در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۱۱، شماره ۲، (۱۴۰۰) ۵۲-۴۳
نوع مقاله: مروری
نشریه ویژه فرش و رنگ
Dor: 20.1001.1.22517278.1400.11.2.4.4

بررسی عوامل تاثیرگذار بر تغییرات ظاهر رنگی الیاف پشم مورد استفاده در فرش دستباف

فاطمه طاهری[۱]، راضیه جعفری[۲*]
۱- گروه هنر، دانشکده زینب کبری(س)، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان همدان، همدان، ایران، کد پستی: ۶۵۱۵۷۹۶۳۷.
۲- استادیار، پژوهشکده فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۰۴ تاریخ بازبینی نهایی: ۰۰/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۳/۰۳ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۰۰/۰۶/۱۶

چکیده
پشم به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد، یکی از مهم‌ترین و پر مصرف‌ترین الیاف تشکیل دهنده فرش دستباف است. با توجه به گستردگی و تنوع مکانی منابع تهیه پشم، کیفیت و خواص فیزیکی الیاف نظیر طول، ظرافت، استحکام و غیره و همچنین مشخصه‌های ظاهری پشم نظیر رنگ، جلا و غیره به‌شدت متأثر از منطقه جغرافیایی، نژاد گوسفندان، موضع برداشت و سایر عوامل تأثیرگذار می‌باشد. بدیهی است میزان اختلاف در رنگ به ظاهر سفید الیاف پشم و بخصوص تنوع مشخصه‌های ته‌رنگ آن بر ظاهر رنگی خامه نهایی بسیار تأثیرگذار بوده و می‌تواند بر روند عملیات تکمیل الیاف خام نظیر شستشو، سفیدگری و رنگرزی تأثیر بسزایی داشته باشد. گزارش حاضر علاوه بر پرداختن به انواع دسته‌بندی‌های مرتبط با ته‌رنگ الیاف به ظاهر سفید پشم خام و تحقیقات انجام شده در خصوص ویژگی‌های ظاهر رنگی الیاف پشم مورد استفاده در تهیه فرش دستباف، به بررسی امکان و لزوم سفیدگری آن‌ها و نیز تأثیر فرآیند سفیدگری بر عملیات رنگرزی نهایی و میزان جذب رنگ خامه فرش دستباف می پردازد.

واژه‌های کلیدی
مشخصه‌های ته‌رنگ، ظاهر سفید پشم، سفیدگری پشم، فرش دستباف.

چکیده تصویری

*نویسنده مسئول: jafari-ra@icrc.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technolog

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 11, No.2, (2021) 43-52
Type: Review paper
Special issue about color and carpet

نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

Investigating the Factors Affecting the Color Change of Wool Fibers Used in Handmade Carpets

Fatemeh Taheri[1], Razieh Jafari[2*]
1- Department of Art, Faculty of Zeinab Kobra Branch, Technical and Vocational University (TVU), P. O. Code: 651579637, Hamedan, Iran.
2- Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

Abstract
Wool is one of the most important and widely used fibers in handmade carpets due to its unique properties. However, due to the variety and spatial diversity of wool sources, the quality and physical properties of fibers such as length, fineness, strength, etc., as well as the appearance of wool such as color, luster, and so on are strongly influenced by many factors, i.e., geographical area, breed of sheep, area of sheep's body and so on. The color difference of apparently white wool fibers and especially the variety of its tint attributes will affect the final color appearance of wool yarns and the procedure of raw wool fibers treatments such as washing, bleaching, and dyeing. The present study addresses the various types of tint attributes of apparently white wool fibers. Besides, the research has been conducted to investigate the color appearance properties of wool fibers used in producing handmade carpets, the possibility of their bleaching and its effect on the final dyeing operation, and wool yarns' color absorption reviewed in the current paper.

Keywords
Tint attributes, Wool’s white appearance, Wool fibers’ Bleaching, Handmade carpets.

Graphical abstract

Corresponding author: jafari-ra@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه به دلیل تنوع و گستردگی تولید کف‌پوش‌ها در بازارهای جهانی، تداوم بازار فروش و رضایت مشتریان، از انواع الیاف طبیعی و همچنین مصنوعی در کف‌پوش‌های پارچه‌ای استفاده می‌شود. خواص عملکردی کف‌پوش‌ها عمدتا وابسته به جنس و خواص مواد اولیه مصرفی به صورت نخ و یا الیاف بوده و کیفیت آن شاخصی در تعیین طول عمر کف‌پوش، از جمله فرش‌ها محسوب می‌شود [۱]. اگرچه تفاوت‌های زیادی بین الیاف فرش و الیاف پوشاک وجود دارد، اما بارزترین تفاوت، قطر الیاف است، زیرا از الیاف با قطر بالاتر در فرش استفاده می‌گردد. به غیر از قطر، عوامل زیادی وجود دارد که در تعیین یک لیف خاص به عنوان کف‌پوش نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. این مسئله در انتخاب الیاف طبیعی و همینطور الیاف مصنوعی حائز اهمیت است. به عنوان مثال طول الیاف، جلا، شکل سطع مقطع، تجعد و قابلیت رنگ‌پذیری از جمله خواص بسیار مهمی هستند که در انتخاب نوع الیاف موثرند. الیاف پشم به دلیل داشتن خصوصیات منحصر به فردی چون ظرافت مناسب، قابلیت برگشت‌پذیری، انعطاف و ارتجاعیت خوب، مقاومت در برابر آلودگی، حذف آلودگی‌های رایج در هوای داخلی محیط نظیر فرمالدئید، دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن، همچنین تمیزشوندگی آسان، جذب رطوبت بالا، مقاومت در برابر شعله و قدرت عایق‌بندی خوب، یکی از بهترین الیافی است که در کف‌پوش‌های سنتی از جمله فرش دستباف به کار می‌رود و به عنوان یک محصول تجدیدپذیر و زیست تخریب‌پذیر می‌تواند سال‌ها ظاهر خود را حفظ کند [۵-۲]. پشم یک لیف پیچیده است که طی هزاران سال به واسطه گوسفندانی که آن را تولید می‌کنند، تکامل یافته تا از آن‌ها در طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی محافظت کند و مرغوبیت آن به عواملی چون نژاد حیوان، موقعیت جغرافیایی، محل نگهداری دام، فصل چینش، موضع برداشت، جنسیت، کیفیت و ترکیب علوفه و غیره بستگی دارد [۲، ۶، ۷]. کمتر از ۳٪ کل الیاف مصرفی در صنعت نساجی را پشم تشکیل می‌دهد که از این میزان، حدود ۷۰٪ در صنعت پوشاک و ۳۰٪ باقیمانده در فرش و کف‌پوش‌های پشمی استفاده می‌شوند [۸].

