

نوع مقاله: مروری

نشریه ویژه فرش و رنگ

Dor:20.1001.1.22517278.1400.11.2.3.3

گذشته، حال و آینده کاربرد مواد رنگزای طبیعی در فرش دستباف

علی شمس ناتری^{۱*}، سید محمد ویسیان^{۲،۳}

۱- استاد، عضو هیات علمی گروه مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۹۹۶۱۳۷۷۶.

۲- قطب علمی رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴.

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان، رشت ایران، صندوق پستی: ۴۱۹۹۶۱۳۷۷۶.

۴- کارشناس، مرکز ملی فرش ایران، تهران، صندوق پستی: ۱۹۹۸۸۴۴۶۴۱.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۳۰ تاریخ بازبینی نهایی: ۰۰/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۲/۲۵ در دسترس به صورت الکترونیک: ۰۰/۰۶/۱۶

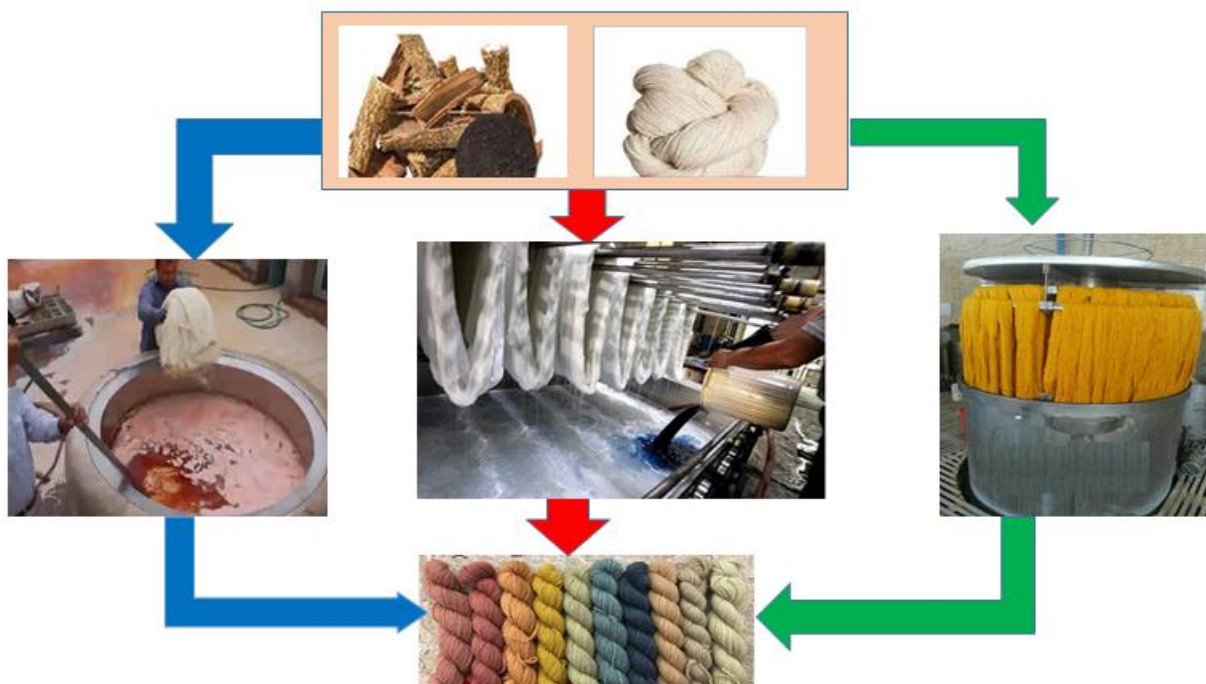
چکیده

یکی از ویژگی‌ها و مزیت‌های فرش دستباف ایرانی استفاده از مواد رنگزای طبیعی و دوست‌دار محیط‌زیست می باشد و طرفداران بی‌شماری در سطح جهان دارد. این تحقیق وضعیت گذشته، حال و آینده کاربرد مواد رنگزای طبیعی جهت رنگرزی نخ پشمی فرش دستباف را مورد مطالعه قرار می دهد. بررسی‌های متعددی درخصوص آماده‌سازی، دندانه‌دهی و رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی و همچنین استفاده از ماشین‌آلات رنگرزی جهت رنگرزی نخ پشمی فرش دستباف انجام شده است. در انتهای تحقیق مطالبی در خصوص آینده کاربرد مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی نخ پشمی فرش دستباف بیان گردیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در صورت ارائه مواد رنگزای طبیعی استخراج شده در حجم بالا و قیمت مناسب، در آینده می‌توان از ماشین‌های رنگرزی الیاف، کلاف نخ و بوبین نخ جهت رنگرزی نخ پشمی قالی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی

مواد رنگزای طبیعی، رنگرزی، فرش دستباف، پشم، کاربرد، ماشین آلات رنگرزی.

