

Ecofriendly Antibacterial Dyeing of Wool Using Sichka Gall

Somayeh Baseri*, Soran Ahmadzadeh

Department of Art, Semnan University, P. O. Box: 35131-19111, Semnan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 05-06-2021

Accepted: 31-08-2021

Available online: 11-09-2022

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.2.6

Keywords:

Sustainable development

Wool

Sichka

Poly phenols

Bio-mordants

ABSTRACT

With the growing awareness about cleaner surroundings, using natural materials in textile dyeing has been developed recently. In this way, in this research, one of the galls of the oak tree named Sichka was selected as a sample of cultural waste, and the optimal conditions of wool dyeing were investigated for the first time. The results show that sichka is a vast source of polyphenolic and tannins compounds and then can be considered an excellent candidate for wool dyeing and produced outstanding antibacterial properties. Results indicate that for the conditions used in our experiments, the optimum dyeing conditions are dye concentration of 45 % at the temperature of 80 °C, time of 60 min, and pH of 4.5. The results also show that the wheat barn and citric acid were used as the bio- mordants to increase the affinity of wool yarns to the dye extract and improve dye fastness properties. It provides an excellent way to protect the ecosystem as much as possible and a space for new businesses with value-added.

*Corresponding author: Baseri@semnan.ac.ir



رنگرزی ضد میکروبی و سازگار با محیط زیست پشم توسط گال سیچکا

سمیه باصری^۱، سوران احمدزاده^۲

۱- استادیار، دانشکده هنر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، صندوق پستی: ۳۵۱۳۱-۱۹۱۱۱

۲- دانشجوی کارشناسی، دانشکده هنر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، صندوق پستی: ۳۵۱۳۱-۱۹۱۱۱

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل اهمیت مسائل زیست محیطی، استفاده از مواد گیاهی در رنگرزی منسوجات بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا در این تحقیق برای اولین بار، یکی از گال‌های درخت بلوط به نام سیچکا به عنوان نمونه‌ای از مواد زائدانی گیاهی انتخاب شده و شرایط بهینه رنگرزی پشم با آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که سیچکا دارای مقادیر نسبتاً زیادی ترکیبات پلی فنلی و تانن بوده و لذا گزینه مناسبی برای رنگرزی پشم می‌باشد و می‌تواند خاصیت ضد باکتری مناسبی در آن ایجاد کند. تحت شرایط مورد مطالعه در این پژوهش، بررسی عوامل رنگرزی نشان داد که مقدار ۴۵ درصد رنگزای سیچکا در دمای ۸۰ °C و مدت زمان ۶۰ دقیقه در $pH = 4.5$ مناسب‌ترین شرایط برای رنگرزی پشم با این رنگزای طبیعی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که با استفاده از دندانه‌های زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک می‌توان میزان جذب رنگ توسط پشم و ثبات‌های عمومی آن را بهبود بخشید. بنابراین این روش می‌تواند کمک شایانی به کاهش آلودگی محیط زیست و تولید مواد با ارزش افزوده بالا نماید.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۹

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۶/۲۰

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.2.6

واژه‌های کلیدی:

توسعه پایدار

پشم

سیچکا

پلی (فنل‌ها)

دندانه‌های زیستی

۱- مقدمه

فرش دستباف یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی غیر نفتی ایران است که از پتانسیل بالایی برخوردار بوده و نه تنها می‌تواند اشتغال‌زا باشد بلکه می‌تواند برای کشور ارزآور نیز باشد. قدمت فرش ایرانی بسیار طولانی بوده به نحوی که قدیمی‌ترین فرش جهان (پازیریک) متعلق به ایران می‌باشد. فرش دستباف ایران یکی از برجسته‌ترین جلوه‌های فرهنگ و هنر این سرزمین محسوب شده و کیفیت و ارزش آن تحت تأثیر عوامل متعددی می‌باشد. لذا مطالعه عواملی که منجر به افزایش ارزش فرهنگی- اقتصادی این محصول می‌شوند، بسیار حایز اهمیت است. از جمله عوامل بسیار مهم در ارزش‌گذاری فرش دستباف، رنگ‌های استفاده شده در آن می‌باشد. رنگ نقش مهمی در جذب بیننده داشته و می‌تواند منجر به توسعه و ایجاد تحول در فرش دستباف به ویژه از نظر اقتصادی گردد. اگرچه رنگ‌های مصنوعی از خلوص و تنوع بالاتری در مقایسه با رنگ‌های طبیعی برخوردارند و فرآیند رنگری با آنها نیز آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر است، اما زیست تجزیه‌ناپذیر بوده و به شدت آلوده کننده محیط زیست می‌باشند. به منظور کاهش آلاینده‌های زیست محیطی و جلوگیری از فرسایش گسترده منابع طبیعی و ایجاد زباله، جایگزین نمودن رنگ‌های طبیعی با رنگ‌های مصنوعی بسیار حایز اهمیت است. از این رو امروزه بازارهای فرش دستباف در سراسر جهان علاقمند به خرید و فروش فرش‌های رنگری شده با رنگ‌های طبیعی می‌باشند. به کارگیری رنگ‌های گیاهی در فرش دستباف نه تنها آثار اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی متعددی در پی دارد بلکه می‌تواند گام مهمی در توسعه پایدار کشور و حفظ و توسعه محیط زیست باشد. رنگ‌های گیاهی دارای مزایایی چون زیست تخریب پذیر و تجزیه پذیر بودن، ضدبو، غیرسمی، ضدباکتری و ضد حساسیت می‌باشند [۵-۱] که استفاده از آنها منجر به بهبود کیفیت محصول، افزایش ارزش افزوده محصول، صرفه جویی ارزی، ایجاد اشتغال و همچنین تشویق بخش خصوصی به توسعه زمین‌های بایر و برداشت گیاهان رنگزا می‌گردد. ایران با برخورداری از شرایط اقلیمی و جغرافیایی بسیار مناسب و آب و هوای چهار فصل، دارای انواع گیاهان خود رو و صنعتی بوده که با شناسایی و مطالعه قابلیت‌های استفاده از آنها در رنگری پشم می‌توان گام مهمی در جهت توسعه فرش دستباف برداشت.

یکی از این گیاهان که به وفور در مناطق کوهستانی ایران یافت می‌شود، درخت بلوط می‌باشد. بلوط که از جمله مهم‌ترین درختان جنگلی دنیا است، از جنس *Quercus* از تیره *Fagaceae* و از راسته *Fagales* محسوب می‌شود [۶]. در ایران انواع گونه، زیرگونه و تنوع بلوط موجود است که عمدتاً در نواحی غربی و شمال غربی ایران قرار گرفته‌اند [۷]. یکی از محصولات فرعی درخت بلوط، گال می‌باشد. تشکیل گال روی درخت بلوط پدیده‌ای متداول بوده که در نتیجه

تخم‌ریزی موجودات گال‌زا در بافت گیاهی و واکنش گیاه نسبت به ترشحات لاروی عامل گال‌زا به صورت برجستگی‌های کروی شکل و یا به شکل‌های دیگر بر روی برگ، ریشه، میوه، شاتون و شاخه‌های درختان بلوط، به وجود می‌آید [۸]. گال که دارای بافت‌های مغزی می‌باشد به عنوان یک ذخیره غذایی برای حشره گال‌زا محسوب شده و از آنها در برابر شرایط نامناسب محیطی محافظت می‌کند. تاکنون بیش از پانزده هزار حشره‌ی گال‌زا شناسایی شده است [۹] که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به تعدادی از مایت‌ها، گروهی از پشه‌ها که اغلب متعلق به خانواده *Cecidomyiidae* می‌باشند و همچنین انواع زنبورهای تیره *Cynipidae* اشاره نمود [۱۰]. با توجه به نوع حشره مولد گال و همچنین به دلیل رشد متفاوت لایه‌های پارانشیمی و اپیدرمی گیاه، گال‌های ایجاد شده در مناطق مختلف از نظر شکل، اندازه و ترکیبات تشکیل دهنده با یکدیگر متفاوت می‌باشند [۱۲، ۱۱].

بخش خارجی گال‌ها از لایه‌های ضخیمی با بافت اسفنجی یا چوبی تشکیل شده است و به منظور تأمین مکانیسم‌های دفاعی مؤثر جهت حفاظت از عامل گال‌زا، دارای ترکیبات شیمیایی ثانویه از قبیل فنل‌ها، تانن‌ها، فلاونوئیدها و گالوتانیک اسید یا گالوتن نیز می‌باشند [۱۲، ۸]. با وجود تفاوت‌هایی که در بخش خارجی گال‌ها وجود دارد اما تمام گال‌ها دارای بافت داخلی مشابهی بوده به این ترتیب که سطح داخلی آنها سرشار از سلول‌های بزرگی مملو از پلی‌تن و لیپید است. همچنین دارای یک‌سری متابولیت‌های ثانویه گیاهی از قبیل ترپنوئید، تانن و آلکالوئید نیز می‌باشند [۹]. به عبارت دیگر می‌توان گال‌ها را مخزنی از ترکیبات شیمیایی و دفاعی از قبیل فنل‌ها و تانن‌ها نیز در نظر گرفت [۱۲]. وجود مقادیر نسبتاً زیاد ترکیبات ثانویه و فنلی در بافت گال‌ها آنها را گزینه‌های مناسبی برای استفاده در رنگری قرار می‌دهد. در این راستا مطالعات متعددی روی یکی از گال‌های بلوط به نام «مازوج» و استفاده از آن در رنگری پشم انجام شده است [۱۵-۱۳]. مازوج که سرشار از تانن است توسط زنبور گال‌زای *Andricus Sternlikhtii Bellido* تولید می‌شود [۸]. این در حالی است که همان‌طور که اشاره گردید تنوع بسیار زیادی در انواع گال‌های بلوط وجود دارد و انواع گال‌ها از نظر میزان و غلظت متابولیت‌هایی چون نیتروزن، کربوهیدرات و ترکیبات فنلی با یکدیگر تفاوت‌های معنی‌داری دارند [۱۲]. با در نظر گرفتن این نکته که درختان بلوط پوشش عمده جنگل‌های زاگرس را تشکیل داده و اغلب انواع گال‌های ایجاد شده روی آنها به عنوان زائده‌های گیاهی محسوب می‌شوند، لذا شناسایی و مطالعه انواع دیگر آنها به غیر از مازوج و بررسی امکان استفاده از آنها در رنگری بسیار حایز اهمیت است. مسلماً تحقیقات گسترده و منسجم در این زمینه می‌تواند زمینه‌ساز کاربردهای جدید آنها در رنگری و معرفی رنگزاهایی نوین با حداقل هزینه اقتصادی شده و به توسعه پایدار کشور کمک نماید.