امروزه فرش‌بافی گسترده‌ترین صنایع دستی ایران بوده و اساسا بخشی از هنر و فرهنگ ایرانی محسوب می‌شود. فرش‌های ایرانی به دلیل غنای رنگ، تنوع نقش و نگار و کیفیت طراحی، مشهور بوده و یک سوم درآمد غیرنفتی ایران از صادرات فرش به بازارهای جهانی حاصل می‌شود. کارشناسان معتقدند که قالی بافی ۸۰٪ ارزش افزوده دارد، در حالی که ارز مورد نیاز برای تأمین مواد اولیه کمتر از ۱۰٪ کل هزینه تولید است [۲]. مهندسی نخ‌های پشمی برای تولید خامه‌های با کیفیت مورد استفاده در تولید فرش دستباف اهمیت فراوان دارد و باید بسیاری از عوامل از جمله استحکام و تەرنگ در هنگام تهیه آن مورد توجه قرار گیرد به طوری‌که انتظارات بافنده و خریدار را به خوبی مهیا سازد. لذا انتخاب و ترکیب پشم، ریسندگی و تکمیل نهایی نخ به عنوان سه مرحله مهم، نقش اساسی در تامین این نیازها دارد. به منظور برآورده کردن چنین ویژگی‌هایی لازم است تا پشم از منابع خوبی تامین گردد به طوریکه، خامه فرش باید عاری از هر نوع پشم بازیافتی، دباغی شده و یا آسیب دیده با قارچ، باکتری، حشرات یا مواد شیمیایی بوده و تا حد امکان سفید باشد [۹]. در ایران پشم مورد استفاده در صنعت فرش، غالباً از گوسفندانی تهیه می‌شود که اساساً برای تولید گوشت پرورش یافته‌اند و می‌توان پشم آن‌ها را به عنوان محصول جانبی در نظر گرفت در حالی که نژادهای نیوزیلند برای اهداف دوگانه تولید گوشت و پشم و گوسفندان کشورهای زلاندنو و استرالیا برای تولید پشم پرورش می‌یابند. با توجه به تنوع اقلیم آب و هوایی ایران، نژادهای معروف و مرغوبی از گوسفندان مانند افشاری، بلوچی، سنجابی، بختیاری و غیره در مراتع سرسبز نواحی کرمانشاه، خراسان شمالی، کوه‌های البرز، زاگرس و غیره وجود دارند که عمدتا دارای پشم‌هایی ضخیم و مستحکم بوده و نیاز صنعت قالی بافی را جهت تامین خامه فرش‌هایی بادوام فراهم می‌سازند. که معمولا سفیدترین آن‌ها از نواحی سیستان و شهر زابل به دست می‌آیند. با این وجود پشم مورد نیاز برای تولید فرش دستباف، غیر از منابع داخلی از منابع مختلف خارجی مانند نیوزیلند، استرالیا و غیره نیز تامین می‌شود که عمدتا برای فرش‌های ظریف‌تر با رج شمار بالا بکار می‌رود و عموما ظاهر سفیدتری دارند [۶].

با توجه به اهمیتی که تەرنگ الیاف پشم در کنار سایر عوامل تأثیرگذار در تولید خامه‌های سفید و رنگی با کیفیت و همینطور شفافیت و ظاهر رنگی فرش دستبافت دارد، این مقاله بر آن است تا به اهمیت تەرنگ الیاف پشم مورد استفاده در صنعت فرش دستباف از نظر میزان سفیدی و امکان و لزوم سفیدگری و همینطور تأثیر فرآیند سفیدگری بر عملیات رنگرزی نهایی و میزان جذب رنگ خامه فرش دستباف بپردازد.

۲- آماده‌سازی الیاف پشم

تولید و برداشت پشم و آماده‌سازی آن برای مراحل بعد بخشی حیاتی از فرآیند تولید منسوجات پشمی محسوب می‌گردد به‌طوری که مستقیماً بر ارزیابی پشم توسط خریدار و نوع و کیفیت محصول نهایی اثرگذار است لذا پیش از مصرف و یا فروش الیاف جهت مصارف مختلف، نخست انجام مراحلی جهت آماده‌سازی الیاف پشم ضروری به نظر می‌رسد [۱۰]. در ادامه این بخش به مواردی که پس از چینش پشم و به منظور آماده‌سازی آن جهت مصرف و فروش انجام می‌شود پرداخته خواهد شد.

۲-۱- مرتب‌سازی[1] پشم

اولین کاری که بلافاصله پس از چینش پشم انجام می‌گیرد، مرتب‌سازی پشم است. پشم‌ها از نظر جنسیت، سن، محل چینش و همینطور رنگ به رده‌های مختلفی تقسیم بندی می‌شوند به طوری که پشم میش‌ها، قوچ‌ها و بره‌ها از یکدیگر جدا می‌گردند. همچنین پشم چیده شده از نواحی مختلف بدن گوسفندان به دلیل تفاوت از نظر مشخصه‌های مختلف

[1] Sorting

فیزیکی مانند طول، ظرافت، زیردست، رنگ و غیره به دسته‌های جداگانه‌ای، گاهی تا ۱۴ گروه طبقه‌بندی می‌شوند. در اکثر مناطق دنیا مانند استرالیا این روش تقسیم‌بندی به دقت رعایت می‌شود، حتی فردی مسئول مراقبت پشم‌های جدا شده از بدن گوسفندان می‌باشد تا پشم‌های قسمت‌های مختلف با هم مخلوط نگردند ولی آنچه در ایران متداول است طبقه‌بندی الیاف به چند دسته رنگی می‌باشد. این دسته‌بندی‌ها بر اساس فام الیاف پشم عبارتند از:

پشم سفید درجه ۱ شامل کلیه پشم‌های سفید بدن گوسفند به استثنای پشم‌های دست و پا

پشم سفید درجه ۲ حاوی پشم‌های سفید دست و پای حیوان همینطور پشم‌های سفید با الیاف کوتاه

پشم شکری شامل پشم‌هایی کمی تیره‌تر از سفید

پشم الوان که مخلوطی از پشم‌های قهوه‌ای، شتری، خاکستری و پشم‌های رنگی دیگر است.

و درگروه آخر پشم‌هایی که دارای رنگ مشکی باشند [۱۱، ۲].

