

The Impact of Various Surface Modifications and Chitosan Bio-Mordant on the Dyeing of Wool Yarn with Phycocyanin Microbial Dye

Mohammad Khajeh Mehrizi*, Seyed Ali Daryaei, Zahra Shahi

Department of Textile Engineering, Yazd University, P.O. Code: 8915818411, Yazd, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17-02-2024

Accepted: 28-04-2024

Available online: 17-08-2024

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOI: 10.30509/JCST.2024.82015

Keywords:

Wool yarn

Phycocyanin microbial dye

Chitosan

Plasma under vacuum

UV radiation

Antimicrobial activity

ABSTRACT

Today, with the growing environmental consciousness and focus on eco-friendly processes, natural dyes are attracting considerable attention. This investigation employed Phycocyanin, a microbial dye, to naturally dye wool fibers. Methods such as plasma under vacuum, UV radiation surface modifications, and the use of chitosan bio-mordant were employed to enhance the color properties of wool products. The study assessed surface modifications, washing, light and rubbing fastness, color strength, and antimicrobial properties of the samples. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM) were used to examine the functional groups and morphology of the fibers. Findings revealed that the sample treated with UV radiation and potassium dichromate mordant achieved the highest color strength (8.69). Additionally, all dyed samples exhibited notable antimicrobial effectiveness.

*Corresponding author: * mkhajeh@yazd.ac.ir





تأثیر اصلاحات سطحی مختلف و دندان‌ه زیستی کیتوسان بر رنگ‌رزی نخ پشمی با رنگزای میکروبی فیکوسیانین

محمد خواجه‌مه‌ریزی^{۱*}، سیدعلی دریایی^۲، زهرا شاهی^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، کدپستی: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، کدپستی: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، کدپستی: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

چکیده

امروزه با رشد آگاهی در زمینه محیط‌زیست و تأکید بیشتر بر فرآیندهای پاک، استفاده از رنگ‌های طبیعی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. در این پژوهش رنگزای میکروبی فیکوسیانین به عنوان یک رنگزای طبیعی برای رنگ‌رزی نخ های پشمی استفاده شد. به منظور بهبود خواص رنگی کالای پشمی، از اصلاحات سطحی پلاسمای تحت خلاء، پرتو فرابنفش و همچنین دندان‌ه زیستی کیتوسان استفاده شد. برای بررسی اصلاحات انجام شده، ثبات‌های شستشویی، نوری، مالشی، قدرت رنگی و فعالیت ضد میکروبی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، به منظور بررسی گروه‌های عاملی و ریخت‌شناسی الیاف از طیف‌سنجی فروسرخ (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. نتایج نشان داد، بیشترین قدرت رنگی (۸,۶۹) مربوط به نمونه اصلاح سطحی شده با فرابنفش و دندان‌ه داده شده با دی کرومات پتاسیم است. همچنین، همه نمونه‌های رنگ‌رزی شده فعالیت ضد میکروبی عالی از خود نشان دادند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOI: 10.30509/JCST.2024.82015

واژه‌های کلیدی:

نخ پشمی

رنگزای میکروبی فیکوسیانین

کیتوسان

پلاسمای تحت خلاء

پرتو فرابنفش

فعالیت ضد میکروبی



۱- مقدمه

الیاف پشم به دلیل خواصی مانند جذب آب بالا، رنگ‌پذیری خوب، کشسانی بالا، حجیم بودن، راحتی و مقاومت بالا در برابر آتش قرن‌ها مورد استفاده زیادی قرار گرفته‌اند (۱). رنگ‌زاهای مصنوعی از خلوص و تنوع بالاتری در مقایسه با رنگ‌زاهای طبیعی برخوردارند و فرایند رنگ‌رزی با آنها ساده‌تر است، ولی از معایب آنها وابستگی به منابع نفتی تجدیدناپذیر، سمیت محیط‌زیستی و نگرانی‌های بهداشتی برای سلامتی انسان‌ها می‌باشد. به منظور کاهش مشکلات زیست‌محیطی، جایگزین کردن رنگ‌زاهای طبیعی با رنگ‌زاهای مصنوعی ضروری است (۲، ۳).

فیکوسیانین^۱ یک رنگ‌دانه آبی رنگ است که توسط برخی سیانوباکتری‌ها تولید می‌شوند. رنگ آبی از اسم اسپیرولینا^۲ (جلیک سبز آبی) شناخته شد که اغلب مکمل رژیم غذایی غنی از پروتئین شناخته می‌شود و شامل سیانو باکتری‌های خشک شده است. این رنگ‌دانه یک ضد اکسید کننده و ضد التهاب قدرتمند و طبیعی است که می‌تواند در درمان بیماری‌های عصبی از جمله پارکینسون موثر باشد (۴).

در صنعت نساجی فرآیندهای متعددی جهت اصلاح خواص الیاف قابل انجام است. در روش‌های مرسوم طی این فرآیندها حجم زیادی از مواد شیمیایی، آب و انرژی استفاده می‌شود که موجب افزایش هزینه عملیات و آلودگی زیست‌محیطی می‌شوند. پلاسمای سرد می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های معمول اصلاح سطح منسوجات باشد. این عملیات تکمیلی، بدون تغییر در خواص توده الیاف و پلیمر، خواص سطحی منسوج را بهبود می‌بخشد (۵-۶).

کیتوسان، زیست‌پلیمری کاتیونی است که از فرآیند استیل‌زدایی قلیایی کیتین به دست می‌آید. کیتین از پوسته سخت‌پوستان دریایی نظیر میگو و خرچنگ تهیه می‌شود. امروزه پوشش سطح الیاف با کیتوسان از روش‌های نوین برای بهبود خواص منسوجات می‌باشد. کیتوسان ماده‌ای ضد میکروب، غیرسمی و زیست‌سازگار است. به دلیل ویژگی‌های خاص این ماده، دانشمندان تلاش زیادی برای استفاده از آن بر روی منسوجات انجام داده‌اند (۷-۸).

از روش‌های دیگر اصلاح سطحی، استفاده از تابش امواج فرابنفش است. قرار دادن کالای پشمی در معرض امواج فرابنفش برای مدت کوتاه منجر به اکسیده شدن سطحی الیاف موجود بر روی کالای مورد نظر شده و مقدار گروه‌های SO_3^- بر روی سطح الیاف افزایش می‌یابد. پرتو فرابنفش را می‌توان به عنوان یک روش محدود به سطح مطرح کرد و می‌توان از آن بر روی کالای پشمی به عنوان حذف پرزهای سطحی و بهبود رنگ‌پذیری استفاده کرد.

