Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science & Technology

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
Journal of Color Science and Technology, 16, 2(2022), 109-122
Article type: Research article
Open access

نشریه علمی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

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 ºC, 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**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

نشریه علمی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه رنگ

دسترسی آنلاین: www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی علوم و فناوری رنگ/ ۱۶، (۱۴۰۱)۲، ۱۲۲ـ۱۰۹
نوع مقاله: پژوهشی
دسترسی آزاد

رنگرزی ضدمیکروبی و سازگار با محیط‌زیست پشم توسط گال سیچکا

سمیه باصری[1]، سوران احمدزاده[2]
۱ـ استادیار، دانشکده هنر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، صندوق‌پستی: ۱۹۱۱۱-۳۵۱۳۱
۲ـ دانشجوی کارشناسی، دانشکده هنر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، صندوق‌پستی: ۱۹۱۱۱-۳۵۱۳۱

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۹
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۶/۲۰
شاپا چاپی: ۸۷۷۹-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۱۶۹-۲۳۸۳

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.2.6

واژه‌های کلیدی:
توسعه پایدار
پشم
سیچکا
پلی (فنل‌ها)
دندانه‌های زیستی

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل اهمیت مسائل زیست‌محیطی، 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 زایداتی گیاهی انتخاب شده و شرایط بهینه رنگرزی پشم با آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که سیچکا دارای مقادیر نسبتاً زیادی ترکیبات پلی‌فنلی 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 = ۴,۵ 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 محیط‌زیست و تولید مواد با ارزش افزوده بالا نماید.

***Corresponding author**: **Baseri@semnan.ac.ir**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱ـ 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 به‌نحوی‌که 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 رنگرزی با آنها نیز آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر است، اما زیست تجزیه‌ناپذیر بوده و به شدت آلوده کننده محیط‌زیست می‌باشند. به‌منظور کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی 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 رنگرزی 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 محیط‌زیست 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، صرفه‌جویی 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 رنگرزی 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 مغذی 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 Cecidomiidae 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 [۸، ۱۲]. با وجود تفاوت‌هایی که در بخش خارجی گال‌ها وجود دارد اما تمام گال‌ها دارای بافت داخلی مشابه‌ای بوده به این ترتیب که سطح داخلی آنها سرشار از سلول‌های بزرگی مملو از پلی‌تن و لیپید است. همچنین دارای یک‌سری متابولیت‌های ثانویه‌ی 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 رنگرزی قرار می‌دهد. در این راستا مطالعات متعددی روی یکی از گال‌های بلوط به نام «مازوج» و استفاده از آن در رنگرزی 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 نیتروژن، 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 زائدات گیاهی محسوب می‌شوند، لذا شناسایی و مطالعه انواع دیگر آنها به غیر از مازوج و بررسی امکان استفاده از آنها در رنگرزی بسیار حایز اهمیت است. مسلماً تحقیقات گسترده و منسجم در این زمینه می‌تواند زمینه‌ساز کاربردهای جدید آنها در رنگرزی و معرفی رنگزاهایی نوین با حداقل هزینه اقتصادی شده و به توسعه پایدار کشور کمک نماید.

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 رنگزای سیچکا استخراج شده و سپس با استفاده از معرف فولین سیوکالتو، مقدار کل ترکیبات فنلی و همچنین میزان تانن‌های قابل استخراج در عصاره رنگزای 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.

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ 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 مرینوس 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.

۲ـ۲ـ روش کار

۲ـ۲ـ۱ـ 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 می‌باشند. این موضوع یکی از مشکلات جدی در رنگرزی با رنگ‌های گیاهی می‌باشد. در این راستا و به منظور برطرف نمودن این مشکل، ابتدا رنگزای 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 سربسته 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 به‌عنوان دندانه مورد استفاده قرار گرفت.

۲ـ۲ـ۲ـ 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.

۲ـ۲ـ۳ـ 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

مدت زمان ۱۰ دقیقه در این دما، دمای حمام با سرعت ثابت ۱,۵ درجه سانتی‌گراد 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 سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای محیط، نمونه‌ها به خوبی آبکشی شده تا مواد جذب نشده از روی لیف خارج شوند و در نهایت نمونه‌ها در دمای محیط خشک شدند.