۲-۲- وجود الیاف تیره[1]

یکی از عواملی که می‌تواند ظاهر رنگی الیاف پشم خام را تحت تأثیر قرار دهد، وجود الیاف رنگی و یا تیره مخلوط با الیاف روشن است. پشم استرالیا و نیوزلند در مقایسه با پشم بسیاری از کشورهای دیگر تا حد زیادی عاری از الیاف رنگی است. الیاف رنگی پشم ممکن است به طور طبیعی رنگی بوده و یا توسط عوامل مختلف طبیعی رنگی شده باشد. الیاف تیره مخلوط با الیاف روشن ممکن است از طریق وجود تکه‌های کوچک پشم تیره روی گوسفندان سفید بوجود آید و یا به واسطه مخلوط شدن پشم گوسفندان رنگی با سفید ایجاد شود. در اینصورت وجود احتمالی بیشینه ۲۰ لیف تیره در ۱۰۰ گرم از الیاف پشم به عنوان یک حد رواداری برای فروش پشم و تخفیف در قیمت‌گذاری محسوب می‌شود. لذا احتیاط زیادی لازم است تا پشم فاقد الیاف تیره جهت تهیه نخ‌های با کیفیت فرش تهیه گردد. بر این اساس یک شناساگر (آشکارساز) الیاف تیره توسط سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی مشترک المنافع وابسته به دولت فدرال استرالیا CSIRO[2] ساخته شده که می‌تواند الیاف تیره را به منظور تسهیل شمارش در توده الیاف، شناسایی کند. اما نمی‌توان از آن به عنوان یک آزمایش برای پیش‌فروش پشم استفاده کرد. در عوض، طرحی در استرالیا توسعه یافته که با آن می‌توان "درجه ریسک الیاف تیره و دارای غلاف مغزدار"[3] را برای مقدار زیادی از پشم‌های قابل‌فروش، بر اساس معیارهایی چون جنسیت، سن، نژاد، نوع و نحوه چینش پشم، تعیین کرد [۱۲].

۲-۳- ملزومات الیاف پشم مورد استفاده در فرش

بر اساس نظر سازمان تحقیقات پشم نیوزیلند[4](WRONZ)، شش ویژگی ظرافت، حجم الیاف، مدولاسیون[5]، محتوای مواد گیاهی، طول الیاف پس از کاردینگ و رنگ پایه[6] از عوامل اصلی انتخاب الیاف پشم بوده که بسته به نوع فرشی که تولید می‌شود، از نظر اهمیت طبقه‌بندی می‌گردد [۲].

بر این اساس الیاف پشم به کار رفته در یک فرش پشمی ایده‌آل، به منظور بهبود خواص زیردست و حجم مناسب، باید دارای قطر ۳۰ تا ۳۵ میکرون باشد که این معیار بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۴۵۶، از ۲۵ تا ۳۸ میکرون در نظر گرفته شده است [۹، ۲]. استفاده از الیاف پشم با تجعد بالا، منجر به تولید نخ با حجم و ارتجاعیت خوب و مناسب می‌شود. لذا اندازه‌گیری حجم الیاف پشم برای دستیابی به خصوصیات نهایی مطلوب فرش مانند انعطاف‌پذیری، شکل ظاهری و قابلیت برگشت‌پذیری امری ضروری به نظر می‌رسد. همچنین علی‌رغم اینکه مدولاسیون بالا موجب کاهش مقاومت سایشی فرش می‌گردد، داشتن مقدار کمی (۲ تا ۵٪) الیاف غلاف‌دار در عمل سبب بهبود برخی از خصوصیات عملکردی فرش می‌شود. از طرف دیگر لازم است الیاف پشم تا حد امکان عاری از مواد گیاهی و سایر ناخالصی‌ها باشد. میزان ناخالصی الیاف پشم مصرفی بیشینه ۱٪ پیشنهاد شده است. طول قابل‌قبول الیاف نیز برای سیستم نیمه پشمی ۷۵ ± ۱۷۰ میلی‌متر و برای تولید نخ پشمی ۵۰ تا ۱۲۵ میلی‌لیتر در نظر گرفته شده است [۲].

عامل مهم دیگر، رنگ پایه و یا ته‌رنگ الیاف پشمی مورد مصرف در صنعت فرش می‌باشد، لذا الیاف پشم خام پس از مرتب‌سازی دقیق، از لحاظ رنگ به چند دسته رنگی از تیره تا روشن یا به اصطلاح سفید طبقه‌بندی می‌شوند. بر این اساس پشم‌های مناسب جهت خامه فرش، عاری از الیاف تیره در نظر گرفته شده که با مقادیر سه‌بعدی استاندارد X ، Y و Z که همان محرکه‌های سه‌گانه کالای پشمی هستند و همچنین (Y-Z) به عنوان واحد زردی، در جدول ۱، از خوب تا ضعیف نشان داده شده است [۲].

این در حالی است که درجه زردی الیاف بکار رفته در نخ خامه رنگرزی نشده بر اساس استاندارد ملی ایران با شماره ۴۵۶، بیشینه ۳ در نظر گرفته شده است [۹]. با توجه به جدول ۱ هر چه Y (واحد روشنایی) بزرگ‌تر و Y-Z کم‌تر باشد کیفیت رنگ پشم بهتر است.

جدول ۱- مقادیر استاندارد روشنایی و زردی برای خامه فرش دستباف [۲۱].

	X	Y	Z	Y-Z
خوب	۶۰	۶۲	۵۹	۳
متوسط	۵۶	۵۷	۵۲	۵
ضعیف	۵۱	۵۳	۴۵	۸

[1] Dark fibers
[2] Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
[3] Dark and medullated fibre risk rating
[4] Wool research organization of New Zealand
[5] Modulation
[6] Base color

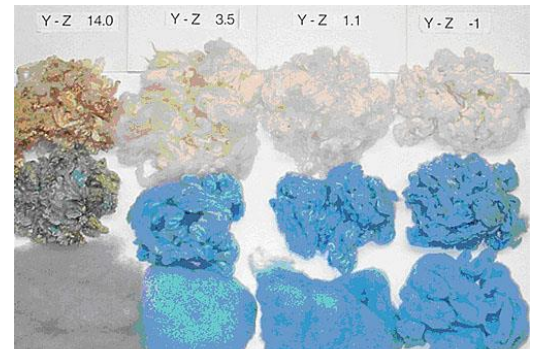
۳- اهمیت رنگ پایه الیاف پشم

بدیهی است رنگ اولیه الیاف بر شید نهایی حاصل از رنگرزی آن‌ها تأثیرگذار است، لذا رنگ پایه الیاف پشم به منظور تهیه نخ یا خامه فرش دستباف، بخصوص در ارتباط با خامه‌هایی که با رنگ‌های روشن رنگرزی می‌شوند از اهمیت بالایی برخوردار است. به طور مثال ته‌رنگ زرد الیاف پشم می‌تواند مانع ایجاد رنگ دلخواه با روشنایی و خلوص بالا و شفافیت لازم گردد. حساسیت این امر به ویژه زمانی آشکارتر می‌گردد که شید مورد نظر روشن‌تر از رنگ پایه الیاف باشد. از طرف دیگر ته‌رنگ زرد الیاف پشم پایداری چندانی نداشته و می‌تواند تحت شرایط متفاوت تغییر کرده و فام نهایی الیاف را تحت تأثیر قرار دهد. شکل ۱، اثر زردی ۴ نمونه الیاف پشم با درجه زردی متفاوت را بر کیفیت رنگرزی نشان می‌دهد [۱۲].

تصاویر بالایی شکل ۱، چهار نمونه الیاف پشم با مقادیر زردی متفاوت را نشان می‌دهند. ردیف دوم شکل ۱، فام هر چهار نمونه الیاف پشم را در حالی نشان می‌دهد که با رنگ آبی اسیدی رنگرزی شده‌اند. ردیف آخر شکل ۱، الیاف رنگرزی و شانه زده شده را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱، هر چه میزان زردی (Y-Z) الیاف افزایش می‌یابد، رنگ آبی حاصله کدرتر می‌شود [۱۲].

