

مقاله پذیرفته شده

عنوان مقاله: رنگرزی پارچه مخلوط پنبه- پلی استر با رنگزای طبیعی رازیانه و تأثیر عملیات‌های پیش تکمیل فرابنفش و پلاسمای دمای پایین

نویسندگان: ابوالفضل زارع مهرجردی، مائده داوری مقدم

JCST-2411-1244

شماره مقاله:

۱۴۰۳-۸-۱۳

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴-۰۱-۱۹

تاریخ اصلاح:

۱۴۰۴-۰۱-۳۱

تاریخ پذیرش:

این فایل pdf مقاله ویرایش نشده است که برای چاپ پذیرفته شده است. مکت مقاله توسط دفتر نشریه علوم و فناوری رنگ تهیه شده و قبل از چاپ برای ویرایش نهایی به نویسنده مسئول مقاله ارسال می‌شود.

Accepted Manuscript

Title: 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

Authors: Abolfazl Zare Mehrjardi, Maedeh Davari Moghaddam



To appear in: Journal of Color Science and Technology

Receives date: 03-11-2024

Revises date: 08-04-2025

Accepted date: 20-04-2025

Please cite this article as:

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. (2025): JCST-2411-1244.

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form.

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- کارشناس، 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 اشعه فرابنفش و فعالیت ضدباکتری و خواص آنتی‌اکسیدانی استفاده شد. از طرف دیگر به منظور افزایش تمایل رنگزا به لیف، از پیش تکمیل‌های پلاسمای دمای پایین و اشعه 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 اشعه فرابنفش، فعالیت ضد میکروبی، خواص آنتی‌اکسیدانی، میزان آبدوستی، 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 اشعه فرابنفش نشان داد.

کلمات کلیدی: پارچه مخلوط پنبه- پلی استر، رنگزای طبیعی رازیانه، پیش تکمیل، پلاسمای دمای پایین، محافظت در برابر اشعه فرابنفش، ثبات رنگی.

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

ABSTRACT: In this research work, fennel was used as a natural dye for dyeing of 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 pre-treated 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.

KEYWORDS: Cotton-PET blend Fabric, Fennel as Natural dye, Pre-treatment, plasma, Ultraviolet protection, Color fastness.

۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت فناوری و همچنین افزایش تنوع در محصولات نساجی، رضایتمندی و ذائقه مصرف کنندگان تغییر کرده است. امروزه مصرف کنندگان 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

مقاله پذیرفته شده

محافظت از پوست انسان در برابر مواد و اشعه‌های مضر مانند اشعه فرابنفش نور خورشید و ویروس‌ها و باکتری‌ها هستند (۳). پارچه‌های معمولی، قابلیت حفاظتی پایینی در برابر اشعه فرابنفش و میکروارگانیزم‌ها 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 میکروارگانیزم‌ها بر منسوجات، سلامت انسان و 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 ایده‌آل برای رشد و توسعه میکروارگانیزم‌ها 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 می‌باشد. (۲).

با تولید انبوه رنگزاهای مصنوعی از سال ۱۸۵۶، استفاده از رنگزاهای طبیعی در صنعت نساجی شروع به کاهش کرد. با این وجود، کاربرد گسترده رنگزاهای مصنوعی در رنگرزی منسوجات باعث آلودگی محیط زیست 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 حاسیت‌زا مرتبط با استفاده از رنگزاهای مصنوعی معرفی شده اند، نیاز به یافتن امکانات جدیدی برای استفاده از عصاره‌های گیاهی برای رنگرزی منسوجات وجود دارد (۷-۸). آنها به دلیل ماهیت سازگار با محیط زیست و خواص تازه کشف‌شده مانند فعالیت ضد میکروبی، عملکرد ضدبو، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محافظت در برابر اشعه 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 میکروارگانیزم‌ها 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 داده اند (۱۳-۱۵). نشان داده شده است 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 اکسیداسیون لیپید را در اولین مرحله شروع بشکنند. این قابلیت بالای ترکیبات فنلی برای از بین بردن رادیکال‌ها را می‌توان با گروه‌های هیدروکسیل فنلی آنها توضیح داد (۱۶).

مقاله پذیرفته شده

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، آماده سازی بسترها، فرآیند دندانه‌دار 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 می‌باشد. 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 می‌باشد و ۲- اصلاح فیزیکی که شامل پلاσμα، تکمیل گاز آزن، امواج ریزموج، امواج مافوق صوت، تابش گاما و تابش پرتوهای نوترونی و الکترونی می‌باشد (۱۸-۱۹).

به دلیل افزایش قوانین زیست محیطی 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 پلاσμα در دمای پایین، تابش گاما، تابش اشعه فرا بنفش، 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 بعلاوه 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 به عنوان فرایندهای جایگزین موفق عمل می‌کنند (۲۳-۲۷).

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

- ۱- این روش یک روش خشک محسوب شده و نسبت به روش‌های سنتی دارای ایمنی و اطمینان بیشتری می‌باشد.
- ۲- در این روش از مواد شیمیایی به میزان بسیار کمی استفاده می‌گردد.
- ۳- می‌تواند با سرعت زیاد، خواص مواد را تغییر دهد که اصلاح آن با روش‌های سنتی بسیار دشوار می‌باشد.
- ۴- پلاσμα از آب و انرژی کمتری استفاده می‌کند و آسیب بسیار کمی به لیف وارد می‌کند که این روش را بسیار جذاب می‌کند (۲۸-۳۲).

روش‌های زیادی برای اصلاح فرایند منسوجات و تصفیه‌های پساب استفاده می‌شود، اما استفاده از اشعه فرا بنفش (UV) برای بهبود

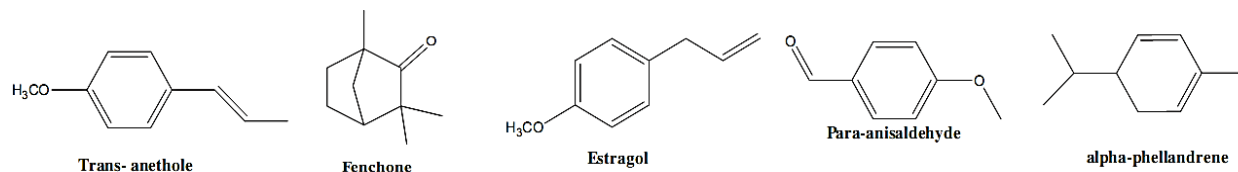
مقاله پذیرفته شده

خواص سطحی پارچه به‌ویژه الیاف پنبه، یک کاربرد جایگزین با قابلیت تجاری ارائه می‌دهد (۳۳-۳۶). اشعه UV می‌تواند قابلیت رنگرزی و چاپ را بهبود بخشد. اصلاح UV سطح لیف می‌تواند باعث افزایش تثبیت رنگ، افزایش جذب رنگ و فام‌های عمیق‌تر شده و ترشوندگی پارچه‌ها را بهبود بخشد (۳۷-۳۹). اکسیداسیون اشعه فرابنفش سطح پارچه، منجر به تشکیل کربوکسیل، آلدئید، هیدروکسیل، کربونیل و سایر گروه‌های فعال می‌شود که به افزایش میل ترکیبی رنگزا و پارچه کمک می‌کند و در نتیجه منجر به بهبود رنگرزی با رنگزای طبیعی می‌گردد (۵۶). اصلاح پارچه‌های پشمی با اشعه فرابنفش باعث اکسیداسیون سطح پشم شده و گروه‌های عاملی بیشتری را بر روی سطح ایجاد می‌کند که با افزایش در جذب رنگزا و بهبود در خاصیت تثبیت رنگزاها می‌گردد (۴۰). ترکیب انواع مختلف الیاف، روشی است که به طور گسترده برای افزایش عملکرد و کیفیت زیبایی یک پارچه انجام می‌شود. نخ‌های ترکیبی از دو نوع الیاف طبیعی و مصنوعی این ویژگی را دارند که ترکیبی موفقیت‌آمیزی از خواص مناسب هر دو جزء الیاف، مانند راحتی پوشیدن همراه با ویژگی‌های مراقبت آسان را با همدیگر داشته باشند. این مزایا همچنین اجازه می‌دهد تا تنوع بیشتری از محصولات تولید شود و مزیت بازاریابی قوی‌تری را به همراه داشته باشد (۴۱). مخلوط کردن الیاف، یک روش معمول در صنعت نساجی است. در میان مواد مورد استفاده در صنعت نساجی، پلی‌استر به عنوان پرمصرف‌ترین لیف مصنوعی در جهان در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند در انواع مختلفی از محصولات نساجی مورد استفاده قرار گیرد (۴۲). الیاف پلی‌استر (پلی‌اتیلن ترفتالات) (PET) به دلیل جذب آب کم، عدم خاصیت غیر یونی و بلورینگی بالا، پرمصرف‌ترین الیاف نساجی مصنوعی به شمار می‌روند. با این حال، به دلیل ساختار شیمیایی آنها، فعل و انفعالات شیمیایی بین پلی‌استر، مواد تکمیلی و رنگ‌ها بسیار چالش برانگیز است (۳۹). در مقایسه با ۱۰۰٪ پلی‌استر، اختلاط پنبه/پلی‌استر دارای مزایای بسیاری از جمله خواص پرزینگی کمتر، الکتریسیته ساکن کمتر، ریسندگی آسان‌تر، یکنواختی بهتر برای تولید نخ و پارچه می‌باشد (۴۱). از سوی دیگر پنبه یکی از مهم‌ترین الیاف طبیعی در جهان است و قرن‌هاست که در سطح جهان به عنوان بیشترین لیف طبیعی مصرفی شناخته می‌شود. پنبه یک لیف سلولزی طبیعی با ویژگی‌های رطوبت‌پذیری و نفوذپذیری هوا بالاست که آن را به یک منسوج بسیار راحت در کنار پوست تبدیل می‌کند از این‌رو از آن در ملحفه تخت‌خواب، لباس زیر، دستمال، حوله و غیره استفاده می‌شود (۴۳). مشخص شده است که پنبه راحت‌ترین ماده‌ای است که در طبیعت یافت می‌شود، اما برای بهینه‌سازی هزینه و سایر متغیرهای کیفی، گاهی اوقات نیاز است که با مواد مصنوعی ترکیب شود (۴۳). در مقایسه با منسوج ۱۰۰٪ پنبه‌ای، ترکیبات پنبه/پلی‌استر دارای استحکام پارگی و سایش بالاتر، مقاومت در برابر چروک بیشتر، راحتی بیشتر و ویژگی‌های مراقبت آسان‌تر هستند (۴۱).

