

Synergistic Effects of Natural Colorants Derived from Oak bark, Spent Coffee Grounds, Cinnamon, and Clove on the Colorimetric Properties and Fastness Performance of Dyed Wool Fabrics

Majid Tehrani^{*1}, Mousa Sadeghi-Kiakhani², Fatemeh Zarei¹

1- Department of Art, Shahrekord University, P.O. Box: 5681188617, Shahrekord, Iran

2- Department of Organic Colorants, Institute for Color, Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 03-03-2026

Accepted: 02-06-2026

Available online: 10-06-2026

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOI:10.30509/jcst.2026.167781.1283

Keywords:

Natural dyes

Dye combinations

Brown hue

Bio-mordant

Dyeing methods

Wool fibers

ABSTRACT

Environmental pressures and emerging requirements for cleaner production across the textile industry value chain have highlighted natural dye-based approaches and low-impact mordanting systems as practical alternatives for textile coloration. In this study, the synergistic effects of four natural dye sources including oak bark, spent coffee grounds, cinnamon, and clove, on the colorimetric properties and fastness performance of wool fabric were investigated. The performance of the metallic mordant alum was compared with that of a bio-mordant derived from pine-cone, and the influence of mordanting technique was evaluated under pre-mordanting, simultaneous, and post-mordanting conditions. The results indicated that oak bark and clove, owing to their high polyphenolic content, produced greater (7.38 and 8.24) color depth. In binary and multicomponent dye combinations, reduced reflectance in the 400–500 nm region and enhanced absorption were observed. When alum was used as the mordant, post-mordanting generally yielded the highest color strength, whereas pre-mordanting provided more favorable results in the case of the pine-cone bio-mordant. Washing fastness ratings were predominantly in the range of 4–5, and light fastness values were approximately 5–6, indicating acceptable color stability in the dyed samples. Overall, the findings demonstrate that the targeted design of natural dye combinations in conjunction with low-impact mordants enables the achievement of warm hues with satisfactory fastness properties and can be proposed as a practical strategy for sustainable dyeing of wool fibers.

*Corresponding author: * mtehrani@sku.ac.ir





تأثیر هم‌افزایی رنگزاهای طبیعی جفت، پسماند قهوه، دارچین و میخک بر ویژگی‌های رنگ و خواص ثباتی پارچه پشمی رنگرزی شده

مجید طهرانی^{۱*}، موسی صادقی کیاخانی^۲، فاطمه زارعی^۳

۱- دانشیار، دانشکده هنر، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، صندوق پستی: ۵۶۸۱۱۸۸۶۱۷

۲- دانشیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، پژوهشکده مواد رنگزا، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

۳- کارشناس، دانشکده هنر، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، صندوق پستی: ۵۶۸۱۱۸۸۶۱۷

چکیده

فشارهای زیست‌محیطی و الزامات نوین تولید پاک در زنجیره ارزش صنعت نساجی، رویکردهای مبتنی بر رنگزاهای طبیعی و دندانه‌های کم‌خطر را به‌عنوان گزینه‌ای کاربردی برای رنگرزی منسوجات برجسته کرده است. در این پژوهش، اثر هم‌افزایی عصاره‌های حاصل از چهار منبع رنگزای طبیعی شامل جفت، پسماند قهوه، دارچین و میخک بر ویژگی‌های رنگی و خواص ثباتی پارچه پشمی بررسی شده است. همچنین کارایی دندانه فلزی زاج سفید با دندانه زیستی مخروط کاج مقایسه گردید و نقش روش دندانه‌دهی در سه حالت پیش‌دندانه، هم‌زمان و پس‌دندانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد جفت و میخک به دلیل غنای ترکیبات پلی‌فنولی، عمق رنگ بالاتری (۷/۳۸ و ۸/۲۴) ایجاد می‌کنند و در برخی ترکیبات دوتایی و چندگانه، کاهش بازتاب در ناحیه ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر و بهبود جذب مشاهده می‌شود. در هنگام استفاده از دندانه زاج سفید، روش پس‌دندانه در اغلب نمونه‌ها بالاترین قدرت رنگ را فراهم کرد، درحالی‌که در دندانه زیستی مخروط کاج، روش پیش‌دندانه عمدتاً نتایج مناسب‌تری ارائه داد. مقادیر ثبات شستشویی عموماً در بازه ۴ تا ۵ و ثبات نوری در حدود ۵ تا ۶ به دست آمد که بیانگر پایداری قابل قبول رنگ در نمونه‌های رنگرزی شده است. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد طراحی هدفمند ترکیبات رنگزای طبیعی همراه با دندانه‌های کم‌خطر، قابلیت دستیابی به فام‌های گرم و خواص ثباتی مناسب را فراهم می‌کند و می‌تواند به‌عنوان رویکردی عملی برای رنگرزی پایدار الیاف پشم پیشنهاد شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOI: 10.30509/jst.2026.167781.1283

واژه‌های کلیدی:

رنگزاهای طبیعی

ترکیب رنگزا

فام قهوه‌ای

دندانه زیستی

روش رنگرزی

الیاف پشم



۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از رنگ‌زاهای طبیعی به عنوان جایگزینی پایدار برای رنگ‌زاهای مصنوعی در صنعت نساجی مورد توجه محققان و صنعتگران قرار گرفته است. این تغییر رویکرد ناشی از نگرانی‌های زیست‌محیطی و سلامت محور مرتبط با مصرف گسترده رنگ‌زاهای مصنوعی است که معمولاً حاوی ترکیبات آلی فرار، آمین‌های سرطان‌زا و مواد سمی ماندگار هستند. رنگ‌زاهای طبیعی که از منابع گیاهی، جانوری یا معدنی استخراج می‌شوند، علاوه بر زیست‌تجزیه‌پذیری و سازگاری با محیط‌زیست، از مزایای عملکردی مهمی نیز برخوردار هستند (۱، ۲). برخی از این مواد دارای ترکیبات ضدباکتری، ضدقارچ، پاداکسنده، جذب‌کننده پرتو فرابنفش و حتی خاصیت‌های ضدالتهابی هستند که نه تنها فرایند رنگ‌رزی را پایدارتر می‌کنند، بلکه ممکن است باعث افزایش ارزش عملکردی محصول نهایی شوند (۳-۵). این ویژگی‌های چندمنظوره، رنگ‌زاهای طبیعی را به گزینه‌ای جذاب، کم‌خطر و بادوام در صنعت رنگ‌رزی منسوجات تبدیل کرده است.

با وجود این مزایا، کاربرد صنعتی رنگ‌زاهای طبیعی با چالش‌های قابل توجهی همراه است. از مهم‌ترین محدودیت‌ها می‌توان به قدرت رنگ‌دهی پایین این رنگ‌زاهای نسبت به رنگ‌زاهای مصنوعی و نیاز آنها به استفاده از دندانه برای دستیابی به فام‌های عمیق و یکنواخت اشاره کرد. بسیاری از رنگ‌زاهای طبیعی به دلیل برهم‌کنش ضعیف‌تر با الیاف، در غیاب دندانه‌های مناسب، جذب و تثبیت کمتری نشان می‌دهند و در نتیجه، شدت رنگ و یکنواختی در فرایند رنگ‌رزی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، ثبات نوری و شست‌شویی رنگ‌های حاصل از منابع طبیعی در بسیاری از موارد پایین‌تر گزارش شده است و رنگ ممکن است در هنگام شستشو، نور، حرارت، تعریق و شرایط محیطی، دچار کاهش شدت و یا تغییر فام شود (۶-۸). وابستگی رفتار رنگ‌زاهای طبیعی به عوامل رنگ‌رزی و شرایط دندانه‌دادن نیز به پیچیدگی فرایند رنگ‌رزی می‌افزاید و کنترل صنعتی آن را دشوارتر می‌کند. همچنین، هرچند استفاده از دندانه‌های فلزی می‌تواند بهبود محسوسی در تثبیت رنگ ایجاد کند، اما خود این ترکیبات در صورت انتخاب نامناسب، ممکن است با الزامات زیست‌محیطی و سلامت‌محور ناسازگار باشند (۹). مجموعه این عوامل موجب شده است که شناسایی رنگ‌زاهای منظر کارآیی رنگی، ثبات و سازگاری با محیط‌زیست، همچنان یکی از محورهای مهم پژوهش‌های نوین در حوزه رنگ‌رزی سبز به شمار آید.

برای رفع این معایب، پژوهش‌های معاصر به طور فزاینده‌ای به سمت شناسایی رنگ‌زاهای طبیعی جدید، ترکیب هدفمند رنگ‌زاهای گیاهی با یکدیگر، بهبود روش‌های استخراج مواد رنگ‌زا و توسعه رویکردهای نوین دندانه‌دادن با هدف ارتقای کارایی و پایداری فرایند رنگ‌رزی سوق یافته‌اند. یکی از رویکردهای مهم در این زمینه، بهره‌گیری از پسماندهای کشاورزی به عنوان منابع در دسترس و کم

هزینه رنگ‌زا است (۱۰-۱۲). این پسماندها که شامل اجزایی مانند ساقه، برگ، پوست میوه‌ها و سایر ضایعات گیاهی هستند، علاوه بر برخورداری از قابلیت رنگ‌دهی مناسب، سرشار از ترکیبات پلی‌فنولی، آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و سایر مواد فعال زیستی هستند که در صورت استفاده همراه با دندانه‌های طبیعی، می‌توانند عملکرد رنگ‌رزی را به طور معناداری بهبود بخشند (۱۵-۱۳). بهره‌گیری از دندانه‌های زیست‌پایه‌ای نظیر پوست میوه بلوط (جفت) و یا مخروط کاج، ضمن تقویت جذب و تثبیت رنگ بر روی الیاف، به کاهش وابستگی به دندانه‌های فلزی با اثرات زیست‌محیطی نامطلوب کمک می‌کند (۱۷) (۱۶، ۱۱). از این رو، استفاده هدفمند از پسماندهای کشاورزی نه تنها به کاهش هزینه‌های مواد اولیه و بهبود مدیریت ضایعات منجر می‌شود، بلکه به عنوان راهبردی مؤثر در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی فرایندهای رنگ‌رزی و ارتقای پایداری زنجیره تولید رنگ‌زاهای طبیعی مطرح است.

