

## مطالعه ویژگی‌های طیفی و رنگی خامهٔ قالی رنگریزی شده توسط گونه‌های مختلف روناس

سروناز قانعان<sup>۱</sup>، منصوره قنبرافجه<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری دانشکدهٔ مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- استادیار دانشکدهٔ مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (نویسنده مسئول)

### چکیده

با توجه به کاربرد وسیع روناس در رنگریزی خامهٔ قالی ایران و همچنین تنوع زیاد این مادهٔ رنگزا، در این تحقیق گونه‌های مختلف روناس از مناطق متفاوت جمع‌آوری شد و سپس مشخصات آنها تعیین و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. انواع گردآوری شده شامل روناس منطقهٔ مدیترانه، کویر یزد، کرمان، سه سالهٔ بافق، سه سالهٔ خوربیابانک، چهارسالهٔ نائین، سه سالهٔ اردکان (درجه یک و ممتاز) می‌باشد. در گام نخست پس از تهیهٔ محلول شفاف از نمونه‌های مختلف روناس در آب، طیف جذبی آنها در محدودهٔ ۱۹۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر حاصل و با یکدیگر مقایسه شد. سپس یک نوع مشخص خامهٔ قالی طی فرآیند یکسان دنداندهی و رنگریزی با استفاده از هر یک از گونه‌های مورد بحث رنگریزی گردید. با اندازه‌گیری انعکاس نمونه‌های رنگریزی شده در محدودهٔ مرئی، طیف‌های انعکاسی آنها تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین مشخصات کالریمتری کلیهٔ نمونه‌های رنگریزی شده تحت استاندارد نوری D65 و مشاهده کنندهٔ استاندارد 1964 محاسبه و گزارش شدند. ویژگی‌های رنگی نمونهٔ مدیترانه نسبت به سایر موارد تفاوت داشت. مقادیر K/S نمونه‌ها نیز هم با استفاده از رابطهٔ کیوبلکا-مانک از روی انعکاس آنها محاسبه گردید. بعلاوه با استفاده از روش تحلیل اجزاء اصلی (PCA) مقادیر ویژه و بردارهای ویژهٔ داده‌های انعکاسی نمونه‌های رنگریزی شده تعیین و با محاسبهٔ درصد واریانس جمعی، ابعاد داده‌های مذکور تعیین شدند. در مرحلهٔ بعد منحنی‌های انعکاسی با تعداد متفاوت توابع پایه بازسازی شدند و در هر مورد خطای بازسازی گزارش گردید.

واژگان کلیدی: روناس، خامهٔ قالی، منحنی جذبی، طیف انعکاسی، ویژگی‌های رنگی.



## Colorimetric and Spectral Properties of Woolen Yarns Dyed By Different Types of Madder (*Rubia Tinctorum*)

Sarvenaz Ghanean<sup>1</sup>  
Mansoureh Ghanbar Afjeh<sup>2</sup>

1. PhD Candidate, Textile Engineering faculty, Amirkabir University of Technology, Iran
2. Assistant Professor, Textile Engineering faculty, Amirkabir University of Technology, Iran  
(Corresponding Author)

### Abstract

Due to the wide application of madder (*Rubia tinctorum*) for dyeing the Persian carpets and also diversity of this natural dye, in this study different types of madder were collected and analyzed. Madders were collected from Mediterranean region, and different parts of Iran including Yazd, Kerman, Bafgh, Khour va Biabanak, Naein, and Ardakan. As a first step, after preparing a clear solution from different samples of madder in water, their absorption spectra in the range of 190 to 1100 nm were obtained and compared with each other. Then a specific type of carpet yarn was dyed during the same process of indentation and dyeing using each of the discussed species. By measuring the reflection of the dyed samples in the visible range, their reflectance spectra were determined and compared. Moreover, the colorimetric characteristics of all dyed samples were calculated and reported under D65 optical standard and 1964 standard observer. As a result, it is shown that colorimetric specification of sample dyed with Mediterranean madder is different from other samples. Also using the well-known Kubelka-Munk function, the K/S values were calculated from measured spectral reflectance of all dyed samples. Additionally, the Principal Component Analysis (PCA) was implemented to determine eigen values, eigen vectors and dimensional sizes of the spectral reflectance. Then the spectral reflectance of all dyed samples was reconstructed by employing different number of principal components. Finally, the RMS and Delta E error between actual and recovered reflectance were calculated and reported.

