تاثیر دندانه‌های گیاهی و فلزی بر پارامترهای رنگ‌سنجی و خواص ثباتی نخ-های پشم رنگرزی شده با رنگزای طبیعی قرمزدانه

مجید طهرانی[1*]، نجمه مالکی فارسانی[1]

[1]دانشکده هنر، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

mtehrani@sku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶

چکیده

در این تحقیق تأثیر نوع و مقدار دندانه فلزی و طبیعی بر ویژگی‌های رنگ‌سنجی و ثباتی نخ‌های پشم رنگرزی شده با رنگزای استخراج شده از قرمزدانه مطالعه شده است. هدف از این مطالعه نه تنها بررسی پتانسیل رنگ‌دهی قرمزدانه و معرفی فام‌های جدید بر روی الیاف پشم تحت تأثیر دندانه‌های طبیعی است، بلکه بهبود درجه ثبات و پایداری رنگزا در برابر شستشو، نور و حرارت می‌باشد. از نمکهای سولفات مضاعف آلومینیوم پتاسیم و سولفات مس به عنوان دندانه فلزی و مواد گیاهی همچون پوست موز، پوست کدو، پوست تخم مرغ، هلیله زرد، سماق، پوست پیاز قرمز، مازو و پودر هسته خرما به عنوان دندانه طبیعی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند نمونه‌های دندانه فلزی قدرت رنگی برابر یا کمتر از نمونه بدون دندانه دارند، اما ثبات شستشویی و نوری این نمونه‌ها یک تا دو درجه بهتر از نمونه بدون دندانه است. مقایسه نمونه‌های دندانه طبیعی با نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم نشان می‌دهد قدرت رنگی همه نمونه‌های دندانه طبیعی از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم بالاتر است. لذا برای ایجاد فام قرمز می‌توان از مواد طبیعی دارای گروه‌های فنول همچون مازو، سماق، پوست پیاز قرمز و هسته خرما به عنوان دندانه در رنگرزی الیاف پشم با رنگزای قرمزدانه استفاده نمود. این مواد علاوه بر سازگاری با محیط زیست و تاثیر نگذاشتن بر روی فام اصلی قرمزدانه، قدرت رنگی و ثبات حرارتی، شستشویی و نوری خوبی بر روی الیاف پشم نسبت به دندانه فلزی آلومینیوم ایجاد نموده‌اند.

واژه‌های کلیدی: قرمزدانه، دندانه فلزی، دندانه طبیعی، ثبات شستشویی، ثبات نوری، ثبات حرارتی

The effect of plant and metallic mordants on the colorimetric and fastness properties of wool yarns dyed with cochineal natural colorant

Majid Tehrani[1*], Najme Maleki Farsani[1]

[1] Department of Art, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, 5681188617

mtehrani@sku.ac.ir

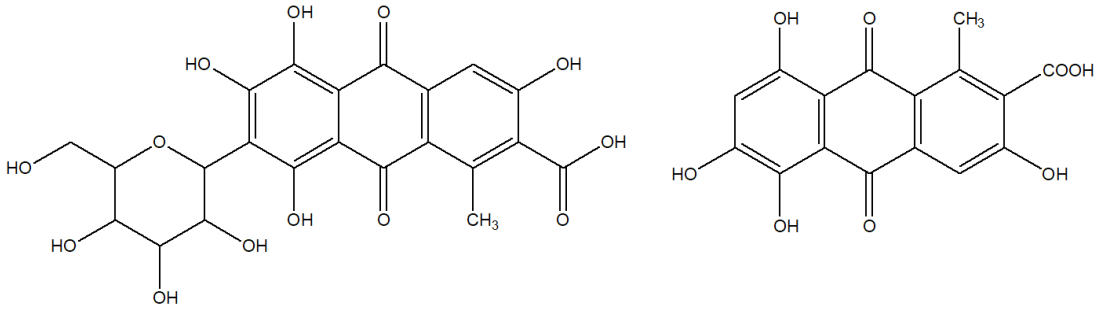
Abstract

In this research, the effect of the type and amount of metallic and bio-mordants on the colorimetric and fastness characteristics of wool yarns dyed with colorants extracted from cochineal has been studied. The purpose of this study is not only to investigate the potential of cochineal dye ability and introducing new shades on wool fibers under the influence of natural mordants, but also to improve the color fastness against wash, light and heat. Potassium aluminum sulfate and copper sulfate were used as metallic mordants, while plant materials such as banana peel, zucchini peel, eggshell, myrobalan, rhus, red onion peel, quercus infectoria and date kernel were used as bio-mordant. Results indicated that metal-mordanted samples exhibited color strength comparable to or lower than the un-mordanted samples; however, their fastness to washing and light was one to two grades higher. Comparison of natural mordants with aluminum showed that all natural mordants yielded higher color strength. Therefore, for achieving red shades, natural materials rich in phenolic groups, such as rhus, red onion peel, quercus infectoria and date kernel can be used as bio-mordant for dyeing wool fibers with cochineal colorant. These materials, in addition to being environmentally friendly and without altering the original shade of cochineal, provided good color strength and fastness to washing, light, and heat compared to aluminum mordant.

Keywords: Cochineal, Metallic mordant, Bio-mordant, Washing fastness, Light fastness, Thermal fastness

۱- مقدمه

رنگزاهای شیمیایی و یا رنگرزی طبیعی با استفاده از دندانه های فلزی، آسیب‌های زیست محیطی و خطرهای بیولوژیکی فراوانی برای موجودات زنده دارند. رنگزاهای طبیعی و مواد گیاهی استفاده شده به عنوان دندانه می‌توانند جایگزینی برای مواد شیمیایی باشند. رنگزاهای طبیعی و دندانه‌های گیاهی با محیط زیست سازگار هستند و آسیبی بر روی خاک، آب و موجودات زنده ایجاد نمی‌کنند [۲، ۱]. لذا معرفی رنگزاها و دندانه‌های طبیعی ارزش اخلاقی و صنعتی بسیار بالایی دارد. قرمزدانه[1] ماده رنگزای طبیعی است که منشا جانوری داشته و از بدن حشراتی به همین اسم به دست می‌آیند. قرمزدانه یا پودر کارمن، علاوه بر استفاده در رنگرزی منسوجات، در صنایع غذایی و آرایشی به عنوان رنگزا کاربرد دارد. حشره قرمزدانه از دسته هوموپترا[2] است. این حشره بر روی نوعی کاکتوس وحشی و بیشتر در مناطق آسیا، اروپا و آمریکای جنوبی زندگی می‌کند. مکزیک، جزایر قناری و پرو مراکز عمده برای پرورش و رشد قرمزدانه می‌باشند [۴، ۳]. اجزای سازنده قرمزدانه، اسید کارمینیک[3] و اسید کرمزیک[4] هستند. بخش اصلی و عمده رنگزای قرمزدانه اسید کارمینیک می‌باشد که بر پایه آنتراکینون است. قرمزدانه خشک حاوی ۱۷ تا ۲۴ درصد اسید کارمینیک است که حلالیت خوبی در آب دارد. در شکل ۱ ساختار شیمیایی اسید کارمینیک و اسید کرمزیک آورده شده است [۶، ۵].



شکل ۱: ساختار شیمیایی اسید کارمینیک (سمت چپ) و اسید کرمزیک (سمت راست) [۶، ۵]

با توجه به وجود ساختارهای رنگی در قرمزدانه، این رنگزا در تعدادی از تحقیق‌ها در کنار دندانه‌های فلزی برای رنگرزی منسوجات استفاده شده است. در این زمینه، ولی‌پور و همکارانش [۷] تاثیر نوع دندانه فلزی وpH را بر ویژگیهای

[1]. C.I Natural Red; CI 75470
[2] Homoptera
[3] Carminic acid
[4] Kermesic acid

رنگی و ثباتی الیاف پشم رنگرزی شده با رنگزای قرمزدانه بررسی نمودند. شمس ناتری و همکارانش [۸] اثر تغییر روش رنگرزی بر پارامترهای رنگی پارچه های پشمی و نایلونی رنگرزی شده با دندانه های فلزی و رنگزای قرمزدانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. سولتوویک و همکارانش [۹] تاثیر دندانه-های فلزی را در شرایط بهینه رنگرزی بر پارامترهای رنگی و ثباتی پارچه پنبه بررسی نموده‌اند.

همان‌طور که اشاره شد استفاده از دندانه‌های فلزی، مشکلات زیست محیطی زیادی ایجاد می‌نماید [۱]. از این رو در تحقیقات مختلف سعی شده است تا با روش‌های نوین دندانه-های فلزی را از فرآیند رنگرزی با قرمزدانه حذف کرده و یا نیاز به آنها را کاهش دهند. در این زمینه، حاجی و همکارانش با استفاده از عملیات پلاسما و بدون استفاده از دندانه‌های فلزی، قدرت رنگ بالاتری را از رنگزای قرمزدانه روی الیاف پشم به دست آوردند [۱۰]. امین [۱۱] و آدیل [۱۲] استخراج رنگزا به کمک امواج مایکروویو از حشره قرمزدانه را برای رنگرزی الیاف ابریشم و پشم مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند استفاده از امواج مایکروویو نه تنها باعث افزایش رنگزای استخراج شده از قرمزدانه به ویژه در حلال‌های اسیدی شده است بلکه پارامترهای رنگی در پارچه‌های ابریشمی و پشمی رنگرزی شده با رنگزاهای استخراج شده و دندانه‌های طبیعی بهبود یافته است. جیاکومینی استفاده از پروتئین اووالبومین[1] را برای کاتیونیزه کردن پنبه به منظور بهبود رنگرزی آن با رنگزای قرمزدانه بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که اووالبومین جایگزین مناسب و سازگار با محیط زیست برای دندانه‌های فلزی در رنگرزی پنبه با قرمزدانه است [۱۳].