می‌باشند. این موضوع یکی از مشکلات جدی در رنگرزی با رنگ‌های گیاهی می‌باشد. در این راستا و به منظور برطرف نمودن این مشکل، ابتدا رنگرزی موجود در سیچکا با استفاده از حلال اتانل و به روش سوکسله استخراج شد و سپس به صورت پودر با خلوص و کیفیت بالا درآورده شد. به این منظور ابتدا سیچکاهای جمع‌آوری شده با محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم شسته شده و پس از خشک شدن، با استفاده از دستگاه آسیاب برقی پودر شدند. سپس عصاره‌گیری توسط ۵۰ گرم پودر سیچکا و ۲۵۰ میلی‌لیتر اتانل صد درصد به مدت زمان ۱۰ ساعت انجام شد. پس از گذشت این مدت زمان، عصاره به دست آمده در دمای محیط و در هوای آزاد قرار داده شد تا حلال اتانل موجود در آن به طور کامل تبخیر شود و در نهایت عصاره خالص سیچکا به صورت جامد به دست آمد. این عصاره به صورت پودر در آورده شد و برای رنگرزی مورد استفاده قرار گرفت.

عصاره‌گیری از سبوس گندم به روش خیساندن در آب انجام شد. به این ترتیب که ابتدا ۲۰ گرم سبوس گندم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل ارلن مایر سر بسته قرار داده شد و در دمای محیط به مدت زمان ۲۴ ساعت به دور از نور خیسانده شد. بعد از گذشت این مدت زمان، عصاره سبوس توسط کاغذ صافی واتمن از تفاله آن جدا شد. فرآیند صاف کردن دو بار تکرار شد و عصاره به دست آمده به عنوان دندانه مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-۲- شستشوی پشم

به منظور زدودن ناخالصی‌ها، واکس و آلودگی‌های موجود در پشم، ابتدا محلولی شامل ۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم و ۳ گرم بر لیتر صابون غیریونی تهیه گردید. نخ‌های پشمی به مدت زمان ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با L:R ۳۰:۱ در این محلول صابونی شدند [۱۶]. سپس به منظور جلوگیری از رسوب مجدد آلودگی‌ها روی کالا، نخ‌ها از محلول خارج شده ابتدا با آب گرم و سپس با آب سرد به خوبی آبکشی شدند و در نهایت در دمای اتاق خشک شدند.

۲-۲-۳- رنگرزی با عصاره سیچکا

قبل از رنگرزی، نخ‌های پشمی شسته شده به مدت نیم ساعت در آب مقطر، خیسانده شدند. به منظور به دست آوردن شرایط بهینه رنگرزی، نخ‌ها در حمام‌هایی که شامل مقادیر مختلف عصاره سیچکا (۹۰-۱۵ درصد وزن کالا) و pH های متفاوت (۱۰-۳) بودند، در دماهای ۱۰۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان‌های ۱۰۰-۳۰ دقیقه رنگرزی شدند. به منظور تنظیم pH حمام رنگرزی، از اسید استیک و کربنات سدیم استفاده شد. در همه حمام‌های رنگرزی، نسبت حجم مایع به کالا ۲۰:۱ در نظر گرفته شد. در هر مورد پس از آماده‌سازی حمام رنگ، دمای حمام به ۳۵ درجه سانتی‌گراد رسانده شده و سپس نخ پشمی وارد حمام شد. پس از قرارگیری نمونه به

در این راستا تحقیق حاضر برای نخستین بار یکی از انواع گال‌های موجود در درختان بلوط جنگل‌های غرب ایران با نام محلی «سیچکا» را انتخاب نموده و شرایط بهینه رنگرزی پشم با آن را مورد ارزیابی قرار خواهد داد. سیچکا یک گال غیرجنسی بوده که در نتیجه نیش زنبور *Andricus curtisii* (*Cynips mediterranea* Trott) بر روی جوانه‌های بلوط گونه *Quercus infectoria* Oliv به وجود می‌آید [۹]. در این پژوهش برای اولین بار، ماده رنگرزی سیچکا استخراج شده و سپس با استفاده از معرف فولین سیوکالتو، مقدار کل ترکیبات فنلی و همچنین میزان تانن‌های قابل استخراج در عصاره رنگرزی سیچکا به عنوان متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاه، اندازه‌گیری شد. سپس به رنگرزی پشم با عصاره سیچکا پرداخته و شرایط بهینه رنگرزی به دست آورده شد. همچنین بهبود جذب رنگ و ثبات‌های عمومی کالای رنگرزی شده با استفاده از دو دندانه زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک مورد مطالعه قرار گرفته و بررسی خواص ضد باکتری نخ‌های رنگرزی شده نیز از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد مصرفی و دستگاه‌های مورد استفاده

اسید سیتریک، گالیک اسید، اتانل و هیپوکلریت سدیم از شرکت مرک آلمان خریداری شد. در این تحقیق از نخ پشمی سفید مریئوس دولا با نمره نخ ۱۶۰ تکس استفاده شد. نمونه گال‌های مورد نظر (سیچکا) به طور تصادفی از جنگل‌های بلوط واقع در شهرستان سردشت استان آذربایجان غربی و از بلوط گونه *Quercus Oliv infectoria* جمع‌آوری گردیدند. سبوس گندم از منابع تجاری تهیه شد. برای شستشوی اولیه پشم از صابون غیر یونی ساخت شرکت نیک فام شیمی استفاده شد. از آب مقطر به عنوان حلال برای ساخت تمام محلول‌ها استفاده گردید. ترازوی Tanita مدل 1210N ساخت کشور ژاپن با دقت ۰,۰۰۱ گرم برای وزن کردن مواد مختلف به کار گرفته شد. به منظور تهیه پودر سیچکا از آسیاب برقی ناسیونال استفاده شد. از کاغذ صافی مش ۴۲ واتمن به منظور صاف کردن عصاره رنگ و سبوس گندم استفاده شد. فرآیندهای رنگرزی و دندانه دادن توسط دستگاه Ahiba 1000 polymath انجام شد. ریخت‌شناسی سطحی نخ‌های پشمی توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی فیلیپس مدل XL30 ساخت کشور هلند مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲- روش کار

۲-۲-۱- استخراج عصاره از سیچکا و سبوس گندم

اغلب رنگ‌های طبیعی به دلیل عدم خلوص بالا و همچنین نایک‌نواختی در کیفیت آنها با مشکل عدم تکرارپذیری رنگ مواجه

۱- ابتدا منحنی استاندارد با استفاده از اسید گالیک رسم و معادله رگرسیون مربوطه تعیین گردید. به این ترتیب که محلولی از ۱۰ میلی لیتر اتانل ۹۶ درصد و ۰٫۴ گرم اسید گالیک خشک تهیه شد و توسط آب مقطر، حجم نهایی محلول به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. از این محلول مقادیر ۰، ۱، ۲، ۳، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی لیتر را در بالن های مختلفی ریخته و حجم همه آنها با آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد (معادل با غلظت های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر گالیک اسید). جذب هر یک از این محلول ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه گیری شد و سپس نمودار استاندارد (عدد جذب بر حسب غلظت های مختلف گالیک اسید) رسم و معادله خط رگرسیون به دست آمد ($y = 0.083x + 0.042R^2 = 0.981$).

۲- سپس ۲۰ میکرو لیتر از محلول عصاره سیچکا و ۲ میلی لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرو لیتر معرف فولین سیوکالتو (یک نرمال) را با هم مخلوط کرده و پس از گذشت ۸ دقیقه در دمای اتاق، ۳۰۰ میکرو لیتر محلول سدیم کربنات ۷ درصد وزنی - حجمی به مخلوط فوق اضافه گردید. محلول حاصل به مدت زمان ۲ ساعت در محیط تاریک و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد همراه با هم زدن با سرعت ثابت انکوبه شد تا فاز آبی گسترش یابد.

۳-۱، گرم پلی وینیل پلی پیرولیدون را در لوله آزمایشی ریخته و به آن یک میلی لیتر عصاره سیچکا و یک میلی لیتر هم آب مقطر افزوده و لوله تکان داده شد. این لوله در میان قطعات یخ به مدت زمان ۱۵ دقیقه نگهداری شد. بعد از گذشت این مدت زمان، لوله را مجدداً تکان داده و محتویات داخل آن با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت زمان ده دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت محلول شفاف جدا گردید.

