



مطالعه خصوصیات رنگی و ثباتی نخ پشمی اصلاح شده با کیتوسان - سیانوریک کلراید مورد مصرف در فرش دستباف با ماده رنگزای روناس

سهیلا دوست محمدی^۱، سیامک صفاپور^{۲*}، موسی صادقی کیاخانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فرش، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۴۵۶۷-۵۱۳۸۵

۲- استادیار، دانشکده فرش، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۴۵۶۷-۵۱۳۸۵

۳- استادیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۵/۱۰/۳۰

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی خصوصیات رنگی و ثباتی نخ پشمی اصلاح شده با ترکیب کیتوسان-سیانوریک کلراید (Ch-Cy) با ماده رنگزای طبیعی روناس که در خامه فرش دستباف مصرف می شود، است. نخ های اصلاح شده با ماده رنگزای طبیعی روناس رنگرزی شد و تأثیر عواملی نظیر غلظت Ch-Cy، غلظت ماده رنگزا، pH، دما و زمان رنگرزی مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه رنگرزی با مقدار ۲ درصد ترکیب Ch-Cy نسبت به وزن پشم، ۱۰۰ درصد ماده رنگزای روناس نسبت به وزن پشم، pH رنگرزی ۷، دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و زمان رنگرزی ۶۰ دقیقه به دست آمد. نتایج نشان داد که اصلاح با Ch-Cy موجب بهبود خواص رنگرزی پشم شد و رمق کشی به میزان ۷ درصد و قدرت رنگی (K/S) به میزان ۲ واحد افزایش یافت. داده های رنگی و مقادیر ثبات های شستشویی، نوری و مالشی نشان داد که اصلاح نخ پشمی، تأثیر منفی بر ثبات های رنگی نداشت و فام کالای رنگرزی شده بدون تغییر باقی ماند. نتایج این پژوهش نشان داد که اصلاح پشم با ترکیب Ch-Cy منجر به نتایج بهتر رنگرزی، شیدهای عمیق تر و صرفه جویی در مصرف ماده رنگزا در رنگرزی با ماده رنگزای روناس می گردد.

واژه های کلیدی: نخ پشمی، کیتوسان - سیانوریک کلراید، اصلاح، ماده رنگزای روناس، رنگرزی.

Study on Dyeing and Fastness Properties of Chitosan-Cyanuric Chloride Modified Woolen Yarn Used in Hand-Knotted Carpet With Madder Dye

S. Doust-mohammadi¹, S. Safapour^{*1}, M. Sadeghi-Kiakhani²

¹ Faculty of Carpet, Tabriz Islamic Art University, PO BOX 51385-4567, Tabriz, Iran

² Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, PO Box 16765-654, Tehran, Iran

Received: 20-01-2016

Accepted: 10-08-2016

Available online: 19-01-2017

Abstract

The aim of present study was to investigate dyeing and fastness properties of chitosan-cyanuric chloride hybrid (Ch-Cy) modified woolen yarn with madder natural dye which is used in hand-knotted carpet pile. Modified yarns were dyed with madder root natural dye and the impacts of some important factors such as Ch-Cy concentration, madder dye concentration, pH, temperature, and time of dyeing were investigated. Optimum dyeing results were obtained using 2%owf of Ch-Cy, 100%owf of madder dye, dyeing pH=7, temperature of 100 °C, and time of 60 min. Results revealed that Ch-Cy was effective in the improvement of dyeing properties of woolen yarns, so that the dye exhaustion and color strength values increased by 7% and 2 ratings, respectively. Fastness data against wash, light, and rub as well as colorimetric data indicated that wool modification did not impair color fastness of dyed substrates. Further, hue remained nearly unchanged compared to dyed pristine wool. Therefore, based on the results obtained, it was concluded that modification of woolen yarns with Ch-Cy resulted in better dyeing performance, deeper shades, and saving crude dye material in madder dyeing of wool. J. Color Sci. Tech. 10(2017), 217-224©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Woolen yarn, Chitosan-cyanuric chloride, Modification, Madder dye, Dyeing.

۱- مقدمه

پشم پرمصرف‌ترین لیف به عنوان نخ پرز فرش و خامه قالی در صنعت فرش دستباف می‌باشد. نخ پشمی ویژگی‌های خاص و منحصر به فردی نظیر کشیده شدن و بازگشت‌پذیری عالی، رنگ‌پذیری مناسب با دسته‌های مختلف مواد رنگزای شیمیایی و طبیعی، خواص ضدالکتریسته ساکن، ضدآتش بودن و نمدی‌شدن را دارد. افزون بر ویژگی‌های مذکور، زیر دست نرم، احساس راحتی در پوشش، جذب رطوبت زیاد، امکان کنترل رطوبت، جذب مواد شیمیایی و سمی، عایق صوتی و حرارتی، محافظت در برابر پرتو فرابنفش خورشید از دیگر ویژگی‌های متنوع پشم می‌باشد [۱]. علاوه بر صنعت فرش دستباف، پشم در بسیاری از زمینه‌ها همچون پوشاک، معماری، تولیدات پزشکی، حمل و نقل، کفپوش و غیره کاربرد دارد، به طوری که الیاف ضخیم‌تر پشم برای تولید منسوجات داخلی و کفپوش‌ها مانند فرش و الیاف ظریف‌تر برای تولید پارچه و لباس مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲، ۳].

کیفیت بالای رنگرزی در صنعت فرش دستباف مستلزم استفاده از حداقل مواد رنگزا، یکنواختی رنگ ایجاد شده بر روی کالا، میزان بالای ثبات و پایداری رنگ و پساب حاوی کمترین مقدار ماده رنگزا و مواد کمکی باقی‌مانده پس از رنگرزی می‌باشد. در این فرآیند، نوع نخ مصرفی، نوع ماده رنگزا، روش رنگرزی و مواد کمکی، از موارد مهمی می‌باشد که کیفیت رنگرزی را برای کاربرد در صنعت تولید فرش و قالی مشخص می‌کند. به همین جهت در سال‌های اخیر، بهبود کیفی بعضی از خواص نخ پشمی و لزوم انجام عملیات تکمیلی متعدد، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در این خصوص، ریخت‌شناسی سطح پشم نقش مهمی در فرآیندهای تکمیل محصولات تهیه شده از این کالا دارد [۴].

