

## بررسی تاثیر نوع اسید و دندانه فلزی بر ویژگی‌های رنگی و ثباتی نخ پشمی رنگری شده با رنگرای طبیعی پوست درخت دارچین

مجید طهرانی<sup>۱\*</sup>، ترانه نوایی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده هنر، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

mtehrani@sku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

### چکیده

رنگری با رنگرای طبیعی و به دست آوردن فام‌های مختلف از این رنگراها از زمان‌های قدیم مورد توجه ایرانیان بوده است. از جمله نقص‌های رنگرای طبیعی محدود بودن فام و ثبات آن‌ها است. برای رفع این نقص‌ها، محققان استفاده از رنگرای طبیعی جدید و تغییر مواد و شرایط رنگری را پیشنهاد داده‌اند. در این تحقیق پوست درخت دارچین به عنوان یک رنگرای طبیعی جدید برای رنگری الیاف پشم استفاده شده است. اثر پارامترهای رنگری مانند غلظت رنگرا، نوع دندانه، نوع اسید و زمان رنگری بر فام و شدت رنگرای جذب شده در الیاف پشم بررسی شده است. قدرت رنگ و سایر پارامترهای رنگی نمونه‌های رنگری شده با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی تعیین شد. همچنین ارزیابی ثبات رنگرا در برابر شستشو و نور مطابق با روش‌های استاندارد انجام شد. نتایج نشان می‌دهد افزایش غلظت رنگرا (تا ۸۰ درصد وزن کالا) و زمان رنگری (تا ۴۸ ساعت)، پارامترهای تاثیرگذاری بر افزایش قدرت رنگی نمونه‌های رنگری شده بوده‌اند. همچنین استفاده از نمک فلزهای آهن و مس به عنوان دندانه، علاوه بر بهبود ثبات شستشویی (تا درجه ۵-۴ در معیار خاکستری) و نوری (تا درجه ۵ در معیار آبی) در نمونه‌های رنگری شده، می‌تواند قدرت رنگی این نمونه‌ها را برای ایجاد گستره‌ای از فامهای خاکستری و قهوه‌ای افزایش دهد.

کلمات کلیدی: رنگرای طبیعی، پوست درخت دارچین، دندانه فلزی، قدرت رنگ، زمان رنگری

## Investigating the effect of acid and metal mordant types on the colorimetric and fastness properties of woolen yarn dyed with cinnamon bark as a natural dye

Majid Tehrani<sup>1\*</sup>, Taraneh Navayee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Art, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, 5681188617  
mtehrani@sku.ac.ir

### Abstract

Dyeing with natural dyes and obtaining different shades from them has been of interest to Iranians since ancient times. Among the defects of natural dyes is their limited shades and fastness. To solve these defects, researchers have suggested the use of new natural dyes as well as changing the dyeing materials and conditions. In this research, cinnamon bark as a new natural dye has been used for dyeing wool fibers. The effect of dyeing parameters such as amount of colorant, mordant type, acid type and dyeing time on the shade and the intensity in wool fibers has been investigated. The color strength and other color parameters of the dyed samples were measured using reflective spectrophotometer. Also, the color fastness against washing and light was evaluated according to standard methods. The results indicate that increasing the concentration of colorant (up to 80% owf) and dyeing time (up to 72 hours) were the influencing parameters on increasing the color strength of the dyed samples. The use of iron and copper metal salts as mordant, in addition to improving the wash (up to 4-5 in gray scale) and light fastness (up to 5 in blue scale) of dyed samples, can increase the color strength of these samples to create a range of gray and brown shades.

**Keywords:** Natural dye, Cinnamon bark, Metal mordant, Color strength, Dyeing time.

## ۱- مقدمه

استفاده از رنگزاهای طبیعی برای رنگرزی الیاف مورد استفاده در پوشاک و قالی‌های دستباف به چندین هزار سال پیش باز می‌گردد. کشف رنگ‌های شیمیایی در سال ۱۸۵۶، منجر به کاهش استفاده از رنگزاهای طبیعی گردید، به گونه‌ای که در طول یک قرن به طور کامل رنگ‌های شیمیایی جایگزین رنگزاهای طبیعی شدند. رنگ‌های شیمیایی از لحاظ تنوع فام و سهولت استفاده نسبت به رنگزاهای طبیعی مزیت دارند [۱ و ۲]. در سال‌های اخیر، نگرانی در مورد تهدیدهای زیست محیطی و خطرهای بیولوژیکی رنگ‌های شیمیایی، منجر به علاقه مجدد به رنگزاهای طبیعی به ویژه در میان فعالان محیط زیست شده است. استفاده از رنگزاهای طبیعی به ویژه در صنعت فرش دستباف نه تنها مزایای زیست محیطی زیادی داشته است بلکه فرصت‌های جدیدی در بازار و اشتغال فراهم کرده است. در کنار مزایای اشاره شده برخی از محدودیت‌های مواد رنگزای طبیعی، همچون شیده‌های محدود، قدرت رنگی کم و ثبات نامناسب، کاربرد این گروه را در صنعت با محدودیت روبرو کرده است [۳]. برای رفع مشکلات اشاره شده می‌توان از رنگزاهای طبیعی مختلف، دندانه‌های متفاوت و سایر پارامترهای موثر در رنگرزی استفاده نمود [۴].

دارچین درختی است کوچک، به ارتفاع ۵ تا ۷ متر که به طور طبیعی در جنگل‌های سریلانکا، سوماترا، چین و جنوب هند رشد می‌کند. همچنین این گیاه در کشورهای دیگر همچون جاوه، برزیل و جامائیکا کاشته می‌شود [۵]. پوست درخت

دارچین ادویه‌ای است که قرن‌ها در مصارف غذایی و پزشکی استفاده شده است. بعضی تحقیقات علمی نشان‌دهنده خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطانی، ضد التهابی، ضد دیابتی، ضد میکروبی و ضد ویروسی دارچین است. بررسی‌های علمی نشان‌دهنده کاهش تکثیر ویروس اچ‌آی‌وی در شرایط آزمایشگاهی در حضور عصاره دارچین است [۶ و ۷]. در شکل ۱، تصویری از چوب درخت دارچین و نمونه آسیاب شده آن آورده شده است. دارچین از ترکیبات فعال مختلفی از جمله آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، گلوکوزیدها، سینام‌آلدئید، سینامیل استات، سینامیل‌الکل، اوژنول، تانن، پلیمر متیل هیدروکسی کالکون، اسید سینامیک و موارد دیگر تشکیل شده است. اصلی‌ترین بخشهای شیمیایی دارچین که باعث ایجاد رنگ می‌شوند سینام‌آلدئید، اوژنول و تانن می‌باشند [۸-۱۰]. در شکل ۲ ساختار شیمیایی سینام‌آلدئید و اوژنول آورده شده است [۱۰].