۳- جذب محلول های به دست آمده در مراحل ۲ و ۳ توسط طیف سنج UV-Vis در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه گیری شد. آزمایش برای هر استاندارد و عصاره سه بار تکرار شد. مقادیر جذب خوانده شده در این مرحله را در معادله رگرسیون به دست آمده از مرحله اول قرار داده و به این ترتیب غلظت معادل اسید گالیک در عصاره سیچکا به دست آمد و نتیجه نهایی بر حسب میلی گرم گالیک اسید بر گرم خشک سیچکا بیان شد. به منظور محاسبه مقدار تانن های قابل استخراج، تفاوت عدد حاصل از محلول شامل پلی وینیل پلی پیرولیدون از محلولی که فاقد این ماده بود، به دست آورده شد.

۲-۳-۲- ثبات نوری و شستشویی

ثبات نوری و شستشویی نخ های پشمی رنگرزی شده در شرایط بهینه به ترتیب بر اساس استانداردهای مؤسسه ملی استاندارد ایران به شماره های ۴۰۸۴ و ۱۰۰۷۶ اندازه گیری شد.

مدت زمان ۱۰ دقیقه در این دما، دمای حمام با سرعت ثابت ۱٫۵ درجه سانتی گراد در دقیقه تا دمای مورد نظر افزایش یافت. سپس رنگرزی در این دما به مدت زمان مورد نظر ادامه یافت و پس از کاهش دمای حمام رنگرزی با سرعت ثابت ۳ درجه سانتی گراد در دقیقه تا دمای محیط، نمونه ها به خوبی آبکشی شده تا مواد جذب نشده از روی لیف خارج شوند و در نهایت نمونه ها در دمای محیط خشک شدند.

۲-۴-۲- دندانه دادن با عصاره سبوس گندم

دندانه دادن به روش پیش دندانه و به صورت آغشته کردن-انبار کردن (cold pad-batch) انجام شده است. به این منظور ۵ گرم نخ پشمی از قبل خیس شده با ۱۰۰ میلی لیتر محلول عصاره سبوس در محیط خنثی در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد به مدت زمان ۴ ساعت عمل شد. به منظور جلوگیری از تخریب بافت پروتئینی سبوس، عملیات دندانه دادن در دمای پایین انجام شد. بعد از گذشت این مدت زمان و آغشته شدن نخ های پشمی با عصاره سبوس گندم، نمونه ها تحت مقدار برداشت ۷۰ درصد پد شدند. سپس نخ های دندانه دار شده آبکشی، چلانده و در دمای محیط خشک شدند.

۲-۵-۲- دندانه دادن با اسید سیتریک

دندانه دار کردن پشم با سیتریک اسید نیز به روش پیش دندانه و به صورت آغشته کردن-انبار کردن انجام شده است. به این صورت که ابتدا ۵ گرم نخ پشمی از قبل خیس شده با ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۰٫۱ مولار اسید سیتریک در دمای اتاق به مدت زمان ۲۴ ساعت آغشته شد. سپس نمونه ها تحت مقدار برداشت ۷۰ درصد پد شده، آبکشی، چلانده و نهایتاً در دمای محیط خشک شدند.

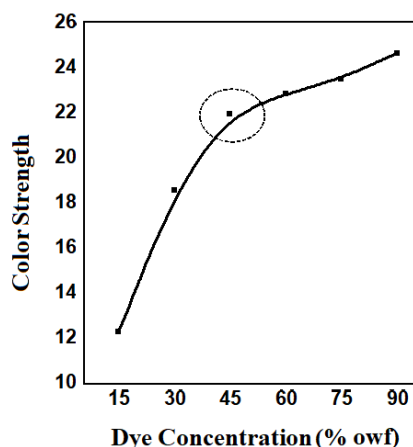
۲-۶-۲- شستشوی بعد از رنگرزی

بعد از اتمام فرآیند رنگرزی و به منظور جداسازی مواد رنگزایی سطحی، نخ ها با محلول ۲ گرم بر لیتر شوینده غیریونی در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت زمان ۱۰ دقیقه صابونی شده و در نهایت به خوبی در دو مرحله آبکشی و خشک شدند.

۲-۳-۲- اندازه گیری ها

۲-۳-۱- اندازه گیری کل ترکیبات فنلی و تانن های قابل استخراج

با استفاده از معرف فولین - سیوکالتو، مقدار کل ترکیبات فنلی عصاره به صورت زیر اندازه گیری شد [۱۷، ۱۸]. معرف فولین - سیوکالتو در مجاورت ترکیبات فنلی در محیط قلیایی، احیا شده و منجر به آبی شدن رنگ محلول می گردد.

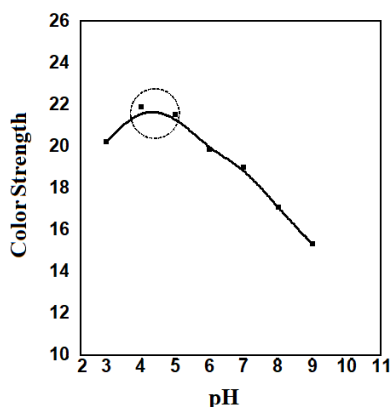


شکل ۱: اثر غلظت حمام رنگرزی روی قدرت رنگی در طول موج ۳۹۰ نانومتر (دمای رنگرزی ۸۰ درجه سانتی گراد، مدت زمان ۶۰ دقیقه و pH=۴,۵).

Figure 1: Effect of dye concentration on color strength value measured at 390 nm (dyeing temperature= 80 °C, dyeing time = 60 min, pH = 4.5).

همان طور که ملاحظه می گردد با افزایش غلظت رنگ تا حدود ۴۵ درصد، قدرت رنگی نمونه ها به شدت افزایش می یابد و پس از آن جذب رنگ تقریباً ثابت می شود. علت این موضوع را می توان چنین بیان نمود که در غلظت های بالاتر رنگ، تعداد مولکول های رنگ بیشتری در دسترس بوده و لذا قدرت رنگی نمونه ها افزایش می یابد. به نظر می رسد که در غلظت های بالاتر از ۴۵ درصد تقریباً الیاف اشباع شده و جذب رنگ به آهستگی افزایش می یابد. بنابراین مقدار بهینه غلظت رنگ، ۴۵ درصد در نظر گرفته شد.

شکل ۲ اثر pH حمام رنگرزی روی میزان جذب رنگ را نشان می دهد.



شکل ۲: اثر pH حمام رنگرزی روی قدرت رنگی در طول موج ۳۹۰ نانومتر (غلظت رنگ ۴۵ درصد، دمای رنگرزی ۸۰ درجه سانتی گراد و مدت زمان ۶۰ دقیقه).

Figure 2: Effect of pH on the color strength value measured at 390 nm (dye concentration = 45% owf, dyeing temperature= 80 °C, dyeing time = 60 min).

۳-۳-۲- قدرت رنگی و مؤلفه های رنگی

منحنی های انعکاسی نمونه های رنگرزی شده مختلف توسط دستگاه طیف سنج انعکاسی مدل X-Rite Sp64 ساخت آمریکا در محدوده ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر اندازه گیری شد. مقدار قدرت رنگی نمونه های مختلف با استفاده از رابطه کیوبلکا-مانک در طول موج بیشینه جذب یعنی ۳۹۰ نانومتر محاسبه شد. مؤلفه های رنگی نخ های رنگرزی شده زیر منبع نوری D65 با زاویه مشاهده کننده استاندارد ۱۰ درجه در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ اندازه گیری شد.

۴-۳-۲- اندازه گیری میزان فعالیت ضد میکروبی

میزان فعالیت ضد میکروبی نخ های پشمی رنگرزی شده با سیچکا به روش کمی و تحت شرایط تماسی متحرک مطابق با استاندارد AATCC 100-2004 اندازه گیری شد. میکروارگانیزم های استافیلوکوکوس اورئوس با مشخصه ATCC 25923 و اشریشیا کلای با مشخصه ATCC 25922 به ترتیب به عنوان میکروب های گرم مثبت و گرم منفی در نظر گرفته شدند. میزان درصد کاهش باکتری ها در نتیجه مجاورت با نخ های مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$R\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه ۱، C_i و C_f به ترتیب تعداد کلونی باکتری ها روی نخ پشمی اولیه و نخ های رنگرزی شده بعد از گذشت ۲۴ ساعت می باشند که در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد اندازه گیری شده است.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- بررسی ترکیبات فنلی و تانن های قابل استخراج موجود

در رنگزای سیچکا

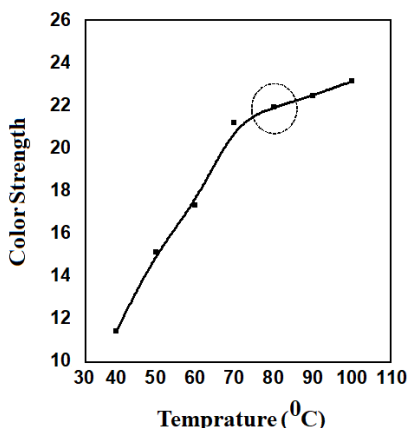
بر اساس نتایج حاصل از روش فولین سیوکالتو که در بخش ۳-۲-۱ توضیح داده شد، تحت شرایط در نظر گرفته شده در این پژوهش مقدار کل ترکیبات فنلی موجود در عصاره سیچکا ۱۷۷,۳ میلی گرم اسید گالیک بر گرم خشک و میزان کل تانن های قابل استخراج آن ۹۰,۴ میلی گرم اسید گالیک بر گرم خشک رنگزا تخمین زده شد. همان طور که ملاحظه می گردد سیچکا دارای مقادیر نسبتاً زیادی ترکیبات فنلی و تانن می باشد. بنابراین می توان از آن به عنوان منبعی گیاهی برای رنگرزی منسوجات استفاده نمود.