در تحقیقی که توسط کامرون و استوبارت بر روی ۱۸ نمونه پشم استرالیایی، ۵۰ نمونه پشم آمریکایی و ۵۰ نمونه پشم نیوزیلندی با ظرافت‌های متفاوت انجام گرفت، زردی (Y-Z) هر یک از نمونه ها یک بار بعد از پخت و بار دیگر بعد از عملیات کاردینگ[1] اندازه‌گیری شد. مقایسه نتایج نشان داد که زردی الیاف پشم پس از عملیات کاردینگ، نسبت به زمانی که تنها پخت‌شده باشند کاهش می‌یابد. این مسئله می‌تواند به دلیل حذف مواد اضافی تیره رنگ از الیاف پشم باشد [۱۳].

با وجود عوامل اثرگذار بر شید نهایی خامه فرش دستباف، از جمله رنگ پایه، شرایط سفیدگری، رنگرزی و یا سایر عوامل مؤثر، مشخصه‌های رنگی و طیف انعکاسی نخ پشمی مورد استفاده در فرش با زمانی‌که به عنوان نخ خاب در فرش دستباف بکار برده می‌شود، متفاوت است [۱۶-۱۴].



شکل ۱- اثر زردی ۴ نمونه الیاف پشم با درجه زردی متفاوت بر کیفیت رنگرزی [۱۲].

[1] Carding

در تحقیقی که توسط شمس ناتری و همکارانش در ارتباط با خواص نوری فرش دستباف انجام شد، طیف انعکاسی و مشخصه‌های رنگی نخ پشمی و فرش بافته شده از آن مورد بررسی و مقایسه قرارگرفت. به این منظور نمونه‌های نخ پشمی با استفاده از رنگ گیاهی روناس تحت غلظت‌های مختلف از ۱۰٪ تا ۱۰۰٪ برحسب وزن نمونه‌ها رنگرزی شدند. در ادامه طیف انعکاسی، قدرت رنگ (K/S) و ویژگی‌های رنگی نخ‌های پشمی در راستای طولی و نیز خاب فرش دستباف حاصل از آن با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که طیف انعکاسی فرش‌ها در تمام غلظت‌های رنگ از طیف انعکاسی نخ‌های پشمی کمتر است. به عبارت دیگر نخ‌های پشمی در جهت طولی روشن‌تر از خاب فرش دستباف مشاهده می‌شوند لذا قدرت رنگی فرش دستباف از قدرت رنگی نخ به‌کاررفته در آن بیشتر است. همچنین خلوص فرش از خلوص نخ بیشتر بوده و فام فرش از فام نخ‌های به کار رفته در آن کمتر است. از طرف دیگر نتایج حاکی از آن است که فرش دستباف قرمزتر از نخ‌های اندازه‌گیری شده در راستای طولی به نظر می‌رسند. در این تحقیق همچنین نتایج کسب شده مربوط به تفاوت بین طیف انعکاسی نخ در جهت طولی و فرش تهیه شده از آن، به کمک کاربرد روش تحلیل اجزاء اصلی (PCA)[2] تایید گردید. نتایج حاصل از این تحقیق در خصوص ارتباط بین رفتار انعکاسی و مشخصه‌های رنگی نخ پشمی و فرش تهیه شده از آن می تواند به منظور رنگ همانندی فرش دستباف قبل از تولید آن مورد استفاده قرارگیرد [۱۶].

۳-۱- دلایل تفاوت رنگ پایه الیاف پشم

دلایل مختلف تغییر رنگ پایه الیاف پشم توسط هندرسون[3] در سال ۱۹۶۸ به‌طور کامل مورد بحث قرار گرفته است. عمومی‌ترین منبع تغییر رنگ پشم، انتشار رنگ زردی است که بیشتر در پشم‌های کراس برد[4] (نوعی پشم بلند و ظریف نیوزلندی) که در اواخر فصل چیده شده و در شرایط گرم و مرطوب رشد کرده‌اند، مشهود است. اگرچه این تغییر رنگ تا حد زیادی قابل برطرف کردن است، اما وجود آن موجب برداشت ذهنی رنگ تیره از پشم می‌گردد [۱۷].

در صورتی که گوسفندان دارای پشم بلند طی مدت زمان طولانی تحت شرایط گرم و مرطوب قرار بگیرند، ممکن است زردی غیرقابل مهاری به نام لکه قناری[5] در ظاهر آن‌ها ایجاد شود. این وضعیت، که ممکن است به صورت نوارهای گسسته در پشم گوسفند ظاهر شود یا در موارد شدید در کل پشم پخش شود، بیشتر در پشم‌های شکسته و گره خورده[6] شیوع دارد. نوع دیگر تغییر رنگ در اثر عملکرد باکتری در پشم ایجاد می‌شود که اغلب با شستشو از بین می‌روند اما در مواردی این لکه‌ها پایدار بوده و ممکن است به پشم آسیب برسانند [۱۲]. زرد شدن پشم گوسفندان را

[2] Principal component analysis
[3] Henderson
[4] Crossbred wool
[5] Canary stain
[6] Cotted wool

می‌توان با قیچی‌کردن در اواخر زمستان یا اوایل بهار، قبل از شروع شرایط گرم و مرطوب به حداقل رساند. شکل ۲ تغییر در زردی الیاف پشم نیوزیلندی را در طول سال نشان می‌دهد [۱۷].

محققان دانشگاه لینکلن طی آزمایشاتی دریافتند که گرایش پشم به زردی قابل پیش‌بینی است چرا که شواهد نشان می‌دهد که تمایل به زردی در پشم تا حد زیادی یک امر ژنتیکی است، بنابراین می‌توان با انتخاب مناسب گله، این مشکل را کاهش داد. رنگ پشم همچنین می‌تواند تحت تأثیر لکه‌گذاری‌های طبیعی نظیر ادرار و فضولات حیوان قرار بگیرد. با وجود این که به طور معمول هر دو قابل شستشو هستند اما لکه ادرار در صورت تیرگی می‌تواند تغییر رنگ دائمی در پشم ایجاد کند. رنگدانه‌های علف نیز ممکن است بر ته رنگ الیاف پشم تأثیر بگذارد [۱۸].