چکیده تصویری



Past, Present, and Future of Application of Natural Dyes in Hand-Woven Carpets

Ali Shams Nateri^{*1,2}, Mohammad Veysian^{*1,3}

1- Textile Engineering Department, University of Guilan, P. O. Box: 4199613776, Rasht, Iran

2- Center of Excellence for Color Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

3- Iran National Carpet Center, P. O. Box: 1998844641, Tehran, Iran.

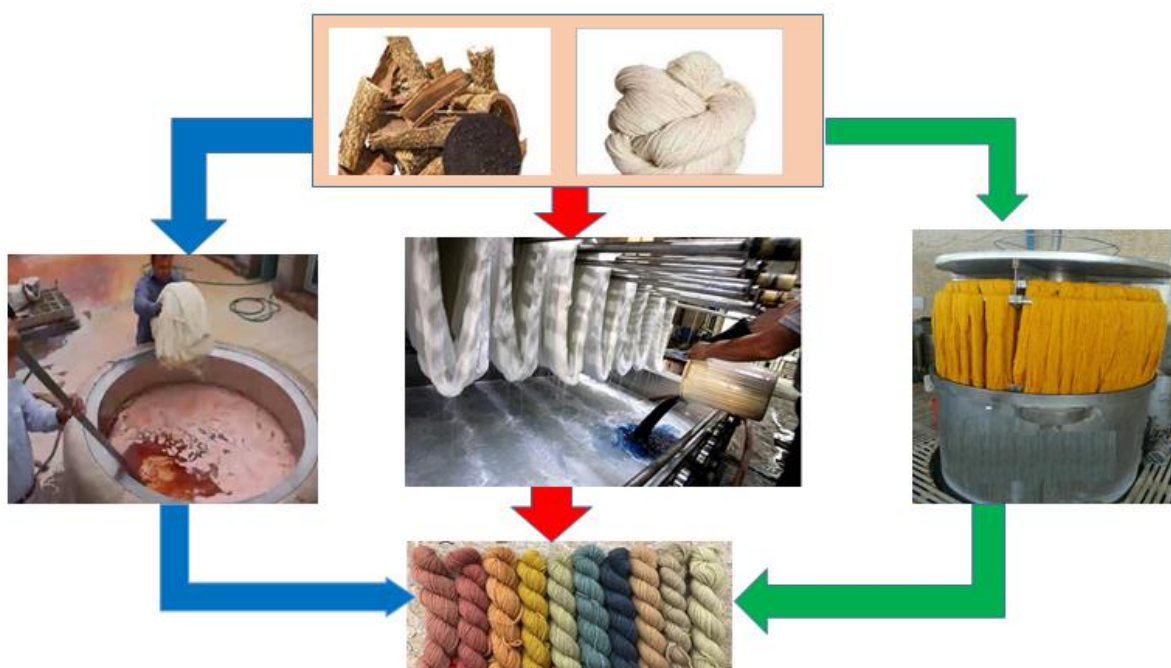
Abstract

Using natural dyes is one of the main features and advantages of eco-friendly Iranian hand-woven carpet, which has numerous adherents. This work studies the past, present, and future application of natural dyes for dyeing piles of the hand-woven carpet. Several investigations have been done on preparation, mordanting, and dyeing with natural dyes, as well as the use of a dyeing machine for dyeing the pile of hand-woven carpets. At the end of this research, little information is provided about the future of the use of natural dyes for dyeing piles of the hand-woven carpet. Studies show that if the extracted natural dyes produced at high volume and reasonable prices, in the future, the hand-woven carpet piles can be dyed by fiber dyeing machine, yarn dyeing machine, hank dyeing machine, and bobbin yarn dyeing machine.

Keywords

Natural dyes, Dyeing, Hand-woven-carpets. Wool, Dyeing machine.

Graphical abstract



۱- مقدمه

نخستین مواد رنگزای طبیعی مورد استفاده بشر، گیاهان و تفاله‌های گیاهی همچون پوست گردو و انار بوده است. پس از آن انسان آموخت که می‌تواند از برخی حیوانات و نمک‌های معدنی نیز به‌عنوان ماده رنگزا استفاده نماید و از مواد جنبی همچون دندانه‌ها برای آسانی فرآیند رنگرزی و بهبود کیفیت آن بهره بگیرد. به‌علاوه بشر طی قرن‌ها یاد گرفت تا با استفاده مناسب از این مواد طبیعی، فام موردنظر را روی الیاف به‌وجود آورد و ثبات لازم را در آن‌ها ایجاد کند. این تجربیات یعنی روش‌های رنگرزی و چگونگی ترکیب مواد در طول قرن‌های متمادی، از نسلی به نسل دیگر منتقل شد، اما متأسفانه نوشته‌های مناسبی از این تجارب باقی نمانده و به‌عنوان یک هنر در انحصار خانواده‌های خاص باقی ماند. رنگرزی الیاف پشم با مواد رنگزای طبیعی با منشاء گیاهی، معدنی و حیوانی از دیرباز معمول بوده است. مواد رنگزای گیاهی مورد استفاده بیشتر شامل روناس، اسپرک، نیل، وسمه، جاشیر، گندل و برگ مو و تفاله‌های گیاهی حاوی مواد رنگزا بیشتر شامل پوست انار و پوست گردو بوده است [۱].

