

Dyeing of woven cotton-polyester blend fabric using fennel (*Foeniculum vulgare*) as a Natural Dye and Effects of UV and Low-Temperature Plasma Pre-treatments

Abolfazl Zare Mehrjardi*, Maedeh Davari Moghaddam

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 03-11-2024

Accepted: 27-04-2025

Available online: 24-05-2025

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOI: 10.30509/jcst.2025.167411.1244

Keywords:

Cotton-PET blend Fabric

Fennel as Natural dye

Pre-treatment

Plasma

Ultraviolet protection

Color fastness

ABSTRACT

This research used fennel as a natural dye for dyeing the cotton-polyester blend fabric to increase UV protection and antibacterial and antioxidant activity. On the other hand, low-temperature plasma and UV pre-treatments were used to increase the affinity of the dye to the fabric. For this purpose, the raw and pretreated cotton-polyester blend fabrics were dyed with the ethanol extract of fennel leaf by the exhaustion method. The color strength, various color fastness, UV protection, antimicrobial activity, antioxidant activity, hydrophilicity, physical and mechanical properties of dyed samples were evaluated. The pretreated fabric dyed with fennel extract showed a significant increase in the UV protection factor (UPF) with minimal effect on tensile strength.

*Corresponding author: * a.zare@yazd.ac.ir





رنگرزی پارچه مخلوط پنبه / پلی استر با رنگزای طبیعی رازیانه و تأثیر عملیات‌های پیش تکمیل فرابنفش و پلاسمای دمای پایین

ابوالفضل زارع مهرجردی^{۱*}، مانده داوری مقدم^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. کد پستی: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

۲- کارشناسی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. کد پستی: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

چکیده

در این کار تحقیقاتی از رازیانه به عنوان رنگزای طبیعی برای رنگرزی پارچه مخلوط پنبه/ پلی استر به منظور افزایش حفاظت در برابر پرتو فرابنفش و فعالیت ضدباکتری و خواص آنتی اکسیدانی استفاده شد. از طرف دیگر به منظور افزایش تمایل رنگزا به لیف، از پیش تکمیل‌های پلاسمای دمای پایین و پرتو فرابنفش استفاده شد. برای این منظور، پارچه خام و پیش تکمیل شده مخلوط پنبه/ پلی استر توسط عصاره اتانولی برگ رازیانه توسط روش رمق کشی رنگرزی شدند. قدرت رنگی، انواع ثبات‌های رنگی، محافظت در برابر پرتو فرابنفش، فعالیت ضد میکروبی، خواص آنتی اکسیدانی، میزان آب دوستی، خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های رنگرزی شده مورد ارزیابی قرار گرفت. پارچه پیش تکمیل شده رنگرزی شده با عصاره رازیانه، با حداقل تأثیر بر استحکام کششی، افزایش چشمگیری در محافظت در برابر پرتو فرابنفش نشان داد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOI: 10.30509/jcst.2025.167411.1244

واژه‌های کلیدی:

پارچه مخلوط پنبه/ پلی استر

رنگزای طبیعی رازیانه

پیش تکمیل

پلازما

محافظت در برابر پرتو فرابنفش

ثبات رنگی

۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت فناوری و همچنین افزایش تنوع در محصولات نساجی، رضایت‌مندی و ذائقه مصرف‌کنندگان تغییر کرده است. امروزه مصرف‌کنندگان علاوه بر داشتن پوشاک با طراحی جذاب، خواهان ویژگی‌های راحتی و افزایش کارایی آن‌ها می‌باشند. در واقع این دو ویژگی همراه با قابلیت محافظتی، در انتخاب محصول نهایی مورد نظر، نقش مهمی را ایفا می‌کند (۱، ۲). منسوجات، آخرین مانع در محافظت از پوست انسان در برابر مواد و پرتوهای مضر مانند پرتو فرابنفش (UV) نور خورشید، ویروس‌ها و باکتری‌ها هستند (۳). پارچه‌های معمولی، قابلیت حفاظتی پایینی در برابر پرتو فرابنفش و ریزاندامگان دارند ولی می‌توان آنها را با برخی از عملیات تکمیلی اصلاح نمود (۴). در چند سال اخیر، علاقه به تکمیل ضد میکروبی به دلایلی همچون ارتقای سلامت و بهبود سبک زندگی بشر، افزایش آگاهی از تأثیرات مضر ریزاندامگان بر منسوجات، سلامت انسان، ایجاد بو و استفاده بیشتر از مواد الیاف مصنوعی و مخلوط آنها برای تولید محصولات مانند پیراهن، جوراب، بلوز و لباس زیر افزایش یافته است (۵).

تکمیل ضد میکروبی، جدا از هدف جلوگیری از آسیب به خود الیاف نساجی، برای منسوجات در تماس با پوست انسان نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا آنها بستری مناسب برای رشد و توسعه ریزاندامگان هستند. بنابراین، رشد بیش از حد میکروب‌ها می‌تواند باعث بیماری‌های گوناگونی شده و احتمال عفونت پوست را افزایش دهد. علاوه بر این، آغشته‌سازی منسوجات با مواد ضد میکروبی، دوام آن را بهبود می‌بخشد (۵). امروزه این تکمیل در تولیدهای پارچه‌های مورد استفاده در پزشکی و ورزش از اهمیت بالایی برخوردار است (۲).

با تولید انبوه رنگزاهای مصنوعی از سال ۱۸۵۶، استفاده از رنگزاهای طبیعی در صنعت نساجی رو به کاهش نهاد. با این وجود، کاربرد گسترده رنگزاهای مصنوعی در رنگرزی منسوجات باعث آلودگی محیط‌زیست و آسیب‌های نگران‌کننده از اکوسیستم آبی از منابعی همچون منابع پتروشیمی که دارای ترکیبات بالقوه سرطان‌زا و سمی هستند گردید (۶). با توجه به استانداردهای سخت‌گیرانه محیطی که به عنوان پاسخی به واکنش‌های مواد سمی و حساسیت‌زا مرتبط با استفاده از رنگزاهای مصنوعی معرفی شده‌اند، نیاز به یافتن امکانات جدیدی برای استفاده از عصاره‌های گیاهی برای رنگرزی منسوجات وجود دارد (۷، ۸). آنها به دلیل ماهیت سازگار با محیط‌زیست و خواص تازه کشف‌شده مانند فعالیت ضد میکروبی، عملکرد ضدبو، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محافظت در برابر پرتو فرابنفش و غیره، علاقه علمی بیشتری را به توسعه منسوجات جذاب و کاربردی جلب می‌کنند (۹، ۱۰).

نتایج تحقیقات دانشمندان نشان داده است که مواد فعال زیستی موجود در عصاره‌های گیاهی می‌توانند رشد ریزاندامگان را کاهش داده یا از آن جلوگیری کنند در حالی که برای بدن انسان غیرسمی هستند (۱۱، ۱۲). بسیاری از محققین خواص ضدباکتریایی عصاره‌های گیاهی

و همچنین امکان کاربرد آنها برای رنگرزی منسوجات را مورد مطالعه قرار داده‌اند (۱۳-۱۵). نتایج نشان می‌دهند که چندین ماده از گیاهان معطر و دارویی حاوی آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند ترکیبات فلاونوئیدی هستند. ترکیبات فلاونوئیدی عوامل اصلی هستند که می‌توانند هیدروژن را به رادیکال‌های آزاد داده و در نتیجه واکنش زنجیره‌ای اکسایش لیپید را در اولین مرحله شروع بشکنند. این قابلیت بالای ترکیبات فنلی برای از بین بردن رادیکال‌ها را می‌توان با گروه‌های هیدروکسیل فنلی آنها نسبت داد (۱۶).

امروزه در استفاده از رنگزاهای طبیعی با محدودیت‌هایی همچون خواص پایداری ضعیف آن‌ها، میل ترکیبی کم آن‌ها به منسوجات، مشکلات در تکرارپذیری فام‌ها و همچنین عوامل دیگری مانند قیمت تمام‌شده محصولات نساجی مواجه هستیم. از این رو تلاش‌هایی از جمله اصلاح در فرایند استخراج، آماده‌سازی بسترها، فرایند دنداندار کردن و فرایند رنگرزی منسوجات با رنگزاهای طبیعی صورت گرفته است (۱۷). از طرف دیگر اصلاح سطح، روشی موثر برای بهبود عملکرد بدون تغییر ویژگی‌های اصلی الیاف می‌باشد. اصلاح انرژی سطحی الیاف با هدف افزایش آب‌دوستی، ترشوندگی و رنگ‌پذیری و یا ایجاد خواصی جدید مانند دفع آب و روغن، بهبود چسبندگی، عدم جذب گرد و غبار و عملکرد ضد الکتریسیته ساکن است. همچنین، انتخاب اصلاح سطح به کاربرد نهایی محصولات بستگی دارد. اصلاح سطح به دو نوع تقسیم می‌شود: ۱- اصلاح شیمیایی که شامل تغییر در ترکیب الیاف است و ۲- اصلاح فیزیکی که شامل پلاسما، تکمیل گاز آزن، امواج ریزموج، امواج مافوق صوت، تابش گاما و تابش پرتوهای نوترونی و الکترونی است (۱۸، ۱۹).

به دلیل افزایش قوانین زیست‌محیطی مربوط به هالوژن آلی قابل جذب (AOX)، کارهای اخیر بر توسعه تکمیل‌های خشک برای اصلاح سطح پارچه برای دستیابی به قابلیت رنگ‌پذیری خوب و خواص پایداری عالی متمرکز شده است (۲۰-۲۲). در حال حاضر، متداول‌ترین روش‌هایی که برای تغییر فیزیکی پارچه مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل فناوری پلاسما در دمای پایین، تابش گاما، تابش پرتو فرابنفش، تکمیل با ریزموج و فناوری مافوق صوت است که تغییراتی را بدون تأثیر بر عملکرد لیف حاصل می‌کنند. این فرایندها، استفاده از مواد شیمیایی را کاهش داده و به علاوه اصلاح پارچه از نظر مصرف آب و انرژی را سریع‌تر، پاک‌تر و کارآمدتر می‌کنند و ضمناً هیچ آلاینده‌ای ایجاد نمی‌کنند. بنابراین این اصلاحات فیزیکی در صنعت رنگرزی به‌عنوان فرایندهای جایگزین موفق عمل می‌کنند (۲۳-۲۷).

در مقایسه با سایر روش‌ها، تکمیل سطحی پلاسما دارای مزایایی برای تغییر ویژگی‌های عملکردی الیاف است. تکمیل پلاسما در مقایسه با روش‌های سنتی دارای مزایای زیر است:

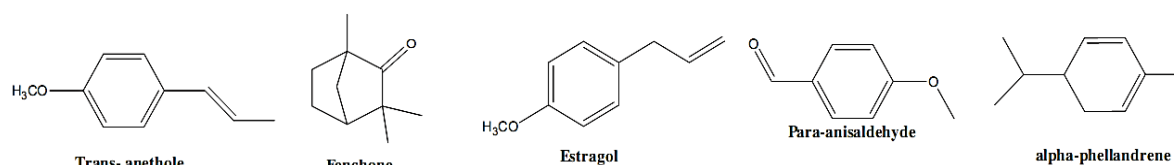
شیمیایی آنها، فعل و انفعالات شیمیایی بین پلی استر، مواد تکمیلی و رنگرها بسیار چالش برانگیز است (۳۹).

در مقایسه با پلی استر ۱۰۰ درصد، اختلاط پنبه/پلی استر دارای مزایای بسیاری از جمله خواص پرزینگی کمتر، الکتریسیته ساکن کمتر، ریسندگی آسان تر، یکنواختی بهتر برای تولید نخ و پارچه هستند (۴۱). از سوی دیگر پنبه یکی از مهم ترین الیاف طبیعی در جهان است و قرن هاست که در سطح جهان به عنوان یک لیف طبیعی پرمصرف شناخته می شود. پنبه یک لیف سلولزی طبیعی با ویژگی های رطوبت پذیری و نفوذپذیری هوای بالاست که آن را به یک منسوج بسیار راحت در کنار پوست تبدیل می کند از این رو از آن در ملحفه تخت خواب، لباس زیر، دستمال، حوله و غیره استفاده می شود (۴۳). مشخص شده است که پنبه راحت ترین ماده ای است که در طبیعت یافت می شود، اما برای بهینه سازی هزینه و سایر متغیرهای کیفی، گاهی اوقات نیاز است که با مواد مصنوعی ترکیب شود (۴۳). در مقایسه با منسوج پنبه ای خالص، ترکیبات پنبه/ پلی استر دارای استحکام پارگی و سایش بالاتر، مقاومت در برابر چروک بیشتر، راحتی بیشتر و ویژگی های مراقبت آسان تر هستند (۴۱).

تکمیل های مختلفی مانند تابش فرابنفش، مافوق صوت و گاما برای بهبود قدرت رنگی و خواص پایداری پارچه رنگ شده انجام شده است (۴۵، ۴۶). مطالعه محدودی بر روی تأثیر استفاده از تابش به عنوان تکمیل به منظور ارزیابی ویژگی های رنگرزی پارچه با استفاده از رنگرهای طبیعی و مصنوعی انجام شده است. اخیراً یک رویکرد جایگزین با استفاده از پرتو فرابنفش برای اصلاح سطح پارچه بدون تغییر در خصوصیات توده ای منسوج مورد استفاده قرار گرفته است (۴۶).