**Keywords:** Madder, woolen yarn, absorption curve, spectral reflectance, colorimetric specification.

- 
1. Email: sarvenaz.ghanean@gmail.com (current address: Research Institute of Cultural Heritage & Tourism)
  2. Email: ghanbar@aut.ac.ir



## مقدمه

فرش دستباف ایرانی به دلیل طرح بی‌مانند، بافت هنرمندانه و مواد خام ویژه شهرت جهانی دارد. این اثر هنری، گره به گره توسط دستان ماهر بافنده سنتی طی فرآیند بسیار طولانی خلق می‌شود که از نقطه‌نظر رنگ محدوده وسیعی از رنگهای چشم‌نواز را در بر می‌گیرد (قنبرافجه و همکاران، ۲۰۱۳، ۹۸). در گذشته نه چندان دور رنگرزان سنتی با استفاده از مواد رنگزای مختلف موجود در طبیعت و با شیوه‌های متعدد، خامه قالی مورد نیاز فرش ایرانی را رنگرزی می‌کردند. استفاده از رنگزاهای مصنوعی در رنگرزی خامه قالی به مرور جایگزین رنگزاهای موجود در طبیعت گشت. با توجه به افزایش رویکرد و تمایل جهانی به استفاده هرچه بیشتر از مواد دوستدار محیط زیست، احیاء رنگرزی خامه قالی با مواد رنگزای موجود در طبیعت از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (قانعان و امیرشاهی، ۲۰۰۶، ۶۲؛ قانعان، ۲۰۰۸، ۴۹).

بشر از دیرباز از مواد رنگزای موجود در طبیعت برای اهداف گوناگون نظیر مراسم قبیله‌ای، سوگواری و خاکسپاری، نقاشی روی بدن، دکوراسیون و هنرهای مربوط به آن، رنگرزی منسوجات، داروسازی، صنایع آرایشی و بهداشتی استفاده می‌کرده است. مواد رنگزای طبیعی<sup>۱</sup> غالباً منشأ گیاهی، حیوانی و یا معدنی دارند که تنوع شگفت‌انگیزی از رنگهای مختلف را تولید می‌کنند. با این وجود مشکلاتی نظیر بازده رنگی پائین، پیچیدگی فرآیندهای رنگرزی، تکرار ناپذیری، شیده‌های محدود و ثبات ضعیف را در مورد این دسته از مواد رنگزا نمی‌توان نادیده گرفت. معمولاً از دندانه‌ها، نمک‌های فلزی، جهت افزایش تمایل میان الیاف و رنگزا استفاده می‌کنند به گونه‌ای که رنگزا با دندانه در محل لیف تشکیل کمپلکس می‌دهد و ضمن افزایش درجات عمومی ثبات، محدوده وسیعی از شیده‌ها را حاصل می‌کند (گینوت و همکاران، ۲۰۰۶، ۹۳؛ ویرسینگ و پوراهیت، ۲۰۱۲، ۴۸). مواد رنگزای طبیعی را می‌توان بر اساس ساختار شیمیایی، منبع تهیه شده، روش کاربرد، فام حاصله، لزوم استفاده از دندانه و ... تقسیم‌بندی نمود (ونکار، ۲۰۰۰، ۷۳). مواد رنگزای طبیعی مورد استفاده جهت رنگرزی خامه قالی در ایران عبارتند از: روناس، نیل، قرمز دانه، پوست انار،

پوست گردو، اسپرک، جاشیر، حنا، پوست پیاز و ... (مقصودی و همکاران، ۲۰۱۳، ۱۴۴).

در میان مواد نام‌برده شده، روناس به دلیل دسترسی آسان، فام درخشان و ثبات مناسب از جمله مشهورترین و با سابقه‌ترین مواد رنگزای طبیعی است که از ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد جهت تولید رنگ قرمز برای منسوجات استفاده می‌شده است و بیشترین کاربرد را در خاورمیانه (بویژه ایران)، هندوستان، اروپا و شمال آفریقا داشته است. این رنگزا با قرار گرفتن در دسته رنگزاهای دندانه‌ای به کمک دندانه‌های مختلف فلزی، انواع قرمزها، آجری‌ها، قهوه‌ای‌ها و حتی صورتی‌ها، بنفش‌ها و مشکی را بر روی ابریشم، پنبه و پشم حاصل می‌نماید (قانعان و قنبرافجه، ۲۰۱۸، ۲۳۸). روناس ریشه گیاهی رنگی است متعلق به خانواده روبیاسی<sup>۲</sup> که دارای ۴۰ گونه می‌باشد. مهمترین آنها روبیاتینکتوروم<sup>۳</sup> است که ماده رنگی آن جزء دسته رنگزاهای آنتراکینونی است و بخش اصلی آن آلیزارین (۱ و ۲ دی هیدروکسی آنتراکینون) و بعد از آن پورپورین (۱، ۲ و ۴ تری هیدروکسی آنتراکینون) است. سایر آنتراکینون‌ها عبارتند از: سودوپورپورین، زانتاپورپورین، روبیادین و مانجیستین. تا کنون ۳۶ نوع آنتراکینون در روناس یافت شده است (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۵؛ کوکو و همکاران، ۲۰۱۱، ۹۸؛ بقالیان و همکاران، ۲۰۱۰، ۵۵۷؛ سین برون و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۸۷، قانعان و قنبرافجه، ۲۰۱۶، ۱۸۳). همانگونه که ذکر گردید، روناس ثبات نوری و شستشویی رضایت‌بخشی دارد که ثبات بهتر بر روی الیاف پشم رنگرزی شده نسبت به ابریشم و پنبه گزارش شده است (آنجلینی و همکاران، ۱۹۹۷، ۳۰۳). ارزش گیاه روناس به مقدار مواد رنگزای موجود در ریشه گیاه بستگی دارد که آنهم ارتباط زیادی به عمر ریشه گیاه پیدا می‌کند. در خصوص بهترین سن برداشت گیاه نظرات مختلفی وجود دارد. برخی از محققین بر این عقیده هستند که ریشه‌هایی که دارای عمر ۵ ماهه هستند دارای بیشترین مقدار مواد رنگزا و بخصوص آلیزارین هستند و با افزایش عمر ریشه‌ها مقدار مواد رنگزا کاهش می‌یابند. در برخی از منابع نیز آمده است که ریشه‌ها را در سن ۲ یا ۳ سالگی و معمولاً زمان گلدهی که مقادیر مواد رنگزا به حداکثر مقدار می‌رسد برداشت می‌کنند.