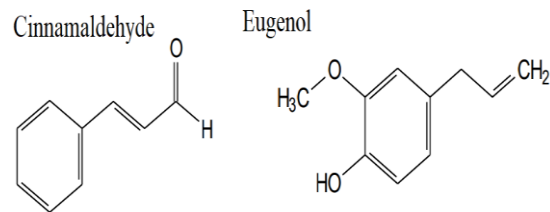
شکل ۱: چوب درخت دارچین و نمونه آسیاب شده آن

با توجه به اهمیت الیاف پشم در فرش‌های دستباف، حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلاینده‌گی رنگ‌های شیمیایی، در این تحقیق رنگرزی الیاف پشم با عصاره استخراج شده از پوست درخت دارچین در شرایط مختلف رنگرزی بررسی شده است. اثر پارامترهای رنگرزی مانند غلظت رنگزا، زمان رنگرزی، نوع اسید و نوع دندان بر فام نخ‌های پشمی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی، محرک‌های سه‌گانه CIE Lab، مقادیر اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) و قدرت رنگی (K/S) نمونه‌های نخ پشمی رنگرزی شده اندازه‌گیری و تعیین شد. همچنین ثبات رنگ حاصل در برابر شستشو و نور مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۲- تجربیات

### ۲-۱- مواد و فرآیند رنگرزی

در این تحقیق از سولفات مضاعف آلومینیوم پتاسیم، سولفات مس، سولفات آهن II، کلرید قلع، کلرید روی و دی کرومات پتاسیم (شرکت مرک) به عنوان دندان، اسید استیک، اسید سیتریک و اسید اگزالیک (شرکت مرک) به عنوان اسید در مرحله رنگرزی و اتانول (۹۹ درصد شرکت مرک) به عنوان حلال در مرحله استخراج رنگزا استفاده شد. لازم به ذکر است در این تحقیق از دندان‌های قلع و کروم و اسید اگزالیک به صورت محدود استفاده شده و به دلیل مشکلات زیست محیطی استفاده گسترده از این مواد توصیه نمی‌شود.



شکل ۲: ساختار شیمیایی اصلی‌ترین رنگزاهای موجود در پوست درخت دارچین [۱۰]

با توجه به وجود ساختارهای رنگی در پوست درخت دارچین، تعدادی از محققان استفاده از این مواد را به عنوان رنگزای طبیعی در رنگرزی منسوجات بررسی کرده‌اند. آدیل<sup>۱</sup> و همکارانش [۱۱ و ۹] استفاده از پوست درخت دارچین به عنوان منبع رنگزای طبیعی زرد برای رنگرزی الیاف ابریشم و پشم در حضور دندان‌های طبیعی را بررسی نمودند. آنها دریافتند استفاده از دندان‌های طبیعی نه تنها شیده‌های جدیدی ایجاد کرده است، بلکه ویژگی‌های ثبات رنگزا را نیز از خوب به عالی بهبود داده است. شهیدی<sup>۲</sup> و همکارانش [۱۲] تأثیر زردچوبه، دارچین و زعفران را بر محافظت در برابر اشعه ماوراء بنفش و خواص ضد باکتریایی پارچه‌های پنبه‌ای بررسی کردند. کاستیانته<sup>۳</sup> و ساریا<sup>۴</sup> [۱۳ و ۱۴]، استفاده از پوست درخت دارچین به عنوان منبع رنگزای طبیعی برای رنگ کردن موی انسان را بررسی نمودند. بررسی تحقیق‌های فوق نشان می‌دهد پژوهش‌های محدودی در مورد خواص رنگزایی پوست درخت دارچین انجام شده است.

<sup>3</sup> Kusstianti

<sup>4</sup> Surya

<sup>1</sup> Adeel

<sup>2</sup> Shahidi

برای تهیه رنگزا، پوست درخت دارچین از فروشگاه محلی تهیه شد. ابتدا برای تمیز کردن دارچین تهیه شده از گرد و غبار، چندین بار با آب شسته شد. سپس در دمای ۴۰ درجه سانتی-گراد در آون حرارتی به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. در نهایت، دارچین‌های خشک شده توسط یک آسیاب صنعتی به پودر ریز تبدیل شد. استخراج رنگزا در حلال اتانول/آب مقطر با نسبت ۲۰ درصد اتانول و ۸۰ درصد آب مقطر انجام شد. بدین منظور مقدار ۵ گرم پودر رنگزا در ۱۰۰ سی‌سی حلال در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس محلول به دست آمده به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی قرار داده شد. آنگاه از فیلتر عبور داده شد تا محلول رنگزای تصفیه شده به دست آید. لازم به ذکر است بر اساس تحقیق‌های انجام شده قبلی، استفاده از اتانول به عنوان حلال در فرآیند استخراج نسبت به آب مقطر خالص، باعث استخراج بیشتر مواد موثره می‌شود [۱۵].

برای رنگرزی از نخ دولای پشمی حاصل از الیاف مرینوس با نمره ۲۰۰ تکس و ۱۰۰ تاب در متر استفاده شد. برای حذف ناخالصی‌ها و متورم کردن نخ‌های پشمی، ابتدا کالای پشمی در محلول ۲ درصد صابون نساجی غیر یونی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه غوطه‌ور شد، آنگاه با آب چند بار شسته شد.