تکمیل‌های مختلفی مانند تابش فرابنفش، مافوق صوت و گاما برای بهبود قدرت رنگی و خواص پایداری پارچه رنگ‌شده انجام شده است (۴۵-۴۶). مطالعه محدودی بر روی تأثیر استفاده از تابش به عنوان تکمیل به منظور ارزیابی ویژگی‌های رنگرزی پارچه با استفاده

مقاله پذیرفته شده

از رنگزاهای طبیعی و مصنوعی انجام شده است. اخیراً یک رویکرد جایگزین با استفاده از اشعه فرا بنفش برای اصلاح سطح پارچه بدون تغییر در خصوصیات توده‌ای منسوج مورد استفاده قرار گرفته است (۴۶). امروزه رازیانه به طور گسترده برای خواص دارویی آن استفاده می‌شود. امروزه این گیاه برای مصارف صنعتی مانند محصولات آرایشی و بهداشتی و دارویی کشت می‌شود. رازیانه، فعالیت ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌کولین استراز را در آزمایشات مختلف در محیط‌های درون آزمایشگاهی (in vivo) و برون آزمایشگاهی (in vitro) نشان داده است (۱۶ و ۴۷). ساختار مولکولی ترکیبات عصاره‌های رنگزای اصلی در ساختار مولکولی رازیانه در شکل ۱ نشان داده شده است (۴۸).



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

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

در این پژوهش از رازیانه به عنوان یک رنگزای طبیعی برای رنگرزی پارچه مخلوط پنبه-پلی‌استر به منظور افزایش حفاظت در برابر تابش UV و فعالیت ضدباکتری و همچنین اثرات آنتی‌اکسیدانی استفاده شده است. به منظور عدم استفاده از دندانه‌ها به منظور افزایش جذب و تثبیت رنگرزا، از دو فرآیند سازگار با محیط زیست تابش UV و پلاسما دمای پایین به منظور فرایند پیش‌تکمیلی بر روی پارچه‌های مخلوط پنبه-PET استفاده شد. خواص فیزیکی و مکانیکی همچون خواص آبدوستی، استحکام کششی و از یاد طول در نقطه پارگی، بررسی زیردست، قدرت رنگ (K/S)، انواع ثبات‌های کالاهای رنگی، محافظت در برابر اشعه UV، خاصیت ضدباکتری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های پیش‌تکمیل شده و رنگرزی شده مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲- بخش تجربی

از پارچه سفیدگری شده مخلوط پنبه/پلی‌استر (PET) با بافت ساده ۱/۱ با جرم ویژه ۱۴۵ گرم بر متر مربع استفاده گردید که نخ‌های تار و پود هر دو دارای ۳۵ درصد پنبه و ۶۵ درصد پلی‌استر بوده و تراکم نخ تار ۱۲۱ نخ در سانتی‌متر و پود نیز ۷۲ نخ در هر سانتی‌متر می‌باشد. ضخامت پارچه نیز ۰/۴۷ میلی‌متر می‌باشد. همچنین از پارچه ۱۰۰٪ پلی‌استر با جرم ویژه ۱۲۰ گرم بر مترمربع که تراکم نخ‌های تار ۳۵ در سانتی‌متر و پود ۳۰ در هر سانتی‌متر می‌باشد استفاده گردید. به منظور حذف روغن ریسندگی و ناخالصی‌ها از پارچه، ابتدا پارچه را با صابون غیریونی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه در یک L:R 1:50 شستشو داده و سپس آن‌ها را دوبار با آب نرم، شستشو می‌دهیم. پارچه‌های حاصل را در محیط خشک نموده و سپس تحت فرایندهای پیش‌تکمیلی قرار می‌دهیم.

مقاله پذیرفته شده

پودر برگ رازیانه نیز از مراکز فروش گیاهان دارویی در شهرستان یزد تهیه گردید. به منظور عصاره‌گیری از برگ گیاه، از حلال اتانول استفاده شد. بدین منظور، ۱۰۰ گرم از برگ خشک‌شده رازیانه را در ۱ لیتر اتانول ۹۹/۸٪ ریخته و به مدت ۸ ساعت به روش سوکسله عصاره‌گیری شد. محلول آماده‌شده را از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ عبور داده و سپس با قراردادن آن در محیط آزمایشگاه، نمونه‌ها خشک شدند. با اندازه‌گیری وزنی عصاره بدست‌آمده، به ازای هر کیلوگرم برگ رازیانه، ۴۶ گرم عصاره حاصل شد. به منظور تنظیم pH محلول‌های رنگی از اسید استیک استفاده شده و مقدار آن ۵ می‌باشد.

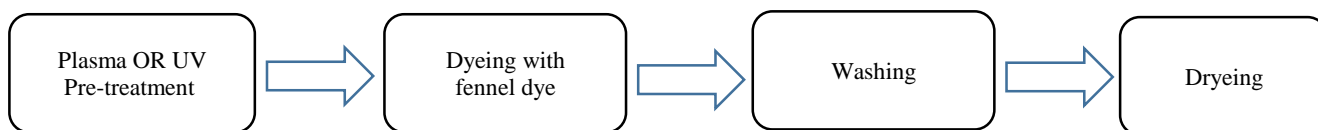
۲-۱- پیش‌تکمیل‌های فیزیکی

الف- پیش‌تکمیل با پلاسما در دمای پایین

پارچه مخلوط پنبه/پلی‌استر با پلاسمای اکسیژن در دمای پایین، پیش‌تکمیل شدند. مدت زمان اقامت پارچه‌ها در دستگاه پلاسما به مدت ۵ دقیقه می‌باشد. فرکانس مورد استفاده ۴۰ کیلوهرتز و توان آن نیز ۱۰۰ وات و نرخ جریان نیز ۳ لیتر بر دقیقه می‌باشد. فشار گاز ورودی نیز ۰/۵ تور می‌باشد. در این آزمایش از دستگاه پلاسمای مدل Plasma DEJ (بسا فن، ایران) و از گاز اکسیژن به عنوان منبع گاز پلاسما استفاده شد.

ب- پیش‌تکمیل تحت تابش اشعه UV:

لامپ UV تابش زنون (Xeradex 20W/L40/120/SB- SX46/KF50) و منبع تغذیه ولتاژ بالا (DBD 110 V/230 V 50 Hz/60) برای لامپ از شرکت صاب‌ایران (ایران) تهیه شد. یک محفظه برای نصب لامپ UV استفاده شد. این لامپ نور تقریباً تک‌رنگ در ناحیه فرابنفش (VUA) ($k = 172$ نانومتر) با قدرت تابش 50 mW/cm^2 ساطع می‌کند. نمونه‌های پارچه از طریق نگهدارنده نمونه در معرض تابش لامپ UV قرار گرفت. در آزمایش انجام‌شده، زمان تابش اشعه فرابنفش در دوره‌های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ دقیقه انتخاب گردید که زمان بهینه، بسته به تغییر خواص مکانیکی و فیزیکی و همچنین میزان‌رنگ‌پذیری، زمان ۱۰ دقیقه انتخاب شد. هر دو روی نمونه پارچه‌ها با زمان تابش ۱۰ دقیقه در معرض تابش لامپ UV قرار داده شدند. فرایند تهیه نمونه‌ها مطابق فرایند زیر (شکل ۲) می‌باشد.



