده شده‌اند. مطابق نمودار (۳-الف) هر سه این نمونه‌ها، زیر نیم‌ساز ناحیه اول مختصات قرار گرفته‌اند که رنگ غالب قرمز را در آن‌ها تأیید می‌کند. همچنین نمودار (۳-ب) حاکی از آن است که نمونه شنگرف-استیک‌اسید از همه نمونه‌ها روشن‌تر و نمونه شنگرف-لیمو از سایر نمونه‌ها تیره‌تر است.

به‌علاوه نمونه شنگرف-لیمو دارای بیش‌ترین خلوص و نمونه شنگرف-استیک‌اسید دارای کم‌ترین میزان خلوص رنگی است.

با توجه به جدول (۲) و نمودار (۳- ب)، رنگ شنگرف اسیدشویی‌شده با لیموترش از همه تیره‌تر (دارای L^* کم‌تر) و با خلوص (C^*) بیش‌تر است. همچنین این رنگ دارای فام قرمز (a^*) ۴۳/۷۱ و فام زردی (b^*) ۲۶/۵۵ است. با توجه به آن که میزان زاویه فام (h) نمونه شنگرف-لیمو از دو نمونه شنگرف-آب‌انار و شنگرف-استیک اسید کم‌تر است لذا رنگ قرمز آن نسبت به زرد غالب‌تر بوده و به همین دلیل نمونه حاصل، در چشم طبیعی (نداشتن مشکلات کوررنگی و غیره) به‌صورت قرمزی شفاف دیده می‌شود.

مطابق با نمودار (۳- الف)، دو نمونه شنگرف-استیک اسید و شنگرف-آب‌انار نسبت به نمونه شنگرف-لیمو موقعیت نزدیک‌تری به هم در نمودار a^*b^* دارند با این تفاوت که نمونه شنگرف-آب‌انار دارای فام زردی (b^*) اندکی بیشتر از نمونه شنگرف-استیک‌اسید است. ولی آنچه سبب تفاوت در رنگ این دو نمونه می‌شود، تفاوت آشکار این دو در مقدار روشنایی (L^*) است. نمودار (۳- ب) این تفاوت را با بالاتر قرار گرفتن نمونه شنگرف-استیک اسید از دو نمونه دیگر به خوبی نشان می‌دهد. همچنین دلیل داشتن ته‌رنگ نارنجی نمونه شنگرف-آب‌انار و در مقابل قرمزتر بودن نمونه



نمودار ۳- تعیین موقعیت سه نمونه شنگرف در (الف): مختصات a^*b^* در فضارنگ *CIELAB* و (ب): مختصات C^*L^* از فضارنگ *CIELCH*.

شنگرف-لیمو نیز حاصل نسبت فام قرمز (a^*) به فام زردی (b^*) این دو است. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، نسبت مذکور مطابق با رابطه (۴) تانژانت زاویه فام (h) را بر حسب درجه نشان می‌دهد که در مورد نمونه شنگرف-آب‌انار مقدار h کمی بیشتر از نمونه شنگرف-لیمو است که سبب ایجاد ته‌رنگ نارنجی نمونه شنگرف-آب‌انار می‌شود.

نتیجه

بررسی پنج رساله کتاب‌آرایی عصر صفویه در مورد روش تولید و آماده‌سازی رنگدانه شنگرف، اطلاعاتی قابل توجه در اختیار نگارگران و پژوهشگران این حوزه قرار می‌دهد. نتایج حاصل از این مطالعات حاکی از آن است که این رنگدانه به‌صورت واکنش شیمیایی مصنوعی (ترکیب جیوه و گوگرد) و یا کانی طبیعی تولید می‌شده که طبق مکتوبات این رسالات، نمونه تهیه شده به‌صورت کانی سینابار و احتمالاً از معادن اروپا، نمونه مرغوب‌تری بوده است. تفاوت بعدی در استفاده از اسیدآلی برای مرحله اسیدشویی این رنگدانه پس از مرحله سایش و تهیه پودر رنگدانه است. در این رسالات به دو اسید آلی، آب لیموترش و آب‌انار ترش اشاره شده است. بررسی تأثیر این اسیدهای آلی و استیک اسید آزمایشگاهی به‌عنوان اسید آلی خاص (اسید غالب در آب لیموترش) حاکی از آن است که نمونه شنگرف اسیدشویی شده با آب لیموترش، دارای رنگ قرمزتر و شفاف‌تر نسبت به دو نمونه دیگر است. نمونه شنگرف اسیدشویی شده با آب‌انار ترش دارای ته‌رنگ جزئی نارنجی و نمونه شنگرف اسیدشویی‌شده با استیک اسید، دارای رنگی روشن‌تر همراه با ته‌رنگ صورتی است. این نتایج و بررسی‌ها در حوزه شیمی و فیزیک رنگ می‌تواند داده‌های ارزشمندی در اختیار محققان و مرمتگران حوزه نسخ قرار دهد. دستاوردهای حاصل همچنین می‌تواند زمینه‌ای برای ساخت‌وساز رنگ مورد استفاده در نگارگری و صنایع دستی ایرانی باشد.