۲-۳- شرایط بهینه رنگرزی

اثر غلظت رنگ روی قدرت رنگی نخ های پشمی رنگرزی شده با عصاره سیچکا در شکل ۱ نشان داده شده است.

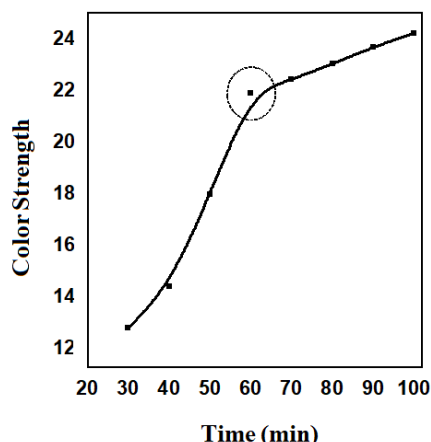
می‌شود. به خوبی مشخص شده است که در مقایسه با رنگی که به سرعت جذب می‌شود، رنگی که به آهستگی جذب می‌شود اغلب به دمای بالا نیاز دارد تا رنگ‌های عمیقی را ایجاد نماید [۲۰]. شکل ۳ نشان می‌دهد که در شرایط مورد مطالعه در این تحقیق، حالت تعادل ایجاد نشده و لذا جذب رنگ سریع مورد نیاز است تا شید رنگی عمیقی حاصل شود. بنابراین دمای بهینه رنگرزی ۸۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.

اثر مدت زمان رنگرزی بر قدرت رنگی نمونه‌های پشمی رنگرزی شده با سیچکا در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳: اثر دمای رنگرزی روی قدرت رنگی در طول موج ۳۹۰ نانومتر (غلظت رنگ ۴۵ درصد، مدت زمان ۶۰ دقیقه و pH=۴,۵).

Figure 3: Effect of dyeing temperature on the color strength value measured at 390 nm (dye concentration = 45% owf, dyeing time = 60 min, pH = 4.5).



شکل ۴: اثر مدت زمان رنگرزی روی قدرت رنگی در طول موج ۳۹۰ نانومتر (غلظت رنگ ۴۵ درصد، دمای رنگرزی ۸۰ درجه سانتی‌گراد و pH=۴,۵).

Figure 4: Effect of dyeing time on the color strength value measured at 390 nm (dye concentration = 45% owf, dyeing temperature = 80 °C, pH = 4.5).

شکل ۲ نشان می‌دهد که pH حمام رنگرزی اثر قابل ملاحظه‌ای روی قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با عصاره سیچکا داشته و بیشترین مقدار جذب رنگ در pH بین ۴ و ۵ حاصل می‌شود. این موضوع می‌تواند به ارتباط میان نقطه ایزوالکتریک پشم، ساختار رنگ و میزان پایداری رنگ مربوط گردد. پشم یک لیف پروتئینی بوده و به دلیل برخورداری از گروه‌های کربوکسیل و آمینوی موجود در اسیدهای آمینه آن، رفتار آمفوتر از خود نشان می‌دهد. در نقطه ایزوالکتریک پشم که حدود ۴,۸ می‌باشد، گروه‌های کربوکسیل و آمینوی کرانتین پشم با هم در حال تعادل بوده در نتیجه سطح پشم از نظر بار الکتریکی خنثی است و میزان نیروهای دافعه الکترواستاتیک به حداقل می‌رسد. بنابراین pH محیط تعیین کننده این است که کدام گروه فعال شیمیایی پشم با مولکول رنگ واکنش خواهد داد. در محیط اسیدی، در نتیجه کاتیونی شدن گروه‌های انتهایی آمینوی پشم، پشم بار مثبت پیدا می‌کند. در نتیجه می‌تواند با گروه‌های کربوکسیل رنگ از طریق واکنش تبادل یونی، برهم کنش نماید. این برهم کنش یونی می‌تواند میزان جذب رنگ توسط لیف را افزایش دهد. در pH حدود ۴,۵ تعداد گروه‌های انتهایی آمینوی پشم که پروتونه شده‌اند، ثابت شده و دیگر رنگ بیشتری جذب نمی‌گردد. به این ترتیب حداکثر جذب رنگ در این pH اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر رنگرزی سیچکا در pH کمتر از ۴ تغییر رنگ داده و کمی روشن‌تر می‌شود. علت این موضوع می‌تواند این باشد که در محیط اسیدی قوی، مولکول‌های رنگ تا حدی آبکافت شده و تغییر رنگ می‌یابند.

در مقادیر pH بالاتر از نقطه ایزوالکتریک پشم، برهم کنش یونی میان مولکول‌های رنگ و پشم به دلیل کاهش تعداد گروه‌های انتهایی آمینوی پشم، کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب رنگ توسط پشم کمتر می‌شود. علت دیگر کاهش قدرت رنگی نمونه‌ها در محیط قلیایی این است که در این شرایط از یک طرف گروه‌های آمینوی پشم خنثی شده و لذا پشم بار منفی پیدا می‌کند و از طرف دیگر گروه‌های هیدروکسیل موجود در ترکیبات فنلی رنگ نیز یونیزه می‌شوند. بنابراین دافعه الکترواستاتیک میان زنجیرهای پلی‌پپتیدی پشم و ترکیبات فنلی رنگ منجر به کاهش میزان جذب رنگ می‌گردد.

دما یکی از پارامترهای مهم در رنگرزی پشم می‌باشد که سرعت رنگرزی را از طریق میزان تورم پشم و تسهیل برهم کنش زنجیرهای پلی‌پپتیدی پشم با مولکول‌های رنگ، تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۹].

اثر دمای رنگرزی روی قدرت رنگی نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش دما تا حدود ۷۰ درجه سانتی‌گراد، قدرت رنگی نمونه‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. از دمای ۷۰ درجه به بعد مقادیر قدرت رنگی نمونه‌ها به آهستگی افزایش می‌یابد و یک حالت تعادل حاصل نمی‌گردد. در دماهای بالا، انرژی حرارتی منجر به تورم لیف و تسهیل نفوذ رنگ

ملاحظه‌ای از آن دور ریخته می‌شود. این در حالی است که سبوس گندم دارای مواد با ارزشی چون فیبر، لیگنین، گلویتین، الیگوساکاریدها، اسید فیتیک، ویتامین‌ها، کاروتنوئیدها، پلی‌فنل‌ها، فنلیک اسیدها، فلاونوئیدها و پروتئین‌ها می‌باشد [۲۷-۲۵]. مهم‌ترین پروتئین‌های موجود در سبوس گندم β -conglycinin (7S) و Glycinin (11S protein) می‌باشند [۲۸]. وجود پروتئین‌ها و همچنین متابولیت‌های ثانویه گیاهی ارزشمندی چون پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها در سبوس گندم، می‌تواند این ماده را گزینه مناسبی به عنوان یک دندانه زیستی ارزان قیمت و بومی قرار دهد که استفاده از آن در رنگرزی نه تنها مشکلات ناشی از دندانه‌های فلزی را بر طرف می‌نماید بلکه می‌تواند با کاهش حجم آن در محیط، مشکل دفع آن را تا حدودی برطرف نمود. در این راستا در پژوهش حاضر به منظور بررسی نقش دندانه سبوس گندم در میزان جذب رنگ سیچکا، ابتدا نخ پشمی را با سبوس گندم به روش اشاره شده در بخش ۲-۲-۴ دندانه‌دار کرده و سپس با عصاره رنگ در شرایط بهینه رنگرزی نموده‌ایم. قدرت رنگی و طیف انعکاسی نمونه‌های پیش دندانه‌دار شده با سبوس گندم و رنگرزی شده با رنگزای سیچکا به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد برای تمامی نمونه‌های مورد مطالعه، قدرت رنگی در محدوده ۳۹۰ نانومتر به بیشترین میزان و در ۷۵۰ نانومتر به کمترین میزان می‌رسد. همچنین استفاده از سبوس گندم به عنوان یک دندانه زیست سازگار در بهبود میزان جذب رنگ توسط پشم مؤثر بوده و منجر به بهبود قدرت رنگی نمونه‌های دندانه‌دار شده در مقایسه با نمونه‌هایی که بدون دندانه رنگرزی شده‌اند، گشته است. علت این موضوع را می‌توان چنین بیان نمود که به دلیل وجود پروتئین‌ها، پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها در سبوس گندم، دندانه‌دار کردن پشم با این ماده سبب افزایش مقدار گروه‌های عاملی از قبیل کربوکسیل، هیدروکسیل، آمینو و کربونیل روی سطح الیاف پشم شده و لذا میزان آب‌دوستی الیاف بهبود می‌یابد. به این ترتیب تمایل الیاف به جذب رنگ افزایش می‌یابد.