در این پژوهش، عصاره‌های حاصل از چهار منبع رنگ‌زای طبیعی شامل پوست میوه بلوط، دارچین، دانه میخک و پسماند قهوه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این منابع عمدتاً طیف‌هایی در بازه قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به زرد و قرمز ایجاد می‌کنند و به دلیل تفاوت‌های ساختاری و ترکیبی، رفتارهای رنگی و الگوهای پایداری متفاوتی از خود نشان می‌دهند (۱۹-۱۷، ۱۱). پوست درخت بلوط، که در متون رنگ‌رزی به‌عنوان جفت نیز شناخته می‌شود، سرشار از تانن‌های هیدرولیزشونده، فلاونوئیدها و سایر ترکیبات پلی‌فنلی است. وجود مقادیر قابل توجهی مواد رنگی و مازوجی در جفت، آن را به یک رنگ‌زای طبیعی قدرتمند تبدیل کرده است. همچنین جفت به عنوان یک دندانه طبیعی مؤثر عمل می‌کند؛ به‌گونه‌ای که با ایجاد پیوند با سطح الیاف طبیعی، موجب بهبود جذب، تثبیت و پایداری رنگ می‌شود. علاوه بر این، به دلیل غلظت بالای تانن‌ها و فلاونوئیدها، جفت دارای خواص ضد عفونی‌کنندگی، ضدباکتری و پاداکسنده است و می‌تواند از منسوج رنگ‌رزی شده در برابر تخریب زیستی و آلودگی‌های میکروبی محافظت کند (۲۱-۱۹). دارچین، به عنوان رنگ‌زای حاصل از پوست درخت دارچین سیلان، طیفی از رنگ‌های زرد تا قهوه‌ای روشن تولید می‌کند و حاوی بیش از هشتاد ترکیب آروماتیک شامل سینامالدهید، تانن‌ها و فلاونوئیدها است. سینامالدهید و تانن‌ها به‌عنوان رنگ‌سازهای اصلی، ضمن ایجاد فام‌های ویژه، ثبات نوری و شست‌شویی رنگ را افزایش داده و با کاهش رشد میکروارگانیسم‌ها، عملکرد بهداشتی منسوج را بهبود می‌بخشند (۲۲، ۱۷، ۱۲). میخک غنی از اوژنول، بتاکاریوفیلین و سایر ترکیبات فنلی است. در شرایط رنگ‌رزی، این ترکیبات به‌ویژه در حضور یون‌های فلزی فام‌های قهوه‌ای تیره‌تری

1. Cinnamomum verum
2. Syzygium aromaticum

۲ درصد شوینده غیر یونی (لیساپول ان سی^۱ شرکت آی‌سی‌آی) به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد شستشو داده شد و سپس با آب مقطر آبکشی گردید.

برای دنداندهی از دو نوع دنداندهی شامل زاج سفید (شرکت مرک) و عصاره طبیعی مخروط کاج استفاده شد. مخروط‌های خشک کاج مورد استفاده از جنگل‌های کاج در استان اصفهان در فصل زمستان جمع‌آوری شدند. عصاره مخروط کاج از طریق حرارت‌دهی ۱۰ گرم پودر مخروط کاج در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تهیه و سپس صاف شد. در تمامی مراحل دنداندهی و رنگ‌رزی، قبل از شروع فرایند از اسید استیک (شرکت مرک) و دستگاه pH متر شرکت آلفاتک برای تنظیم pH استفاده گردید.

۲-۲- استخراج رنگزا

استخراج رنگزاهای طبیعی از طریق حرارت‌دهی ۲۰ گرم از پودر هر منبع گیاهی در ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر انجام شد. مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تحت حرارت قرار گرفت و پس از سرد شدن، ابتدا از صافی پارچه‌ای و سپس از فیلتر واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد تا عصاره‌ای شفاف و فاقد ذرات معلق حاصل شود. عصاره‌های استخراج‌شده در همان روز تهیه، مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۳- فرایند دنداندهی و رنگ‌رزی

سه روش پیش‌دنداندهی، هم‌زمان و پس‌دنداندهی برای بررسی تأثیر نوع فرایند دنداندهی بر تثبیت و شدت رنگ مورد استفاده قرار گرفت. در تمامی روش‌ها نسبت حجم حمام به کالا ۵:۱ و pH روی مقدار ۴/۵ تنظیم شد. در روش پیش‌دنداندهی، ابتدا پارچه‌های پشمی در محلول دنداندهی (۱۰ درصد نسبت به وزن کالا از زاج سفید و ۱۵ درصد نسبت به وزن کالا از عصاره مخروط کاج) به مدت ۸۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، سپس پارچه‌ها در حمام رنگ‌رزی حاوی عصاره‌های چهارگانه با غلظت‌های مختلف شامل ۸۰ درصد، ۴۰ درصد، ۲۷ درصد و ۲۰ درصد وزنی نسبت به وزن کالا، مطابق جدول ۱ قرار داده شدند. در فرایند رنگ‌رزی، دمای حمام از ۴۰ درجه سانتی‌گراد آغاز و طی ۳۰ دقیقه به ۹۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و در ادامه به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. در پایان فرایند رنگ‌رزی، نمونه‌ها آبکشی و در دمای محیط خشک شدند. در روش هم‌زمان، دنداندهی به‌طور مستقیم همراه با عصاره رنگزا به حمام رنگ افزوده شد. در روش پس‌دنداندهی، نمونه‌ها پس از تکمیل مرحله رنگ‌رزی تحت شرایط مشابه روش پیش‌دنداندهی، دنداندهی داده شدند.

ایجاد می‌کنند. هم‌زمان، خواص ضدباکتری، ضدقارچ و پاداکسنده این ترکیبات، استفاده از میخک را برای تولید منسوجات با کارکردهای بهداشتی و کاهش بو مناسب می‌سازد (۲۳، ۱۸). قهوه نیز، به ویژه در قالب پسماندهای فرآوری، حاوی پلی‌فنل‌ها، ملانوتین‌ها، تانن‌ها و کافئین است که طیفی از رنگ‌های قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به قرمز ایجاد می‌کنند. ملانوتین‌ها با قابلیت برهم‌کنش با گروه‌های آمینو بیاف پروتئینی، شدت رنگ را افزایش می‌دهند و ترکیبات پلی‌فنل موجود در قهوه باعث کاهش تخریب نوری و ارتقای ثبات رنگ می‌شوند (۲۴، ۱۱). به این ترتیب، هر یک از این چهار منبع رنگزای طبیعی، علاوه بر ایجاد فام‌های متنوع در محدوده قهوه‌ای، دارای ویژگی‌های زیستی و عملکردی قابل توجهی هستند که در صورت بهره‌برداری مناسب، می‌توانند در طراحی فرایندهای رنگ‌رزی طبیعی پیشرفته و تولید منسوجات چندکاره نقش مؤثری ایفا کنند.

با وجود مطالعات متعدد روی هر یک از این رنگزاهای طبیعی به‌طور جداگانه، کاربرد ترکیبی آن‌ها در یک فرایند مشترک رنگ‌رزی و بررسی اثرات هم‌افزایی احتمالی میان آن‌ها تاکنون بررسی نشده است. بر این اساس، اهداف اصلی این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- بررسی اثر ترکیب چهار رنگزای طبیعی (جفت، دارچین، میخک و پسماند قهوه) بر ویژگی‌های رنگی و پایداری رنگ پارچه پشمی.

۲- ارزیابی تأثیر سه روش دنداندهی (پیش‌دنداندهی، هم‌زمان و پس‌دنداندهی) در کنار دو نوع دنداندهی (زاج سفید و عصاره مخروط کاج) بر شدت رنگ، مختصات رنگی و ثبات در برابر شستشو و نور. نوآوری این مطالعه در استفاده هم‌زمان از چهار رنگزای طبیعی مکمل و جایگزینی دنداندهی زیست‌پایه (مخروط کاج) به جای دنداندهی فلزی متداول است که می‌تواند گامی به‌سوی رنگ‌رزی پایدارتر و کاهش اثرات زیست‌محیطی باشد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد اولیه و آماده‌سازی

در این پژوهش از چهار منبع رنگزای طبیعی شامل جفت، دارچین، میخک و پسماند قهوه استفاده شد. رنگزاهای دارچین و میخک از بازارهای محلی و پسماندهای قهوه نوع عربی از قهوه‌خانه‌های محلی تهیه شدند. جفت مورد نیاز نیز از جنگلهای بلوط زاگرس در استان چهارمحال و بختیاری در فصل پاییز جمع‌آوری شد. ابتدا این مواد با آب مقطر شسته و پس از خشک‌کردن در دمای محیط، توسط آسیاب صنعتی پودر و یکنواخت‌سازی شدند.

منسوج مورد استفاده، پارچه ۱۰۰ درصد پشمی با وزن ۲۸۰ گرم در مترمربع بود. پیش از انجام فرایندهای دنداندهی و رنگ‌رزی، به منظور حذف آلودگی‌ها و چربی‌های سطحی، پارچه پشمی در محلول

1. Lissapol NC
2. ICI Company

جدول ۱: نوع و غلظت رنگزا (درصد وزنی نسبت به وزن کالا) در پارچه‌های پشمی رنگرزی شده.

Table 1: Type and concentration of natural dyes (o.w.f.%) in dyed wool fabrics.

Sample code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Oak bark	80				40	40	40				27	27	27		20
Cinnamon		80			40			40	40		27		27	27	20
Clove			80			40		40		40	27	27		27	20
Coffee				80			40		40	40		27	27	27	20

رنگزاهای طبیعی جفت، دارچین، میخک، پسماند قهوه و ترکیب‌های مختلف آن‌ها را در گستره طیف مرئی نشان می‌دهد. بررسی منحنی‌های بازتاب بیانگر آن است که در تمامی نمونه‌ها، کمترین مقدار بازتاب در محدوده طول موج ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر مشاهده می‌شود. این ناحیه متناظر با جذب بخش آبی-بنفش طیف مرئی است و کاهش بازتاب در این بازه منجر به تقویت حضور رنگ‌های مکمل، به‌ویژه فام‌های زرد، نارنجی و قهوه‌ای، در ظاهر پارچه‌های رنگرزی شده می‌گردد. این موضوع با مقادیر مثبت b^* (در بازه حدود ۱۸/۹ تا ۲۹/۴) و زاویه فام (تقریباً ۶۱ تا ۷۵ درجه) گزارش شده در جدول ۲ مطابقت داشته و نشان‌دهنده غالب بودن فام‌های گرم در تمامی نمونه‌ها است. افزایش نسبی بازتاب در محدوده حدود ۷۰۰-۵۵۰ نانومتر نیز بیانگر جذب کمتر در ناحیه سبز تا قرمز طیف بوده که با توزیع نقاط در ناحیه زرد-قهوه‌ای نمودار a^*-b^* در شکل ۲ هم‌خوانی دارد.