پی‌نوشت‌ها

1. X-Ray Fluorescence Analysis
2. Cinnabar.
3. Hue.
4. Chroma.
5. Value.
6. Color Space.

فهرست منابع

امیرشاهی، سیدحسین؛ آگهیان، فرناز (۱۳۸۶)، *فیزیک رنگ محاسباتی*، *ارکان دانش*، اصفهان.

بهادری، رویا؛ بحرالعلومی، فرانک (۱۳۹۶)، شناسایی‌رنگینه‌ها و رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در تزئینات و مرکب نسخ خطی قرآنی دوره صفوی، *گنجینه اسناد*، شماره ۱۰۵، صص ۱۰۴-۱۲۵.

پورتر، ایو (۱۳۹۲)، *آداب و فنون نقاشی و کتاب‌آرایی*، ترجمه: ز. رجبی، فرهنگستان هنر، تهران.

جعفری، راضیه (۱۳۹۳الف)، سفیدی: تعاریف، مفاهیم و اندیس‌ها، نشریه علمی ترویجی *مطالعات در دنیای رنگ*، شماره ۲، جلد ۴، صص ۴۹-۵۶.

جعفری، راضیه (۱۳۹۳ب)، مروری بر مطالعات انجام‌شده در خصوص سیاهی، نشریه علمی-ترویجی *مطالعات در دنیای رنگ*، شماره ۴، جلد ۴، صص ۲۱-۳۲.

جعفری، راضیه؛ قرنجیگ، کمال‌الدین (۱۳۹۷)، مطالعه مشخصه‌های رنگی الیاف طبیعی رنگرزی شده با مواد رنگزای طبیعی، نشریه علمی ترویجی *مطالعات در دنیای رنگ*، شماره ۱، جلد ۸، صص ۶۳-۷۴.

صبحی، سیما؛ عزیزی، محمدحسین؛ برزگر، محسن، و تسلیمی، اقدس (۱۳۸۹)، مقایسه اثر اسید فرولیک و اسید تانیک بر پایداری رنگ و ویژگی‌های ارگانولپتیکی آب‌انار در زمان‌های مختلف نگهداری در دمای ۵°c، فصلنامه *علوم و صنایع غذایی*، شماره ۴، دوره ۷، صص ۷۳-۸۳.

قلیچ‌خانی، حمیدرضا (۱۳۷۳)، *رسالاتی در خوشنویسی و هنرهای وابسته*، چاپخانه انتشارات علمی و فرهنگی، تهران.

کن‌بای، شیلا (۱۳۷۶)، *ابزار و مصالح نگارگر ایرانی*، ترجمه م. حسینی، *هنر*، شماره ۳۴، صص ۹۴-۱۰۷.

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

مرادیان، سیامک (۱۳۷۴)، *اصول علم و تکنولوژی رنگ*، مرکز نشر دانشگاه امیرکبیر، تهران.

منشی قمی، قاضی احمد (۱۳۶۶)، *گلستان هنر*، تصحیح احمد سهیلی خوانساری، کتابخانه منوچهری، تهران.

میرزایی‌مهر، علی‌اصغر (۱۳۹۱)، مقایسه تطبیقی گلستان هنر با مناقب هنروران، نشریه *هنرهای زیبا- هنرهای تجسمی*، شماره ۴۹، صص ۴۵-۵۵.

Barkeshli, Mandana. (2003), *Historical and Scientific Analysis* on Sizing Materials Used in Iranian Manuscripts and Miniature Paintings, The Book and Paper Group Annual, vol. 22, No. 9, pp.9-16.

Jafari, Razieh & Ameri, Farhad. (2018), *Effect of orange peel attribute of automotive finishes on their blackness perception*, Journal of Coatings Technology and Research, vol. 15, Issue 5, pp. 1003-1011.

Jafari, Razieh. & Amirshahi, Seyyed Hossein. (2007), *A Comparison of the CIE and Uchida Whiteness Formulae as Predictor of Average Visual Whiteness Evaluation of Textiles*, Textile Research Journal, vol. 77, No. 10, pp. 756-763.

Jafari, Razieh. & Amirshahi, Seyyed Hossein. (2008), *Variation in the decisions of observers regarding the ordering of white samples*, Coloration Technology, vol. 124, No. 2, pp. 127-131.

Jafari, Razieh. & Amirshahi, Seyyed Hossein & Hosseini Ravandi, S.A. (2016), *Colorimetric analysis of black coated fabrics*, Journal of Coatings Technology and Research, vol. 13, Issue 5, pp. 871-882.