از عوامل مهم دیگر تغییر رنگ پشم خام، دوره انباشته‌سازی آن در انبار می‌باشد به گونه‌ای که طی ۶ تا ۱۲ ماه ممکن است پشم تغییر رنگ پیدا کرده و هرچه رنگ اصلی زردتر باشد، تغییر آن سریع‌تر و واضح‌تر خواهد بود [۱۲]. از طرف دیگر میزان این تغییر رنگ در نژادهای مختلف متفاوت است به طوری پشم مرینوس دارای پایداری نسبتا بهتری بوده و در بیشترین حالت ۰/۰۱ تا ۰/۱ واحد در ماه به زردی آن افزوده می‌گردد و اغلب بعد از دو سال تغییر قابل‌توجهی در شاخص زردی (Y-Z) مشاهده نمی‌شود. به همین دلیل سازمان بین‌المللی منسوجات پشمی (IWTO)[1] اجازه می‌دهد تا گواهی رنگ برای پشم مرینوس خام به مدت ۲ سال از تاریخ صدور، معتبر باقی بماند. این درحالی است که در پشم‌های نیوزیلند، گواهی تغییر رنگ تا بیشینه ۶ ماه قابل اطمینان است. اما در برخی نژادها شاخص زردی تا ۰/۰۵ واحد در روز (۱/۵ واحد در ماه) تغییر می‌کند که در اینصورت مدت انبارداری به کمینه ممکن کاهش می‌یابد. با این حال برداشت از تفاوت رنگ در افراد مختلف متفاوت است. اکثر ناظران قادر به قضاوت در مورد اختلاف کمتر از ۱/۸ واحد در روشنایی (Y)، یا ۱/۱ واحد در شاخص زردی (Y-Z) نیستند [۱۹، ۵].

۳-۲- تاریخچه اندازه‌گیری رنگ پایه الیاف پشم

نظر به این که ظاهر خود رنگ الیاف پشم خام یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در رنگ نهایی خامه فرش بوده و در صورت مرغوبیت می‌تواند امکان صادرات آن را فراهم سازد، لذا اندازه گیری رنگ الیاف پشم خام به خصوص برای صادرکنندگان این محصول امری ضروری به نظر می‌رسد.

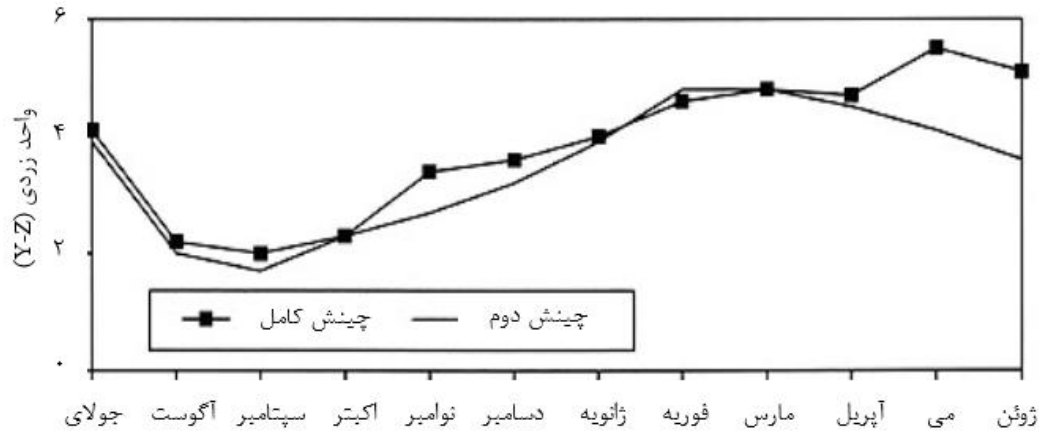
اندازه‌گیری رنگ الیاف پشم برای اهداف تجاری در دهه ۱۹۷۰ پس از چندین سال تحقیق در سازمان تحقیقات پشم نیوزیلند (WRONZ) آغاز شد و به این ترتیب اولین استاندارد ملی اندازه‌گیری پشم[2] در سال ۱۹۷۷ برای پشم پخت شده به رسمیت شناخته شد [۲۰].

در سال ۱۹۸۴ این استاندارد بر پایه پشم خام گسترش یافت و اندازه‌گیری رنگ پایه، مبنای تجارت پشم گردید. در سال ۱۹۸۸، سازمان بین‌المللی منسوجات پشمی (IWTO) پیش‌نویسی به عنوان یک روش آزمایش برای رنگ پایه الیاف پشم با عنوان (IWTO-DTM-56) بر اساس استاندارد نیوزلند تولید کرد. این پیش‌نویس روش آزمون در نهایت به یک روش کامل آزمایش با عنوان IWTO-56-03 تبدیل شد. روش آزمایش مذکور بر اساس منبع نوری استاندارد C تحت زاویه مشاهده‌کننده ۲° (C/2) که اکنون منسوخ شده است، ساخته شد. از آن زمان تا به امروز پس از تحقیقات فراوان، به دلیل مشکلات ناشی از استفاده از منبع نوری C با زاویه مشاهده‌کننده ۲° به خصوص در ارتباط با ارائه نتایج گمراه‌کننده در مورد مواد فلورسنت و عدم تطابق نتایج حاصل از آن با ارزیابی چشمی و به منظور یکسان‌سازی استاندارد روشنایی مورد استفاده در سطح بین‌الملل، اندازه‌گیری رنگ پشم، اکنون با استاندارد روشنایی D65 و با زاویه دید ۱۰ درجه انجام می‌گیرد [۱۲].

در حالی که اندازه‌گیری رنگ پشم خام، در کشور نیوزلند، به طور ۱۰۰٪ پذیرفته شده و اطلاعات حیاتی را برای اهداف تجارت پشم فراهم می‌کند، این آزمون در کشور استرالیا مورد استقبال قرار نگرفت. چرا که پشم مرینوس معمولاً سفیدتر و روشن‌تر از پشم گوسفند معمولی بوده و از طرفی بیشتر پشم استرالیا در مناطق خشک‌تر تولید می‌شود.