۲ـ۲ـ۴ـ 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 میلی‌لیتر محلول عصاره سبوس در محیط خنثی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد 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 نخ‌های پشمی با عصاره سبوس گندم، نمونه‌ها تحت مقدار برداشت ۷۰ درصد پد شدند. سپس نخ‌های دندانه‌دار شده آبکشی، چلانده و در دمای محیط خشک شدند.

۲ـ۲ـ۵ـ دندانه دادن با اسید سیتریک

دندانه‌دار 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 ۱۰۰میلی‌لیتر محلول ۰,۱ مولار اسید سیتریک در دمای اتاق به مدت زمان ۲۴ ساعت آغشته شد. سپس نمونه‌ها تحت مقدار برداشت ۷۰ درصد پد شده، آبکشی، چلانده و نهایتاً در دمای محیط خشک شدند.

۲ـ۲ـ۶ـ شستشوی بعد از رنگرزی

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

۲ـ۳ـ اندازه‌گیری‌ها

۲ـ۳ـ۱ـ اندازه‌گیری کل ترکیبات فنلی و تانن‌های قابل استخراج

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

۱- ابتدا منحنی استاندارد با استفاده از اسید گالیک رسم و معادله رگرسیون مربوطه تعیین گردید. به این ترتیب که محلولی از ۱۰ میلی‌لیتر اتانل ۹۶ درصد و ۰,۴ گرم اسید گالیک خشک تهیه شد و توسط آب مقطر، حجم نهایی محلول به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از این محلول مقادیر ۰، ۱، ۲، ۳، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌لیتر را در بالن‌های مختلفی ریخته و حجم همه آنها با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (معادل با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گالیک اسید). جذب هر یک از این محلول‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و سپس نمودار استاندارد (عدد جذب بر حسب غلظت‌های مختلف گالیک اسید) رسم و معادله خط رگرسیون به دست آمد ($y=۰,۰۸۳ x + ۰,۰۴۲$ $R^2=۰,۹۸۱$).

۲- سپس ۲۰ میکرولیتر از محلول عصاره سیچکا و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو (یک نرمال) را با هم مخلوط کرده و پس از گذشت ۸ دقیقه در دمای اتاق، ۳۰۰ میکرولیتر 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 سانتی‌گراد همراه با هم‌زدن با سرعت ثابت انکوبه شد تا فاز آبی گسترش یابد.

۳-۰,۱ گرم پلی‌وینیل‌پلی‌پیرولیدون را در لوله آزمایشی ریخته و به آن یک میلی‌لیتر عصاره سیچکا و یک میلی‌لیتر 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 محلول‌های به دست آمده در مراحل ۲ و ۳ توسط طیف‌سنج UV-Vis در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری 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 میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم خشک سیچکا بیان شد. به منظور محاسبه مقدار تانن‌های قابل استخراج، تفاوت عدد حاصل از محلول شامل پلی‌وینیل‌پلی‌پیرولیدون از محلولی که فاقد این ماده بود، به دست آورده شد.

۲ـ۳ـ۲ـ ثبات نوری و شستشویی

ثبات نوری و شستشویی نخ‌های پشمی رنگرزی شده در شرایط بهینه به ترتیب بر اساس استانداردهای مؤسسه ملی استاندارد ایران به شماره‌های ۴۰۸۴ و ۱۰۰۷۶ اندازه‌گیری شد.

۲ـ۳ـ۳ـ قدرت رنگی و مؤلفه‌های رنگی

منحنی‌های انعکاسی نمونه‌های رنگرزی شده مختلف توسط دستگاه طیف‌سنج انعکاسی مدل X-Rite Sp64 ساخت آمریکا در محدوده ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار قدرت رنگی نمونه‌های مختلف با استفاده از رابطه کیوبلکا- مانک در طول موج بیشینه جذب یعنی ۳۹۰ نانومتر محاسبه شد. مؤلفه‌های رنگی نخ‌های رنگرزی شده زیر منبع نوری D65 با زاویه مشاهده کننده استاندارد ۱۰ درجه در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ اندازه‌گیری شد.