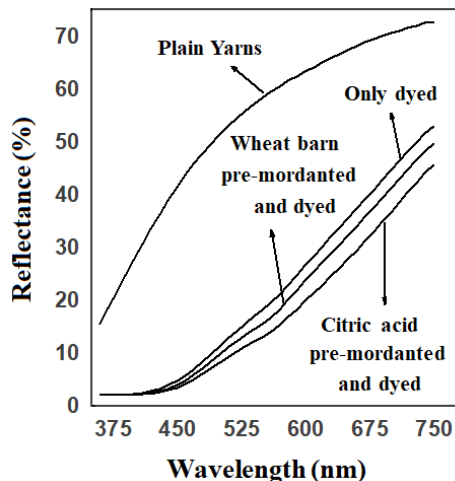
اسید سیتریک یکی از متداول‌ترین اسیدهای پلی‌کربوکسیلیک می‌باشد که ایمن، تجدیدپذیر، زیست تخریب‌پذیر و ارزان قیمت می‌باشد. اسید سیتریک با برخورداری از سه گروه کربوکسیل و یک گروه هیدروکسیل می‌تواند با شکستن پیوندهای هیدروژنی میان درشت‌مولکول‌ها، نیروهای بین مولکولی را کاهش داده و به عنوان یک نرم‌کننده عمل کند [۲۴]. همچنین از این ماده می‌توان به عنوان اتصال دهنده عرضی در انواع فرآورده‌های تکمیلی منسوجات استفاده نمود [۲۹-۳۲]. شکل ۵ نقش دندانه زیستی اسید سیتریک در رنگرزی پشم با عصاره سیچکا را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اسید سیتریک قدرت رنگی نمونه‌ها را افزایش داده و حتی در مقایسه با دندانه سبوس گندم، مؤثرتر عمل کرده و دارای بازده

قدرت رنگی نمونه‌ها با افزایش مدت زمان رنگرزی تا ۶۰ دقیقه به سرعت افزایش می‌یابد و پس از گذشت این مدت زمان، جذب رنگ با شیب آهسته‌تری افزایش می‌یابد. اما همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در مدت زمان‌های طولانی رنگرزی (۱۰۰ دقیقه) هم قدرت رنگی نمونه‌ها به یک مقدار ثابت نمی‌رسد. این موضوع نشان می‌دهد که پشم همچنان رنگ را جذب کرده و به حالت تعادل نمی‌رسد. باید توجه نمود که حرارت دادن طولانی مدت می‌تواند منجر به تخریب لیف گردد و در عین حال از نظر اقتصادی هم مقرون به صرفه نمی‌باشد. لذا در این تحقیق مدت زمان ۶۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه رنگرزی انتخاب شد. نرسیدن به یک حالت تعادل در فرآورده‌های رنگرزی متداول قبلاً توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است [۲۰].

۳-۳- بررسی اثر دندانه‌های زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک بر میزان جذب رنگ

سطح لیف پشم به دلیل برخورداری از اسیدهای چرب، آب‌گریز می‌باشد همچنین بعضی از رنگ‌های طبیعی تمایل کمی به لیف پشم دارند. به همین دلیل در روش‌های متداول رنگرزی، اغلب جذب رنگ به طور کامل انجام نشده و بخشی از رنگ هدر می‌رود که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. به منظور برطرف نمودن این مشکل و بهبود میزان جذب رنگ و ثبات‌های عمومی رنگزا و همچنین تنوع بخشی به فام حاصل، اغلب از انواع دندانه‌های فلزی در رنگرزی طبیعی پشم استفاده می‌شود. دندانه‌های معدنی که نمک‌های فلزات چند ظرفیتی می‌باشند، سمی و زیست تجزیه‌ناپذیر بوده و برای انسان و محیط زیست مشکل‌آفرین می‌باشند. در این راستا تحقیقات متعددی در خصوص شناسایی و معرفی دندانه‌های زیستی و جایگزین نمودن آنها با دندانه‌های فلزی متداول انجام شده است [۲۱-۲۳]. دندانه‌های زیست سازگار نه تنها آلودگی‌های زیست‌محیطی، آب و پساب و همچنین حساسیت‌زایی ناشی از مصرف مواد شیمیایی را کاهش می‌دهند بلکه منجر به تولید انواع منسوجات سبز شده و می‌توانند گام مهمی در زمینه توسعه پایدار کشور باشند. در این زمینه بیومواد چون پروتئین‌های حاصل از محصولات زائداتی کشاورزی به دلیل قابلیت تجدیدپذیری، قیمت کم و دسترسی فراوان به آنها گزینه‌های بسیار مناسبی می‌باشند [۲۴]. از جمله این پروتئین‌ها می‌توان به سبوس گندم اشاره نمود. گندم یکی از مهم‌ترین غلات و اقلام غذایی پر مصرف در جهان است. دانه‌های گندم پوسته بیرونی سختی دارند که به آن سبوس گفته می‌شود. سبوس گندم به عنوان یک محصول جانبی صنایع آسیاب کردن گندم است و جزء زائدات کشاورزی محسوب می‌شود. سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون تن سبوس گندم در جهان تولید شده که بخشی از آن به عنوان مواد غذایی دام مورد استفاده قرار گرفته و بخش قابل

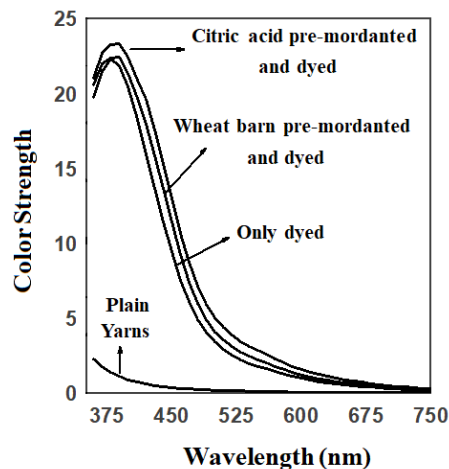
زنجیره‌های پلی‌پتیدی پشم را تسهیل نمایند. به این ترتیب میزان رنگ‌پذیری لیف پشم بهبود خواهد یافت. نحوه تشکیل پیوند و سازوکار واکنش میان اسید سیتریک و زنجیره‌های پلی‌پتیدی پشم در شکل ۷ نشان داده شده است [۳۲].



شکل ۶: اثر دندانه‌های زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک بر طیف انعکاسی پشم در رنگرزی با عصاره سیچکا.

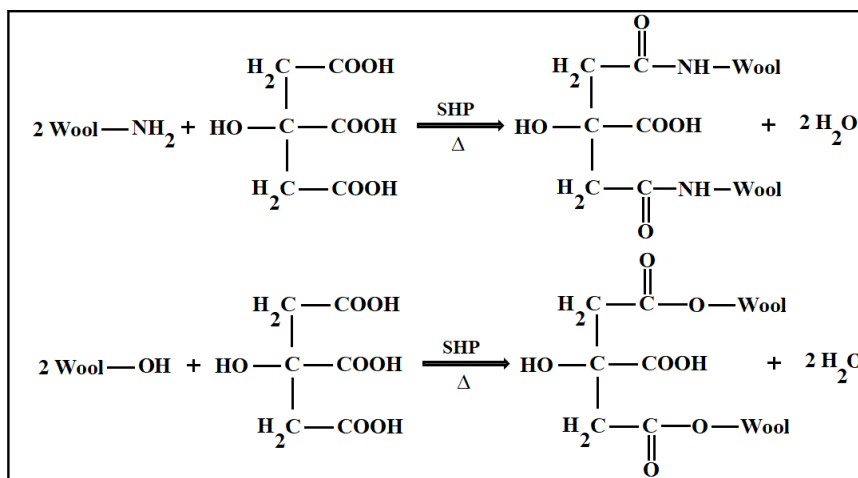
Figure 6: Effect of wheat barn and citric acid bio-mordants on reflectance spectra of the wool yarns in dyeing process with *Sichka* extract.

بالتری در بهبود جذب رنگ سیچکا می‌باشد. علت این موضوع را می‌توان چنین بیان نمود که گروه‌های هیدروکسیل و آمینوی پشم می‌توانند با گروه‌های عاملی اسید سیتریک، پیوندهای استری و آمیدی تشکیل داده [۲۹] و ایجاد اتصال‌های عرضی غالب با



شکل ۵: اثر دندانه‌های زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک بر قدرت رنگی پشم در رنگرزی با عصاره سیچکا.

Figure 5: Effect of wheat barn and citric acid bio-mordants on color strength of the wool yarns in dyeing process with *Sichka* extract.

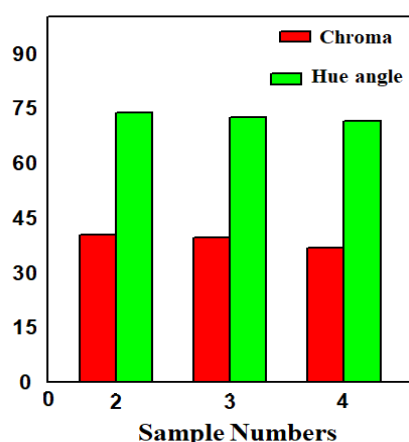


شکل ۷: انواع پیوندهای استری و آمیدی میان دندانه اسید سیتریک و لیف پشم [۳۲].

Figure 7: Ester and amide Bonding mechanisms between wool fiber and citric acid mordant.

است. کاهش میزان زردی در مورد نخ دنداندار شده با سیتریک اسید قابل ملاحظه‌تر می‌باشد. از طرف دیگر مشاهده می‌شود که رنگرزی سیچکا به تنهایی و بدون استفاده از دنداندار، قدرت رنگی خوبی را روی نخ پشمی ایجاد می‌کند. علت این موضوع وجود ترکیبات فنلی و تانن‌ها در این ماده رنگزا می‌باشد که حتی بدون استفاده از دنداندار هم تمایل خوبی به جذب شدن توسط پشم را دارند. نکته قابل ملاحظه دیگر در جدول ۱ این است که استفاده از دنداندارهای زیستی سبوس گندم و سیتریک اسید منجر به بهبود قدرت رنگی نمونه‌ها و بیشتر شدن اختلاف رنگی آنها گردیده است. بیشترین اختلاف رنگی و بالاترین قدرت رنگی در نمونه‌های دنداندار شده با اسید سیتریک ملاحظه می‌گردد که تأیید کننده نقش اسید سیتریک در بهبود جذب رنگ می‌باشد.