برخی دیگر از محققین عقیده دارند که ریشه‌ای که کمتر از سه سال عمر داشته باشد برای رنگرزی مفید نیست و قدرت رنگی ریشه روناس از سال سوم تا هفتم افزایش می‌یابد ولی پس از سال نهم ارزش تجاری‌اش را از دست می‌دهد. در مقاله دیگری ادعا شده است از آنجا که در سومین سال رشد، گیاه دچار هیدرولیز آنزیمی می‌شود، بهترین رنگ حاصله از روناس سه ساله بدست خواهد آمد. برخی از رنگرزان بر این باورند که رنگهای شاداب و مایل به سرخ از ریشه‌های ۴ و ۵ ساله آن به دست می‌آید و ریشه‌های ۷ ساله رنگهای لاکه و ارغوانی و ریشه‌های ۳ ساله نارنجی تیره پدید می‌آورند. منطقه کشت گیاه نیز در رنگ حاصله تأثیرگذار است. از ریشه‌گونه‌هایی که در مناطق سردسیری می‌رویند، لاکه پرمایه‌تری نسبت به گونه‌های مناطق معتدل و گرمسیری بدست می‌آید (قانعان، ۱۳۹۶، ۱۰).

علاوه بر مصارف رنگرزی از گذشته این گیاه مصارف دارویی نیز داشته است و در درمان سنگ کلیه و مثانه مورد استفاده قرار می‌گرفته است (ناکانیشی و همکاران، ۲۰۰۵، ۹۲۱). همچنین خواص بیولوژیکی مختلف نظیر ضد میکروب، ضد قارچ، ضد مالاریا، ضد درد و درمان فشار خون نیز در مورد آنتراکینون‌های موجود در روناس گزارش شده است (هان و همکاران، ۲۰۰۱، ۲۰۱). همانگونه که ذکر شد روناس از دیرباز در ایران جهت رنگرزی خامه‌قالی استفاده می‌شده است که می‌توان مناطق متعددی جهت کشت این گیاه در ایران را نام برد. در این تحقیق سعی بر این شده است تا نمونه‌های متنوعی از روناس (ایرانی و خارجی) جمع‌آوری گردد به طوری که نمونه‌های ایرانی نیز در محل کشت، سن و حتی نحوه آسیاب شدن متفاوت باشند و مشخصات رنگی و طیفی نمونه‌های منتخب بررسی و با هم مقایسه شوند.

جهت ارزیابی طیفی نمونه‌ها روش تحلیل اجزای اصلی<sup>۴</sup> بکار گرفته شده است. این روش سودمند آماری که به اختصار PCA نامیده می‌شود بالغ بر ۶۰ سال است که به عنوان یک تکنیک ریاضی ارزشمند در علم تکنولوژی رنگ کاربرد دارد و از آن در موارد بسیاری استفاده می‌شود که مهمترین آنها عبارتند از: کاهش اندازه داده‌ها و همچنین تعریف الگوها و جهت‌های

اصلی که مجموعه داده‌ها در آن جهات توزیع شده‌اند. در واقع این روش ساختار واریانس-کواریانس یا همبستگی یک مجموعه داده را در شکل برداری جستجو می‌کند و در ابتدا به منظور تفسیر و کاهش اطلاعات (یا بعد داده‌ها) بکار برده می‌شود. کاهش ابعاد با حذف جهات بی‌اهمیتی که در آن واریانس نمونه‌ها فاقد اهمیت است انجام می‌گیرد زیرا تغییرات حاکم بر نمونه‌ها در امتداد چند جهت اصلی (اجزاء اصلی) حائز اهمیت است که تعداد این جهات، ابعاد واقعی مجموعه نمونه را تخمین خواهد زد (زانگ و برنز، ۲۰۰۵، ۸۴).

ماتریس  $R$  با ابعاد  $P \times N$  را در نظر بگیرید به گونه‌ای که  $P$  تعداد نمونه‌ها و  $N$  تعداد طول موج‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. به منظور استخراج بردارهای ویژه و مقادیر ویژه نخست باید ماتریس مربع  $N \times N$  کواریانس را از حاصل ضرب ترانهاده ماتریس  $R$  در ماتریس  $R$  بدست آورد.