مواد رنگزای طبیعی، سازگار با محیط‌زیست بوده و به عنوان منابع تجدیدپذیر و زیست‌تخریب‌پذیر هستند و برای رنگرزی بیشتر الیاف طبیعی از جمله پشم استفاده می‌شوند [۵]. رنگرزی پشم در فرش دستباف به دلیل جلوه‌های چشمی و ثباتی ممتاز و وجود مزایایی همچون غیرسمی بودن، سازگاری با محیط زیست، عدم ایجاد حساسیت پوستی و تنفسی، ضد باکتری، ضد بو و امکان ایجاد شیدهای مختلف بر حسب شرایط رنگرزی، اهمیت زیادی دارد. امروزه از روش‌های متداول جهت رنگرزی نخ پشمی استفاده می‌شود [۶]. در روش‌های متداول رنگرزی، به دلایلی همچون تمایل ذاتی پایین مواد رنگزای طبیعی به پشم، ساختار ویژه و سطح آبگریز پشم به دلیل وجود اسیدهای چرب و پیوندهای دو گلوگردی (دی‌سولفیدی)، رمق‌کشی در حمام رنگرزی به طور کامل صورت نگرفته و به طور متوسط حدود نیمی از مواد رنگزای طبیعی به صورت پساب به چرخه طبیعت باز گردانده می‌شود. این هدر رفت مواد رنگزا به این صورت باعث افزایش هزینه رنگرزی و تصفیه پساب

رنگرزی می‌گردد [۷]. یکی از روش‌های کاهش مواد رنگزا در پساب رنگرزی اصلاح ساختار شیمیایی پشم و افزایش مکان‌های رنگ‌پذیر در آن می‌باشد [۸]. این امر به کمک نمک‌های فلزی (دندان‌ه) می‌تواند قابل جبران باشد، اما کاربرد این مواد به دلیل سازگار نبودن آنها با محیط زیست و زیست تخریب‌پذیر نبودن آنها، مشکلات زیست محیطی فراوانی را به وجود می‌آورد. هدف از اصلاح شیمیایی پشم، جلوگیری از آسیب رساندن به ساختار شیمیایی اصلی و حفظ خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب آن می‌باشد. برای این منظور از پلیمرهای زیست‌سازگار مانند کیتوسان و مشتقات متنوع آن به عنوان جایگزینی برای مواد شیمیایی در اصلاح خصوصیات نخ پشمی استفاده می‌شود [۴-۷].

کیتوسان به طور عمده و تجاری از استیل‌زدایی نمودن کیتین در شرایط قلیایی به دست می‌آید [۹]. در ساختار شیمیایی کیتوسان، سه گروه فعال، شامل دو گروه هیدروکسیل (OH-) و یک گروه آمین (NH₂-) وجود دارند، که حضور این گروه‌ها به اصلاح شیمیایی کیتوسان کمک کرده و منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن می‌شوند. به طوری که وجود گروه‌های آمینی، موجب حلالیت در محیط اسیدی، بار مثبت و خواص چسبندگی کیتوسان می‌شود [۹، ۱۰]. همچنین کیتوسان تأثیر مثبتی بر روی سرعت رنگرزی دارد. در برخی از موارد کاربرد کیتوسان می‌تواند منجر به کاهش استفاده از مواد کمکی در فرآیند رنگرزی شود که از لحاظ اقتصادی می‌تواند مفید باشد [۱۱، ۱۲]. امروزه از کیتوسان برای افزایش خاصیت جذب رنگ، کاهش میزان نمدی‌شدن لیف پشم، ایجاد خاصیت ضد میکروبی در الیاف و غیره استفاده می‌شود [۱۳]. از جمله محدودیت‌های کاربرد کیتوسان، می‌توان به پایین بودن ثبات تکمیل انجام شده به دلیل اتصال ضعیف با زنجیرهای پلیمری الیاف اشاره کرد [۱۴، ۱۵]، اتصالاتی که از پیوند یونی بین گروه‌های کربوکسیل در پشم و گروه آمین و پیوند هیدروژنی که بین گروه‌های هیدروکسیل و آمین پشم با گروه‌های هیدروکسیل کیتوسان بوجود می‌آید. این امر باعث کاهش ثبات این ماده بر روی کالا می‌گردد. تاکنون، محققان برای برطرف کردن مشکل مذکور و افزایش کارایی از انیدریدها، پلی‌کربوکسیلیک اسیدها و سایر مواد واکنش‌پذیر برای افزایش قدرت اتصال کیتوسان به الیاف استفاده کرده‌اند. با این وجود، تغییر رنگ و زرد شدن پشم از محدودیت‌های اصلی در استفاده از این مواد به همراه کیتوسان برای اصلاح و بهبود ویژگی‌های پشم می‌باشد. اصلاح شیمیایی کیتوسان به کمک ترکیباتی نظیر سیانوریک کلراید و تهیه مشتق واکنش‌پذیر کیتوسان-سیانوریک کلراید (Ch-Cy) می‌تواند باعث ایجاد پیوند قوی کووالانسی بین کیتوسان و پشم شده و از طرف دیگر از تغییرات فیزیکی لیف، همچون تغییر رنگ آن به زردی و کاهش استحکام آن جلوگیری کند [۷].

گرم تری اتیل آمین به محلول اضافه گردید. مخلوط به دست آمده با استفاده از همزن مغناطیسی با دور ملایم در دمای ۵-۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت هم زده شد. سپس محصول به دست آمده (ترکیب کیتوسان سیانوریک کلراید) با کاغذ صافی جدا گردید و با محلول متانل/تتراهیدروفوران (۱،۳ حجمی/حجمی) آبکشی شده و در دمای محیط خشک گردید [۴، ۷]. ساختار شیمیایی مواد اولیه و ترکیب سنتز شده (کیتوسان سیانوریک کلراید) در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲-۲- شستشوی نخ‌های پشمی

به منظور از بین بردن ناخالصی روی سطح نخ پشمی، نمونه‌ها در حمام حاوی ۵ درصد وزنی شوینده غیریونی، ۱:۴۰:۱ L:R، در دمای ۶۰°C به مدت ۳۰ دقیقه شستشو داده شدند. سپس نمونه‌ها خارج و با آب معمولی آبکشی شده و پس از آب‌گیری در دمای اتاق خشک شدند.