رنگرزی به روش همزمان با استفاده از عصاره استخراج شده از چوب درخت دارچین، دندان‌های فلزی مختلف با غلظت ۵ درصد (۱۰ درصد برای سولفات مضاعف آلومینیوم پتاسیم) و

اسید استیک با غلظت ۴ درصد نسبت به وزن کالا در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد شروع شد، آنگاه دما طی ۳۰ دقیقه تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و عملیات رنگرزی به مدت ۴۵ دقیقه در این دما ادامه یافت. در همه حمام‌ها نسبت حجم حمام به وزن کالا ۵۰:۱ انتخاب شد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه در روش همزمان، دندان و رنگزا در یک مرحله استفاده می‌شوند امکان تشکیل کمپلکس بین دندان و رنگزا در حمام رنگرزی و عدم نفوذ رنگزا وجود دارد، اما یک مرحله-ای بودن روش همزمان باعث کاهش هزینه‌های رنگرزی از جمله هزینه آب و انرژی مصرفی خواهد شد. برای تعیین مقدار بهینه رنگزا، رنگرزی با استفاده از عصاره استخراج شده از چوب درخت دارچین با غلظت ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نسبت به وزن کالا انجام شد. در سایر آزمایش‌ها، ۵۰ درصد عصاره استخراج شده نسبت به وزن کالا استفاده شد. برای مشخص شدن تاثیر زمان رنگرزی بر فام به دست آمده، فرآیند رنگرزی پس از زمان ۴۵ دقیقه به مدت ۰، ۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در دمای محیط ادامه یافت. همچنین برای تعیین تاثیر نوع اسید (pH حمام رنگرزی) بر فام به دست آمده از اسیدهای استیک، اگزالیک و سیتریک به مقدار ۴ درصد نسبت به وزن کالا استفاده شد. اسیدهای استیک، اگزالیک و سیتریک به ترتیب در شروع فرآیند رنگرزی pH، ۵، ۴ و ۴/۵ را در حمام رنگرزی ایجاد نمودند. پس از رنگرزی، نمونه‌ها به طور کامل با آب مقطر در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه شسته شدند و در دمای محیط خشک گردیدند.

## ۲-۲- تعیین پارامترها و ثبات‌های رنگی

اسپکتروفوتومتر انعکاسی YS6010 با نور D65 و مشاهده کننده استاندارد ۱۰ درجه برای سنجش پارامترهای سه‌گانه CIE Lab، مقادیر اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) و قدرت رنگی (K/S) نخ‌های پشمی رنگ‌گری شده، استفاده گردید. قدرت رنگی نخ‌های رنگ‌گری شده با روش انعکاس نور در محدوده طیف مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) و مطابق با قانون کیوبلکا-مانک به عنوان شاخصی برای تعیین میزان جذب و قدرت رنگی مطابق رابطه ۱ محاسبه شد.

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

در این رابطه، K ضریب جذب، S ضریب انتشار و R مقدار انعکاس در بیشینه طول موج جذب است. قدرت نسبی رنگ نیز طبق رابطه ۲ محاسبه شد.

$$\left(\frac{K}{S}\right)_R (\%) = \frac{\left(\frac{K}{S}\right)_m}{\left(\frac{K}{S}\right)_{um}} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه،  $(K/S)_m$  و  $(K/S)_{um}$  به ترتیب قدرت رنگی نمونه دنداندار و نمونه بدون دندان است.

تغییر رنگ نمونه‌ها بین نمونه پشم شاهد رنگ شده (نمونه بدون دندان) و نمونه نخ‌های دنداندار رنگ‌گری شده مطابق با رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3)$$

ثبات رنگ در برابر شستشو و نور بر اساس استانداردهای ایزو تعیین شد. ثبات شستشویی نمونه‌های رنگ‌گری شده بر اساس روش تغییر رنگ تعیین گردید. در این روش، مطابق استاندارد

ISO 105-C06، نخ‌های رنگ‌گری شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب شسته شد. آنگاه تغییر رنگ نخ‌ها مطابق با مقیاس خاکستری و بر اساس استاندارد ISO105-A02 تعیین شد. ثبات نوری نمونه‌های رنگ‌گری شده با استفاده از استاندارد ISO105-B02 و مقیاس آبی در دستگاه سنجش ثبات نوری ساخت شرکت ریس‌سنج ایران تعیین شد.

## ۳- بحث و نتایج

## ۳-۱- تعیین مقدار بهینه رنگزا

نیروی مسئول انتقال بیشتر رنگزا از حمام رنگ‌گری به ساختار درونی الیاف تابعی از گرادیان غلظت در حمام رنگ‌گری و ساختار درون الیاف است [۱۶]. لذا افزایش مقدار عصاره رنگزا در حمام رنگ‌گری تا مقدار مشخصی می‌تواند باعث افزایش جذب رنگزا در الیاف شود. برای تعیین مقدار بهینه رنگزا، الیاف پشم با تنالیت‌های مختلف از عصاره رنگزا به روش همزمان در شرایط ۴ درصد اسید استیک و ۱۰ درصد دنداندار زاج سفید رنگ‌گری شدند. در جدول ۱ نتایج محرک‌های سه‌گانه CIE Lab و قدرت رنگی (K/S) نمونه‌های نخ پشمی رنگ‌گری شده آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش عصاره رنگزا از ۲۰ تا ۸۰ درصد، مقدار قرمزی، سبزی و قدرت رنگی نمونه‌های پشم رنگ‌گری شده افزایش یافته است، اما افزایش مقدار عصاره رنگزا از ۸۰ درصد به بالاتر تاثیر بر پارامترهای رنگی و قدرت رنگ نمونه‌های رنگ‌گری شده نداشته است. قدرت رنگی نمونه رنگ‌گری شده در مقدار ۸۰ درصد