در سال‌های اخیر تحقیقاتی مبنی بر استفاده از مواد طبیعی به‌عنوان جایگزینی برای مواد فلزی در فرآیند رنگرزی انجام شده است. دندانه‌های طبیعی دوست‌دار محیط زیست هستند و عملکرد آنها از نظر عمق و ثبات رنگزا، برابر و یا در برخی موارد بهتر از دندانه‌های فلزی بوده است [۱۴-۱۷]. در تحقیقات محدودی از دندانه‌های طبیعی برای رنگرزی الیاف پروتئینی با رنگزای قرمزدانه استفاده شده است. امین [۱۱] و آدیل [۱۲] تأثیر دندانه‌های طبیعی مانند برگ حنا، پوست اقاقیا و پوست انار را بر قدرت رنگی پارچه‌های پشمی و ابریشمی رنگرزی شده با قرمزدانه مطالعه کردند. آمایاپان [۱۸] اثر اسید سیتریک را به عنوان یک دندانه طبیعی و ترکیب آن با دندانه‌های فلزی بر خواص رنگ‌سنجی نخ‌های پشمی مورد استفاده در فرش دستباف بررسی کردند. بررسی تحقیق‌های پیشین نشان می‌دهد اثر دندانه‌های طبیعی بر پارامترهای رنگ‌سنجی و خواص ثباتی الیاف رنگرزی شده با رنگزای قرمزدانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق تأثیر روش رنگرزی و نوع دندانه‌های فلزی و طبیعی بر پارامترهای رنگ‌سنجی و خواص ثباتی نخ‌های پشم رنگرزی شده با رنگزای قرمزدانه بررسی و مقایسه شده است. هدف از

[1] Ovalbumin

این مطالعه نه تنها بررسی پتانسیل رنگرزی قرمزدانه و معرفی فام‌های جدید بر روی الیاف پشم تحت تأثیر دندانه‌های طبیعی است، بلکه بهبود درجه ثبات و پایداری رنگزا در برابر شستشو، نور و حرارت می‌باشد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد استفاده شده

در این تحقیق از سولفات مضاعف آلومینیوم پتاسیم و سولفات مس (شرکت مرک) به عنوان دندانه فلزی و پوست موز، پوست کدو، پوست تخم مرغ، هلیله زرد، سماق، پوست پیاز قرمز، مازو و پودر هسته خرما به عنوان دندانه طبیعی استفاده شد. دندانه‌های طبیعی از فروشگاه‌های محلی یا از پسماند مواد خوراکی تهیه شد. این مواد ابتدا کاملا شسته و خشک شدند، سپس با استفاده از آسیاب صنعتی پودر شدند. اسید استیک (شرکت مرک) برای تنظیم pH در مرحله دندانه‌دادن و رنگرزی استفاده شد.

۲-۲- استخراج رنگزا

استخراج رنگزای قرمزدانه طبق مراحل زیر انجام شد:

- برای افزایش مقدار رنگزای استخراج شده، قرمزدانه کاملا پودر شد.
- پودر قرمزدانه (با غلظت ۱ درصد) در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد.
- قرمزدانه خیس خورده با هم زدن مداوم به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد.
- محلول حاصل از فیلتر شماره ۴۲ (شرکت واتمن کشور انگلیس) عبور داده شد و عصاره رنگی شفافی به دست آمد [۷].

۲-۳- آماده‌سازی نخها برای رنگرزی

برای رنگرزی از نخ دولای پشمی حاصل از الیاف مرینوس با نمره ۲۰۰ تکس و ۱۰۰ تاب در متر (شرکت هورنگ) استفاده شد. برای حذف ناخالصی‌ها نخ‌های پشمی، ابتدا کالای پشمی در محلول دو گرم در لیتر شوینده غیر یونی(لیساپول ان سی[1]) در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه غوطه-ور شد، آنگاه با آب چند بار شسته شد.

۲-۴- دندانه دادن و رنگرزی

رنگرزی و دندانه‌دادن با سه روش پیش‌دندانه، همزمان و پس-دندانه در حمام‌هایی با دندانه‌های مختلف فلزی و طبیعی انجام شد. برای دندانه‌دادن، ابتدا نخ‌های پشمی در محلول دندانه با pH، ۴/۵ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، آنگاه دما طی ۳۰ دقیقه تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به مدت ۴۵ دقیقه در این دما عملیات دندانه‌دادن انجام شد. رنگرزی به روش رمق‌کشی در حمامی حاوی ۸ درصد عصاره قرمزدانه و pH، ۴/۵ در دمای ۴۰ درجه سانتی-گراد شروع شد، آنگاه دما طی ۳۰ دقیقه تا ۹۰ درجه سانتی-گراد افزایش یافت و عملیات رنگرزی به مدت ۶۰ دقیقه در این دما ادامه یافت. در مرحله دندانه دادن از ۱۰ درصد سولفات مضاعف آلومینیوم پتاسیم و ۵ درصد سولفات مس استفاده شد. همچنین برای بررسی تاثیر مقدار دندانه‌های

[1] Lissapol NC

طبیعی بر ویژگی‌های رنگ‌سنجی نمونه‌های رنگرزی شده، از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد دندانه طبیعی استفاده شد. در همه حمام‌ها نسبت حجم حمام به وزن کالا ۱:۵۰ انتخاب شد.

۲-۲- پارامترهای رنگ‌سنجی، خواص ثباتی و دستگاههای مورد استفاده

تفاوت میان عمق رنگی نمونه‌ها با اندازه‌گیری طیف انعکاسی آنها در ناحیه مرئی (محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) و سپس محاسبه مقدار محرکه‌های سه‌گانه و قدرت رنگی مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری طیف انعکاسی نمونه‌ها از دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی YS6010 (شرکت شنژن چین) با منبع نوری D65 و زاویه مشاهده‌کننده استاندارد ۱۰ درجه استفاده شد. مقدار قدرت رنگی (K/S) و قدرت نسبی رنگ $(K/S)_R$ نمونه‌ها با استفاده از رابطه‌های شماره ۱ و ۲ محاسبه گردید.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (۱)$$

$$(\frac{K}{S})_R\ (\%) = \frac{(\frac{K}{S})_m}{(\frac{K}{S})_{um}} \times 100 \quad (۲)$$

در رابطه شماره ۱، K/S نسبت ضریب جذب به انتشار منسوج رنگرزی شده (قدرت رنگی) و R مقدار بازتاب آن در طول موج مینیمم انعکاس است. در رابطه شماره ۲، $(K/S)_m$ و $(K/S)_{um}$ به ترتیب قدرت رنگی نمونه دندانه‌دار و نمونه بدون دندانه (نمونه کنترل) است.

تغییر رنگ نمونه‌ها بین نمونه کنترل (نمونه بدون دندانه) و نمونه نخ‌های دندانه‌دار رنگرزی شده مطابق با رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (۳)$$

ثبات رنگزا در برابر شستشو و نور بر اساس استانداردهای ایزو تعیین شد. ثبات شستشویی نمونه‌های رنگرزی شده بر اساس روش تغییر رنگ تعیین گردید. در این روش، مطابق استاندارد ISO 105-C06:2010، نخ‌های رنگرزی شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب و ۲ درصد شوینده غیریونی شسته شد. آنگاه تغییر رنگ نخ‌ها مطابق با مقیاس خاکستری و بر اساس استاندارد ISO105-A02 تعیین شد. برای تعیین ثبات رنگزا در برابر شستشو، نمونه‌های رنگرزی شده سه بار مطابق دستورالعمل اشاره شده شسته شدند. ثبات نوری نمونه‌های رنگرزی شده با استفاده از استاندارد ISO105-B02:2013 و مقیاس آبی در دستگاه سنجش ثبات نوری ساخت شرکت ریس‌سنج ایران تعیین شد. برای تعیین ثبات رنگزا در برابر نور، نمونه‌های رنگرزی شده به ترتیب ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت در معرض نور قرار داده شدند. برای تعیین ثبات حرارتی، نخ‌های پشمی رنگرزی شده در آون شرکت فن آزما گستر ساخت ایران با گیره آویزان شدند. نمونه‌ها برای دوره های زمانی ۲، ۴ و ۶ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