محمد و همکارانش تحقیقی بر روی اصلاح سطح پارچه پشمی با استفاده از نانوذرات کیتوسان قبل از رنگ‌رزی با رنگ‌زای مستقیم انجام دادند. نتایج نشان داد که انجام اصلاح سطحی با استفاده از نانوذرات کیتوسان با غلظت‌های ۱، ۲، ۳ درصد در رنگ‌رزی، باعث بهبود رمق‌کشی و ثبات شستشویی شده است. همچنین این رنگ‌زاهای مستقیم دارای فعالیت ضد باکتریایی بالایی درمقابل باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی هستند (۹).

رانا و همکارانش به بررسی اصلاح سطحی پارچه پشمی با استفاده از پرتو گاما و کیتوسان پرداختند. کالای اصلاح شده سطحی با رنگ‌زای اسیدی Best Acid Red A2B رنگ‌رزی شد. نتایج نشان داد، نمونه‌های اصلاح سطحی شده دارای قدرت رنگی بالاتری نسبت به نمونه خام می‌باشند. به عنوان مثال نمونه اصلاح سطحی شده با پرتو گاما با شدت 10kGy دارای قدرت رنگی ۱۵ است و نمونه اصلاح سطحی شده با استفاده از کیتوسان با غلظت ۰.۳ درصد دارای قدرت رنگی ۱۴.۴ می‌باشد. در حالی که قدرت رنگی نمونه خام دارای ۱۲.۸ است. همچنین نتایج نشان داد که غلظت کیتوسان و پرتو گاما تا حدی باعث بهینه شدن قدرت رنگی و میزان جذب رنگ‌زا می‌شود و بیشتر از آن باعث کاهش قدرت رنگی و جذب رنگ می‌شود (۱۰).

در تحقیق دیگری توسط شین و همکارانش به بررسی اصلاح سطحی کالای پشمی به وسیله پرتو فرابنفش و سپس رنگ‌رزی آن‌ها به وسیله رنگ‌زای CI Acid Blue 7 در دمای مختلف پرداخته شد. نتایج نشان داده شده توسط FTIR نشان دهنده تغییرات شیمیایی ناشی از اصلاح سطحی با استفاده از پرتو فرابنفش به عنوان اکسیداسیون سطحی سیستمین (پیوندهای دی سولفیدی) بود. از طرفی افزایش دما باعث افزایش سرعت اولیه جذب رنگ شد (۱۱).

در پژوهشی توسط حاجی و همکارانش اصلاح سطحی کیتوسان بر روی پارچه پشمی آماده‌سازی شده با پلاسمای اکسیژن به روش آغشته کردن انجام شد و با استفاده از مواد رنگ‌زای قرمزخانه و گلرنگ و غوزه پنبه رنگ‌رزی انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که اصلاح الیاف پشم با کیتوسان تاثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر جذب هر سه ماده رنگ‌زای مذکور بر روی الیاف پشم دارد (۱۲-۱۴).

در تحقیقی توسط موسوی و همکارانش نشان داده شد که عملیات پلاسمای به مدت ۳ دقیقه و توان ۱۸۰ وات می‌تواند باعث بهبود جذب رنگ قرمز دانه در الیاف پشم بدون استفاده از دندان‌های معدنی شود (۱۵).

صادقی کیاخانی و همکارانش بررسی اصلاح سطحی نخ پشمی رنگ‌رزی شده با قرمزخانه را با استفاده از پرتو فرابنفش را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که پرتو فرابنفش موجب افزایش گروه‌های $-OH$ ، $-NH_2$ ، $-COOH$ بر روی سطح نخ و در نتیجه افزایش میزان جذب رنگ نمونه‌ها می‌شود. از طرفی استفاده از روش فرابنفش می‌تواند یک فرایند رنگ‌رزی بدون اسید و سازگار با

1- Phycocyanin

2- Spirulina

پلاسمای تحت خلا با میزان ۵۰ درصد گاز اکسیژن و ۵۰ درصد گاز آرگون قرار گرفتند.

۴-۲- عملیات فرابنفش

تعدادی نمونه‌های نخ پشمی به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از دو لامپ فرابنفش به مدت ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه در داخل جعبه تاریک قرار گرفتند.

۵-۲- آماده‌سازی کیتوسان

برای تهیه محلول کیتوسان، ابتدا کیتوسان به میزان ۱ (o.w.f) درصد و استیک اسید ۱۰ درصد به میزان ۱ (o.w.f) درصد با میزان اسیدی بودن ۴-۵ و $L:R = 1:20$ به مدت ۳۰ دقیقه داخل دستگاه فراصوت قرار داده شد. سپس نخ پشمی را وارد محلول کرده و دوباره با استفاده از فراصوت به مدت ۲ ساعت در داخل دستگاه قرار داده و به دمای ۵۰ درجه سلسیوس رسانده شد. سپس با استفاده از دستگاه فولارد با برداشت ۱۰۰ درصد نخ را پد کرده و به مدت ۱ ساعت سپس با استفاده از آن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شد.

۶-۲- رنگ‌رزی

برای افزایش میزان جذب رنگزا با استفاده از پیش‌دندان دی کرومات پتاسیم به میزان ۳ o.w.f درصد در محیط اسیدی ($pH = 3$)، در حمامی با $L:R = 1:20$ به مدت ۲۰ دقیقه از دمای ۲۰ به ۱۰۰ °C رسانده و مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ °C عملیات دندان‌دار کردن انجام شد. سپس عملیات رنگ‌رزی بر روی نمونه‌ها انجام گردید. ساختار رنگزای میکروبی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

رنگ‌رزی نمونه‌ها در محیط اسیدی ($pH = 3$) با کمک استیک اسید ۱۰ درصد، به میزان ۲ درصد رنگزا و با $L:R = 1:20$ انجام شد. دمای محلول رنگ‌رزی در مدت زمان ۲۰ دقیقه از دمای ۲۰ به ۱۰۰ °C رسانده شد و به مدت زمان ۶۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ °C رنگ‌رزی انجام شد. شرایط مختلف نمونه‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: شرایط آماده‌سازی نمونه‌ها بوسیله پلاسما.