Muralha, V.; Burgio, L. & Clark, R. (2012). *Raman spectroscopy analysis of pigments on 16-17th Persian manuscripts*, Spectrochimica Acta, vol. 92, No. 1, pp. 21-28.

Patnaik, P. (2002), Handbook of Inorganic Chemicals, Mc-Graw-Hill, New York.

Purinton, N. & Waiters, M. (1991), *A Study of The Materials Used by Medieval Persian Painters*, Journal of the American Institute for Conservation, vol. 30, No.2, pp. 125-144.

Tanevska, V. & Nastova, I. (2014), *Spectroscopic analysis of pigments and inks in manuscripts*: II. Islamic illuminated manuscripts, Vibrational Spectroscopy, vol. 73, No. 3, pp. 129-139.

Roy, Ashok. (2012), *Artists' Pigments*: A Hand Book of Their History and Characteristics, National Gallery of Art, vol. 2, Washington.

http://www.color-theory-phenomena.nl/04.00.html.March, 2020.

https://www.researchgate.net/figure/part-A-CIE-1931-color-space-chromaticity-diagrampart-B-global-emission-generated-from_fig3_273214486. March, 2020.

http://manajemensplendidus.blogspot.com/2017/03/teknologi-pakan-formulasi-untuk.html. March, 2020.

https://www.semanticscholar.org/paper/Combination-of-Depth-and-Texture-Descriptors-for-Nanni-Lumini/a88671b2bb65d41eba5a3bd1a00a47a4e41cc7fe. March, 2020.

Evaluation of Different Vermilion Treatment Methods Presented in Art Treatises of the 16th-17th Centuries*

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

[1]Associate Professor, Faculty of Conservation and Restoration, University of Art, Tehran, Iran.
[2]Master in Islamic Art, Department of Islamic Art, Faculty of Conservation and Restoration, University of Art, Tehran, Iran.
[3]Assistant Professor, Faculty of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran.
(Received: 8 Jun 2020, Accepted: 26 Apr 2021)

Preparing basic materials for illustrating the manuscripts, i.e., paper, paint and brushes, have important role for painters. Each of these parameters have direct effects on the appearance and durability of the final product. Vermillion is a red inorganic pigment with the chemical composition HgS. Regarding its widespread usage, high quality and great durability, the vermilion pigment has been used as a prominent and noticeable color in Iranian paintings during the time and especially in the period of book decoration and illustration of manuscripts by many artists and painters. From historical point of view, production and preparation methods of vermillion were mentioned in the art treatises, mainly during the 16th -17th centuries. Although in many researches vermillion was characterized as a useful color in illustrated manuscripts, but less attention has been paid to historical references and methods of preparing this color. In this paper, different tonality of reproduced vermillion based on the recipes presented in art treatises belong to the 16th-17th centuries were investigated through colorimetric analysis. Descriptive- analytic and laboratory methods were applied in this research. Five manuscripts from the mentioned era including Golestan-e Honar, Ghanoun al-Sovar, Medad al-Khotout, Heliyyat al-Kottab and Adaab al-Khat were firstly investigated based on the library resources. According to the art treatises, the vermilion pigment can produce from the combination of pure mercury and sulfur and/or obtain from cinnabar as HgS natural mineral. In this research cinnabar was used. Next, the vermilion specimens were reproduced based on laboratory methods according to presented recipes in in five mentioned art treatises. It is noticeable that the main difference between proposed methods was based on the application of different organic acids for washing of the color powder. Regarding to these art treatise, two organic acids (lemon juice and sour pomegranate juice) as well as the citric acid were used for preparing vermilion samples in acid washing step. In order to prevent the side effects of different parameters on the test results, all processes and materials were the same, except the organic acid type. For comparing reproduced vermilion colors, they were applied on Watman sizing papers which were sized by starch. For analyzing and comparing of these different tints, the standard system near to human observation was needed. Regarding to this aim, samples were quantitatively compared based on their measured reflectance spectra by spectrophotometer i1 and calculating their colorimetric characteristics in various color spaces; CIEXYZ, CIELAB, and CIELCH, by using the MATLAB software. The colorimetric analysis results show that different tonality of reproduced vermillion including clear red, orange tint and pink tint were made based on different acids applied for their washing steps. It is noticeable that the results achieved from this kind of research can provide strategies for reproducing pigments by using the traditional methods with desirable visual quality from the painters' point of view. Also, it is possible to find the best recipe for reproducing colors with the minimum color difference value with the target sample and these outcomes can be valuable and practical for conservation and restoration programs.

Keywords
Safavid Period, Art Treatises, Vermilion, Vermilion Treatment, Colorimetry.

*This article is extracted from the second author's master thesis, entitled: "Recognition of production and preparing methods of red color that used in Safavid illustratedmanuscripts" under the supervision of second and third authors at University of Art.
**Corresponding Author: Tel: (+98-919) 2903480, Fax: (+98-21) 66723690, E-mail: s.noghani@art.ac.ir.