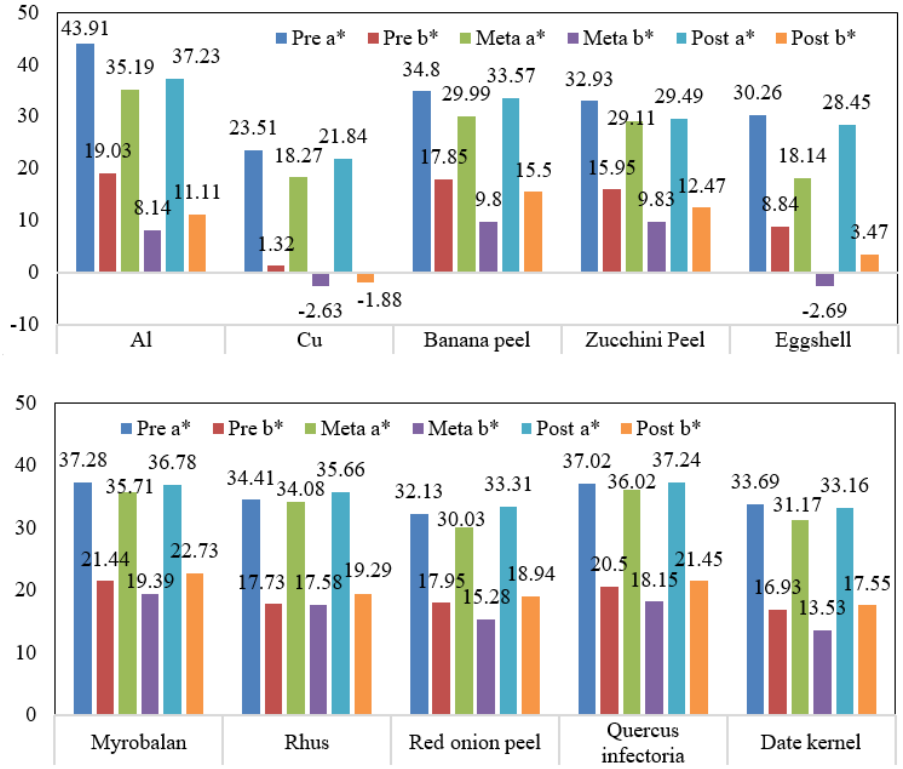
۳-۱- تاثیر روش رنگرزی بر پارامترهای رنگ‌سنجی و خواص ثباتی

نتایج تغییر روش رنگرزی بر فام به دست آمده از رنگزای قرمزدانه در حضور دندانه‌های فلزی و طبیعی مختلف در شکل ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد تغییر روش رنگرزی در نمونه‌های دندانه فلزی و دندانه طبیعی پوست تخم مرغ باعث تغییر نوع فام و شدت رنگ شده است، اما در سایر نمونه-های دندانه طبیعی فقط شدت رنگ تغییر کرده است. داده-های رنگ‌سنجی (*a و *b) ارایه شده در شکل ۳ این نتایج را تایید می‌کنند. نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم در روش پیش‌دندانه، فام نارنجی متمایل به قرمز، در روش همزمان، قرمز و در روش پس‌دندانه، قرمز متمایل به نارنجی دارد. این نمونه در روش پیش‌دندانه، بیشترین مقدار زردی (b*=19.03) و در روش همزمان کمترین مقدار زردی (a*=8.14) را دارد. نمونه رنگرزی شده با دندانه مس در روش پیش‌دندانه، فام قرمز تیره (a*=23.51 و b*=1.32)، در روش همزمان، بنفش متمایل به آبی (a*=18.27 وb*=-2.63) و در روش پس‌دندانه، بنفش تیره (a*=21.84 و b*=-1.88) داشته است. نمونه رنگرزی شده با دندانه پوست تخم مرغ در روش پیش‌دندانه، فام قرمز متمایل به نارنجی (a*=30.26 و b*=8.84)، در روش همزمان، بنفش متمایل به آبی (a*=18.14 و b*=-2.69) و پس‌دندانه، قرمز تیره (a*=28.45 و b*=3.47) داشته است. پوست تخم مرغ در روش همزمان باعث تغییر pH محیط رنگرزی (افزایش pH) [۱۹] و تغییر فام در نمونه‌های پشم رنگرزی شده گردیده است [۷]. مطابق نتایج شکل‌های ۲ و ۳، فام سایر نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی در روش‌های مختلف، قرمز متمایل به نارنجی (a*=29.11- 37.28 بزرگتر از 22.73 – b*=9.80) بوده است. در این نمونه‌ها، تغییر روش رنگرزی باعث تغییر در مقدار قرمزی و شدت رنگ شده است.

نتایج فوق نشان می‌دهند انجام فرآیند رنگرزی با استفاده از روش‌های مختلف دندانه‌دادن می‌تواند دامنه فام‌های قابل دستیابی را گسترش دهد. نتایج تجزیه و تحلیل ساختار[1] قرمزدانه نشان می‌دهد با تغییر روش رنگرزی و ترتیب وارد شدن رنگزا و دندانه به ساختار الیاف، مقدار و نوع ساختار رنگزا، مقدار دندانه جذب شده و نحوه اتصال رنگزا با زنجیرهای پلیمری درون الیاف تغییر می‌کند [۸].

[1] Principal component analysis (PCA)

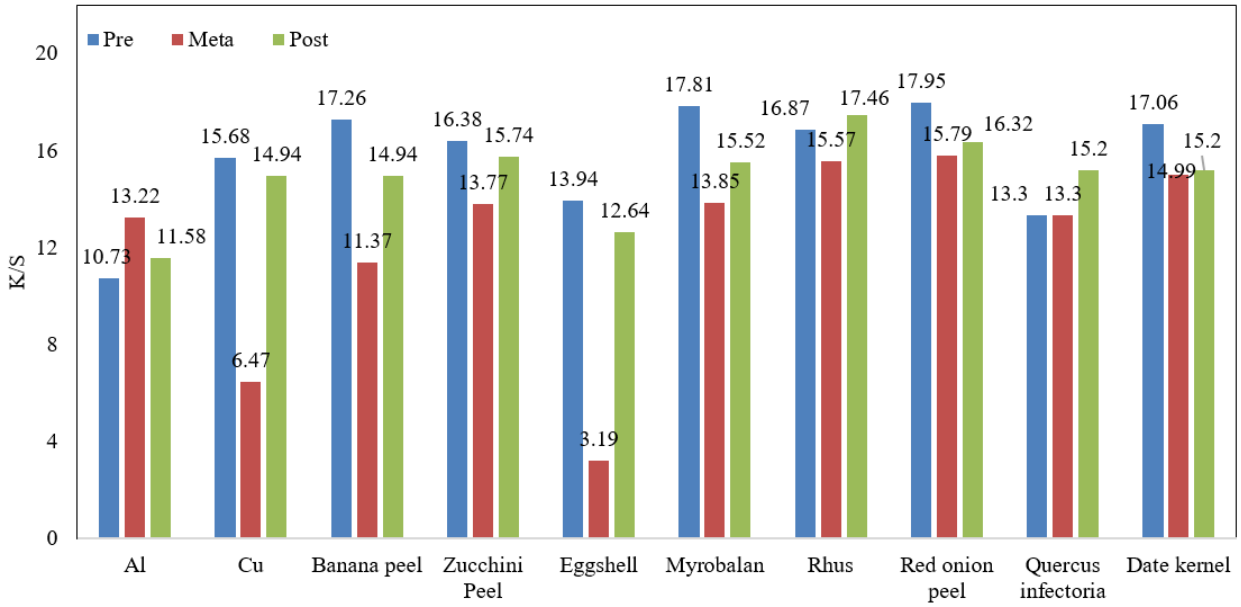
شکل ۲: نتایج بصری نمونه‌های پشم رنگرزی شده با دندانه‌های فلزی و طبیعی و روش‌های مختلف



شکل ۳: پارامترهای a* و b* نمونه‌های پشم رنگرزی شده با دندانه‌های فلزی و طبیعی و روش‌های مختلف

نتایج تغییر روش رنگرزی بر قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده در حضور دندانه‌های فلزی و طبیعی مختلف در شکل ۴ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد روش رنگرزی، پارامتر موثری بر قدرت رنگی ایجاد شده در نمونه‌های رنگرزی شده

بوده است. در اکثر نمونه‌های رنگرزی شده (به جز نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم، سماق و مازو)، روش پیش-دندانه نسبت به روش‌های همزمان و پس‌دندانه، قدرت رنگی بالاتری ایجاد کرده است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با روش پیش‌دندانه (به جز نمونه‌های اشاره شده)، ۱۲ تا ۷۷ درصد بیشتر از روش همزمان و ۴ تا ۱۴ درصد بیشتر از روش پس‌دندانه بوده است. در روش پس‌دندانه که ابتدا الیاف پشم را رنگرزی می‌کنند و سپس الیاف رنگ شده را در محلول دندانه قرار می‌دهند، به دلیل اتصال ضعیف رنگزا به الیاف، مقداری رنگزا از سطح الیاف جدا شده و وارد حمام دندانه می‌شود. بنابراین در این روش در اکثر نمونه‌ها قدرت رنگی نسبت به روش پیش‌دندانه کمی کاهش یافته است. همچنین در روش همزمان، رنگزا و دندانه با هم در حمام رنگرزی وجود دارند، لذا در برخی موارد، رنگزا و دندانه قبل از اینکه توسط الیاف جذب شوند، با یکدیگر کمپلکس تشکیل می‌دهند. اندازه بزرگ کمپلکس ایجاد شده به خصوص در حالتی که ملکول دندانه بزرگ باشد می‌تواند مانع از ورود موثر آن‌ها به ساختار الیاف و کاهش عمق رنگ شود.



شکل ۴: قدرت رنگی نمونه‌های پشم رنگرزی شده با دندانه‌ها و روش‌های مختلف در طول موج ماکزیمم جذب

نتایج تغییر روش رنگرزی بر ثبات شستشویی و نوری نمونه-های پشم رنگ شده در حضور دندانه‌های فلزی و طبیعی مختلف در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند در برخی نمونه‌ها همچون سماق و هسته خرما، تغییر روش رنگرزی تاثیری بر ثبات شستشویی و نوری نداشته است، اما در سایر نمونه‌ها تا یک درجه ثبات‌ها تغییر کرده است. مقایسه

ثبات‌های به دست آمده از روش‌های رنگرزی مختلف نشان می‌دهند در اکثر نمونه‌ها، روش همزمان ضعیف‌ترین ثبات شستشویی و نوری را داشته است. در روش همزمان، اتصال رنگزا و دندانه قبل از نفوذ و بزرگ شدن ساختار آن‌ها باعث جذب سطحی رنگزا و کاهش ثبات شستشویی و نوری شده است.