امروزه رازیانه به طور گسترده برای خواص دارویی آن استفاده می شود. امروزه این گیاه برای مصارف صنعتی مانند محصولات آرایشی و بهداشتی و دارویی کشت می شود. رازیانه، فعالیت ضد میکروبی، آنتی اکسیدانی و آنتی کولین استراز را در آزمایشات مختلف در محیط های درون تنی و برون تنی نشان داده است (۴۷، ۱۶). ساختار مولکولی ترکیبات عصاره های رنگرزی اصلی در ساختار مولکولی رازیانه در شکل ۱ نشان داده شده است (۴۸).

1- In vivo
2- In vitro



شکل ۱: ساختارهای مولکولی اصلی حاصل از عصاره رازیانه (۴۸).

Figure 1: The major molecular structures from extract components of fennel (*Foeniculum vulgare*) (48).

۱- یک روش خشک محسوب شده و نسبت به روش های سنتی دارای ایمنی و اطمینان بیشتری است.

۲- از مواد شیمیایی بسیار کمتری استفاده می شود.

۳- می تواند با سرعت زیاد، خواص مواد را تغییر دهد که اصلاح آن با روش های سنتی بسیار دشوار می باشد.

۴- پلاسما از آب و انرژی کمتری استفاده می کند و آسیب بسیار کمی به لیف وارد می کند که این روش را بسیار جذاب می کند (۳۲-۲۸). روش های زیادی برای اصلاح فرایند منسوجات و تصفیه های پساب استفاده می شود، اما استفاده از پرتو فرابنفش برای بهبود خواص سطحی پارچه به ویژه الیاف پنبه، یک کاربرد جایگزین با قابلیت تجاری ارائه می دهد (۳۶-۳۳). پرتو UV می تواند قابلیت رنگرزی و چاپ را بهبود بخشد. اصلاح UV سطح لیف می تواند باعث افزایش تثبیت رنگ، افزایش جذب رنگ و فام های عمیق تر شده و ترشوندگی پارچه ها را بهبود بخشد (۳۹-۳۷). اکسایش پرتو فرابنفش سطح پارچه، منجر به تشکیل کربوکسیل، آلدهید، هیدروکسیل، کربونیل و سایر گروه های فعال می شود که به افزایش میل ترکیبی رنگزا و پارچه کمک می کند و در نتیجه منجر به بهبود رنگرزی با رنگرزی طبیعی می گردد (۵۶). اصلاح پارچه های پشمی با پرتو فرابنفش باعث اکسایش سطح پشم شده و گروه های عاملی بیشتری را بر روی سطح ایجاد می کند که با افزایش در جذب رنگزا و بهبود در تثبیت رنگرها می شود (۴۰).

ترکیب انواع مختلف الیاف، روشی است که به طور گسترده برای افزایش عملکرد و کیفیت زیبایی یک پارچه انجام می شود. نخ های ترکیبی از دو نوع الیاف طبیعی و مصنوعی این ویژگی را دارند که ترکیبی موفقیت آمیز از خواص مناسب هر دو جزء الیاف، مانند راحتی پوشیدن همراه با ویژگی های مراقبت آسان را با هم دیگر داشته باشند. این مزایا همچنین اجازه می دهد تا تنوع بیشتری از محصولات تولید شود و مزیت بازاریابی قوی تری را به همراه داشته باشد (۴۱). مخلوط کردن الیاف، یک روش معمول در صنعت نساجی است. در میان مواد مورد استفاده در صنعت نساجی، پلی استر به عنوان پرمصرف ترین لیف مصنوعی در جهان در نظر گرفته می شود که می تواند در انواع مختلفی از محصولات نساجی مورد استفاده قرار گیرد (۴۲). الیاف پلی استر (پلی اتیلن ترفتالات) به دلیل جذب آب کم، عدم خاصیت غیریونی و بلورینگی بالا، پرمصرف ترین الیاف نساجی مصنوعی به شمار می روند. با این حال، به دلیل ساختار

عصاره گیری شد. محلول آماده شده را از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ عبور داده و سپس با قراردادن آن در محیط آزمایشگاه، خشک شدند. بدین ترتیب محصولی ژل مانند به دست آمد. با اندازه گیری وزنی عصاره به دست آمده، به ازای هر کیلوگرم برگ رازیانه، ۴۶ گرم عصاره حاصل شد. به منظور تنظیم pH محلول های رنگی در ۵، از اسید استیک استفاده شد.

۱-۲- پیش تکمیل های فیزیکی

الف- پیش تکمیل با پلاسما در دمای پایین

پارچه مخلوط پنبه/ پلی استر با پلاسما اکسیژن در دمای پایین، پیش تکمیل شدند. مدت زمان اقامت پارچه ها در دستگاه پلاسما به مدت ۵ دقیقه بود. فرکانس مورد استفاده ۴۰ کیلوهرتز و توان آن نیز ۱۰۰ وات و نرخ جریان نیز ۳ لیتر بر دقیقه است. فشار گاز ورودی نیز ۰.۵ تور می باشد. در این آزمایش از دستگاه پلاسما مدل Plasma DEJ (بسا فن، ایران) و از گاز اکسیژن به عنوان منبع گاز پلاسما استفاده شد.

ب- پیش تکمیل تحت تابش پرتو UV

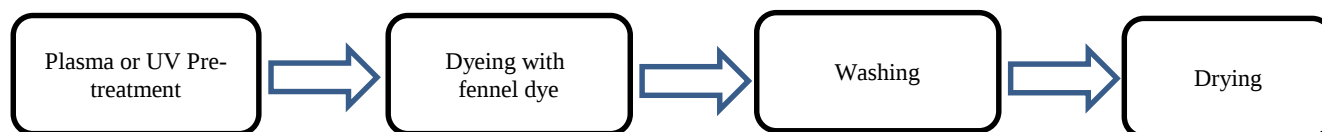
لامپ UV تابش زنون (Xeradex 20W/ L40 / 120 / SB- SX46) و منبع تغذیه ولتاژ بالا (KF50) (DBD 110 V/230 V 50 Hz/60) برای لامپ از شرکت صاب ایران (ایران) تهیه شد. یک محفظه برای نصب لامپ UV استفاده شد. این لامپ نور تقریباً تک رنگ در ناحیه فرابنفش (VUA) ($k = 172$ نانومتر) با قدرت تابش 50 mW/cm^2 ساطع می کند. نمونه های پارچه از طریق نگهدارنده نمونه در معرض تابش لامپ UV قرار گرفت. در آزمایش انجام شده، زمان تابش پرتو فرابنفش در دوره های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ دقیقه انتخاب گردید که زمان بهینه، بسته به تغییر خواص مکانیکی و فیزیکی و همچنین میزان رنگ پذیری، زمان ۱۰ دقیقه انتخاب شد. هر دو روی نمونه پارچه ها با زمان تابش ۱۰ دقیقه در معرض تابش لامپ UV قرار داده شدند. فرایند تهیه نمونه ها مطابق فرایند زیر (شکل ۲) است.

در این پژوهش از رازیانه به عنوان یک رنگرزی طبیعی برای رنگرزی پارچه مخلوط پنبه/ پلی استر به منظور افزایش حفاظت در برابر تابش UV و فعالیت ضدباکتری و همچنین اثرات آنتی اکسیدانی استفاده شده است. به منظور عدم استفاده از دندان ها به منظور افزایش جذب و تثبیت رنگزا، از دو فرآیند سازگار با محیط زیست تابش UV و پلاسما دمای پایین به منظور فرایند پیش تکمیلی بر روی پارچه های مخلوط پنبه/ پلی استر استفاده شد. خواص فیزیکی و مکانیکی همچون خواص آب دوستی، استحکام کششی و از یاد طول در نقطه پارگی، بررسی زیردست، قدرت رنگی (K/S)، انواع ثبات های کالاهای رنگی، محافظت در برابر پرتو UV، خاصیت ضدباکتری و فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه های پیش تکمیل شده و رنگرزی شده مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲- بخش تجربی

از پارچه سفیدگری شده مخلوط پنبه/ پلی استر با بافت ساده ۱،۱ با جرم ویژه ۱۴۵ گرم بر متر مربع استفاده گردید که نخ های تار و پود هر دو دارای ۳۵ درصد پنبه و ۶۵ درصد پلی استر بوده و تراکم نخ تار ۱۲۱ نخ در سانتی متر و پود نیز ۷۲ نخ در هر سانتی متر است. ضخامت پارچه نیز ۰،۴۷ میلی متر می باشد. همچنین از پارچه ۱۰۰ درصد پلی استر با جرم ویژه ۱۲۰ گرم بر متر مربع که تراکم نخ های تار ۳۵ در سانتی متر و پود ۳۰ در هر سانتی متر است استفاده شد. به منظور حذف روغن ریسندگی و ناخالصی ها از پارچه، ابتدا پارچه با صابون غیر یونی در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۳۰ دقیقه با $L:R \ 1:50$ شستشو داده شد. سپس نمونه ها دوبار با آب نرم، آبکشی شدند. پارچه ها در محیط خشک شده و سپس تحت فرایندهای پیش تکمیلی قرار گرفت.

پودر برگ رازیانه نیز از مراکز فروش گیاهان دارویی در شهرستان یزد تهیه شد. به منظور عصاره گیری از برگ گیاه، از حلال اتانول استفاده شد. بدین منظور، ۱۰۰ گرم از برگ خشک شده رازیانه در ۱ لیتر اتانول ۹۹،۸ درصد ریخته و به مدت ۸ ساعت به روش سوکسله



شکل ۲: فرایند تهیه نمونه.

Figure 2: Sample preparation process.

دستگاه ماشین استحکام‌سنج (Universal Testing Machine Micro 350, Shirely) بر طبق استاندارد ASTM-1682-94 به‌دست می‌آید.

۲-۶- خواص ضدباکتری

در این پژوهش، فعالیت ضدباکتری نمونه‌ها بر اساس استاندارد AATCC 100 2004 ارزیابی شد. از میکروب اشرشیا کولای (Coli E.) (Escherichia Coli) به عنوان باکتری گرم منفی و از سویه استافیلوکوکوس آئروس (Staphylococcus aureus) (S. aureus) به‌عنوان باکتری گرم مثبت استفاده شد. بدین منظور، برای ضدعفونی کردن، پارچه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس باکتری‌های مورد اشاره را در ۱۰ میلی‌لیتر نوترینت براث رشد داده و در دستگاه انکوباتور قرار دادند. یک میلی‌لیتر از نوترینت براث انکوبه‌شده را به یک ظرف حاوی نوترینت آگار ضدعفونی‌شده انتقال داده و در داخل انکوباتور قرار داده می‌شوند. به منظور تنظیم غلظت لوله در جذب ۰.۳-۲ در طول موج ۵۸۰ نانومتر، انتقال چندمرحله‌ای از محیط کشت باکتری به داخل لوله آزمایش حاوی ۹ میلی‌لیتر نرمال سالین انجام شد. یک میلی‌لیتر از این محلول با غلظت ۱۰۰۰ cfu/ml² بر روی نمونه‌ها انتقال داده شده و نمونه‌های پارچه‌ای با جرم ۰.۰۲ گرم بریده و به ظروف ضدعفونی منتقل و در نهایت به مدت ۲۴ ساعت داخل انکوباتور قرار داده شدند. یک میلی‌لیتر از این محلول به پلیت‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر نوترینت آگار ضدعفونی‌شده منتقل و به داخل انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. شمارش باکتری‌های زنده توسط دستگاه شمارنده کلونی انجام شد. محاسبه درصد کاهش باکتری‌ها توسط رابطه ۲ به دست می‌آید (۱۷).

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

در این رابطه، A کلونی‌های باکتری شمارش‌شده بر روی پارچه پنبه/پلی‌استر خام و B کلونی‌های باکتری‌های شمارش‌شده بر روی پارچه‌های رنگرزی‌شده حاوی و یا بدون پیش‌تکمیل است.

۲-۷- محافظت در برابر UV

محافظت در برابر UV مواد نساجی تحت عنوان عامل محافظت فرابنفش (UPF) تعریف می‌گردد. مطابق با طبقه‌بندی استاندارد استرالیا/نیوزیلند (AS/NZS 4399,1996) بالاتر بودن مقدار عامل حفاظتی پرتو فرابنفش باعث رده حفاظتی بیشتر می‌شود (۴). از استاندارد AATCC 183-2010 برای تعیین خواص محافظت در برابر پرتو فرابنفش نمونه‌های پارچه خام و رنگ‌شده در محدوده ۲۰۰-۴۰۰ نانومتر از دستگاه طیف‌سنج مدل UV-2000s در فواصل ۵ نانومتر استفاده شد. مقادیر عامل حفاظت فرابنفش برای نمونه با استفاده از نرم‌افزار مربوطه مطابق رابطه ۳ تعیین شد (۵۰).