تخریب احتمالی لیف و یا رنگزا است [۱۹]، لذا برای افزایش جذب رنگزا و نزدیک شدن به تعادل در رنگزی، الیاف در حمام حاوی رنگزای طبیعی برای زمان طولانی در دمای محیط نگه داشته می‌شوند. در این تحقیق برای تعیین تاثیر زمان رنگزی بر پارامترهای رنگی، الیاف پشم پس از زمان ۴۵ دقیقه رنگزی اولیه، به مدت ۰، ۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در دمای محیط در حمام رنگزی نگه داشته شدند. در جدول ۲، نتایج پارامترهای رنگی نمونه‌های نخ پشمی رنگزی شده در زمان‌های مختلف آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که داشتن نخ‌های پشمی بین ۶ تا ۴۸ ساعت در دمای محیط در حمام رنگزی باعث افزایش جذب رنگزا (افزایش قدرت رنگی) و کدرتر شدن (کاهش روشنایی) نمونه‌های رنگزی شده گردیده است. نگه داشتن نخ‌های پشمی پس از ۴۸ ساعت (تا ۷۲ ساعت) در حمام رنگزی، تغییر محسوس بر روشنایی و قدرت رنگی نمونه‌های رنگزی شده، نداشته است. قدرت رنگی نمونه‌های رنگزی شده در زمان‌های ۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۳، ۱۱، ۱۶ و ۱۹ درصد بیشتر از نمونه کنترل (نمونه رنگزی شده در زمان ۰) است.

جدول ۲: پارامترهای رنگی نمونه‌های نخ پشمی رنگزی شده در

زمان‌های مختلف

K/S	b*	a*	L*	زمان رنگزی (ساعت)
3.77	21.49	7.71	59.29	0
3.86	22.56	7.97	59.36	6
4.18	21.61	7.79	57.55	24
4.38	21.61	7.86	56.82	48
4.48	22.54	8.52	56.89	72

عصاره رنگزا به ترتیب ۴۷، ۲۵ و ۱۲ درصد بیشتر از نمونه‌های رنگزی شده در مقدار عصاره رنگزای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد است. قدرت رنگی این نمونه، به مقدار بسیار کمی (حداکثر به مقدار ۱/۱ درصد) از نمونه‌های رنگزی شده در مقدار عصاره رنگزای ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد، کمتر است. تحقیق‌های انجام شده نشان می‌دهد افزایش بیش از حد مقدار رنگزا در حمام رنگزی باعث افزایش تجمع رنگزاهای بزرگ شدن ساختار آنها و عدم نفوذ و جذب آنها به زنجیرهای پلیمری داخل لیف می‌شود [۱۷].

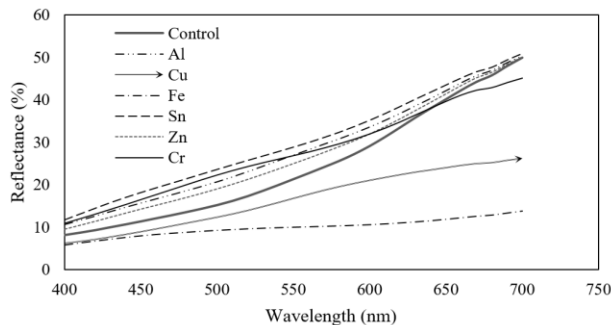
جدول ۱: پارامترهای رنگی نمونه‌های رنگزی شده در مقدار

عصاره رنگزای مختلف

K/S	b*	a*	L*	مقدار عصاره رنگزا
2.42	20.34	6.93	64.80	20%
3.42	21.25	7.54	61.43	40%
3.97	22.04	8.04	58.84	60%
4.56	23.18	8.79	57.71	80%
4.59	23.28	9.14	57.28	100%
4.61	23.53	9.27	56.70	120%

### ۳-۲- تاثیر زمان رنگزی بر پارامترهای رنگی

در مطالعه تعادل رنگزی، حمام رنگزی و الیاف در یک دمای ثابت تا رسیدن به حالت تعادل حرارت داده می‌شوند. تحقیق‌های انجام شده بر روی رنگزاهای طبیعی نشان می‌دهد زمان لازم برای رسیدن به تعادل در رنگزی این رنگزاهای معمولاً بیشتر از زمان رنگزی‌های معمول (یک تا دو ساعت) است [۱۸]. با توجه به اینکه گرمادهی حمام رنگزی برای مدت زمان طولانی به منظور کسب تعادل، خطری جدی برای



شکل ۳: ضریب بازتاب نمونه‌های رنگ‌گری شده با دندانه‌های

#### فلزی مختلف

دلیل تفاوت نتایج شکل ۳، تاثیر دندانه‌های فلزی بر فام ایجاد شده و مقدار جذب رنگزا در الیاف پشم است. مطالعه ساختار دارچین نشان داد عصاره دارچین حاوی سینام‌آلدئید، اوژنول و تانن به عنوان مهم‌ترین ترکیباتی است که باعث ایجاد رنگ می‌شوند. گروه‌های هیدروکسیل ( $\text{OH}^-$ ) و کربونیل ( $\text{C=O}$ ) که در ساختار سینام‌آلدئید، اوژنول و تانن قرار دارند می‌توانند با دندانه‌های مختلف فلزی کمپلکس ایجاد نمایند و فام‌ها متفاوتی بر روی الیاف پشم به وجود آورند [۹ و ۱۱ و ۱۲]. تانن یکی از اجزای موجود در پوست درخت دارچین است. تانن می‌تواند بی‌رنگ تا زرد و قهوه‌ای روشن باشد. اگر تانن در معرض نور خورشید قرار گیرد هیدرولیز می‌گردد و فام آن قهوه‌ای تیره می‌شود و اگر با یون‌های آهن واکنش دهد فام سیاه مایل به آبی ایجاد می‌کند [۲۰]. تصاویر آورده شده در شکل ۴، این نتیجه را تایید می‌کنند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود استفاده از دندانه‌های فلزی مختلف در رنگ‌گری الیاف پشم با رنگزای دارچین می‌تواند فام‌های خاکستری تیره و قهوه‌ای روشن تا تیره را ایجاد نماید.

### ۳-۳- تاثیر نوع دندانه بر پارامترهای رنگی و ثباتی

ضریب بازتاب نمونه‌های رنگ‌گری شده با دندانه‌های مختلف فلزی به روش همزمان در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در شکل ۳ مقایسه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود ضریب بازتاب تمام نمونه‌ها در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر روند افزایشی دارد. در همه نمونه‌ها، بیشترین مقدار بازتاب در طول موج ۷۰۰ نانومتر (محدوده رنگ‌های قرمز) و کمترین مقدار بازتاب در طول موج ۴۰۰ نانومتر (محدوده رنگ‌های زرد) به دست آمده است. این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط شهیدی و همکارانش در رنگ‌گری پارچه پنبه با رنگزای پوست درخت دارچین همخوانی دارد [۱۲].