به طور کلی نتایج فوق نشان می‌دهند در رنگرزی نخ‌های پشمی با رنگزای قرمزدانه، روش پیش‌دندانه بهترین عملکرد را برای ایجاد قدرت رنگی مناسب و ثبات شستشویی و نوری مطلوب به صورت توامان داشته است. در بین روش‌های دیگر، در اکثر نمونه‌ها روش پس دندانه قدرت رنگی و ثبات شستشویی و نوری بهتری نسبت به روش همزمان داشته است.

جدول ۱: ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های پشم رنگرزی شده با دندانه‌ها و روش‌های مختلف

	پیش دندانه		همزمان		پس دندانه	
	شستشو	نور	شستشو	نور	شستشو	نور
کنترل	3	3-4	3	3-4	3	3-4
آلومینیوم	4	4-5	4	4-5	4	5
مس	4-5	5-6	4-5	5	4-5	5-6
پوست موز	3-4	4-5	3	4	3-4	4-5
پوست کدو	3-4	4-5	3-4	4	3-4	4-5
پوست تخم مرغ	3-4	3-4	3-4	4	4	4
هلیله زرد	3-4	5	4	4-5	4	4-5
سماق	4-5	5-6	4-5	5-6	4-5	5-6
پوست پیاز قرمز	4-5	5-6	4-5	5	4-5	5-6
مازو	4-5	5	4-5	5	4	5
پودر هسته خرما	4	5-6	4	4-5	4	5-6

۳-۲- تاثیر نوع و مقدار دندانه بر پارامترهای رنگ-سنجی و خواص ثباتی

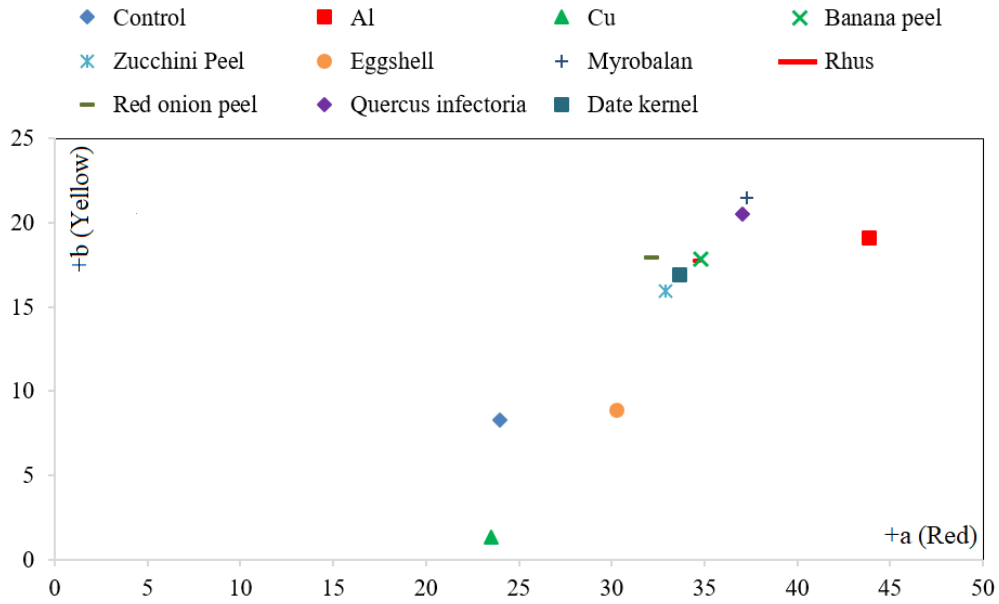
در رنگرزی با رنگزاهای طبیعی، دندانه‌دادن نه تنها برای ایجاد فام‌های جدید، بلکه برای بهبود ویژگی‌های رنگ‌سنجی ضروری است. برای دندانه می‌توان ملکول‌های دارای گروه‌های فنول را از گیاهان استخراج کرد. این نوع دندانه‌ها نه تنها با محیط زیست سازگار هستند و به ایجاد فام‌های جدید کمک می‌کنند، بلکه ویژگی‌های رنگزا همچون ثبات را نیز افزایش می‌دهند [۲۰]. تصاویر و داده‌های رنگ‌سنجی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه‌های فلزی و طبیعی مختلف به روش پیش‌دندانه در شکل ۲ و جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند فام غالب در همه نمونه‌ها قرمز بوده است و تغییر دندانه باعث تغییر در شدت رنگ قرمز ایجاد شده گردیده است. داده‌های رنگی آورده شده در شکل ۵ نیز نشان می‌دهند، با تغییر نوع دندانه، ناحیه قرارگیری نمونه‌های

مختلف در نمودار a*–b* تغییر نکرده است، اما مقدار این پارامترها در بازه گسترده‌ای تغییر کرده است. مطابق شکل ۵، همه نمونه‌های رنگرزی شده در ناحیه قرمز-زرد (+a* و +b*) قرار گرفته‌اند. در همه نمونه‌ها، مقدار پارامتر a* از b* بسیار بزرگتر بوده است که غالب بودن فام قرمز نسبت به سایر فام‌ها را تایید می‌کند. مقدار a* این نمونه‌ها در بازه ۲۳/۵۱ (نمونه رنگرزی شده با دندانه مس) تا ۴۳/۹۱ (نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم) و مقدار b* در بازه ۱/۳۲ (نمونه رنگرزی شده با دندانه مس) تا ۲۱/۴۴ (نمونه رنگرزی شده با دندانه هلیله زرد) متغیر بوده است. در بین نمونه‌های دندانه داده شده با مواد طبیعی، پوست تخم مرغ (۳۰/۲۶ و ۸/۸۴)، کمترین و مازو (۳۷/۰۲ و ۲۰/۵۰) و هلیله زرد (۳۷/۲۸ و ۲۱/۴۴)، بالاترین مقدار قرمزی (a*) و زردی (b*) را ایجاد نموده‌اند. در این نمونه‌ها میزان قرمزی هر نمونه تحت تاثیر تانن‌های موجود در آن دندانه طبیعی بوده است و گروه های رنگی موجود در این دندانه ها کمتر بر فام ایجاد شده اثر داشته‌اند. در بین نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی ، پوست تخم مرغ (۳۱/۳۷) و پوست پیاز (۳۱/۷۵) کمترین و مازو بالاترین مقدار روشنایی (۳۷/۷۵) را دارند. مقایسه نمونه-های دندانه داده شده با نمونه کنترل نشان می‌دهد استفاده از دندانه‌های مختلف (به جز دندانه مس و پوست تخم مرغ)، باعث افزایش میزان زردی در الیاف پشم رنگرزی شده گردیده است. استفاده از دندانه مس باعث کاهش مقدار زرد بودن و روشنایی در نخ‌های پشم رنگرزی شده گردیده است. در بین دندانه‌های طبیعی استفاده شده، ترکیبات موجود در پوست تخم مرغ با سایر دندانه‌ها متفاوت است. در ساختار پوست تخم مرغ، ترکیبات فلزی همچون نیکل، منگنز و کبالت وجود دارند که بر فام به دست آمده اثر می‌گذارند [۱۹]. سایر دندانه‌های طبیعی از پسماندهای گیاهان هستند و مطابق شکل ۶ حاوی گروه‌های فنول می‌باشند [۲۷-۲۱].

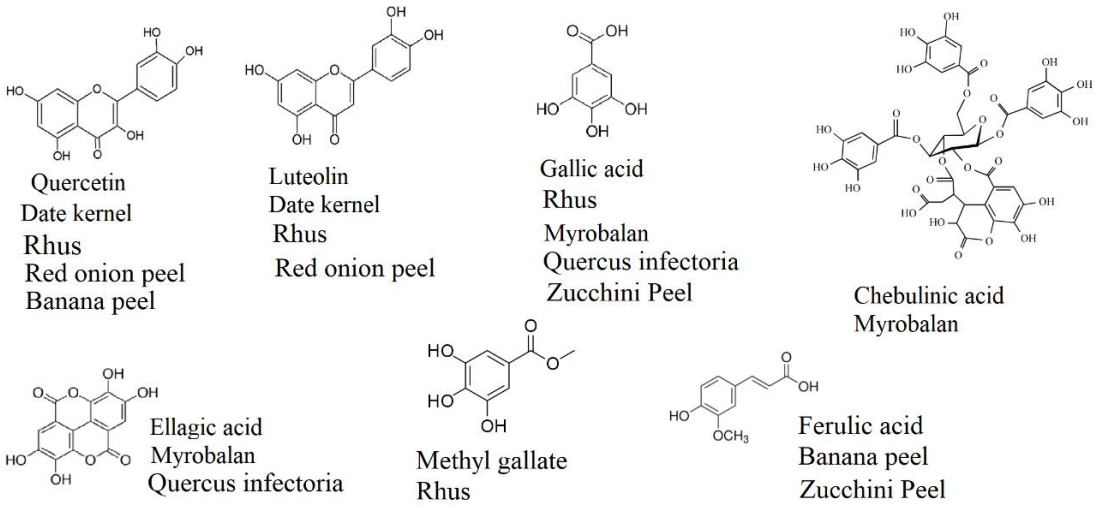
مطابق شکل ۷ یون‌های فلزی (دندانه فلزی) و گروه‌های فنولی (دندانه طبیعی) با تشکیل پیوند با گروه‌های عاملی مولکول رنگزا (OH, C=O) از یک طرف و گروه‌های عاملی پروتئین پشم (NH2, COOH)، پلی بین رنگزا و لیف ایجاد می‌کنند. طول موج نور جذب شده با اختلاف انرژی بین بالاترین اوربیتال مولکولی پر شده و پایین‌ترین اوربیتال مولکولی خالی، نسبت معکوس دارد. بنابراین بالاترین اوربیتال مولکولی پر شده و پایین‌ترین اوربیتال مولکولی خالی، به ترتیب دارای ویژگی پیوند π- و ضد پیوند π*– هستند. دندانه‌ها به خصوص نوع فلزی دارای سطوح انرژی نسبتاً پایینی هستند و ادغام آنها در یک سیستم غیرمستقر منجر به کاهش انرژی کلی می‌شود. بنابراین نوع دندانه مصرفی و قدرت اتصال دندانه با گروه‌های عاملی رنگزا و لیف بر مقدار جذب موج نور توسط کمپلکس ایجاد شده و در نهایت بر فام ایجاد شده تأثیر می-گذارد [۷].