۲-۲- رنگرزی با رازیانه و مشخصات پارچه‌های رنگرزی‌شده

حمام رنگرزی با غلظت ۱۵ درصد (وزنی/حجمی) عصاره رازیانه با L:R. ۱:۴۰ آماده شد. نمونه‌های خام پارچه‌ها و همچنین نمونه‌های پیش‌تکمیل شده با پلاسما و تابش UV در این حمام به روش رمق‌کشی، رنگرزی شدند. برای هر حمام رنگی، ۱ گرم پارچه، مورد استفاده قرار گرفت. تمام فرایندهای رنگرزی در دمای جوش و به مدت ۴۵ دقیقه انجام شد. در نهایت نمونه‌های رنگی، از حمام خارج شده و با آب مقطر شستشو و در دمای محیط خشک شدند.

۲-۳- آزمایش‌های ترشوندگی

الف- زمان جذب قطره آب

میزان آب‌دوستی نمونه‌ها از این آزمون به‌دست می‌آید. این آزمون براساس استاندارد AATCC 79-2000 انجام می‌گیرد. بدین منظور از یک میکروپیپت استفاده می‌گردد که به صورت عمودی و از فاصله ۱ سانتی‌متری از سطح پارچه قرار گرفته است و قطره آب از روزنه آن به سمت سطح پارچه هدایت می‌گردد.

ب- اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب

بدین منظور از یک دوربین با دقت بالا استفاده می‌گردد و شکل قطره در هنگام افتادن بر روی سطح کاملاً صاف پارچه توسط نرم‌افزار Image محاسبه می‌گردد.

ج- طول جذب فتیله‌ای به صورت عمودی

یک قطعه از پارچه‌های خام و پیش‌تکمیل‌شده به ابعاد ۲۰ در ۳ سانتی‌متر مربع در جهت تار بریده می‌شوند. سپس ۱ سانتی‌متر از این پارچه از جهت طولی درون ظرف آب مقطر و در محیط به مدت ۲ ساعت قرار داده می‌شود و ارتفاع بالارفتن آب ثبت می‌گردد.

۲-۴- اندازه‌گیری طول خمشی و سختی خمشی

طول خمشی می‌تواند به عنوان معیاری از راحتی منسوج محسوب گردد. طول خمشی پارچه توسط دستگاه طول خمشی شرلی (Shirley fabric stiffness tester, England) به‌دست می‌آید. سختی خمشی پارچه از رابطه ۱ به‌دست می‌آید (۴۹).

$$G = M \times C^3 \quad (1)$$

که در این رابطه، G سختی خمشی (mg.cm)، M جرم برحسب میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع پارچه و C طول خمشی برحسب سانتی‌متر است.

۲-۵- اندازه‌گیری استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی

استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی پارچه با استفاده از

۹-۲- سنجش پلی فنلی و فلاونوئید کلی

عصاره آبی میوه رازیانه سرشار از ترکیبات فنلی است. بسیاری از آنها دارای فعالیت آنتی اکسیدانی و خواص محافظتی کبدی هستند. ترکیبات فنلی موجود در *F.vulgare* با پیشگیری از بیماری های احتمالاً ناشی از استرس اکسید شده مانند بیماری های قلبی عروقی، سرطان و التهاب مرتبط هستند (۵۳). مقدار کل پلی فنل ها در عصاره ها با استفاده از معرف فولین-سیکالتیو تعیین شد. مقدار کمی از عصاره (۰,۰۲ میلی لیتر) با ۰,۱ میلی لیتر معرف ۱۰ درصد فولین-سیکالتیو و ۰,۳ میلی لیتر محلول ۷۵ درصد کربنات سدیم مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق انکوبه شد. میزان جذب نمونه ها با دستگاه طیف سنج مرئی-فرابنفش در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه گیری شد. کالبراسیون با گالیک اسید انجام شد و محتوای کل فنل ها معادل گالیک اسید بیان شد (۵۳).

روش تحلیلی برای تعیین فلاونوئیدها بر اساس تشکیل مجموعه ای از فلاونوئیدها و آلومینیم است. ۲ میلی لیتر محلول اتانول ۲ درصد کلرید آلومینیم به ۲ میلی لیتر عصاره مایع اضافه شد. پس از یک ساعت انکوباسیون در دمای اتاق، جذب با استفاده از طیف سنج مرئی-فرابنفش در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه گیری شد. محتوای فلاونوئید به صورت میلی گرم معادل کوئرستین در هر ۱ گرم ماده خام بیان شد (۵۳).

۱۰-۲- اندازه گیری مولفه های رنگی و قدرت رنگی و ثباتها

به منظور مقایسه میزان جذب رنگ توسط نمونه های تولیدی، انعکاس نمونه های در بیشینه جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر انعکاسی مدل Hunter Lab تحت منبع نوری استاندارد D65 و مشاهده کننده ۱۰ درجه تحت سیستم رنگی CIE(lab) و در ناحیه نور مرئی (۷۰۰-۴۰۰ نانومتر) اندازه گیری شد. قدرت رنگی نمونه ها با استفاده از رابطه کیوبلکا-مانگ (رابطه ۵) محاسبه می شود (۵۴).

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (5)$$

که در این رابطه، K ضریب جذب، S ضریب انتشار و R فاکتور انعکاس در طول موج بیشینه (۴۲۰ نانومتر) است. همچنین تفاوت رنگی (ΔE) بر اساس رابطه ۶ بدست می آید.

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (6)$$

در رابطه ۶، L^* ، a^* و b^* به ترتیب نشان دهنده میزان روشنایی، قرمزی-سبزی و زردیت-آبی است. همچنین میزان رمق کشی نیز که مقدار ماده رنگی می باشد که در مدت زمان رنگرزی از حمام به داخل لیف نفوذ می کند نیز به دست می آید. از اسپکتروفتومتر

$$UPF = \frac{\int_{290}^{400} E(\lambda) \varepsilon(\lambda) \Delta(\lambda) d\lambda}{\int_{290}^{400} E(\lambda) T(\lambda) \varepsilon(\lambda) \Delta(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

که در آن $E(\lambda)$ اثربخشی نسبی طیفی اریتمال، $\varepsilon(\lambda)$ تابش طیفی UVR خورشیدی اندازه گیری شده ($Wm^{-2} nm^{-1}$)، $T(\lambda)$ انتقال طیفی اندازه گیری شده پارچه، $\Delta(\lambda)$ پهنای باند بر حسب میلی متر و λ طول بر حسب نانومتر است.

۸-۲- اثرات آنتی اکسیدانی به روش مهار رادیکال های آزاد

اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی از طریق غیرفعال کردن رادیکال های آزاد ایجاد شده توسط ماده ۲,۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) و بی رنگ کردن رنگ بنفش تیره این ماده انجام می گیرد (۵۱). بدین منظور برای محاسبه درصد مهار رادیکال های آزاد DPPH از دستورالعمل مورد استفاده در مرجع (۵۱) استفاده شد. از آنجایی که بررسی خواص آنتی اکسیدانی نمونه پارچه ها امکان پذیر نیست به همین دلیل از روش غیرمستقیم استفاده شد. بدین منظور، نمونه های رنگرزی شده پس از خروج از حمام رنگرزی وارد حمام شستشو می شوند. سپس طیف جذبی محلول های شستشو توسط اسپکتروفتومتر عبوری اندازه گیری می شود.

درصد مهار رادیکال های آزاد DPPH با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$I\% = \frac{(A_{blank} - A_{sample})}{A_{blank}} \times 100 \quad (4)$$

که در این رابطه A_{blank} میزان جذب نوری نمونه کنترل است که در اینجا حمام شستشوی حاوی نمونه رنگی بدون پیش تکمیل است. A_{sample} بیان گر جذب نوری محلول رنگرزی نمونه ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر می باشد. پس از آن، غلظتی از محلول های رنگرزی که دارای درصد مهار رادیکالی ۵۰ درصد بوده (IC50) توسط نمودار محاسبه می گردد. قابل ذکر است که هرچه این عدد کوچک تر باشد قدرت آنتی اکسیدانی یا مهار رادیکال های آزاد محلول های شستشو بیشتر و به عبارت دیگر قدرت آنتی اکسیدانی نمونه پارچه های رنگرزی شده کمتر است. در این آزمون از آسکوربیک اسید به عنوان کنترل مثبت استفاده می گردد (۵۲). به منظور بررسی طیف سنجی محلول رنگی مورد استفاده در ناحیه مرئی-فرابنفش از دستگاه طیف سنج مرئی-فرابنفش مدل UV mini-1240 در محدوده طول موج ۷۰۰-۳۵۰ نانومتر استفاده شد. به منظور بررسی طیف FTIR محلول رنگی استخراج شده از دستگاه طیف سنجی فروسرخ تبدیل فوریه مدل Equinox 55 در محدوده عدد موجی ۴۰۰۰-۴۰۰ بر سانتی متر با قدر وضوح ۵ بر سانتی متر استفاده گردید.

بین المللی ISO 105-E04: 2018 «منسوجات - آزمون های ثابت رنگ - قسمت E04: ثابت رنگ در برابر تعریق» انجام شد (۵۵).

۲-۱۱- طراحی آزمایش

به منظور آزمون تأثیر هر یک از متغیرهای تجربی انتخاب شده بر نتایج به دست آمده، از تحلیل رگرسیون و واریانس (ANOVA) استفاده شد. Minitab نسخه ۱۵، برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها استفاده شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آنالیز واریانس با آزمون توکی (Tukey) در $p < 0.05$ انجام شد. همه آزمایش ها در سه تکرار انجام شد و مقادیر به صورت $X \pm SD$ (متوسط) $\pm$ (انحراف استاندارد) سه تکرار گزارش شد.

۳- نتایج و بحث

جدول ۱ اثر پیش تکمیل پلاسما و تابش پرتو UV را بر زمان و زاویه تماس قطره بر روی نمونه ها نشان می دهد. همان طور که در جدول نشان داده شده است، عملیات های پیش تکمیل، منجر به کاهش زاویه تماس قطره می گردد. زاویه تماس برای نمونه خام ۳۲ درجه می باشد در حالی که برای نمونه های پیش تکمیل با پلاسما و تابش UV به ترتیب ۲۳ و ۱۹ درجه است.

هم پیش تکمیل پلاسمای اکسیژن و هم تابش پرتو UV، آب دوستی سطح پارچه را افزایش می دهند که به تغییرات شیمیایی و فیزیکی در سطح الیاف مربوط می شود. نتایج پژوهشگران نشان داده است که این دو پیش تکمیل یعنی اثر پلاسما و تابش UV منجر به شکسته شدن زنجیرهای پلیمری موجود در الیاف پلی استر می گردند که باعث ایجاد گروه های عاملی جدید و آب دوست در سطح الیاف می شوند ولی نوع و میزان گروه های عاملی در هردو پیش تکمیل متفاوت است. در تابش UV گروه های کربوکسیلی جدید شکل می گیرند در حالی که در تکمیل پلاسما هردو گروه های کربونیل و کربوکسیل جدید شکل می گیرند (۴).

نتایج پژوهشگران نشان داده است که عملیات پلاسما منجر به ایجاد ناهمواری بر روی سطح لیف شده که این پدیده منجر به افزایش سطح موثر و افزایش چسبندگی میان مولکول های آب با سطح پارچه می گردد. نتیجه این عملیات، افزایش سریع تر و بیشتر قطره آب بر روی سطح منسوج و در نتیجه افزایش خاصیت فیلتهای پارچه می باشد (۵۶). بررسی آماری نشان می دهد که تفاوت اعداد برای هر سه نمونه معنادار است.

۲-۲- تأثیر پیش تکمیل ها بر روی اندازه گیری طول خمش و

سختی خمشی

طول خمش، ویژگی یک ماده نساجی است که با مقاومت آن در برابر خمش در فرایندها و استفاده بعدی تعیین می شود. این یک ویژگی

فرابنفش/ مرئی به منظور اندازه گیری میزان رمق کشی استفاده می گردد. درصد رمق کشی با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می گردد.

$$E\% = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \quad (7)$$

در این رابطه، C_1 و C_2 به ترتیب غلظت رنگرزی حمام قبل و بعد از فرایند رنگرزی است. این غلظت ها در طول موج بیشینه اندازه گیری شدند (۵۴).

۲-۱۰-۲- اندازه گیری ثابت شست و شویی

از دستگاه ثابت شست و شویی Shirley M228B/C برای تعیین ثابت رنگرزی در برابر عملیات شستشویی استفاده شد. فرایند شستشو به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد همراه با صابون غیریونی به میزان ۵ گرم برلیتر و کربنات سدیم به میزان ۲ گرم بر لیتر انجام گرفت. پس از انجام آزمایش، میزان تغییر رنگ پارچه با معیار خاکستری اندازه گیری شد (۵۵). این آزمایش طبق استاندارد ISO 105-C06:2012 انجام شد.

۲-۱۰-۲- اندازه گیری ثابت نوری

ثبات نوری براساس استاندارد ISO 105-B01 انجام می شود. از دستگاه ثابت نوری Shirley M237 برای تعیین ثابت نوری پارچه های رنگ شده استفاده گردید. برای تعیین ثابت رنگ در برابر نور، نیمی از نمونه رنگ شده را در معرض نور مصنوعی ($D_{65}/10^\circ$) و نیمی از نمونه ها پوشانده می شوند. اختلاف بین دو قسمت نمونه مورد آزمایش که در یک مدت زمان استاندارد ۷۲ ساعت اتفاق می افتد با معیار استاندارد آبی مقایسه شد و به صورت عددی بین ۱ (ثبات نوری ضعیف) و ۸ (ثبات نوری عالی) گزارش شد (۵۵).