به  $k$  بردار ویژه که دارای بیشترین مقدار ویژه نظیر می‌باشند، اولین  $k$  جزء اصلی انعکاس گفته می‌شود که تحت عنوان تابع پایه<sup>۵</sup> نیز معرفی می‌شوند. درصد واریانس تجمعی<sup>۶</sup> طبق معادله ۱ به صورت نسبت مجموع این  $k$  مقدار ویژه به جمع کل مقادیر ویژه ضرب در ۱۰۰ برای  $k$  جزء اصلی مذکور محاسبه می‌شود.

$$\%var = \frac{\sum_{i=1}^k V_i}{\sum_{i=1}^N V_i} \times 100 \quad \text{معادله ۱}$$

$V_i$  مقدار ویژه نام ماتریس  $N \times N$  است (فیرمن و بریل، ۲۰۰۴، ۱۰۴). توضیحات بیشتر در خصوص روش تحلیل اجزاء اصلی را می‌توان در مقاله مروری تألیف شده توسط زانگ و برنز یافت (زانگ و برنز، ۲۰۰۵، ۸۴).

### تجربیات

پودر روناس از مدیترانه، کویر یزد و کرمان و همچنین ریشه روناس سه‌ساله از بافق، خوربیبانک و اردکان و نیز چهارساله از نائین تهیه شد. ریشه‌های روناس آسیاب و سپس الک شدند. به‌علاوه پودر روناس ممتاز و درجه یک نیز از مازوری در اردکان خریداری شد. جهت اندازه‌گیری طیف جذبی ۹ گونه جمع‌آوری شده، مقدار یک گرم از هر نوع در ۱۰۰ سی‌سی آب

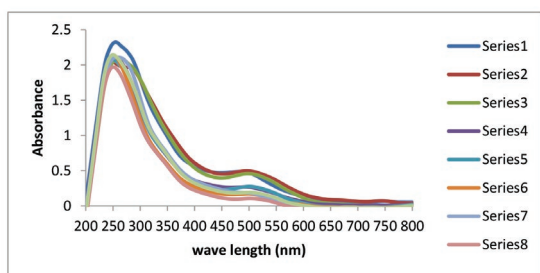
به مدت ۲۴ ساعت خیسانده و بعد از آن توسط قیف بوختر و کاغذ صافی تحت خلأ صاف شد. به منظور حصول اطمینان از شفاف بودن محلول، در انتها محلول‌های صاف شده به مدت ۵ دقیقه با دور ۴۵۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شدند. دستگاه اسپکتروفتومتر ماوراء بنفش-مرئی مدل Photonix Ar 2015 بعد از کالیبراسیون جهت اندازه‌گیری مقادیر جذب محلول‌های رقیق شده (به نسبت ۱ به ۱) مورد استفاده قرار گرفت.

نخ پشمی سه‌لا با نمرة متریک ۰/۲۲، تاب ۹۸/۰۳ (t.p.m) و اندیس زردی ۱۴/۴۸۲۵ طبق استاندارد D1925 (مک دونالد، ۱۹۹۷، ۲۰۷) از تبریز تهیه و به مدت ۲۰ دقیقه با شوینده نانیونیک در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد شستشو و آبکشی شد. سپس نمونه‌های ۲/۵ گرمی پشمی در حضور اسید فرمیک (اسیدیته حدود ۵) با نسبت حجم مایع به وزن کالا ۴۰:۱ توسط ۲٪ زاج سفید (سولفات دوگانه آلومینیوم و پتاسیم) دنداندار شدند، به گونه‌ای که دنداندار دادن در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد آغاز شد و با نرخ افزایش دمای ۱/۵ درجه بر دقیقه پس از ۴۵ دقیقه به جوش رسید و پس از ۷۵ دقیقه جوشیدن آبکشی و خروج کالا از حمام صورت گرفت. رنگریزی نمونه‌ها توسط هر ۹ گونه رونس جمع‌آوری شده صورت گرفت به این ترتیب که در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد کالا و اسید استیک (اسیدیته حدود ۵/۵-۵) به حمام اضافه شد و بعد از ۱۰ دقیقه ۴۰٪ (وزنی/وزنی) رونس وارد حمام رنگریزی شده، پس از گذشت ۳۰ دقیقه به دمای جوش رسیده و یک ساعت در جوش باقی ماند و در نهایت خارج و شستشو شد. نمونه‌های رنگریزی شده به صورت کاملاً پشت‌پوش به دور مقوایی به ابعاد ۴×۲ سانتی‌متر پیچیده شدند. جهت اندازه‌گیری انعکاس طیفی نمونه‌های رنگریزی شده از دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی قابل حمل ColorEyeXTH از شرکت GretagMacBeth استفاده شد. محدوده اندازه‌گیری شده توسط دستگاه ۷۵۰-۳۶۰ نانومتر در فواصل ۱۰ نانومتری بود که در محاسبات محدوده ۷۰۰-۴۰۰ در نظر گرفته شد. انعکاس هر نمونه در چهار موقعیت چرخشی متفاوت اندازه‌گیری شد و میانگین چهار اندازه‌گیری به عنوان داده‌های انعکاسی واقعی هر نمونه در نظر گرفته شد.