امروزه با توجه به نگرانی جهانی نسبت به تخریب محیط‌زیست و لزوم استفاده از مواد دوست‌دار طبیعت استفاده از مواد رنگزای طبیعی بار دیگر مورد توجه قرار گرفته است. این گرایش با توجه به کارایی‌های جدید کشف شده در این مواد رو به افزایش می‌باشد. در سال‌های اخیر کاربرد مواد رنگزای طبیعی در زمینه‌های گوناگون توسط گروه‌های مختلف تحقیقاتی مورد پژوهش قرار گرفته است. دسته‌ای از گیاهان مواد رنگزایی با ثبات عالی و متوسط هستند و در رنگرزی سنتی نقش موثری دارند مثل روناس، اسپرک، نیل و غیره [۲، ۳].

۲- خصوصیات و کاربرد مواد رنگزای طبیعی

مواد رنگزای طبیعی به طور کلی با بدن انسان سازگار بوده و ایجاد شیدهای زیبا و متنوعی بر روی منسوجات می‌نمایند. به دلیل سمی نبودن (مگر در موارد نادر)، همچنین به دلیل داشتن منشا طبیعی، مصرف این مواد رنگزا احساس اطمینان خاطر و سلامت را به مصرف‌کننده القا می‌کند [۲]. شکل ۱ کاربرد مواد رنگزای طبیعی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل فوق مواد رنگزای طبیعی در زمینه‌های مختلف مانند رنگرزی منسوجات، ضد UV کردن منسوجات، ضد میکروبی کردن منسوجات و الیاف، دارو، شناساگر pH و سلول‌های خورشیدی حساس به مواد رنگزا کاربرد دارند [۴، ۵].

۳- پتانسیل‌های مواد رنگزای طبیعی

مواد رنگزای طبیعی از منابع مختلف گیاهی، حیوانی و معدنی بدست می‌آیند [۶، ۷] و مصرف این مواد از قدیم رواج داشته است. مواد رنگزای معدنی به رنگدانه معروفند و برای رنگ کردن لوسیون‌ها، مواد آرایشی و دیگر فرآورده‌ها به خصوص جهت مصارف خارجی کاربرد دارند، مانند اکسیدهای قرمز و زرد آهن، دی اکسید تیتانیم، کربن سیاه و اولترامارین آبی (لاجورد)، پودر آلومینیم، پودرهای برنز، کهربای خام و سوخته و غیره.



شکل ۱- کاربرد مواد رنگزای طبیعی [۴، ۵].

حساسیت و عوارض جانبی نسبت به مواد رنگزای مصنوعی در صنایع آرایشی سبب توجه به تولید مواد رنگزای طبیعی گردیده است. پوست انار^۱ و بسیاری دیگر از مواد رنگزای طبیعی به علت داشتن مقادیر زیادی تانن^۲ و حنا و پوست گردو به دلیل داشتن نفتوکوئینون^۳ دارای خاصیت ضد میکروبی بالا می‌باشند. با توجه به پیوند ضعیفی که بین منسوجات و ترکیبات گیاهی ایجاد می‌شود، برای افزایش دوام و ماندگاری می‌توان از دندانه‌ها و یا مواد کمکی جایگزین استفاده نمود [۸].

مساله محیط‌زیست به دلیل ارتباط تنگاتنگ با حوزه سلامتی انسان همواره مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. امروزه به دلیل اهمیت و حساسیت‌هایی که به لحاظ مسائل زیست‌محیطی و سلامتی انسان در استفاده از مواد رنگزای مصنوعی وجود دارد، تمایل زیادی به استفاده از مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی منسوجات به ویژه الیاف طبیعی به وجود آمده است. مواد رنگزای طبیعی سازگار با محیط‌زیست بوده، تجدیدپذیر و زیست‌تخریب هستند و امروزه به طور گسترده در رنگرزی منسوجات استفاده می‌شوند [۹، ۱۰]. علاوه بر گیاهان، جانورانی نیز هستند که از آنها می‌توان رنگزای طبیعی به دست آورد. به طور کلی منشاء حیوانی رنگزاهای طبیعی محدود می‌باشند. اما کاربردهای حائز اهمیتی در صنایع مختلف دارند که در این زمینه می‌توان به اسید لاکائیک^۴، اسید کرمزیک^۵، صدف ارغوان و قرمز دانه^۶ اشاره کرد، قرمز دانه ساختار شیمیایی منحصر به فردی دارد که باعث شده است نسبت به مواد رنگزای طبیعی دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار گردد و نه تنها در صنایع رنگرزی، فرش و نساجی، بلکه در سایر صنایع نیز به صورت گسترده برای تولید محصولات متنوع مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد قرمز دانه به غیر از مصارف بهداشتی، آرایشی و دارویی در