۲-۱۰-۲- اندازه گیری ثابت مالشی (خشک - مرطوب)

ثبات مالشی براساس استاندارد ISO 105-X12 انجام شد. برای انجام ثابت مالشی، دو پارچه به ابعاد 150×40 میلی متر مربع برش زده شدند. در هر جفت نمونه، یک پارچه در جهت تار و یک پارچه در جهت پود در دستگاه قرار گرفتند. برای ثابت مالشی مرطوب، پارچه را خیس کرده و در داخل دستگاه (Martindale abrasion tester M235) قرار داده شد. دستگاه عمل مالش را ۱۰ بار رفت و ۱۰ بار برگشت انجام می دهد. میزان لکه گذاری بر روی پارچه سفید پنبه ای با معیار خاکستری سنجیده می شود (۵۵).

۲-۱۰-۴- ثابت در برابر تعریق

آزمون های تعریق پایداری رنگ (اسیدی و قلیایی) طبق استاندارد

1- Gray Scale

2- Blue Scale

طرف دیگر، عملیات‌های پیش‌تکمیل تأثیر چندانی بر روی ازدیاد طول در نقطه پارگی نمونه‌ها نخواهد داشت.

۴-۳- بررسی طیف فروسرخ محلول رنگی

طیف فروسرخ انتقالی فوری عصاره رنگی استخراج‌شده در شکل ۳ نشان داده شده است. قله در عدد موجی 3338 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات خمشی گروه‌های هیدروکسیل الکل، فنل‌ها، اسید کربوکسیلیک‌ها و پیوندهای هیدروژنی و همچنین ارتعاشات کششی N-H در آمین‌های نوع اول و دوم است. قله در عدد موجی 2978 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی C-H آلکان‌ها و قله در عدد موجی 2898 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی C-H آلکان‌ها و آلدهیدها و اسید کربوکسیلیک است. قله در عدد موجی 1650 cm^{-1} مربوط به پیوند دوگانه کربن-کربن آروماتیک و N-H آمین‌های نوع اول و دوم می‌باشد. قله در عدد موجی 1327 cm^{-1} مربوط به C-N آمین‌ها و قله در عدد موجی 1086 cm^{-1} مربوط به C-O است. قله در عدد موجی 1044 cm^{-1} مربوط به C-O الکل‌ها، اترها، اسیدهای کربوکسیلیک و استرها می‌باشد.

مهم از نظر زیباشناختی بوده و میزان افتایش مواد نساجی را نشان می‌دهد. نتایج طول خمش و سختی خمشی در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌گردد با انجام عملیات پیش‌تکمیل پلازما و UV تغییر معناداری در طول خمش و سختی خمشی انجام نمی‌گیرد. این نتیجه بدان معنا است که این دو پیش‌تکمیل بر روی ضخامت و خمش و مقاومت در خمش نخ‌ها تأثیر گذار نیست.

۳-۳- تأثیر پیش‌تکمیل‌های انجام گرفته بر روی استحکام کششی و ازباده طول در نقطه پارگی پارچه

نتایج در جدول ۳ نشان می‌دهد که نمونه‌های فاقد فرایند پیش‌تکمیل، دارای استحکام کششی بالاتری نسبت به نمونه‌های تکمیل‌شده با تابش UV و تکمیل پلازما هستند. کمترین استحکام کششی مربوط به نمونه‌هایی است که تحت تابش UV قرار گرفتند. دلیل این پدیده را می‌توان به تخریب زنجیرهای پلیمری پلی‌استر و پنبه‌ای بر اثر تابش UV نسبت داد. همچنین عملیات پلازما تأثیر بسزایی بر روی استحکام کششی پارچه پنبه/پلی‌استر نداشته است. از

جدول ۱: زاویه تماس، زمان جذب قطره و طول فتیله‌ای نمونه‌ها.

Table 1: Contact angle, drop adsorption time and wicking length of samples.

Wicking length (cm)	droplet adsorption time (s)	Contact angle (°)	Sample name
0.3 ± 5.8	1.16 ± 5.32	2 ± 32	Untreated cotton-PET fabric
0.4 ± 6.3	0.11 ± 1.85	1 ± 23	Per-treated sample
8.5	0.08 ± 2.73	2 ± 19	UV pre-treated sample

جدول ۲: طول خمش و سختی خمشی نمونه خام و نمونه‌های تحت عملیات پیش‌تکمیلی پلازما و تابش UV.

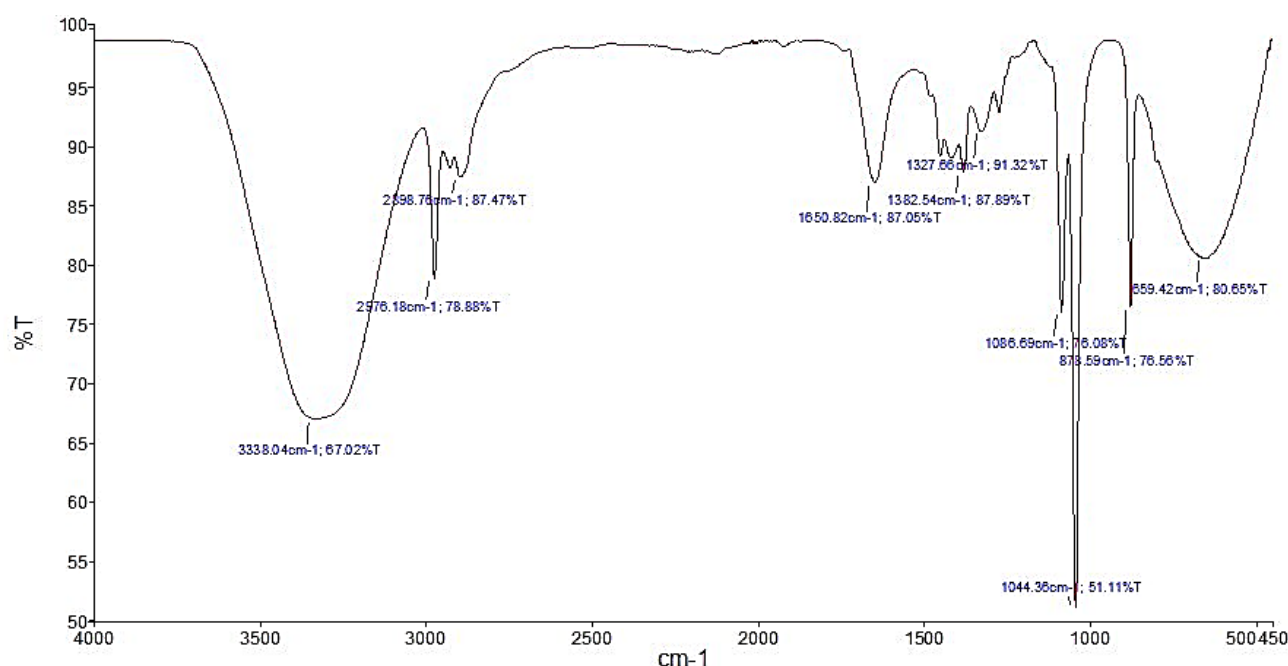
Table 2: Bending length and flexural rigidity of untreated, plasma and UV pre-treatments of samples .

Sample name	Untreated sample	Plasma pre-treated sample	UV pre-treated sample
Bending length (cm)	1.1 ± 0.2	1.2 ± 0.2	1.2 ± 0.2
flexural rigidity (mg. cm)	15.9 ± 2.4	17.3 ± 1.7	17.3 ± 2.0

جدول ۳: تأثیر پیش‌تکمیل بر روی استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در نقطه پارگی.

Figure 3: Effect of pre-treatment on the tensile strength and elongation at break.

Sample name	Untreated sample	Plasma pre-treated sample	UV pre-treated sample
Tensile strength (N/Tex)	21.2 ± 2.3	20.7 ± 1.4	15.1 ± 3.0
Elongation at break (%)	28.8 ± 6.5	25.4 ± 8.1	32.4 ± 5.28



شکل ۳: طیف FTIR عصاره نهایی.

Figure 3: FTIR spectrum of final extract.

تابش UV باشد.

۷-۳- تأثیر پیش تکمیل‌های انجام گرفته بر روی خواص رنگی نمونه‌های رنگی

تابش فرابنفش می‌تواند منجر به ایجاد رادیکال‌های آزاد و اکسایش سطح سطح الیاف و پلیمرها شده ولی تغییری در درجه پلیمرشدن و وزن مولکولی کلی آن‌ها ایجاد نمی‌کند. این تغییرات منجر به افزایش فعالیت سطحی لیف شده که منتج به بهبود ویژگی‌های جذب آب، رنگرزی، چاپ، ضدالکتریسته، قدرت چسبندگی و غیره می‌شود (۵۷). از طرف دیگر، فرایند پلاسما نیز می‌تواند منجر به تغییر در سطح منسوج و لیف شده و گروه‌های عاملی جدیدی را در سطح منسوج و لیف به وجود آورد. از این‌رو مقادیر مولفه‌های رنگی نمونه‌ها قبل و بعد از پلاسما و تابش UV در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد هر دو پیش تکمیل انجام‌شده منجر به میزان جزئی منجر به کاهش روشنایی سطح منسوج می‌گردند. از طرف دیگر این دو پیش تکمیل منجر به افزایش خلوص رنگ نمونه‌ها به میزان کمی شده است. در کل، این دو پیش تکمیل بر روی رنگ نمونه‌ها تأثیر چندانی نداشته است. قابل ذکر است که برای به دست آوردن هر نمونه، ۳ تکرار از نقاط مختلف نمونه‌ها انجام شده و انحراف استاندارد تمامی نمونه‌ها زیر ۸ درصد بوده است.

۵-۳- طیف مرئی - فرابنفش محلول آبکی استخراج‌شده

جزء محلول رنگی عصاره استخراج‌شده رازیانه دارای یک فام زرد تیره است. طیف مرئی - فرابنفش این محلول در محدوده طول موج ۳۵۰-۷۰۰ نانومتر در شکل ۴ نشان داده شده است. قله در طول موج حدود ۴۰۰ نانومتر مربوط به فلاونوئیدها است. این رنگزای زرد موجود در رازیانه از نظر شیمیایی عمدتاً مربوط به حضور گلیسید فلاونول می‌باشد. تحقیقات پیشین نیز موید این مطلب هستند که کامپفرول و کوپرستین در برگ رازیانه به وفور وجود دارند (۴۶). ساختار این دو نوع ماده در شکل ۵ نشان داده شده است.

۶-۳- تجزیه و تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

گسیل میدانی (FESEM)

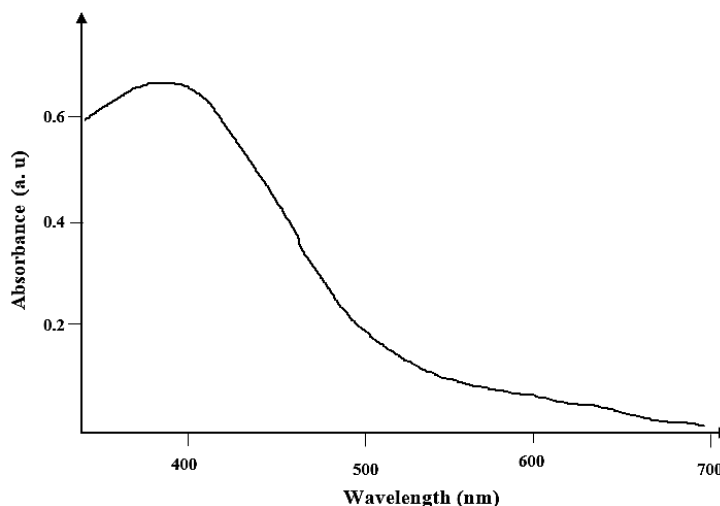
به منظور بررسی ریخت‌شناسی سطح نمونه‌های تهیه‌شده، از دستگاه FESEM مدل VEGA\TESCA از جمهوری چک استفاده شد. بدین منظور نمونه‌ها توسط یک لایه نازک طلا به منظور افزایش رسانایی سطح نمونه‌ها و بهبود تصاویر، پوشیده شدند. تصاویر در شکل ۶ نشان داده شده است.

همان‌طور که در تصاویر نشان داده شده است برای نمونه بدون پیش تکمیل، سطح الیاف صاف می‌باشد ولی برای نمونه‌های پیش تکمیل‌شده مقداری ناهمواری و حکاکی روی سطوح نشان داده شده است که می‌تواند به علت تأثیر سطح الیاف از پلاسما و

جدول ۴: مقادیر مولفه های رنگی پارچه های پنبه/ پلی استر قبل از رنگرزی با عصاره برگ رازیانه بدون و تحت شرایط پیش تکمیل های مختلف.