نرم‌افزار به کار گرفته شده در این تحقیق نرم‌افزار متلب<sup>۲</sup> است که جهت انجام عملیات ریاضی روی ماتریس‌ها طراحی شده و قادر است محاسبات بسیار وقت‌گیر را با دقت زیاد و در حداقل زمان ممکن میسر سازد.

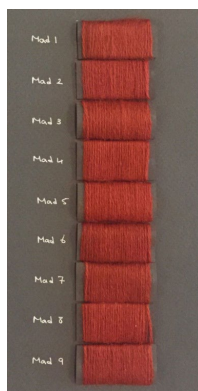
### مشاهدات و بحث

در تصویر ۱ طیف جذبی اندازه‌گیری شده از محلول‌های شفاف انواع رونس جمع‌آوری شده قابل مشاهده می‌باشد. همان‌گونه که در تصویر واضح است اختلاف آشکاری بین طیف جذبی گونه‌های مختلف به چشم نمی‌خورد و در ناحیه ماوراء بنفش همگی دارای ماکزیمم مشخص در محدوده ۲۶۰-۲۵۰ نانومتر می‌باشند، همچنین پیک ملایمی در ناحیه مرئی در حدود ۵۰۰ نانومتر مشاهده می‌شود.

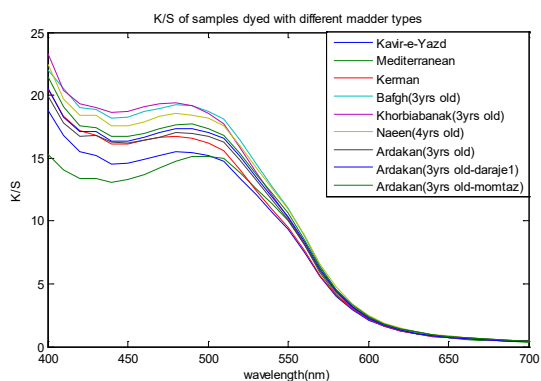


تصویر ۱: منحنی‌های جذبی انواع رونس جمع‌آوری شده: (۱) کوپریزد (۲) مدیترانه (۳) کرمان (۴) بافق (۵) خوربیبانک (۶) نائین (۷) اردکان (۸) اردکان درجه یک (۹) اردکان ممتاز. (نگارنده، ۱۴۰۰)

نمونه‌های پشمی رنگریزی شده توسط ۹ گونه رونس نیز در تصویر ۲ نمایش داده شده‌اند که تفاوت بارزی بین نمونه‌ها در این تصویر مشاهده نمی‌شود.



تصویر ۲: نمونه‌های پشم تبریز رنگریزی شده توسط انواع رونس جمع‌آوری شده: (۱) کوپریزد (۲) مدیترانه (۳) کرمان (۴) بافق (۵) خوربیبانک (۶) نائین (۷) اردکان (۸) اردکان درجه یک (۹) اردکان ممتاز (نگارنده، ۱۴۰۰)

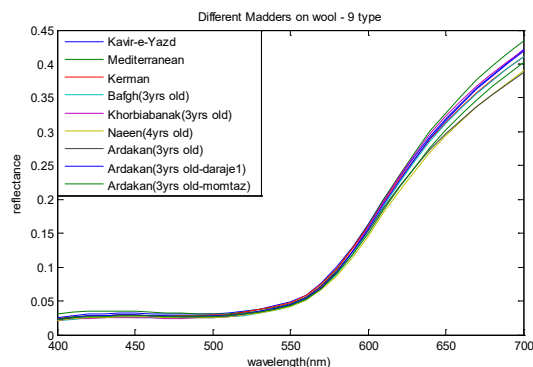


تصویر ۴: منحنی های K/S نمونه های پشم تبریز رنگریزی شده توسط انواع روناس جمع آوری شده (نگارنده، ۱۴۰۰)

در مرحله بعد مشخصات کالریمتری کلیه نمونه های رنگریزی شده تحت استاندارد نوری D65 و مشاهده کننده استاندارد 1964 محاسبه و در جدول ۱ گزارش شدند (امیرشاهی و آگهیان، ۱۳۸۶، ۳۱). طبق داده های جدول، کمترین مقدار زاویه فام به نمونه رنگریزی شده با روناس مدیترانه اختصاص دارد که به معنای قرمزتر بودن این نمونه در مقایسه با روناس های ایرانی می باشد.