جدول ۲: ویژگیهای رنگ‌سنجی نخهای پشم رنگرزی شده با دندانه‌های فلزی و طبیعی

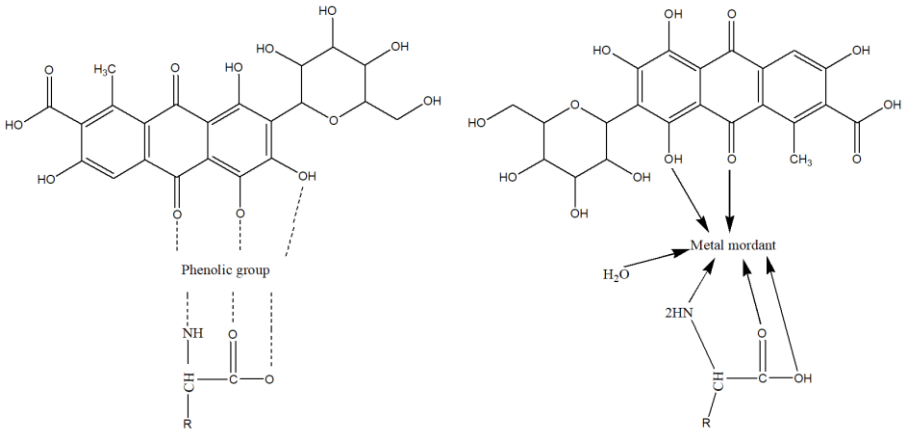
	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE	K/S at Maximum absorbance wavelength	Maximum absorbance wavelength (nm)	(K/S)R
کنترل	29.09	24.01	8.26	25.4	18.99	--	15.57	500	--
آلومینیوم	41.93	43.91	19.03	47.85	23.43	26.01	10.73	510	68.91
مس	26.21	23.51	1.32	23.55	3.21	7.54	15.68	520	100.70
پوست موز	33.06	34.80	17.85	39.11	27.16	14.97	17.26	500	110.85
پوست کدو	32.76	32.93	15.95	36.59	25.84	12.33	16.38	500	105.20
پوست تخم مرغ	31.37	30.26	8.84	31.52	16.29	6.67	13.94	510	89.53
هلیله زرد	34.00	37.28	21.44	43.01	29.90	19.33	17.81	500	114.38
سماق	33.40	34.41	17.73	38.71	27.25	14.70	16.87	500	108.34
پوست پیاز قرمز	31.75	32.13	17.95	36.80	29.19	12.91	17.95	500	115.28
مازو	37.75	37.02	20.5	42.31	28.97	19.84	13.30	500	85.42
پودر هسته خرما	32.65	33.69	16.93	37.71	26.68	13.47	17.06	500	109.56



شکل ۵: نمودار a*-b* نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه‌های فلزی و طبیعی مختلف

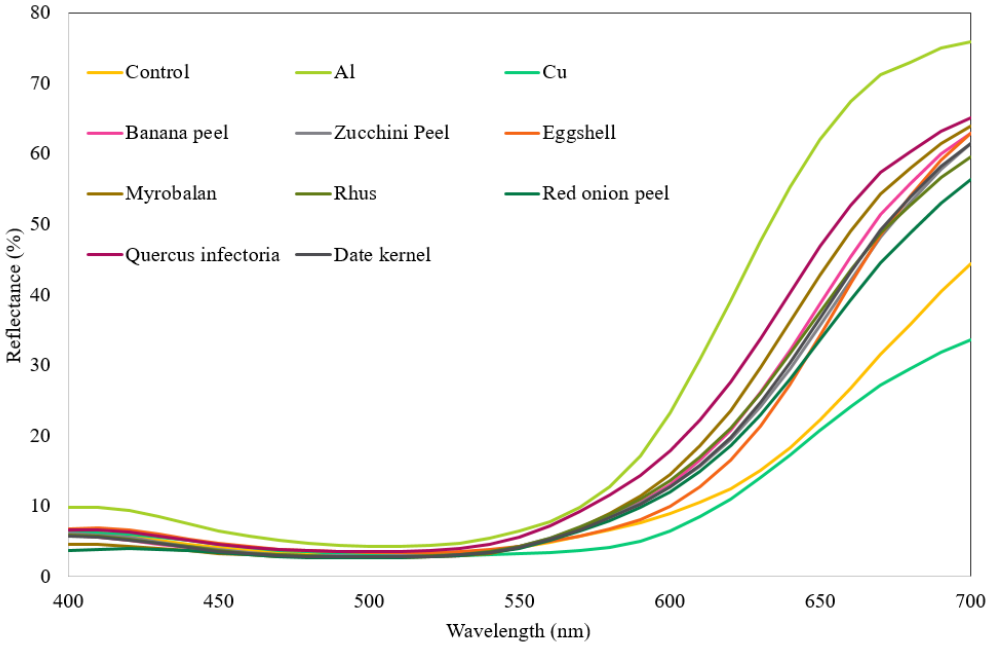


شکل ۶: ترکیبات فنلی موجود در دندانه‌های طبیعی استفاده شده [۲۷-۲۱]



شکل ۷: مکانیزم اتصال دندانه‌های فلزی و طبیعی با رنگزا و لیف [۱۱]

ضریب بازتاب نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه‌های فلزی و طبیعی مختلف به روش پیش‌دندانه در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در شکل ۸ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند در همه نمونه‌ها، در محدوده ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر، ضریب بازتاب روند ثابت یا کاهش جزیی و از ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر، روند افزایشی داشته است. در همه نمونه‌ها، بیشترین مقدار بازتاب در طول موج ۷۰۰ نانومتر و کمترین مقدار بازتاب در طول موج ۵۰۰ تا ۵۲۰ نانومتر ایجاد شده است.



شکل ۸: ضریب بازتاب نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه‌های فلزی و طبیعی مختلف

ماکزیمم قدرت رنگی نمونه‌های مختلف با استفاده از رابطه کیوبلکا-مانک[1] (رابطه ۱) در طول موج ماکزیمم جذب (مینیمم ضریب بازتاب)، محاسبه شده است. در شکل ۴، مقدار ماکزیمم قدرت رنگی نمونه های فلزی و طبیعی رنگرزی شده به روش پیش‌دندانه آورده شده است. نتایج نشان می-دهند هر چند در رنگرزی الیاف پشم با رنگزای قرمزدانه بدون استفاده از دندانه، قدرت رنگی خوبی ایجاد شده است، اما این نمونه، ثبات شستشویی (۳) و نوری (۳-۴) کمتر از مقدار استاندارد داشته است (جدول ۱). در استاندارد ایزو ثبات شستشویی برابر یا بزرگتر از ۴ و ثبات نوری برابر یا بزرگتر از ۵ قابل قبول است. نتایج نمونه‌های دندانه‌دار نشان می‌دهد نمونه‌های دندانه فلزی قدرت رنگی برابر یا کمتر از نمونه کنترل داشته‌اند. قدرت رنگی نسبی نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم ۶۸ درصد و نمونه رنگرزی شده با دندانه مس ۱۰۰ درصد قدرت رنگی نمونه کنترل می‌باشند. ثبات شستشویی و نوری این نمونه‌ها یک تا دو درجه بهتر از نمونه کنترل بوده است. در بین نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی، پوست پیاز قرمز (۱۷/۹۵)، هلیله زرد (۱۷/۸۱)، پوست موز (۱۷/۲۶) و هسته خرما (۱۷/۰۶) بالاترین و نمونه-های رنگرزی شده با دندانه مازو (۱۳/۳۰) و پوست تخم مرغ (۱۳/۹۴)، کمترین قدرت رنگی را داشته‌اند. لازم به ذکر است که گروه‌های رنگی موجود در دندانه‌های طبیعی استفاده شده