۲ـ۳ـ۴ـ اندازه‌گیری میزان فعالیت ضدمیکروبی

میزان فعالیت ضدمیکروبی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با سیچکا به روش کمی و تحت شرایط تماسی متحرک مطابق با استاندارد AATCC 100-2004 اندازه‌گیری شد. میکروارگانیسم‌های استافیلوکوکوس اورئوس با مشخصه ATCC 25923 و اشریشیا کلای با مشخصه ATCC 25922 به ترتیب به عنوان میکروب‌های گرم مثبت و گرم منفی در نظر گرفته شدند. میزان درصد کاهش باکتری‌ها در نتیجه مجاورت با نخ‌های مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$R\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، C_i و C_f به ترتیب تعداد کلونی باکتری‌ها روی نخ پشمی اولیه و نخ‌های رنگرزی شده بعد از گذشت ۲۴ ساعت می‌باشند که در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است.

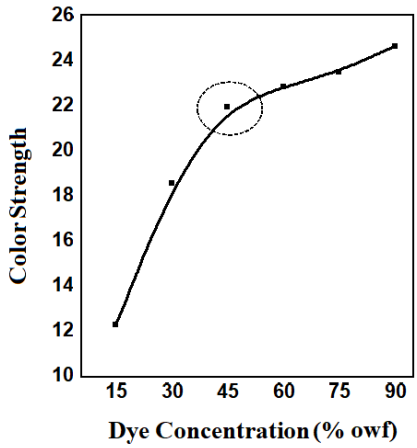
۳ـ نتایج و بحث

۳ـ۱ـ بررسی ترکیبات فنلی و تانن‌های قابل استخراج موجود در رنگزای سیچکا

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

۳ـ۲ـ شرایط بهینه رنگرزی

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

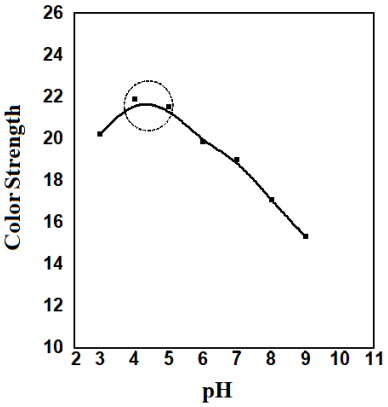


شکل ۱: اثر غلظت حمام رنگرزی روی قدرت رنگی در طول موج ۳۹۰ نانومتر (دمای رنگرزی ۸۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان ۶۰ دقیقه و pH=۴,۵).

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

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش غلظت رنگ تا حدود ۴۵ درصد، قدرت رنگی نمونه‌ها به شدت افزایش می‌یابد و پس از آن جذب رنگ تقریباً ثابت می‌شود. علت این موضوع را می‌توان چنین بیان نمود که در غلظت‌های بالاتر رنگ، تعداد مولکول‌های رنگ بیشتری در دسترس بوده و لذا قدرت رنگی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که در غلظت‌های بالاتر از ۴۵ درصد تقریباً الیاف اشباع شده و جذب رنگ به آهستگی افزایش می‌یابد. بنابراین مقدار بهینه غلظت رنگ، ۴۵ درصد در نظر گرفته شد.

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



شکل ۲: اثر pH حمام رنگرزی روی قدرت رنگی در طول موج ۳۹۰ نانومتر (غلظت رنگ ۴۵ درصد، دمای رنگرزی ۸۰ درجه سانتی‌گراد 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 ºC, dyeing time = 60 min).

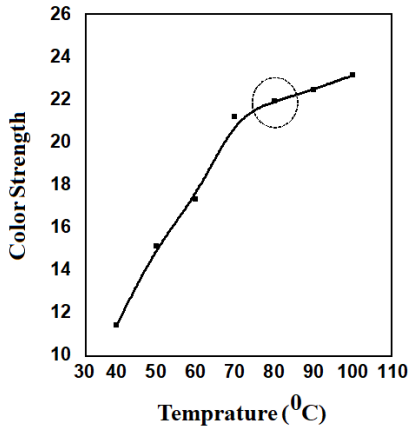
شکل۲ نشان می‌دهد که pH حمام رنگرزی اثر قابل ملاحظه‌ای روی قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با عصاره سیچکا داشته و بیشترین مقدار جذب رنگ در pH بین ۴ و ۵ حاصل می‌شود. این موضوع می‌تواند به ارتباط میان نقطه ایزوالکتریک پشم، ساختار رنگ و میزان پایداری رنگ مربوط گردد. پشم یک لیف پروتئینی بوده و به دلیل برخورداری 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 کراتین 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، برهم‌کنش نماید. این برهم‌کنش 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 رنگزای 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، برهم‌کنش 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 برهم‌کنش 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.