مقایسه رنگزاهای خالص نشان می‌دهد که نمونه‌های رنگرزی شده با جفت کم‌ترین میزان بازتاب را در کل طیف مرئی، به‌ویژه در بازه ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر، از خود نشان داده‌اند. این رفتار با مقادیر پایین‌تر روشنایی (L^*) و قدرت رنگی بالاتر (K/S) در جدول ۲ همراه است؛ نمونه ۱ که حاوی جفت است، دارای روشنایی برابر با ۴۸/۳۷ و قدرت رنگی برابر با ۷/۳۸ می‌باشد که بیانگر جذب نوری بالا و ایجاد فام تیره‌تر است. این ویژگی را می‌توان به حضور غلظت بالای تانن‌ها و ترکیبات پلی‌فنلی در جفت نسبت داد که قابلیت ایجاد برهم‌کنش‌های قوی با گروه‌های عاملی الیاف پشم را دارند (۲۱-۱۹). جایگاه این نمونه‌ها در نمودار C^*-L^* شکل ۲ نیز نشان‌دهنده ترکیب روشنایی کمتر با اشباع رنگی نسبتاً بالا است. میخک نیز الگوی بازتابی مشابهی با جفت نشان می‌دهد، با این تفاوت که مقدار بازتاب آن در اکثر طول موج‌ها اندکی بیشتر است. این موضوع با مقدار قدرت رنگی بالا (۸/۲۴) و مقدار روشنایی میانی (۵۷/۱۳) سازگار است. حضور میخک منجر به ایجاد فام‌های قهوه‌ای تیره با اشباع رنگی مناسب (C^*) تا حدود ۳۰/۶۵ در نمونه ۳ شده است که این امر در توزیع نقاط نمودار a^*-b^* نیز قابل مشاهده است. در مقابل، نمونه‌های رنگرزی شده با پسماند قهوه بازتاب بیشتری نسبت به جفت و میخک، به‌ویژه در محدوده ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر، دارد که بیانگر

۲-۴- آزمون‌های رنگ‌سنجی و ثبات رنگ

ویژگی‌های رنگی نمونه‌های رنگ‌شده شامل مقادیر L^* ، a^* ، b^* ، C^* ، زاویه فام (h°) و مقدار بازتاب (R) با استفاده از طیف‌سنج بازتابی YS6010 در شرایط نور استاندارد D65 و زاویه مشاهده ۱۰ درجه اندازه‌گیری شد. قدرت رنگ (K/S) با استفاده از رابطه کوبلکا-مانک (رابطه ۱) محاسبه شد.

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

در این رابطه، R مقدار بازتاب نمونه در طول موج بیشینه جذب است.

ثبات شستشویی نمونه‌های رنگرزی شده بر اساس روش تغییر رنگ تعیین گردید. در آزمون ثبات شستشویی، پارچه رنگرزی شده با استفاده از دستگاه لندرومتر مدل Hi-D421235 و استاندارد ISO 105-C06 شسته شد. سپس تغییر رنگ پارچه مطابق با مقیاس خاکستری (درجه ۱ تا ۵) و بر اساس استاندارد ISO105-A02 تعیین شد. برای ارزیابی ثبات نوری نمونه‌های رنگرزی شده از دستگاه سنجش ثبات نوری ساخت شرکت ریس سنچ ایران مجهز به لامپ زنون ۱۰۰۰ وات استفاده شد. ثبات نوری نمونه‌های رنگرزی شده با استفاده از استاندارد ISO 105-B02 و مقیاس آبی (درجه ۱ تا ۸) تعیین گردید.

این آزمون‌ها بر روی تمامی نمونه‌های دندان‌دهنده دندان‌دهنده داده شده با زاج سفید و دندان‌دهنده داده شده با عصاره مخروط کاج در هر سه روش دندان‌دهی انجام شد. مجموعه این اندازه‌گیری‌ها امکان بررسی دقیق اثر نوع و غلظت رنگزا، نوع دندان‌دهنده و شیوه دندان‌دهی بر شدت، فام و کیفیت رنگ را فراهم ساخت.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- تاثیر نوع رنگزا بر ویژگی‌های رنگ‌سنجی نمونه‌های

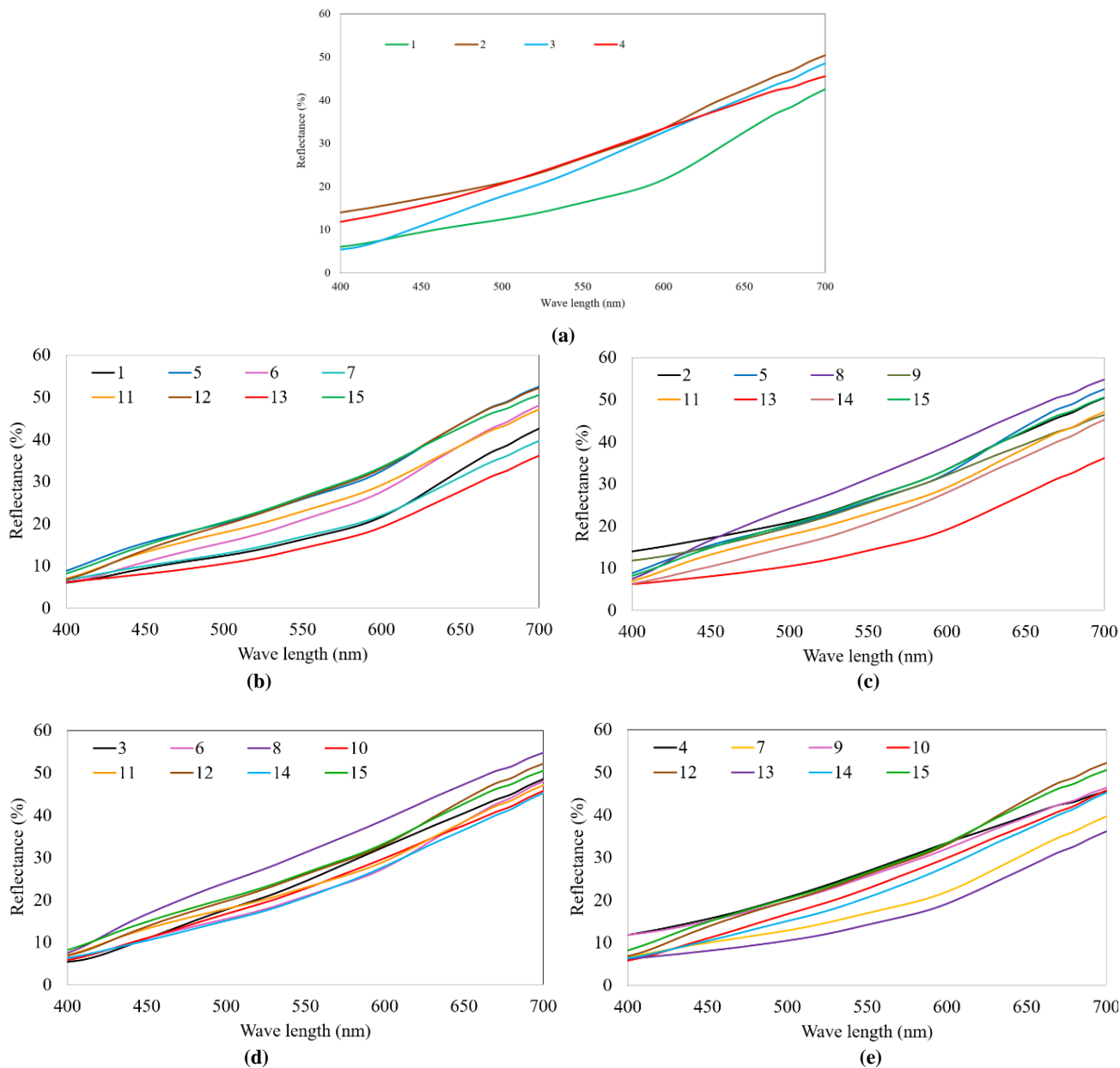
بدون دندان‌دهنده

نتایج شکل ۱، تغییرات ضریب بازتاب پارچه‌های پشمی رنگرزی شده با

1. Launder-O-meter

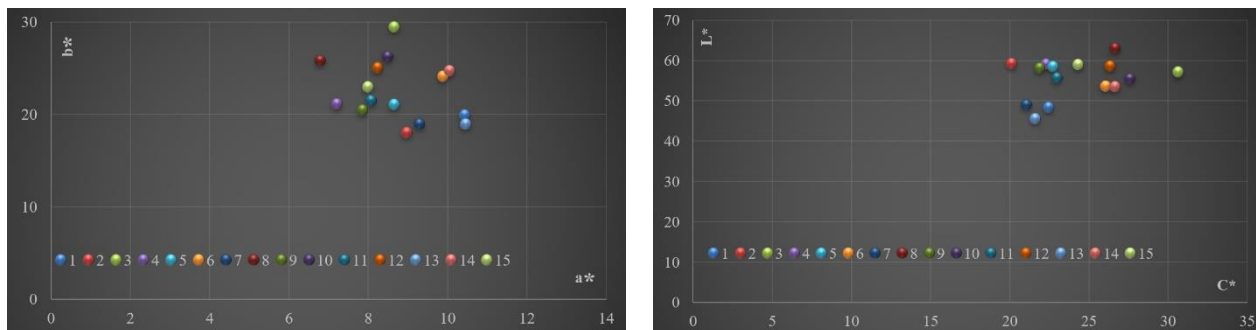
بازتاب را در میان رنگزاهای خالص نشان داده و در نتیجه دارای کم‌ترین ضریب جذب است. این موضوع با مقادیر بالای روشنایی ۵۹/۲۱ و قدرت‌رنگی پایین‌تر (۲/۶۴) تأیید می‌شود. فام‌های حاصل از دارچین روشن‌تر و متمایل به زرد-قهوه‌ای بوده و مقادیر پایین‌تر b^* و C^* آن در نمودارهای شکل ۲ نیز این رفتار را نشان می‌دهد.

