مجله علوم و فناوری نساجی
دوره ۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۳۲
صفحه ۵۸-۴۹، ۱۳۹۸
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

سنجش رنگ قرمز در قالی عمواوغلی به منظور تعیین فرمولاسیون رنگرزی

Colorimetric Evaluation of Amo-Oghli Rug to Identify Components of Formulation

ندا دهش[۱]، زهرا احمدی[۲*]، مهدی صفی[۳]

۱- استان تهران، کارشناسی ارشد دانشگاه هنر، تهران، ایران
۲- استان تهران، استادیار دانشگاه هنر- دانشکده هنرهای کاربردی، نویسنده مسئول
۳-استان تهران، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران

چکیده

فرش‌های ایرانی شهرت جهانی دارند. دراین بین، قالی‌های عمواوغلی به دلایلی نظیر طراحی، رنگ‌بندی و یا کیفیت بافت از اعتبار بیشتری برخوردارند. روش‌ها و ابزارهای خاصی برای تشخیص رنگ وجود دارد که با توجه به نوع محصول و دقت مورد نیاز، انتخاب می‌شوند. هدف اصلی این پژوهش شناسایی رنگ، و شناخت مواد رنگزای به‌کاررفته در این فرش‌های خاص، با استناد به یک روش غیرمخرب بوده است. بر این اساس اطلاعات انعکاسی به دست آمده توسط اسپکتروفوتومتر، منحنی‌های جذب (K/S) برای سه فام قرمز موجود در قالی عمواوغلی نگهداری شده در موزه فرش (با شماره اموال ۵۵۶) محاسبه شده و هر کدام با اطلاعات به دست آمده از بانک مرجع رنگ قرمز که برای این پژوهش آماده شده بود، مقایسه و مورد تحلیل قرار گرفت. مقادیر مختصات رنگی یعنی L^*، a^*، b^*، C^* و h° نشان می‌دهند که رنگ‌همانندی با نسخه‌های آزمایشی عنوان شده برای فام‌های قرمز موجود در قالی عمواوغلی با مقایسه داده‌های حاصل از عکاسی نتیجه بهتری نسبت به مقایسه با داده‌های کالریمتری حاصل می‌کند. همچنین نتایج نشان داد قبل از اقدام به رنگ همانندی در نمونه‌های رنگرزی شده با فام‌های منسوج مورد مطالعه آزمایشات پیر سازی روی نخ‌های رنگرزی شده ضروری می‌باشد.

کلمات کلیدی
قالی عمواوغلی،
رنگ،
رنگ‌سنجی
CIE L* a*b*،
اختلاف رنگ.

مقدمه

مهم‌ترین ویژگی در دستبافته‌ها که بیننده یا مصرف‌کننده با آن مواجه می شـــود، رنگ آن است. رنگ‌ها و مجموعه ترکیب رنگ‌های اســـتفاده شده در یک منسوج به طور مســـتقیم بر زیبایـــی و مقبولیت آن تاثیرگذار اســـت. بنابراین، برای شناسایی و بازتولید یک دستبافته اصیل و یا الگوبرداری از ســـبک و سیاق آن، ابتدا باید رنگ‌های مشـــاهده شده در آن به طور دقیق و مشخص شناسایی شوند[۱]. پژوهش در رابطه با قالی‌های عمواوغلی به‌عنوان یکی از نمونه‌های فاخر هنری دوره معاصر ایران، از زوایای متعددی مدنظـــر صاحب‌نظران قرارگرفتـــه و اقدامات متعددی نظیر ساخت مستند قالی عمواوغلی و یا برپایی همایش (با عنوان افســـون عمواوغلی - خـــرداد ۹۵) با محوریت زندگی‌نامه عمواوغلی‌ها و شرح تولید قالی‌های بزرگ پارچه ایشان، صورت گرفته است.

عذرا یوســـفی[۲] در مقاله خود با عنوان "فرش افشـــان عمواوغلی در گنجینه فرش موزه آستان قدس رضوی"، به بیان خلاصه‌ای از زندگینامه عمواوغلی‌ها پرداخته و به ذکر خصوصیات چند قالی از ایشان بسنده می‌کند.. همچنین در چندین کتاب (نظیر برگی از قالی خراسان و پژوهشی در قالی ایران، نوشـــته آقای تورج ژوله، و کتاب طراحان بزرگ فرش ایران، نوشـــته خانم شـــیرین صوراسرافیل) از قالی عمواوغلی ســـخن به میان آمده است[۴-۳]؛ اما در اکثریـــت قریب به‌اتفاق این آثـــار، به قالی عمواوغلی به‌عنوان یکی از عنوان‌های فرعی در سرفصل فرش مشهد پرداخته‌شده است. در هیچ‌کدام از پژوهش‌های انجام‌شده

*مسئول مکاتبات، پیام نگار: ahmadi@art.ac.ir

درباره قالی‌های عمواوغلی، به‌طور مشخص به موضوع رنگ و رنگرزی این قالی‌ها به‌عنوان یکی از شاخصه‌های برجسته کیفی آن‌ها توجه نشده است. درباره استفاده از رنگزاها در قالی‌های قدیمی عمو اوغلی‌ها نظرات متفاوتی وجود دارد [۵]. اما آنچه که مهم است فام‌های رنگی که در این فرش‌ها به کار رفته از نظر زیبایی و دوام با انواع دیگر فرش‌های دستباف بسیار متفاوت است. به گونه‌ای که این تفاوت سبب قرارگیری فرش‌های عمواغلی در یک گروه خاص و نیز شهرت جهانی آن‌ها شده است. رنگ قرمز لاکی، رنگ سرخ قرمز دانه‌ای یا روناسی از رنگ‌های ویژه‌ی قالی مشهد، یکی از جالب‌توجه‌ترین و با ارزش‌ترین منابع رنگرزان ایران است [۶].

در این پژوهش‌ها غالباً به بیان اسم رنگ‌های به‌کاررفته در قالی بسنده شده است. قالی یک دستبافته سنتی است که در آن برخی فام‌ها با ادبیات خاص این رشته نام‌گذاری می‌شوند، اما درنهایت این نام‌گذاری‌ها برای بازتولید یک رنگ و فام مشخص کافی نیستند. رنگ پدیده‌ای ذهنی بوده و درک رنگ از فردی به فرد دیگر متفاوت می‌باشد. انسان به‌صورت طبیعی توانایی سنجش دقیق فام‌های رنگی و به خاطرسپردن آن‌ها را ندارد. به‌کارگیری ابزارهای رنگ سنجی نظیر اسپکتروفوتومتر و روش‌هایی نظیر کالریمتری برای بازتولید دقیق رنگ‌های سنتی، لازم و مؤثر هستند. رنگ‌سنجی عبارت است از تعریف یک رنگ مشخص توسط سه مولفه عددی که در یک سیستم رنگ منظم بیان می‌شود. هنگامی‌که رنگ‌ها به‌صورت قاعده‌مند مرتب شدند، با واژگان توصیف‌کننده، نام‌گذاری و یا این که شماره‌گذاری می‌شوند [۷]. انتخاب قالی عمواوغلی در راستای این هدف، به دلیل فاخر بودن و ارزش کلکسیونی آن‌ها بوده است.

در یکی از طرح‌های پژوهشی مرکز ملی فرش ایران، شیوه‌های غیرتخریبی جهت شناسایی رنگزاهای طبیعی از مصنوعی در فرش دستباف مورد بررسی قرار گرفت [۹و۸]. نتایج پژوهش نشان داد که احتمال استفاده ترکیب رنگزای شیمیایی و طبیعی در یک رنگرزی وجود داشته که در این‌صورت شناسایی رنگزا از نظر طبیعی یا شیمیایی بودن بسیار مشکل خواهد بود.