[1] International Wool Textile Organization

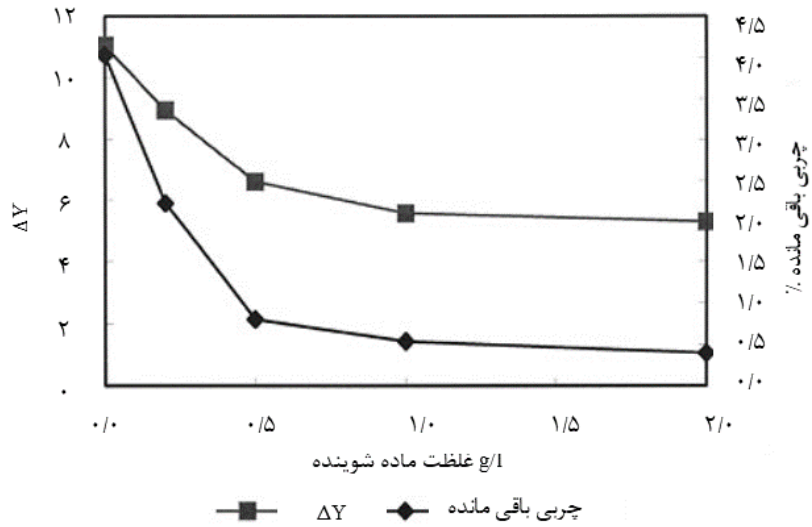
[2] NZS 8707: 1977



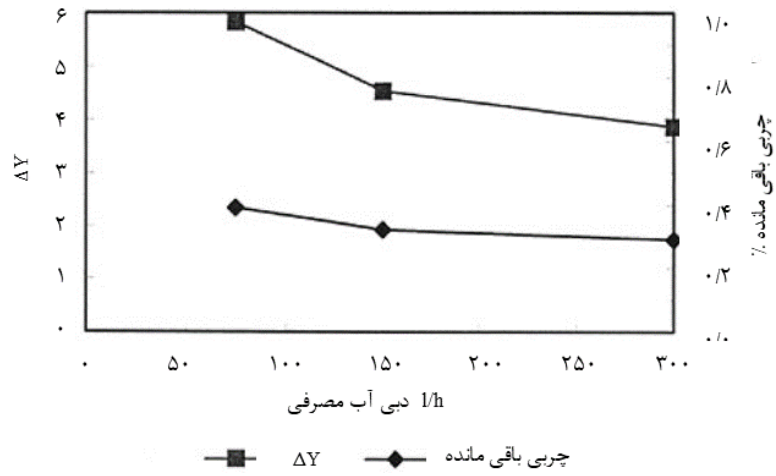
شکل ۲- تغییرات زردی الیاف پشم نیوزلند در طول یک سال [۱۷].

بنابراین زوال رنگ پشم به دلیل کاهش رطوبت، شیوع کمتری دارد. در نتیجه، با توجه به جدیدترین اطلاعات موجود از سازمان آزمایش پشم استرالیا، تقاضا برای انجام این آزمون در دهه گذشته کاهش یافته است به گونه‌ای که اکنون کمتر از ۱٪ متقاضی داشته و شناسایی و انتخاب پشم خام بر مبنای ارزیابی چشمی انجام می‌گیرد. با این حال، رنگ پشم خام نشانگر ضعیفی از رنگ همان پشم پس از پخت است. این همبستگی ضعیف به دلیل اثرات چربی پشم و گرد و غبار بر روی رنگ پشم است که هر دو با شستشو از بین می‌روند. بنابراین برای دستیابی به نتایج معنی‌دار، ضروری است که نمونه پشم ارائه شده برای اندازه‌گیری رنگ، در تمیزترین و یک دست‌ترین حالت ممکن باشد. نتایج بدست آمده از چنین نمونه‌ای "رنگ پایه"[1] پشم را تعریف می‌کند. در غیر این صورت نتایج حاصل از اندازه‌گیری"رنگ موجود"[2] پشم را نشان می‌دهد [۱۲]. به همین دلیل روش آزمایش رنگ پشم (IWTO) بیان می‌کند که الزامات اساسی برای تهیه نمونه پشم جهت اندازه‌گیری رنگ آن، این است که نمونه پشمی باید عاری از انواع آلاینده‌ها نظیر چربی، خاک، مواد گیاهی، رطوبت، ذرات معلق و سایرکثیفی‌ها بوده و به خوبی مخلوط و یکدست شده باشد. همچنین روش‌های پاک‌سازی نمونه الیاف پشم باید به گونه‌ای باشد که رنگ پایه پشم تغییر نکند [۲۱]. به این ترتیب ΔY، حاصل تفاضل روشنایی پشم شسته شده و شسته نشده به عنوان معیاری برای بررسی میزان اثر بخشی مواد شوینده جهت تمیزکاری پشم خام در نظرگرفته شده که به شدت متاثر از شرایط شستشو مانند غلظت مواد شوینده و همچنین دبی آب مصرفی (جریان آب) می‌باشد این موضوع در دو شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است [۱۲]. در هر دو شکل ارتباط نزدیک بین ΔY و سطح چربی باقیمانده روی پشم کاملا مشهود است.

[1] Base colour
[2] 'as-is' colour



شکل ۳- اثر غلظت مواد شوینده بر تغییرات روشنایی (ΔY) و چربی پشم [۱۲].



شکل ۴ - اثر دبی آب مصرفی (جریان آب) بر تغییرات روشنایی (ΔY) و چربی پشم [۱۲].

۴- سفیدگری الیاف پشم

در عملیات شستشوی خامه قالی، با وجود اینکه مقدار زیادی از واکس‌ها، ناخالصی‌ها و آلودگی‌های ظاهری الیاف برطرف می‌شود، رنگ پایه الیاف پشمی، به دلیل وجود رنگدانه‌های طبیعی، در طیف گسترده‌ای از رنگ‌های سفید تهزرد تا کرم نمایان می‌گردد. اما از آنجا که درصد بالایی از الیاف پشم به صورت رنگی به بازار ارائه می‌شود، سفیدگری پشم اهمیت چندانی ندارد مگر در مواردی که رنگ طبیعی پشم مانع ازکسب رنگ روشن مطلوب شود. لذا رنگ نهایی خامه تعیین‌کننده لزوم و میزان سفیدگری می‌باشد [۲۴-۲۲].

الیاف پشمی را می‌توان با استفاده از مواد اکسیدکننده و احیاکننده، سفیدگری نمود. سفیدگری پشم توسط مواد اکسیدکننده در مقایسه با مواد احیاکننده گرچه گران‌تر است اما اثرات قوی‌تر و با دوام‌تری را به همراه دارد. استفاده از هیپوکلریت‌ها در سفیدگری پشم نه تنها پشم را سفیدتر نمی‌کند بلکه موجب زرد شدن بیشتر کالا و حتی در مواردی مثل کلریت سدیم، منجر به ایجاد تهرنگ صورتی در پشم شده و به دلیل داشتن محیط قلیایی، می‌تواند کاهش شدید استحکام الیاف را به همراه داشته باشد [۲۵] . آب اکسیژنه[1] متداول‌ترین و بهترین سفیدکننده و اکسیدکننده پشم است که با برطرف کردن رنگدانه‌های طبیعی می‌تواند موجب افزایش سفیدی پشم گردد. این ماده با حل شدن در آب مانند یک اسید بسیار ضعیف عمل می‌کند و به‌صورت یون‌های پرهیدروکسی(HO_2^-)[2] درمی‌آید.

$$H_2O_2 \leftrightarrow H^+ + HO_2^- \qquad (۱)$$

آنیون نسبتا ناپایدار پرهیدروکسی با پراکسیدهای هیدروژن (H_2O_2) موجود واکنش داده و رادیکال‌های هیدروکسیل(OH^-)[3] و سوپراکسید (O_2^-)[4] تشکیل می‌دهد.

$$HO_2^- + H_2O_2 \leftrightarrow OH^- + O_2^- + H_2O \qquad (۲)$$

سفید شدن الیاف پشم با آب اکسیژنه به احتمال زیاد، به واسطه واکنش رادیکال‌های سوپراکسید با رنگدانه‌های پشم می‌باشد [۲۶].