جذب متوسط نور است. این رفتار طیفی با مقادیر روشنایی ۵۹/۲۱ و قدرت رنگی ۲/۶۴ در جدول ۲ مطابقت دارد. حضور ملانویئیدین‌ها و ترکیبات پلی‌فنلی در پسماند قهوه موجب جذب قابل قبول نور و ایجاد فام‌های قهوه‌ای متمایل به قرمز می‌شود (۱۱، ۲۴) که این موضوع با زاویه فام در حدود ۷۰ درجه هم‌خوانی دارد. دارچین بیشترین مقدار



شکل ۱: ضریب بازتاب پارچه‌های پشمی رنگری شده با غلظت‌های مختلف از رنگزاهای چهارگانه (a) نمونه‌های رنگری شده با یک رنگزا، (b) پارچه‌های رنگری شده با جفت و دیگر رنگزاهای، (c) پارچه‌های رنگری شده با دارچین و دیگر رنگزاهای، (d) پارچه‌های رنگری شده با میخک و دیگر رنگزاهای و (e) پارچه‌های رنگری شده با قهوه و دیگر رنگزاهای.

Figure 1: Reflectance spectra of wool fabrics dyed with different concentrations of four natural colorants (a) fabrics dyed with single colorants, (b) fabrics dyed with Oak bark in combination with other colorants, (c) fabrics dyed with Cinnamon in combination with other colorants, (d) fabrics dyed with Clove in combination with other colorants, and (e) fabrics dyed with Coffee in combination with other colorants.



شکل ۲: نمودارهای a^*-b^* و C^*-L^* پارچه‌های پشمی رنگرزی شده با غلظت‌های مختلف از رنگزاهای چهارگانه. **Figure 2:** a^*-b^* and C^*-L^* diagrams for wool fabrics dyed with different concentrations of four natural dyes.

جدول ۲: ویژگی‌های رنگ‌سنجی و ثباتی پارچه‌های پشمی رنگرزی شده با غلظت‌های مختلف از رنگزاهای چهارگانه.

Table 2: Colorimetric properties and fastness of wool fabrics dyed with different concentrations of four natural dyes.

Sample code	L*	a*	b*	C*	h°	K/S	Image
1	48.37	10.43	19.9	22.46	62.34	7.38	
2	59.21	8.97	18.02	20.12	63.54	2.64	
3	57.13	8.65	29.41	30.65	73.61	8.24	
4	59.05	7.21	21.09	22.29	71.12	3.3	
5	58.48	8.65	21.04	22.75	67.64	4.75	
6	53.62	9.89	24.12	26.07	67.7	7.27	
7	48.95	9.29	18.91	21.06	63.84	6.56	
8	62.97	6.78	25.8	26.67	75.27	5.75	
9	58.05	7.85	20.46	21.91	69.01	3.29	
10	55.38	8.49	26.24	27.58	72.07	7.58	
11	55.63	8.07	21.51	22.98	69.43	6.27	
12	58.54	8.24	25.02	26.34	71.78	6.39	
13	45.52	10.45	18.91	21.6	61.07	7.03	
14	53.42	10.05	24.68	26.65	67.84	6.92	
15	58.92	7.99	22.98	24.33	70.82	5.18	

از ترکیب رنگزاهای باشد، هرچند شدت این اثر به نوع ترکیب بستگی دارد. در ترکیبات حاوی جفت، مانند نمونه‌های ۶، ۷ و ۱۳ (مطابق جدول ۱)، منحنی‌های بازتاب به‌طور محسوسی به سمت مقادیر پایین‌تر جابه‌جا شده‌اند. این موضوع با مقادیر بالاتر قدرت رنگی (تا

بررسی منحنی‌های بازتاب مربوط به نمونه‌های ترکیبی (شکل ۱) نشان می‌دهد که در بسیاری از ترکیبات، میزان بازتاب در محدوده ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر نسبت به برخی نمونه‌های خالص کاهش یافته است. این کاهش بازتاب می‌تواند نشان‌دهنده بهبود جذب نوری ناشی

در نمونه‌های غنی از ترکیبات پلی‌فنلی مانند جفت و میخک، روش پس‌دندان بالاترین مقادیر قدرت رنگی را ایجاد کرده است. در نمونه ۱ (جفت خالص) مقدار قدرت رنگی از ۷/۱۱ در پیش‌دندان و ۳/۶۸ در روش هم‌زمان به ۱۲/۲۱ در پس‌دندان افزایش یافته است. این الگو در برخی نمونه‌های ترکیبی نیز مشاهده می‌شود؛ در نمونه ترکیبی ۱۰ قدرت رنگی از ۸/۳۴ (پیش‌دندان) و ۵/۵۲ (هم‌زمان) به ۹/۱۵ (پس‌دندان) می‌رسد و در نمونه ۱۵ نیز افزایش از ۵/۲۷ و ۴/۵۸ به ۷/۰۷ در روش پس‌دندان مشاهده می‌شود. همچنین در نمونه ۶، هرچند پیش‌دندان مقدار بالای قدرت رنگی (۸/۵۵) ایجاد کرده است، پس‌دندان همچنان بیشینه را نشان می‌دهد (۸/۷۹) و روش هم‌زمان در همان نمونه پایین‌تر گزارش شده است (۶/۳۰). این افزایش‌های سازگار در روش پس‌دندان بیانگر آن است که اعمال دندان زاج سفید پس از مرحله جذب رنگزا، تشکیل کمپلکس‌های فلز-رنگزای پایدارتر را تسهیل می‌کند. در این حالت، ابتدا رنگزا در ساختار لیف پشم نفوذ و تثبیت اولیه می‌یابد و سپس یون آلومینیم با گروه‌های فنولی و هیدروکسیلی رنگزا و لیف پشم پیوند برقرار می‌کند؛ این فرایند منجر به کاهش بازتاب و افزایش ضریب جذب نوری می‌شود (۲۵، ۲۶). در مقابل، در روش هم‌زمان در بسیاری از نمونه‌ها کمترین مقدار قدرت رنگی مشاهده شده است. در نمونه ۱ (جفت خالص) افت قابل توجه قدرت رنگی در هم‌زمان (۳/۶۸) نسبت به پیش‌دندان (۷/۱۱) و پس‌دندان (۱۲/۲۱) بسیار زیاد است. روند مشابهی در نمونه‌های ۴ و ۹ نیز دیده می‌شود؛ به طوری که در نمونه ۴ مقدار قدرت رنگی در هم‌زمان ۱/۸۸ است که از پیش‌دندان ۲/۵۰ و پس‌دندان ۲/۹۳ کمتر است. در نمونه ۹ نیز قدرت رنگی در هم‌زمان ۱/۹۰ کمترین مقدار را نسبت به پیش‌دندان ۲/۲۴ و پس‌دندان ۳/۳۸ نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند ناشی از رقابت یون فلزی و مولکول رنگزا برای سایت‌های فعال لیف پشم باشد، به گونه‌ای که حضور هم‌زمان آن‌ها در حمام رنگ مانع از نفوذ بهینه رنگزا و یا جذب سطحی در رنگریزی می‌شود (۱۸، ۲۵). پیش‌دندان نیز در برخی نمونه‌ها عملکرد قابل قبولی نشان داده، اما در مجموع از نظر عمق رنگ نسبت به پس‌دندان ضعیف‌تر بوده است؛ هرچند در مواردی مانند نمونه ۳ (میخک خالص) اختلاف بین روش‌ها محدودتر است (۹/۱۹ در پیش‌دندان، ۸/۳۰ در هم‌زمان و ۹/۲۷ در پس‌دندان) که می‌تواند نشان‌دهنده حساسیت کمتر آن رنگزاها به ترتیب اعمال دندان باشد (۱۸).

از منظر ثبات شستشویی (جدول ۳)، تمامی روش‌ها در حضور زاج سفید درجات قابل قبولی در محدوده ۴-۵ را نشان می‌دهند. با این حال، در چند نمونه بهبود جزئی وابسته به روش رنگریزی قابل مشاهده است. نمونه ۶ در پیش‌دندان درجه ۵ دارد، در حالی که در هم‌زمان و پس‌دندان به ۴ کاهش می‌یابد؛ یا نمونه ۱۰ در پس‌دندان به درجه ۵ ثبات شستشویی می‌رسد در حالی که در پیش‌دندان ۴-۵ و در هم‌زمان ۴ گزارش شده است. این داده‌ها نشان می‌دهند که

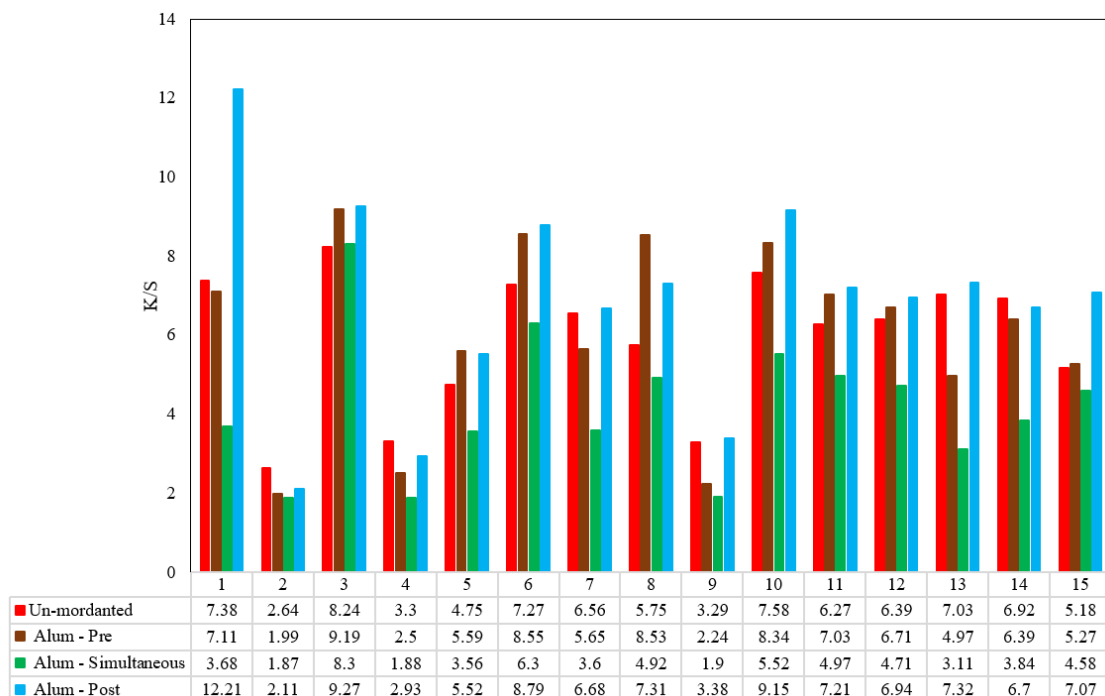
حدود ۷/۲۷ در نمونه ۶ و کاهش روشنایی (حدود ۴۵) در جدول ۲ تأیید می‌شود و نشان می‌دهد که جفت نقش غالبی در مقدار جذب نمونه‌های رنگریزی شده ایفا می‌کند. در ترکیبات فاقد جفت، اثر رنگزاهای دیگر آشکارتر است. حضور میخک در مخلوط‌ها، مانند نمونه‌های ۸، ۱۰ و ۱۴، معمولاً با کاهش نسبی بازتاب و یکنواخت‌تر شدن منحنی‌های طیفی همراه بوده و جذب گسترده‌تری را در بخش قابل توجهی از طیف مرئی ایجاد کرده است. این رفتار با مقادیر C^* نسبتاً بالاتر (محدوده ۲۶/۶۵ تا ۲۷/۵۸) و حفظ L^* در محدوده میانی سازگار است. افزودن پسماند قهوه به ترکیبات، مانند نمونه‌های ۱۰، ۱۴ و ۱۵، موجب تقویت جذب به‌ویژه در طول موج‌های بالاتر از ۵۰۰ نانومتر شده و تمایل رنگ را به سمت قهوه‌ای مایل به قرمز افزایش داده است که این موضوع با افزایش نسبی a^* و تغییر زاویه فام (حدود ۷۰ درجه) در جدول ۲ هم‌خوانی دارد. در مقابل، حضور دارچین در ترکیبات، مانند نمونه‌های ۵ و ۹، غالباً با افزایش نسبی بازتاب و مقادیر بالاتر روشنایی (حدود ۵۸) همراه بوده و از تیرگی بیش از حد جلوگیری کرده است؛ بنابراین دارچین نقش تعدیل‌کننده روشنایی را در سامانه‌های ترکیبی ایفا می‌کند.