با اندازه گیری انعکاس نمونه های رنگریزی شده در محدوده مرئی، طیف های انعکاسی آن ها حاصل شدند که در تصویر ۳ آورده شده اند. روند طیف های انعکاسی کلیه نمونه ها کاملاً مشابه می باشد و به میزان بسیار جزئی در طول موج های بالاتر از هم فاصله دارند. مقادیر K/S نمونه های رنگریزی شده با استفاده از مقادیر انعکاس طبق رابطه کیوبلکا-مانک (معادله ۲) قابل محاسبه می باشند (امیرشاهی و آگهیان، ۱۳۸۶، ۱۳۱). در تصویر ۴ منحنی های مربوط به مقادیر K/S نمونه ها نشان داده شده اند و همانگونه که انتظار می رود، منحنی های مربوط به K/S در طول موج های کوتاه از هم فاصله دارند.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad \text{معادله ۲}$$



تصویر ۳: منحنی های انعکاسی نمونه های پشم تبریز رنگریزی شده توسط انواع روناس جمع آوری شده (نگارنده، ۱۴۰۰)

جدول شماره ۱: مشخصات رنگی نمونه های رنگریزی شده تحت استاندارد نوری D65 و مشاهده کننده استاندارد 1964 (نگارنده، ۱۴۰۰)

نمونه روناس	روشنایی	*a	*b	خلوص	زاویه فام
کویر یزد	۳۴/۷۸۰۵	۳۱/۶۴۴۱	۲۴/۵۴۳۹	۴۰/۰۴۶۹	۳۷/۷۹۸۰
مدیترانه	۳۴/۵۷۸۳	۳۲/۸۰۰۵	۲۲/۳۳۹۹	۳۹/۶۸۵۶	۳۴/۲۵۸۲
کرمان	۳۴/۴۳۵۷	۳۱/۵۲۴۹	۲۵/۷۶۸۹	۴۰/۷۱۶۸	۳۹/۲۶۳۱
بافق	۳۳/۲۳۶۵	۳۲/۸۱۷۹	۲۶/۰۷۰۳	۴۱/۹۱۲۷	۳۸/۴۶۳۴
خوربیبانک	۳۳/۹۰۶۹	۳۳/۰۳۵۹	۲۷/۵۲۴۷	۴۲/۹۹۹۷	۳۹/۸۰۰۳
نائین	۳۲/۷۶۲۹	۳۱/۴۳۳۱	۲۴/۵۸۶۲	۳۹/۹۰۶۴	۳۸/۰۳۱۷
اردکان	۳۳/۶۲۸۸	۳۱/۱۲۰۸	۲۴/۴۴۶۴	۳۹/۵۷۴۳	۳۸/۱۵۰۸
اردکان (درجه یک)	۳۳/۷۸۱۷	۳۲/۳۷۷۳	۲۴/۹۹۱۰	۴۰/۹۰۰۴	۳۷/۶۶۳۴
اردکان (ممتاز)	۳۳/۲۴۳۳	۳۱/۵۷۱۳	۲۴/۴۶۳۲	۳۹/۹۳۹۸	۳۷/۷۷۰۵

با استفاده از روش تحلیل اجزاء اصلی، بردارهای ویژه و مقادیر ویژه مجموعه داده‌های انعکاسی گونه‌های مختلف روناس حاصل شدند. به منظور ارزیابی اهمیت هر یک از بردارهای ویژه داده‌ها و نیز تعیین توابع پایه، مقدار واریانس جمعی مجموعه مذکور محاسبه شد که نتایج در جدول ۲ درج گردیده‌اند. بدین ترتیب که سطر  $\lambda_m$  این جدول، مقادیر واریانس جمعی را به ازاء  $i$  جزء اصلی نشان می‌دهد که در واقع بیانگر اهمیت پراکندگی داده‌ها در جهت  $i$  جزء اصلی می‌باشد. آنچه مسلم است با در نظر گرفتن تعداد بیشتری از بردارهای ویژه و در نتیجه افزایش اجزاء اصلی درصد واریانس نیز افزایش

می‌یابد. در مورد مجموعه داده مورد بررسی که دارای ۳۱ بعد است از بعد هشتم به بعد درصد واریانس جمعی ۱۰۰ می‌شود. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن اولین و سومین تابع پایه، به ترتیب درصد واریانس جمعی ۹۰/۷۵۸۷٪ و ۹۹/۵۹۳۸٪ حاصل می‌شود. این در حالی است که برای مجموعه ۱۲۶۹ عضو مانسل، این مقدار برای نخستین تابع پایه برابر ۷۶/۵۵۴۸٪ می‌باشد و استفاده از سه تابع پایه این مقدار را به ۹۸/۵۲۷۴٪ افزایش خواهد داد. (قانعان و امیرشاهی، ۲۰۰۶، ۴۹).

جدول شماره ۲: مقادیر واریانس جمعی مجموعه داده رنگریزی شده توسط انواع مختلف روناس (نگارنده، ۱۴۰۰)

خطای میانگین مجذور مربعات				اختلاف رنگ			تعداد توابع پایه بکار گرفته شده در بازسازی
میانگین	بیشینه	کمینه	میان	میانگین	بیشینه	کمینه	
$4-1.0 \times 1/965$	$4-1.0 \times 2/905$	$4-1.0 \times 1/026$	$4-1.0 \times 1/938$	۱/۲۵۲۷	۲/۷۸۶۳	۰/۳۲۰۶	۰/۹۸۲۸
$4-1.0 \times 1/101$	$4-1.0 \times 1/760$	$4-1.0 \times 2/244$	$4-1.0 \times 1/277$	۰/۹۶۶۸	۲/۰۲۲۴	۰/۱۸۱۲	۰/۸۴۶۵
$5-1.0 \times 3/709$	$5-1.0 \times 8/632$	$6-1.0 \times 7/474$	$5-1.0 \times 3/388$	۰/۲۵۳۶	۰/۴۴۸۵	۰/۰۴۹۸	۰/۲۳۵۵
$5-1.0 \times 1/244$	$5-1.0 \times 2/253$	$6-1.0 \times 3/949$	$5-1.0 \times 1/358$	۰/۰۴۱۴	۰/۰۷۱۶	۰/۰۱۹۳	۰/۰۳۰۶
$6-1.0 \times 8/130$	$5-1.0 \times 1/903$	$6-1.0 \times 3/493$	$6-1.0 \times 6/579$	۰/۰۲۲۳	۰/۰۳۶۸	۰/۰۰۶۰	۰/۰۲۰۹