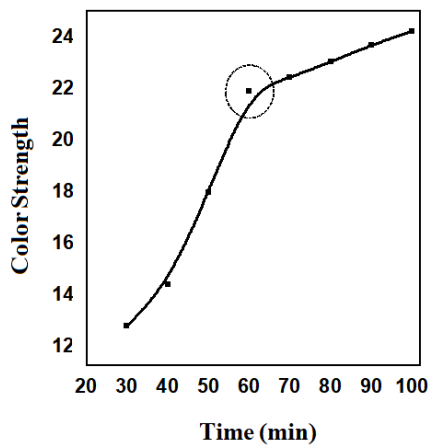
همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش دما تا حدود ۷۰ درجه سانتیگراد، قدرت رنگی نمونه‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. از دمای ۷۰ درجه به بعد مقادیر قدرت رنگی نمونه‌ها به آهستگی افزایش می‌یابد و یک حالت تعادل حاصل نمی‌گردد. در دماهای بالا، انرژی حرارتی منجر به تورم لیف و تسهیل نفوذ رنگ می‌شود. 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 ºC, pH = 4.5) .

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 فرآیندهای رنگرزی متداول قبلاً توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است [۲۰].

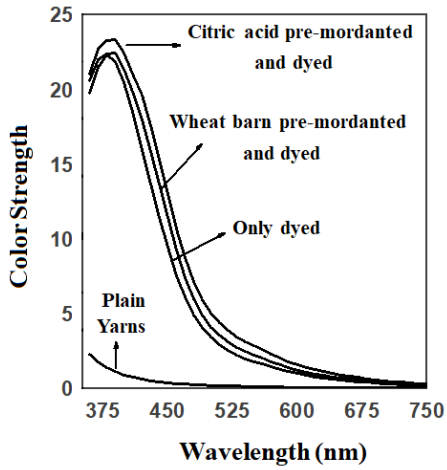
۳ـ۳ـ بررسی اثر دندانه‌های زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک بر میزان جذب رنگ

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 تنوع‌بخشی 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 [۲۳-۲۱]. 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 بیوموادی 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 زایدات 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 ملاحظه‌ای از آن دور ریخته می‌شود. این در حالی است که سبوس گندم دارای مواد با ارزشی چون فیبر، لیگنین، گلوتین، الیگوساکاریدها، اسید فیتیک، ویتامین‌ها، کاروتئونیدها، پلی‌فنل‌ها، فنلیک اسیدها، فلاونوئیدها و پروتئین‌ها می‌باشد [۲۷-۲۵]. مهم‌ترین پروتئین‌های موجود در سبوس گندم β-conglycinin (7S protein) 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 ارزان‌قیمت 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.

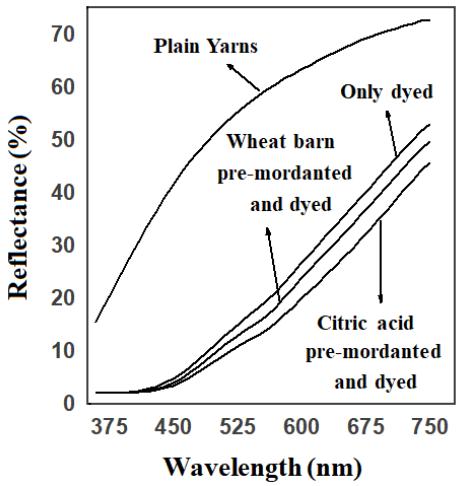
اسید سیتریک یکی از متداول‌ترین اسیدهای پلی‌کربوکسیلیک می‌باشد که ایمن، تجدیدپذیر، زیست تخریب‌پذیر و ارزان قیمت می‌باشد. اسید سیتریک با برخورداری از سه گروه کربوکسیل و یک گروه هیدروکسیل می‌تواند با شکستن پیوندهای هیدروژنی میان درشت‌مولکول‌ها، نیروهای بین مولکولی را کاهش داده و به عنوان یک نرم‌کننده عمل کند [۲۴]. همچنین از این ماده می‌توان به عنوان اتصال دهنده عرضی در انواع فرآیندهای تکمیلی منسوجات استفاده نمود [۳۲-۲۹]. 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