در بیشتر تحقیقات انجام شده برای شناسایی رنگزاهای به‌کار رفته در منسوجات قدیمی از روش‌های کروماتوگرافی و طیف‌سنجی استفاده شده است. در این پژوهش‌ها پایه و اساس اندازه‌گیری‌ها بر پایه آزمون‌های مخرب و نمونه‌برداری بوده است[۱۳-۱۰].

در پژوهشی توسط لی و همکاران[۱۴] و ریسی و همکاران[۱۵]، شناسایی رنگ در منسوجات قدیمی که در حفاری‌های باستان شناسی به دست آمده بود انجام گرفت. ایشان عمده مشکلات این سری از تحقیقات را آلودگی منسوج توسط شرایط محیطی در طی مدت زمان طولانی ، مقادیر اندک در دسترس از نمونه های حاصل از حفاری‌ها و غلظت کم رنگ در نمونه های بدست آمده را عنوان نموده‌اند. برای شناسایی رنگ در این نمونه‌ها، تکنیک‌های بسیار حساس و غیرمخرب مورد نیاز بود. در پژوهش ذکر شده، دو تکنیک تحلیلی غیر مخرب، طیف سنجی جرمی یون ثانویه (TOF-SIMS) و طیف سنجی رامان سطح (سطح) پیشرفته (SERS)، برای تشخیص رنگ استفاده و نتایج آنالیز، مقایسه شدند. روش‌های به‌کار رفته راندمان ردیابی بالایی را برای تجزیه و تحلیل مواد آلی فراهم می کند البته در مقایسه روش SERS، یک روش مفید برای تشخیص رنگ در پارچه‌های باستانی است. از محلول کلوئیدی نقره برای غلبه بر محدودیت‌های اندازه‌گیری عادی رامان مانند فلورسانس پس زمینه و سیگنال‌های ضعیف رامان در مقادیر کمی از اجزا استفاده شد. برای شناسایی رنگ‌های مورد استفاده در منسوجات باستانی، نمونه‌های استاندارد تهیه شده با استفاده از رنگ‌های مختلف و نمونه‌های تاریخی با روش‌های فوق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که مواد رنگی مانند آلیزارین، بربرین (رنگزای طبیعی کاتیونیک)، آنتراکینون و نیل در پارچه‌های قدیمی شناسایی شدند. نتایج نشان داد که TOF-SIMS و SERS تکنیک‌های غیرمخرب کارایی برای توصیف منسوجات باستان شناسی هستند. این روش تحلیلی برای بسترهای (منسوج) مورد بررسی بسیار ایمن است، بنابراین یک روش امیدوارکننده برای آنالیز انتخابی و کشف مولکول‌های با غلظت کم در زمینه حفاظت از آثار هنری است.

در مقاله تحقیقاتی دیگری که بر روی تکه‌هایی از پارچه مربوط به قرن ۱۸ توسط Dubrovnik انجام شد، که برای آن، بر اساس طرح و تحلیل هنری-تاریخی، مشخص شد که این، بخشی از منسوجات کلیسایی مربوط به اجساد افراد مذهبی است. با استفاده از روش‌های نوین غیرمخرب و میکرو تخریب‌کننده نظیر تکنیک‌های مدرن مکمل UV/VIS، HPLC FTIR-ATR، SEM-EDX شناسایی رنگ‌های سبز، آبی و قرمز را به عنوان رنگ‌های غالب بر روی آثار باستانی منسوجات تاریخی انجام شد. نمونه‌هایی از الیاف رنگی و همچنین نمونه هایی که با استخراج رنگ‌ها از الیاف رنگ شده بدست آمده بود، تجزیه و تحلیل شدند. سپس با مقایسه‌ی داده های مربوط به آرشیو رنگ‌های طبیعی مورد استفاده در منطقه اکتشاف برای شناسایی رنگزاهای منسوج تاریخی مورد توجه قرار گرفت [۱۶]. در پژوهش دیگری [۱۷] از تکنیک flowprobe™- ESI-HRMS) برای تجزیه و تحلیل رنگزاها به طور مستقیم از سطح منسوج‌های تاریخی مختلف رنگی، مایل به قرمز و قرمز مایل به بنفش استفاده شد. این روش میکرو استخراج در زمان واقعی، تجزیه و تحلیل سریع، قابل اعتماد و حداقل مخرب را بدون نیاز به آماده‌سازی اضافی نمونه و وقت‌گیر انجام می‌شود و تنها نیاز به مقدار کمی از مواد باستان شناسی با ارزش است.

برای اندازه‌گیری رنگ، دستگاه‌ها و روش‌های مختلفی وجود دارد که انتخاب هر کدام از این دستگاه‌ها بر اساس نوع کالا، حساسیت و دقت موردنیاز و حتی قیمت و در دسترس بودن دستگاه‌های رنگ‌سنجی صورت می‌گیرد. به‌طورکلی دو نوع دستگاه رنگ‌سنجی یعنی کالریمتر و اسپکتروفوتومتر مورد استفاده قرار می‌گیرند که دستگاه‌های هر نوع نیز در درجات مختلفی از پیچیدگی و قابلیت در بازار موجودند. روش ساده‌ای که در صنایع نساجی برای بررسی رنگ همانندی و کنترل ویژگی‌های رنگی دنبال می‌شود، استفاده از نظرات و نتایج حاصل از قضاوت کارشناسان خبره است که در حد کیفی راه‌گشاست [۲۰-۱۸]. اما به‌کارگیری این روش برای بدست آوردن فام اصلی در یک منسوج قدیمی که امکان انجام آزمایشات مخرب وجود نداشته و سندی در مورد ویژگی‌های آن منسوج نیز به جای نمانده، بسیار سخت است. به علت نفیس بودن این آثار، برای تشخیص نوع رنگزا و مواد موثر در رنگرزی آن‌ها روش‌هایی نظیر آزمون FTIR نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش به جهت یافتن روشی آسان، قابل فهم و اجرا در بین پژوهشگران حوزه‌ی هنر، بانکی از

رنگزاهای احتمالی تهیه شد و با مقایسه و تطبیق مقادیر مختصات رنگی آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در قالی مورد نظر، روشی غیرمخرب برای شناسایی رنگ و رنگزای احتمالی ارائه شده، که می‌تواند برای شناسایی رنگ و رنگزا در هر دست‌بافته‌ای مورداستفاده قرار بگیرد. همچنین در این روش اطلاعات جمع‌آوری شـــده می‌بایست با یک بانک اطلاعاتی دقیق مقایسه شده و مورد تحلیل قرار گیرند.

تجربیات

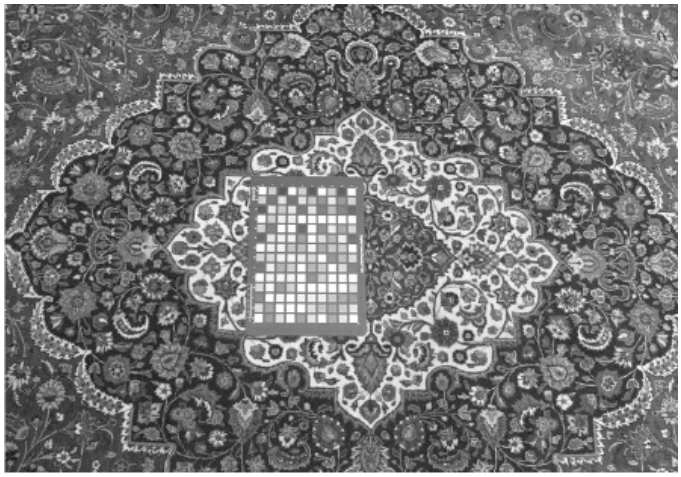
در تحقیق حاضر سه قالی عمواغلی متعلق به کلکسیون داری در بازار فرش تهران و یک قالی موجود در موزه فرش ایران برای بررســـی و شناسایی انتخاب شـــدند. نمونه مرجع تصمیم گیری‌ها قالی موجود در موزه فرش ایران (با شماره اموال ۵۵۶) بود.