مقایسه ضریب بازتاب نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد در همه طول موج‌ها ضریب بازتاب نمونه‌های رنگ‌گری شده با دندانه‌های مس و آهن از نمونه بدون دندانه کمتر است. به عبارتی استفاده از این دندانه‌ها در فرآیند رنگ‌گری نخ‌های پشمی با رنگزای دارچین، باعث افزایش جذب رنگزا در این الیاف شده است. دندانه‌های فلزی آلومینیوم، روی و قلع رفتار مشابهی دارند. ضریب بازتاب نمونه‌های دندانه داده شده با این نمک‌های فلزی در همه طول موج‌ها بیشتر از نمونه بدون دندانه می‌باشد. نمودار ضریب بازتاب نمونه رنگ‌گری شده با دندانه کروم نسبت به سایر نمونه‌ها متفاوت است. این نمونه در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۶۵۰ نانومتر، ضریب بازتاب کمتری نسبت به نمونه بدون دندانه دارد، اما ضریب بازتاب آن از ۶۵۰ تا ۷۰۰ نانومتر کمتر از نمونه بدون دندانه است.



شکل ۴: نتایج بصری و نمودار  $a^*b^*$  نمونه‌های پشم رنگریزی شده با دندانه‌های فلزی مختلف

نمونه بدون دندانه مقدار قرمزی (۲۶ تا ۹۵ درصد) و زردی (۷ تا ۷۱ درصد) بالاتری نسبت به نمونه‌های رنگریزی شده با دندانه‌های فلزی دارد. در بین نمونه‌های دندانه‌دار، نمونه‌های رنگریزی شده با دندانه‌های روی و آلومینیوم، قرمزی و زردی بالاتری دارا هستند. همچنین نمونه رنگریزی شده با دندانه آهن به مقدار قابل توجهی قرمزی و زردی کمتر نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. قرمزی و زردی این نمونه به ترتیب تا ۹۳ و ۷۰ درصد کمتر از سایر نمونه‌های رنگریزی شده با دندانه است.

داده‌های اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) در جدول ۳ آورده شده است. این داده‌ها نشان می‌دهند اختلاف معناداری میان نمونه بدون دندانه و نمونه‌های دندانه‌دار وجود دارد. اختلاف رنگ در مورد نمونه رنگریزی شده با دندانه آهن (۲۶/۴۱) از سایر نمونه‌ها بسیار بالاتر است. همچنین نمونه رنگریزی شده با دندانه روی (۴/۸۲) و آلومینیوم (۶/۷۴) کمترین اختلاف رنگ را با نمونه بدون دندانه دارند.

سامانه CIE Lab برای ارزیابی پارامترهای رنگی و اختلاف رنگ نخ‌های رنگریزی شده، استفاده شد. مقادیر پارامترهای رنگی نخ‌های پشم رنگریزی شده با دندانه‌های مختلف فلزی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد به ترتیب نمونه‌های رنگریزی شده با دندانه‌های قلع، آلومینیوم و کروم بالاترین مقدار روشنایی ( $L^*$ ) را دارند. روشنایی این نمونه‌ها ۸ تا ۱۲ درصد نسبت به نمونه بدون دندانه بالاتر است. همچنین نمونه‌های رنگریزی شده با دندانه‌های آهن و مس به مقدار زیادی نسبت به سایر نمونه‌ها کدرتر می‌باشند. روشنایی نمونه‌های آهن و مس به ترتیب ۳۰ و ۱۲ کمتر از روشنایی نمونه بدون دندانه است.

نتایج  $a^*$  و  $b^*$  در جدول ۳ و شکل ۴ نشان می‌دهد استفاده از دندانه‌های فلزی و تغییر نوع دندانه در فرآیند رنگریزی با رنگزای دارچین بر مقدار پارامترهای  $a^*$  و  $b^*$  موثر بوده است، اما تغییری در ناحیه  $a^*b^*$  نداشته است. فام همه نمونه‌های رنگریزی شده با عصاره دارچین و دندانه‌های فلزی مختلف در ناحیه قرمز-زرد نمودار  $a^*b^*$  قرار دارد. نتایج نشان می‌دهد



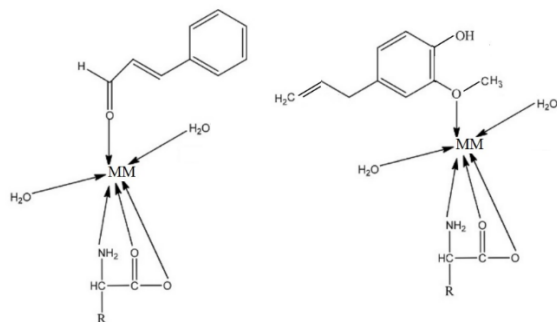
جدول ۳: پارامترهای رنگی الیاف پشم رنگرزی شده با دندانه‌های مختلف فلزی

نوع دندانه	L*	a*	b*	$\Delta E$	K/S	(K/S) <sub>R</sub>	ثبات شستشویی	ثبات نوری
بدون دندانه	54.30	11.78	23.71	--	5.19	--	3-4	3-4
آلومینیوم	59.29	7.71	21.49	6.74	3.77	72.63	4	4-5
مس	48.02	6.00	20.31	9.29	7.11	136.99	4-5	5
آهن	37.70	0.58	6.72	26.41	7.68	147.97	4-5	5
قلع	61.13	6.43	19.43	9.63	3.34	64.35	4	5
روی	57.68	8.71	21.96	4.82	4.27	82.27	4-5	5-6
کروم	59.12	5.00	19.20	9.44	3.64	70.13	5	6

قدرت رنگی (K/S) نمونه‌های رنگرزی شده در طول موج حداکثر جذب (۴۰۰ نانومتر) برای دندانه‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه‌های آهن (۷/۶۸) و مس (۷/۱۱)، قدرت رنگی بالاتری نسبت به نمونه بدون دندانه (۵/۱۹) دارند. قدرت نسبی رنگ ((K/S)<sub>R</sub>) این نمونه‌ها به ترتیب ۱۳۶/۹۹ و ۱۴۹/۹۷ درصد بالاتر از نمونه بدون دندانه است. این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط شهیدی و همکارانش در مورد استفاده از دندانه مس برای افزایش رنگ‌پذیری الیاف پنبه رنگرزی شده با پوست درخت دارچین همخوانی دارد [۱۲]. نتایج قدرت رنگی نشان می‌دهد نمونه‌های رنگرزی شده با سایر دندانه‌های فلزی، قدرت رنگی کمتری نسبت به نمونه بدون دندانه دارند. قدرت نسبی رنگ این نمونه‌ها ۶۴/۳۵ تا ۸۲/۲۷ درصد کمتر از نمونه بدون دندانه است.