¹ Punica granatum

² Tannin

³ Naphthoquinon

⁴ Laccic acid

⁵ Kermesic acid

⁶ Cochineal

شناسایی، تعیین و تشخیص فلزات نیز مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱].

۴- آماده سازی مواد رنگزای طبیعی

استخراج مواد مؤثر موجود در گیاه به وسیله حلال‌های مختلف انجام می‌پذیرد. قابل ذکر است که عمل استخراج از گذشته به خصوص در دوران جالینوس معمول بوده است. به طور کلی روش استخراج مواد مؤثره موجود در گیاهان به نوع بافت‌های گیاهی و ترکیبات موجود در گیاه بستگی دارد [۱۲].

در رنگرزی با مواد رنگزای گیاهی، ضروری است تا ابتدا عصاره گیری انجام شود و سپس برای رنگرزی کلاف‌های پشمی مورد استفاده در فرش به کار روند. زیرا در غیر این صورت مشکلات نسبتاً پیچیده‌ای به واسطه حضور بخش‌های زاید گیاه بوجود می‌آید. چرا که کالای نساجی به عنوان یک صافی عمل کرده و ذرات مواد رنگزا در آن به دام می‌افتد و در نتیجه موجب عدم یکنواختی رنگ و چسبیدن گیاه به کالای مورد نظر رنگرزی می‌گردد. همچنین استفاده مستقیم از پودر گیاه باعث کاهش حجم حمام رنگرزی شده و رنگرزی مشکل می‌شود. مشکل دیگر، عدم قابلیت تکرار و تولید مجدد رنگرزی‌هایی است که به طور مستقیم با پودر گیاه صورت می‌گیرند. معمولاً در رنگرزی‌های سنتی به دست آوردن یک رنگ خاص در تکرارهای مختلف بسیار دشوار است. کارگاه‌های رنگرزی معمولاً برای سهولت در رنگرزی با گیاه از کیسه‌های از جنس پلی استر استفاده می‌کنند و بدین ترتیب جلوی خروج تفاله‌ها از کیسه‌ها و در نهایت تماس مستقیم تفاله‌ها با نخ پشمی مورد نظر گرفته می‌شود. اما استفاده از کیسه‌ها می‌تواند خود مشکلات جدیدی را ایجاد نماید. برای مثال حجم حمام رنگرزی کاهش می‌یابد و یا عمل استخراج از پودر گیاه به دلیل فشردگی زیاد گیاه در داخل کیسه به خوبی انجام نمی‌گیرد. برای انجام رنگرزی خوب بهتر است که ابتدا مواد رنگزای طبیعی استخراج گردند [۱۳، ۱۴].

۴-۱- استخراج مواد رنگزای طبیعی

مواد رنگزای طبیعی توسط روش‌های مختلف از منابع گیاهی و حیوانی استخراج می‌گردند. در حال حاضر روش‌های مختلف استخراج مواد رنگزای موجود در گیاهان در حال انجام است [۱۵، ۱۶، ۱۳]. از جمله این روش‌ها می‌توان استخراج آبی، تخمیر، استخراج با اسید یا قلیا، استخراج با استفاده از ریزموج و یا فراصوت، روش تخمیر، روش آنزیمی، استخراج با حلال، سیال فوق بحرانی و آب فوق گرم تحت فشار را ذکر کرد [۱۶، ۱۷، ۱۳].

هر کدام از این شیوه‌ها دارای مزایا و معایبی هستند. به طور مثال در روش ساده آبی ماده رنگزای استخراج شده می‌تواند به سادگی برای رنگرزی کالای نساجی به کار گرفته شود، اما از معایب این روش، بازده استخراج کم، نیاز به زمان طولانی برای استخراج، نیاز به مصرف آب زیاد و استفاده از دمای بالا است. در روش دیگر با عنوان استخراج سوکسله، زمان استخراج زیاد بوده و امکان تخریب حرارتی وجود دارد. همچنین امکان تولید مواد سمی و آلودگی محیط زیست به خاطر استفاده از حلال آلی نیز وجود دارد [۱۸، ۱۷].