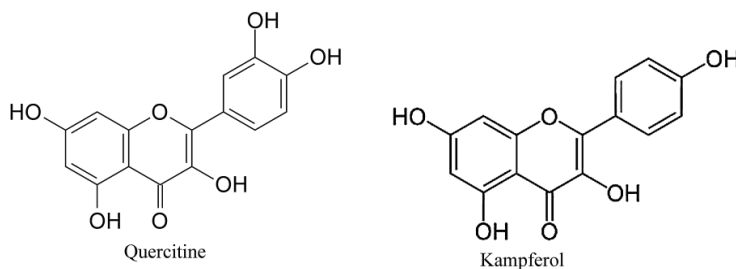
Table 4: Color coordinates of the undyed Cotton-PET Fabrics without and with the various pre-treatment Conditions.

Sample	L*	a*	b*	ΔE
Untreated fabric	89.73	3.17	7.80	-
Pre-treated with plasma	87.54	3.74	7.92	2.19
Pre-treated with UV	87.30	4.08	8.34	2.65



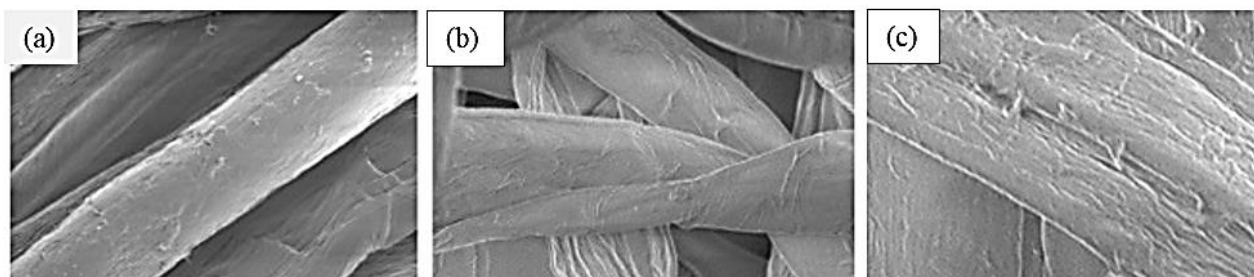
شکل ۴: طیف جذبی محلول استخراج شده از محلول رنگی پودر رازیانه در ناحیه مرئی - فرابنفش.

Figure 4: UV-visible absorbance spectrum of the extracted dye solution from fennel powder.



شکل ۵: ساختار شیمیایی کامپفرول و کویرستین (۴۶).

Figure 5: The chemical structures of quercetin and kaempferol (46).

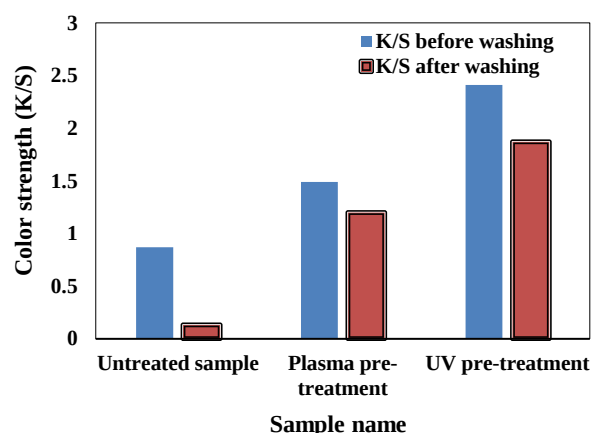


شکل ۶: تصاویر SEM (a) نمونه رنگرزی شده بدون پیش تکمیل، (b) نمونه رنگرزی شده و پیش تکمیل با پلاسما و (c) نمونه رنگرزی شده و پیش تکمیل با UV.

Figure 6: SEM images of the (a) dyed sample without pre-treatment, (b) dyed sample with plasma pre-treatment, and (c) dyed sample with UV pre-treatment.

ساختار پنبه و سلولز و همچنین شرایط رنگرزی بیان شده، جذب جزء سلولزی می‌گردند.

در جدول ۵ درصد انعکاس نمونه‌های رنگی در بیشینه طول موج جذب قبل و بعد از شستشو آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۶ مشخص است تمام نمونه‌ها دارای اختلاف رنگی (ΔE^*) بزرگ‌تر از یک هستند که این بدان معناست که رنگ‌ها به خوبی سطح نمونه‌ها را رنگی نموده است. به علاوه، در مقایسه با نمونه‌های فقط رنگرزی شده، نمونه‌های رنگرزی شده و پیش‌تکمیل شده دارای قدرت رنگی و اختلاف رنگی بالاتری هستند که این نشان‌دهنده میزان جذب بالاتر رنگ‌ها بر روی کالا است. همچنین نمونه‌های پیش‌تکمیل با UV دارای بالاترین قدرت رنگی و اختلاف رنگی نسبت به نمونه خام بدون رنگ هستند که نشان‌دهنده جذب بالاتر رنگ در این نمونه‌ها می‌باشد. قابل ذکر است که برای اختلاف رنگی، انحراف استاندارد زیر ۵ درصد و برای درصد رمق‌کشی زیر ۱۰ درصد بوده است.



شکل ۷: مقایسه قدرت رنگی نمونه‌های تهیه شده قبل و بعد از شستشو.

Figure 7: Comparison of color strength of samples before and after of washing.

نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که عملیات پیش‌تکمیل پلاسما و UV باعث افزایش قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده گردیده است. همچنین عملیات شستشو تأثیر چندانی بر روی تغییر قدرت رنگی نمونه‌ها نداشته است و این بدان معناست که پیوند میان مولکول‌های رنگرزی طبیعی رازیانه با الیاف پنبه و پلی‌استر به میزان کافی قوی بوده است. نتایج نشان می‌دهد که تابش پرتو فرابنفش نه تنها میزان جذب رنگ را افزایش می‌دهد، بلکه توانایی جذب رنگ پارچه‌های پنبه‌ای را از طریق اکسایش الیاف سطحی سلولز افزایش می‌دهد (۵۸). پارچه بدون تابش، شانس قابل توجهی برای جذب ناخالصی‌های نامحلول همراه با رنگ می‌دهد و باعث ایجاد فام‌های زرد تیره می‌شود. پارچه‌ای که تحت تابش قرار گرفته است، قدرت رنگ بالاتری را نسبت به نمونه خام نشان می‌دهد. این امر ممکن است به دلیل اکسید شدن سلولز به کربوکسیلیک اسید در اثر قرار گرفتن سلولز در معرض پرتو UV باشد (۵۹). همچنین عملیات UV، منجر به ایجاد فضاهایی در بین الیاف سلولز می‌گردد که باعث می‌شود رنگ بیشتری را جذب کنند و در نتیجه برهم‌کنش میان مولکول‌های رنگ‌ها و الیاف افزایش یابد. نتیجه این تغییرات، افزایش سرعت جذب مولکول رنگ‌ها بر روی پارچه و در نتیجه نمونه‌های رنگی پیش‌تکمیل با UV دارای فام تیره‌تری هستند. از آنجایی که رنگرزی در دمای جوش انجام می‌گیرد و از طرف دیگر در این دما، پلی‌استر به دلیل قابلیت تبلور بالا و همچنین فشردگی ساختار و آبریز بودنش تمایل چندانی به جذب رنگ‌ها ندارد از این‌رو نمونه پارچه ۱۰۰ درصد تهیه و در شرایط ذکر شده، تحت فرایند رنگرزی قرار گرفتند. نمونه رنگی پس از رنگرزی، شستشو و خشک شدند. قدرت رنگی نمونه قبل و بعد از شستشو اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان می‌دهد که قدرت رنگی نمونه ۱۰۰ درصد پلی‌استر قبل از شستشو از ۰,۴۸ به ۰,۰۷ می‌رسد. این نتایج نشان‌دهنده آن است که در رنگرزی پارچه پنبه/ پلی‌استرهای موجود، بیشتر مولکول‌های رنگ‌ها به دلیل

جدول ۵: درصد انعکاس نمونه‌های رنگی در بیشینه طول موج جذب قبل و بعد از شستشو.

Table 5: The reflection of dyed samples before and after of washing at maximum of wavelength.

Sample %	R(%) before washing	R(%) after washing
Untreated fabric	29	60
Pre-treated with plasma	21	24
Pre-treated with UV	15	18

جدول ۶: اختلاف رنگی و درصد جذب رنگی نمونه‌های خام و پیش‌تکمیل شده با پلاسما و تابش UV.

Table 6: Color difference and dye exhaustion of untreated, plasma and UV pre-treatments of samples.

Sample name	Untreated sample	Plasma pre-treated sample	UV pre-treated sample
Color difference(ΔE^*)	0.45	1.74	2.21
Dye exhaustion(E%)	17	25	34

۸-۳- تأثیر پیش تکمیل های فیزیکی بر روی خواص ضدباکتری

پارچه

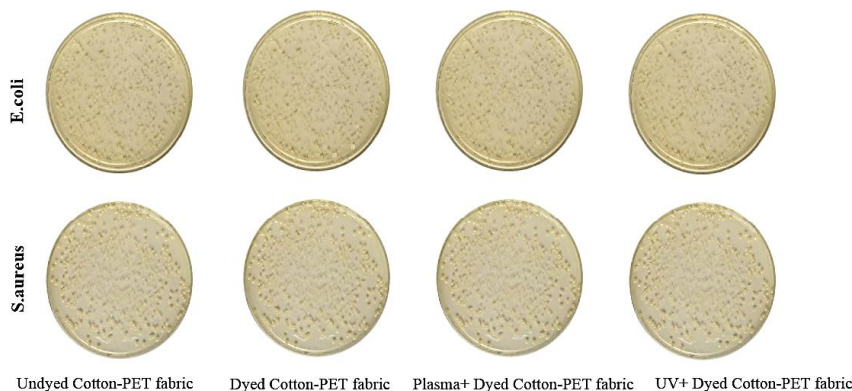
نتایج جدول ۷ نشان می دهد که نمونه پارچه رنگرزی شده پنبه/ پلی استر بدون پیش تکمیل، دارای خاصیت ضدباکتری در برابر دو باکتری مورد استفاده نیست. پیش تکمیل های انجام گرفته توسط پرتو UV و تکمیل پلاسما منجر به افزایش خاصیت ضدباکتری نمونه ها شده است که این می تواند به دلیل افزایش جذب رنگ با عملیات های پیش تکمیل باشد. نتایج موجود در جدول ۷ نشان می دهد که نمونه های رنگی پیش تکمیل نسبت به نمونه رنگی فاقد پیش تکمیل دارای خاصیت ضدباکتری بالاتری در برابر هردو باکتری است. به علاوه، اثر ضدباکتری رنگرزی رازیانه بر روی گرم مثبت استافیلوکوکوس آرنوس بیشتر از باکتری گرم منفی اشرشیا کولای است. علت این امر را می توان به دارا بودن لایه لیپوپلی ساکارید در باکتری های گرم منفی نسبت به باکتری های گرم مثبت نسبت داد که در برابر اثر ذات ضدباکتری عصاره رنگرزی های طبیعی مقاوم تر هستند. فعالیت

ضدباکتریایی رنگرزی رازیانه را می توان به متابولیت های ثانویه آن مانند ترکیبات فنلی و همچنین فلاونوئیدها نسبت داد. نتایج نشان داده است که هر چه میزان ترکیبات فنلی در رازیانه بیشتر باشد خواص ضدباکتری آن ها در برابر باکتری های بیماری زا بیشتر است (۵۸-۵۹). به منظور بررسی پایداری این خاصیت، میزان کاهش باکتری های زنده بعد از ۱۰ بار شستشو بر روی این نمونه ها مجدداً بررسی شدند. نتایج در جدول ۷ نشان داد که شستشو، تأثیر چندانی بر روی خاصیت ضدباکتری نمونه ها نداشته است هر چند به میزان جزئی کاهش پیدا کرده است و این نشان دهنده تثبیت مولکول های رنگرزی موجود بر روی پارچه ها است. در شکل ۸ نیز میزان رشد باکتری های گرم مثبت استافیلوکوکوس و باکتری گرم منفی اشرشیا کولای در محلول آگار بر روی نمونه ها بعد از شستشو مشاهده می شود. همان طور که از تصاویر نیز مشخص است وجود رنگرزی بر روی کالا نتوانسته است تأثیر قابل ملاحظه ای بر روی رشد باکتری ها داشته باشد و هاله عدم رشد تمام نمونه ها تقریباً مشابه است.

جدول ۷: درصد کاهش باکتری برای نمونه های تهیه شده در برابر دو نوع باکتری قبل و بعد از شستشو.

Table 7: The bacterial reduction of samples against E. Coli and S. aureus.

Sample name	The bacterial reduction percentage against the Gram-negative E. Coli bacteria before laundering	The bacterial reduction percentage against the Gram-negative E. Coli bacteria after 10 cycles laundering	The bacterial reduction percentage against the Gram-positive S. aureus bacteria before laundering	The bacterial reduction percentage against the Gram-positive S. aureus bacteria after 10 cycles laundering
Dyed cotton-polyester fabric without pre-treatment	3	2	5	4
Dyed cotton-polyester fabric and pre-treated with plasma	7	7	8	9
Dyed cotton-polyester fabric and pre-treated with UV	9	8	12	10



شکل ۸: فعالیت ضد میکروبی پارچه بدون رنگ، پیش تکمیل شده و رنگی پنبه/ پلی استر در برابر باکتری های ای. کولای و اس. آرنوس.