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



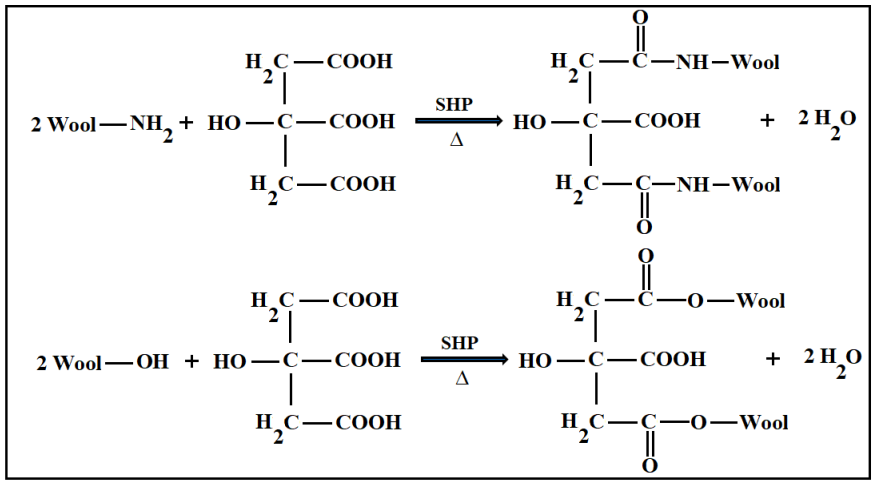
شکل ۵: اثر دندانه‌های زیستی سبوس گندم و اسید سیتریک بر قدرت رنگی پشم در رنگرزی با عصاره سیچکا.

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 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.



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.

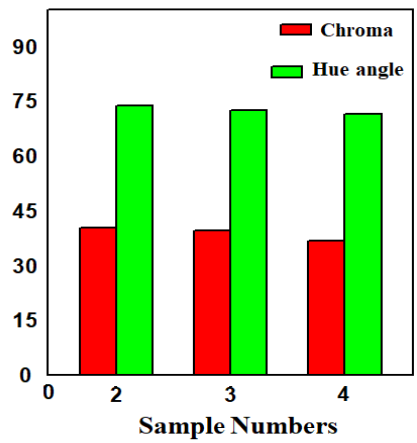
همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با عمل نمودن لیف پشم با سیتریک اسید، تعداد گروه‌های کربوکسیل پشم افزایش یافته و در نتیجه جذب رنگ توسط پشم بهبود می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که یک مولکول رنگ به تنهایی می‌تواند با یک طرف لیف اتصال برقرار کند در حالی‌که یک مولکول دندانه می‌تواند با دو یا تعداد بیشتری مولکول‌های رنگ اتصال برقرار کند. در نتیجه زمانی‌که مولکول دندانه 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 دندانه‌های زیست‌سازگار و ارزان‌قیمتی هستند که می‌توانند به طور مؤثری در بهبود جذب رنگزای طبیعی سیچکا توسط لیف پشم استفاده شوند.