تغییرات میزان خلوص رنگی و همچنین فام زاویه‌ای نمونه‌های رنگرزی شده با رنگرزی سیچکا در شکل ۸ نشان داده شده است. محور افقی در این شکل شماره نمونه‌ها بر اساس جدول شماره ۱ می‌باشد.



شکل ۸: تغییرات فام زاویه‌ای و خلوص رنگ در نمونه‌های پشمی رنگرزی شده با رنگرزی سیچکا.

Figure 8: Hue angle and chroma of wool samples dyed with *Sichka* extract.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با عمل نمودن لیف پشم با سیتریک اسید، تعداد گروه‌های کربوکسیل پشم افزایش یافته و در نتیجه جذب رنگ توسط پشم بهبود می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که یک مولکول رنگ به تنهایی می‌تواند با یک طرف لیف اتصال برقرار کند در حالی که یک مولکول دنداندار می‌تواند با دو یا تعداد بیشتری مولکول‌های رنگ اتصال برقرار کند. در نتیجه زمانی که مولکول دنداندار به لیف متصل می‌شود، مولکول‌های رنگ بیشتری را به لیف متصل ساخته و بنابراین میزان جذب رنگ توسط لیف افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که سبوس گندم و اسید سیتریک دنداندارهای زیست‌سازگار و ارزان‌قیمتی هستند که می‌توانند به طور مؤثری در بهبود جذب رنگرزی طبیعی سیچکا توسط لیف پشم استفاده شوند.

۴-۳- بررسی مؤلفه‌ها و قدرت رنگی

مقادیر مؤلفه‌های رنگی، اختلاف و قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با عصاره رنگرزی سیچکا در شرایط بهینه و همچنین نخ‌های دنداندار شده با سبوس گندم و اسید سیتریک به روش پیش دنداندار، در جدول ۱ نشان داده شده است. در این جدول، b^* درجه زردی یا آبی را نشان می‌دهد و مؤلفه a^* نشان دهنده درجه سبزی یا قرمزی نمونه‌ها می‌باشد. مؤلفه L^* بیانگر میزان روشنایی نمونه‌ها بوده و می‌تواند مستقل از تهرنگ اندازه‌گیری گردد. افزایش در روشنایی نمونه‌ها می‌تواند مبین انعکاس بیشتر آنها باشد. همچنین ΔE نشان دهنده تفاوت مختصات رنگی نمونه‌های مختلف نسبت به نمونه پشمی خام اولیه می‌باشد.

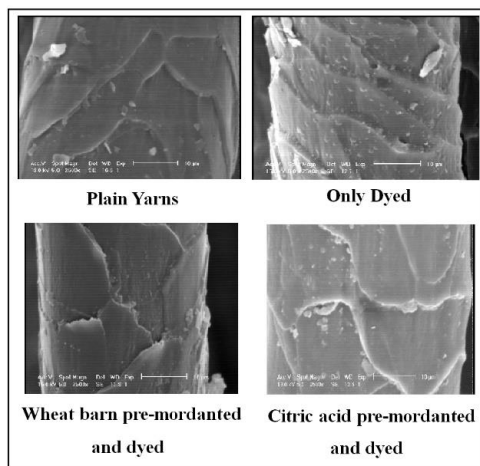
مقایسه مؤلفه‌های رنگی نمونه‌ها نشان می‌دهد که روشنایی تمام نمونه‌های رنگ شده با رنگرزی سیچکا در مقایسه با نمونه اولیه کاهش یافته و دنداندار کردن نخ قبل از رنگرزی منجر به کاهش بیشتر روشنایی نمونه‌ها می‌گردد به نحوی که کمترین روشنایی در نخ‌های که با دنداندار اسید سیتریک عمل شده است، مشاهده می‌شود. همچنین در مقایسه با نخ به تنهایی رنگرزی شده، میزان قرمزی نمونه‌های دنداندار شده افزایش و میزان زردی آنها کاهش یافته

جدول ۱: مقادیر مؤلفه‌های رنگی، اختلاف رنگی و قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با رنگرزی سیچکا در شرایط بهینه

Table 1: Color Values, color difference, and color strength of wool yarns dyed with *Sichka* at optimum conditions.

Sample No.	Samples	L*	a*	b*	ΔE	$\Delta E'$	K/S
1	Plain yarns	80.55	1.041	17.119	-	-	1.15
2	Only dyed	50.64	11.243	38.852	38.35	-	21.91
3	Wheat barn pre-mordanted	47.73	11.955	37.816	40.31	3.17	22.43
4	Citric acid pre-mordanted	44.16	11.637	34.793	41.82	7.66	23.34

همچنین بر اساس نتایج حاصل از روش فولین سیوکالتو مقدار تانن‌های قابل استخراج رنگزای سیچکا تحت شرایط در نظر گرفته شده در این پژوهش، ۹۰٫۴ میلی گرم اسید گالیک بر گرم خشک رنگزا تخمین زده شد. لذا می‌توان گفت که وجود این مقدار تانن در عصاره سیچکا دلیل دیگری برای حصول ثبات‌های قابل قبول در رنگری پشم با این ماده رنگی به تنهایی و بدون استفاده از دندانده می‌باشد. بنابراین می‌توان گال غیرجنسی سیچکا را به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی دنداندهار برای رنگری پشم معرفی نمود. نکته قابل ملاحظه دیگر در جدول ۲ این است که هر دو نمونه دنداندهار شده با سبوس گندم و سیتریک اسید در مقایسه با نمونه‌هایی که به تنهایی و بدون دندانده با رنگزای سیچکا رنگری شده‌اند، از ثبات نوری و شستشویی بهتری برخوردار می‌باشند. در حالت کلی ثبات شستشویی رنگ بستگی به سرعت نفوذ مولکول‌های رنگ و حالت رنگزا درون لیف دارد [۳۳]. در اینجا افزایش ثبات شستشویی نمونه‌های دنداندهار شده می‌تواند چنین بررسی شود که واکنش میان ساختار پلی‌فنلی ماده رنگزای سیچکا و گروه‌های عاملی موجود در دنداندهای زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک منجر به تولید ترکیب بسپاری با وزن مولکولی بالا شده که نسبت به ترکیب اولیه از حلالیت کمتری برخوردار بوده و لذا مهاجرت و خروج رنگزا از کلا کاهش می‌یابد.



شکل ۹: تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های پشمی مختلف.

Figure 9: SEM micrographs of the various wool samples.

همان گونه که مشاهده می‌شود زاویه فام در گستره ۷۱ تا ۷۴ درجه تغییر کرده و استفاده از دنداندهای سبوس و اسید سیتریک سبب کاهش زاویه فام شده است. این در حالی است که خلوص رنگ در رنگری پشم با رنگزای سیچکا در حالت بدون دندانده بیشتر می‌باشد. مقایسه نمونه‌های شماره ۳ و ۴ نشان می‌دهد که دندانده اسید سیتریک در مقایسه با سبوس گندم، موجب کاهش بیشتر خلوص و زاویه فام می‌گردد.

۳-۵- بررسی ریخت‌شناسی سطحی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در سطح نخ‌های پشمی رنگری شده و همچنین میزان یکنواختی رنگری، تصاویر میکروسکوپ الکترونی نخ پشمی اولیه، نخ رنگری شده در شرایط بهینه و نخ‌های پیش دنداندهار شده با سبوس گندم و اسید سیتریک در شکل ۹ نشان داده شده است.

فلس‌های کاملاً مشخص با لبه‌های آشکار به خوبی در نمونه پشم اولیه و در نخ‌های پشمی رنگری شده ملاحظه می‌گردد. این موضوع نشان می‌دهد که رنگری با رنگزای سیچکا منجر به تخریب نواحی داخل سلولی پشم نمی‌گردد. پراکندگی یکسان مولکول‌های رنگزای سیچکا روی سطح لیاف رنگری شده، نشان دهنده یکنواختی رنگری انجام شده می‌باشد. همچنین همان‌طور که ملاحظه می‌گردد قطر فلس‌ها در نمونه‌های دنداندهار شده، تغییر یافته است. این موضوع تأیید کننده پوشش‌دهی و تثبیت سطح پشم توسط دنداندهای سبوس و اسید سیتریک می‌باشد.

۳-۶- بررسی ثبات‌های رنگری

ثبات نوری و شستشویی نخ‌های رنگری شده مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نمونه‌هایی که به تنهایی رنگری شده‌اند، ثبات‌های خوبی دارند. علت این موضوع را می‌توان تمایل رنگزا به تشکیل پیوند هیدروژنی و نیروهای واندروالس با آمینواسیدهای مختلف موجود در لیف پشم دانست. این برهم‌کنش‌ها منجر به بهبود ثبات شستشویی و مالشی پشم می‌گردند [۳۳].

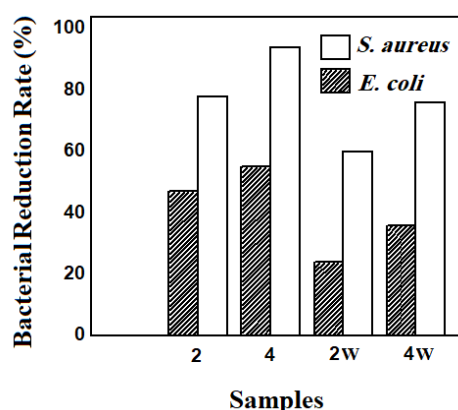
جدول ۲: ثبات نوری و شستشویی نخ‌های پشمی رنگری شده با رنگزای سیچکا.

Table 2: Light and wash fastness of wool yarns dyed with *Sichka*.