جدول شماره ۳: مقادیر خطای بازسازی طیف انعکاسی پشم رنگریزی شده توسط انواع مختلف روناس به ازاء تعداد توابع پایه مختلف (نگارنده، ۱۴۰۰)

تعداد توابع پایه	واریانس جمعی (%)
۱	۹۰/۷۵۸۷
۲	۹۶/۸۰۰۰
۳	۹۹/۵۹۳۸
۴	۹۹/۹۵۹۵
۵	۹۹/۹۸۲۰
۶	۹۹/۹۹۳۱
۷	۹۹/۹۹۷۵
۸	۱۰۰/۰۰۰۰

در نهایت با استفاده از تعداد ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ تابع پایه مقادیر انعکاسی نمونه‌ها بازسازی شدند و در مورد هر نمونه خطای رنگی و طیفی بازسازی به ترتیب به صورت اختلاف رنگ و میانگین مجذور مربعات خطا بین طیف اصلی و بازسازی شده

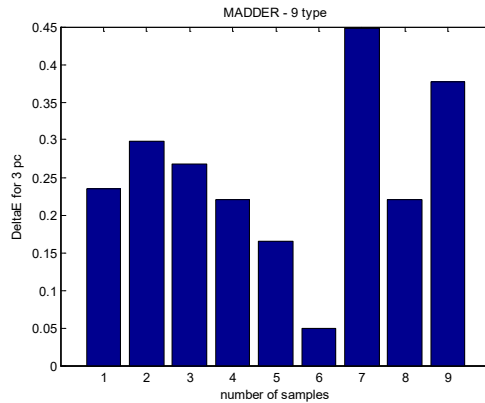
محاسبه شد که در جدول ۳ آورده شده است. از بررسی مقادیر خطای بازسازی مندرج در جدول اخیر می‌توان دریافت که با افزایش تعداد توابع پایه خطای بازسازی کاهش می‌یابد به نحویکه می‌توان با بکارگیری ۳ تابع پایه نمونه



است در بکارگیری سه تابع پایه بهترین و بدترین بازسازی به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۶ (نائین) و ۷ (اردکان) است.

اصلی و بازسازی شده را بر هم منطبق دانست. نمودار میله‌ای ۱ نشانگر اختلاف رنگ هر نمونه اصلی با نمونه بازسازی شده توسط سه تابع پایه است و همانگونه که در نمودار مشخص

نمودار ۱: اختلاف رنگ نمونه اصلی با نمونه بازسازی شده توسط سه تابع پایه (نگارنده، ۱۴۰۰)



در این راستا پیشنهاد می‌شود اثر عوامل ذکر شده بر شید نهایی انواع مختلف روناس نیز بررسی شود. به علاوه پیشنهاد می‌شود که تحقیق مشابهی بر روی سایر رنگزاهای طبیعی پرمصرف در رنگرزی خامه قالی ایرانی همچون قرمزخانه، اسپرک، پوست انار، پوست گردو و ... صورت پذیرد.

#### پی نوشت:

- 1- Natural Dyes
- 2- Rubiaceae
- 3- Rubia Tinctorum
- 4- Principal Component Analysis-
- 5- Basis functions
- 6- Cumulative Variance
- 7- Mathematical Laboratory (Matlab)

#### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی طیف جذبی محلول‌های شفاف بدست آمده از انواع جمع‌آوری شده روناس تفاوت چندانی با هم ندارند. از سوی دیگر مقایسه خصوصیات طیفی و رنگی نمونه‌های پشمی رنگرزی شده توسط گونه‌های مختلف روناس به یک روش مشابه دندانه‌دهی و رنگرزی نیز نشان داد که تنها اختلاف بسیار جزئی بین نمونه‌های روناس ایرانی و مدیترانه وجود دارد. بنابراین به نظر می‌رسد اختلاف رنگ بین نمونه‌های مختلف خامه قالی رنگرزی شده توسط روناس ایرانی چندان به محل کشت روناس، سن آن و حتی نحوه آسیاب کردن آن وابسته نیست بلکه دلیل اصلی این اختلاف نحوه رنگرزی می‌باشد که عواملی همچون میزان دندانه مصرفی، میزان رنگزا و نحوه استفاده از آن در حمام، زمان رنگرزی، دمای رنگرزی، اسیدیته حمام رنگرزی و ... در این میان بیشترین تأثیر را دارند.