به‌طور کلی، مقایسه نمونه‌های خالص و ترکیبی نشان می‌دهد که ترکیب هدفمند رنگزاهای طبیعی می‌تواند منجر به بهبود جذب نوری، افزایش یا تنظیم قدرت رنگی و کنترل دقیق‌تر فام نهایی شود. در میان رنگزاها، جفت بیشترین تأثیر را در افزایش ضریب جذب و تعمیق رنگ دارد، میخک نقش تقویت‌کننده تیرگی و اشباع رنگی را ایفا می‌کند، پسماند قهوه موجب گسترش ناحیه جذب و غنی‌تر شدن فام‌های قهوه‌ای مایل به قرمز می‌شود و دارچین به تنظیم روشنایی و ایجاد فام‌های متعادل‌تر کمک می‌کند. هم‌خوانی نتایج طیفی شکل ۱ با عوامل رنگ‌سنجی جدول ۲ و توزیع نقاط در نمودارهای شکل ۲ نشان می‌دهد که طراحی آگاهانه مخلوط‌های رنگزای طبیعی می‌تواند راهبردی مؤثر برای دستیابی به فام‌های متنوع، عمیق و قابل کنترل در فرایند رنگریزی پشم باشد.

۲-۳- تاثیر روش رنگریزی بر قدرت رنگی و ثبات نمونه‌های دندان‌داده شده

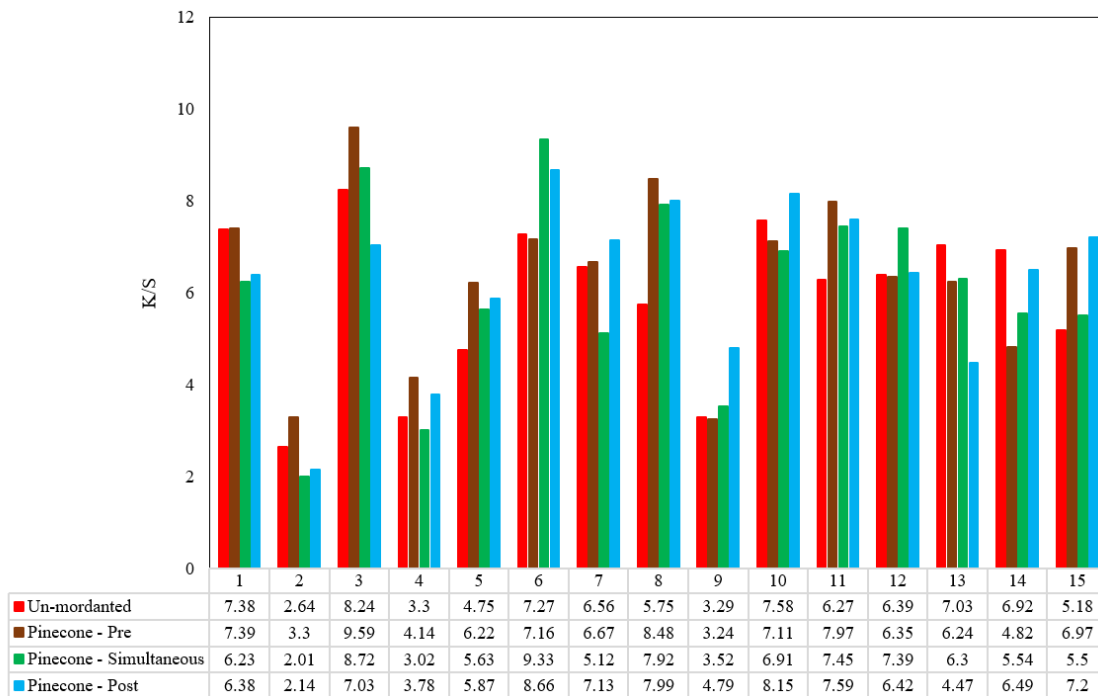
با توجه به نتایج قدرت رنگی ارائه‌شده در شکل‌های ۳ و ۴ و نتایج ثبات‌های شستشویی و نوری در جدول‌های ۳ و ۴، تاثیر روش‌های مختلف دندان‌دهی (پیش‌دندان، هم‌زمان و پس‌دندان) بر عملکرد رنگریزی پارچه‌های پشمی به‌طور معناداری وابسته به نوع دندان‌دهی مورد استفاده است. تحلیل هم‌زمان قدرت رنگی به‌عنوان معیار شدت جذب نور و درجات ثبات به‌عنوان شاخص پایداری رنگ، امکان ارزیابی جامع‌تری از کارایی هر روش فراهم می‌سازد.

در نمونه‌های دندان‌داده‌شده با زاج سفید (شکل ۳)، روش رنگریزی تاثیر محسوسی بر قدرت رنگی نشان می‌دهد. در اغلب نمونه‌ها، به‌ویژه



شکل ۳: قدرت رنگی پارچه‌های پشمی دندان‌ده داده شده با زاج سفید به روش‌های مختلف.

Figure 3: Color strength (K/S) of wool fabrics mordanted with Alum under different methods.



شکل ۴: قدرت رنگی پارچه‌های پشمی دندان‌ده داده شده با مخروط کاج به روش‌های مختلف.

Figure 4: Color strength (K/S) of wool fabrics mordanted with Pinecone under different methods.

جدول ۳: ثبات شستشویی پارچه‌های پشمی در حالت بدون دندان و دندان داده شده با زاج سفید و مخروط کاج به روش‌های مختلف.

Table 3: Wash fastness of wool fabrics in un-mordanted and mordanted states with alum and pine-cone under different methods.

Sample Code	Un-mordanted	Mordanted with alum			Mordanted with pine-cone		
		Pre	Simultaneous	Post	Pre	Simultaneous	Post
1	4	4	4	4-5	4-5	4	4-5
2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	5
3	4	4-5	4-5	5	4	4-5	5
4	4-5	4-5	4-5	5	5	4-5	5
5	4-5	4	4	4-5	4	4	4-5
6	4	4	4	5	4	4	4-5
7	4-5	4	4	4-5	4	4	5
8	3-4	4	4	4-5	4-5	4-5	5
9	4	4-5	4	4	4	4-5	4-5
10	4	4	4-5	4-5	4	5	5
11	3-4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	5
12	4	4	4	4-5	4-5	4-5	4-5
13	4	4-5	4-5	5	4-5	4	5
14	4-5	4	4	4-5	4	4-5	4-5
15	4	4	4	4	4	4-5	4-5

جدول ۴: ثبات نوری پارچه‌های پشمی در حالت بدون دندان و دندان داده شده با زاج سفید و مخروط کاج به روش‌های مختلف.

Table 4: Light fastness of wool fabrics in un-mordanted and mordanted states with alum and pine cone extract under different methods.

Sample Code	Un-mordanted	Mordanted with alum			Mordanted with pine-cone		
		Pre	Simultaneous	Post	Pre	Simultaneous	Post
1	5	6	5	6	5	5	5-6
2	5	5	4-5	5	5-6	5	5-6
3	6	6	6	5-6	5-6	5	6
4	4-5	5-6	5	5	6	6	6
5	4-5	5-6	5	5-6	5	5	5-6
6	5	5-6	5	5-6	5-6	5-6	5-6
7	4-5	5	5	5-6	5	5-6	5-6
8	5	6	5-6	6	5-6	5	6
9	5	5	5	6	5-6	5-6	6
10	5	5-6	5	6	6	5-6	6
11	5-6	6	5-6	5-6	6	6	6
12	6	6	5-6	6	6	5-6	6
13	5-6	6	6	6	6	6	6-7
14	5-6	6	5-6	6	6	5-6	6
15	4-5	5	5	5-6	5-6	5-6	6

می‌دهد. از نظر ثبات شستشویی (جدول ۳)، مقادیر در حضور مخروط کاج نیز عمدتاً در محدوده ۴-۵ تا ۵ قرار دارند. این نتیجه می‌تواند به نقش تانن‌ها در افزایش قفل‌شدگی رنگزا و کاهش مهاجرت آن در شستشو نسبت داده شود (۱۸، ۱۷، ۱۱). با وجود این، تفاوت‌های بین روش‌ها در بسیاری از نمونه‌ها محدود است و نشان می‌دهد که استفاده از دندان‌ه زیستی مخروط کاج، به‌طور کلی توان ایجاد پایداری شستشویی قابل قبول را در هر سه روش دارد. در زمینه ثبات نوری (جدول ۴)، مقادیر عمدتاً بین ۶-۵ تا ۶ گزارش شده‌اند و در برخی موارد به ۷-۶ نیز می‌رسند. نمونه ۱۳ در هنگام استفاده از دندان‌ه مخروط کاج، ثبات نوری برابر ۷-۶ را نشان می‌دهد. بنابراین در بسیاری از نمونه‌ها، پیش‌دندان‌ه با مخروط کاج ضمن افزایش قدرت رنگی، ثبات نوری مناسب را نیز فراهم کرده و هم‌زمان یا پس‌دندان‌ه نیز در برخی ترکیبات، پایداری نوری قابل قبول را حفظ کرده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد تاثیر روش رنگ‌رزی بر قدرت رنگی تابع ماهیت دندان‌ه است. در هنگام استفاده از دندان‌ه فلزی زاج سفید، پس‌دندان‌ه عموماً بیشترین عمق رنگ را ایجاد می‌کند. در مقابل، در هنگام استفاده از دندان‌ه زیستی مخروط کاج، پیش‌دندان‌ه غالباً بالاترین قدرت رنگی را فراهم می‌سازد. همچنین با وجود اختلاف‌های آشکار در قدرت رنگی، ثبات شستشویی و نوری در هر سه روش عمدتاً در محدوده قابل قبول باقی می‌ماند و تغییر روش بیش از آنکه بر پایداری اثر بگذارد، شدت رنگ را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر این اساس، انتخاب روش بهینه باید بر مبنای نوع دندان‌ه و هدف فرایند (عمق رنگ در برابر اولویت ثبات و یکنواختی) انجام شود.