در فرایند رنگرزی نخ‌های پشمی مورد استفاده در فرش‌های دست‌باف، بررسی خواص ثبات شستشویی و نوری رنگ این الیاف در کنار تعیین فام حائز اهمیت است. نتایج ثبات رنگ نخ‌های پشمی رنگرزی شده با عصاره دارچین در برابر شستشو و نور در جدول ۳ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نمونه رنگرزی شده با عصاره دارچین بدون دندانه دارای ثبات نوری و شستشویی پایینی (۳-۴) است. استفاده از دندانه‌های فلزی در فرایند رنگرزی موجب افزایش ثبات رنگ شده است. پایداری رنگ در رنگزاهای طبیعی به ساختار شیمیایی اجزای رنگزای طبیعی و استحکام کمپلکس ایجاد شده توسط دندانه در طی فرایند رنگرزی بستگی دارد [۲۱ و ۲۲]. در شکل ۵ نمای شماتیک از تشکیل پیوند بین رنگزاهای موجود در عصاره دارچین، دندانه‌های فلزی و لیگاندهای الیاف پشم نشان داده شده است. همان‌طور که

باشد. این ترکیبات می‌توانند اشعه UV را به مقدار قابل توجهی جذب کنند [۱۲ و ۲۴].



شکل ۵: ساختار شیمیایی اتصال رنگزاهای سینام‌آلدئید (سمت چپ)، اوژنول (سمت راست)، دندان فلزی و لیف پشم

### ۳-۴- تاثیر نوع اسید بر پارامترهای رنگی

یکی از مزایای رنگزاهای طبیعی، ایجاد گستره‌ای از فام‌های مختلف از یک رنگزا بر روی الیاف نساجی است. ماهیت رنگزای طبیعی، نحوه دندان دادن، نوع دندان و استفاده از شرایط مختلف pH می‌تواند فام‌های گوناگون را بر روی الیاف ایجاد نماید [۴ و ۲۵ و ۲۶]. نتایج بصری و پارامترهای رنگی نخ‌های پشم رنگری شده با اسیدهای مختلف فلزی در جدول ۴ آورده شده است. نتایج بصری نشان می‌دهد تغییر نوع اسید تاثیری بر فام نمونه‌های رنگری شده با عصاره دارچین نداشته است، اما شدت رنگ را به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر داده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود تغییر نوع اسید در حضور دندان‌های آلومینیوم، مس و قلع فام‌های قهوه‌ای روشن تا تیره و در حضور آهن فام‌های خاکستری با شدت‌های مختلف ایجاد نموده است.

مشاهده می‌شود، گروه‌های -O- و C=O در ساختار سینام-آلدئید و اوژنول (اصلی‌ترین رنگزاهای موجود در عصاره دارچین) با یون مثبت دندان‌های فلزی پیوند کووالانس-کئوردینانس ایجاد می‌کنند. همچنین یون‌های مثبت موجود در دندان‌های فلزی باعث اتصال آنها با گروه‌های عاملی از جمله گروه‌های -NH<sub>2</sub> و -COOH در الیاف پشم شده‌اند. کمپلکس تشکیل شده بین رنگزا، دندان و لیف پشم به دلیل خاصیت مهار رادیکال‌های آزاد، پایداری رنگ را در برابر عوامل محیطی افزایش می‌دهد [۲۳].

نتایج ثبات شستشویی و نوری نمونه‌های رنگری شده با دندان‌های فلزی (جدول ۳)، نشان می‌دهد در بین دندان‌های استفاده شده دندان کروم و پس از آن دندان‌های مس، آهن و روی بهترین ثبات شستشویی را ایجاد نموده‌اند. بررسی نتایج ثبات نوری نشان می‌دهد استفاده از دندان‌های مختلف باعث افزایش ثبات نوری به میزان دو تا سه درجه (بر اساس معیار آبی) شده است. در بین دندان‌های استفاده شده، دندان کروم و روی بهترین ثبات نوری (درجه ۶-۵ و بالاتر بر اساس معیار آبی) را ایجاد نموده‌اند. به طور کلی ثبات نوری رنگزاهای طبیعی به دلیل تجزیه فتولیتیک<sup>۵</sup> بخش کروموفر<sup>۶</sup> کم است. تحقیق‌های انجام شده نشان می‌دهد ثبات رنگزا در برابر نور در الیاف پروتئینی که با پوست درخت دارچین رنگری شده-اند از نظر استاندارد مناسب هستند [۹ و ۱۱]. این نتیجه می‌تواند ناشی از ترکیبات فنلی موجود در پوست درخت دارچین

<sup>6</sup> Chromophore

<sup>5</sup> Photolytic

جدول ۴: نتایج بصری و پارامترهای رنگی الیاف پشم رنگرزی شده با اسیدهای مختلف

K/S	b*	a*	L*	نمونه رنگرزی شده	نوع اسید	نوع دندان
3.77	21.49	7.71	59.29		اسید استیک	آلومینیوم
5.38	25.64	12.88	55.07		اسید اگزالیک	
4.99	23.94	12.49	54.26		اسید سیتریک	
7.11	20.31	6.00	48.02		اسید استیک	مس
6.97	21.54	8.24	50.92		اسید اگزالیک	
7.08	21.46	7.89	50.26		اسید سیتریک	
7.68	6.72	0.58	37.70		اسید استیک	آهن
10.44	10.61	2.19	36.11		اسید اگزالیک	
8.59	5.65	0.65	34.59		اسید سیتریک	
3.34	19.43	6.43	61.13		اسید استیک	قلع
4.63	22.00	6.64	65.68		اسید اگزالیک	
3.33	22.51	8.64	57.51		اسید سیتریک	