Table 1: Preparation conditions of samples by plasma.

Sample code	Power (W)	Time (min)	Pressure (torr)
P5MD	150	5	0.044
P15MD	150	15	0.044

محیط‌زیست و نسبتاً آرزان تری (دما و زمان کمتر رنگ‌رزی) را برای کالای پشمی ایجاد کند (۱۶).

حاجی، در مطالعه‌ای از روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی رنگ‌رزی پشم با برگ حنا و بومادران استفاده نمود. برای افزایش میزان رنگ‌پذیری کالای پشمی از پیش تکمیل پلاسما استفاده شد. نتایج نشان داد که قدرت رنگی نمونه‌ها با افزایش قدرت پلاسما (200 W)، دمای رنگ‌رزی (۱۰۰ °C) و غلظت دندان‌ه آلوم (۱۰ درصد) افزایش یافت (۱۷).

در این پژوهش، ابتدا نخ پشمی با استفاده از روش‌های مختلف مانند پلاسمای تحت خلا، پرتو فرابنفش و همچنین ماده کیتوسان به‌عنوان پیش‌دندان‌ه‌زیستی، اصلاح سطحی شد. سپس نمونه‌ها با دندان‌ه دی کرومات سدیم عمل شده و نهایتاً با رنگزای میکروبی فیکوسیانیین، رنگ‌رزی شدند. در این تحقیق، فام سبز در نخ‌های پشمی حاصل شد. در ادامه، خواص رنگی، ثبات‌های رنگی در برابر نور و شستشو و خواص ضد میکروبی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- بخش تجربی

۱-۲- مواد و تجهیزات

در این تحقیق از نخ پشمی تهیه شده از شرکت پشم‌باف استفاده شد. سایر مواد مانند رنگزای میکروبی فیکوسیانیین تهیه شده در آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه یزد، استیک اسید برای تنظیم میزان اسیدی بودن از شرکت قطران شیمی، صابون غیریونی (Actawash اراک) برای شستشو، کیتوسان از شرکت سیگما-آلدریج و دی کرومات پتاسیم از شرکت قطران شیمی استفاده شد. همچنین از دستگاه پلاسمای تحت خلا (plasma DEJ مدل BF60) شرکت بسافن آزما، دستگاه طیف‌سنج انعکاسی (X-rite SP 62) ساخت آمریکا برای اندازه‌گیری مولفه‌های و قدرت رنگی، لامپ فرابنفش ۲۰ W مدل Sylvania آلمان با طول موج ۳۶۸ نانومتر تعبیه شده در کابینت نور و دستگاه FTIR مدل (IRAffinity) شرکت Shimadzu ژاپن، استفاده گردید. ریخت‌شناسی ساختار الیاف پشم خام و الیاف اصلاح سطحی شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل (Philips XL-30) مورد مطالعه قرار گرفت.

۲-۲- شستشوی صابونی

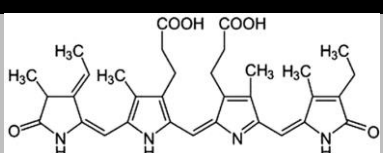
در این تحقیق، برای جدا کردن آلودگی‌های سطحی، نخ پشمی در محلول ۲ گرم برلیتر شوینده غیریونی، در دمای ۶۰ °C به مدت ۳۰ دقیقه شسته شد. سپس پارچه شسته شده در دمای اتاق به طور کامل خشک شد.

۳-۲- عملیات پلاسما

تعدادی از نمونه‌های نخ پشمی مطابق جدول ۱، تحت عملیات

جدول ۲: ساختار شیمیایی و مشخصات رنگ‌زای فیکوسیانین (۴).

Table 2: Chemical structure and characteristics of phycocyanin (4).

Chemical structure	Maximum absorption wavelength (nm)	Molecular weight
	625	30000

جدول ۳: کدگذاری نمونه‌ها.

Table 3: The Code of samples.

Sample code	surface modification			Mordant (Potassium dichromate)	Dyeing
	Plasma (min)	UV (min)	Chitosan		
P5MD	5	-	-		
P15MD	15	-	-		
U30MD	-	30	-		
U60MD	-	60	-		
U120MD	-	120	-		
CD	-	-	-	-	
CMD	-	-	-		
MD	-	-	-		
D	-	-	-	-	
R	-	-	-	-	-

P*: پلازما ، U: ماوراءبنفش ، C: کیتوسان ، M: دندان‌ه ، D: رنگ‌رزی ، R: نمونه خام

درجنت ۵ g/l و کربنات سدیم ۲ g/l در دمای ۶۰ درجه و زمان ۳۰ دقیقه و ۱:۵۰ L:R تحت عملیات شستشو قرار گرفتند. همچنین ثبات نوری نمونه‌ها بعد از ۷۲ ساعت با استفاده از معیار آبی و منبع نوری D65 مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری ثبات نمونه‌ها در برابر مالش از روش استاندارد ملی ایران 204 ISIRI استفاده شد. تعداد مالش ده بار (رفت و برگشت) بود. ثبات در برابر مالش در دو حالت خشک و تر انجام شد و در نهایت با استفاده از معیار خاکستری مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲-۱۰-۱-۱ آزمون ضد میکروبی

فعالیت ضد میکروبی نمونه‌ها با استفاده از روش استاندارد AATCC 1993 100 در مقابل دو باکتری گرم مثبت *S. aureus* و گرم منفی *E. coli* ارزیابی گردید. در ابتدا نمونه‌های مورد نظر جهت ضد عفونی شدن در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. سپس باکتری‌های مورد نظر در ۱۰ میلی‌لیتر نوترینت برات، رشد داده شده و سپس در انکوباتور قرار گرفتند. مرحله بعد، ۱

۲-۷-۱-۱ اندازه‌گیری قدرت رنگی

مقادیر قدرت رنگی نمونه‌ها $\frac{K}{S}$ طبق رابطه کیوبلکا مانک^۱ اندازه‌گیری شد. در این رابطه k ضریب جذب، s ضریب انتشار و R حد اقل انعکاس در طول موج بیشینه جذب (۴۰۰ نانومتر) می‌باشد.

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

۲-۸-۱-۱ طیف‌سنجی FTIR

ساختار شیمیایی رنگ‌زای مورد استفاده و تغییرات در گروه‌های شیمیایی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه FTIR مورد بررسی قرار گرفت.