Figure 8. Antibacterial activity of undyed and dyed cotton-PET fabrics with and without pre-treatment against E. coli and S. aureus.

گرفته است و به عبارتی بیشترین مقدار مولکول‌های رنگزا بر روی پارچه شستشوشده با این محلول می‌باشد که نشان‌دهنده اتصال مناسب آن‌ها به این پارچه و کمترین میزان رهائش آن در محلول بوده است. به عبارت دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که نمونه پیش‌تکمیل‌شده با UV دارای بالاترین ثبات شستشویی و بالاترین میزان جذب مولکول‌های رنگزای رازیانه است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های پیش‌تکمیل‌شده نسبت به نمونه رنگی فاقد پیش‌تکمیل‌شده دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری هستند. قابل ذکر است که رنگزای رازیانه به دلیل داشتن ترکیباتی همچون ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی قابلیت جذب رادیکال‌های آزاد را دارند (۱۶).

۱۱-۳- سنجش میزان فلاونوئیدکل و پلی‌فنل کل عصاره استخراج‌شده

برای اندازه‌گیری فنل‌ها و پلی‌فنل‌های کلی موجود در عصاره نهایی از منحنی کالیبراسیون معادله رگرسیون با گالیک اسید انجام شد و محتوای کل فنل‌ها به‌عنوان یک معادل گالیک اسید بیان شد ($y = 0.887x + 0.02$, $R^2 = 0.951$). برای بیان میزان فلاونوئید کلی از کوئرستین به‌عنوان مرجع استفاده شد (61.62). نتایج به‌عنوان معادل کوئرستین به دست آمده از یک منحنی کالیبراسیون که با رابطه زیر توصیف شده است بیان شد ($y = 28.24x - 0.52$, $R^2 = 0.99$). محتوای فلاونوئید به صورت میلی گرم معادل کوئرستین در هر ۱ گرم ماده خام بیان شد که در جدول ۹ نشان داده شده‌اند.

۱۲-۳- بررسی طیف FTIR نمونه خام و نمونه‌های رنگی پیش‌تکمیل‌شده

شکل ۱۰a طیف FTIR پارچه پنبه/ پلی‌استر رنگرزی‌شده بدون پیش‌تکمیل است. قله در 3334 cm^{-1} مربوط به گروه هیدروکسیل پنبه و گروه هیدروکسیل کربوکسیل، قله در 1740 cm^{-1} مربوط به گروه کربوکسیل پلی‌استر، قله در 1428 cm^{-1} مربوط به CH خمشی درون صفحه و 1029 cm^{-1} مربوط به کششی CO است.

۹-۳- تأثیر پیش‌تکمیل‌های بر روی خواص محافظتی پارچه در برابر تابش UV

نمونه‌های 5×5 سانتی‌متر برش داده شد و اندازه‌گیری‌های انتقال بین ۲۹۰-۴۰۰ نانومتر انجام شد. میانگین (%) مقادیر انتقال UVA (315-400) نانومتر و UVB (290-315) نانومتر در نتیجه محاسبه سه اندازه‌گیری برای هر کدام به‌دست آمد. براساس این استاندارد، نمونه‌هایی با مقادیر حفاظت UV بین ۰ تا ۹ پایین، ۱۰ تا ۱۹ متوسط، نمونه‌های بین ۲۰ تا ۲۹ بالا، نمونه‌های بین ۳۰ تا ۴۹ بسیار زیاد و نمونه‌های با ۵۰ به بالا حداکثر در نظر گرفته می‌شوند (۶۰). نتایج حاصل از مقاومت در برابر پرتو فرابنفش در نواحی A و B در جدول ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است پارچه‌های پنبه/ پلی‌استر خام بدون رنگرزی و پیش‌دندانه فاقد فاکتور محافظتی UV هستند. نمونه‌های رنگرزی‌شده با رنگزای رازیانه و بدون پیش‌تکمیل دارای فاکتور محافظتی UV پایینی است. نمونه پیش‌تکمیل با پلاسما و رنگرزی‌شده و همچنین نمونه پیش‌تکمیل با UV و رنگرزی‌شده دارای مقدار محافظتی بالایی در برابر تابش فرابنفش هستند.

۱۰-۳- تأثیر پیش‌تکمیل‌های بر روی اثرات آنتی‌اکسیدانی

نتایج حاصل از بررسی آزمایش آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH (شکل ۹) نشان می‌دهد که محلول شستشوی نمونه‌های رنگرزی‌شده با رنگزای رازیانه، دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند. بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به محلولی است که فقط حاوی آسکوربیک اسید می‌باشد. محلول‌های شستشو حاوی نمونه‌های رنگی دارای خاصیت مهار رادیکالی هستند. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار IC50 مربوط به محلول شستشویی می‌باشد که نمونه پیش‌تکمیل‌شده با UV در آن قرار گرفته است و این بدان معناست که این محلول دارای کمترین مقدار مهار رادیکال‌های آزاد و به عبارت دیگر کمترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی است. با نگاه دیگر، این نمودار نشان می‌دهد که کمترین میزان مولکول‌های رنگزا در این محلول قرار

جدول ۸: خصوصیات حفاظتی در برابر تابش فرابنفش پارچه‌های پنبه/ پلی‌استر بدون رنگ و رنگی.

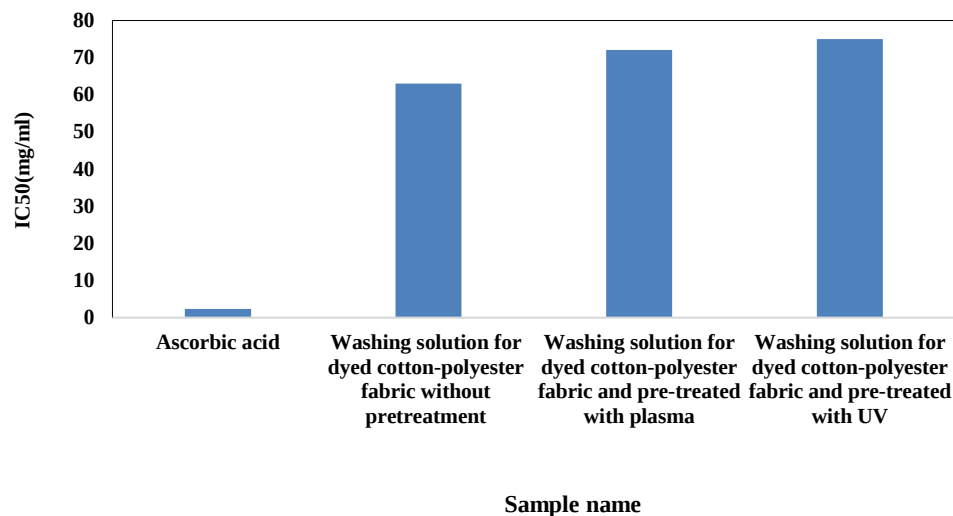
Table 8: UV protection properties of undyed and dyed cotton-PET fabrics.

	T(UVA)	T(UVB)	UPFA	UPFB	UV protection class
Undyed cotton-PET fabric	44.37	-	2	-	Low
Dyed cotton-PET fabric	15.08	7.82	6	2	Low
Plasma+ dyed cotton-PET fabric	6.24	2.75	24	11	Very high
UV+ dyed cotton-PET fabric	7.47	3.42	22	8	Very high

جدول ۹: کل فنول ها و فلاونوئیدهای موجود در رنگرزیهای استخراج شده در حلال اتانول.

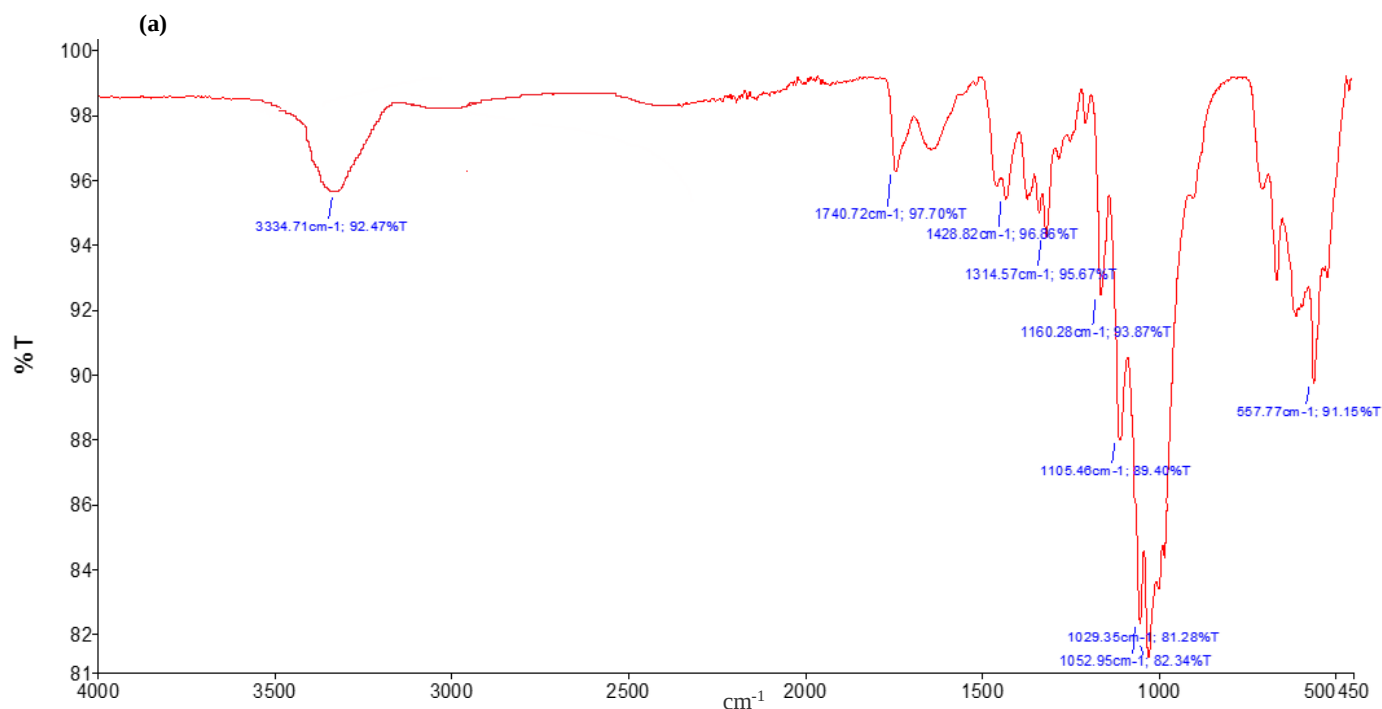
Table 9: Total Phenolics and Flavonoids Present in Dyes Extracted in ethanol Solvent.

Total phenolics	Total flavonoids	amount per 1mg dry matter
0.061	0.419	Weigth(g)



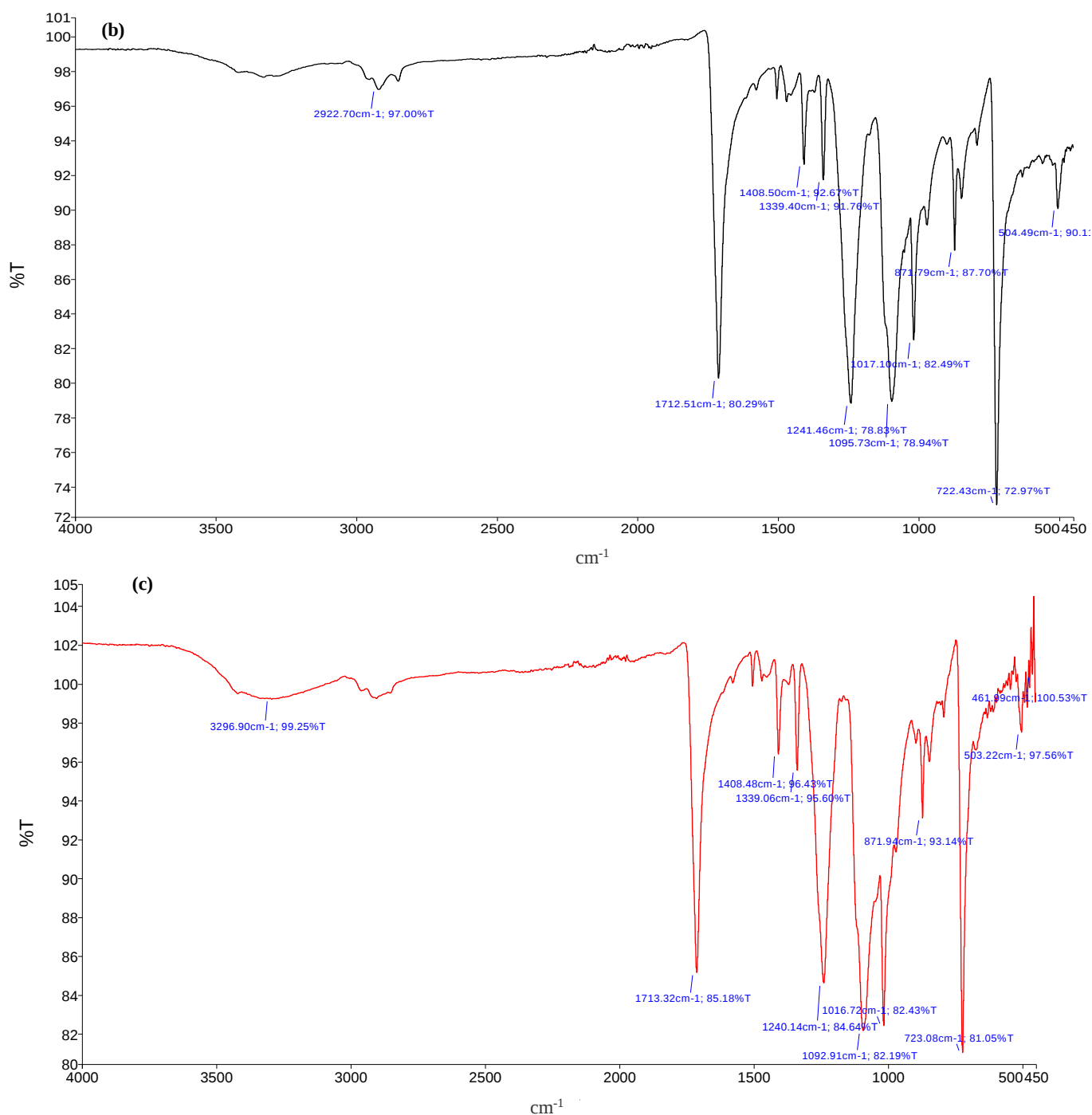
شکل ۹: مقایسه خاصیت آنتی اکسیدانی محلول های شستشوی نمونه های رنگی بدون پیش تکمیل و پیش تکمیل شده در مهار رادیکال های DPPH در مقایسه با آسکوربیک اسید.