۳ـ۴ـ بررسی مؤلفه‌ها و قدرت رنگی

مقادیر مؤلفه‌های رنگی، اختلاف و قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با عصاره رنگزای سیچکا در شرایط بهینه و همچنین نخ‌های دندانه‌دار شده با سبوس گندم و اسید سیتریک به روش پیش دندانه، 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 رنگزای سیچکا در مقایسه با نمونه اولیه کاهش یافته و دندانه‌دار کردن نخ قبل از رنگرزی منجر به کاهش بیشتر روشنایی نمونه‌ها می‌گردد به نحوی‌که کمترین روشنایی در نخی که با دندانه اسید سیتریک عمل شده است، مشاهده می‌شود. همچنین در مقایسه با نخ به تنهایی رنگرزی شده، میزان قرمزی نمونه‌های دندانه‌دار شده افزایش و میزان زردی آنها کاهش یافته است. کاهش میزان زردی در مورد نخ دندانه‌دار شده با سیتریک اسید قابل ملاحظه‌تر می‌باشد. از طرف دیگر مشاهده می‌شود که رنگزای سیچکا به تنهایی و بدون استفاده از دندانه، 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 دندانه هم تمایل خوبی به جذب شدن توسط پشم را دارند. نکته قابل ملاحظه دیگر در جدول ۱ این است که استفاده از دندانه‌های 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 دندانه‌دار 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 رنگزای 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 رنگزای سیچکا.

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

جدول ۱: مقادیر مؤلفه‌های رنگی، اختلاف رنگی و قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با رنگزای 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	ΔE'	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

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

۳ـ۵ـ بررسی ریخت‌شناسی سطحی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

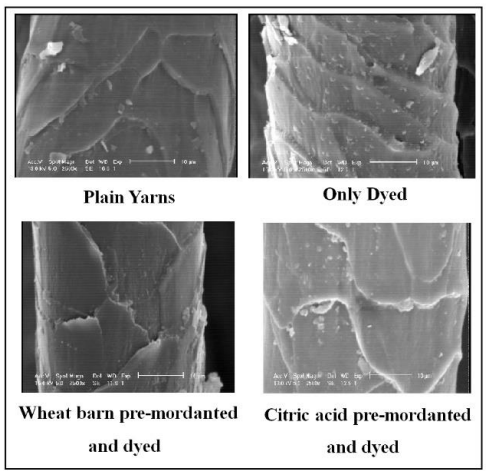
به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در سطح نخ‌های پشمی رنگرزی شده و همچنین میزان یکنواختی رنگرزی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی نخ پشمی اولیه، نخ رنگرزی شده در شرایط بهینه و نخ‌های پیش دندانه‌دار شده با سبوس گندم و اسید سیتریک در شکل ۹ نشان داده شده است.

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

۳ـ۶ـ بررسی ثبات‌های رنگرزی

ثبات نوری و شستشویی نخ‌های رنگرزی شده مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نمونه‌هایی که به تنهایی رنگرزی 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].

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 میلی‌گرم 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 رنگرزی پشم با این ماده رنگی به تنهایی و بدون استفاده از دندانه می‌باشد. بنابراین می‌توان گال غیرجنسی سیچکا را به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی دندانه‌دار برای رنگرزی پشم معرفی نمود. نکته قابل ملاحظه دیگر در جدول ۲ این است که هر دو نمونه دندانه‌دار شده با سبوس گندم و سیتریک اسید در مقایسه با نمونه‌هایی که به تنهایی و بدون دندانه با رنگزای سیچکا رنگرزی 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 دندانه‌دار شده می‌تواند چنین بررسی شود که واکنش میان ساختار پلی‌فنلی ماده رنگزای سیچکا و گروه‌های عاملی موجود در دندانه‌های 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 کالا کاهش می‌یابد.



شکل ۹: تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های پشمی مختلف.

Figure 9: SEM micrographs of the various wool samples.

جدول ۲: ثبات نوری و شستشویی نخ‌های پشمی رنگرزی 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

جدول ۲ به خوبی نشان می‌دهد که نمونه‌های دندانه‌دار شده با دندانه‌های 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 دندانه‌دار نمودن نخ‌های پشمی با دندانه‌های 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.