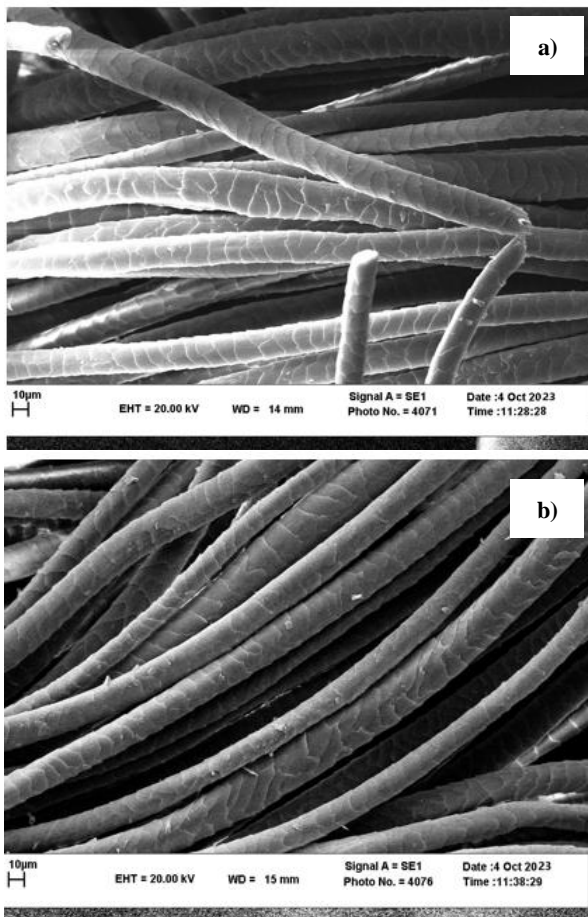
۲-۹-۱-۱ تعیین ثبات‌های رنگی

ثبات شستشویی و ثبات نوری نمونه‌های رنگ‌رزی شده به ترتیب براساس روش‌های استاندارد 2006 ISO 105 C03 و ISO 105 B01 2006 ارزیابی گردید. برای انجام ثبات شستشویی، نمونه‌ها با استفاده از

1- Kubelka-Munk

در آب تولید یون‌های فلزی می‌کنند که بعد از جذب توسط الیاف، با اتم‌های اکسیژن و نیتروژن موجود در ساختار الیاف و ماده رنگزا تشکیل کمپلکس کئوردیناسیون می‌دهند که تشکیل این کمپلکس منجر به بهبود رمق‌کشی می‌شود (۶).

همچنین نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد عدم استفاده از دندانان کرومی در نمونه CD باعث عمق رنگی کم نمونه شده است. به نظر می‌رسد عدم تشکیل پیوندهای محکمی مانند کووالانس، داتیو و هیدروژنی بین کیتوسان و رنگزا و لیف می‌تواند علت این امر باشد. همچنین در اثر اصلاح سطحی پلاسما، گروه‌های هیدروکسیل و کربونیل و رادیکال اکسیژن در سطح افزایش یافته و متعاقباً قدرت رنگی و جذب رنگ افزایش می‌یابد. بر اثر تابش پرتو فرابنفش نیز، رادیکال‌های واکنش‌پذیر بر روی سطح الیاف ایجاد شده و منجر به حذف پرزهای سطحی و افزایش قدرت رنگی می‌شود (۲۱-۲۰). از نتایج به دست آمده در جدول ۴ و شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت کمترین میزان روشنایی مربوط به U120MD و بیشترین میزان مربوط به نمونه CD می‌باشد.



شکل ۱: تصاویر SEM (a) پشم خام (b) پشم عمل شده با پلاسما

Figure 1: SEM images a) Raw wool b) Plasma treated wool

میلی‌لیتر از نوترینت براث انکوبه شده به یک ظرف حاوی نوترینت آگار ضدعفونی شده انتقال داده شد و مجدد داخل انکوباتور قرار گرفتند. مرحله بعد انتقال چند چرخه از محیط کشت باکتری به داخل لوله آزمایش محتوی ۹ میلی‌لیتر نرمال سالین و تنظیم غلظت لوله در جذب ۰,۲-۰,۳ در طول موج ۵۸۰ نانومتر با استفاده از طیف‌سنج انتقالی اسپکترونیک ۷۰۰ بود. سپس ۱ میلی‌لیتر از محلول با غلظت 1000 cfu/ml^2 بر روی نمونه‌ها انتقال داده شد و نمونه‌ها با پنس به ارلن‌های ضدعفونی شده ۲۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده شد و در نهایت به مدت ۲۴ ساعت داخل انکوباتور قرار گرفتند. در مرحله نهایی، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر ضدعفونی شده به ارلن‌ها اضافه شد و به مدت ۱ دقیقه هم زده شد و ۱ میلی‌لیتر از این محلول به پلیت‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر نوترینت آگار ضدعفونی شده انتقال داده شدند و نهایتاً به داخل انکوباتور به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۳۷ درجه انتقال داده شدند. شمارش باکتری‌های زنده توسط دستگاه COLONY COUNTER انجام شد. محاسبه درصد نرخ کاهش باکتری‌ها توسط رابطه ۲ محاسبه شد (۱۸).

$$\text{Reduction rate (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (2)$$

A: تعداد کلونی باکتری روی نمونه عمل نشده

B: تعداد کلونی باکتری روی نمونه عمل شده

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی قدرت رنگی نمونه‌های رنگ‌رزی شده

شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی الیاف پشم خام و عمل‌آوری شده با پلاسما را نشان می‌دهد. عملیات پلاسما می‌تواند لایه آب‌گریز پشم را از بین برده و سطح الیاف را آب‌دوست کند. از طرفی با تخریب فلزهای سطحی و افزایش زبری، موجب نفوذ بیشتر مولکول‌های رنگزا به داخل الیاف می‌شوند (۱۹).