Figure 9: Comparison of the antioxidant properties of washing solutions of dyed samples without and with pre-treatment on DPPH radical scavenging compared to ascorbic acid.



شکل ۱۰: (a) طیف FTIR نمونه رنگرزی شده بدون پیش تکمیل، (b) پیش تکمیل با پرتو UV و (c) پیش تکمیل با پلاسما.

Figure 10: (a) FTIR spectra of dyed sample, (a) without pretreatment, (b) pretreatment with UV radiation, and (c) pretreatment with plasma.



شکل ۱۰: ادامه

Figure 10: Continue

افزایش می‌دهند. همان‌طور که در شکل‌های ۱۰ مشاهده می‌گردد تغییراتی در طیف FTIR نمونه‌ها ایجاد نشده است ولی شدت قله‌ها در برخی از نقاط تغییر کرده است. در ۱۰c و ۱۰b شدت پیک در حدود ۳۳۰۰ کاهش یافته است که این می‌تواند به دلیل واکنش گروه‌های هیدروکسیل موجود در رنگزا و گروه‌های عاملی هیدروکسیل موجود بر

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود ترکیبات موجود در رازیانه حاوی گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل، کربونیل، پیوندهای اتری و پیوندهای دوگانه حلقوی کربن-کربن هستند. انجام عملیات پیش‌تکمیل UV و پلاسما منجر به شکل‌گیری گروه‌های عاملی بر روی سطح کالای پنبه/پلی استر می‌شود و از این رو واکنش‌پذیری آن‌ها را

جذب کرده‌اند که دوباره بازتاب نمی‌کنند، زیرا نور انرژی است و وقتی این انرژی دوباره جذب و بازتاب می‌شود، ممکن است به رنگدانه‌ها و رنگرها آسیب برساند. همچنین پایداری نور پارچه رنگرزی شده، تحت تأثیر وضعیت فیزیکی و غلظت رنگزا، مواد شیمیایی، ماهیت الیاف و نوع رنگزا است. نتایج ثبات نوری نمونه‌های رنگرزی شده نشان می‌دهد که برای تمام نمونه‌ها، ثبات نوری مناسب است.

ثبات رنگ برای تعریق یک آزمایش مهم برای پارچه‌ها، به ویژه پارچه‌هایی است که مستقیماً در مجاورت سلول‌های پوست قرار دارند. همان‌طور که در جدول ۱۰ نشان داده شده است محدوده تغییرات ثبات در برابر تعریق در شرایط اسیدی ۱-۲ است در حالی که برای ثبات در برابر تعریق در شرایط قلیایی ۳-۴ را نشان می‌دهد.

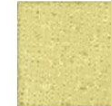
پایداری رنگ در برابر مالش یک آزمون مهم برای اندازه‌گیری ثبات رنگ است زیرا با مالش در حالت مرطوب و خشک، رنگرزی منتقل شده از سطح پارچه رنگی به سطح دیگر را بررسی می‌کند. نتایج ثبات مالشی نمونه‌ها نشان می‌دهد که هر سه نمونه دارای ثبات مالشی ۳ و بالاتر هستند و این بدان معناست که ثبات مالشی این نمونه‌ها متوسط به بالا است. همچنین تصاویر مربوط به نمونه‌هایی که ثبات آن‌ها اندازه‌گیری شده است در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود.

روی سطح کالای پنبه/ پلی استر باشد. از طرف دیگر شدت قله در ناحیه 1740 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی گروه کربونیل، افزایش یافته است که این می‌تواند به دلیل تشکیل این گروه‌های عاملی بر روی سطح الیاف به دلیل تابش پرتو UV و گاز پلاسما باشد. از آنجایی که گروه‌های عاملی موجود بر روی کالای پنبه/ پلی استر مشابه گروه‌های عاملی رنگرزی رازیانه است و همچنین وجود مقدار ناچیز جذب رنگزا بر روی کالای پنبه/ پلی استر تغییرات قابل ملاحظه‌ای در طیف FTIR نمونه‌ها مشاهده نمی‌گردد.

۱۳-۳- انواع ثبات نمونه‌های تهیه‌شده

همان‌طور که در جدول ۱۰ نشان داده شده است نمونه بدون پیش‌تکمیل دارای ثبات شستشویی ضعیف است که می‌تواند به دلیل عدم تثبیت مولکول‌های رنگزا با الیاف مخلوط پنبه/ پلی استر باشد. نمونه‌های پیش‌تکمیل‌شده دارای ثبات شستشویی خوبی هستند که می‌تواند به دلیل افزایش گروه‌های عاملی جدید بر روی سطح پارچه توسط عملیات‌های پیش‌تکمیلی و در نتیجه افزایش برهم‌کنش میان سطح لیف و مولکول‌های رنگزا باشد.

همه مواد رنگی در اثر تابش نور مستعد رنگ‌پریدگی هستند. بالاترین ماندگاری نور نشان می‌دهد که این رنگزا طول موج‌هایی را

Wet Rubbing fastness	Dry Rubbing fastness	Alkaline Perspiration fastness	Acidic Perspiration fastness	Light fastness	Wash fastness	Sample	Sample name
							Untreated dyed cotton-PET fabric
							Plasma pre-treated dyed sample
							UV pre-treated dyed sample

شکل ۱۱: تصاویر مربوط به تغییرات انواع ثبات‌ها.

Figure 11: Images related to changes in types of fastness.

جدول ۱۰: ثبات شستشویی، نوری، ثبات در برابر تعریق و ثبات مالشی نمونه‌های رنگرزی شده.

Table 10: Color Fastness to wash, light, perspiration and rubbing of dyed samples.

Rubbing fastness		Perspiration fastness		Light fastness	Wash fastness	Sample name
Wet	Dry	Alkaline	Acidic			
2-3	3	3	1-2	5-6	1-2	Untreated dyed cotton-PET fabric
3-4	4	3-4	1-2	5-6	3-4	Plasma pre-treated dyed sample
4-5	5	3-4	1-2	5-6	3-4	UV pre-treated dyed sample

محافظت در برابر UV مناسبی هستند. بنابراین عملیات‌های پلاسما و تابش UV می‌تواند برای رنگرزی پارچه‌های خالص پنبه و پلی استر و یا مخلوط آن‌ها با درصد‌های مختلف برای بهبود قدرت رنگی و خواص ثبات رنگی دیگر رنگرزی‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرند. این دو روش تکمیلی به دلیل سازگاری با محیط زیست و همچنین کاهش آلودگی‌های حاصل از پساب‌های رنگرزی، قادرند به طور گسترده در صنایع نساجی مورد استفاده قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله، از دانشگاه یزد جهت حمایت مادی و معنوی در انجام این پژوهش کمال قدردانی و تشکر را دارند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش، رنگرزی پارچه مخلوط پنبه/ پلی استر با رنگرزی طبیعی رازیانه است. به منظور بهبود رنگ پذیری نمونه‌ها، از فناوری پلاسما و تابش پرتو UV به عنوان روش‌های پیش تکمیل استفاده گردید. پس از رنگرزی نمونه‌های پارچه‌ای، خواص نمونه‌های رنگرزی شده و همچنین پیش تکمیل بررسی شدند. نتایج نشان داد که عملیات‌های پیش تکمیل منجر به افزایش جذب رنگرزی می‌گردند (مقدار ۲،۵ و ۵،۷۲ برای نمونه‌های رنگی پیش تکمیل با عملیات پلاسما و UV). همچنین عملیات‌های پیش تکمیل نه تنها منجر به افزایش قدرت رنگی (مقدار ۱،۴۹ و ۲،۵۱ برای نمونه‌های رنگی پیش تکمیل با عملیات پلاسما و UV) و همچنین افزایش درصد رمق‌کشی رنگرزی در حمام رنگرزی می‌شود. برای نمونه‌های پیش تکمیل با پلاسما و پرتو فرابنفش درصد رمق‌کشی به ترتیب ۲۵ و ۳۴ درصد است در صورتی که این مقدار برای نمونه‌های فاقد عملیات پیش تکمیل ۱۷ درصد است. نمونه‌های پیش تکمیل و رنگرزی شده دارای خواص آنتی اکسیدانی و

۵- مراجع

- Gorjan M, Jazbe K, Mozeti M, Kert M. UV-protective properties of cotton fabric treated with plasma, UV absorber and reactive dye, *Fibers and Polymers*. 2014;15(10):2095-2104. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-2095-6>.
- Gruji D, Savi A, Topali -Trivunovi L, Gorjanc M. Surface Modification of Textile for Antimicrobial Treatment with Medicinal Plant Extracts. In: Shahid M, Chen G, Tang R-Ch. (eds) *Handbook of Textile Coloration and Finishing*. Studium Press LLC, 2018, 293- 320.
- Zhonghua Li, Yanyun Zhang, Weibang Xia, Yijun Tang, Qing Li, Producing natural-colored super-powerful antibacterial cotton with plasma-assisted fiber surface modification: a green and effective cotton process for medical and healthcare applications, *Mater. Adv.* 2023;4:932-939. <https://doi.org/10.1039/d2ma00701k>.
- Shahidi S, Moazzenchi B, Comparison between Mordant Treatment and Plasma Sputtering on Natural Dying and UV Protection Properties of Wool Fabric, *Fibers Polym* 2019; 20(8):1658-1665. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-2040-9>.
- Gruji D, Savi A, Topali-Trivunovi L, Milanovi J, Haji A, Plasma surface modification of textiles for application of natural dyes, In: Islam SU, Haji A. (eds.) *Advances in plasma treatment of textile surfaces*. Woodhead Publishing. A volume in The Textile Institute Book Series, Elsevier, Bahman 4, 1402 AP-Technology& Engineering-662 pages.
- Chavan RB. Health and environmental hazards of synthetic dyes [phD thesis]. University of Bahir Dar, Bahir Dar. 2013.
- Gorjan M, Savić A, Topalić-Trivunović L, Mozetič M, Zaplotnik R, Vesel A, et al. Dyeing of plasma treated cotton and bamboo rayon with Fallopia japonica extract, *Cellulose*, 2016;23(3):2221-2228, <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0951-9>.
- Uddin MA, Rahman MM, Haque AN, Smriti SA, Datta E, Farzana N, Chowdhury S, Haider J, Sayem AS. Textile colouration with natural colourants: a review. *J Cleaner Prod.* 2022;349:131489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131489>.
- Ibrahim NA, Eid BM, Kafafy H. Sustainable colorants for protective textiles. Ul-Islam Sh, Butola BS. (Eds.), In book: *Advances in Functional and protective textiles*. Woodhead Publishing. 2020. 569-629
- Shahid-ul-Islam Shahid, M., Mohammed, F., Perspectives for natural products-based agents derived from industrial plants in textile applications - a review. *J. Clean. Prod.* 2013; 57: 2-18.