۲-۲-۳- اصلاح نخ‌های پشمی با ترکیب Ch-Cy

نخ‌های پشمی با غلظت‌های مختلف از ترکیب Ch-Cy (۱۵-۵، ۰ درصد نسبت به وزن پشم) اصلاح شد. بدین ترتیب که ابتدا ترکیب Ch-Cy در محلول اسیدی ضعیف (حاوی مقدار مناسبی از اسید استیک) حل گردید. سپس، نخ پشمی به محلول مذکور افزوده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۵°C قرار گرفت. در طول این مدت به منظور یکنواختی بیشتر، محلول حاوی نمونه هر نیم ساعت یک بار هم‌زده شد. سپس خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۷۰°C و عملیات پخت در دمای ۱۲۰°C به مدت ۳ دقیقه در آن حرارتی انجام شد. پس از عملیات تکمیلی مذکور، ترکیب Ch-Cy از طریق پیوند شیمیایی (کووالانسی) به زنجیرهای پلیمری لیف پشم متصل می‌گردد که با آزمون‌های مختلف نظیر طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه^۱، میکروسکوپ الکترونی روبشی^۲ و گرماسنجی روبشی^۳ تفاضلی^۴ در مطالعات پیشین تایید شده است و برای پرهیز از دوباره‌کاری از آوردن نتایج در این مقاله صرف‌نظر شده است [۴، ۷].

- 1- Pad-dry-cure
- 2- Fourier Transform Infra-Red (FTIR)
- 3- Scanning Electron Microscope (SEM)
- 4- Differential Scanning Calorimetry (DSC)

در مطالعات پیشین، اصلاح لیاف پشم با ترکیب Ch-Cy انجام شده است و میزان تاثیر این ماده بر روی جذب ماده رنگزای راکتیو توسط لیاف پشمی بررسی شده است [۴، ۷]. به دلیل اهمیت مصرف مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی نخ‌های پشمی مصرفی برای تولید فرش و قالی، در این پژوهش برای اولین بار نخ پشمی اصلاح‌شده با ترکیب کیتوسان-سیانوریک کلراید با استفاده از ماده رنگزای طبیعی روناس رنگرزی شد و شرایط بهینه فرآیند رنگرزی نخ پشمی اصلاح‌شده تعیین گردید. بدین منظور، اثر عوامل مؤثر بر فرآیند رنگرزی از قبیل غلظت ترکیب Ch-Cy، غلظت ماده رنگزا، pH، دما و زمان رنگرزی بررسی شد. در نهایت خصوصیات ثابت رنگی کالاهای رنگرزی شده با ماده رنگزای طبیعی روناس اندازه‌گیری شد و مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

۲- تجربیات

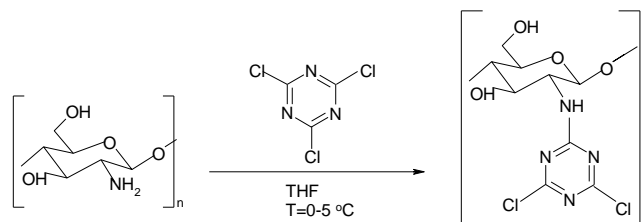
۲-۱- مواد و تجهیزات

کیتوسان از شرکت کیتوتک ایران تهیه شد. سیانوریک کلراید، تتراهیدرو فوران (THF)، تری اتیل آمین، متانل و اسید استیک، از شرکت مرک آلمان تهیه گردید. ماده رنگزای ریشه روناس (به صورت پودر) از کارگاه‌های رنگرزی سنتی استان آذربایجان شرقی تهیه شد. نخ پشمی سفید (نمره ۲۰۰ تکس چهارلا) از شرکت آذربرف و صابون غیریونی از شرکت نیک فام خریداری شد. برای تهیه ترکیب Ch-Cy و اصلاح نخ پشمی از دستگاه ۱۰۰۰ Shake Incubator، ساخت شرکت Heidolph آلمان استفاده شد. عملیات پد-خشک-پخت^۱ پشم با ترکیب Ch-Cy به کمک گرم‌خانه مدل Memmert آلمان انجام شد. برای رنگرزی نخ‌های اصلاح شده پشم، از دستگاه رنگرزی با جریان هوای داغ ساخت شرکت هند و از دستگاه طیف‌سنج دو پرتویی مدل CECIL 9200 ساخت کشور انگلستان، برای جذب‌سنجی و محاسبه رمق‌کشی نمونه‌ها استفاده گردید.

۲-۲- روش کار

۲-۲-۱- سنتز ترکیب کیتوسان-سیانوریک کلراید (Ch-Cy)

۲ گرم کیتوسان به ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول تتراهیدروفوران در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد افزوده شد. سپس ۶،۱ گرم سیانوریک کلراید و ۳،۳



شکل ۱: روش تهیه کیتوسان-سیانوریک کلراید [۴، ۷].

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R \quad (5)$$

۶-۲-۲- اندازه‌گیری ثبات‌های رنگی

ثبات شستشویی به روش استاندارد ISO 105 C06 C2S: 1994(E) انجام شد، بدین ترتیب که هر یک از کالاها رنگریزی شده در دمای ۶۰°C و به مدت ۳۰ دقیقه به همراه ۲۵ گلوله سرامیکی در حمامی حاوی ۱ g/l پریرات سدیم، ۴ g/l شوینده و ۱ g/l کربنات سدیم با L:R=۵۰:۱ مورد شستشو قرار گرفتند. pH محلول شستشو در حدود ۱۰٫۵ بود. پارچه‌های همراه در هر شستشو از دو جنس پشم و پنبه بودند. پس از پایان شستشو، کالاها آبکشی شده و پس از خشک شدن با معیار خاکستری (تغییر رنگ و لکه‌گذاری) مورد ارزیابی قرار گرفت. ثبات نوری مطابق با استاندارد ISO 105 B02:1988 (E) انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۱۰۰ ساعت تحت تابش لامپ زنون قرار گرفتند و ثبات نوری با استفاده از معیار آبی (۸-۱)، که ۱ معرف بدترین و ۸ معرف بهترین ثبات نوری می‌باشد) ارزیابی و گزارش گردید. از روش استاندارد ISO 105-X12:1993(E) برای اندازه‌گیری ثبات رنگ در برابر سایش هر یک از کالاها رنگریزی شده استفاده شد. در این روش کالاها رنگریزی شده در دستگاه اندازه‌گیری ثبات مالشی قرار گرفت و عمل سایش با یک پارچه پنبه‌ای که به یک وزنه ۹ نیوتنی متصل است، در دو حالت خشک و تر انجام شد. تعداد سایش ده بار (رفت و برگشت) و به فاصله ۱۰ سانتی‌متر بود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی عوامل مؤثر در فرآیند رنگریزی

در این پژوهش تاثیر عواملی همچون غلظت Ch-Cy، غلظت ماده رنگزا، pH، دما و زمان فرآیند رنگریزی بر خواص رنگریزی و ویژگی‌های رنگی و ثباتی نخ‌های پشم خام و اصلاح‌شده مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه تاثیر هر عامل به طور جداگانه توضیح داده می‌شود.