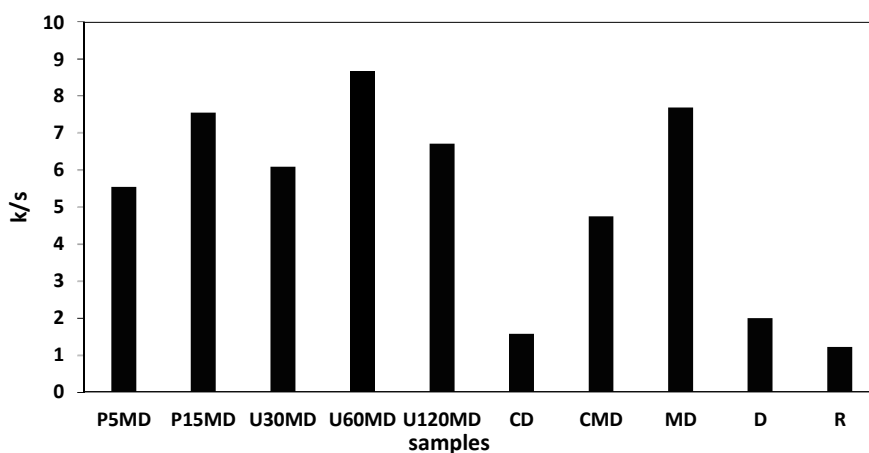
۳-۲- بررسی قدرت رنگی نمونه‌های رنگ‌رزی شده

جدول ۴ مقادیر مؤلفه‌های رنگی و قدرت رنگی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. از نتایج حاصله در جدول ۴ مشاهده می‌شود که بالاترین قدرت رنگی متعلق به نمونه U60MD و کمترین مقدار متعلق به نمونه CD می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که هنگام استفاده از دندانان کرومی، قدرت رنگی نمونه از ۱,۹۹ به ۷,۷ افزایش پیدا کرده است. حضور دندانان باعث ایجاد پیوند کووالانسی و داتیو با لیف شده و در نتیجه، جذب رنگ افزایش محسوسی یافته است. دندانان دادن الیاف پشم با نمک‌های فلزی مختلف، قدیمی‌ترین و ساده‌ترین روش برای بهبود جذب مواد رنگزای طبیعی به الیاف پشم به حساب می‌آید. این نمک‌ها

جدول ۴: مقادیر مولفه‌های رنگی، اختلاف رنگی و قدرت رنگی نمونه‌های رنگ‌ریزی شده.

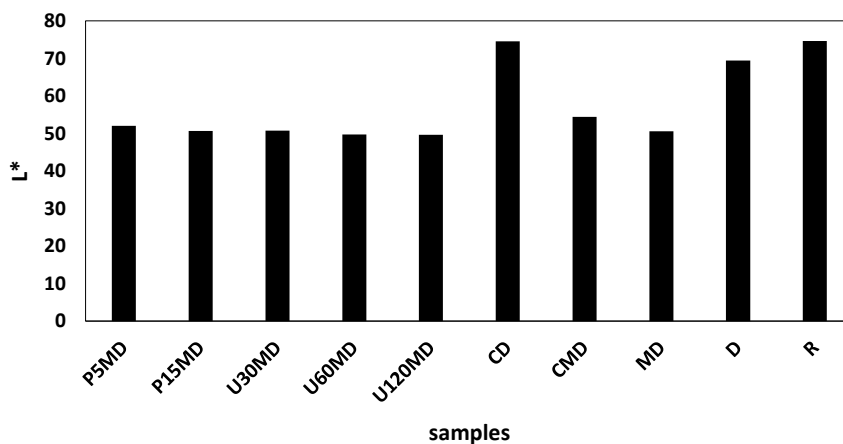
Table 4: Color Values, color difference, and color strength of dyed samples.

Sample code	L*	a*	b*	R%	k/s	ΔE
P5MD	52.06	-1.89	12.84	7.67	5.55	18.89
P15MD	50.69	-2.08	17.32	5.86	7.56	19.37
U30MD	50.75	-2.87	13.3	7.08	6.09	20.18
U60MD	49.75	-1.53	19.25	5.03	8.69	20.13
U120MD	49.62	-1.85	14.52	6.5	6.72	19.82
CD	74.57	1.99	20.31	20.2	1.57	5.36
CMD	54.4	-2.53	13.22	8.76	4.75	16.8
MD	50.55	-1.58	17.81	5.76	7.77	19.37
D	69.47	-2.48	18.73	17.18	1.99	0
R	74.64	0.36	14.29	23.89	1.21	0



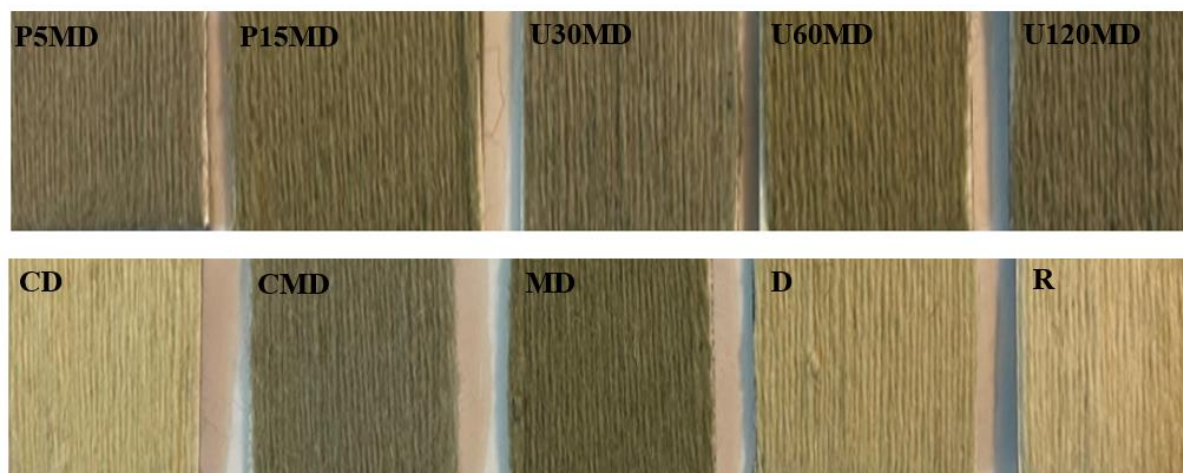
شکل ۲: قدرت رنگی نمونه‌های اصلاح شده.

Figure 2: Color strength of modified samples.



شکل ۳: میزان روشنایی نمونه‌ها.

Figure 3: The brightness of samples.



شکل ۴: نخ‌های رنگ‌رزی شده در این تحقیق.

Figure 4: Yarns dyed in this research.

تا عالی می‌باشند.