شکل ۲: فرایند تهیه نمونه

Figure 2: Sample preparation process

مقاله پذیرفته شده

۲-۲- رنگریزی با رازیانه و مشخصات پارچه‌های رنگریزی شده:

حمام رنگی با غلظت ۱۵٪ (وزنی/حجمی) عصاره رازیانه با L:R. 1:40 آماده شد. نمونه‌های خام پارچه‌ها و همچنین نمونه‌های پیش‌تکمیل با پلاσμα و تابش UV در این حمام به روش رمق‌کشی، رنگریزی شدند. برای هر حمام رنگی، ۱ گرم پارچه، مورد استفاده قرار گرفت. تمام فرایندهای رنگریزی 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 بدست می‌آید. این آزمون بر اساس 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 J Image محاسبه می‌گردد.

ج- طول جذب فتیله‌ای به صورت عمودی: یک قطعه از پارچه‌های خام و پیش‌تکمیل شده 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 خمش و سختی خمشی

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

$$G = M \times C^3 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه، G، سختی خمشی (mg.cm)، M، جرم بر حسب میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع پارچه و C طول خمش بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

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

استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی پارچه با استفاده از دستگاه ماشین استحکام‌سنج (Universal Testing Machine Micro 350, Shirely) بر طبق استاندارد ASTM-1682-94 بدست می‌آید.

۲-۶- خواص ضدباکتری

در این پژوهش، فعالیت ضدباکتری نمونه‌ها بر اساس استاندارد AATCC 100 2004 ارزیابی شد. از میکروب اشرشیا کولای (Escherichia Coli) (Coli E.) به عنوان باکتری گرم منفی و از سویه استافیلوکوکوس آرتوس (Staphylococcus aureus) (S. aureus) به عنوان باکتری گرم مثبت استفاده شد. بدین منظور، نمونه پارچه‌ای جهت ضدعفونی کردن به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. سپس باکتری‌های مورد اشاره را در ۱۰ میلی‌لیتر نوترینت براث رشد داده و در دستگاه انکوباتور قرار داده می‌شوند. یک میلی‌لیتر از نوترینت براث انکوبه شده را به یک ظرف حاوی نوترینت آگار ضدعفونی شده انتقال داده و در داخل انکوباتور قرار داده می‌شوند. به منظور تنظیم غلظت لوله در جذب ۰/۳-۰/۲ در طول موج ۵۸۰ نانومتر، انتقال چندمرحله‌ای از محیط کشت باکتری به داخل لوله آزمایش حاوی ۹ سی‌سی نرمال سالین انجام شد. یک میلی‌لیتر از این محلول با غلظت 1000 cfu/ml^2 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 ضدعفونی شده منتقل و به داخل انکوباتور در 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 بدست می‌آید (۱۷).

$$R\% = \frac{A-B}{A} \times 100 \text{ رابطه (۲)}$$

در این رابطه، A کلونی‌های باکتری شمارش شده بر روی پارچه پنبه-پلی‌استر خام و B کلونی‌های باکتری‌های شمارش شده بر روی پارچه‌های رنگ‌رزی شده حاوی و یا بدون پیش‌تکمیل می‌باشد.

۲-۷- محافظت در برابر UV:

محافظت در برابر UV مواد نساجی تحت عنوان فاکتور محافظت فرابنفش (UPF) تعریف می‌گردد. مطابق با طبقه‌بندی استاندارد استرالیا/نیوزلند (AS/NZS 4399,1996) بالاتر بودن مقدار فاکتور حفاظتی اشعه فرابنفش باعث رده حفاظتی بیشتر می‌شود (۴). از استاندارد AATCC 183-2010 برای تعیین خواص محافظت در برابر اشعه فرابنفش نمونه‌های پارچه خام و رنگ شده در محدوده ۲۰۰-۴۰۰ نانومتر از دستگاه طیف سنج مدل UV-2000s در فواصل ۵ نانومتر استفاده شد. مقادیر فاکتور حفاظت فرابنفش برای نمونه با استفاده از نرم افزار مربوطه به شرح زیر تعیین شد: (۵۰).

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

رابطه (۳)

مقاله پذیرفته شده

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

۲-۸- اثرات آنتی‌اکسیدانی به روش مهار رادیکال‌های آزاد:

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد ایجاد شده توسط ماده ۲، ۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) و بی‌رنگ کردن رنگ بنفش تیره این ماده انجام می‌گیرد (۵۱). بدین منظور برای محاسبه درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH از دستورالعمل مورد استفاده در مرجع (۵۱) استفاده شد.

از آنجاییکه بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی نمونه پارچه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد به همین دلیل از یک روش غیرمستقیم استفاده می‌گردد. بدین منظور، نمونه‌های رنگ‌زایی شده پس از خروج از حمام رنگ‌زایی وارد حمام شستشو می‌شوند که در بخش ۹-۲-۱ به صورت مبسوط توضیح داده شده است. سپس طیف جذبی محلول‌های شستشو توسط اسپکتروفتومتر عبوری گرفته می‌شود. درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از فرمول (۴) محاسبه شد.

$$I\% = \frac{(A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}})}{A_{\text{blank}}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این فرمول A_{blank} میزان جذب نوری نمونه کنترل می‌باشد که در اینجا حمام شستشوی حاوی نمونه رنگی بدون پیش‌تکمیل در آن قرار گرفته است. A_{sample} بیان‌گر جذب نوری محلول رنگ‌زایی نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر می‌باشد. پس از آن، غلظتی از محلول‌های رنگ‌زایی که دارای درصد مهار رادیکالی ۵۰ درصد بوده (IC50) توسط نمودار محاسبه می‌گردد. قابل ذکر است که هر چه این عدد کوچکتر می‌باشد قدرت آنتی‌اکسیدانی یا مهار رادیکال‌های آزاد محلول‌های شستشو بیشتر و به عبارت دیگر قدرت آنتی‌اکسیدانی نمونه پارچه‌های رنگ‌زایی شده کمتر می‌باشد. در این آزمون از آسکوربیک اسید به عنوان کنترل مثبت استفاده می‌گردد (۵۲). به منظور بررسی طیف‌سنجی محلول رنگی مورد استفاده در ناحیه مرئی-فرابنفش از دستگاه طیف‌سنج 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 طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه مدل Equinox 55 در محدوده عدد موجی ۴۰۰۰-۴۰۰ بر سانتی‌متر با قدر وضوح ۵ بر سانتی‌متر استفاده گردید.

۲-۹- سنجش پلی‌فنلی و فلاوونوئید کلی

عصاره آبی میوه رازیانه سرشار از ترکیبات فنلی است. بسیاری از آنها دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و خواص محافظتی کبدی هستند. ترکیبات فنلی موجود در *F. vulgare* با پیشگیری از بیماری‌های احتمالاً ناشی از استرس اکسیداتیو مانند بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان و التهاب مرتبط هستند (۵۳). مقدار کل پلی‌فنل‌ها در عصاره‌ها با استفاده از معرف فولین-سیکالتیو تعیین شد. مقدار کمی

مقاله پذیرفته شده

از عصاره (۰/۰۲ میلی لیتر) با ۰/۱ میلی لیتر معرف ۱۰٪ فولین-سیکالتیو و ۰/۳ میلی لیتر محلول ۷۵٪ کربنات سدیم مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق انکوبه شد. میزان جذب نمونه ها با دستگاه طیفسنج مرئی-مورابنفش در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه گیری شد. کالیبراسیون با اسید گالیک انجام شد و محتوای کل فنلها معادل اسید گالیک بیان شد (۵۳). روش تحلیلی برای تعیین فلاونوئیدها بر اساس تشکیل مجموعه ای از فلاونوئیدها و آلومینیوم است. ۲ میلی لیتر محلول اتانول ۲ درصد کلرید آلومینیوم به ۲ میلی لیتر عصاره مایع اضافه شد. پس از یک ساعت انکوباسیون در دمای اتاق، جذب با استفاده از طیفسنج 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).

۱-۲- 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 (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) اندازه گیری شد. قدرت رنگی نمونه ها با استفاده از رابطه کیوبلکا-مانگ (رابطه ۵) محاسبه می شود (۵۴).

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad \text{رابطه (۵)}$$

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

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۶)، L^* ، a^* و b^* به ترتیب نشان دهنده میزان روشنایی، قرمزی-سبزی و زردیت-آبی می باشد. 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 بدست می آید. از اسپکتروفتومتر فرابنفش/مرئی به منظور اندازه گیری میزان رمق کشی استفاده می گردد. درصد رمق کشی با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می گردد.

$$E\% = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \quad \text{رابطه (۷)}$$

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

۱-۱۰-۲- اندازه گیری ثبات شست و شویی

از دستگاه ثبات شست و شویی M228B/C Shirley برای تعیین ثبات رنگزا در برابر عملیات شستشویی استفاده شد. فرایند شستشو به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد همراه با صابون غیر یونی به میزان ۵ گرم بر لیتر و کربنات سدیم به میزان ۲ گرم بر

لیتر انجام گرفت. پس از انجام آزمایش، میزان کاهش رنگ پارچه با معیار خاکستری^۱ اندازه‌گیری شد (۵۵). این آزمایش طبق استاندارد ISO 105-C06:2012 انجام شد.