یافته‌هـــای مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های انجام شـــده درباره نوع رنگزاهای قرمز به کاررفته در قالی عمواوغلی نشـــان داد [۵]، رنگزاهای احتمالی برای تولید فام لاکی، ماده رنگزای قرمزدانه و روناس بوده است. از آن‌جایی که به علت نفیس بودن این قالی‌ها می‌بایســـت از روش‌های غیرمخرب برای تعیین و شناسایی رنگزاهای احتمالی استفاده شود، برای بررســـی نوع رنگزای به کار رفته در فرش عمواوغلی، فام‌های قرمز مورد مطالعه قرار گرفتند. لذا برای هر فام ۱۰ نمونه تهیه و در نهایت، میانگین داده‌های جذبی برای هر فام پس از محاســـبه برای اســـتخراج مختصات رنگی به‌کار گرفته شد. اما برای نمونه‌های شاهد(بانک مرجع)، خامه پشمی متناســـب با رج شـــمار قالی حدود ۷۰ تهیه شد و هر نمونه بنابر نسخه رنگرزی مورد نظر آماده گردید.

مواد و روش رنگرزی

از پشـــم مرینوس چهارلا نمره ۲۰ برای تهیه نمونه‌ها استفاده شد. برای رنگرزی از روناس مرغوب یزد و قرمزدانه با نام تجاری Cochineal استفاده شد. از زاج سفید (نمک مضاعف آلومینیوم و پتاسیم) به عنوان دندانه برای تمام رنگرزی‌ها اســـتفاده شد و برای مقایسه بهتر، چند نمونه با رنگزای شیمیایی (متال‌کمپلکس ۲:۱) لاناست متداول در رنگرزی نخ خامه قالی، نیز رنگرزی شد. رنگرزی‌های شیمیایی و طبیعی به سه روش پس‌دندانه، پیش‌دندانه و همچنین دندانه و رنگرزی همزمان انجام شـــد. نسخه‌های به کار رفته برای تهیه نمونه‌ها به شـــرح جداول شـــماره ۱ می‌باشند. در رنگرزی‌های فوق، نســـبت حجم حمام رنگرزی به کالا در تمام نسخه‌ها ۴۰:۱ و pH رنگرزی بین۴ تا ۴/۵بود.

در روش پس دندانه به محلول رنگزای پخت شده، اسید و کالا اضافه می



شکل۱- نمونه قالی عمواغلی مورد مطالعه و انتخاب رنگ با استفاده از کالر چکر

شود و پس از اتمام رنگرزی، مطابق نمودار شکل۲ فقط دندانه به آن اضافه شده و مجددا یک ساعت زمان داده می شود.

تجهیزات مورد استفاده

برای تعیین ویژگی های طیفی و رنگی در نمونه های فرش مورد نظر، از اسپکتروفوتومتر قابل حمل (پرتابل) مدل i1Pro با هندسه ۰/۴۵ از شرکت X-rite استفاده شد.

مقادیر انعکاس طیفی نمونه‌ها در محدوده مرئی بین ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر اندازه گیری و مختصات رنگی نمونه‌ها بعد از سه بار اندازه گیری و میانگین گیری، تحت مشـــاهده کننده ۱۰درجه و منبع نوری D65 محاسبه شد. شرایط برای اندازه گیری رنگ نمونه ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر به شرح زیر بود:

- همه نمونه‌ها در جهت خواب فرش و از سطح مقطع طولی الیاف تهیه شدند.
- نمونه‌ها از همه قســـمت های فرش شـــامل چهارگوشه و مرکز آن، به صورت تصادفی انتخاب شدند.

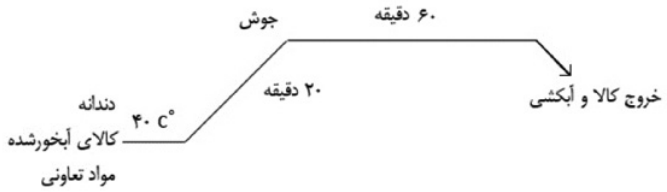
از اندازه‌گیری نمونه‌هایی که ســـطح آنها از مســـاحت روزنه اندازه گیری دستگاه کوچک‌تر بود، به دلیل احتمال افزایش خطای اندازه‌گیری حاصل از رنگ‌های نواحی مجاور، صرف نظر شد.

همچنین مقادیر جذب طیفـــی (K/S) نمونه‌ها مطابق رابطه ۱ (معادله کیوبلکا-مانک) محاسبه شد.

$$\frac{K}{S}=\frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

جدول شماره ۱- نسخه‌های مورد استفاده در رنگرزی کلاف پشمی با رنگزای روناس، قرمزدانه و رنگزای لاناست.

نوع زخم پوش	متال کمپلکس ۲:۱ (لاناست)	قرمزدانه	قرمزدانه	روناس
نسخه رنگرزی	۴ نمونه در غلظت ۱ تا ۴ درصد از رنگزا و اسید استیک ۳ ٪	۱۰ نمونه در غلظت‌های ۰/۵تا۱۰ درصد از رنگزا به روش پس‌دندانه اسید اگزالیک ۳ ٪ دندانه زاج سفید۱۰٪	۱۰ نمونه در غلظت‌های ۰/۵تا۱۰ درصد از رنگزا به روش پیش‌دندانه اسید استیک ۳ ٪ دندانه زاج سفید۱۰٪	۱۰ نمونه در غلظت‌های ۳۰تا۱۰۰ درصد از رنگزا به روش پیش دندانه اسید استیک ۳ ٪ دندانه زاج سفید ۱۰٪



شکل۲- نمودار دندانه دادن کلاف پشمی

مقادیر خلوص و زاویه فام در سامانه CIE L*C*h0 از روابط ۲ و ۳ محاسبه شد [۱۴].

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (۲)$$

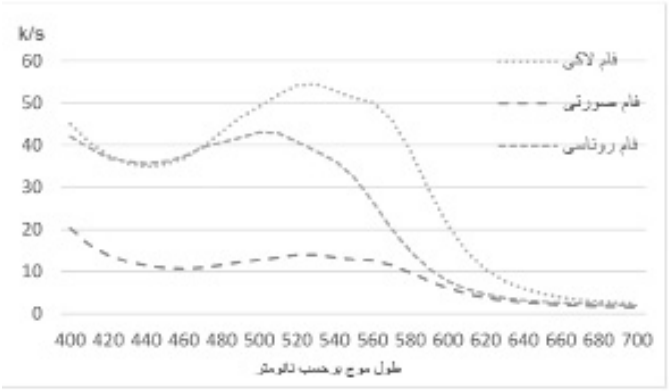
$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (۳)$$

از قالی مورد مطالعه که در موزه به شماره اموال ۵۵۶ نگهداری می‌شود، سه فام قرمز استخراج شد. به علت تنوع فام قرمز در این قالی و نظر به این‌که یکی از وجوه مشخصه قالی‌های عمواوغلی فام قرمز آن، معروف به قرمز لاکی می باشد، برای مطالعه بیشتر و رنگ همانندی، این به عنوان فام مورد مطالعه و مرجع انتخاب شد. مقدار اختلاف رنگ نیز به وسیله فرمول اختلاف رنگ CIE (رابطه ۴) محاسبه شد.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (۴)$$

نتایج و بحث

سه فام قرمز لاکی، صورتی و روناسی موجود در قالی عمواوغلی به عنوان رنگ هدف برای رنگ‌همانندی در نظرگرفته شد. برای به دست آوردن مقادیر انعکاسی فام‌های موجود، همان‌طور که قبلا توضیح داده شد، برای هرفام از رنگ قرمز ،۱۰ نمونه از قسمت‌های مختلف قالی توسط اسپکتروفوتومتر پرتابل تهیه، و منحنی‌های جذب هرکدام از آنها طبق رابطه ۱ تعیین شد. نمودار منحنی‌های جذبی در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین مقادیر مختصات رنگی هر سه نمونه به‌همراه مقدار حداکثر جذب در دو سامانه رنگی CIE L*a*b* و CIEL*C*h° در جدول ۲ گزارش شده است.