با این‌حال تجربیات صنعتی نشان می‌دهد که پشم سفید شده با آب اکسیژنه قابلیت نمدی شدن کمتری در مقایسه با پشم سفید نشده دارد همچنین تغییراتی چون کاهش لطافت زیردست و مقاومت سایشی از پیامدهای سفیدگری پشم با آب اکسیژنه است [۲۵]. از طرفی در سفیدگری با آب اکسیژنه چنانچه شرایطی مثل غلظت، حرارت و pH قلیایی محیط کنترل نشود، آب اکسیژنه می‌تواند به پیوندهای گوگردی حمله کرده، موجب کاهش اتصالات بین مولکولی شده و با کوتاه کردن طول زنجیره‌های پلی پپتیدی سبب کاهش استحکام الیاف پشم گردد.

این مسئله در ارتباط با خامه قالی دستباف اهمیت ویژه ای دارد به طوری که طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۵۶ کم‌ترین مقاومت تا حد پارگی برای خامه قالی در سیستم پشمی ۳/۵ و در سیستم نیمه‌فاستونی ۶/۵ سانتی نیوتن بر تکس تعریف شده است [۹].

سفیدکننده‌های نوری دسته دیگری از سفیدکننده‌ها هستند که اگرچه به دلایلی چون هزینه بالا جهت سفیدگری خامه قالی دستباف استفاده چندانی ندارند اما می‌توانند با جذب طول موج‌های پایین در نواحی ماوراء بنفش (۳۷۰-۳۴۰ نانومتر) و نشر آن‌ها در نواحی طول موج‌های پایین طیف مرئی بخصوص نواحی محدود به فام آبی (محدوده ۴۷۰-۴۲۰ نانومتر) بدون اینکه به الیاف صدمه بزنند، سفیدی مطلوبی را در پشم ایجاد کنند [۲۷]. در تحقیقی که توسط آخوند عطار و همکارانش انجام شد، اثر سفیدگری با آب اکسیژنه و همچنین سفیدکننده نوری بر جذب رنگزای اسیدی توسط نخ پشمی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش چند نمونه نخ پشمی در حمام محتوی سفیدکننده نوری با غلظت‌های مختلف (۰/۸- ۰/۲)٪ ، در دمای ۶۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت سفیدگری شدند. همچنین چند نمونه دیگر ابتدا در حمام آب اکسیژنه ۳۵٪ با غلظت‌های (۲۰- ۱۰)٪ و g/l ۳ تری سدیم فسفات در دمای ۶۰- ۴۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲ ساعت سفیدگری شده و سپس در حمام g/l ۳ هیدروسولفیت سدیم و g/l ۳ دی سدیم هیدروژن فسفات به مدت ۲ ساعت در دمای معین قرار گرفته و بعد توسط آب سرد آبکشی و شسته شدند. در پایان نمونه‌های سفیدگری شده با دو رنگ اسیدی Lanaset Red 2B و Best Acid Milling Cyanine 5R با غلظت ۱٪ به همراه g/l ۲۰ سولفات سدیم ۱۰٪ و ۱۰٪ اسید سولفوریک ۴٪ با نسبت حجم به وزن ۱:۵۰ به مدت ۱ ساعت تحت عملیات رنگرزی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت سفیدکننده نوری، نه تنها استحکام نخ پشمی کاسته نشده بلکه بیشتر هم شده است. اما با افزایش غلظت هیدروژن پراکسید و دما استحکام نخ پشمی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد که با افزایش غلظت سفیدکننده نوری و آب اکسیژنه میزان بیشینه جذب رنگ کاهش می‌یابد [۲۸].

در پژوهشی دیگر، کگارا و همکارانش نشان دادند که در رنگرزی با رنگ اسیدی C.I. Acid Blue 80 بر روی پشم سفیدگری شده با آب اکسیژنه و پشم خودرنگ، جذب رنگ بر روی پشم سفیدگری نشده بیشتراست که این میزان جذب در غلظت های بالاتر کاهش می‌یابد. همچنین ضریب نفوذ این رنگ با افزایش زمان رنگرزی افزایش یافته اما این میزان بر روی پشم سفیدگری نشده بیشتر از نمونه سفیدگری شده با آب اکسیژنه است [۲۹]. لذا نکته مهمی که در صورت استفاده از سفیدکننده‌ها بر روی پشم، خصوصا خامه قالی دستباف، باید همواره مورد توجه قرار بگیرد این است که سفیدکننده باید ضمن حذف رنگدانه‌های طبیعی و رسیدن به سفیدی مطلوب، به ساختار فیزیکی و شیمیایی پشم آسیب نرساند. با این حال با توجه به اثرات نامطلوب احتمالی، تا حد امکان از سفیدکننده‌ها در آماده سازی خامه قالی استفاده نمی‌شود. در تحقیقی

[1] Hydrogen peroxide
[2] Perhydroxy
[3] Hydroxyl
[4] Superoxide

دیگر، امکان بهبود خواص فیزیکی و سفیدی نخ پشمی ایرانی مورد استفاده در فرش دستباف به وسیله عملیات زیست‌سازگار، توسط داداشیان و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش نمونه نخ‌های پشمی ابتدا در حمامی حاوی ۱ میلی‌لیتر آمونیاک و ۱ g/l شوینده نانیونیک با نسبت حجم به وزن ۳۰:۱ ، به مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه مورد خنثی‌سازی قرار گرفته، سپس با درصدهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۱/۵ توسط آنزیم پروتئاز در pH= ۸/۵ با نسبت حجم به وزن ۳۰:۱ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد عمل شدند. در این تحقیق مشخص شد که با استفاده از آنزیم پروتئاز و ایجاد تغییرات سطحی، با تغییر در فلس‌ها، می‌توان با یکنواخت‌تر کردن سطح الیاف پشم، جلا و سفیدی در الیاف پشم را افزایش داده و موجب بهبود خامه قالی و در نهایت بهبود کیفیت فرش دستباف شد. در این تحقیق افزایش زمان عملیات آنزیم نسبت به افزایش غلظت آنزیم تأثیر بیشتری بر تغییرات خواص فیزیکی الیاف دارد به طوریکه افزایش زمان عملیات موجب افزایش بیشتر سفیدی و درخشندگی و همچنین افزایش میزان زاویه خمش نخ‌ها می‌شود. افزایش میزان زاویه خمش نخ‌ها موجب ایجاد انعطاف‌پذیری و زیردست بهتر و کاهش سختی در برابر خمش می‌گردد [۳۰].