۳-۳- تاثیر نوع رنگزا بر قدرت رنگی و ثبات نمونه‌های دندان‌ه داده شده

در این بخش، تاثیر نوع و ترکیب رنگزاها بر قدرت رنگی و ثبات‌های شستشویی و نوری نمونه‌های رنگ‌رزی شده با دندان‌ه زاج سفید و دندان‌ه زیستی مخروط کاج بررسی شده است. با توجه به اینکه در دندان‌ه زاج سفید بیشترین عمق رنگ عمدتاً در روش پس‌دندان‌ه حاصل شده و در دندان‌ه مخروط کاج بیشینه قدرت رنگی غالباً در روش پیش‌دندان‌ه مشاهده می‌شود، به منظور تمرکز بر شرایط بهینه در هر دندان‌ه و تفکیک دقیق‌تر نقش رنگزاها، نتایج زاج سفید صرفاً بر مبنای روش پس‌دندان‌ه (شکل ۳) و نتایج مخروط کاج صرفاً بر مبنای روش پیش‌دندان‌ه (شکل ۴) بررسی می‌گردد.

در نمونه‌های رنگ‌رزی شده با دندان‌ه زاج سفید و روش پس‌دندان‌ه، مقایسه نمونه‌های خالص (کدهای ۱ تا ۴) اختلاف معنی‌داری را در شدت رنگ نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که نمونه جفت خالص با قدرت رنگی ۱۲/۲۱ بیشترین مقدار را دارد و پس از آن نمونه میخک خالص با قدرت رنگی ۹/۲۷ قرار می‌گیرد، در حالی‌که نمونه قهوه با قدرت رنگی ۲/۹۳ و نمونه دارچین با قدرت رنگی ۲/۱۱ مقادیر پایین‌تری

اگرچه روش پس‌دندان‌ه غالباً قدرت رنگی را افزایش می‌دهد، اما از منظر ثبات شستشویی لزوماً در همه نمونه‌ها برتری مطلق ندارد و در برخی ترکیبات، پیش‌دندان‌ه می‌تواند پایداری شستشویی بالاتری ایجاد کند. بنابراین رابطه بین عمق رنگ و ثبات شستشویی خطی و یکسان در همه موارد نیست و به نوع رنگزا و تعامل آن با دندان‌ه نیز وابسته است. در مورد ثبات نوری (جدول ۴)، مقادیر عمدتاً در محدوده ۶-۵ گزارش شده است. در برخی نمونه‌ها تغییر روش اثر قابل توجهی بر ثبات نوری ندارد. به عنوان نمونه، ثبات نوری جفت خالص در هر سه روش با زاج سفید برابر ۵ گزارش شده است، اما در نمونه‌هایی نیز افزایش یا حفظ سطح بالاتر از ثبات نوری مشاهده می‌شود؛ مانند نمونه ۱۰ که در پیش‌دندان‌ه و هم‌زمان ۶ و در پس‌دندان‌ه ۶-۵ گزارش شده است. این نتایج نشان می‌دهد که نقش زاج سفید بیشتر در تثبیت و حفظ مقاومت نوری در سطح قابل قبول است و تفاوت روش‌ها در ثبات نوری معمولاً از تفاوت‌های مشاهده‌شده در قدرت رنگی کمتر است. به‌طور کلی، در هنگام استفاده از زاج سفید، روش پس‌دندان‌ه از نظر عمق رنگ برتری دارد، در حالی‌که هر سه روش از نظر ثبات در محدوده استاندارد می‌باشند.

در نمونه‌های دندان‌ه داده‌شده با عصاره مخروط کاج (شکل ۴)، الگوی متفاوتی مشاهده می‌شود. در این سیستم، در بسیاری از نمونه‌ها روش پیش‌دندان‌ه بیشترین مقدار قدرت رنگی را ایجاد کرده است. برای مثال، در نمونه ۳ (میخک خالص) مقدار قدرت رنگی در پیش‌دندان‌ه ۹/۵۹ بوده است که نسبت به هم‌زمان (۸/۷۲) و پس‌دندان‌ه (۷/۰۳) بالاتر است. این روند در نمونه‌های خالص دیگر نیز دیده می‌شود؛ نمونه ۲ (دارچین خالص) در پیش‌دندان‌ه ۳/۳۰ است و از هم‌زمان ۲/۰۱ و پس‌دندان‌ه ۲/۱۴ بالاتر قرار می‌گیرد. نمونه ۴ (قهوه خالص) نیز در پیش‌دندان‌ه ۴/۱۴ بیشینه را در مقایسه با هم‌زمان ۳/۰۲ و پس‌دندان‌ه ۳/۷۸ نشان می‌دهد. این رفتار را می‌توان به ماهیت زیستی و تاننی دندان‌ه مخروط کاج نسبت داد. دندان‌ه طبیعی با ایجاد لایه‌ای غنی از ترکیبات فنلی بر سطح لیف پیش از رنگ‌رزی، تعداد مکان‌های فعال و امکان برهم‌کنش‌های هیدروژنی و آروماتیکی را افزایش می‌دهد و در نتیجه جذب رنگزا تقویت می‌شود (۱۸، ۱۱) در برخی نمونه‌های ترکیبی، روش هم‌زمان یا پس‌دندان‌ه نیز می‌تواند رقابتی یا حتی برتر باشد که نشان‌دهنده نقش هم‌افزایی ترکیبات فنولی کاج و رنگزا در حمام رنگ یا طی مرحله تثبیت است. به عنوان مثال در نمونه ۶، قدرت رنگی در روش هم‌زمان ۹/۳۳ می‌باشد که از پیش‌دندان‌ه ۷/۱۶ و پس‌دندان‌ه ۸/۶۶ بیشتر است. همچنین در نمونه ۱۰ مقدار قدرت رنگی در پس‌دندان‌ه ۸/۱۵ گزارش شده که از پیش‌دندان‌ه ۷/۱۱ و هم‌زمان ۶/۹۱ بالاتر است. با این حال، در مجموع پیش‌دندان‌ه در هنگام استفاده از مخروط کاج راهبرد پایداری و قابل پیش‌بینی‌تری برای افزایش قدرت رنگی محسوب می‌شود، زیرا در تعداد بیشتری از نمونه‌ها بیشینه قدرت رنگی را ایجاد کرده و وابستگی کمتری به نوع ترکیب رنگزا نشان

یکنواخت‌تر می‌شود. در نمونه‌های ترکیبی نیز برخی کدها از جمله کد ۸ با قدرت رنگی ۸/۴۸ و کد ۱۱ با قدرت رنگی ۷/۹۷ به رنگ‌زاهای قوی نزدیک می‌شوند؛ با این حال هیچ ترکیبی از میخک خالص فراتر نمی‌رود. این نتیجه می‌تواند بیانگر آن باشد که در حالت استفاده از دندان‌مخروط کاج، به‌رغم افزایش مکان‌های جذب، سقف عمق رنگ توسط ویژگی‌های ذاتی رنگزای غالب (ساختار رنگ‌ساز، قابلیت نفوذ و پایداری پیوند با لیف) تعیین می‌شود. از نظر ثبات‌ها، ثبات شستشویی نمونه‌های خالص و ترکیبی عمدتاً در بازه ۴-۵ تا ۵ و ثبات نوری در محدوده ۵-۶ تا ۶ گزارش شده است. مشاهده بهبود ثبات نوری در نمونه ۱۳ تا درجه ۶-۷ می‌تواند نشان‌دهنده اثر تقویتی هم‌زمان ترکیب رنگ‌زاهای دندان‌زیستی بر مقاومت نوری باشد (۱۷، ۲۲).

جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد در هر دو دندان، نوع رنگزا عامل اصلی تعیین‌کننده قدرت رنگی است و رنگ‌زاهای تانن‌دار (به‌ویژه جفت و میخک) به‌طور پایدار مقادیر بالاتری ایجاد می‌کنند. همچنین ثبات شستشویی و نوری در هر دو دندان برای نمونه‌های خالص و ترکیبی عمدتاً در محدوده قابل قبول باقی می‌ماند و تغییرات آن معمولاً کمتر از تغییرات قدرت رنگی است؛ بنابراین انتخاب ترکیب رنگزا و نوع دندان باید با توجه به هدف نهایی (تعمیق حداکثری رنگ یا دستیابی هم‌زمان به شدت مناسب و ثبات بالاتر) انجام گیرد.