۳-۱-۱- اثر غلظت کیتوسان - سیانوریک کلراید

در شکل ۲ اثر غلظت‌های مختلف ترکیب Ch-Cy بر روی رنگریزی نخ پشمی با ماده رنگزای طبیعی روناس نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت ترکیب Ch-Cy، مقدار رمق‌کشی نیز افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش غلظت ترکیب Ch-Cy به بیشتر از ۲ درصد، تغییر قابل ملاحظه‌ای در رمق‌کشی نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود و تقریباً در حد یکسان باقی‌ماند. افزایش جذب ماده رنگزا توسط لیف اصلاح شده را می‌توان به حضور گروه‌های آمین و هیدروکسیل بیشتر در پشم اصلاح شده با ترکیب Ch-Cy نسبت داد [۱۶، ۱۷]. نتایج نشان می‌دهد که غلظت ۲ درصد (نسبت به وزن پشم) از ترکیب Ch-Cy را می‌توان به عنوان غلظت بهینه جهت اصلاح نخ پشمی در نظر گرفت.

۴-۲-۲- رنگریزی

نخ‌های پشمی اصلاح شده و اصلاح‌نشده (خام) با پودر ماده رنگزای طبیعی روناس در غلظت‌های مختلف ۷۰-۱۲۵ درصد نسبت به وزن کالا، مقادیر pH ۴ و ۷، زمان‌های ۱۲۰-۱۵ دقیقه، دماهای مختلف ۶۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با L:R=۴۰:۱ رنگریزی شدند. برای تنظیم pH=۴، مقدار مناسب از اسید استیک به حمام رنگریزی افزوده شد. پس از پایان رنگریزی، نمونه‌ها از حمام خارج و با آب سرد شستشو داده شدند. جهت بررسی میزان رمق‌کشی، پساب‌های رنگریزی به کمک کاغذ صافی، صاف شد و به کمک دستگاه طیف‌سنج جذبی دوپرتویی، جذب‌سنجی محلول‌ها در محدوده طول موج ۳۵۰ تا ۷۰۰ نانومتر انجام شد. بیشترین طول موج جذبی محلول رنگی در محدوده مرئی ۴۱۶ نانومتر بود. میزان رمق‌کشی برحسب درصد (E%) مطابق رابطه ۱ محاسبه گردید، که در این رابطه A_0 و A_1 به ترتیب مقادیر جذب محلول رنگی قبل و بعد از فرآیند رنگریزی می‌باشد.

$$E\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \quad (1)$$

۴-۲-۲- اندازه‌گیری مقادیر انعکاسی و رنگی

ویژگی‌های رنگی ($L^*, a^*, b^*, C^*, h^\circ$) و مقدار انعکاس (R) نمونه‌های رنگی تحت منبع نوری D65 و زاویه مشاهده‌کننده استاندارد (10°) توسط دستگاه طیف‌سنج انعکاسی Color-Eye XTH, X- Rite Inc., در محدوده طول موج ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و ارزیابی نتایج در سیستم $CIEL^* a^* b^*$ انجام گرفت. مقادیر L^* در محدوده ۱۰-۱۰۰ متغیر بوده و نشان‌دهنده درجه روشنایی نمونه می‌باشد که مقدار کمتر L^* نشان‌دهنده تیره‌تر بودن نمونه رنگی می‌باشد. مقادیر a^* تغییر درجه سبزی-قرمزی و b^* تغییر درجه آبی-زردی را نشان می‌دهد. مقادیر C^* بیانگر خلوص رنگی نمونه‌ها و h° نشان‌دهنده زاویه فام رنگی می‌باشد که به ترتیب از رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه می‌شود. اختلاف رنگی نمونه‌ها (ΔE) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید. مقدار قدرت رنگی $(K/S)^1$ که نشان‌دهنده عمق رنگی هر نمونه می‌باشد، با استفاده از داده‌های انعکاسی و رابطه کیوبلکا-مانک (رابطه ۵) در بیشترین طول موج جذب ماده رنگزا (کمترین مقدار انعکاس) در محدوده طول موج مرئی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر محاسبه شد که در این رابطه R مقدار انعکاس نخ رنگی در بیشترین طول موج جذب، K ضریب جذب و S ضریب انتشار می‌باشد.

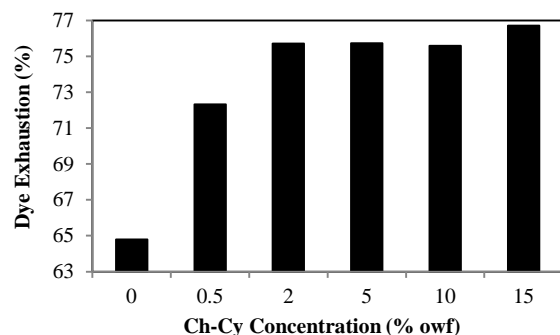
$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (2)$$

$$h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (3)$$

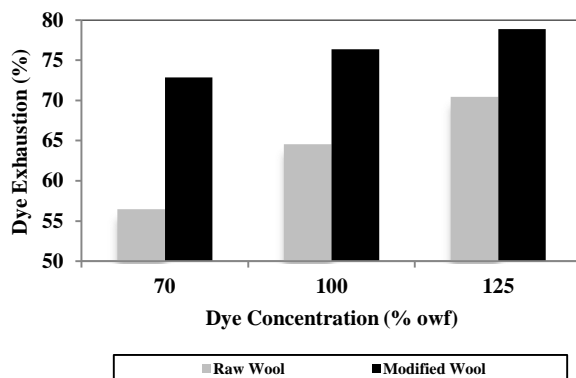
$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (4)$$