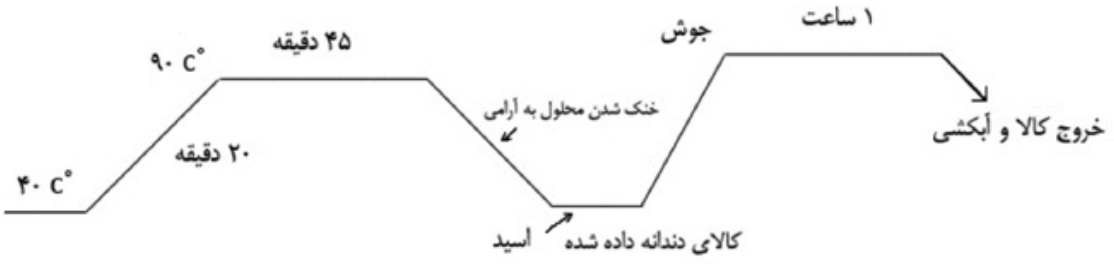
شکل شماره۴ - منحنی‌های جذب (K/S) برای فام های روناسی، صورتی و لاکی موجود در قالی عمواوغلی موجود در موزه فرش

مقادیر به‌دست آمده نشان از نمونه هایی با فام قرمز، خلوص نسبتاً بالا و روشنایی های پایین و متفاوت می باشد.

مقادیر مختصات رنگی نمونه خامه پشمی مورد استفاده در آزمایشات و همچنین نمونه خامه دندانه‌داده شده در جدول ۳ گزارش شده است. بر اساس داده‌های به دست آمده، می‌توان گفت که اختلاف رنگ محسوسی بین نمونه پشم خام و نمونه دندانه داده شده با زاج سفید وجود ندارد. یعنی بین نخ‌های رنگرزی شده با رنگزاهای طبعی و اسیدی اختلاف رنگی متاثر از استفاده از دندانه رخ نمی‌دهد.

با توجه به این که امکان استفاده از اسپکتروفتومتر در موزه فراهم نبود و به دلیل شرایط نگهداری خاص قالی عمواوغلی موجود درموزه، سعی شد مختصات رنگی نمونه داخل موزه از طریق عکس برداری رنگی و محاسبه مقادیر رنگی برای عکس حاصله در شرایط ویژه محاسبه شود. نتایج اندازه‌گیری مقادیر رنگی و محاسبات در جدول ۴ گزارش شده است.

برای بررسی عملکرد دو شیوه اسپکتروفتومتری و عکاسی، اختلاف رنگ بین نمونه‌های اندازه‌گیری شده با اسپکتروفتومتر و حاصل از توصیف رنگی دوربین، با استفاده از معادله شماره ۴ محاسبه شد و در جدول ۵ گزارش شده است. بطور متوسط نتایج مختصات رنگی حاصل از توصیف رنگی دوربین و مقادیر بدست آمده از طریق اندازه گیری اسپکتروفتومتری مقداری در حدود ۵/۵ واحد برای فام صورتی حاصل از رنگزای شیمیایی با هم اختلاف دارند. دو رنگزای طبیعی اختلاف بیشتری را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد مقایسه‌ی فام‌های تیره با این دو روش مناسب نباشد. مقادیر زردی در فام لاکی و روناسی



شکل۳- نمودار پخت رنگزا و رنگرزی به روش پیش دندانه

جدول ۲- مقادیر مختصات رنگی سه قرمز مرجع در نمونه قالی موجود در موزه.

مقادیر رنگی / فام مورد مطالعه	h°	C*	*b	a*	L*
قرمز روناسی	۳۰/۵۸	۲۹/۲۴	۱۴/۸۸	۲۵/۱۶	۱۹/۷۸
قرمز روشن(صورتی)	۱۶/۰۱	۱۹/۰۷	۵/۰۱	۱۸/۲۲	۲۶/۲۹
قرمز تیره(لاکی)	۱۰/۹۸	۱۹/۵۹	۳/۷۵	۱۹/۲۲	۱۳/۳۶

در این دو روش بسیار اختلاف دارند. احتمالا نوری که برای عکاسی استفاده می‌شود این اختلاف زیاد را منتج شده باشد. زیرا مقایسه مقادیر گزارش شده در جداول ۲ و ۴ مقادیر L* و a* در دو روش عکاسی و اسپکتروفتومتری اعداد نزدیک به هم را نشان می‌دهد اما مقادیر b* فاصله‌ی زیادی با یکدیگر دارند.

نمونه‌های نخ پشمی مطابق با نسخه‌های رنگرزی تعریف شده با قرمزدانه به دو روش پیش‌دندانه و پس‌دندانه، رنگرزی شدنه و سپس توسط روش اسپکتروفتومتری، مقدار K/S هر کدام اندازه‌گیری شد. نمودار طیف جذبی و مقادیر مختصات رنگی آن‌ها به ترتیب در شکل شماره۵ ، ۶ و جدول ۶ و ۷ آمده است. لازم به ذکر است برای مقایسه بهتر، فرم نرمال شده منحنی‌ها در نظر گرفته شد. برای این کار مقادیر جذب در هر طول موج بر مقدار عددی آن در λmax (طول موجی که بیشینه مقدار جذب را داراست) تقسیم می شوند. به این ترتیب، منحنی به دست می‌آید که علاوه بر حفظ خصوصیات منحنی اصلی، در محدوده عددی صفر تا یک هم مقیاس شوند. در مقادیر رنگی پشم رنگرزی شده با قرمزدانه به روش پیش دندانه که در جدول۶ نشان داده شده، مقادیر منفی مقدار b*حاکی از ته رنگ آبی فام قرمز، قرمز دانه می‌باشد.

نمودار طیف جذبی به فام رنگی لاکی شباهت بیشتری دارد. انطباق طیف جذبی، مخصوصا در طول موج‌های بلندتر و ماکزیمم طول موج جذب بیشتر رخ داده است.

فاکتور زاویه فام (h°) می‌تواند شناسه خوبی برای تطبیق دادن و مقایسه بین فام نمونه و مرجع باشد. استفاده از اسید اگزالیک و روش پس‌دندانه در نسخه رنگرزی با قرمزدانه، سبب شده تا میزان جذب ماده رنگزا در الیاف پشمی بیشتر شود. بنابر مشاهدات، تغییر غلظت رنگزای قرمزدانه در مقادیر پایین سبب تنوع گسترده‌ای در فام شده،

جدول ۴- مختصات رنگی فام‌های قرمز تخمین زده شده از توصیف رنگی دوربین در سامانه‌های رنگی CIE L*a*b* و CIEL*C*h°

مقادیر رنگی / فام مورد مطالعه	h°	C*	*b	a*	L*
قرمز روناسی	۲۰/۸	۲۵/۲	۹	۲۳/۵	۱۳/۵
قرمز روشن(صورتی)	۹/۶	۲۲/۹	۴	۲۲/۵	۲۲/۵
قرمز تیره(لاکی)	۵/۴	۱۷/۱	۰/۵	۱۷	۶/۵

جدول ۳- مقادیر مختصات رنگی نمونه های خامه پشمی دندانه داده شده با زاج سفید و پشم خام.