۵- نتیجه‌گیری

دلایل متعددی چون نژاد، جنسیت، سن، شرایط نگهداری و مناطق اقلیمی مختلف موجب شده تا پشم تولیدی گوسفندان با خصوصیات فیزیکی مختلفی از جمله ته‌رنگ، طول، ظرافت، تجعد و...به بازار عرضه شود. با این وجود ویژگی‌های خوب و قطر مناسب الیاف پشم گوسفندان بومی ایرانی سبب استفاده آن‌ها در فرش دستباف شده است. با توجه به تنوع بالای رنگ خامه‌های مورد استفاده در صنعت فرش دستباف بخصوص بکارگیری شیدهای روشن در فرش‌های برخی مناطق ایران، ته‌رنگ الیاف پشم خام مورد استفاده بسیار حائز اهمیت است. چرا که هر چه ظاهر خودرنگ الیاف پشمی خام به سفید نزدیک‌تر باشد، دستیابی به خامه‌های با شیدهای روشن و سفیدتر، آسان‌تر است. در غیر این‌صورت گاهی خامه‌ها مستلزم عملیات سفیدگری بوده که با توجه به مشکلاتی چون کاهش استحکام و تغییر در خواص جذبی در عملیات رنگرزی و غیره ضروری است که با احتیاط انجام گیرد.

۶- مراجع

۱. س. م. طباطبایی هنزایی، م. قانع، ح. حسنی، ع. زینل همدانی، "تخمین طول عمر فرش های پشمی با رویکرد تغییرات ظاهر و رنگ"، نشریه علمی علوم و فناوری رنگ، ۹، ۳۵۰-۳۴۱، **۱۳۹۴**.

2. K. K. Goswami, "*Advances in carpet manufacture*", Woodhead Publishing in Textiles, oxford Cambridge New Delhi, Number 87, **2009.**

۳. ف. ملکان، م. خواجه مهریزی، س. م. ویسیان، " تأثیر نانومواد بر فرش دستباف رنگرزی شده با ماده رنگزای طبیعی اسپرک"، نشریه علمی علوم و فناوری رنگ، ۱۴، ۲۱۴-۲۰۳، **۱۳۹۹**.

4. P. Ingham, S. McNeil, W. Meade, M. Sunderland, "Wool and Carpets – 6000 Years of Innovation, Quality and Sustainability", Key Eng. Mater. 671, 490-496, **2016.**

5. P. Baxter, ″Stability of wool colour", Massey Wool Association Conference, 52-61, New Zealand, **2001.**

6. Types of wool used in Iranian carpets, www.farsheasl.com, https://www.farsheasl.com/machine-carpet-articles/44--pershian-vool.html, **2019.**

7. "azerbaijan rugs", www.azerbaijanrugs.com, http://www.azerbaijanrugs.com/arfp-processing_wool.htm, **2019.**

8. L. de Beer, "Wool Classification Manual", www.nwga.co.za, https://www.nwga.co.za/ file/ 5ac4993d134d2/ woolmanual .pdf, viewed at **2020.**

9. Iranian National Standards Organization, "INSO 456", ICS:59.080.60, **2016.**

10. P. Kidman, "The Wool Pipeline", www.woolwise.com, https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/05/01.7-The-Wool-Pipeline-AWEX-Notes.pdf, **2017.**

11. M. Hashemikhah, "Wool classification", www. asrefarsh.com, http://www.asrefarsh.com/news/1844, **2018.**

12. E. wood, "Wool Color Measurement", www.woolwise.com, https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/ 2017/ 07/ Wool-472-572-08-T-11.pdf, **2009.**

13. B. A. Cameron, R. H. Stobart,"The Color of Scoured and Carded Wools:A Comparison of U.S., Australian and New Zealand Wools", www.researchgate.net, https://www.researchgate.net/publication/270820803_The_color_of_scoured _and_ carded_wool_A_comparison _of_US_Australian _and_New_Zealand_wools, **2015.**

۱۴. ر. جعفری، ک. قرنجیک، "اثر کاربرد دندانه‌های گیاهی در تغییر ظاهر خودرنگ کالای پشمی"، دوازدهمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، دانشگاه یزد، **۱۳۹۹**.

۱۵. ر. جعفری، ک. قرنجیک، "بررسی خصوصیات ظاهر رنگی کلاف پشمی رنگرزی شده با ماده رنگزای اسپرک در حضور دندانه گیاهی هلیله زرد"، دوازدهمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، دانشگاه یزد، **۱۳۹۹**.

16. A. Shams Nateri, A. Hajipour, M. Veysian, "The optical properties of hand-woven carpet", J. Text. Inst. 111, 694-700, **2020**

17. "Variations in Wool Yellowness", www. woolsnz.com, https://www.woolsnz.com/our-wool/wnz.php, viewed at **2020.**

18. T.C. Reid, "Wool yellowing", Wool Technology and Sheep Breeding, Academy of Sciences New York, New York, 46, 318–337. **1998.**

19. SGS Wool Testing Services, "Colour Stability", www.sgs.com, http://www.sgs.co.nz/~/media/Local/New%20Zealand/ Documents/ Technical%20 Documents/ Technical%20Bulletins/Wool%20Testing%20Info%20Bulletins/SGS-AGRI-Colour-Stability-22a-A4-EN-11-V2.pdf, **2011.**

20. M. J. Hammersley, B. Thompson, "Wool Colour Measurement", Communication No. C27, **1974.**

21. International Wool Textile Organisation Test Method,"IWTO-56-03", **1988.**

۲۲. ح. توانایی، "*تکمیل در صنعت نساجی*"، نشر ارکان، اصفهان، **۱۳۸۱**.

۲۳. ف. طاهری، م. صفی، ر. جعفری، "مروری بر استفاده از مواد سفیدکننده نوری در صنعت نساجی"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۹، ۷۸-۶۵، ۱۳۹۸.

24. AVM Chemical Industries,"Chemistry of Optical Brightener and uses in Textile Industries and its Mechanism", https://docplayer.net/21130422-Chemistry-of-optical-brightener-and-uses-in-textile-industries-and-its-mechanism.html, Viewd at **2019.**

۲۵. م. ه. سید اصفهانی، ع. شمس ناتری، "*تکمیل کالای نساجی*"، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر"، تهران، ۲، **۱۳۸۹**.

26. R. Brady, "Contemporary wool dyeing and finishing ", www.woolwise.com, https://www.woolwise.com/educational-resources/awttc-resources/course-4-contemporary-wool-dying-and-finishing/, Viewed at **2021**

27. R. williamson, "Fluorescent brightening agent", https://nptel.ac.in/courses/116104046/39.pdf , Viewed at **2019**

۲۸. پ. آخوند عطار، م. خواجه مهریزی، ا. گواهیان، " تاثیر سفیدگریهای مختلف روی برخی خواص پشم رنگرزی شده با رنگینه های اسیدی"، اولین همایش علمی، دانشجویی علوم و فناوری رنگ، تهران، **۱۳۸۷**.

29. J. Cegarra., P. Puente, J Gacen, "Influence of wool bleaching with hydrogen proxide on dyeing with CI Acid Blue 80", Color. Technol. 151, 21-24, **2006.**

۳۰. ف. داداشیان، م. منتظر، ش. رحیمی، ق. بازیار، "بهبود خواص فیزیکی نخ پشمی ایرانی مورد استفاده در فرش دستباف توسط عملیات زیست سازگار"، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی فرش ایران، ۶۷، ۱۵۴-۱۴۳، **۱۳۸۶**.