1- Color Strength

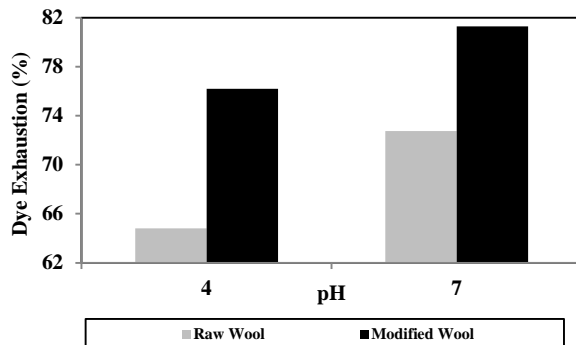
الیاف پشم (خام و اصلاح شده) بیشتر به واسطه تشکیل پیوندهای هیدروژنی با ساختار مولکولی ماده رنگزا می‌باشد، چرا که با کاهش pH و یونیزه شدن گروه‌های آمین (NH_2 -) ترکیب Ch-Cy و تبدیل آنها به گروه‌های آمینو (NH_3^+ -) امکان تشکیل پیوند هیدروژنی این گروه‌ها با مولکول ماده رنگزا کاهش و در نتیجه مقدار رمق‌کشی نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۲: تأثیر غلظت Ch-Cy بر مقدار رمق‌کشی نخ پشمی رنگزی شده با ماده رنگزای روناس (غلظت ماده رنگزا: ۱۰۰ درصد (نسبت به وزن پشم)، زمان: ۶۰ دقیقه، دما 100°C و $\text{pH}=4$)



شکل ۳: تأثیر غلظت ماده رنگزا بر روی مقدار رمق‌کشی نخ پشمی رنگزی شده با ماده رنگزای روناس، غلظت ترکیب Ch-Cy: ۲ درصد نسبت به وزن پشم، زمان: ۶۰ دقیقه، دما 100°C و $\text{pH}=4$



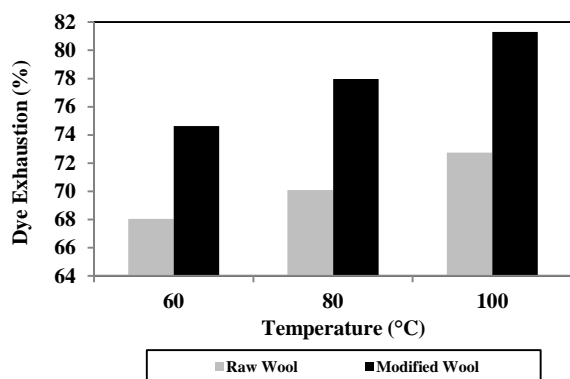
شکل ۴: تأثیر pH بر رمق‌کشی نخ پشمی رنگزی شده با ماده رنگزای روناس. غلظت Ch-Cy: ۲ درصد نسبت به وزن پشم، غلظت ماده رنگزا: ۱۰۰ درصد نسبت به وزن پشم، زمان: ۶۰ دقیقه و دما 100°C .

۳-۱-۲- اثر غلظت ماده رنگزا

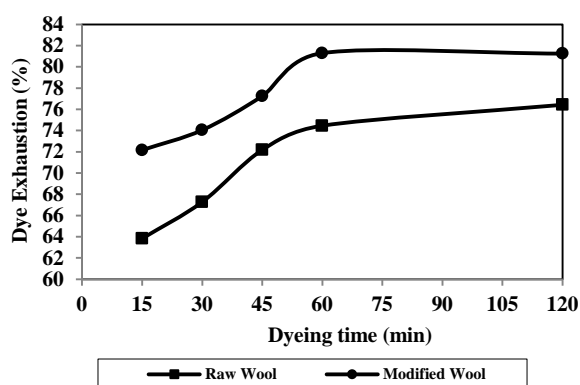
به طور کلی، در فرآیند رنگریزی هرچه غلظت ماده رنگزا افزایش یابد، مقدار ماده رنگزای جذب شده توسط الیاف (رمق‌کشی) نیز بیشتر می‌شود تا الیاف به نقطه اشباع خود برسند [۱۸]. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، با افزایش غلظت ماده رنگزا، میزان رمق‌کشی روی پشم خام و اصلاح شده افزایش یافته است، به طوری که مقدار این افزایش در نمونه‌های اصلاح شده نسبت به نمونه‌های خام بیشتر می‌باشد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که مقدار ماده رنگزای مصرفی در رنگریزی پشم اصلاح شده در مقایسه با پشم خام کاهش یافته است. به بیان دیگر هنگامی که غلظت ماده رنگزا ۱۲۵ درصد نسبت به وزن کالا است، مقدار رنگی که توسط پشم خام جذب شده است، تقریباً برابر با مقدار جذب ماده رنگزا توسط نخ اصلاح‌شده در زمانی است که غلظت ماده رنگزا ۷۰٪ نسبت به وزن کالا بوده است. افزایش در قابلیت رنگریزی و کاهش مقدار ماده رنگزای مصرفی را می‌توان به حضور گروه‌های آمین و هیدروکسیل فعال بیشتر در سطح نخ پشم اصلاح شده با ترکیب کیتوسان-سیانوریک کلراید نسبت داد که تمایل مولکول‌های ماده رنگزا به الیاف را افزایش داده و جذب ماده رنگزا را تسهیل می‌نمایند [۷].