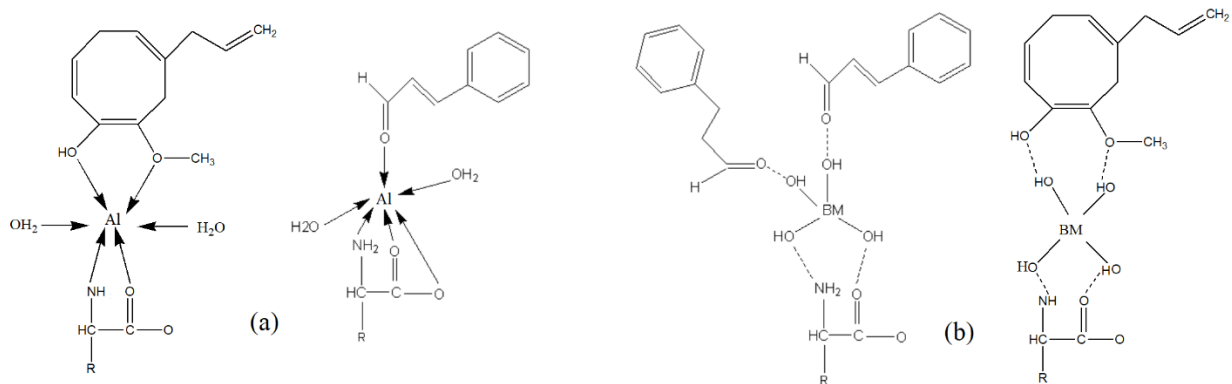
۳-۴- تاثیر نوع دندان بر قدرت رنگی و ثبات نمونه‌های دندان داده شده

در این بخش، اثر نوع دندان بر قدرت رنگی و ثبات‌های شستشویی و نوری بر پایه داده‌های شکل‌های ۳ و ۴ و جدول‌های ۳ و ۴ بررسی می‌شود. از آنجا که در دندان‌های زاج سفید بیشینه عمق رنگ عمدتاً در روش پس‌دندان و در دندان‌های مخروط کاج بیشینه قدرت رنگی غالباً در روش پیش‌دندان به دست آمده است، مقایسه حاضر با تمرکز بر شرایط بهینه هر دندان انجام می‌گیرد. سپس، به منظور تعیین سهم واقعی دندان در بهبود عملکرد رنگرزی، همین نتایج با نمونه‌های بدون دندان نیز بر اساس مقادیر درج شده در جدول‌های ۳ و ۴ مقایسه می‌شوند.

داده‌های شکل ۳ نشان می‌دهند دندان‌های زاج سفید در اغلب نمونه‌ها مقادیر قدرت رنگی بالاتری نسبت به دندان‌های مخروط کاج ایجاد کرده است. در نمونه جفت خالص قدرت رنگی در حضور دندان‌های زاج سفید به ۱۲/۲۱ می‌رسد، در حالی که مقدار متناظر در مخروط کاج برای همین نمونه ۷/۳۹ گزارش شده است. این اختلاف حاکی از آن است که دندان‌های فلزی، به‌ویژه برای رنگ‌زاهای تانن‌دار، از طریق کمپلکس‌سازی فلز-رنگزا ظرفیت جذب و تثبیت را به نحو موثرتری افزایش می‌دهد (شکل ۵) (۲۰، ۲۳).

ارائه می‌کنند. این نتایج را می‌توان به تفاوت در ترکیب شیمیایی رنگ‌زاهای نسبت داد. رنگ‌زاهای غنی از تانن‌ها و پلی‌فنل‌ها (مانند جفت و میخک) به دلیل دارا بودن گروه‌های هیدروکسیل و کربونیل متعدد، ظرفیت بالاتری برای کمپلکس‌سازی با یون آلومینیم و ایجاد ساختارهای پایدارتر درون لیف دارند و در نتیجه عمق رنگ بیشتری ایجاد می‌کنند (۲۳، ۲۱-۱۸). در مقابل، در رنگ‌زاهایی مانند دارچین و قهوه، هرچند ترکیبات فنلی وجود دارد، اما ممکن است گونه‌های فعال از نظر تعداد و دسترس‌پذیری گروه‌های دهنده الکترون یا پیکربندی مناسب برای کمپلکس‌سازی محدودتر باشند و به کاهش قدرت رنگی منجر شوند (۲۴، ۲۲، ۱۷، ۱۱). در نمونه‌های ترکیبی (کدهای ۵ تا ۱۵)، قدرت رنگی عمدتاً تابع سهم رنگزای غالب و میزان مشارکت اجزای دارای گروه‌های کمپلکس‌ساز است. برای نمونه، کد ۱۰ با قدرت رنگی ۹/۱۵ به میخک خالص نزدیک می‌شود و کد ۶ نیز با قدرت رنگی ۸/۷۹ در محدوده بالاتر قرار می‌گیرد، در حالی که کد ۹ با قدرت رنگی ۳/۳۸ شدت متوسط‌تری نشان می‌دهد. از منظر علمی، نزدیک شدن برخی ترکیبات به عملکرد میخک خالص نشان می‌دهد که در این ترکیب‌ها احتمالاً مقدار نسبی پلی‌فنل‌های فعال یا هم‌افزایی جذب (افزایش نفوذپذیری/بازشدن مسیرهای جذب در لیف) رخ داده است؛ با این حال، عبور نکردن هیچ ترکیبی از جفت خالص (۱۲/۲۱) می‌تواند ناشی از پدیده‌هایی مانند اشباع مکان‌های دندان‌پذیر یا حتی اثر رقیق‌سازی رنگزای قوی در ترکیب باشد که اجازه دستیابی به بیشینه عمق رنگ جفت خالص را نمی‌دهد. از نظر ثبات‌ها، در همین شرایط ثبات شستشویی نمونه‌های خالص و ترکیبی عمدتاً در بازه ۴-۵ گزارش شده است. این همگرایی نسبی ثبات‌ها با وجود تفاوت زیاد در قدرت رنگی نشان می‌دهد که پس از تشکیل کمپلکس‌های آلومینیم-رنگزا، پیوندهای ایجادشده از نظر پایداری شستشویی و نوری در اکثر رنگ‌زاهای به سطحی قابل قبول می‌رسند (۲۱، ۱۸، ۱۷، ۱۱) و تفاوت‌ها بیشتر در ظرفیت جذب اولیه منعکس می‌شود.

در نمونه‌های رنگرزی شده با دندان‌های مخروط کاج و روش پیش‌دندان، ترتیب کلی قدرت رنگی در نمونه‌های خالص (کدهای ۴-۱) حفظ می‌شود، اما دامنه اختلاف‌ها نسبت به دندان‌های فلزی تعدیل شده‌تر است. در این حالت میخک خالص با مقدار ۹/۵۹ بالاترین قدرت رنگی را دارد و پس از آن جفت خالص با قدرت رنگی ۷/۳۹ قرار می‌گیرد، در حالی که قهوه با قدرت رنگی ۴/۱۴ و دارچین با قدرت رنگی ۳/۳۰ مقادیر پایین‌تری دارند. این رفتار با ماهیت زیستی و چندجزئی دندان‌های مخروط کاج قابل تبیین است؛ ترکیبات فنلی موجود در دندان‌های زیستی مخروط کاج می‌توانند با ایجاد لایه‌ای فعال روی لیف یا افزایش قطبیت سطح، تعداد مکان‌های جذب را بالا ببرند و بدین ترتیب حتی رنگ‌زاهای با توان کمپلکس‌سازی پایین‌تر نیز بهبود جذب نشان دهند (۱۸، ۱۱)؛ در نتیجه توزیع قدرت رنگی



شکل ۵: ساختار شیمیایی برهم‌کنش رنگزا-لیف پشم با استفاده از (a) دندانه فلزی و (b) دندانه زیستی.

Figure 5: Proposed mechanism of dye-fiber interactions using (a) metal mordant and (b) bio-mordant.

بهبود قدرت رنگی، ثبات‌های شستشویی و نوری را نیز در سطح قابل قبول حفظ کرده و در بسیاری نمونه‌ها بهبود داده است. به بیان دیگر، دندانه‌ها در برخی موارد نه تنها بازده رنگرزی را افزایش می‌دهند، بلکه از طریق ایجاد پیوندهای پایدارتر میان رنگزا و لیف، به کاهش مهاجرت رنگزا در شستشو و افزایش مقاومت در برابر نور کمک کرده‌اند (۱۸-۱۶). البته در برخی موارد استفاده از دندانه نه تنها تاثیر مثبتی در افزایش قدرت رنگی و ثبات رنگ نداشته است، بلکه باعث کاهش آنها نیز شده است. این نتیجه در داده‌های قدرت رنگی و ثبات شستشویی نمونه‌های دندانه داده شده با زاج سفید در روش‌های پیش‌دندانه و هم‌زمان کاملاً مشهود است. به نظر می‌رسد این رفتار به دلیل حضور تانن‌ها و ترکیبات پلی‌فنل موجود در رنگزاهای جفت، دارچین، میخک و پسماند قهوه باشد که مانند یک دندانه طبیعی عمل کرده‌اند (۲۱، ۱۸-۱۶).

به طور کلی نتایج نشان می‌دهند دندانه زاج سفید در شرایط بهینه خود عموماً برای دستیابی به بیشینه عمق رنگ کارا تر است، در حالی که دندانه مخروط کاج در شرایط بهینه ضمن ایجاد قدرت رنگی مناسب و یکنواخت‌تر، در برخی نمونه‌ها مزیت نسبی در ثبات نوری نشان می‌دهد. بنابراین انتخاب دندانه باید متناسب با هدف فرایند انجام شود: اگر اولویت اصلی بیشینه‌سازی قدرت رنگی باشد، زاج سفید گزینه مناسب‌تری است و اگر علاوه بر شدت رنگ، رویکرد زیست بنیان و تقویت یا حفظ ثبات نوری مد نظر باشد، دندانه مخروط کاج می‌تواند انتخاب مطلوب‌تری باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر ترکیب چهار رنگزای طبیعی (جفت، دارچین، میخک و پسماند قهوه) بر ویژگی‌های رنگی و ثبات پارچه پشمی بررسی شد. نتایج نشان داد که ترکیب جفت و میخک با نسبت ۱:۱

در نمونه میخک خالص مقادیر قدرت رنگی در هر دو دندانه مقداری بالا (زاج سفید/پس‌دندانه ۹/۲۷ و مخروط کاج/پیش‌دندانه ۹/۵۹) می‌باشد. در مقابل، برای برخی رنگزاها مانند پسماند قهوه، دندانه مخروط کاج در شرایط بهینه می‌تواند قدرت رنگی بالاتری نسبت به دندانه زاج سفید ایجاد کند (کد ۴: مخروط کاج/پیش‌دندانه ۴/۱۴ در برابر زاج سفید/پس‌دندانه ۲/۹۳). این نتیجه موید نقش موثر اصلاح سطح لیف و افزایش مکان‌های جذب با استفاده از دندانه زیستی مخروط کاج است (شکل ۵) (۲۷، ۱۸). در نمونه‌های ترکیبی از رنگزاهای مختلف نیز دندانه زاج سفید عموماً عمق رنگ بیشتری ایجاد می‌کند و قدرت رنگی برخی نمونه‌های ترکیبی به مقادیر رنگزاهای خالص قوی نزدیک است (برای مثال کد ۱۰ با قدرت رنگی ۹/۱۵)، در حالی که در مخروط کاج نیز قدرت رنگی برخی نمونه‌های ترکیبی به مقادیر بالا نزدیک هستند (برای مثال کد ۸ با قدرت رنگی ۸/۴۸ و کد ۱۳ با قدرت رنگی ۸/۳۲). با این حال، الگوی کلی نشان می‌دهد زاج سفید تمایل دارد اختلاف ذاتی میان رنگزاها را برجسته تر کند، اما مخروط کاج عموماً توزیع یکنواخت‌تری از قدرت رنگی ارائه می‌دهد.