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.004>
11. Ishrat Ali S, Revival of natural dyes in Asia, *Journal of the Society of Dyers Colour*. 1993;109(1):13-14, <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1993.tb01494.x>.
 12. Joshi M, Wazed Ali S, Purwar R, Ecofriendly antimicrobial finishing of textiles using bioactive agents on natural products, *Indian J Fibre Text Res*. 2009;34:295-304.
 13. Mingbo M, Rongxia L, Yangyang D, Zhirong T, Analysis of antibacterial properties of naturally colored cottons, *Text Res J*. 2013;83(5):462-470, <https://doi.org/10.1177/0040517512447585>.
 14. Kumar Samanta A, Agarwal, P, Application of natural dyes on textiles, *Indian J Fiber Text Res*. 2012;34:384-399.
 15. Kerkeni A, Behary N, Perwuelz A, Gupta D. Dyeing of woven polyester fabric with curcumin: effect of dye concentrations and surface pre-activation using air atmospheric plasma and ultraviolet excimer treatment. *Colorat Technol*. 2012;128(3):223-9. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2012.00367.x>.
 16. Dadaloğlu I, Evrendilek GA. Chemical compositions and antibacterial effects of essential oils of Turkish oregano (*Origanum minutiflorum*), bay laurel (*Laurus nobilis*), Spanish lavender (*Lavandula stoechas* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare*) on common foodborne pathogens. *J Agric Food Chem*. 2004;52(26):8255-60. <https://doi.org/10.1021/jf049033e>.
 17. Pizzicato B, Pacifico S, Cayuela D, Mijas G, Riba-Moliner M. Advancements in sustainable natural dyes for textile applications: A review *Molecules*. 2023; 28 (16):5954. <https://doi.org/10.3390/molecules28165954>
 18. Duran N, Duran M. Enzyme applications in the textile industry. *Review Prog Color Relat Top*. 2000; 30:41-44.
 19. Kumar D, Bhardwaj R, Jassal S, Goyal T, Khullar A, Gupta N. Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing. *Environ Sci Pollution Res*. 2021;1-1. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16764-4>.
 20. Ibrahim SF, Investigation into the Effect of UV/ozone Treatments on the Physical Properties and Dyeing Kinetics of some Polymeric Fabrics [PhD Thesis]. Faculty of Science, Cairo University. 2003
 21. Hawkyard, CJ, Shao J, Carr CM, Investigation Into the Effect of UV/ozone Treatments on Dye-ability and Printability of Wool, *J Soc Dyers Colour*, 1997; 113: 126-130. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1997.tb01884.x>.
 22. Michael MN, El-Zaher NA, Ibrahim S, Investigation into Surface Modification of some Polymeric Fabrics by UV/ozone Treatment, *Polym-Plast Technol Eng*. 2004;43:1041-1052. <https://doi.org/10.1081/PPT-200030016>.
 23. Dai D, Shi M, Effects of electron beam irradiation on structure and properties of ultra-high molecular weight polyethylene fiber. *J Indust Text*. 2018;47(6):1355-1377. <https://doi.org/10.1177/152808371769061>.
 24. Ibrahim SF, El-Zaher NA, Micheal MN. Characterization and evaluation of physico-chemical properties of polymeric fabrics treated with UV/ozone. *Res J Text Apparel*. 2010;14(2):59-71. <https://doi.org/10.1108/RJTA-14-02-2010-B008>.
 25. Zhang Y, Rather LJ, Li Q. Recent advances in the surface modification strategies to improve functional finishing of cotton with natural colourants-A review. *J Cleaner Product*. 2022;335:130313. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130313>.
 26. Essa DM, Recent techniques of surface modification for textile fabrics. *J Meas Sci Appl, JMSA*. 2024; 4(1): 66-87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130313>.
 27. Safapour S, Sadeghi-Kiakhani M, Sabzi F. Applications of Ultraviolet Irradiation in Surface Modification and Improvement of Dyeing and Finishing Processes of Proteinous and Cellulosic Fibers. *J Stud Color World*. (2017); 7(3): 1-20 [In Persian].
 28. Ražić SE, Čunko R, Bautista L, Bukošek V. Plasma effect on the chemical structure of cellulose fabric for modification of some functional properties. *Procedia Eng*. 2017; 200: 333-40. [10.1016/j.proeng.2017.07.047](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.047).
 29. Yaman N, Özdoğan E, Seventekin N, Ayhan H. Plasma treatment of polypropylene fabric for improved dyeability with soluble textile dyestuff. *Appl Surf Sci*. 2009; 255(15): 6764-70. [10.1016/j.apsusc.2008.10.121](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.10.121).
 30. Park Y, Koo K. The eco-friendly surface modification of textiles for deep digital textile printing by in-line atmospheric non-thermal plasma treatment. *Fibers Polym*. 2014; 15:1701-7. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-1701-y>.
 31. Zille, A. Plasma Technology in Fashion and Textiles, In: *Sustainable Technologies for Fashion and Textiles*; Woodhead Publishing Series in Textiles, 2020: 117–142. [10.1016/B978-0-08-102867-4.00006-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102867-4.00006-2).
 32. Ennaceur S, Bouaziz A, Gargoubi S, Mnif W, Dridi D. Enhanced natural dyeing and antibacterial properties of cotton by physical and chemical pretreatments. *Process*. 2022;10(11):2263. <https://doi.org/10.3390/pr10112263>.
 33. Bhatti IA, Adeel S, Siddique S, Abbas M. Effect of UV radiation on the dyeing of cotton fabric with reactive blue 13. *J Saudi Chem Soc*. 2014; 18:606–609. [10.1016/j.jscs.2012.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.11.006).
 34. Ajmal, M, Adeel S, Azeem M, Zuber M, Akhtar N, Iqbal N. 2014. Modulation of pomegranate peels colourant characteristics for textile dyeing using high energy radiation. *Industrial Crops Products* 58:188–193. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.026>.
 35. Adeel S, Rehman F, Hanif R, Zuber M, Haq E, Muneer M. Ecofriendly dyeing of UV-irradiated cotton using extract of *Acacia nilotica* Bark (kiker) as a source of Quercetin. *Asian J Chem*. 2014;26:830–834. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2014>.
 36. Rehman F, Adeel S, Shahid M, Bhatti IA, Nasir F, Akhtar N, and Ahmad Z. Dyeing of γ -irradiated cotton with natural flavonoid dye extracted from irradiated onion shells (*Allium cepa*) powder. *Radiat Phys Chem*. 2013;92:71-75. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.07.002>.
 37. Iqbal J, Bhatti IA, Adeel S. Effect of UV radiation on dyeing of cotton fabric with extracts of henna leaves. *Indian J Fiber Text Res*. 2008;33:157–62. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.11.006>.
 38. Rehman F, Adeel S, Hanif R, Muneer M, Zia KM, Zuber M, Jamal MA, Khosa MK. Modulation of marigold-based lutein dye and its dyeing behaviour using UV radiation. *J Natural Fibers*. 2017; 14(1):63-70. <https://doi.org/10.1080/15440478.2016.1146642>.
 39. Sadannavar MK, Periyasamy A, Islam SR, Shafiq F, Dong X, Zhao T. Natural dyeing and antimicrobial functionalization of wool fabrics dyed with chinese Dragon Fruit Extract to Enhance Sustainable Textiles. *Sustainability*. 2024;16,6832. <https://doi.org/10.3390/su16166832>.
 40. Baykal PD, Babaarslan O, Erol R. Prediction of strength and elongation properties of cotton polyester-blended OE rotor yarns. *Fibres Text Eastern Eur*. 2006;14(1):18.
 41. Burkinshaw SM, Liu K, Salihu G, The Wash-off of Dyeings Using Interstitial Water Part 5: Residual Dyebath and Wash-off Liquor Generated during the Application of Disperse Dyes and Reactive Dyes to Polyester/Cotton Fabric. *Dye. Pigm.* 2019;171.106367.
 42. Li Z, Zhang Y, Xia W, Tang Y, Li Q. Producing natural-colored

- super-powerful antibacterial cotton with plasma-assisted fiber surface modification: a green and effective cotton process for medical and healthcare applications. *Mater Adv.* 2023;4(3):932-9. <https://doi.org/10.1039/D2MA00701K>.
43. Shivankar VS, Daberao A, Karche N. Effect of various parameters on dyeing of polyester cotton blend. *Int J Text Eng Processes.* 2015;1(4):9-13.
 44. Fazal R, Adeel S, Qaiser S, Bhatti IA, Shahid M, Dyeing behaviour of gamma irradiated cotton fabric using Lawson dye extracted from henna leaves (*Lawsonia inermis*). *Radiat Phys Chem.* 2012; 81(11): 1752–1756. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.06.013>.
 45. Bhatti IA, Adeel S, Parveen S, Zuber M. Dyeing of UV irradiated cotton and polyester fabrics with multifunctional reactive and disperse dyes. *J Saudi Chem Soc.* 2016; 20(2):178-84. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.12.014>.
 46. Haddar W, Elksibi I, Meksi N, Mhenni MF. Valorization of the leaves of fennel (*Foeniculum vulgare*) as natural dyes fixed on modified cotton: A dyeing process optimization based on a response surface methodology. *Industrial Crops Products.* 2014; 52:588-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.019>.
 47. Maghrabi HA, Textile Design for Diagnostic X-ray Shielding Garments and Comfort Enhancement for Female Users [Ph.D thesis]. [Dissertation] RMIT University, 2017.
 48. Rather MA, Dar BA, Sofi SN, Bhat BA, Qurishi MA. *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian J Chem.* 2016;9:1574-1583. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.04.011>.
 49. Baseri S. Eco-friendly production of anti-UV and antibacterial cotton fabrics via waste products. *Cellulose.* 2020;27:10407-23. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03471-5>.
 50. Jonobi, P, Majd, A, Marof A, Amini, Sh. Efficiency of anise extract (*Pimpinella anisum*) on the biological activity of *Tribolium castaneum* and its antioxidant performance. *J Novel Res Plant Protect.* 1393; 6(4):309-322 [In Persian].
 51. Deng J, Cheng W, Yang G. A novel antioxidant activity index (AAU) for natural products using the DPPH assay. *Food Chem.* 2011 15;125(4):1430-1435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.031>.
 52. Hasan MM, Hossain MB, Azim AY, Ghosh NC, Reza MS. Application of purified curcumin as natural dye on cotton and polyester. *Int J Eng Technol.* 2014; 14(5):17-23.
 53. Badgujar SB, Patel VV, Bandivdekar AH. *Foeniculum vulgare* Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed Res Int.* 2014;2014(1):1-32. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/842674>
 54. Hassan S, Saleh SM, Ismail EE, Abd Thalo J. Ultraviolet Protection of Cotton Fabrics and Their Blends Using Natural Plant Extracts by Printing Style. *Egyptian J Chem.* 2020; 63(9):3481-9. [10.21608/ejchem.2020.23842.2419](https://doi.org/10.21608/ejchem.2020.23842.2419).
 55. Park Y, Koo K, Kim S, Choe J. Improving the colorfastness of poly (ethylene terephthalate) fabrics with the natural dye of *Caesalpinia sappan* L. Wood extract and the effect of chitosan and low-temperature plasma. *J Appl Polym Sci.* 2008; 109(1):160-6. [10.1002/app.27899](https://doi.org/10.1002/app.27899).
 56. Bhatti IA, Adeel S, Jamal MA, Safdar M, Abbas M. Influence of gamma radiation on the colour strength and fastness properties of fabric using turmeric (*Curcuma longa* L.) as natural dye. *Radiat Phys Chem.* 2010; 79(5):622-5. [10.1016/j.radphyschem.2009.12.006](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.12.006).
 57. Safapour S, Sadeghi-Kiakhani M, Sabzi F. Applications of Ultraviolet Irradiation in Surface Modification and Improvement of Dyeing and Finishing Processes of Proteinous and Cellulosic Fibers. *J Stud Color World.* 2017; 7(3):1-20. [10.1001/1.22517278.1396.7.3.2.6](https://doi.org/10.1001/1.22517278.1396.7.3.2.6). [In Persian].
 58. Bhatti IA, Adeel S, Parveen S, Zuber M. Dyeing of UV irradiated cotton and polyester fabrics with multifunctional reactive and disperse dyes. *J Saudi Chem Soc.* 2016; 20(2):178-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jscs.2012.12.014>.
 59. Mahdavi S, Alizad M, Sajadi P, Baleghi M. A study of the antioxidant and antimicrobial effects of ethanolic extract of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) seeds. *J Babol Uni Medical Sci.* 2017;19(5):32-8 [In Persian].
 60. Karabulut K, Atav R. Dyeing of cotton fabric with natural dyes without mordant usage part I: determining the most suitable dye plants for dyeing and UV protective functionalization. *Fibers Polym.* 2020; 21:1773-1782. [10.1007/s12221-020-9365-2](https://doi.org/10.1007/s12221-020-9365-2).
 61. Rather LJ, Zhou Q, Ali A, Haque QM, Li Q. Valorization of natural dyes extracted from Mugwort leaves (*Folium artemisiae argyi*) for wool fabric dyeing: optimization of extraction and dyeing processes with simultaneous coloration and biofunctionalization. *ACS Sustainable chem Eng.* 2020; 8(7):2822-2834. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06928>.
 62. Boyadzhieva S, Angelov G. Optimization of water extraction of fennel seeds. *J Chem Technol Metall.* 2014; 49(5): 447-450. <https://www.researchgate.net/publication/286816283>.

How to cite this article:

Zare Mehrjardi A, Davari Moghaddam M. Dyeing of woven cotton-polyester blend fabric using fennel (*Foeniculum vulgare*) as a natural dye and effects of uv and low-temperature plasma pre-treatments. *J Color Sci Tech.* 2024;18(4):289-308. <https://doi.org/10.30509/jcst.2025.167411.1244> [In Persian].