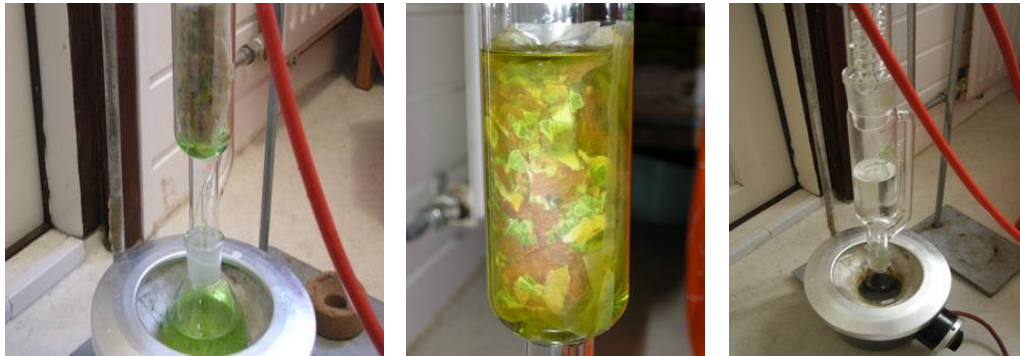
در استخراج به کمک تخمیر که شبیه روش استخراج آبی است نیاز به دمای بالا نیست و استخراج به وسیله آنزیم‌های تولید شده توسط میکرو ارگانیسم‌های موجود در اتمسفر یا منابع طبیعی انجام می‌شود. اما از معایب این روش این است که زمان استخراج طولانی است و یا فعالیت میکرو ارگانیسم‌ها سبب ایجاد بوی نامطبوع می‌شود. در روش استخراج با حلال اسید/قلیای نیز بسیاری از مواد رنگزا که در قالب گلوکزید هستند را می‌توان تحت این شرایط استخراج نمود. اما عیب آن؛ این است که برخی از مواد رنگزا به pH حساس هستند. به طور کلی بازده استخراج تابع عوامل متعددی است که باید در حین استخراج این عوامل بهینه گردند [۲۱-۱۸].

یکی از روش‌های معمول مورد استفاده در گذشته و حال، استخراج مواد رنگزا از گیاهان به روش خیساندن و استخراج با آب است. در این روش پس از خشک کردن و خرد کردن گیاه آن را در مقدار معینی آب ریخته و در زمان‌های مختلفی برای چند ساعت در حالت سکون رها می‌کنند. بعد از آن روش جوشاندن گیاهان مرسوم می‌باشد. در این روش گیاه خشک شده را در دمای جوش می‌جوشانند. سپس از محلولی که از صافی عبور داده شده و صاف شده برای رنگرزی استفاده می‌شود [۲۲].

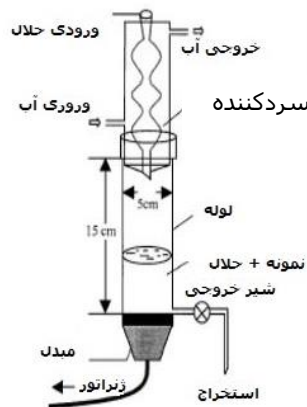
یکی از روش‌های معمول در استخراج، استخراج با حلال‌های آلی می‌باشد. جهت استخراج با حلال نیاز به تجهیزات خاصی دارد. یکی از تجهیزات که بیشترین استفاده را در استخراج با حلال آلی دارد دستگاه سوکسله است [۲۲]. در این روش نمونه در سل‌های مخصوصی قرار داده شده و سپس سل حاوی نمونه در داخل مخزن مخصوص دستگاه سوکسله قرار داده می‌شود. در ادامه حلال آلی مناسب به دستگاه اضافه می‌گردد. عمل استخراج از طریق انحلال مواد رنگزای موجود در گیاه در حلال فوق صورت می‌گیرد. بعد از پر شدن مخزن، حلال حاوی رنگزای طبیعی از مخزن تخلیه می‌گردد. در ادامه حلال پس از تبخیر و میعان وارد مخزن حاوی نمونه می‌گردد. عملیات فوق در چند مرحله تکرار می‌گردد. نحوه استخراج به کمک سوکسله در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۲].

با پیشرفت فناوری، شیوه‌های جدید استخراج نظیر استفاده از سیال فوق بحرانی، استخراج با مایع تحت فشار، استخراج با آب داغ تحت فشار، استخراج به کمک ریزموج و امواج فراصوت و غیره ارائه گردید. این روش‌ها با بسیاری از نیازهای امروزی مانند ملاحظات زیست‌محیطی، سرعت و قابلیت خودکار شدن مطابقت دارند. در روش سیال فوق بحرانی، دی اکسید کربن به علت سمیت پایین، دما و فشار فوق بحرانی پایین انتخاب می‌شود. اساس این روش این است که سیال فوق بحرانی توسط پمپ از یک مجرای پر شده با نمونه عبور می‌کند. بنابراین محفظه استخراج از طریق پمپ یا سیال مورد نظر تحت فشار قرار می‌گیرد. سپس با کاهش فشار یا افزایش دما ترکیبات استخراج شده رسوب کرده و جمع آوری می‌گردند و سیال بازیابی می‌گردد. سیال بازیابی شده دوبار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲].