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهند در هر دو دندانه و تحت شرایط بهینه، ثبات شستشویی عمدتاً در محدوده قابل قبول ۴-۵ تا ۵ است. از سوی دیگر، داده‌های جدول ۴ بیانگر آن است که ثبات نوری نیز در اغلب نمونه‌ها در بازه قابل قبول قرار دارد، با این تفاوت که در برخی موارد، دندانه مخروط کاج بهبود نسبی در ثبات نوری ایجاد کرده است. به نظر می‌رسد این رفتار به دلیل حضور ترکیبات فنلی و پاداکسند در دندانه زیستی مخروط کاج باشد که به صورت نسبی تخریب فوتوشیمیایی را تضعیف می‌کنند (۲۲، ۱۷).

مقایسه نمونه‌های دندانه‌دار با نمونه‌های بدون دندانه نشان می‌دهد که هر دو دندانه در برخی از نمونه‌ها، علاوه بر افزایش یا

روش دندان‌دهی می‌تواند ضمن دستیابی به فام‌های گرم با شدت مطلوب، گامی مؤثر در توسعه رنگ‌رزی پایدار مبتنی بر منابع تجدیدپذیر باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌ها و همکاری‌های ارزشمند دانشگاه شهرکرد در انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی نمایند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

بیشترین قدرت رنگی (۲۱، ۱۲) را ایجاد کرد که نسبت به هر یک از رنگ‌زاهای به تنهایی حدود ۳۵ درصد افزایش نشان داد. مطلوب‌ترین فام قهوه‌ای مایل به قرمز با ترکیب جفت، دارچین و قهوه (کد ۱۰) با مقادیر روشنایی (L*) برابر ۳۲/۴ و قدرت رنگی ۹/۱۵ به دست آمد. ثبات شستشویی تمام نمونه‌ها در محدوده ۴-۵ (متوسط تا خوب) و ثبات نوری در محدوده ۳-۴ ارزیابی شد. از نظر فرایند دندان‌دهی، زاج سفید در روش پس‌دندان‌دهی و دندان‌دهی زیستی مخروط کاج در روش پیش‌دندان‌دهی به ترتیب با افزایش ۴۲ و ۲۸ درصد در قدرت رنگی نسبت به شرایط بدون دندان‌دهی، مؤثرترین روش‌ها بودند. به طور کلی، ترکیب هدفمند رنگ‌زاهای طبیعی همراه با انتخاب مناسب نوع و

۵- مراجع

- 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>.
- Alegbe E, Uthman T. A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. *Heliyon*. 2024; 10(13):33646. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33646>.
- Choudhary M, Singh P. Natural dyes from medicinal plants: an exploration of their potential in textile industry *Int J Sci Res Sci Technol*. 2025;12(2); 306-315. <https://doi.org/10.32628/ijrsrst25122230>.
- Nadeem T, Javed K, Anwar F, Malik M, Khan A. Sustainable dyeing of wool and silk with *Conocarpuserectus* L. Leaf extract for the development of functional textiles. *Sustainability*. 2024;16:811. <https://doi.org/10.3390/su16020811>.
- Safapour S, Shabbir M, Rather LG, Assiri MA. Cleaner sustainable route to develop UV protective and colorful wool yarns: natural flavonoid-based colorants from *Millettia Laurentii* Sawdust. *Prog Color Colorants Coat*. 2024;17(4): 351-363. <https://doi.org/10.30509/pccc.2024.167264.1278>.
- Repon M, Dev B, Rahman M, Jurkonienė S, Haji A, Alim M, Kumpikaitė E. Textile dyeing using natural mordants and dyes: a review. *Environ Chem Lett*. 2024; 22(3): 1473-1520. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01716-4>.
- Devi S, Panghaal D, Kumar P, Malik P, Ravi E, Mittal S. Eco-friendly innovations in textile dyeing: A comprehensive review of natural dyes. *Adv Res Teach*. 2025;26(1):204-212.
- Rafiei S, Valipour P, Alaie O, Hossaini Z. Optimization of wool yarn dyeing for handwoven carpets using opuntia fruit extract: color properties and fastness evaluation. *J Color Sci Tech*. 2025;19(1):1-23. <https://doi.org/10.30509/jcst.2025.167490.1254> [In Persian].
- Avishek S, Sanjay R. Harmful effects of different classes of heavy metals in our beautiful environment. *Asian J Res Chem*. 2023; 16(1):13-17. <https://doi.org/10.52711/0974-4150.2023.00003>.
- Naqvi S, Ul-Wara K, Adeel S, Mia R, Hosseinezhad M, Rather L, Imran M. Modern ecofriendly approach for extraction of luteolin natural dye from weld for silk fabric and wool yarn dyeing. *Sustain Chem Pharm*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101554>.
- Tehrani M, Ghaheh FS, Beni ZT, Rahimi M. Extracted dyes' stability as obtained from spent coffee grounds on silk fabrics using eco-friendly mordants. *Environ Sci Pollut Res*. 2023;30(26):68625-68635.
- Adeel S, Habib N, Arif S, Rehman F, Azeem M, Batool F, Amin N. Microwave-assisted eco-dyeing of bio mordanted silk fabric using cinnamon bark (*Cinnamomum Verum*) based yellow natural dye. *Sustain Chem Pharm*. 2020; 17: 100306. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2020.100306>.
- Hosseinezhad M, Gharanjig K, Adeel Sh, Mahmoudi Nahavandi AR. Extraction and Study of the Use of Oleaster Fruit Waste as Natural Mordant in Dyeing Wool Yarns. *J Color Sci Tech*. 2024;18(1):1-9. <https://doi.org/10.1001.1.17358779.1402.18.1.1.3> [In Persian].
- Zhang Y, Zhou Q, Rather L, Li Q. Agricultural waste of *Eriobotrya japonica* L. (Loquat) seeds and flora leaves as source of natural dye and bio-mordant for coloration and bio-functional finishing of wool textile. *Ind Crops Prod*. 2021; 169: 113633. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113633>.
- Phan K, Raes K, Van Speybroeck V, Roosen M, De Clerck K, De Meester S. Non-food applications of natural dyes extracted from agro-food residues: A critical review. *J Clean Prod*. 2021; 301:126920. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126920>.
- Hosseinezhad M, Gharanjig K. Review on metal and natural mordants for dyeing fibers. *J Stud Color World*. 2021;10(4): 21-30 [In Persian].
- Tehrani M, Navayee T. Suitability of dyes from cinnamon bark on wool fibers using metal and bio-mordants. *Environ Sci Pollut Res*. 2024;31(21): 31414-31423.
- Tehrani M, Asadi Farsani T. Sustainable wool dyeing: utilizing *Syzygium Aromaticum* (clove bud) extract and plant-derived mordants. *Prog Color Colorant Coat*. 2025;18(3): 363-373. <https://doi.org/10.30509/pccc.2025.167426.1343>.
- Rafiei S. Comparison of colorimetric parameters and antibacterial effect of two dyes, henna and jaft, on silk. *J Tex Sci Technol*. 2024;13(1):15-29. <https://doi.org/10.22034/jtst.2024.191322>.
- Baaka N. Sustainable dyeing of wool fabric using kermes oak (*Quercus Coccifera* L) as source of natural colorant. *J Nat Fiber*. 2022; 19(1): 37-45.

21. Hosseinneshad M, Gharanjig K, Jafari R, Imani H, Razani N. Cleaner colorant extraction and environmentally wool dyeing using oak as eco-friendly mordant. *Environ Sci Pollut Res.* 2020;28: 7249-7260. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11041-2>.
22. Adeel S, Habib N, Batool F, Amin N, Ahmad T, Arif S, Hussaan M. Environmental friendly exploration of cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) based yellow natural dye for green coloration of bio-mordanted wool fabric. *Environ Prog Sustain Energy.* 2022;41(3): 13794.
23. Yameen M, Asghar F, Adeel S, et al. Enhancing wool dyeing with clove bud (*Syzygium aromaticum*) based natural dye via microwave treatment using a central composite design. *Sci Prog.* 2023; 106(4):1-22. <https://doi.org/10.1177/00368504231215593>
24. Koh E, Hong KH. Preparation and properties of wool fabrics dyed with spent coffee ground extract. *Text Res J.* 2019; 89(1): 13–19. <https://doi.org/10.1177/0040517517736469>.
25. Shabbir M, Rather L, Bukhari M, Ul-Islam S, Shahid M, Khan M, Mohammad F. Light fastness and shade variability of tannin colorant dyed wool with the effect of mordanting methods. *J Nat Fiber.* 2019; 16: 100-113. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1408521>.
26. Safapour S, Mazhar M, Abedinpour S. Broadening color shade range of *Rubia tinctorum* L. natural colorants on wool fibers via combination of metal mordants: color characteristics and fastness studies. *J Nat Fiber.* 2022; 20. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2157923>.
27. Sahin HT, Yalcin O. Conifer cones: an alternative raw material for industry. *Br J Pharm Res.* 2017; 17(2): 1-9. <https://doi.org/10.9734/BJPR/2017/34153>.

How to cite this article:

Tehrani M, Sadeghi-Kiakhani M, Zarei F. Synergistic Effects of Natural Colorants Derived from Oak bark, Spent Coffee Grounds, Cinnamon, and Clove on the Colorimetric Properties and Fastness Performance of Dyed Wool Fabrics. *J Color Sci Tech.* 2026;20(1):1-15. <https://doi.org/10.30509/jcst.2026.167781.1283> [In Persian]