مقادیر رنگی / نمونه	h°	C*	*b	a*	L*
پشم خام	۹۰/۰	۱۲/۳	۱۲/۳	۰/۰	۷۹/۴
پشمی دندانه داده شده با زاج سفید	۸۷/۲	۱۱/۷	۱۱/۷	۰/۶	۷۹/۸
اختلاف رنگ	۰/۹۴				

اما با بیشتر شدن غلظت آن، اختلاف فام چشمگیری صورت نمی‌گیرد. دست‌یابی به عمق رنگ و تیرگی فام قرمز قالی عمواوغلی، صرفا با افزایش درصد رنگزای قرمزدانه ممکن نخواهد بود. همچنین، در همه نمونه‌های رنگرزی شده با قرمز دانه، مقدار b* منفی بوده و این موضوع نشان‌دهنده ته‌رنگ آبی در فام قرمز حاصل می باشد. در صورتی که برای هر سه فام قرمز عمواوغلی، این مولفه و همچنین h° یا زاویه فام، نشان‌دهنده فام قرمز رنگی است که به زرد متمایل می باشد. در مقایسه منحنی‌های جذب نرمال شده در طول موج‌های ماکزیمم جذب برای ۳ نوع قرمز در فرش عمواوغلی با نخ‌های رنگرزی شده به هردو روش با قرمزدانه، نمودار رنگ لاکی تطابق بیشتری نسبت به نمودار رنگ صورتی و یا روناسی دارد. پس احتمال کاربرد رنگزای قرمزدانه می‌تواند صحت داشته باشد. اما در رابطه با ته رنگ زردی رنگهای موجود در قالی عمواوغلی نیاز به بررسی بیشتر هست.

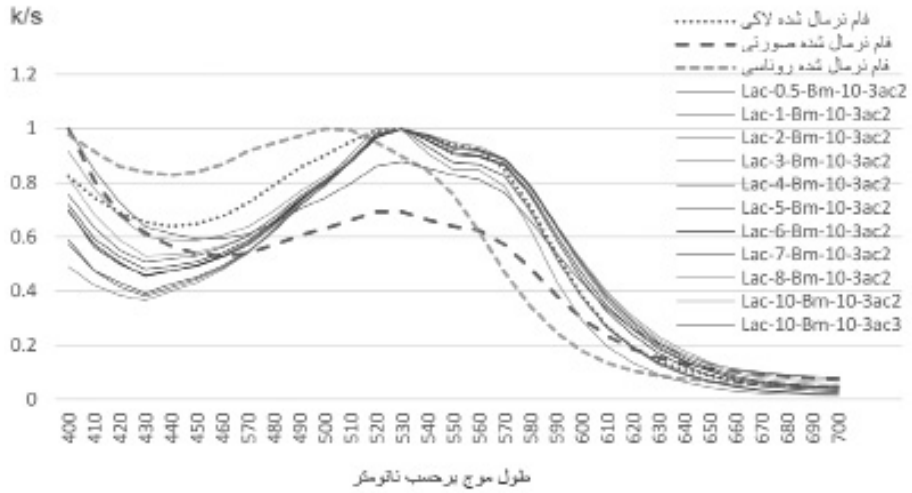
در سری دوم آزمایشات کلاف پشمی با رنگزای روناس به روش پیش دندانه مطابق نسخه‌های رنگرزی مندرج در جدول شماره ۱ با رنگزای روناس، رنگرزی شد. نمودار طیف جذبی و مقادیر مختصات رنگی نمونه‌ها به ترتیب در شکل ۷ و جدول ۶ نشان داده شده است.

از نتایج جدول فوق به‌نظر می‌رسد در رنگزای روناس با افزایش غلظت رنگزا، بیشترین میزان جذب از قرمزی به زردی متمایل می‌شود. بین منحنی‌های جذب نمونه‌های روناس با منحنی جذبی فام روناسی مرجع شباهت زیادی دیده می‌شود و میزان انطباق نمودارها در طول موجهای پایین و بیشتر از طول موج ماکزیمم جذب یکسان است. اما مقادیر زردی در نمونه‌های رنگرزی شده خیلی بیشتر از فام قرمز روناسی قالی عمواوغلی است. و در نهایت ۴ کلاف پشمی با مخلوطی از رنگزای اسیدی متال کمپلکس(لاناست) رنگرزی شدند. نمودار جذبی و مقادیر مختصات رنگی نمونه‌ها به ترتیب در شکل شماره‌ی ۸ و جدول شماره ۹ نشان داده شده است.

از نتایج فوق به‌نظر می‌رسد بشترین شباهت منحنی‌های جذب نمونه‌ها با رنگ مرجع لاکی می‌باشد که البته در محدوده جذبی طیف زرد تفاوت آشکاری دیده می‌شود. لذا به نظر می‌رسد استفاده از رنگزای

جدول ۵- مقادیر اختلاف رنگ بین نتایج حاصل از اسپکتروفتومتری و توصیف رنگی دوربین.

فام رنگ قرمز	روناسی	صورتی	لاکی
مقدار اختلاف رنگ	۸/۷۶	۵/۸۱	۷/۹۱

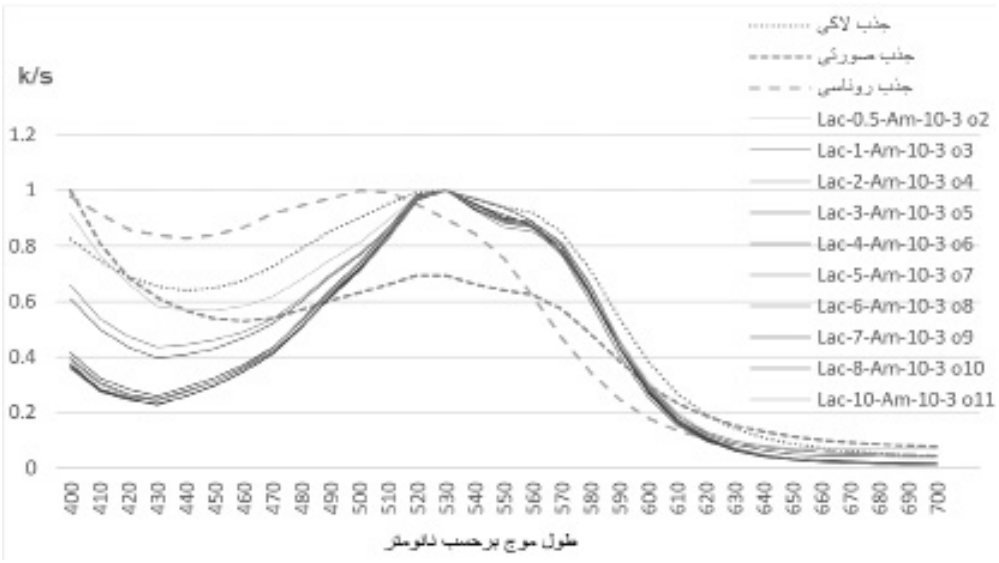


شکل شماره۵- منحنی‌های جذب نرمال شده برای نمونه‌های پشم رنگرزی شده با قرمزدانه به روش پیش‌دندانه و مقایسه آن‌ها با سه نمونه رنگ قرمز مرجع (lac: ac- قرمزدانه :اسید استیک)

جدول ۶- مقادیر مختصات رنگی نمونه‌های پشم رنگرزی شده با قرمزدانه به روش پیش‌دندانه.