در روش استفاده از حمام فراصوت، در داخل حمام حاوی آب یا حلال‌های آلی امواج فراصوت ایجاد می‌شود این کار منجر به ایجاد گرمای موضعی می‌شود. از این حمام برای انحلال و استخراج مواد رنگزا در آب یا حلال‌های آلی استفاده می‌گردد. دستگاه استخراج به کمک امواج فراصوت در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۲].



شکل ۲- دستگاه استخراج سوکسله [۱۲].



شکل ۳- دستگاه استخراج با کمک امواج فراصوت [۱۲].

ترکیبات سبب جذب یکنواخت مواد رنگزا و اتصال بهتر آن توسط الیاف می‌شوند. همچنین این مواد بر روی فام و خواص ثبات رنگی کالای رنگریزی شده تاثیر می‌گذارند. در زمان‌های گذشته، از خاکستر چوب به‌عنوان دندانهای قلبیایی و همچنین از نمک‌ها و خاک‌های مخصوص که در مناطق ویژه‌ای نظیر مناطق آتشفشانی یا چشمه‌های آب گرم بدست می‌آمدند استفاده می‌شد [۲۴].

کشف فلزات دارای خصوصیات مواد دندانیه، موجب تحول در تجارت مواد دندانیه گردید. در واقع همین فلزات بودند که در خاک‌های مصرفی اولیه به مقادیر کم وجود داشتند. رنگرها وقتی که برای عملیات رنگریزی خود از ظروف فلزی نظیر مس استفاده کردند، متوجه تغییراتی در محصولات مورد رنگریزی شدند که گاهی اوقات این تغییرات بسیار شدید بود، اما همیشه در جهت بهبود عملیات رنگریزی نبود. کسانی که در گذشته از رنگزاهایی نظیر صدف ارغوان^۱ برای رنگریزی استفاده می‌کردند، متوجه شدند که اگر عملیات رنگریزی را در ظروفی از جنس قلع انجام دهند، پس از حرارت دادن حمام فام رنگی کالای حاصل درخشان‌تر می‌شود. اما اگر از ظروف مسی استفاده می‌کردند، نتایج بسیار ناخوشایندی در رنگریزی حاصل می‌گردید و فام رنگی کالای حاصل بسیار تیره می‌شد.

استخراج به روش فراصوت فرآیند جدید استخراج مواد رنگزای موجود در گیاهان است، امواج فراصوت هم اکنون بعنوان یک عامل تاثیرگذار در افزایش سرعت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلف بکار می‌روند. به دلیل اینکه استخراج مواد رنگزای موجود در گیاهان طبیعی با استفاده از روش‌های سنتی، ساعت‌ها و حتی روزها طول می‌کشد فرآیند استخراج به روش فراصوت اهمیت بیشتری یافته است. با استفاده از روش فراصوت می‌توان مواد رنگزای موجود در گیاهان طبیعی را در مدت زمان کوتاه با بازده قابل قبول، مصرف کم حلال و برطرف شدن بسیاری از مشکلات فرآیند استخراج روش‌های سنتی، استخراج کرد [۱۲].

روش استخراج با کمک امواج ریزموج، بر اساس حرارت‌دهی و استفاده از حلال‌های آلی می‌باشد. نمونه و حلال مناسب آن در یک ظرف ریخته می‌شوند، و به کمک ریزموج حرارت داده می‌شوند. بعد از ۵ تا ۲۰ دقیقه استخراج کامل می‌گردد و به مجرا اجازه سرد شدن داده می‌شود. سپس حلال صاف می‌گردد [۲۲]. روش ریزموج در مقایسه با روش استخراج معمولی دارای سرعت بیشتری می‌باشد و در زمان کمتری نسبت به روش معمول می‌توان به نتایج بهتر و قدرت رنگی بالاتر دست یافت [۲۳].

۵- دندانها و دنداندهی

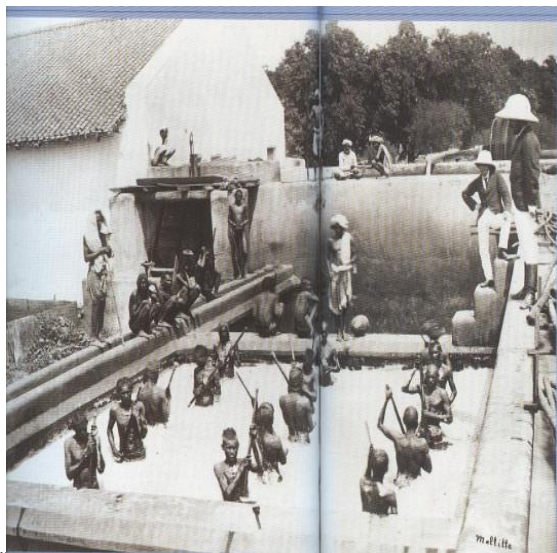
دندانها ترکیباتی هستند که خواص رنگریزی الیاف را اصلاح می‌کنند. این