۳-۱-۳- اثر pH

در رنگریزی، pH حمام رنگریزی از یک سو بر روی ساختار شیمیایی و بار مولکولی ماده رنگزای طبیعی و از سوی دیگر بر نقطه ایزوالکتریک الیاف پروتئینی پشم تأثیر قابل توجهی می‌گذارد و موجب تغییر در مقدار رمق‌کشی و جذب ماده رنگزا می‌گردد [۱۶]. همچنین pH بر ثبات کالای رنگریزی شده نیز تأثیر محسوسی دارد. به عنوان مثال ممکن است ماده رنگزای جذب شده بر روی کالا در شرایط اسیدی پایداری کمی داشته باشد و به راحتی از کالا خارج شود و یا مولکول‌های ماده رنگزای کاتیونیزه شده و باعث کاهش عمق رنگی شوند [۱۹]. در رنگریزی الیاف پروتئینی نظیر پشم با مواد رنگزای طبیعی، معمولاً برای خارج شدن از محدوده ایزوالکتریک الیاف و افزایش رمق‌کشی و جذب ماده رنگزا، از محیط اسیدی ضعیف (افزودن اسید استیک یا فرمیک) استفاده می‌شود. آنچه که از تغییرات pH در رنگریزی نخ پشمی خام و اصلاح شده، با ماده رنگزای روناس در شکل ۴ مشخص می‌شود، این است که میزان رمق‌کشی پشم اصلاح شده بیشتر از پشم خام می‌باشد که این را می‌توان به حضور گروه‌های متعدد هیدروکسیل و آمین در پشم اصلاح شده و افزایش امکان تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین ترکیب Ch-Cy با مولکول‌های ماده رنگزای روناس نسبت داد. به علاوه میزان رمق‌کشی در رنگریزی پشم خام در شرایط خنثی نسبت به شرایط اسیدی بیشتر می‌باشد که این امر در مورد نخ اصلاح شده نیز صدق می‌کند. به نظر می‌رسد برهم‌کنش بین مولکول‌های ماده رنگزای روناس و



شکل ۵: تأثیر دمای رنگرزی بر رمق‌کشی نخ پشمی رنگرزی شده با ماده رنگزای روناس، غلظت ترکیب ۲:Ch-Cy درصد نسبت به وزن پشم، غلظت ماده رنگزا: ۱۰۰ درصد نسبت به وزن پشم، زمان: ۶۰ دقیقه و pH=۷.



شکل ۶: تأثیر زمان رنگرزی بر میزان رمق‌کشی نخ پشمی رنگرزی شده با ماده رنگزای روناس، غلظت ترکیب ۲:Ch-Cy درصد نسبت به وزن پشم، غلظت ماده رنگزا: ۱۰۰ درصد نسبت به وزن پشم، دما ۱۰۰ °C و pH=۷.

همچنین شیب تقریباً صفر و موازی با محور زمان نمودار رمق‌کشی پشم اصلاح شده نشان می‌دهد که در زمان ۶۰ دقیقه نخ اصلاح شده، اشباع شده و تمایل به جذب ماده رنگزا ندارد. بنابراین می‌توان زمان ۶۰ دقیقه را به عنوان زمان بهینه رنگرزی برای نخ اصلاح شده در نظر گرفت.

با این وجود، در مورد پشم خام مشاهده می‌شود که پس از ۶۰ دقیقه هنوز تمایل به جذب ماده رنگزا دارد و رمق‌کشی با افزایش زمان به صورت جزئی با شیب ملایم افزایش می‌یابد. دلیل افزایش مقدار رمق‌کشی و جذب ماده رنگزا بیشتر و اشباع سریع‌تر نخ پشمی اصلاح شده نسبت به نمونه خام را می‌توان به افزایش مکان‌های رنگ‌پذیر (گروه‌های آمین و هیدروکسیل) و همچنین در دسترس بودن این مکان‌ها در سطح پشم اصلاح شده در مقایسه با پشم خام و در نتیجه افزایش امکان برهم‌کنش این مکان‌ها با مولکول‌های ماده رنگزا نسبت داد.

از این رو می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تعداد گروه‌های عاملی آمین و هیدروکسیل با قابلیت تشکیل پیوند هیدروژنی در سطح پشم موجب می‌شود مقدار رمق‌کشی و ظرفیت جذب ماده رنگزا افزایش یابد و رنگرزی به صورت مطلوب در شرایط خنثی انجام شود. نتایج نشان می‌دهد که با حذف شرایط اسیدی نه تنها در روند انجام فرآیند رنگرزی مشکلی پیش نمی‌آید، بلکه میزان رمق‌کشی و جذب ماده رنگزا نیز افزایش می‌یابد.

۳-۴-۱ اثر دما

افزایش دما در رنگرزی باعث کاهش تجمع ماده رنگزا بر روی الیاف (جلوگیری از نایکناختی در رنگرزی)، تورم و باز شدن لایه‌های بیرونی الیاف و افزایش تحرک مولکول‌های ماده رنگزا می‌شود. نفوذ مولکول‌های ماده رنگزا به داخل لیف تنها زمانی به خوبی انجام می‌شود که دمای رنگرزی به اندازه کافی بالا باشد و الیاف کاملاً متورم شوند. همچنین، افزایش دما تأثیر قابل توجهی در سرعت رنگرزی دارد؛ با این وجود افزایش دمای بیش از حد باعث ایجاد آسیب در ساختار شیمیایی و فیزیکی لیف و حتی ماده رنگزا می‌شود [۲۰]. به طور کلی فرآیند رنگرزی یک فرآیند گرمازا است که این حرارت ناشی از برهم‌کنش بین زنجیرهای پلیمری لیف و ماده رنگزا می‌باشد. در شکل ۵، مقدار رمق‌کشی ماده رنگزا به عنوان تابعی از دمای رنگرزی برای نخ پشمی خام و اصلاح شده نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که میزان رمق‌کشی نمونه‌ها با افزایش دما از ۶۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد یک روند صعودی داشته و بیشترین مقدار رمق‌کشی در دمای ۱۰۰ °C می‌باشد. به همین جهت، مقدار دمای بهینه برای رنگرزی نخ اصلاح شده ۱۰۰ °C در نظر گرفته شد.

۳-۵-۱ اثر زمان

زمان نیز از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در فرآیند رنگرزی است. هرچه زمان رنگرزی افزایش یابد، احتمال برهم‌کنش بین ماده رنگزا و لیف بالاتر می‌رود و مولکول رنگزا زمان بیشتری را برای نفوذ به داخل لیف دارد که این امر موجب افزایش یکنواختی در کالای رنگرزی شده می‌شود، ولی اگر مدت زمان رنگرزی بسیار طولانی شود (خصوصاً در دمای جوش) امکان تخریب لیف و حتی ماده رنگزا وجود دارد و ممکن است ماده رنگزا از سطح لیف جدا شده و به حمام رنگرزی برگردد [۲۲]. شکل ۶ مقدار رمق‌کشی و جذب ماده رنگزا توسط نخ پشمی خام و اصلاح شده را به عنوان تابعی از زمان نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که میزان رمق‌کشی هر دو نمونه با افزایش زمان در محدوده ۶۰-۱۵ دقیقه سریعاً افزایش می‌یابد. مقایسه مقادیر رمق‌کشی برای پشم خام و اصلاح شده در دو زمان رنگرزی ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه نشان می‌دهد، با وجود دو برابر شدن زمان رنگرزی تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان جذب ماده رنگزا توسط نمونه‌ها روی نمی‌دهد.