فام رنگی / مقادیر رنگی	L*	a*	b*	C*	h°	λ_{max}
Lac-0.5-Bm-10-3ac	۶۲/۷	۱۵/۸	۰/۰	۱۵/۸	۳۵۹/۸	۵۴۰
Lac-1-Bm-10-3ac	۵۵/۰	۱۸/۵	۲/۹	۱۸/۸	۳۵۱/۰	۵۳۰
Lac-2-Bm-10-3ac	۵۰/۲	۲۰/۴	-۴/۴	۲۰/۹	۳۴۷/۹	۵۳۰
Lac-3-Bm-10-3ac	۴۳/۳	۲۲/۴	-۵/۲	۲۳/۰	۳۴۶/۸	۵۳۰
Lac-4-Bm-10-3ac	۴۳/۱	۲۳/۹	۵/۰	۲۴/۴	۳۴۸/۲	۵۳۰
Lac-5-Bm-10-3ac	۴۴/۷	۲۲/۷	۴/۰	۲۳/۰	۳۵۰/۰	۵۳۰
Lac-6-Bm-10-3ac	۴۰/۱	۲۵/۲	-۴/۱	۲۵/۵	۳۵۰/۸	۵۳۰
Lac-7-Bm-10-3ac	۳۵/۰	۲۸/۵	-۳/۴	۲۸/۷	۳۵۳/۱	۵۳۰
Lac-8-Bm-10-3ac	۳۲/۳	۲۸/۸	-۳/۲	۲۸/۹	۳۵۳/۷	۵۳۰
Lac-10-Bm-10-3ac	۳۲/۱	۳۳/۰	-۵/۰	۳۳/۰	۳۵۹/۱	۵۲۰

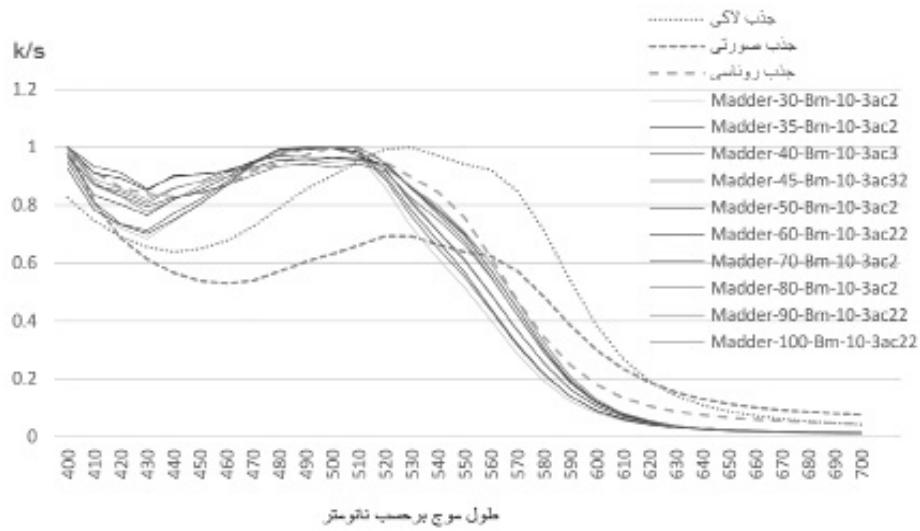
Bm: پیش دندانه



شکل شماره ۶- منحنی‌های جذب نرمال شده برای نمونه‌های پشم رنگرزی شده با قرمزدانه به روش پس‌دندانه و مقایسه آن‌ها با سه نمونه رنگ قرمز مرجع

جدول ۷- مقادیر مختصات رنگی برای نمونه‌های پشم رنگرزی شده با قرمزدانه به روش پس‌دندانه

نام رنگی / مقادیر رنگی	L*	a*	b*	C*	h°	λmax
Lac-0.5-Am-10-3 o	۶۲/۱	۲۴/۴	۰/۴	۲۴/۴	۳۵۹	۵۳۰
Lac-1-Am-10-3 o	۵۲/۳	۳۱/۲	۴/۰	۳۱/۵	۳۵۲/۸	۵۲۰
Lac-2-Am-10-3 o	۵۳/۶	۲۹/۴	-۲/۶	۲۹/۵	۳۵۵/۰	۵۳۰
Lac-3-Am-10-3 o	۳۶/۴	۳۷/۰	-۶/۴	۳۷/۵	۳۵۰/۲	۵۳۰
Lac-4-Am-10-3 o	۳۳/۶	۳۶/۹	-۶/۳	۳۷/۵	۳۵۰/۳	۵۳۰
Lac-5-Am-10-3 o	۲۹/۴	۳۷/۷	-۴/۹	۳۸/۰	۳۵۲/۶	۵۳۰
Lac-6-Am-10-3 o	۳۵/۷	۳۶/۵	-۴/۱	۳۶/۷	۳۵۳/۶	۵۳۰
Lac-7-Am-10-3 o	۳۶/۵	۳۶/۳	۴/۶	۳۶/۶	۳۵۲/۸	۵۳۰
Lac-8-Am-10-3 o	۲۴/۲	۳۵/۳	-۳/۶	۳۵/۴	۳۵۴/۳	۵۳۰
Lac-10-Am-10-3 o	۲۴/۹	۳۴/۴	-۴/۳	۳۴/۷	۳۵۲/۸	۵۲۰



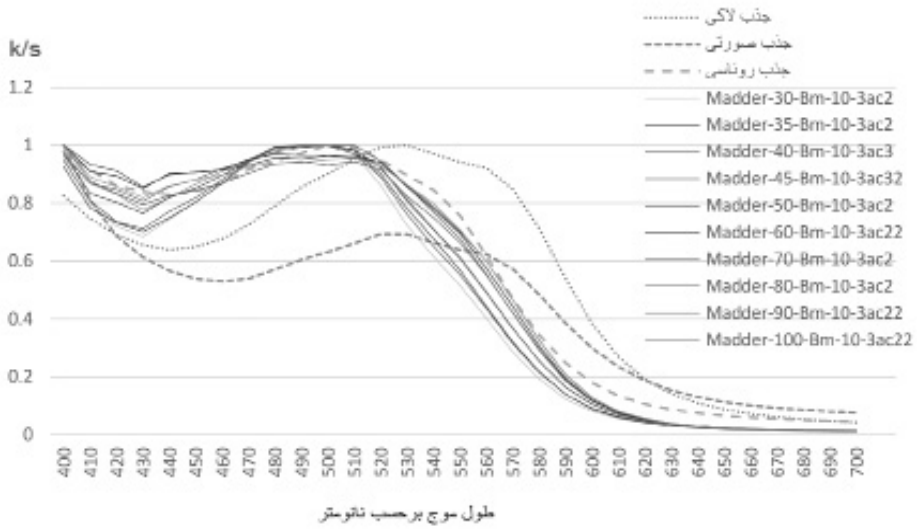
شکل ۷- منحنی‌های جذب نرمال شده نمونه‌های رنگرزی شده با روناس پیش‌دندانه و مقایسه آن‌ها با سه نمونه رنگ قرمز مرجع (Madder: روناس)

جدول۸- مقادیر مختصات رنگی برای نمونه‌های پشم رنگرزی شده با روناس

نام رنگی / مقادیر رنگی	L*	a*	b*	C*	h°	λmax
Madder-30-Bm-10-3ac	۲۶/۹	۲۹/۶	۲۹/۰	۴۹/۱	۳۶/۲	۵۰۰
Madder-35-Bm-10-3ac	۲۳/۴	۳۸/۲	۲۷/۰	۴۶/۸	۳۵/۳	۵۰۰
Madder-40-Bm-10-3ac	۲۹/۸	۳۷/۳	۲۵/۴	۴۵/۲	۳۴/۳	۵۱۰
Madder-45-Bm-10-3ac	۳۱/۷	۳۹/۳	۲۷/۱	۴۵/۰	۳۴/۶	۵۱۰
Madder-50-Bm-10-3ac	۲۹/۸	۳۷/۳	۲۵/۲	۴۵/۰	۳۴/۰	۵۱۵
Madder-60-Bm-10-3ac	۲۷/۱	۳۷/۰	۲۴/۰	۴۴/۱	۳۲/۹	۵۲۰
Madder-70-Bm-10-3ac	۲۶/۳	۳۶/۱	۲۳/۰	۴۲/۸	۳۲/۵	۵۲۰
Madder-80-Bm-10-3ac	۲۵/۸	۳۶/۶	۲۳/۸	۴۳/۷	۳۳/۰	۵۱۰
Madder-90-Bm-10-3ac	۲۴/۷	۳۵/۸	۲۲/۸	۴۲/۵	۳۲/۵	۵۱۰
Madder-100-Bm-10-3ac	۲۵/۴	۳۶/۴	۲۲/۶	۴۲/۸	۳۱/۸	۵۱۰