¹ Tyrian Purple

اولین مرحله برای انجام رنگرزی شستشوی کالا است. در واقع شستشو یکی از مراحل آماده سازی الیاف جهت رنگرزی می باشد. در زمان های قدیم معمولاً کالاهای قبل و پس از رنگرزی در رودخانه ها و آب های جاری شستشو داده می شدند. اما امروزه هم زمان با تغییر دستگاه های رنگرزی، سیستم های شستشو نیز اصلاح شده اند. امروزه کالاهای در حمامی از جنس فولاد ضد زنگ که حاوی شوینده است شستشو داده می شوند.

تجهیزات مختلفی جهت رنگرزی نخ پشمی قالی به کار رفته شده است. در زمان قدیم رنگرزی در دمای محیط انجام می گرفت و به فراخور آن از حمام های چوبی برای رنگرزی استفاده می شد. البته محلول های حاوی این حمام ها در زیر نور خورشید گرم می شد که این عمل باعث افزایش سرعت رنگرزی می گردید. با این حال رنگرزی نخ پشمی قالی به این روش با روناس در حدود یک هفته و رنگرزی نخ پشمی قالی با نیل در حدود ۲۰ روز طول می کشید. در طی این مدت کالاهای گاهی هم زده می شدند تا یکنواختی رنگ افزایش یابد. در این روش با اینکه سرعت رنگرزی پایین بود ولی میزان جذب مواد رنگزای طبیعی بر روی کالای دندانه داده شده زیاد بود [۲۹]. در مرحله بعد از حمام هایی که در زمین تعبیه شده بودند استفاده شدند. بدین منظور حوض های نسبتاً بزرگی تهیه شده و مواد رنگزای طبیعی در داخل آن ریخته می شدند. پس از اینکه گیاه تخمیر می شد و مواد رنگزای موجود در آن خارج می شد کالاهای در حمام قرار می گرفتند. به خاطر وسعت نسبتاً زیاد این حوض ها، نیروهای انسانی فراوانی بکار می رفت. این نیروها در قسمت های مختلف حوض قرار گرفته و با یک چوب مخصوص، کالاهای را در حمام رنگرزی حرکت می دادند تا رنگ نسبتاً یکنواختی بر روی کالا ایجاد شود. در شکل ۴ و ۵ به ترتیب نحوه رنگرزی نخ قالی در داخل حوض و استفاده از ظروف گلی و سفالی در رنگرزی نخ قالی نشان داده شده است [۲۹].

در گذشته استفاده از ظروف گلی و سفالی نیز در رنگرزی نخ پشمی قالی رواج داشت. این ظروف نیز معمولاً در دمای محیط قرار گرفته و کالاهای درون آنها رنگرزی می شدند [۲۹].



شکل ۴- نحوه رنگرزی نخ قالی در داخل حوض [۲۹].

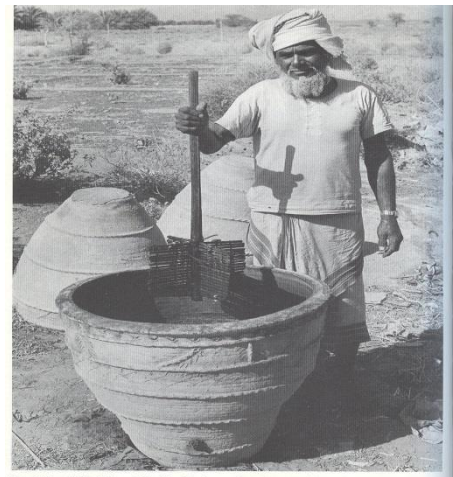
دندانه های فلزی ترکیبات چند ظرفیتی مانند کرم، قلع، آهن، مس و آلومینیم هستند که می توانند با برخی مولکول های رنگزا و الیاف تشکیل کمپلکس بدهند. اتم فلز معمولاً با اتم اکسیژن گروه های هیدروکسیل و کربوکسیلیک الیاف و ماده رنگزا تشکیل پیوند کئوردینانس می دهد. اتم فلزاتی که معمولاً به عنوان دندانه استفاده می شوند توانایی تشکیل چندین کئوردینانس را دارند، به عنوان مثال عدد کئوردینانس مس و آهن به ترتیب ۴ و ۶ است. لذا این دندانه ها می توانند چند مولکول ماده رنگزا را نیز به یکدیگر و نهایتاً به الیاف متصل کنند و سبب افزایش قدرت رنگی و بهبود ثبات شوند [۲۵، ۱۰]. بیشترین دندانه مورد مصرف در حال حاضر در کارگاه های رنگرزی نخ پشمی قالی دندانه زاج سفید است که ارزان، در دسترس و مشکلات زیست محیطی نداشته و همچنین با توجه به بی رنگ بودن آن فام نهایی کالا مربوط به فام ماده رنگزا می باشد.