در این تحقیق اثر پارامترهای رنگریزی مانند مقدار رنگزا، زمان رنگریزی، نوع اسید و نوع دندان به پارامترهای رنگی و ثبات الیاف پشم رنگریزی شده با پوست درخت دارچین بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند:

- با افزایش مقدار عصاره رنگزا از ۲۰ تا ۸۰ درصد، مقدار قرمزی، سبزی و قدرت رنگی نمونه‌های پشم رنگریزی شده افزایش یافته است، اما افزایش مقدار عصاره رنگزا از ۸۰ درصد به بالاتر تاثیر بر پارامترهای رنگی و قدرت رنگ نمونه‌های رنگریزی شده نداشته است.

- نگه داشتن نخ‌های پشمی بین ۶ تا ۴۸ ساعت در دمای محیط در حمام رنگریزی باعث افزایش جذب رنگزا، افزایش قدرت رنگی و کاهش روشنایی نمونه‌های رنگریزی شده گردیده است.

- بیشترین مقدار بازتاب نمونه‌های رنگریزی شده با دندان‌های مختلف در طول موج ۷۰۰ نانومتر (محدوده رنگ-های قرمز) و کمترین مقدار بازتاب در طول موج ۴۰۰ نانومتر (محدوده رنگ‌های زرد) به دست آمده است.

- استفاده از دندان‌های فلزی مختلف در رنگریزی الیاف پشم با رنگزای دارچین می‌تواند فام‌های خاکستری تیره و قهوه‌ای روشن تا تیره را ایجاد نماید.

- نمونه‌های رنگریزی شده با دندان‌های آهن و مس، قدرت رنگی بالاتری نسبت به نمونه بدون دندان دارند. نمونه‌های رنگریزی شده با سایر دندان‌های فلزی، قدرت رنگی کمتری نسبت به نمونه بدون دندان دارند.

بررسی نتایج قدرت رنگی نشان می‌دهد استفاده از اسید اگزالیک باعث رمق‌کشی بیشتر در حمام رنگریزی و تیره شدن نمونه‌ها در حضور دندان‌های آلومینیوم، آهن و قلع شده است. در بین اسیدهای استفاده شده در حضور دندان‌های آلومینیوم، آهن و قلع، اسید استیک ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است. نتایج نمونه‌های رنگریزی شده با دندان مس نشان می‌دهد تغییر نوع اسید تاثیر معناداری بر قدرت رنگی نمونه‌ها نداشته است. به طور کلی بررسی نتایج تاثیر نوع اسید نشان می‌دهد استفاده از اسیدهای مختلف باعث تغییر در مقدار دندان‌های فلزی فعال، تغییر در تعداد لیگاندهای فعال در الیاف پشم و مقدار جذب رنگزا در فرآیند رنگریزی شده است. در ساختار سینام‌آلدئید و اوژنول (رنگزاهای موجود در ساختار دارچین)، گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل وجود دارند. استفاده از اسیدها در فرآیند رنگریزی باعث هیدرولیز شدن ساختارهای کربوکسیل و هیدروکسیل در سینام‌آلدئید و اوژنول می‌شود. در این حالت تمایل این گروه‌ها برای اتصال از نوع کئوردینانس با دندان‌های فلزی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، محیط اسیدی باعث تسهیل در انتقال موثر الکترون‌ها از گروه‌های کربوکسیل و آمینو در ساختار پشم به دندان‌های فلزی و تشکیل پیوندهای کئوردینانس بین این گروه‌ها می‌شود [۲۹-۳۰]. همچنین در برخی از موارد اسیدها می‌توانند به عنوان دندان‌ها نیز عمل نمایند و بر روی نوع و شدت فام ایجاد شده موثر باشند [۲۴ و ۳۰].

#### ۴- نتیجه‌گیری

شده است. در بین اسیدهای استفاده شده، اسید استیک ضعیف‌ترین عملکرد را برای افزایش قدرت رنگ داشته است.

#### ۵- قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد 1GRN36M797 از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهرکرد می‌باشد.

#### ۶- مراجع

- [1] Jian, L., Wenying, L., Xiaojing, K., Feng, Z., Mingyang, H., Yuanbin, S., Yang, Z., Profiling by HPLC-DAD-MSD reveals a 2500-year history of the use of natural dyes in Northwest China, *Dyes Pigm.*, 187, 109143, 2021.
- [2] Rashmi, D., Padmavathi, T., Natural and artificial flavoring agents and food dyes: comparative study of natural and artificial flavoring agents and dyes, Academic Press, 83-111, 2018.
- [3] Kamali-Moghaddam, M., Ghanbari-Adivi, M., Tehrani, M., Effect of acids and different mordanting procedures on color characteristics of dyed wool fibers using Eggplant Peel (*Solanum melongena* L.), *Prog. Color, Colorants Coat.*, 12(4), 219-230, 2019.
- [4] Barani, H., Helal Bahr, S. Investigation on color and antibacterial properties of woolen yarn dyed with fruit of *Ailanthus altissima* tree, *Journal of Textile Science and Technology*, 9(4), 25-33, 2020.
- [5] Rafeeq, H., Sharba, Z.A., Study the effect of cinnamon and tea tree oils on biofilm formation of *klebsiella pneumoniae*, *J. App. Sci. Nanotech.*, 2(2), 16-26, 2022.
- [6] Tafzi, F., Bioactivity of cinnamon (*Cinamomum* sp), *Indones. Food Sci. Tech. J.*, 3(1), 18-22, 2019.
- [7] Benencia, F., Courrèges, M. C., In vitro and in vivo activity of eugenol on human herpesvirus, *Phytothe. Res.*, 14 (7), 495-500, 2000.