جدول ۹ - مقادیر مختصات رنگی برای نمونه‌های پشم رنگرزی شده با ماده رنگزای اسیدی متال کمپلکس لاناست

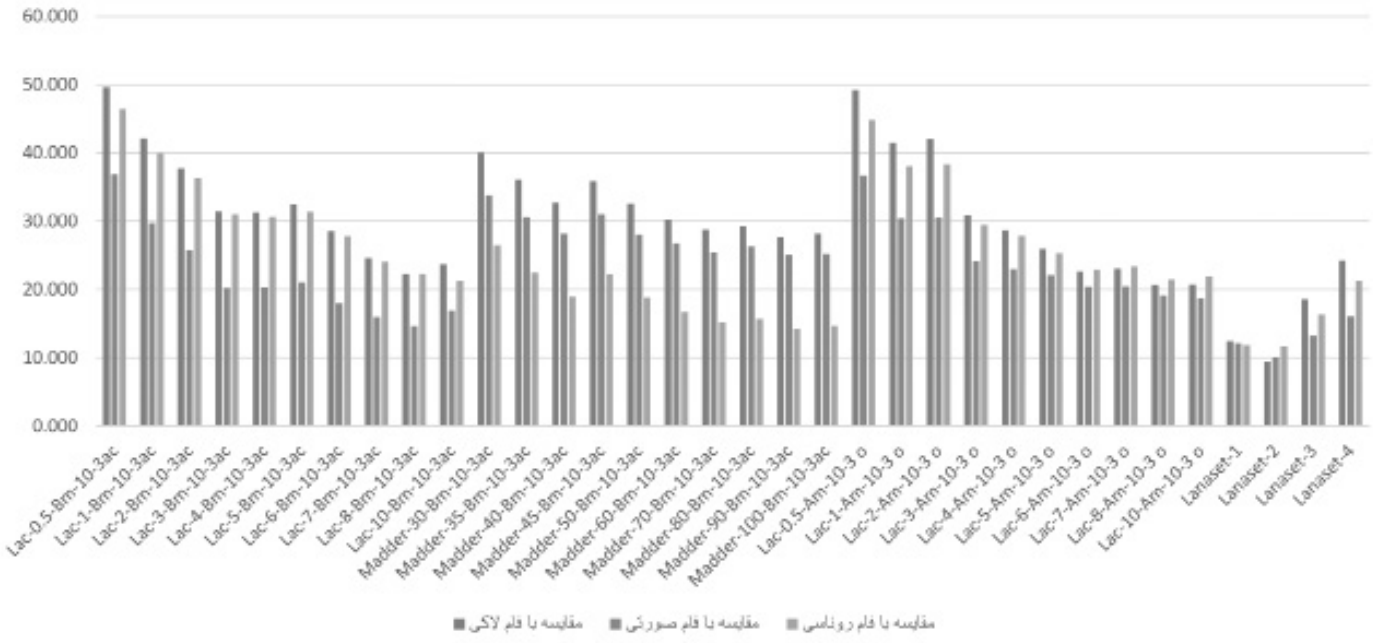
فام رنگی / مقادیر رنگی	L*	a*	b*	C*	h°	λ_{max}
Lanaset-1	۳۷/۰	۲۹/۰	۳/۴	۳۹/۳	۷/۳	۵۴۰
Lanaset-2	۲۰/۱	۱۵/۹	۳/۲	۲۶/۱	۹/۰	۵۴۰
Lanaset-3	۲۷/۴	۲۱/۰	۱/۸	۲۱/۱	۴/۲	۵۴۰
Lanaset-4	۲۴/۰	۲۱/۵	-/۲	۲۱/۵	۰/۴	۵۴۰



شکل شماره ۸- منحنی‌های جذب نرمال شده برای پشم رنگرزی شده با ماده رنگزای لاناست(متال کمپلکس) و مقایسه آن‌ها با سه نمونه رنگ قرمز مرجع

جدول ۱۰ - مقایسه اختلاف رنگ نخ‌های رنگرزی شده با سه فام رنگ قرمز اصلی (بر اساس بیشترین شباهت منحنی‌های K/S)

L*	a*	b*	C*	h°	مقادیر رنگی / فام رنگی
۱۹/۷۸	۲۵/۱۶	۱۴/۵۸	۲۹/۴۴	۳۰/۵۸	قرمز روناسی
۲۹/۲	۲۵/۸	۲۲/۸	۳۴/۵	۲۲/۵	Madder-90-Bm-10-3ac
اختلاف رنگ				Δh ˜ ۱/۹۲	ΔE ˜ ۱۴/۱۶۵
قرمز روشن	۱۸/۲۲	۵/۰۱	۷۸/۰۲	۱۴/۰۱	۲۶/۲۹
Lac-8-Bm-10-3ac	۲۵/۸	-۲/۲	۲۸/۹	۳۵/۱۲	۲۲/۲
اختلاف رنگ				Δh ˜ ۲۲/۲۱	ΔE ˜ ۱۴/۴۲
قرمز تیره(لاکی)	۲۱/۲۲	۲/۱۵	۲۱/۵۲۹	۱۰/۹۸	۱۲/۲۶
Lac-8-Am-10-3 a	۲۵/۴	-۲/۶	۲۵/۴	۲۵۲/۲	۲۴/۲
اختلاف رنگ				Δh ˜ ۲۱/۶۸	ΔE ˜ ۲۰/۶۸
قرمز تیره(لاکی)	۲۱/۲۲	۲/۱۵	۲۱/۵۲۹	۱۰/۹۸	۱۲/۲۶
Lanaset-2	۲۵/۹	۴/۲	۲۶/۱	۲۱/۰	۴۰/۱
اختلاف رنگ				Δh ˜ ۲/۹۸	ΔE ˜ ۹/۲۵



شکل ۹- مقایسه اختلاف‌رنگ بین نمونه‌های رنگرزی شده با نمونه‌های مرجع

شیمیایی برای رسیدن به رنگ صورتی در فرش‌های عمواوغلی گزینه مناسبی نبوده است. اختلاف رنگ نمونه‌های شاهد و فام‌های مرجع، به عنوان شاخص دیگری برای میزان رنگ‌همانندی مورد بررسی قرار گرفت (بر اساس رابطه ۴). مطابق نتایج تحقیقات پیشین، مقدار قابل قبول اختلاف رنگ برای دو نمونه رنگ همانند تا حدود ۴ واحد است[۷] و بیشتر از آن برای ناظر عادی قابل تشخیص می‌باشد. نتایج نشان داده شده در شکل ۹حاکی از آن است که کم‌ترین اختلاف رنگی در نمونه رنگرزی شده با متال‌کمپلکس (Lanaset-2) و معادل ۹/۴۵ بوده اما در سایر نمونه‌ها اختلاف رنگ به‌دست آمده، بسیار بیشتر از حد قابل قبول بوده و در واقع رنگ‌همانندی ایجاد نشده است. اما تطابق نمودارهای جذبی که بیش از ۳ نقطه با نمودار مرجع انطباق داشتند مساله رنگ همانندی را شدت می بخشد.

به نظر می‌رسد برای بررسی عدد اختلاف رنگ بالا بین نمونه های رنگرزی شده و رنگ‌های مطالعه شده از روی قالی باید به این نکته مهم دقت نمود که علیرغم شرایط مطلوب نگهداری از قالی مورد نظر(به علت نگهداری در موزه) گذشت زمان سبب رنگ‌پریدگی و احتمالا افزایش میزان زردی در نمونه‌ها شده است. اما از آن‌جایی که در نمونه کلاف‌های رنگرزی شده پیرسازی نمونه‌ها (aging) انجام نگرفته بود لذا مقادیر اعداد رنگی مخصوصا b* که متناسب با مقدار زردی در رنگ نمونه است اصلاح نشده‌اند.