۲-۱۰-۲- اندازه‌گیری ثبات نوری

ثبات نوری براساس استاندارد ISO105-B01 انجام می‌شود. از دستگاه ثبات نوری Shirley M237 برای تعیین ثبات نوری پارچه‌های رنگ‌شده استفاده گردید. جهت تعیین ثبات رنگ در برابر نور، نیمی از نمونه‌ی رنگ‌شده را در معرض نور مصنوعی (D65/10°) و نیمی از نمونه‌ها پوشانده می‌شوند. اختلاف بین دو قسمت نمونه‌ی مورد آزمایش که در یک مدت زمان استاندارد ۷۲ ساعت اتفاق می‌افتد با معیار استاندارد آبی^۲ مقایسه شد و به صورت عددی بین ۱ (ثبات نوری ضعیف) و ۸ (ثبات نوری عالی) گزارش شد (۵۵).

۲-۱۰-۳- اندازه‌گیری ثبات مالشی (خشک - مرطوب)

ثبات مالشی براساس استاندارد ISO 105-X12 انجام شد. برای انجام ثبات مالشی، دو پارچه به ابعاد ۱۵۰×۴۰ میلی‌متر مربع برش زده شدند. در هر جفت نمونه، یک پارچه در جهت تار و یک پارچه در جهت پود در دستگاه قرار گرفتند. برای ثبات مالشی مرطوب، پارچه را خیس کرده و در داخل دستگاه (Martindale abrasion tester M235) قرار می‌دهیم. دستگاه ۱۰ بار حرکت رفت و ۱۰ بار حرکت برگشت انجام می‌دهد. میزان لکه‌گذاری بر روی پارچه سفید پنبه‌ای با معیار خاکستری سنجیده می‌شود (۵۵).

۲-۱۰-۴- ثبات در برابر تعریق

تست‌های تعریق پایداری رنگ (اسیدی و قلیایی) طبق استاندارد بین‌المللی ISO 105-E04: 2018 «منسوجات - تست‌های ثبات رنگ - قسمت E04: ثبات 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 داده‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس با آزمون توکن (Tukey) در $p < 0.05$ انجام شد. همه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و مقادیر به صورت $X \pm SD$ (متوسط) (انحراف استاندارد) سه تکرار گزارش شد.

۳- بحث و نتیجه‌گیری:

جدول ۱ اثر پیش‌تکمیل پلاسما و تابش اشعه UV را بر زمان و زاویه تماس قطره بر روی نمونه‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در جدول نشان داده شده است عملیات‌های پیش‌تکمیل، منجر به کاهش زاویه تماس قطره می‌گردد. زاویه تماس برای نمونه خام ۳۲ درجه

^۱ -Gray Scale

^۲ -Blue Scale

مقاله پذیرفته شده

می باشد در حالیکه برای نمونه های پیش تکمیل با پلاسما و تابش UV به ترتیب ۲۳ و ۱۹ درجه می باشد.

هم پیش تکمیل پلاسمای اکسیژن و هم تابش اشعه UV، آبدوستی 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 آبدوست در سطح الیاف می شوند ولی نوع و میزان گروه های عاملی در هر دو پیش تکمیل متفاوت می باشد. در تابش UV گروه های کربوکسیلی جدید شکل می گیرند در حالیکه در تکمیل پلاسما هر دو 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 فتیله ای پارچه می باشد (۵۶). بررسی آماری نشان می دهد که تفاوت اعداد برای هر سه نمونه معنادار می باشد.

جدول ۱: زاویه تماس، زمان جذب قطره و طول فتیله ای نمونه ها

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

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

۲-۳- 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 مهم از نظر زیباشناختی بوده و میزان افتایش مواد نساجی را نشان می دهد. نتایج طول خمش و سختی خمشی در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می گردد با انجام عملیات پیش تکمیل پلاسما و UV تغییر معناداری در طول خمش و سختی خمشی انجام نمی گیرد. این می تواند نتیجه آن باشد که این دو پیش تکمیل بر روی ضخامت و خمش و مقاومت در خمش نخها تأثیر گذار نمی باشد.

مقاله پذیرفته شده

جدول ۲: طول خمش و سختی خمشی نمونه خام و نمونه‌های تحت عملیات پیش‌تکمیلی پلاسما 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

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

نتایج نشان داده در جدول ۳ نشان می‌دهد که نمونه‌های فاقد فرایند پیش‌تکمیل، دارای استحکام کششی بالاتری نسبت به نمونه‌های تکمیل‌شده با تابش UV و تکمیل پلاسما می‌باشند. کمترین استحکام کششی مربوط به نمونه‌هایی می‌باشد که تحت تابش نور UV قرار گرفتند. دلیل این پدیده را می‌توان به تخریب زنجیرهای پلیمری پلی‌استر و پنبه‌ای بر اثر تابش نور UV نسبت داد. همچنین عملیات پلاسما تأثیر بسزایی بر روی استحکام کششی پارچه پنبه-پلی‌استر نداشته است. از طرف دیگر، عملیات‌های پیش‌تکمیل تأثیر چندانی بر روی ازدیاد طول در نقطه پارگی نمونه‌ها نخواهد داشت.

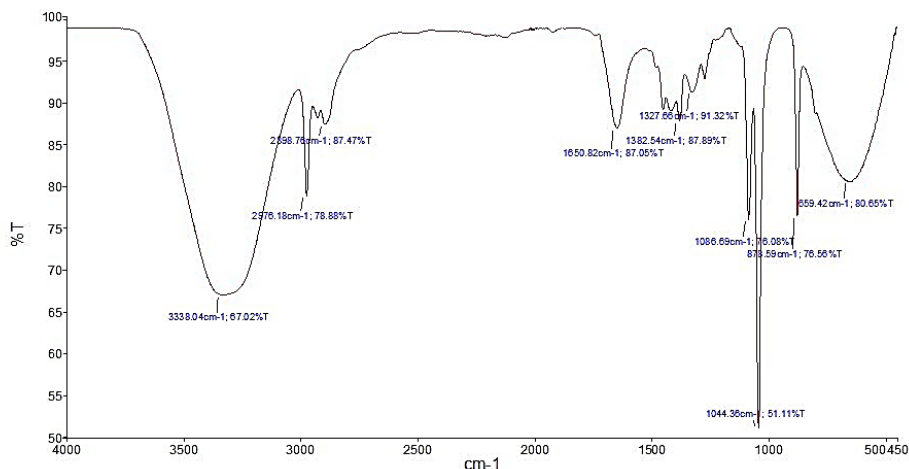
جدول ۳: تأثیر پیش‌تکمیل بر روی استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در نقطه پارگی

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

۳-۴- بررسی طیف مادون قرمز محلول رنگی

طیف مادون قرمز انتقالی فوریه عصاره رنگی استخراج‌شده در شکل ۳ نشان داده شده است. قله در عدد موجی 3338 cm^{-1} مربوط به حرکت خمشی گروه‌های هیدروکسیل الکل، فنل‌ها، اسید کربوکسیلیک‌ها و پیوندهای هیدروژنی و همچنین مربوط به حرکت کششی N-H در آمین‌های نوع اول و دوم می‌باشد. قله در عدد موجی 2978 cm^{-1} مربوط به کششی C-H آلکان‌ها می‌باشد. 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 می‌باشد. قله در عدد موجی 1086 cm^{-1} مربوط به C-O می‌باشد. قله در عدد موجی 1044 cm^{-1} مربوط به C-O الکل‌ها، اترها، اسیدهای کربوکسیلیک و استرها می‌باشد.

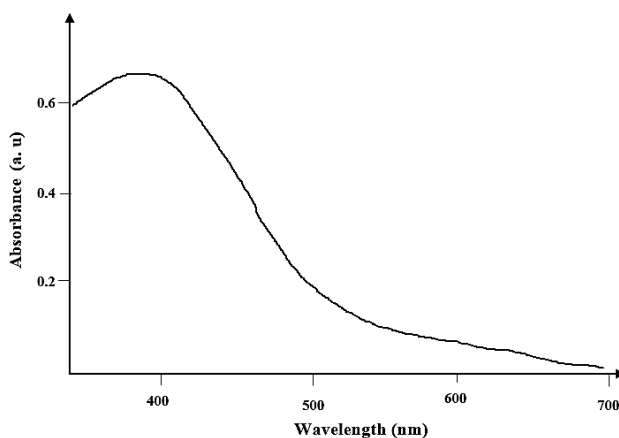


شکل ۳: طیف FTIR عصاره نهایی

Figure 3: FTIR spectrum of final extract

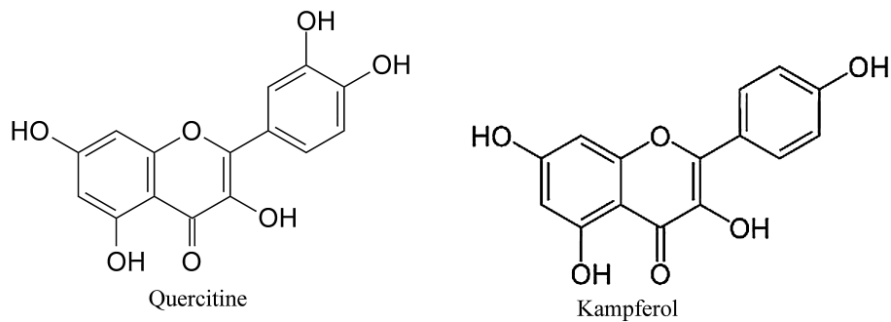
۳-۵- طیف مرئی-فرابنفش محلول آبکی استخراج شده:

جزء محلول رنگی عصاره استخراج شده رازیانه دارای یک فام زرد تیره می باشد. 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 می باشد. این رنگ زرد موجود در رازیانه از نظر شیمیایی عمدتاً مربوط به حضور گلیسید فلاونول می باشد. تحقیقات پیشین نیز موید این مطلب می باشند که کائمپفرول و کوئسرین در برگ رازیانه به وفور وجود دارند (۴۶). ساختار این دو نوع ماده در شکل ۵ نشان داده شده است.