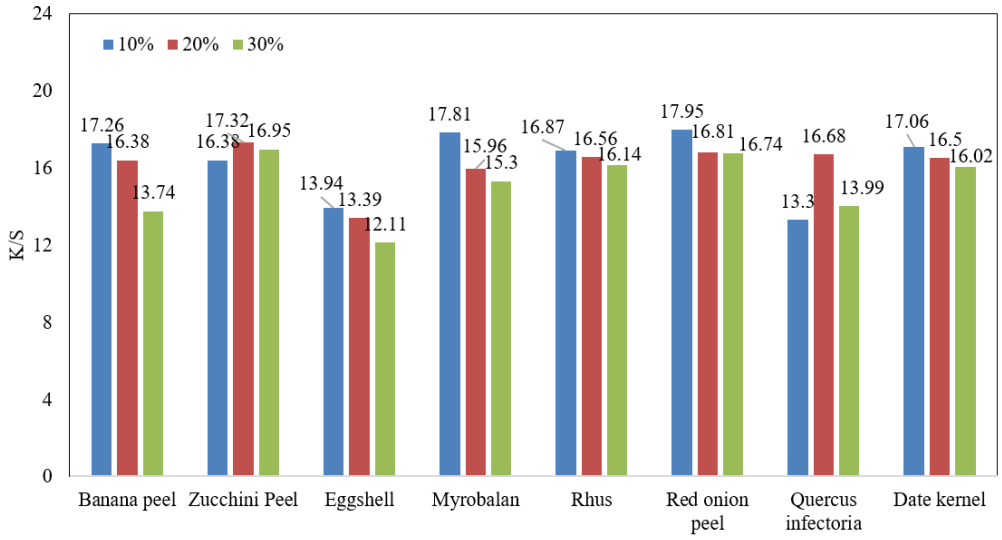
[1] Kubelka-Munk

در شرایط خاص همچون استفاده از دندانه های فلزی می-توانند قدرت رنگی بالایی ایجاد نمایند و یا باعث تغییر فام در نمونه‌های رنگرزی شده گردند، اما به دلیل عدم تامین شرایط لازم، بر فام و قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده تاثیری نداشته‌اند. نتایج نشان می‌دهند از نظر استاندارد ثبات شستشویی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه سماق، پوست پیاز قرمز، مازو و هسته خرما مناسب (برابر یا بالاتر از ۴) می‌باشند. همچنین نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه هلیله زرد، سماق، پوست پیاز قرمز، مازو و هسته خرما دارای ثبات نوری قابل قبول (برابر یا بالاتر از ۵) هستند. قدرت رنگی نسبی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی نسبت به نمونه کنترل، ۸۵ تا ۱۱۵ درصد بوده است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه مازو (۱۳/۳۰) و پوست تخم مرغ (۱۳/۹۴)، کمتر از قدرت رنگی نمونه کنترل (۱۵/۵۷) است، اما ثبات شستشویی و نوری این نمونه‌ها بالاتر از نمونه کنترل می‌باشد (جدول ۱). قدرت رنگی سایر نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی ۱/۰۵ تا ۱/۱۵ برابر قدرت رنگی نمونه کنترل است. استفاده از این دندانه‌ها، ثبات شستشویی را حداقل نیم درجه و ثبات نوری را حداقل یک درجه بهبود داده است. این به دلیل پیوندهای هیدروژنی گروه‌های فنولی با گروه‌های عاملی لیف و رنگزا است که برهمکنش پایداری را ایجاد می-کنند و منجر به فام‌های تیره‌تر و پایداری رنگزا در برابر شستشو و نور می‌شوند [۲۸].

در بین دندانه‌های فلزی، معمول‌ترین دندانه مورد استفاده در رنگرزی با رنگزاهای طبیعی، آلومینیوم می‌باشد. مقایسه نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی با نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم نشان می‌دهد قدرت رنگی همه نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم بالاتر است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی ۲۰ تا ۴۰ درصد بیشتر از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم می‌باشد. همچنین ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه سماق، پوست پیاز قرمز، مازو و هسته خرما برابر یا بیشتر از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم است. به دلیل وجود حلقه‌های بنزن مزدوج در اکثر دندانه‌های طبیعی (شکل ۶)، گروه‌های هیدروکسیل در این دندانه‌ها از یک سمت با گروه‌های C=O- و OH- در رنگزا و از سمت دیگر با گروه‌های COO- و NH2- در الیاف پشم از طریق ایجاد پیوند هیدروژنی اضافی اتصال دارند (شکل ۷) [۳۰، ۲۹]. اما یون فلزی آلومینیوم با C=O- و OH- در رنگزا و گروه‌های COO- وNH2- در الیاف پشم از طریق پیوند کووالانس با تعداد کمتر، کمپلکس را تشکیل می‌دهند [۳۲، ۳۱]. پیوند اضافی ایجاد شده در هنگام استفاده از دندانه‌های طبیعی باعث افزایش عمق رنگ و ثبات این نمونه‌ها نسبت به دندانه آلومینیوم شده است [۳۴، ۳۳]. نتایج تحقیق‌های انجام شده قبلی نشان می‌دهد کمپلکس آلومینیوم-کارمینیک اسید یک کمپلکس قوی نیست [۳۵].

یکی از پارامترهای موثر بر ویژگی‌های رنگی الیاف رنگ شده با رنگزاهای طبیعی، مقدار دندانه استفاده شده می‌باشد. در شکل ۹ و جدول ۳ نتایج استفاده از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد از دندانه‌های طبیعی نسبت به وزن الیاف، بر قدرت رنگی و ثبات نمونه‌های رنگرزی شده آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند افزایش مقدار دندانه طبیعی از ۱۰ درصد به ۲۰ و ۳۰ درصد باعث کاهش قدرت رنگی در نمونه‌های رنگرزی شده (به جز نمونه‌های پوست کدو و مازو) گردیده است. در نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه پوست کدو و مازو استفاده از ۲۰ درصد دندانه طبیعی قدرت رنگی بالاتری ایجاد نموده است. استفاده از مقادیر کم برای دندانه مانع از ایجاد کمپلکس پایدار بین رنگزا و لیف می‌شود. همچنین استفاده از مقدار زیاد دندانه-های طبیعی باعث افزایش مقدار گروه‌های فنولیک، تجمع آنها، عدم نفوذ این گروه ها به درون الیاف و اتصال سطحی رنگزاها می‌شود. رنگزاهایی که به صورت سطحی بر روی الیاف اتصال دارند پایداری خوبی ندارند، به راحتی از الیاف جدا می-شوند و باعث کاهش قدرت رنگی می شوند [۱۱].

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهند افزایش مقدار دندانه طبیعی بر ثبات شستشویی و نوری برخی نمونه‌های رنگرزی شده تاثیری نداشته و در برخی نمونه‌ها تاثیر جزیی (در حد نیم درجه) داشته است. افزایش مقدار دندانه در نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه پوست موز، پوست کدو، پوست پیاز قرمز و مازو باعث بهبود ثبات شستشویی و نوری (به مقدار نیم درجه) شده است. با بررسی نتایج فوق می‌توان دریافت افزایش مقدار دندانه طبیعی تا حد ۲۰ درصد در نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه پوست کدو و مازو می‌تواند قدرت رنگی و ثبات شستشویی و نوری را بهبود بخشد. در سایر دندانه‌های طبیعی، مقدار ۱۰ درصد دندانه نتایج بهتری ایجاد نموده است.



شکل ۹: قدرت رنگی نخ‌های رنگرزی شده با غلظت‌های مختلف از دندانه‌های طبیعی در طول موج ماکزیمم جذب

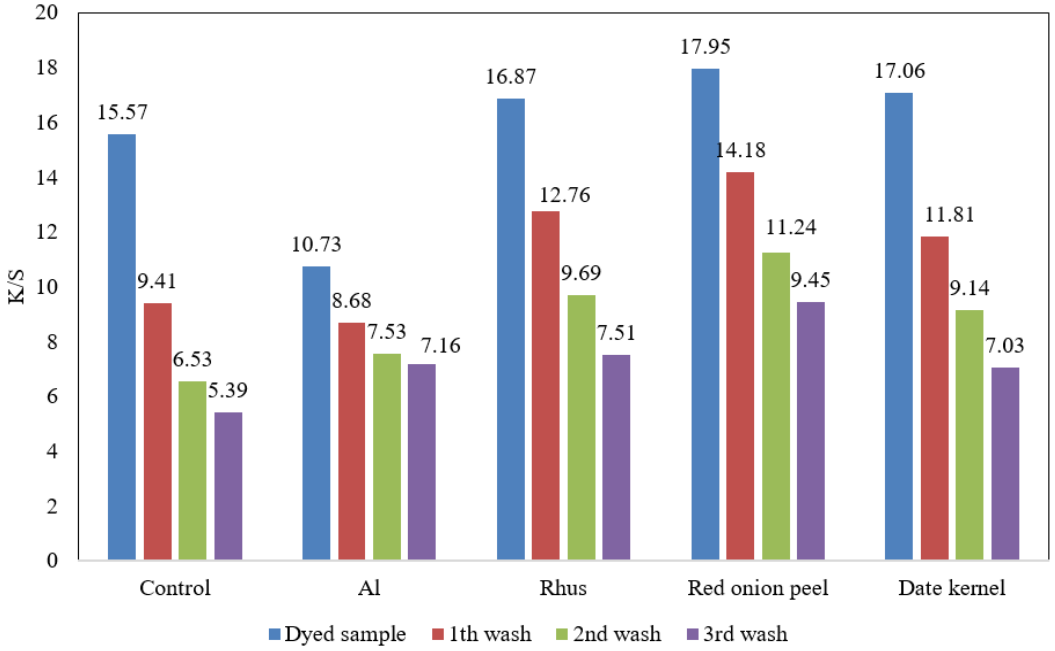
جدول ۳: ثبات شستشویی و نوری نخ‌های رنگرزی شده با غلظت‌های مختلف از دندانه‌های طبیعی