جدول ۱: شرایط بهینه فرآیند رنگریزی نخ پشمی اصلاح شده با ترکیب Ch-Cy.

عوامل	زمان (min)	دما (°C)	pH	روناس (%owf)	Ch-Cy (%owf)	رمق کشی (%)
پشم خام	۶۰	۱۰۰	۷	۱۰۰	-	۷۴
پشم اصلاح شده	۶۰	۱۰۰	۷	۱۰۰	۲	۸۱

جدول ۲: داده‌های رنگی پشم خام و اصلاح شده رنگریزی شده در شرایط بهینه جدول ۱.

نوع کالا	L*	a*	b*	C*	h°	λ _{max} (nm)	K/S	ΔE
پشم خام	۲۸,۸۳	۲۹,۸۵	۲۰,۳۴	۳۶,۱۲	۳۴,۲۷	۴۷۰	۲۴,۷۸	-
پشم اصلاح شده	۲۷,۵۹	۳۰,۱۹	۲۲,۳۹	۳۷,۵۸	۳۶,۵۶	۴۷۰	۲۶,۷۳	۲,۴۲

جدول ۳: مقادیر ثبات‌های شستشویی، نوری و مالشی.

کالا	ثبات شستشویی			ثبات نوری	ثبات مالشی	
	تغییر رنگ	لکه‌گذاری روی پشم	لکه‌گذاری روی پنبه		خشک	تر
پشم خام	۵	۵	۵	۷-۸	۴	۳-۴
پشم اصلاح شده	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۷-۸	۴	۳-۴

۳-۳- خصوصیات ثباتی کالاهای رنگریزی شده

به طور کلی، ثبات رنگی کالای رنگریزی شده به میزان نفوذ ماده رنگزا به داخل الیاف، نوع مواد کمکی و روش کاربرد آنها و برهم‌کنش‌هایی که ماده رنگزا با مواد کمکی ایجاد می‌کند، بستگی دارد [۲۳]. از بررسی نتایج بدست آمده برای ثبات‌های رنگی از جدول ۳ می‌توان اطمینان حاصل کرد که عمل‌آوری نخ پشمی با ترکیب Ch-Cy روند قابل قبولی را در ثبات‌ها دارد که دلیل آن را می‌توان به پایداری پیوندهای برقرار شده بین گروه‌های آمین فعال موجود در لیف و ماده رنگزا نسبت داد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که اصلاح نخ پشمی با ترکیب Ch-Cy، تأثیر مثبتی را بر روی جذب ماده رنگزا بر روی نخ پشمی داشته است، بدون اینکه اثر منفی بر روی ثبات‌ها بگذارد [۲۴].

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نخ پشمی مورد مصرف در صنعت فرش دستباف با ترکیب Ch-Cy اصلاح گردید و شرایط بهینه فرآیند رنگریزی با ماده رنگزای طبیعی روناس تعیین شد. نتایج نشان داد که شرایط بهینه رنگریزی با استفاده از مقدار ترکیب Ch-Cy ۲ درصد (نسبت به وزن پشم)، ماده رنگزا ۱۰۰ درصد (نسبت به وزن پشم)، pH رنگریزی ۷، دمای رنگریزی ۱۰۰ °C و زمان ۶۰ دقیقه حاصل می‌شود. نخ پشمی اصلاح شده مقدار رمق کشی و جذب ماده رنگزای بالاتری نشان داد که دلیل آن را می‌توان به افزایش تعداد مکان‌های جذب ماده رنگزا و گروه‌های رنگ‌پذیر بیشتر از جمله گروه‌های آمین و هیدروکسیل در

با توجه به مطالب ذکر شده شرایط بهینه رنگریزی نخ پشمی اصلاح شده با ترکیب Ch-Cy را می‌توان به صورت جدول ۱ خلاصه نمود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود می‌توان با انجام اصلاح بر روی نخ پشمی مورد استفاده در فرش دستباف مقدار رمق کشی را به مقدار ۷ درصد بهبود بخشید و جذب ماده رنگزا بر روی کالا را افزایش داد و به عمق‌های رنگی بالاتر دست یافت.

۳-۲- مشخصات رنگی کالاهای رنگریزی شده

ویژگی‌های رنگی هر یک از کالاهای رنگریزی شده بوسیله دستگاه طیف‌سنجی انعکاسی تعیین شد. مقادیر L^* ، a^* ، b^* ، C^* ، h° تعیین شد و مقدار K/S در بیشترین طول موج جذب محاسبه گردید که نتایج در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که در نمونه اصلاح شده با وجود جذب ماده رنگزای بیشتر، مقدار روشنایی (L^*) به میزان جزئی افزایش یافته است. به علاوه، قابلیت رنگریزی کالای اصلاح شده (قدرت رنگی) به مقدار تقریباً ۲ واحد افزایش یافته است که تأیید کننده جذب ماده رنگزا (رمق کشی) بیشتر در کالای اصلاح شده می‌باشد. همچنین مقدار اختلاف رنگ نسبتاً کم و قابل قبول بین پشم خام و اصلاح شده نشان می‌دهد که با اصلاح پشم با ترکیب Ch-Cy شید رنگی کالاهای اصلاح شده تغییر محسوس پیدا نکرده و تقریباً بدون تغییر باقی‌مانده است. به بیان دیگر، اصلاح انجام شده بر روی نخ پشمی تأثیر منفی بر روی شید کالای رنگریزی شده نداشته است. به علاوه، فام رنگی حاصله سرخ آجری بوده و امکان تولید شیدهای عمیق تر بدون افزایش غلظت ماده رنگزا وجود دارد.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد فرش (گرایش مواد اولیه و رنگرزی) با عنوان "اصلاح پشم با ترکیب کیتوسان-سیانوریک کلراید و مطالعه ویژگی‌های رنگرزی آن با رنگزاهای طبیعی" در دانشگاه هنر اسلامی تبریز می‌باشد. بدین وسیله، از تمامی حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه هنر اسلامی تبریز و موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش تهران در طول انجام این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

سطح نخ پشمی نسبت داد. بررسی نتایج ثبات های رنگی نشان داد که عمل کردن نخ پشمی با ترکیب Ch-Cy علاوه بر بهبود ویژگی‌های رنگرزی، تأثیر منفی بر ثبات کالاهای رنگرزی شده نداشته و میزان ثبات‌ها در مقایسه با نخ پشم خام، قابل قبول می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که برای بهبود قابلیت رنگرزی نخ پشم مصرفی در صنعت فرش دستباف با ماده رنگزای طبیعی روناس می‌توان از ترکیب Ch-Cy استفاده نمود و به عمق‌های رنگی بالاتری دست یافت و از هدر رفتن ماده رنگزای روناس جلوگیری نمود.