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

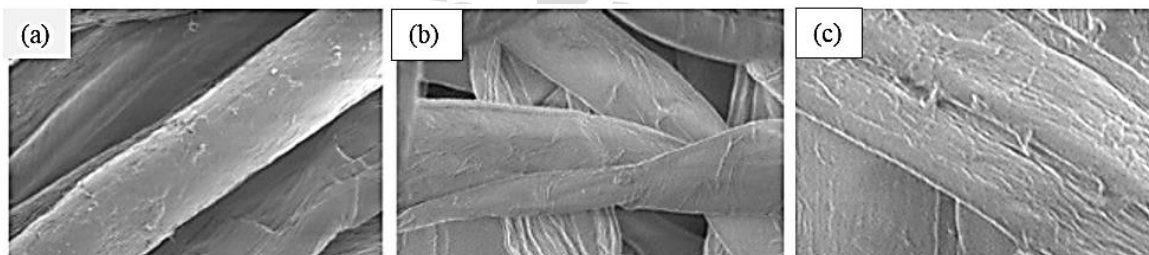


شکل ۵: ساختار شیمیایی کائمپفرول و کوئسرین (۴۶)

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

۳-۶- 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.



شکل ۶: تصاویر SEM (a) نمونه رنگ‌رزی شده بدون پیش‌تکمیل (b) نمونه رنگ‌رزی شده و پیش‌تکمیل با پلاسما

(c) نمونه رنگ‌رزی شده و پیش‌تکمیل با UV

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

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

مقاله پذیرفته شده

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 پلیمریزاسیون 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، ضدالکتریسیته، قدرت چسبندگی و غیره می‌گردد (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 این رو 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 انجام شده 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 بدست آوردن هر نمونه، ۳ تکرار از نقاط مختلف نمونه‌ها انجام شده و انحراف استاندارد تمامی نمونه‌ها زیر ۸٪ بوده است.

جدول ۴: مقادیر مولفه‌های رنگی پارچه‌های پنبه-پلی‌استر قبل از رنگرزی با عصاره برگ رازیانه بدون و تحت شرایط پیش تکمیل‌های مختلف

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

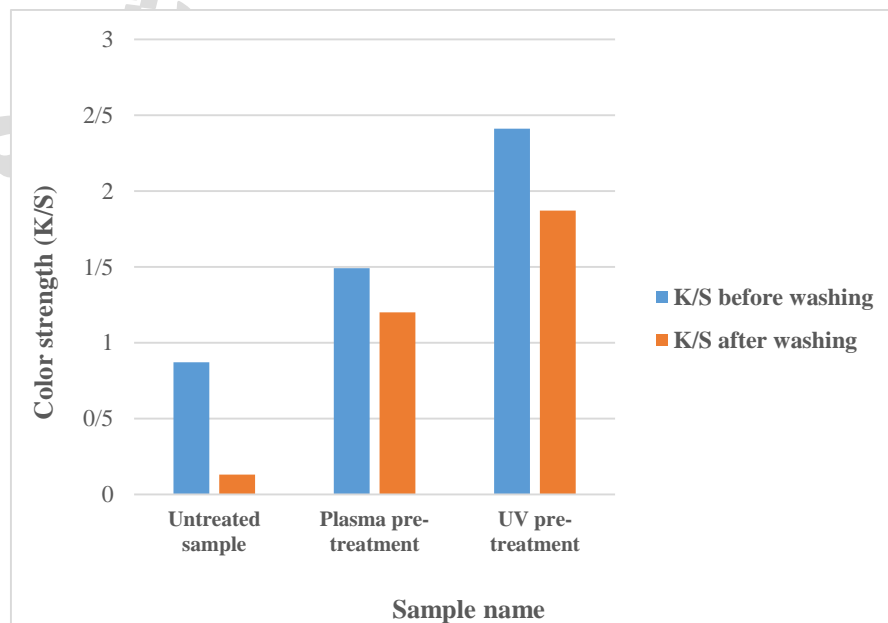
Sample	L*	a*	b*	ΔE
Untreated fabric	89.73	3.17	7.80	-
Pre-treated with plasma	87.54	3.74	7.92	2.19
Pre-treated with UV	87.30	4.08	8.34	2.65

نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که عملیات پیش تکمیل 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 رنگزای طبیعی رازیانه با الیاف پنبه و پلی‌استر به میزان کافی قوی بوده است. نتایج نشان می‌دهد که تابش اشعه فرابنفش نه تنها میزان جذب رنگ را افزایش می‌دهد، بلکه توانایی جذب رنگ پارچه‌های پنبه ای را از طریق اکسیداسیون 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 اکسیدشدن سلولز به اسید کربوکسیلیک در اثر قرار گرفتن سلولز در معرض اشعه UV باشد (۵۹). همچنین عملیات UV، منجر به ایجاد فضاهایی در بین الیاف سلولز می‌گردد که باعث می‌شود که رنگ بیشتری را جذب کنند و در نتیجه

مقاله پذیرفته شده

برهم کنش میان مولکول‌های رنگ و لیف افزایش می‌یابد. نتیجه این تغییرات، افزایش سرعت جذب مولکول رنگزا بر روی پارچه و در نتیجه نمونه‌های رنگی پیش‌تکمیل با UV دارای فام تیره‌تری می‌باشند. از آنجاییکه رنگرزی در دمای جوش انجام می‌گیرد و از طرف دیگر در این دما، پلی‌استر به دلیل قابلیت تبلور بالا و همچنین فشردگی ساختار و آگریزبودنش تمایل چندانی به جذب رنگزا ندارد از این‌رو نمونه پارچه ۱۰۰٪ 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٪ 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 رنگزا به دلیل 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 می‌باشد تمام نمونه‌ها دارای اختلاف رنگی (ΔE^*) بزرگتر از یک می‌باشند که این بدان معناست که رنگزا به خوبی سطح نمونه‌ها را رنگی نموده است. بعلاوه، در مقایسه با نمونه‌هایی فقط رنگرزی شده، نمونه‌های رنگرزی شده و پیش‌تکمیل شده دارای قدرت رنگی و اختلاف رنگی بالاتری می‌باشند که این نشان‌دهنده میزان جذب بالاتر رنگزا بر روی کالا می‌باشد. همچنین نمونه‌های پیش‌تکمیل با UV دارای بالاترین قدرت رنگی و اختلاف رنگی نسبت به نمونه خام بدون رنگ می‌باشند که نشان‌دهنده جذب بالاتر رنگ در این نمونه‌ها می‌باشد. قابل ذکر است که برای اختلاف رنگی، انحراف استاندارد زیر ۵٪ و برای درصد رمق‌کشی زیر ۱۰٪ بوده است.