Samples	Light Fastness	Wash Fastness	Cotton Staining
Only dyed	5	4	4-5
Wheat barn pre-mordanted	6	4-5	4-5
Citric acid pre-mordanted	6	5	5

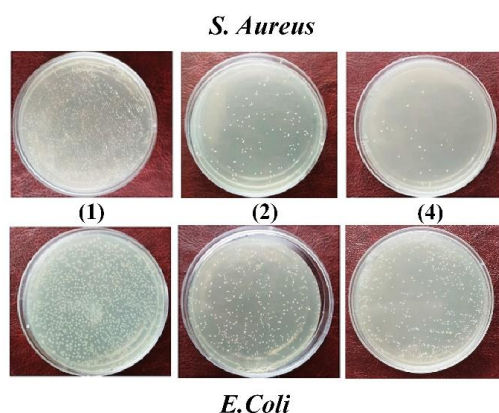
برخورداری از گروه‌های فنلی در ساختار خود می‌تواند اثرات ضد میکروبی قابل ملاحظه‌ای را روی طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها به وجود آورند. تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود در گروه‌های فنلی با خواص ضدباکتری آنها ارتباط مستقیمی دارد [۳۵].

به خوبی مشخص شده است که ترکیبات فنلی قادر به کراسلینگ، انعقاد و تجمع یاخته‌های باکتری می‌باشند. علاوه بر این آنها می‌توانند با گروه‌های سولفیدریل پروتئین‌ها واکنش داده و با ترشحات پروتئین باکتری تداخل کرده و در نهایت منجر به غیرقابل دسترس شدن بسترها برای میکروارگانیسم‌ها شوند. از طرف دیگر پیوند میان تانن‌ها با پروتئین‌های موجود در باکتری‌ها منجر به تشکیل کمپلکس‌های پایدار می‌گردد که صورت‌بندی ساختار باکتری‌ها را تغییر داده و از تکثیر باکتری‌ها جلوگیری می‌کند [۳۶، ۲۳].



شکل ۱۰: درصد کاهش باکتری توسط نمونه‌های پشمی رنگرزی شده با رنگرزی سیچکا قبل و بعد از پنج بار شستشو (نمونه‌های شماره ۲ و ۴ در جدول ۱).

Figure 10: The bacterial reduction rate of dyed wool yarns before and after 5 washes (samples 2 and 4 in Table 1).



شکل ۱۱: تصاویر ضد باکتری در نمونه‌های پشمی رنگرزی شده با رنگرزی سیچکا.

Figure 11: Images of antibacterial activity of various wool yarns.

جدول ۲ به خوبی نشان می‌دهد که نمونه‌های دنداندار شده با دندان‌های سبوس گندم و سیتریک اسید ثبات‌های نوری عالی دارند. علت این بهبود می‌تواند به دو دلیل زیر باشد:

۱- به طور کلی با افزایش غلظت ماده رنگزا روی لیف، تجمع رنگ بیشتر شده و لذا ثبات نوری افزایش می‌یابد [۳۴]. نتایج حاصل از اندازه‌گیری قدرت رنگی نمونه‌ها نشان داد که دنداندار نمودن نخ‌های پشمی با دندان‌های سبوس و اسید سیتریک منجر به جذب مولکول‌های رنگ بیشتری توسط الیاف شده (جدول ۱ و شکل ۵) و لذا ثبات نوری نمونه‌ها بهبود می‌یابد.

۲- برهم‌کنش میان دندان‌ها و ترکیبات فنلی رنگزا منجر به این می‌شود که فوتون‌هایی که توسط گروه رنگی مولکول رنگزا جذب می‌شوند، از طریق تغییرات رزونانس درون حلقه ۶ عنصری، انرژی را پراکنده ساخته و بنابراین از تخریب نوری کروموفور رنگ جلوگیری می‌کنند [۳۳].

۷-۳- بررسی فعالیت ضدباکتری نخ‌های رنگرزی شده

میکروارگانیسم‌ها برای سکونت، رشد و تکثیر خود نیاز به شرایط تغذیه‌ای ویژه‌ای دارند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به وجود نمک‌ها، منابع نیتروژن و کربن و همچنین آب اشاره کرد. پشم یک لیف طبیعی آبدوست می‌باشد و رطوبت محیط را به آسانی جذب کرده و در خود نگه می‌دارد، لذا شرایط مناسبی را برای سکونت و رشد انواع میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند. فعالیت میکروارگانیسم‌ها روی پشم منجر به آبکافت پیوندهای پپتیدی و در نهایت تخریب لیف می‌گردد. این موضوع نه تنها منجر به ایجاد لکه و کاهش زود هنگام کیفیت و عملکرد فرش‌های دستباف می‌گردد بلکه باعث انتقال و گسترش عوامل بیماری‌زا به مصرف‌کنندگان نیز می‌شود. با در نظر گرفتن این نکته که برخی از رنگ‌های طبیعی از خاصیت ضد باکتری مناسبی برخوردار می‌باشند، لذا ایجاد خاصیت ضد باکتری در پشم توسط این رنگرها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا خواص ضدباکتری نخ‌های رنگرزی شده با عصاره سیچکا در مقابل دو باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی اشیریشیا کلای به نمایندگی از باکتری‌های بیماری‌زای انسانی، مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج آن در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد تمام نمونه‌های رنگرزی شده (با دندان‌ها و بدون دندان‌ها)، فعالیت ضدباکتری مناسبی را از خود نشان می‌دهند. به این ترتیب قابلیت رنگرزی طبیعی سیچکا در ضد باکتری نمودن پشم مورد تأیید قرار می‌گیرد. علت این موضوع را می‌توان چنین توضیح داد که همان‌گونه که نتایج حاصل از روش فولین سیوکالتو در بخش ۳-۱ نشان داد، تحت شرایط در نظر گرفته شده در این پژوهش، عصاره الکلی سیچکا دارای متابولیت‌های ثانویه‌ای چون ترکیبات فنلی و تانن‌ها می‌باشد. این ترکیبات به دلیل

مناسبی در برابر شستشوه‌های مکرر برخوردار است. علت این موضوع را می‌توان به ثبات شستشویی خوب این نمونه‌ها مربوط دانست (جدول ۲).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای اولین بار از یکی از گال‌های غیرجنسی درخت بلوط به نام سیچکا برای رنگرزی نخ‌های پشمی استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عصاره سیچکا دارای متابولیت‌های ثانویه گیاهی ارزشمندی بوده و لذا می‌توان از آن به تنهایی به عنوان منبعی غنی از ترکیبات فنلی و تاننی در رنگرزی پشم استفاده نمود و ثبات‌های قابل قبولی از این رنگرزی طبیعی را حتی بدون استفاده از دندانه روی پشم ایجاد کرد. تحت شرایط در نظر گرفته شده در این پژوهش، پارامترهای بهینه در رنگرزی پشم با رنگرزی سیچکا عبارتند از: غلظت رنگ ۴۵ درصد، دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان یک ساعت و $pH=4.5$. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از دندانه‌های زیستی، تجدیدپذیر و ارزان قیمت سبوس گندم و اسید سیتریک به صورت پیش دندانه در رنگرزی پشم با رنگرزی سیچکا سبب افزایش قدرت رنگی، بهبود خواص ثباتی نمونه‌ها و همچنین تغییر فام و تنوع رنگی می‌گردد. علاوه بر این استفاده از رنگرزی سیچکا در رنگرزی پشم، خاصیت ضد باکتری مناسبی را در مقابل میکروارگانیسم‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی اشیریشیا کلای ایجاد می‌کند که در برابر شستشوه‌های مکرر پایدار است. به طور کلی بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر می‌توان گفت که گال غیر جنسی سیچکا به دلیل برخورداری از ترکیبات پلی‌فنلی از پتانسیل بسیار خوبی برای استفاده در رنگرزی پشم به عنوان یکی از مواد رنگرزی طبیعی دندانه‌دار برخوردار بوده و مطالعه عمیق‌تر روی آن و همچنین سایر گال‌های بلوط می‌تواند چشم‌انداز روشنی در آینده این گیاهان ایجاد کرده و گام مهمی در جهت احیای رنگرزی سنتی، تولید محصول با ارزش افزوده بالا و توسعه پایدار کشور باشد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه سمنان جهت حمایت مالی تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

همچنین نتایج به خوبی نشان می‌دهند که تحت شرایط در نظر گرفته شده در این پژوهش، فعالیت ضد باکتری عصاره سیچکا در مقابل باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس بیشتر از باکتری گرم منفی اشیریشیا کلای می‌باشد. علت این موضوع را می‌توان به تفاوت‌های موجود در ساختار سلول باکتری‌های گرم مثبت و منفی مربوط دانست. دیواره سلولی در باکتری‌های گرم مثبت به طور کامل از پلی‌گلیکوژن پتیدی تشکیل شده است که این لایه به مولکول‌های خارجی اجازه می‌دهد تا به راحتی وارد سلول شوند. این در حالی است که دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی دو لایه بوده و علاوه بر لایه فوق، دارای یک غشای بیرونی متشکل از لیپوپلی‌ساکارید، لیپوپروتئین و فسفولیپیدها می‌باشند که به عنوان یک سد در برابر مولکول‌های خارجی عمل می‌کند [۳۷]. لذا تحت شرایط مورد مطالعه در این پژوهش، باکتری‌های گرم مثبت در مقابل رنگرزی طبیعی سیچکا از حساسیت بیشتری نسبت به باکتری‌های گرم منفی برخوردارند.