مقدار دندانه	10		20		30	
	شستشو	نور	شستشو	نور	شستشو	نور
پوست موز	3-4	4-5	3-4	4-5	4	5
پوست کدو	3-4	4-5	4	4-5	4	4-5
پوست تخم مرغ	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4
هلیله زرد	3-4	5	3-4	5	3-4	5
سماق	4-5	5-6	4-5	5	4-5	5
پوست پیاز قرمز	4-5	5-6	5	6	5	6
مازو	4-5	5	4-5	5	4-5	5-6
پودر هسته خرما	4	5-6	4	5	4	5

۳-۳- تاثیر نوع دندانه بر ثبات رنگزا در برابر شستشو، نور و حرارت متوالی

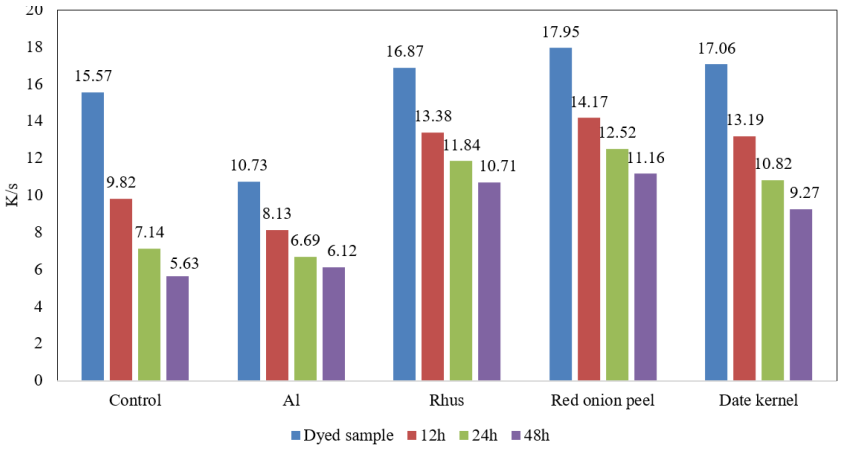
نتایج قدرت رنگی و ثبات نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی نشان داد بهترین عملکرد را دندانه‌های سماق، پوست پیاز قرمز و هسته خرما داشته‌اند. در این بخش ثبات رنگزا در برابر شستشو، نور و حرارت متوالی در این نمونه‌ها، نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم (معمول‌ترین دندانه فلزی) و نمونه کنترل بررسی و مقایسه شده است. نتایج قدرت رنگی نمونه‌های مختلف پس از یک تا سه مرحله شستشو در شکل ۱۰ آورده شده است. نتایج نشان می دهند نمونه کنترل ضعیف‌ترین عملکرد در برابر شستشوی متوالی را داشته است. این نمونه به ترتیب در مرحله اول تا سوم، ۴۰، ۵۸ و ۶۵ درصد از قدرت رنگی اولیه خود را از دست داده است. در بین نمونه‌های دندانه‌دار، نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم کمترین مقدار کاهش قدرت رنگی در اثر شستشوهای متوالی را داشته است. قدرت رنگی این نمونه در مرحله اول، ۱۹ درصد، در مرحله دوم ۳۰ و در مرحله سوم ۳۳ درصد نسبت به نمونه اولیه کاهش یافته است. در بین نمونه‌های دندانه طبیعی، نمونه رنگرزی شده با دندانه پوست پیاز قرمز بهترین عملکرد را در برابر شستشوهای متوالی داشته است. قدرت رنگی این نمونه در مرحله اول تا سوم شستشو به ترتیب ۲۱، ۳۷ و ۴۷ درصد نسبت به نمونه اولیه کاهش یافته است. نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه سماق و هسته خرما عملکرد خوبی در برابر شستشوهای متوالی نداشته‌اند. قدرت رنگی این نمونه‌ها پس از سه مرحله شستشو به ترتیب ۵۶ و ۵۹ درصد نسبت به نمونه اولیه کاهش یافته است. لازم به ذکر است علیرغم کاهش قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه-های طبیعی، قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه

سماق (۷/۵۱) و پوست پیاز قرمز (۹/۴۵) پس از سه مرحله شستشو برابر یا بیشتر از قدرت رنگی نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم (۷/۱۶) است.



شکل ۱۰: قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده در برابر شستشوی متوالی

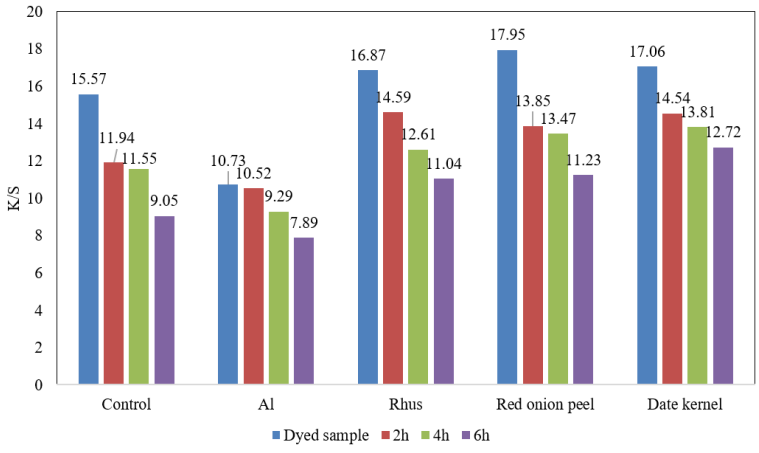
نتایج قدرت رنگی نمونه‌های مختلف پس از ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت در معرض نور قرار گرفتن، در شکل ۱۱ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند نمونه بدون‌دندانه ثبات خوبی در برابر نور متوالی نداشته است. این نمونه پس از ۴۸ ساعت در معرض نور بودن، ۶۴ درصد از قدرت رنگی خود را از دست داده است. در بین نمونه‌های دندانه‌دار، سماق و پوست پیاز قرمز بهترین عملکرد را در برابر نور داشته‌اند. عملکرد ثبات نوری این نمونه‌ها از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم بهتر بوده است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه سماق و پوست پیاز پس از ۴۸ ساعت در معرض نور بودن، حدود ۳۷ درصد، نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم ۴۳ درصد و نمونه رنگرزی شده با دندانه هسته خرما ۴۶ درصد کاهش یافته است. نتایج شکل ۱۱ نشان می‌دهد قدرت رنگی همه نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی پس از ۲۴ ساعت در معرض نور بودن از قدرت رنگی اولیه نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم (۱۰/۷۳) بیشتر بوده است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه سماق، پوست پیاز و هسته خرما پس از ۲۴ ساعت در معرض نور بودن، به ترتیب ۱۱/۸۴، ۱۲/۵۲ و ۱۰/۸۲ شده است.



شکل ۱۱: قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده در برابر نور متوالی

نتایج قدرت رنگی نمونه‌های مختلف پس از ۲، ۴ و ۶ ساعت در معرض حرارت ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتن، در شکل ۱۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم و هسته خرما بهترین عملکرد را در برابر ثبات حرارتی داشته‌اند. این نمونه‌ها پس از ۶ ساعت در معرض حرارت بودن، ۷۵ درصد از قدرت رنگی خود را حفظ کرده‌اند. نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه پوست پیاز قرمز و سماق نسبت به نمونه کنترل، ثبات حرارتی بهتری داشته‌اند. قدرت رنگی نمونه‌های کنترل، پوست پیاز قرمز و سماق پس از ۶ ساعت در معرض حرارت بودن به ترتیب ۴۲، ۳۷ و ۳۵ درصد کاهش یافته است.

همان‌طور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد پیوندهای هیدروژنی اضافی ایجاد شده در هنگام استفاده از دندانه‌های طبیعی باعث افزایش پایداری رنگزای این نمونه‌ها در برابر شستشو، نور و حرارت نسبت به دندانه آلومینیوم شده است [۳۳، ۳۴].



شکل ۱۲: قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده در برابر حرارت متوالی

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر روش رنگرزی و نوع و مقدار دندانه فلزی و طبیعی بر ویژگی‌های رنگ‌سنجی و ثباتی نخ‌های پشم رنگرزی شده با رنگزای استخراج شده از قرمزدانه بررسی و مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند در رنگرزی نخ‌های پشمی با رنگزای قرمزدانه، روش پیش‌دندانه بهترین عملکرد را برای ایجاد قدرت رنگی مناسب و ثبات شستشویی و نوری مطلوب به صورت توامان داشته است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگ شده با روش پیش‌دندانه (به جز نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم، سماق و مازو)، ۱۲ تا ۷۷ درصد بیشتر از روش همزمان و ۴ تا ۱۴ درصد بیشتر از روش پس‌دندانه بوده است. برای ایجاد فام قرمز می‌توان از ۱۰ درصد مواد طبیعی دارای گروه‌های فنولیک همچون سماق، پوست پیاز قرمز و هسته خرما به عنوان دندانه در رنگرزی الیاف پشم با رنگزای قرمزدانه استفاده نمود. این مواد علاوه بر سازگاری با محیط زیست و تاثیر نگذاشتن بر روی فام اصلی قرمزدانه، قدرت رنگی و ثبات شستشویی و نوری خوبی بر روی الیاف پشم ایجاد نموده‌اند. مقایسه نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی با نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم نشان می‌دهد قدرت رنگی همه نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم بالاتر است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه طبیعی ۲۰ تا ۴۰ درصد بیشتر از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم می‌باشد. همچنین ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه سماق، پوست پیاز قرمز، مازو و هسته خرما برابر یا بیشتر از نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم است. نتایج ثبات رنگزا نشان می‌دهند نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم و پوست پیاز قرمز بهترین عملکرد را در برابر شستشوهای متوالی، نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه سماق و پوست پیاز قرمز بهترین عملکرد را در برابر نور متوالی و نمونه رنگرزی شده با دندانه آلومینیوم و هسته خرما بهترین عملکرد را در برابر حرارت در مدت طولانی داشته‌اند.