شکل ۷: مقایسه قدرت رنگی نمونه‌های تهیه‌شده قبل و بعد از شستشو

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

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 پیش تکمیل 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
ΔE^* (Color difference)	0.45	1.74	2.21
E% (Dye exhaustion)	17	25	34

۸-۳- تأثیر پیش تکمیل‌های فیزیکی بر روی خواص ضدباکتری پارچه

نتایج مشاهده شده در جدول ۷ نشان می‌دهد که نمونه پارچه رنگرزی شده پنبه-پلی‌استر بدون پیش تکمیل، دارای خاصیت ضدباکتری در برابر دو باکتری مورد استفاده نمی‌باشد. پیش تکمیل‌های انجام گرفته توسط اشعه UV و تکمیل پلاسما منجر به افزایش خاصیت ضدباکتری نمونه‌ها داشته است که این می‌تواند به دلیل افزایش جذب رنگ با عملیات‌های پیش تکمیل باشد. نتایج موجود در جدول ۷ نشان می‌دهد که نمونه‌های رنگی پیش تکمیل نسبت به نمونه‌رنگی فاقد پیش تکمیل دارای خاصیت ضدباکتری بالاتری در برابر هر دو باکتری می‌باشد. بعلاوه، اثر ضدباکتری رنگزای رازیانه بر روی گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس بیشتر از باکتری گرم منفی اشرشیا کولای است. علت این امر را می‌توان به دارابودن لایه لیپوپلی‌ساکارید در باکتری‌های گرم منفی نسبت به باکتری‌های گرم مثبت نسبت داد که در برابر اثرذات ضدباکتری عصاره رنگزاهای طبیعی مقاوم‌تر می‌باشند. فعالیت ضدباکتریایی رنگزای رازیانه را می‌توان به متابولیت‌های 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 آن‌ها در برابر باکتری‌های بیماری‌زا بیشتر می‌باشد (۵۸-۵۹). به منظور بررسی پایداری این خاصیت، میزان کاهش باکتری‌های زنده بعد از ۱۰ بار شستشو بر روی این نمونه‌ها مجدداً بررسی شدند. نتایج در جدول ۷ نشان داد که شستشو، تأثیر چندانی بر روی خاصیت ضدباکتری نمونه‌ها نداشته است هرچند به میزان جزئی کاهش پیدا نموده است و این نشان‌دهنده آن است که مولکول‌های رنگی موجود بر روی پارچه‌ها، تثبیت شده‌اند. در شکل ۸ نیز میزان رشد باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس و باکتری گرم منفی اشرشیا کولای در محلول آگار بر روی نمونه‌ها بعد از شستشو مشاهده می‌گردد.

همانطور که از تصاویر نیز مشخص است وجود رنگزا بر روی کالا نتوانسته است تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی رشد باکتری‌ها داشته باشد و هاله عدم رشد تمام نمونه‌ها تقریباً مشابه می‌باشد.

جدول ۷: درصد کاهش باکتری برای نمونه‌های تهیه‌شده در برابر دو نوع باکتری قبل و بعد از شستشو

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

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



شکل ۸- فعالیت ضد میکروبی پارچه بدون رنگ، پیش تکمیل شده و رنگی پنبه-پلی استر در برابر باکتری‌های ای.کولای و اس.آرئوس

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

۹-۳- تأثیر پیش تکمیل‌های بر روی خواص محافظتی پارچه در برابر تابش UV:

نمونه‌های ۵×۵ سانتی متر برش داده شد و اندازه‌گیری‌های انتقال بین ۴۰۰-۲۹۰ نانومتر انجام شد. میانگین (%) مقادیر انتقال UVA

مقاله پذیرفته شده

(315-400) نانومتر و UVB (290-315) نانومتر در نتیجه محاسبه سه اندازه‌گیری برای هر کدام به دست آمد. بر اساس 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 اشعه 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 رنگریزی و پیش‌دندانه فاقد فاکتور محافظتی UV می‌باشند. نمونه‌های رنگریزی‌شده با رنگزای رازیانه و بدون پیش‌تکمیل دارای فاکتور محافظتی UV پایینی می‌باشد. نمونه پیش‌تکمیل با پلاسما و رنگریزی‌شده و همچنین نمونه پیش‌تکمیل با UV و رنگریزی‌شده دارای مقدار محافظتی بالایی در برابر تابش فرا بنفش می‌باشند.

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

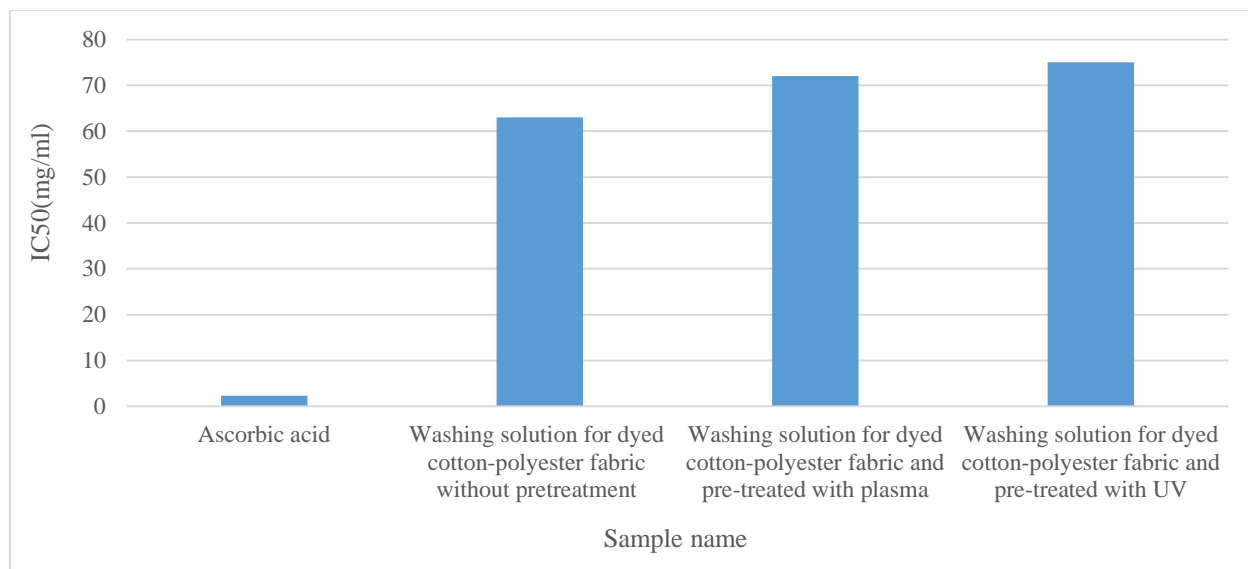
Table 8: UV protection properties of undyed and dyed cotton-PET fabrics

	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

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 رنگریزی‌شده با رنگزای رازیانه، دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشند. بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به محلولی می‌باشد که فقط حاوی آسکوربیک اسید می‌باشد. محلول‌های شستشو حاوی نمونه‌های رنگی دارای خاصیت مهار رادیکالی می‌باشند. 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 می‌باشد. با نگاه دیگر، این نمودار نشان می‌دهد که کمترین میزان مولکول‌های رنگزا در این محلول قرار 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 می‌باشد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های پیش‌تکمیل‌شده نسبت به نمونه رنگی فاقد پیش‌تکمیل‌شده دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری می‌باشند. قابل ذکر است که

رنگزای رازیانه به دلیل داشتن ترکیباتی همچون ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی قابلیت جذب رادیکال‌های آزاد را دارند (۱۶).



شکل ۹: مقایسه خاصیت آنتی‌اکسیدانی محلول‌های شستشوی نمونه‌های رنگی بدون

پیش‌تکمیل و پیش‌تکمیل‌شده در مهار رادیکال‌های 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.

۱۱-۳- سنجش میزان فلاونوئید کل و پلی فنل کل عصاره استخراج شده

برای اندازه‌گیری فنل‌ها و پلی‌فنل‌های کلی موجود در عصاره نهایی از منحنی کالیبراسیون معادله رگرسیون با اسید گالیک انجام شد و محتوای کل فنل‌ها به عنوان یک معادل اسید گالیک بیان شد ($y=0.887x+0.02$, $R^2=0.951$). برای بیان میزان فلاونوئید کلی از کوئرستین به عنوان مرجع استفاده شد (۶۲-۶۱). نتایج به عنوان معادل کوئرستین به دست آمده از یک منحنی کالیبراسیون که با معادله زیر توصیف شده است بیان شد:

($y=28.240x-0.052$, $R^2=0.99$). محتوای فلاونوئید به صورت میلی گرم معادل کوئرستین در هر ۱ گرم ماده خام بیان شد که در جدول ۹ نشان

داده شده‌اند.