نتایج نشان می‌دهد که تقویت برهم‌کنش‌های شیمیایی بین ماده رنگزا و نخ به دلیل حضور دندان‌ه و اصلاحات سطحی انجام شده، تاثیر مستقیمی بر روی خواص ثباتی داشته و آن را بهبود می‌دهد. عملیات پلاسما و تابش پرتو فرابنفش به دلیل ایجاد رادیکال‌ها و گروه‌های فعال بر روی لیف باعث افزایش پیوندهای بین مولکولی بین الیاف و رنگزا شده و منجر به بهبود خواص ثباتی رنگ‌رزی حاصله شده است (شکل ۵).

در شکل ۴ تصاویر نخ‌های رنگ‌رزی شده با رنگزای فیکوسیانین ارائه شده است.

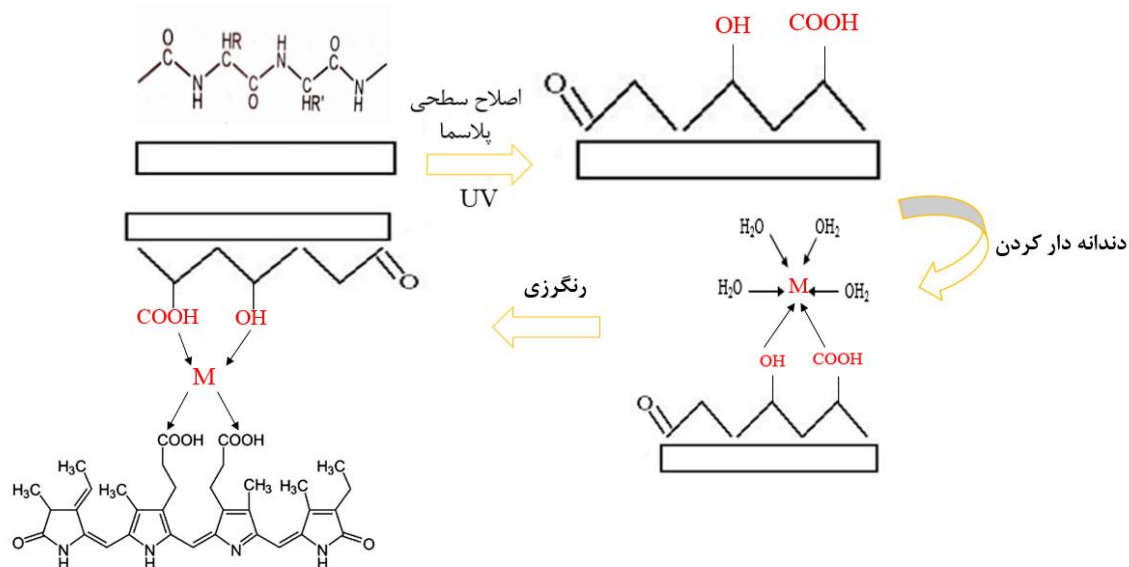
۳-۳- ثبات نوری، شستشویی و مالشی

نتایج به دست آمده در جدول ۵ نشان می‌دهد که ثبات نمونه‌ها از متوسط تا خوب می‌باشد. نمونه‌های اصلاح شده با پرتو فرابنفش و پلاسما به دلیل جذب بیشتر رنگزا در لیف دارای بیشترین ثبات نوری هستند. همچنین، از دیگر نتایج موجود در جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر نمونه‌ها دارای ثبات شستشویی و مالشی بسیار خوب

جدول ۵: نتایج حاصله از ثبات نوری، شستشویی و مالشی نمونه‌ها.

Table 5: The results of light, washing and rubbing samples.

Sample	Washing fastness			Rubbing fastness				Light fastness
	Color change	Staining on the wool	Staining on the Acrylic	Wet		Dry		
				Color change	Staining	Color change	Staining	
P5MD	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5	5	5
P15MD	5	5	5	4	4-5	5	5	5-6
U30MD	5	4-5	4-5	4	4	5	5	5-6
U60MD	5	5	5	4	4-5	5	5	6
U120MD	5	5	5	4-5	4-5	5	5	6
CD	4-5	5	5	4-5	5	5	5	5
CMD	4-5	5	5	4	4-5	4-5	4-5	5
MD	4-5	5	5	4	4-5	5	5	5
D	4	4-5	5	4-5	5	5	5	5



شکل ۵: سازوکار برهم‌کنش نخ اصلاح شده با دندان‌ه و رنگ‌زا.

Figure 5. The interaction mechanism of modified yarn with mordant and dye.

خاصیت رنگ‌زایی، خواص ضد میکروبی نیز دارند. این دسته از رنگ‌زاه‌ا به دلیل جلوگیری از رشد میکروب‌ها در الیاف در حین مصرف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (۲۴). عمل ضد میکروبی پروتئین‌های فیکوسیائین ممکن است توسط یک برهم‌کنش الکترواستاتیک بین مناطق دارای بار مثبت و منفی دیواره سلول یا غشای سلول همراه با یک تعامل آب‌گریز بین مناطق مشابه دو واکنش‌دهنده آغاز شود. حرکت براونی ماکرومولکول‌های پروتئینی متصل به دیواره‌ها و غشای سلول، ممکن است باعث کشش آنها شود و با تولید منافذ بزرگ منجر به از هم پاشیدگی غشا و سلولی، تخلیه محتویات درون سلولی و درنهایت، مرگ آن شود (۲۵). نتایج این تحقیق نشان داد که تمام نمونه‌های اصلاح سطحی شده و رنگ‌ریزی شده با رنگ‌زای فیکوسیائین دارای درصد فعالیت ضد باکتری بالایی در برابر باکتری‌های گرم مثبت *S. aureus* و گرم منفی *E. coli* هستند (جدول ۷).

۳-۴- طیف‌سنجی فروسرخ

تابش پرتو فرابنفش مقدار گروه‌های OH, COOH و NH₂ را بر روی الیاف پشم افزایش می‌دهد (۲۲). الگوی کلی طیف‌های FTIR برای هر سه نمونه شکل ۶ مشابه بود و تفاوت‌های جزئی نشان داد. افزایش ارتفاع پیک نمونه‌های عمل شده با پلاسما، نشان دهنده افزایش مقدار گروه‌های عاملی در اثر عملیات پلاسما است.