• در بین دندانه‌های استفاده شده دندانه کروم و پس از آن دندانه‌های مس، آهن و روی بهترین ثبات شستشویی را ایجاد نموده‌اند. همچنین نمونه‌های رنگرزی شده با دندانه‌های کروم و روی بهترین ثبات نوری را دارند.

- استفاده از اسید اگزالییک باعث رمق‌کشی بیشتر در حمام رنگرزی و تیره شدن نمونه‌ها در حضور اکثر دندانه‌ها
- [8] Senevirathne, B. S., Jayasinghe, M. A., Pavalakumar, D., Siriwardhana, C. J., Ceylon cinnamon: a versatile ingredient for futuristic diabetes management, *J. future foods*, 2(2), 125-142, 2022.
- [9] Adeel, S., Habib, N., Arif, S., Rehman, F., Azeem, M., Batool, F., Amin, N., Microwave-assisted eco-dyeing of bio mordanted silk fabric using cinnamon bark (*Cinnamomum Verum*) based yellow natural dye. *Sustain. Chem. Pharm.*, 17, 100306, 2020.
- [10] Peter, K., López, Z. L., Acevedo-Hernandez, G., Sevilla, M. T. E., Cinnamon essential oil: Chemical composition and biological activities, In: *Essential Oils Production, Applications and Health Benefits*, Nova Science Publishers, Inc., 215-244, 2018.
- [11] Adeel, S., Habib, N., Batool, F., Amin, N., Ahmad, T., Arif, S., Hussaan, T., Environmental friendly exploration of cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) based yellow natural dye for green coloration of bio-mordanted wool fabric, *Environ Prog Sustain Energy*, 41(4), 13794, 2021.
- [12] Shahidi, S., Khoshechin, E., Dalal Sharifi, S., Mongkholrattanasit, R., Investigation of the effect of various natural dyes on UV protection properties and antibacterial activity of cotton fabrics, *J. Nat. Fibers*, 19(13), 1-16, 2021.
- [13] Kusstianti, N., Wilujeng, B.Y., Megasari, D.S., The effects of cinnamon and clove powder compositions on hair coloring, *Adv. Soc. Sci. Educ. Hum. Res.*, 112, 172-175, 2017.

- [14] Surya, A., Deepan, T., Alekhya, V., Dhanaraju, M. D., A comparative study of dyeing efficiency and retention capacity of formulated polyherbal hair dye, *Int. J. Recent Sci. Res.*, 12(9), 43106-43109, 2021.
- [15] Wong, Y. C., Ahmad-Mudzaqqir, M. Y., Wan-Nurdiyana, W. A., Extraction of essential oil from cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*), *Orient. J. Chem.*, 30(1), 37-47, 2014.
- [16] Shahid, M., Ahmad, A., Yusuf, M., Khan, M. I., Khan, S. A., Manzoor, N., Mohammad, F., Dyeing, fastness and antimicrobial properties of woollen yarns dyed with gallnut (*Quercus infectoria Oliv.*) extract. *Dyes Pigm.*, 95(1), 53-61, 2012.
- [17] Zhang, P., Ding, J., Hou, J., Zhao, L., Chen, Y., Ding, L., Dynamic microwaveassisted extraction coupled with matrix solid-phase dispersion for the determination of chlorfenapyr and abamectin in rice by LC-MS/MS, *Microchem. J.*, 133, 404-411, 2017.
- [18] Jiang, H., Hu, X., Khan, A., Yao, J., Tahir Hussain, M., Dyeing mechanism and photodegradation kinetics of gardenia yellow natural colorant, *Text. Res. J.*, 91(7-8), 839-850, 2021.
- [19] Akbari, A., The Dyeing of protein fibers by synthetic dyes, Kashan, 2012.
- [20] Luftinor, Herlina, N., Kurniati, A. S., Coffee bean skin waste extraction for silk dyeing, *Mater. Sci. Eng.*, 801, 1-9, 2020.
- [21] Islam, S., Mohammad, F., Natural colorants in the presence of anchors so-called mordants as promising coloring and antimicrobial agents for textile materials, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 3, 2361-2375, 2015.
- [22] Rather, L. J., Islam, S., Mohammad, F., Study on the application of *Acacia nilotica* natural dye to wool using fluorescence and FT-IR spectroscopy, *Fibers Polym.*, 16, 1497-1505, 2015.
- [23] Abdel-Ghaffar, F. R., El Elaimy, I. A., In vitro antioxidant and scavenging activities of *Hibiscus rosa sinensis* crude extract, *J. Appl. Pharm. Sci.*, 2, 51-58, 2012.
- [24] Gong, K., Rather, L. J., Zhou, Q., Wang, W., Li, Q., Natural dyeing of merino wool fibers with *Cinnamomumcamphora* leaves extract with mordants of biological origin: a greener approach of textile coloration, *J. Text. Inst.*, 111(7), 1038-1046, 2020.
- [25] Wanyama, P. A. G., Kiremire, B. T., Ogwok, P., Murumu, J. S., The Effect of Different Mordants on Strength and Stability of Colour Produced from Selected Dye-Yielding Plants in Uganda, *Int. Arch. App. Sci. Tech.*, 1(2), 81-92, 2010.
- [26] Rafiei, S., Dyeing of silk fibers with natural dye extracted from different parts of *Ficus Johannis Boiss* plant, *Journal of Textile Science and Technology*, 11(2), 1-17, 2022.
- [27] Farizadeh, K., Montazer, M., Yazdanshenas, M. E., Rashidi, A., Malek, R. M. A., Extraction, identification and sorption studies of dyes from madder on wool, *J. Appl. Polym. Sci.*, 113, 3799-3808, 2009.
- [28] Herath, D. T. B., Wickramasinghe, G. C., Aponsu, G. M. L. P., Perera, V. P. S., Effects of acidification of clove fruit dye extracted in water and ethanol for performance enhancement of DSSCs, *J. Physic.*, 22, 110-119, 2021.
- [29] Valipour, P., Ekrami, E., Shams Nateri, A., Evaluation of PH effect in wool dyeing with cochineal, *Tech. Text. J.*, 7(2), 43-53, 2012.
- [30] Shahmoradi Ghaheh, F., Kamali Moghaddam, M., 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.