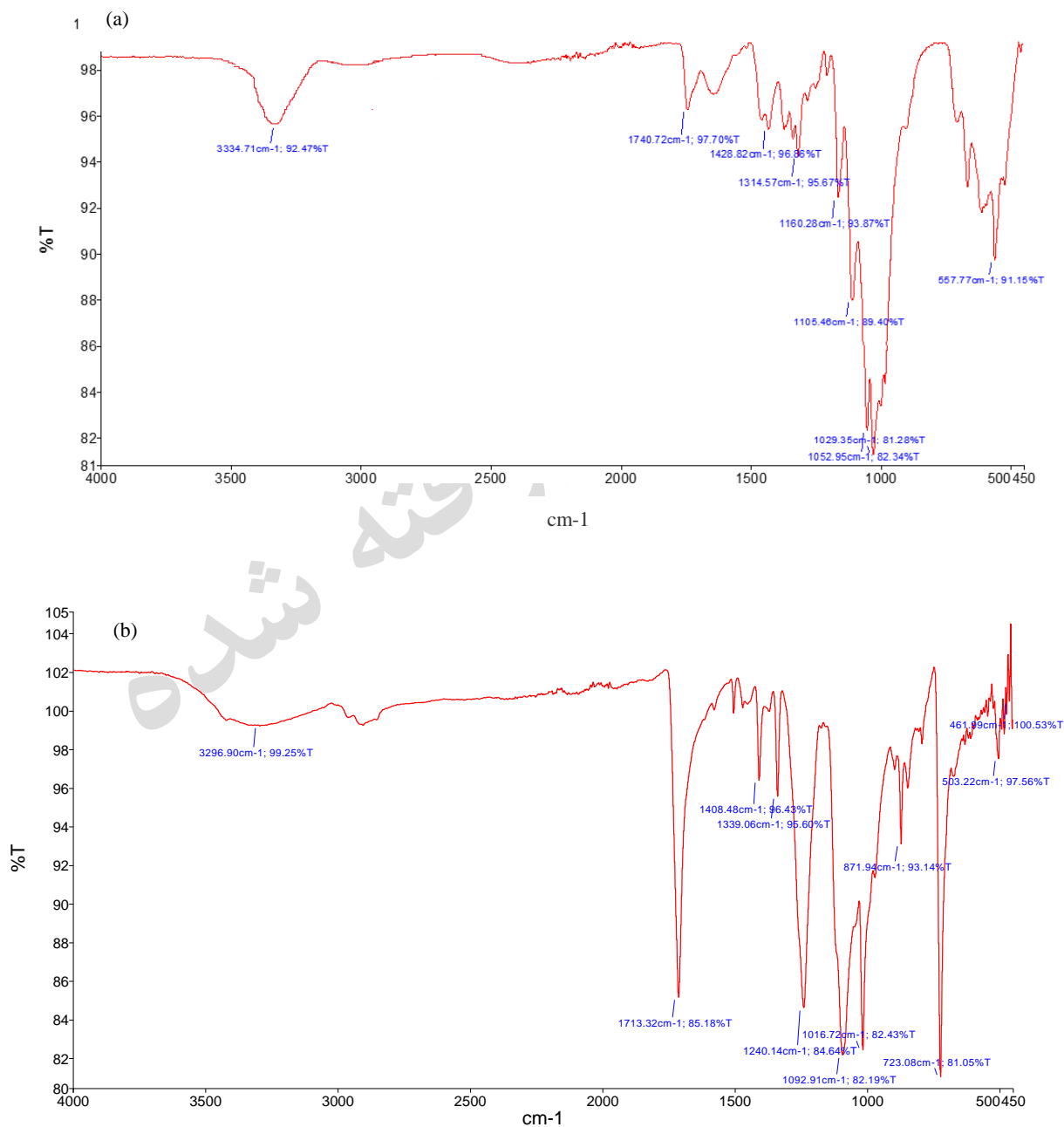
جدول ۹: کل فنول‌ها و فلاونوئیدهای موجود در رنگزاهای استخراج شده در حلال اتانول

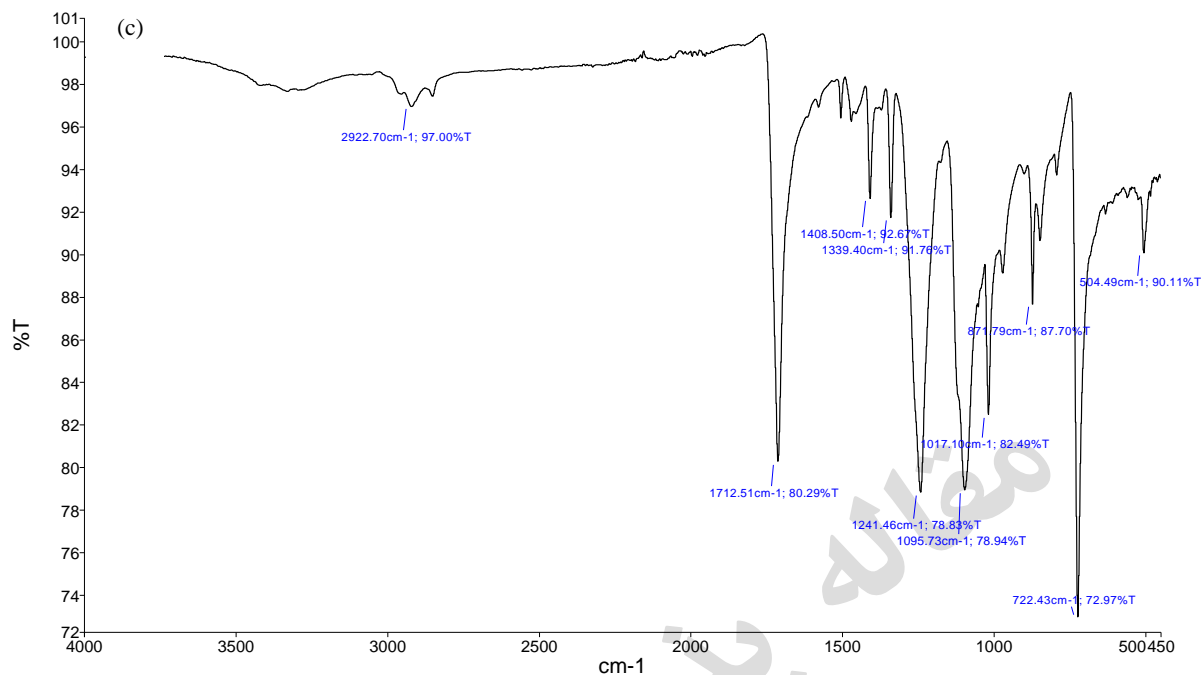
Table 9. Total Phenolics and Flavonoids Present in Dyes Extracted in ethanol Solvent

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

۱۲-۳- بررسی طیف FTIR نمونه خام و نمونه های رنگی پیش تکمیل شده

شکل ۱۰ (a) طیف FTIR پارچه پنبه-پلی استر رنگرزی شده بدون پیش تکمیل می باشد. قله در ۳۳۳۴ مربوط به گروه هیدروکسیل پنبه و گروه هیدروکسیل کربوکسیل پلی استر می باشد. قله ۱۷۴۰ مربوط به گروه کربوکسیل پلی استر می باشد. قله ۱۴۲۸ مربوط به CH خمشی درون صفحه می باشد و ۱۰۲۹ مربوط به کششی CO می باشد.





شکل ۱۰ (a) طیف FTIR نمونه رنگریزی شده بدون پیش تکمیل و (b) پیش تکمیل با اشعه UV و (c) پیش تکمیل با پلاسما

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

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود ترکیبات موجود در رازیانه حاوی گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل، کربونیل، پیوندهای اتری و پیوندهای دوگانه حلقوی کربن-کربن می‌باشند. انجام عملیات پیش تکمیل UV و پلاسما منجر به شکل‌گیری گروه‌های عاملی بر روی سطح کالای پنبه-پلی‌استر می‌گردد و از این رو واکنش‌پذیری آن‌ها را افزایش می‌دهند. همانطور که در شکل‌های ۱۰ مشاهده می‌گردد تغییری در طیف FTIR نمونه‌ها ایجاد نشده است ولی شدت قله‌ها در برخی از نقاط تغییر کرده است. در ۱۰ (b) و ۱۰ (c) 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 روی سطح کالای پنبه-پلی‌استر باشد. از طرف دیگر شدت قله در ناحیه ۱۷۴۰ که مربوط به ارتعاشات کششی گروه کربونیل می‌باشد، افزایش یافته است که این می‌تواند به دلیل تشکیل این گروه‌های عاملی بر روی سطح الباف به دلیل تابش اشعه UV و گاز پلاسما باشد. از آنجاییکه گروه‌های عاملی موجود بر روی کالای پنبه-پلی‌استر مشابه گروه‌های عاملی رنگزای رازیانه می‌باشد و همچنین وجود مقدار ناچیز جذب رنگزا بر روی کالای پنبه-پلی‌استر تغییرات قابل ملاحظه‌ای در طیف FTIR نمونه‌ها مشاهده نمی‌گردد.

۱۳-۳- انواع ثبات نمونه‌های تهیه شده

همانطور که در جدول ۱۰ نشان داده شده است نمونه بدون پیش تکمیل فاقد ثبات شستشویی می‌باشد که می‌توان به دلیل عدم تثبیت مولکول‌های رنگزا با الیاف مخلوط پنبه- پلی‌استر باشد. نمونه‌های پیش تکمیل شده دارای ثبات شستشویی خوبی می‌باشند که می‌تواند به دلیل افزایش گروه‌های عاملی جدید بر روی سطح پارچه توسط عملیات‌های پیش تکمیلی 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 جذب کرده‌اند که دوباره بازتاب نمی‌کنند زیرا نور انرژی است و وقتی این انرژی دوباره جذب و بازتاب می‌شود و ممکن است به رنگدانه‌ها و رنگزها آسیب رساند. همچنین پایداری نور پارچه رنگ‌رزی شده، تحت تأثیر وضعیت فیزیکی و غلظت رنگ، مواد شیمیایی، ماهیت الیاف و نوع رنگزا است. نتایج ثبات نوری نمونه‌های رنگ‌رزی شده نشان می‌دهد که برای تمام نمونه‌ها، ثبات نوری مناسب می‌باشد.