۵- منابع

[1]. Avishek, S., Sanjay, R., Harmful Effects of Different Classes of Heavy Metals in our Beautiful Environment, *Asian J Res Chem*., 16(1), 13-17, 2023.

[2]. Rajabi, F., Babaahmadi, V., Nouri, S., Dyeing of wool yarns with clove and investigation of antibacterial and ultraviolet protection properties, *Journal of Textile Science and Technology*, 11(4), 1-14. [In Persian]

[3]. Karadag, R., Cotton dyeing with cochineal by just in time extraction, mordanting, dyeing, and fixing method in the textile industry, *J. Nat. Fiber.*, 20(1), 1-11, 2023.

[4]. Serrano, A., Sousa, M., Hallett, J., Simmonds, M.S., Nesbitt, M., Lopes, J.A., Identification of Dactylopius cochineal species with high-performance liquid chromatography and multivariate data analysis, *Analyst*, 138(20), 6081-90, 2013.

[5]. Safapour, S., Gharanjig, K., Study on Kinetic Behavior and Dye ability of Woolen Yarn with Madder and Cochineal Natural Dyes, *J Color Sci Technol*., 10(3), 195-206, 2016.

[6]. McGovern, P.E., Michel, R.H., Royal purple dye: The Chemical Reconstruction of the Ancient Mediterranean Industry, *Acc Chem Res.*, 23(5), 152-158, 1990.

[7]. Valipour, P., Ekrami, E., Shams Nateri, A., Colorimetric Properties of wool dyed with cochineal: Effect of Dye-Bath pH, *Prog Color Colorants Coat.* 7(2), 129-138, 2013.

[8]. Shams Nateri, A., Dehnavi, E., Hajipour, A., Ekrami, E., Dyeing of polyamide fibre with cochineal natural dye, *Pig Resin Technol*., 45(4), 252-258, 2016.

[9]. Sutlović, A., Brlek, I., Ljubić, V., Glogar, M.I., Optimization of dying process of cotton fabric with cochineal dye, *Fibers polym*., 21, 555-563, 2020.

[10]. Haji, A., Ashraf, S., Nasiriboroumand, M., Lievens, C., Environmentally friendly surface treatment of wool fiber with plasma and chitosan for improved coloration

with cochineal and safflower natural dyes, *Fibers Polym.* 21, 743-750, 2020.
[11] Amin, N., Rehman, F.U., Adeel, S., Ahamd, T., Muneer, M., Haji, A., Sustainable application of cochineal-based anthraquinone dye for the coloration of bio-mordanted silk fabric, *Environ Sci Pollu Res.*, 27, 6851-6860, 2020.
[12] Adeel, S., Hussaan, M., Rehman, F.U., Habib, N., Salman, M., Naz, S., Amin, N., Akhtar, N., Microwave-assisted sustainable dyeing of wool fabric using cochineal-based carminic acid as natural colorant, *J Nat Fibers*, 16(7), 1026–1034, 2018.
[13] Giacomini, F., de Souza, A.A., de Barros, M.A., Cationization of cotton with ovalbumin to improve dyeing of modified cotton with cochineal natural dye, *Text Res J.*, 90(15-16), 1805-1822, 2020.
[14] Ahmadi, Z., Sohrabi, S., Evaluation of the Quality of Woolen Yarns Dyed with Madder and Weld in the Presence of Citrus, *Journal of Textile Science and Technology*, 10(4), 1-22, 2021.
[15] Shahmoradi Ghaheh, F., Moghaddam, M.K., Tehrani, M., Comparison of the effect of metal mordants and bio-mordants on the colorimetric and antibacterial properties of natural dyes on cotton fabric, *Coloration Technol*, 137(6), 689-698, 2021.
[16] Tehrani, M., Ghaheh, F.S., Beni, Z.T., Rahimi, M., Extracted dyes' stability as obtained from spent coffee grounds on silk fabrics using eco-friendly mordants, *Environ Sci Pollu Res*., 30(26), 68625-6835, 2023.
[17] Tehrani, M., Jahanbazi, Z., Ghaheh, F.S., The Effect of Metallic and Natural Mordants on Color Properties of Silk Fabrics Dyed with Hibiscus Sabdariffa L., *J Color Sci Technol*., 17(2), 111-121, 2023. [In persian]
[18] Ammayappan, L., Shakyawar, D.B., Dyeing of carpet woolen yarn using natural dye from cochineal, *J Nat Fibers*, 13(1), 42-53, 2016.
[19] Park, J.A., Sohn, S.H., The influence of hen aging on eggshell ultrastructure and shell mineral components, *Korean J Food Sci Anim Resour*, 38(5), 1080, 2018.
[20] Adeel, S., Zuber, M., Zia, K.M., Microwave-assisted extraction and dyeing of chemical and bio-mordanted cotton fabric using harmal seeds as a source of natural dye, *Environ Sci Pollu Res*, 25(11), 11100-11110, 2018.
[21] Benito-Román, Ó., Blanco, B., Sanz, M.T., Beltrán, S., Subcritical water extraction of phenolic compounds from onion skin wastes (Allium cepa cv. Horcal): Effect of temperature and solvent properties, *Antioxidant*, 9(12), 1233, 2020.
[22] Maqsood, S., Adiamo, O., Ahmad, M., Mudgil, P., Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients, *Food chem.*, 308, 125522, 2020.
[23] Batiha, G.E., Ogunyemi, O.M., Shaheen, H.M., Kutu, F.R., Olaiya, C.O., Sabatier, J.M., De Waard, M., Rhus coriaria L.(Sumac), a versatile and resourceful food spice with cornucopia of polyphenols, *Molecules*, 27(16), 5179, 2022.
[24] Başyiğit, B., Sağlam, H., Köroğlu, K., Karaaslan, M., Compositional analysis, biological activity, and food protecting ability of ethanolic extract of Quercus infectoria gall, *J Food Process Preserv*, 44(9), 14692, 2020.
[25] Vu, H.T., Scarlett, C.J., Vuong, Q.V., Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review, *J Funct Foods.* 40, 238-248, 2018.
[26] Hassan, H.S., Mohamed, A.A., Feleafel, M.N., Salem, M.Z., Ali, H.M., Akrami, M., Abd-Elkader, D.Y., Natural plant extracts and microbial antagonists to control fungal pathogens and improve the productivity of zucchini (Cucurbita pepo L.) in vitro and in greenhouse. *Horticulturae*. 7(11), 470, 2021.
[27] Upadhyay, A., Agrahari, P., Singh, D.K., A review on the pharmacological aspects of Terminalia chebula, *Int J Pharmacol*, 10(6), 289-298, 2014.
[28] Rather, L.J., Shabbir, M., Bukhari, M.N., Shahid, M., Khan, M.A., Mohammad, F., Ecological dyeing of woolen yarn with Adhatoda vasica natural dye in the presence of biomordants as an alternative copartner to metal mordants, *J Environ Chem Eng.*, 4(3), 3041-3049, 2016.
[29] Shabbir, M., Islam, S.U., Bukhari, M.N., Rather, L.J., Khan, M.A., Mohammad, F., Application of Terminalia chebula natural dye on wool fiber—evaluation of color and fastness properties, *Text Cloth Sustain*, 2, 1-9, 2017.
[30] Bouatay, F., Baaka, N., Shahid, A., Mhenni, M.F., A novel natural source Vicia faba L. membranes as colourant: development and optimisation of the extraction process using response surface methodology (RSM), *Nat Prod Res*, 33(1), 59-65, 2019.
[31] Adeel, S., Naseer, K., Javed, S., Mahmmod, S., Tang, R.C., Amin, N., Naz, S., Microwave-assisted improvement in dyeing behavior of chemical and bio-mordanted silk fabric using safflower (Carthamus tinctorius L) extract, *J Nat Fibers*, 17(1), 55-65, 2020.
[32] Salimian, S., Moghaddam, M.K., Safi, S., Mortazavi, S.M., Properties of wool dyed with pinecone powder as a by-product colorant, *Ind J Fibre Text Res*, 41(2), 173-179, 2016.
[33] İşmal, Ö.E., Yıldırım, L., Metal mordants and biomordants. Impact Pros Green Chem Text Technol (pp. 57-82), Woodhead Publishing, 2019.
[34] Yusuf, M., Khan, S.A., Shabbir, M., Mohammad, F., Developing a shade range on wool by madder (Rubia cordifolia) root extract with gallnut (Quercus infectoria) as biomordant, *J Nat Fibers*, 14(4), 597-607, 2017.
[35] Karadag, R., Cotton dyeing with cochineal by just in time extraction, mordanting, dyeing, and fixing method in the textile industry, *J Nat Fibers*, 20(1), 2108184, 2023.