۵- مراجع

1. M. Mirjalili, K. Nazarpour, L. Karimi, Eco-friendly dyeing of wool using natural dye from weld as co-partner with synthetic dye. *J. Cleaner Prod.* 19(2011), 1045-1051.
2. M. Montazer, M. Parvinzadeh, Effect of ammonia on madder-dyed natural protein fiber. *J. Appl. Polym. Sci.* 93(2004), 2704-2710.
۳. ل. مهرپور، س. صفاپور، م. صادقی‌کیاخوانی، ک. قرنجیگ، بهبود رنگ‌پذیری خامه پشمی مصرفی در فرش دستباف با مشتق زیست‌سازگار کیتوسان: مطالعه خواص رنگرزی و ثبات رنگی با ماده رنگزای طبیعی اسپرک، نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۱۰(۱۳۹۵)، ۹۶-۸۹.
4. A. Zargarkazemi, M. Arami, M. Sadeghi-Kiakhani, S. H. Bahrami, Study of dyeing properties of chitosan-cyanuric chloride treated wool fabrics. *J. Adv. Mater. Novel Coat.* 3(2012), 219-228.
5. M. B. Kasiri, S. Safapour, Natural Dyes and Antimicrobials for Textiles, in: E. Lichtfouse, J. Schwarzbauer, D. Robert, (Eds.), *Green Materials for Energy, Products and Depollution*, 6th Chapter, Springer Science+Business Media, Dordrecht, 2013.
6. M. B. Kasiri, S. Safapour, Natural dyes and antimicrobials for green treatments of textiles. *Environ. Chem. Lett.* 12(2014), 1-13.
7. A. Zargarkazemi, M. Sadeghi-Kiakhani, M. Arami, S. H. Bahrami, Modification of wool fabric using prepared chitosan-cyanuric chloride hybrid. *J. Text. Inst.* 106 (2015), 80-89.
8. N. Arivithamani, S. A. Mary, M. S. Kumar, V. T. Giri Dev, Keratin hydrolysate as an exhausting agent in textile reactive dyeing process. *Clean Technol. Environ. Policy.* 16 (2014), 1207-1215.
9. S. H. Lim, S. M. Hudson, Review of Chitosan and Its derivatives as antimicrobial agents and their uses as textile chemicals. *J. Macromol. Sci.* 43 (2003), 223-269.
10. G. A. F. Roberts, F. A. Wood, A study of the influence of structure on the effectiveness of chitosan as an anti-felting treatment for wool. *J. Biotech.* 89(2001), 297-304.
11. X. Zhao, Z. Z. Qiao, J. X. He, Preparation of Chitosan biguanidine hydrochloride and application in antimicrobial finish of wool fabric. *J. Eng. Fibers Fabr.* 5(2010), 16-24.
12. M. B. Kasiri, S. Safapour, Exploring and Exploiting Plants extracts as the natural dyes/antimicrobials in textiles processing. *Prog. Color Colorants Coat.* 8 (2015), 87-114.
13. R. Muzzarelli, C. Jeuniaux, G. W. Gooday, Chitin in nature and technology, plenum press. New York (1986), pp. 29-35.
14. D. Jovic, M. R. Julia, P. Erra, Application of a chitosan/nonionic surfactant mixture to wool assessed by dyeing with a reactive dye. *JSDC.* 113(1997), 25-31.
15. M. Rinaudo, R. Auzely, C. Vallin, Specific interactions in modified chitosan systems. *Biomacromolecules.* 5(2005), 2396-2407.
16. N. Onar, M. Sariisik, Use of enzymes and chitosan biopolymer in wool dyeing. *Fibers Text. East. Eur.* 13 (2005), 54-59.
17. A. Guesmi, N. Ladhari, N. B. Hamadi, M. Msaddek, F. Sakli, First application of chlorophyll-a as biomordant: sonicator dyeing of wool with betanin dye. *J. Clean. Prod.* 39(2013), 97-104.
18. Y. Zhou, J. Zhang, R.-C. Tang, J. Zhang, Simultaneous dyeing and functionalization of silk with three natural yellow dyes. *Ind. Crops Prod.* 64(2014), 224-232.
19. S. H. Hsieh, Z. K. Huang, Z. Z. Huang, Z. S. Tseng, Antimicrobial and ysipical properties of woolen fabrics cured with citric acid and chitosan. *J. Appl. Polym. Sci.* 94(2004), 1999-2007.
20. X. Hou, X. Chen, Y. Cheng, H. Xu, L. Chen, Y. Yang, Dyeing and UV-protection properties of water extracts from orange peel. *J. Clean. Prod.* 52 (2013), 410-419.
21. A. Shaukat, H. Tanveer, N. Rakhshanda, Optimization of alkaline extraction of natural dye from Henna leaves and it's dyeing on cotton by exhaust method. *J. Clean. Prod.* 17(2009), 61-66.
22. A. Moiz, M. A. Ahmed, N. Kausar, K. Ahmed, M. Sohail, Study the effect of metal ion on wool fabric dyeing with tea as natural dye. *J. Saudi Chem. Soc.* 14(2010), 69-76.
23. C. Swami, S. Saini, V. B. Gupta, A study on green dyeing of cotton with ethanolic extract of *sesbania aculeata*. *Universal J. Environ. Res. Technol.* 2 (2012), 38-47.
24. O. Deveoglu, G. Erkan, E. Torgan, R. Karadag, The evaluation of procedures for dyeing silk with buckthorn and Walloon oak on the basis of colour changes and fastness characteristics. *Color. Technol.* 129 (2012), 223-231.