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 ۲-۱ می‌باشد در حالیکه برای ثبات در برابر تعریق در شرایط قلیایی از ۴-۳ نشان می‌دهد.

پایداری رنگ در برابر مالش یک آزمون مهم برای اندازه‌گیری ثبات رنگ است زیرا با مالش در حالت مرطوب و خشک، رنگ 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 می‌باشند و این بدان معناست که ثبات مالشی این نمونه‌ها متوسط به بالا می‌باشد.



















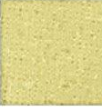


جدول ۱۰: ثبات شستشویی، نوری، ثبات در برابر تعریق و ثبات مالشی نمونه‌های رنگ‌رزی شده

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

مقاله پذیرفته شده

همچنین تصاویر مربوط به نمونه‌هایی که ثابت آن‌ها اندازه‌گیری شده است در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود.

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

۴- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، رنگرزی پارچه مخلوط پنبه-پلی‌استر با رنگزای طبیعی رازیانه می‌باشد. به منظور بهبود رنگپذیری نمونه‌ها، از فناوری پلاسما و تابش اشعه UV به عنوان روش‌های پیش‌تکمیل استفاده گردید. پس از رنگرزی نمونه‌های پارچه‌ای، خواص نمونه‌های رنگرزی‌شده و همچنین پیش‌تکمیل بررسی شدند. نتایج نشان داد که عملیات‌های پیش‌تکمیل منجر به افزایش جذب رنگزای می‌گردند (مقدار ۲/۵ و ۵/۷۲ برای نمونه‌های رنگی پیش‌تکمیل با عملیات پلاسما و UV). همچنین عملیات‌های پیش‌تکمیل نه تنها منجر به افزایش قدرت رنگی (مقدار ۱/۴۹ و ۲/۵۱ برای نمونه‌های رنگی پیش‌تکمیل با عملیات پلاسما و UV) و همچنین افزایش درصد رمق‌کشی رنگزا در حمام رنگرزی می‌شود (برای نمونه‌های پیش‌تکمیل با پلاسما و اشعه فرابنفش درصد رمق‌کشی به ترتیب ۲۵ و ۳۴ درصد می‌باشد در صورتیکه این مقدار برای نمونه‌های فاقد عملیات پیش‌تکمیل ۱۷٪ می‌باشد) بلکه نمونه‌های پیش‌تکمیل و رنگرزی‌شده دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و محافظت در برابر UV مناسبی می‌باشند. بنابراین عملیات‌های پلاسما و تابش UV می‌تواند برای رنگرزی پارچه‌های خالص پنبه و پلی‌استر و یا مخلوط آن‌ها با درصد‌های مختلف برای بهبود قدرت رنگی و خواص ثبات رنگی دیگر رنگزاهای طبیعی مورد استفاده قرار گیرند. این دو روش تکمیلی به دلیل سازگاری با محیط زیست و همچنین کاهش

آلودگی‌های حاصل از پساب‌های رنگریزی، 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.

References:

- [1] 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>.
- [2] 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.
- [3] 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. 10.1039/d2ma00701k.
- [4] Shahidi She, Moazzenchi B, Comparison between Mordant Treatment and Plasma Sputtering on Natural Dying and UV Protection Properties of Wool Fabric, *Fibers and Polymers* 2019, 20(8); 1658-1665. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-2040-9>.
- [5] Gruji D, Savi A, Topali-Trivunovi L, Milanovi J, Aminoddin Haji, Plasma surface modification of textiles for application of natural dyes, In: Ul Islam Sh, 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.
- [6] Chavan RB. Health and environmental hazards of synthetic dyes [pHD thesis]. University of Bahir Dar, Bahir Dar. 2013.
- [13] 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. *Journal of Cleaner Production*. 2022; 349:131489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131489>.

- [7] M. Gorjan, A. Savi, L. Topali-Trivunovi, M. Mozeti, R. Zaplotnik, A. Vesel, 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>.
- [8] Gruji D., Savi A., Topali-Trivunovi L., Gorjanc M., Surface Modification of Textile for Antimicrobial Treatment with Medicinal Plant Extracts. Chapter in Handbook of Textile Coloration and Finishing (Mohammad Shahid, Guoqiang Chen, Ren-Cheng Tang), Studium Press LLC, U.S.A, 2018a, pp. 293-320.
- [9] Ibrahim, N.A., Eid, B.M., Kafafy, H., 2020. Sustainable colourants for protective textiles. In: ul-Islam, S., Butola, B.S. (Eds.), Advances in Functional and Protective Textiles. Woodhead Publishing, pp. 569–629.
- [10] 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] Ali SI, Revival of natural dyes in Asia, Journal of the Society of Dyers and Colourists. 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 Journal of Fibre and Textile Research. 2009; 34: 295-304.
- [13] Mingbo M, Rongxia L, Yangyang D, Zhirong T, Analysis of antibacterial properties of naturally colored cottons, Textile Research Journal. 2013; 83 (5): 462-470, <https://doi.org/10.1177/0040517512447585>.
- [14] Kumar Samanta A, Agarwal, P, Application of natural dyes on textiles, Indian Journal of Fiber and Textile Research, 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. Coloration Technology. 2012; 128(3):223-9. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2012.00367.x>
- [16] Dadalioğlu 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. Journal of agricultural and food chemistry. 2004; 52(26):8255-60. [10.1021/jf049033e](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 of Progress in Coloration and Related Topics*. 2000; 30:41-4.
- [19] Kumar D, Bhardwaj R, Jassal S, Goyal T, Khullar A, Gupta N. Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021:1-1. 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, *Journal Society of Dyers and Colourists*, 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, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2004; 43: 1041-1052. <https://doi.org/10.1081/PPT-200030016>.
- [23] Dongliang Dai, Meiwu Shi, Effects of electron beam irradiation on structure and properties of ultra-high molecular weight polyethylene fiber. *Journal of Industrial Textiles*, 2018; 47(6): 1-2. <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. *Research Journal of Textile and 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. *Journal of Cleaner Production*. 2022;3 35:130313. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130313>.
- [26] Essa DM, Recent techniques of surface modification for textile fabrics. *Journal of Measurement Science & Applications, 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. Journal of Studies in Color World. (2017); 7(3): 1-20 [In Persian].

[27] Peran J, Ercegović Ražić S. Application of atmospheric pressure plasma technology for textile surface modification. Textile research journal. 2020; 90(9-10):1174-97. <https://doi.org/10.1177/004051751988395>

[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 engineering. 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. Applied surface science. 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 and Polymers. 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. Processes. 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. Journal of Saudi Chemical Society. 2014; 18:606–609. [10.1016/j.jscs.2012.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.11.006).

[34] Ajmal, M., S. Adeel., M. Azeem., M. Zuber., N. Akhtar, and N. Iqbal. 2014. Modulation of pomegranate peels colourant characteristics for textile dyeing using high energy radiation. Industrial Crops and Products 58:188–193. [10.1016/j.indcrop.2014.04.026](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 Journal of Chemistry. 2014; 26:830–834. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2014.15829>.

[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. Radiation Physics and Chemistry. 2013; 92:71–75. [10.1016/j.radphyschem.2013.07.002](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 Journal Fiber and Textile Research*. 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. *Journal of 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 and Textiles in Eastern Europe*. 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. Pigment*. 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. *Materials Advances*. 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. *International Journal on Textile Engineering and 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*). *Radiation Physics and Chemistry* 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. *Journal of Saudi Chemical Society*. 2016;20(2):178-84. [10.1016/j.jscs.2012.12.014](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 and 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 Journal of Chemistry. 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. [10.1007/s10570-020-03471-5\(0123456789\(\),.-volIV\(\)\)](https://doi.org/10.1007/s10570-020-03471-5(0123456789(),.-volIV())).
- [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. Journal of Novel Researches on Plant Protection, 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 Chemistry. 2011 15; 125(4):1430-5. [10.1016/j.foodchem.2010.10.031](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. International Journal of Engineering & Technology. 2014; 14(5):17-23.
- [53] Badgajar SB, Patel VV, Bandivdekar AH. Foeniculum vulgare Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. BioMed research international. 2014; 2014(1):1-32. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/842674>
- [54] Hassan S, Saleh SM, Ismail EE, Abd Thaloth J. Ultraviolet Protection of Cotton Fabrics and Their Blends Using Natural Plant Extracts by Printing Style. Egyptian Journal of Chemistry. 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. Journal of applied polymer science. 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. Radiation Physics and Chemistry. 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. Journal of Studies in Color World. 2017; 7(3): 1-20. 20.1001.1.22517278.1396.7.3.2.6. [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. Journal of Saudi Chemical Society. 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. Journal of Babol University of Medical Sciences. 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 and Polymers. 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 chemistry & engineering. 2020; 8(7): 2822-2834. <https://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06928>.

[62] Boyadzhieva S, Angelov G. Optimization of water extraction of fennel seeds. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2014; 49(5): 447-450. <https://www.researchgate.net/publication/286816283>