برای مقایسه بهتر، از هر گروه نمونه‌هایی که بیشترین شباهت منحنی‌های جذبی را با سه نمونه اصلی داشتند، انتخاب و در جدول شماره‌ی ۱۰ ارائه شد. تغییرات فام (Δh) بعنوان یک پارامتر مهم در انتخاب نوع رنگزا در جدول ۱۰نشان می‌دهد که نمونه قرمز روناسی با اختلاف ۱/۹۲ واحد میتواند بعنوان رنگزای مشابه به‌کاررفته در فرش عموغلی معرفی گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

تعیین نسخه‌های رنگ‌همانندی به‌کار رفته در این پژوهش، براساس مشاهده‌ی رنگ‌ها و بر پایه احتمالات مطرح شده در منابع شفاهی و مکتوب درباره نوع رنگزای مصرفی توسط عمواوغلی‌ها برای حصول رنگ فام قرمز بنا نهاده شد.

فرضیه اصلی مطالعه‌ی نمونه‌های مورد نظر از فام‌های قرمز موجود در این قالی، به‌وسیله رنگزای طبیعی فام قرمز (روناس و قرمزدانه) و به صورت رنگزای تک جزئی تهیه شده‌اند. البته شباهت نمودارهای جذب نرمال شده برای روناسی و لاکی شباهت زیادی با نخ‌های رنگرزی شده با روناس و قرمزدانه داشت. از آنجا که در منسوجات قدیمی، گذشت زمان که تاثیر حرارت، تابش و آلاینده‌های زیست محیطی را به همراه دارد، سبب بروز پیر شدگی از نظر تغییر رنگ و زیر دست کالا می‌شود و به نظر می‌رسد اگر نخ‌های رنگرزی شده با روناس و قرمزدانه در شرایط پیرشدگی قرار می‌گرفتند، عدد اختلاف رنگی کمتر می‌شد. استفاده از نتایج رنگی حاصل از عکاسی برای نمونه نخ‌های رنگرزی شده ، می‌تواند زودتر نسخه مناسب برای رنگ همانندی را ایجاد نماید. لذا پیشنهاد می‌شود برای تحقیق بیشتر پس از تهیه مقادیر رنگی از نمونه‌های عکاسی شده و استفاده از آزمایشات رنگرزی، پیر سازی روی نمونه‌ی مورد مطالعه با استفاده از تابش اشعه فرابنفش صورت گرفته و سپس نسخه مناسب رنگ همانندی برای منسوجات رنگی (تاریخی) تهیه شود. مقایسه منحنی‌های انعکاسی و جذب نمونه و مرجع به عنوان معیار فیزیکی شناخته شده برای سنجش رنگ، و همچنین اندازه‌گیری میزان اختلاف رنگ نمونه‌ها به عنوان معیار سایکوفیزیکی در علوم رنگ، فقط به عنوان یک ابزار مطالعه‌ی رنگ می‌تواند در نظر گرفته شود و برای قضاوت نیاز به سایر ابزارها هم وجود دارد.

منابع و مآخذ

۱. دهش ن.، بررســی و تحلیل رنگ در قالی‌هــای عمواوغلی به‌منظور احیاء و معرفی روش حصول رنگ آن‌ها، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشــد، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر تهران، (۱۳۹۶).

۲. یوسفی ع.، فرش افشان عمواوغلی در گنیجنه‌ی فرش موزه آستان قدس رضوی، مشهد، نشریه دانشورز، شماره ۷۵ ، ۲۶-۲۸، (۱۳۹۱).

۳. ژوله ت.، برگی از قالی خراسان، تهران: شرکت سهامی فرش ایران، (۱۳۷۵).

۴. صوراسرافیل،ش.، طراحان بزرگ فرش ایران، تهران: نشر پیکان(۱۳۸۱).

۵. ادواردز س.، قالی ایران. ترجمه مهین دخت صبا. تهران: انجمن دوستداران کتاب، (۱۳۵۷).

۶. دمرچلی ز.، بررسی نقوش قالی‌های عمواوغلی و مقایسه آن با آثار مشابه و همزمان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده هنر، دانشگاه سوره، (۱۳۹۲).

۷. چدوری آ.، مفاهیم جدید رنگ و ظاهر، ترجمه علی شمس ناتری و احسان اکرامی، چاپ اول: انتشارات دانشگاه گیلان، (۱۳۸۹).

۸. گرجی کندی س.، بررســی امکان به‌کارگیری روش‌های علمی جهت تشخیص رنگهای طبیعی از رنگ‌های مصنوعی برروی فرش دستباف (فاز اول: فام قرمز)، طرح پژوهشی مرکز ملی فرش ایران، (۱۳۹۲).

۹. گرجی کندی س.، و قرنجیک ک.، بررسی کارایی روش طیف‌سنجی زیر قرمز نزدیک در شناسایی رنگزای طبیعی روناس از رنگزای مصنوعی مورد استفاده در خامه فرش دستباف. نشریه علوم و فناوری رنگ. ۳(۸)، ۱۸۷-۱۹۲، (۱۳۹۳).

10. C. Selvius De Roo, R. A. Armitage, Direct Identification of Dyes in Textiles by Direct Analysis in Real Time-Time of Flight Mass Spectrometry, Anal. Chem., 83 (18), pp 6924–6928, 2011.

11. P. Irina, B. Ina Vanden, C. Ileana, A. Florin, M. Andrei, Identification of natural dyes in historical textiles from Romanian collections by LC-DAD and LC-MS (single stage and tandem MS), Volume 13, Issue 1, Pages 89-97 , January–March 2012.

12. S. Helmut, practical information for the identification of dyes in historic textile materials, Smiths onion institution Washington DC USA 1988.

13. C. Alex, R. Nicole, X. Xiaoma, W. Jaap van der, Identification of Dyes on Single Textile Fibers by HPLC-DAD-MS, Forensic SCI SEM, Forensic SCI SEM, 3(3): 143-152, 2013.

14. J. Lee, E. Van Elslande, Min Jung Kim, Philippe Walter, Identification of Natural Dyes in Ancient Textiles by Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry and Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, Journal of Nanoscience and Nanotechnology 15(11) • November 2015.

15. M. Ricci, C. Lofrumento, E. Castellucci, and M. Becucci , Microanalysis of Organic Pigments in Ancient Textiles by Surface-Enhanced Raman Scattering on Agar Gel Matrices, J. of Spectroscopy, Volume 2016, Article ID 1380105, 10 pages.

16. D. Jemo, D. Parac-Osterman, Identification of Natural Dyes on 18th Century Liturgical Textiles from Dubrovnik, Fibers & Textiles in Eastern Europe, 25, 1(121): 113-120, 2017.

17. E. K. Annemarie, A. O. Brachman, R. Kluge, J. Pieland René Csuk, Fast direct detection of natural dyes in historic and prehistoric textiles by flow probe™-ESI-HRMS, RSC Adv, 7, 12990–12997, 2017.

۱۸. شمس ناتری ع.، تحلیل داده‌های جذبی و انعکاسی مواد رنگین، چاپ اول: انتشارات دانشگاه گیلان، (۱۳۹۱).

۱۹. جعفــری ر.، مروری بر روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های حســی ، مجله علوم و فناوری نساجی، دوره ۴،شماره ۴، ۱۳-۲۲، (۱۳۹۳).

۲۰. امیرشاهی س. ح.، و آگهیان ف.، فیزیک رنگ محاسباتی، انتشارات ارکان دانش، (۱۳۸۶).