نکته قابل ملاحظه دیگر در شکل ۱۰ این است که نخ دندانه‌دار شده با سیتریک اسید در مقایسه با نخ‌ی که به تنهایی رنگرزی شده است، درصد کاهش باکتری بیشتری را در مقابل هر دو نوع باکتری مورد مطالعه در این پژوهش نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج حاصل از قدرت رنگی نمونه‌ها که نشان داد با پیش دندانه‌دار کردن نخ‌های پشمی با اسید سیتریک قدرت رنگی آنها افزایش می‌یابد، سازگار است (جدول ۱). به عبارت دیگر می‌توان بهبود خواص ضدباکتری نخ دندانه‌دار شده با اسید سیتریک را به میزان جذب بیشتر رنگرزی سیچکا توسط این نمونه و در نتیجه آن مقدار بیشتر ترکیبات فنلی موجود در این نمونه مربوط دانست.

از طرف دیگر پایداری خاصیت ضدباکتری نخ‌های رنگرزی شده در برابر شستشو یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت و عملکرد فرش دستباف می‌باشد. در این راستا کاهش درصد باکتری‌ها در مورد نخ دندانه‌دار شده با اسید سیتریک و همچنین نخ‌ی که به تنهایی و بدون استفاده از دندانه رنگرزی شده است، پس از پنج بار شستشو اندازه‌گیری شده و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، فعالیت ضد میکروبی نخ‌های رنگرزی شده از پایداری

۵- مراجع

1. M. M. Mahdi, F. Tuj-Zohra, S. Ahmed. Dyeing of Shoe Upper Leather with Extracted Dye from Acacia Nilotica Plant Bark- An Eco-Friendly Initiative. *Prog. Color Colorants Coat.* 14(2021), 241-258.
2. Z. Zhao, M. Zhang, C. Hurren, L. Zhou, J. Wu, L. Sun. Study on photofading of two natural dyes sodium copper chlorophyllin and gardenia yellow on cotton. *Cellulose* 27(2020), 8405-8427.
3. S. Tambi, A. Mangal, N. Singh, J. Sheikh. Cleaner Production of Dyed and Functional Polyester Using Natural Dyes vis-a-vis Exploration of Secondary Shades. *Prog. Color Colorants Coat.* 14(2021), 121-128.
4. S. Shirahmad Haghighi, R. Jafari, M. Hosseinnazhad. Investigating of Colorimetric Characteristics of Anthocyanin Dyes Applied in Dye-Sensitized Solar Cells. *J. Color. Sci. Tech.* 15(2)(2021), 79-85.

5. M. Hosseinnazhad, K. Gharanjig, R. Jafari, H. Imani. Green Dyeing of Woolen Yarns with weld and Madder natural Dyes in the Presences of Biomordant. *Prog. Color Colorants Coat.* 14(2021), 35-45.
6. M. A. Hedayati. Persian book Oak introduction and planting. Tehran: Organization of Forests and Pastures of the country, Office of Forestry and Parks, 1991, 94.
7. H. Sabeti. Persian book of forests, trees and shrubs of Iran, Yazd: Yazd University, 1994, 810.
8. M. R. Zargaran, S.E. Sadeghi, M. Tavakoli. Morphobiological specifications of Mazooj gall in oak forests of west Iran. *Iran. J. For. Range Prot. Res.* 5(2)(2007), 105-113.
9. M. Zardowi Heydari. Species diversity of oak gall-producing bees in Kermanshah province. Master thesis, Razi University, 2012, 9-36.
10. F. Pirouzi, M. Tawakli. The role of oak galls in supporting the biological communities living in it. National conference of central zagros foreste, opportunities and challenges, 2011, 2.
11. S. Chaharmiri Dokhaharani, V. Karbasizadeh, M. Mohammadi-Sichani, M. Tavakoli. Antibacterial activity of aqueous extracts of Mazuj and Ghalghaf galls of *Quercus infectoria* in Lorestan forests. *Yafte* 15(2)(2013), 43-51.
12. M. Paydar. Identification of chemical components of gall-induced by oak cynipid wasps and study on their insecticidal activity. Master thesis, Razi University, 2013, 9-12.
13. A. Ramezani Charminch, M. Azadi Boyaghchi, B. Zolfaghari. Investigating the impact of absinthium additive on stabilization of color of iron-gall ink. *J. Color. Sci. Tech.* 13(4)(2020), 277-291.
14. D. Gupta, A. Laha. Antimicrobial activity of cotton fabric treated with *Quercus infectoria* extract. *Indian J. Fibre Text. Res.* 32(2007), 88-92.
15. S. U. Islama, L. J. Rather, M. Shabbir, J. Sheikh, M. N. Bukhari, M. A. Khan, F. Mohammad. Exploiting the potential of polyphenolic biomordants in environmentally friendly coloration of wool with natural dye from *Butea monosperma* flower extract. *J. Nat. Fibers* (2018), 1-12.
16. A. Guesmi, N. Ben Hamadi, N. Ladhari, F. Sakli. Dyeing properties and color fastness of wool dyed with indicaxanthin natural dye. *Ind. Crops Prod.* 37(2012), 493-499.
17. V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventos. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method Enzymol.* 299(1999), 152-178.
18. M. Raza, A. K. Shukla, T. Fatima, S. Ali. Comparative study of antioxidant activity of polyphenols isolated from frozen and fresh leaves of *Trachyspermum ammi* (Ajwain). *J. Pharmacogn. Phytochem.* 3(6)(2015), 122-124.
19. M. Yusuf, F. Mohammad, M. Shabbir. Eco-friendly and effective dyeing of wool with anthraquinone colorants extracted from *rubia cordifolia* roots: optimization, colorimetric and fastness assay. *J. King Saud Univ. - Sci.* 29(2017), 137-144.
20. A. D. Broadbent, Basic Principles of Textile Coloration. Society of Dyers and Colorists, West Yorkshire, 2001, 23-31.
21. S. Baseri. Natural Bio-Source Materials for Green Dyeing of Cellulosic Yarns. *J. Nat. Fibers* (2021).
22. N. A. Bako, A. C. Sabuna, Y. Daud. Identification of biomordant in Hundiho Village, East Rote District, Rote Ndao Regency. *Materials Science and Engineering* 823(2020), 1-9.
23. S. Baseri. Eco-friendly production of anti-UV and antibacterial cotton fabrics via waste products. *Cellulose* 27(2020), 10407-10423.
24. H. Xu, L. Shen, L. Xu, Y. Yang. Low-temperature crosslinking of proteins using non-toxic citric acid in neutral aqueous medium: Mechanical and kinetic study. *Ind. Crops Prod.* 74(2015), 234-240.
25. L. Stevenson, F. Philips, K. O'sullivan, J. Walton. Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *Int J Food Sci Nutr.* 63(2012), 1001-1013.
26. M. Prückler, S. Siebenhandl-Ehn, S. Apprich, S. Höltinger, C. Haas, E. Schmid, W. Kneifel. Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *Food Sci. Tech-Brazil* 56(2014), 211-221.
27. O. O. Onipe, A. I. O. Jideani, D. Beswa. Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *Int J Food Sci Tech.* 50(2015), 2509-2518.
28. E. Ringgenberg. The Physico-Chemical Characterization of Soymilk Particles and Gelation Properties of Acid-Induced Soymilk Gels, as a Function of Soymilk Protein Concentration. Doctoral dissertation, The University of Guelph, 2011.
29. S. H. Hsieh, Z. K. Huang, Z. Z. Huang, Z. S. Tseng. Antimicrobial and physical properties of woolen fabrics cured with citric acid and chitosan. *J. Appl. Polym. Sci.* 94(2004), 1999-2007.
30. F. Eser, S. Sanal, C. Temiz, F. Yilmaz, A. Onal. Effect of acid pretreatment on the dyeing performance of walnut (*Juglans regia*) leaves on wool fibers. *Fiber Polym.* 16(2015), 1657-1662.
31. S. R. Maulik, S. Das, S. C. Bhattacharya. Concurrent acid in the presence of NaH_2PO_4 as catalyst under thermal treatment. *J. Text. Inter.* 102(2011), 491-499.
32. M. Mohsin, U. Farooq, Z. Ali Reza, M. Ahsan, A. Afzal, A., Nazir. Performance enhancement of wool fabric with environmentally-friendly bio-cross-linker. *Clean Prod.* 68(2014), 130-134.
33. M. Gias Uddin. Effects of different mordants on silk fabric dyed with onion outer skin extracts. *J. Text.* (2014), 1-8.
34. F. Eser, A. S. Yaglioglu, M. Dolarslan, E. Aktas, A. Onal. Dyeing, fastness, and cytotoxic properties, and phenolic constituents of *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* (Asteraceae). *J. Text. Inst.* 108(2017), 1489-1495.
35. M. P. Sathianarayanan, B. M. Chaudhari, N. V. Bhat. Development of durable antibacterial agent from ban-ajwain seed (*Thymus serpyllum*) for cotton fabric. *Indian J. Fibre Text.* 36(2011), 234-241.
36. J. Liu, C. Du, H. T. Beaman, M. B. B. Monroe. Characterization of Phenolic Acid Antimicrobial and Antioxidant Structure-Property Relationships. *Pharmaceutics* 12(2020), 1-17.
37. J. S. Kim, E. Kuk, K. N. Yu, J-H. Kim, S. J. Park, H. J. Lee, et al. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomed. Nanotechnol. Biol. Med.* 3(1)(2007), 95-101.

How to cite this article:

S. Baseri, S. Ahmadzadeh, Ecofriendly Antibacterial Dyeing of Wool Using Sichka Gall. *J. Color Sci. Tech.* 16, 1(2022), 109-122.

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.2.6