#### منابع

۱. امیرشاهی، سید حسین و آگهیان، فرناز: (۱۳۸۶). فیزیک رنگ محاسباتی، چاپ اول. اصفهان: انتشارات ارکان دانش.
۲. قانعان، سروناز: (۱۳۹۶). مطالعه و مستندنگاری شیوه‌های رنگرزی سنتی خامه قالی با استفاده از مواد رنگزای طبیعی (گام نخست: روناس)، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری.
3. Angelini, L. G.; Pistelli, L.; Belloni, P.; Bertoli, A.; Panconesi, S. "Rubia tinctorum a source of natural dyes: agronomic evaluation, quantitative analysis of alizarin and industrial assays". Industrial Crops and



Products. 1997 (6), pp. 303-311.

4. Baghalian, K.; Maghsodi, M.; Naghavi, M. R. "Genetic diversity of Iranian madder (*Rubia tinctorum*) populations based on agro-morphological traits, phytochemical content and RAPD markers". *Industrial Crops and Products*. 2010 (31), pp. 557-562.

5. Cuoco, G.; Mathe, C.; Archier, P.; Viellescazes, C. "Characterization of Madder and garancine in historic French red Materials by liquid chromatography-photodiode array detection". *Journal of Cultural Heritage*. 2011 (12), pp. 98-104.

6. El-shishtawy, R. M.; Shokry, G. M.; Ahmed, N. S. E.; Kamel, M. M. "Dyeing of Modified Acrylic Fibers with Curcumin and Madder Natural Dyes". *Fibers and Polymers*. 2009 (10), pp. 617-624.

7. Fairman, H. S.; Brill, M. H. "The Principal Components of Reflectances". *Color Research and Application*. 2004 (29), pp. 104-110.

8. Ghanbar Afjeh, M.; Ghanean, S.; Mazaheri, F. "Colorimetric and Spectral Properties of Natural Colorants Used in Handmade Traditional Persian Carpets". *Journal of Textiles and Polymers*. 2013 (1), pp. 98-104.

9. Ghanean, S.; Amirshahi, S.H. "Color Gamut of Natural Dyes Used for Persian Woolen Carpet". *International Symposium-workshop on Natural Dyes (November 6-12), Hyderabad, India, 2006*.

10. Ghanean, S. "Imaginative Combinations of Indigo in Persian Carpet". *International Symposium and Exhibition on Natural dyes (September 22-27), Daegu, South Korea, 2008*.

11. Ghanean, S., Ghanbar Afjeh M. "Application of the nondestructive second derivative spectrophotometry to eliminate the effect of substrate in identification of madder used in Persian carpets". *Color Res Application*. 2018 (43), pp. 238-246.

12. Ghanean, S., Ghanbar Afjeh M. "Application of derivative spectrophotometry to determine the relation between color intensity & dye concentration of Madder". *Prog. Color Colorants Coats*. 2016 (9), pp. 183-194.

13. Guinot, P.; Rage, A.; Gargadennec, A.; Garcia, M.; Dupont, D.; Lecoer, E.; Candelier, L.; Andary, C. "Dyeing plants screening: an approach to combine past heritage and present development". *Coloration Technology*. 2006 (122), pp. 93-101.

14. Gupta, D.; Gulrajani, M. L.; Kumari, S. "Light fastness of naturally occurring anthraquinone dyes on nylon". *Coloration Technology*. 2004 (120), pp. 205-212.

15. Han, Y.S.; Heijden, R. V. D.; Verpoorte, R. "Biosynthesis of anthraquinones in cell cultures of the Rubiaceae". *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2001 (67), pp. 201-220.

16. Maghsoudi, M.; Ghanbar Afjeh, M.; Ghanean, S. "Optimizing Wool Dyeing with Madder and Effect of the Mordant Type on its Spectral and Color Data", 14th National & 1st International Recent Developments, Textile Technology and Chemistry Symposium (May 8-10), Bursa, Turkey, 2013.

17. McDonald, R. (1997). *Colour Physics for Industry*, second edition. Society of Dyers & Colourists.

18. Nakanishi, F.; Nagasawa, Y.; Kabaya, Y.; Sekimoto, H.; Shimomura, K. "characterization of lucidin formation in *Rubia tinctorum* L.". *Plant Physiol. Biochem*. 2005 (43), pp. 921-928.

19. Siebenborn, S.; Marquard, R.; Turgut, I.; Yuce, S. "Evaluation of Different Madder Genotypes (*Rubia tinctorum* L.) for Dyestuff Production". *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*. 2002 (9), pp. 281-287.

20. Tzeng, D. Y.; Berns, R. S. "A Review of Principal Component Analysis and its Applications to Color Technology". *Color Research and Applications*. 2005 (30), pp. 84-98.



21. Vankar, P. S. "Chemistry of Natural Dyes". Resonance. 2000 (5), pp. 73-80.
22. Vir Singh, SH.; Purohit, M.C. "Applications of Eco-Friendly Natural Dye on Wool Fibers Using Combination of Natural and Chemical Mordants". Universal Journal of Environmental Research and Technology. 2012 (2), pp. 48-55.