به طور کلی عملیات پلاسما می‌تواند برخی پیوندهای سطحی را بشکند و منجر به تشکیل پیوندهای جدید شود. گروه‌های اکسیژن‌دار ایجاد شده و منجر به افزایش میزان نفوذ آب و رنگ‌زا به لیف می‌شوند (۲۳). مقایسه عدد موجی بعضی از گروه‌های عاملی مهم در نمونه‌ها در جدول ۶، ارائه شده است.

۳-۵- آزمون ضد میکروبی

بسیاری از مواد طبیعی که به عنوان رنگ‌زا استفاده می‌شوند علاوه بر

جدول ۶: نتایج حاصله از طیف‌سنجی فروسرخ.

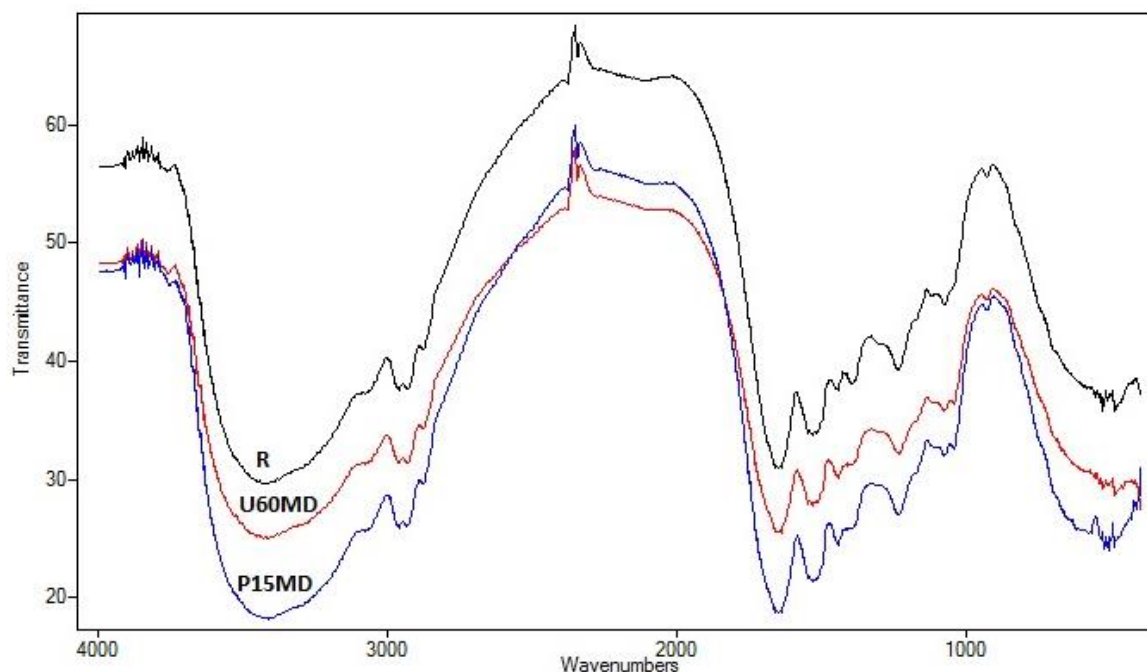
Table 6: The results of FTIR.

Functional group	R	P15MD	U60MD
OH کششی	3429	3425	3429
CH ₃ کششی	2927	2931	2927
C=O کششی	1647	1639	1639
C=C کششی اروماتیک	1527	1527	1535
C-O-H کششی	1076	1075	1076

جدول ۷: نتایج حاصله از تست ضد میکروبی.

Table 7: The results of antimicrobial test.

Sample code	Microorganism	Antibacterial activity (%)
U60MD	Staphylococcus aureus	99.99
	Escherichia coli	99.97
CMD	Staphylococcus aureus	99.99
	Escherichia coli	99.98
MD	staphylococcus aureus	99.99
	Escherichia coli	99.97
D	staphylococcus aureus	99.99
	Escherichia coli	99.96



شکل ۶: طیف‌سنج فرورسرخ نمونه‌ها.

Figure 6: FTIR spectrum of samples.

ارزیابی قرار گرفت. اصلاحات سطحی از جمله پلاسمای تحت خلا، پرتو فرابنفش و دندان‌ه زیستی کیتوسان نیز مورد استفاده قرار گرفت. بالاترین قدرت رنگی در نمونه U60MD و کمترین مقدار در نمونه CD مشاهده شد. نتایج نشان داد که هنگام استفاده از دندان‌ه کرومی، قدرت رنگی نمونه‌ها افزایش پیدا کرده است. همچنین نتایج ثبات حاکی از آن است که بیشتر نمونه‌ها دارای ثبات نوری متوسط تا خوب و ثبات شستشویی خیلی خوب تا عالی می‌باشند. پیوندهای

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از مواد رنگزای طبیعی می‌تواند اثر مهمی در کاهش اثرات زیست‌محیطی حضور مواد رنگزای مصنوعی داشته باشد. اما اغلب مواد رنگزای طبیعی دارای قدرت رنگی پایینی هستند و برای حل این مشکل می‌توان از روش‌های مختلف اصلاح سطحی و یا دندان‌ه استفاده کرد. در این تحقیق ویژگی‌های رنگی نخ پشمی رنگ‌ریزی شده با رنگزای میکروبی فیکوسیانین پس از اصلاحات سطحی، مورد

تشکر و قدردانی

از خانم دکتر مریم‌السادات میرباقری، عضو هیات علمی گروه زیست‌شناسی دانشگاه یزد که در تهیه رنگزای میکروبی فیکوسیانیین ما را یاری کردند تقدیر و تشکر می‌شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

شیمیایی قوی مانند هیدروژنی و کووالانسی در حضور دندان‌ه، موجب ایجاد پیوند قوی بین ماده رنگزا و نخ پشمی شده که تاثیر مستقیمی در خواص ثباتی و رنگی دارد. علاوه بر این فعالیت ضد میکروبی نمونه‌ها نشان داد با توجه به اینکه رنگزا، فعالیت ضد میکروبی خوبی دارد استفاده و یا عدم به کارگیری دندان‌ه کروم و کیتوسان، خاصیت ضد میکروبی نمونه‌ها در برابر باکتری‌های *S. aureus* و *E. coli*، تغییری ایجاد نکرده و همگی از خاصیت ضد میکروبی عالی برخوردار می‌باشند.