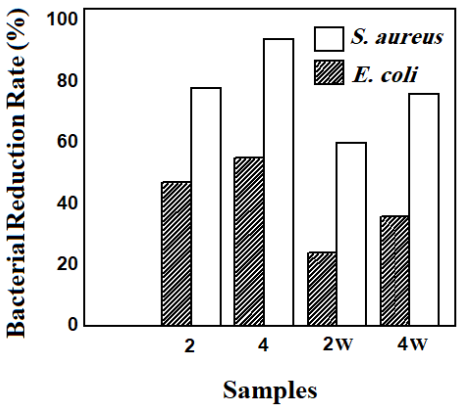
۲- برهم‌کنش میان دندانه و ترکیبات فنلی رنگزا منجر به این می‌شود که فوتون‌هایی که توسط گروه رنگی مولکول رنگزا جذب می‌شوند، از طریق تغییرات رزونانس درون حلقه ۶ عنصری، انرژی را پراکنده ساخته و بنابراین از تخریب نوری کروموفور رنگ جلوگیری می‌کنند [۳۳].

۳ـ۷ـ 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 رنگزاها 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 اشریشیا کلای به نمایندگی از باکتری‌های بیماری‌زای انسانی، مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج آن در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

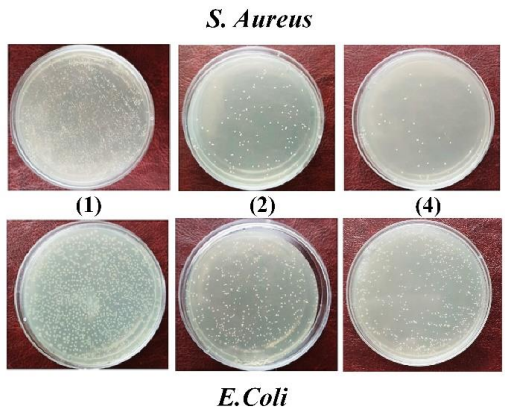
همان‌طور که ملاحظه می‌گردد تمام نمونه‌های رنگرزی شده (با دندانه و بدون دندانه)، فعالیت ضدباکتری مناسبی را از خود نشان می‌دهند. به این ترتیب قابلیت رنگزای طبیعی سیچکا در ضد باکتری نمودن پشم مورد تأیید قرار می‌گیرد. علت این موضوع را می‌توان چنین توضیح داد که همان‌گونه که نتایج حاصل از روش فولین سیوکالتو 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 برخورداری از گروه‌های فنلی در ساختار خود می‌توانند اثرات ضدمیکروبی 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 کراسلینک، 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 پایداری می‌گردد که صورت‌بندی ساختار باکتری‌ها را تغییر داده و از تکثیر باکتری‌ها جلوگیری می‌کند [۲۳، ۳۶].



شکل ۱۰: درصد کاهش باکتری توسط نمونه‌های پشمی رنگرزی شده با رنگزای 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 رنگزای سیچکا.

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

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 اشریشیا 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 پلی‌گلایکوژن پپتیدی تشکیل شده است که این لایه به مولکول-های 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 رنگزای 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 رنگزای 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 ضدمیکروبی نخ‌های رنگرزی شده از پایداری مناسبی در برابر شستشوهای مکرر برخوردار است. علت این موضوع را می‌توان به ثبات شستشویی خوب این نمونه‌ها مربوط دانست (جدول ۲).

۴ـ 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 تانینی در رنگرزی پشم استفاده نمود و ثبات‌های قابل قبولی از این رنگزای 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 رنگزای سیچکا عبارتند از: غلظت رنگ ۴۵ درصد، دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان یک ساعت و pH= ۴,۵. 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 رنگزای سیچکا سبب افزایش قدرت رنگی، بهبود خواص ثباتی نمونه‌ها و همچنین تغییر فام و تنوع رنگی می‌گردد. علاوه بر این استفاده از رنگزای سیچکا در رنگرزی پشم، خاصیت ضد باکتری مناسبی را در مقابل میکروارگانیسم‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی اشریشیا کلای ایجاد می-کند که در برابر شستشوهای 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 رنگزای 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.

۵ـ 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. Hosseinnezhad. Investigating of Colorimetric Characteristics of Anthocyanin Dyes Applied in Dye-Sensitized Solar Cells. *J. Color. Sci. Tech.* 15(2)(2021), 79-85.

5. M. Hosseinnezhad, 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 Charmineh, 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-Ciocalteau 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 biomordantin Hundihopo 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-temprature crosslinking of proteins using non-toxic citric acid in neutral aqoueous 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