۵- مراجع

- Montazer M, Parvinzadeh M. Effect of ammonia on madder-dyed natural protein fiber. *J. applied polymer. sci.* 2004; 93(6):2704-10. <https://doi.org/10.1002/app.20880>.
- Tambi S, Mangal A, Singh N, Sheikh J. Cleaner production of dyed and functional polyester using natural dyes vis-a-vis exploration of secondary shades. *Prog. Color Colorants Coat.* 2021; 14(2): 121-128. <https://doi.org/10.30509/PCCC.2021.81700>.
- Hosseinnezhad M, Gharanjig K, Jafari R, Imani H. Green dyeing of woolen yarns with weld and madder natural dyes in the presences of biomordant. *Prog. Color Colorants Coat.* 2021; 14: 35-45. <https://doi.org/10.30509/pccc.2021.81678>
- Etezad SM, Rouhani Sh. Introducing some commonly used pigments produced by microorganisms. *J Stud Color World* . 2023; 13(1): 15-31. <https://doi.org/10.1001.1.22517278.1402.13.1.2.4>. [In Persian].
- Ansari B, Khajeh Mehrizi M, Haji A. Dyeing of oxygen plasma treated wool fibers with *Rhume Ribes L. Flowers*. *J. Color Sci Tech.* 2015; 9: 135-143. <https://doi.org/10.1001.1.17358779.1394.9.2.5.0>. [In Persian].
- Haji A. Methods of improvement of dyeability of wool with natural dyes. *J Stud Color World.* 2021; 11(2): 1-16. <https://doi.org/10.1001.1.22517278.1400.11.2.1.1>. [In Persian].
- Guibal E, Roussy J. Coagulation and flocculation of dye-containing solutions using a biopolymer (Chitosan). *React. Function. Poly.* 2007; 67(1):33-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2006.08.008>.
- Haji A, Qavannia SS, Khosravi Bizhaem F. Salt free neutral dyeing of cotton with anionic dyes using plasma and chitosan treatments. *Ind. Text.* 2016; 67(2):109-113.
- Mohamed FA, Ali N. Surface modification of wool fabrics using chitosan nanoparticles before dyeing with synthesized direct dye and antimicrobial activity evaluation. *Egyptian J. Chem.* 2022; 65(13):317-25. <http://dx.doi.org/10.21608/ejchem.2022.130482.5750>.
- Rana MS, Mamun M, Biswas S, Sourov MR. Surface modification of wool fabric with chitosan and gamma radiation. *Univ J Mech Eng.* 2016; 4(1):130-9. <http://dx.doi.org/10.13189/mst.2017.040101>.
- Xin JH, Zhu R, Hua J, Shen J. Surface modification and low temperature dyeing properties of wool treated by UV radiation. *Coloration Technol.* 2002;118(4):169-73.
- Haji A, Ashraf S, Nasirboroumand M, Lievens C. Environmentally friendly surface treatment of wool fiber with plasma and chitosan for improved coloration with cochineal and safflower natural dyes. *Fibers.polym.* 2020, 21:743-750.
- Haji A, Khajeh Mehrizi M, Sharifzadeh J. Dyeing of wool with aqueous extract of cotton pods improved by plasma treatment and chitosan: Optimization using response surface methodology. *Fibers and Polymers.* 2016, 17:1480-1488.
- Haji A, Khajeh Mehrizi M, Hashemizad S. Plasma and chitosan treatments for improvement of natural dyeing and antibacterial properties of cotton and wool. *Vlakna Text.* 2016;23(3):86-9.
- Mousavi AS, Khatami H, Tabatabaei Hanzaei SM, Mousavi SK. The effect of plasma oxygen on wool dyeing for modifying dyeing fiber surface properties and reducing the environmental effects of wastewater dyeing industry, *Human and Environment.* 2022, 60: 273-281.
- Sadeghi-Kiakhani M, Safapour S, Sabzi F, Tehrani-Bagha A. Effect of ultra violet (UV) irradiation as an environmentally friendly pre-treatment on dyeing characteristic and colorimetric analysis of wool, *Fibers Polym.* 2020; 21(1): 179-187. <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9154-y>.
- Haji A. Natural dyeing of wool with henna and yarrow enhanced by plasma treatment an optimized with response surface methodology. *J Text Institute.* 2019; 111(4): 467-475. <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1642710>.
- Abedi D, Mortazavi SM, Khajeh Mehrizi M, Feiz M. Antimicrobial properties of acrylic fabrics dyed with direct dye and a copper salt, *Text Res J.* 2008; 78(4):311-319 <https://doi.org/10.1177/004051750809048>.
- Haji A. A review on surface modification of wool fibers using plasma technology and its effect on dyeing properties. *J Text Sci Technol.* 2015;5(3):35-43.
- Haji A, Khajeh Mehrizi M, Moradi Z. Improving dyeability of wool fibers with Weld by plasma operation. National Conference on Dyes, Environment and Sustainable Development. Tehran, 2018.
- Millington KR. Comparison of the effects of gamma and ultraviolet radiation on wool keratin. *Color. Technol.* 2000; 116(9): 266-272. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2000.tb00045.x>
- Sadeghi-Kiakhani M, Safapour S, Sabzi F, Tehrani-Bagha AR. Effect of ultra violet (UV) irradiation as an environmentally friendly pre-treatment on dyeing characteristic and colorimetric analysis of wool. *Fiber. Polym.* 2020; 21: 179-187. <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9154-y>.

23. Barani H, Haji A. Analysis of structural transformation in wool fiber resulting from oxygen plasma treatment using vibrational spectroscopy. *J. Mol. Struct.* 2015; 1079: 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2014.09.041>.
24. Nazan C, Ashabil A, Mehtap K. Antimicrobial activities of some natural dyes and dyed wool yarn. *Iran. J. Chem. Eng.* 2017;36(4): 137-144.
25. Zarandi-Miandoab L, Pouryosef F, Razavi SF, Chaparzade N. Phycocyanin, as a cyanobacterial antioxidant: structure, function and applications. *J. Plant Process Function.* 2022;1: 1-21.

How to cite this article:

Khajeh Mehrizi M, Daryaei SA, Shahi Z. The Impact of Various Surface Modifications and Chitosan Bio-Mordant on the Dyeing of Wool Yarn with Phycocyanin Microbial Dye. *J Color Sci Tech.* 2024;18(2):93-104. <https://doi.org/10.30509/JCST.2024.82015>. [In Persian].