عملیات دندانه دار کردن با تغییر در شرایط آن بسیار پیچیده می گردد. به طور معمول ظروف دندانه دادن را گرم می کنند و سپس دندانه مورد نظر را همراه با هم زدن وارد ظرف می کنند. پس از مخلوط کردن کامل آن و حرارت دادن کافی به حمام کالای مورد عمل را در آن غوطه ور می سازند و سپس حمام را در حال بهم زدن به دمای جوش می رسانند. سپس بسته به فرآیند رنگرزی مورد نظر، کالا را شسته و برای خشک شدن آویزان می کنند و یا مستقیماً به ظرف رنگرزی منتقل می کنند [۲۴].

در حال حاضر و همچنین در آینده، استفاده از دندانه های سبز و دوست دار محیط زیست در رنگرزی با الیاف طبیعی و همچنین ترکیب دندانه های فلزی که باعث بهبود کیفیت مواد رنگزای طبیعی در دستور کار رنگرزان قرار خواهد گرفت [۲۶]. از جمله اکالیپتوس، پوست انار و آلوئه ورا به دلیل داشتن گروه های فنولی و هیدروکسی زیاد در ساختار خود به عنوان دندانه استفاده گردیدند. این ترکیبات پیوندهای متعددی را با مولکول رنگزا ایجاد می کنند و به دلیل تشکیل کمپلکس حجیم بین رنگزا-لیف-دندانه موجب افزایش ثبات های تر در رنگرزی نخ پشم با روناس و اسپرک می گردند. به همین دلیل این مواد می توانند جایگزین دندانه های معدنی شوند [۲۷]. ترتیب عملیات دندانه دهی در رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی متغیر می باشد. شیوه عملیات دندانه دهی بر فام حاصله از بعضی از مواد رنگزای طبیعی به عنوان مثال رنگزای پوست انار تاثیر چندانی ندارد در حالی که بر فام حاصله از برخی مواد رنگزای طبیعی دیگر به عنوان مثال رنگزای قرمز دانه تاثیر دارد. به طوری که انجام عملیات رنگرزی با شیوه های دندانه بعدی و دندانه هم زمان (زاج سفید) موجب تغییر فام رنگی نمونه ها می گردد [۲۸].

۶- سیر تحول روش ها و دستگاه های رنگرزی

تاریخ رنگرزی در کشورهای مختلف به زمان های باستانی بر می گردد. به عنوان مثال کالاهای در چین ۳۰۰۰، در هند ۲۵۰۰ و در مصر ۱۴۵۰ سال قبل از میلاد رنگرزی می شدند. اساس روش های رنگرزی در گذشته با امروز چندان تفاوتی ندارد. بطور کلی روشی که برای رنگرزی به کار می رفت بدین گونه بود که ابتدا کالایی که باید رنگرزی می شد خیس و سپس در یک حمام رنگرزی داغ غوطه ور شده و برای حدود یک ساعت یا بیشتر در آن قرار داده می شد تا رنگ مطلوب بدست آید [۲۹].



شکل ۵- استفاده از ظروف سفالی و سفالی در رنگرزی نخ قالی [۲۹].

البته استفاده از ظروف سفالی به خصوص در ایجاد رنگ آبی بر روی نخ پشمی قالی بطور گسترده‌ای انجام می‌شد. به واسطه اینکه کلیه عملیات تخمیر و رنگرزی با نیل در دمای محیط صورت می‌گرفت، اجزاء بکار رفته آن زمان مشکل حادی را برای مواد رنگزا ایجاد نمی‌کرد. با این حال ظروف ذکر شده در بالا یک‌سری معایب جدی را در تمامی رنگرزی‌های نخ پشمی قالی داشتند. این عیوب عبارتند از:

۱. زمان رنگرزی طولانی بود.
۲. بیشتر ظروف، ماده رنگزا را به خود جذب می‌کردند. بنابراین بازده رنگرزی کاهش می‌یافت.
۳. ظروف فوق قابلیت حرارت دادن را نداشتند.
۴. عمل استخراج ماده رنگزا از گیاه به سختی و به کندی انجام می‌شد.
۵. در برخی از ظروف، ایجاد حرکت نسبی بین کالا و محلول رنگرزی مشکل بود.

در حال حاضر با پیشرفت علم و فناوری، روند استفاده از دستگاه‌های رنگرزی نیز تغییر یافت. وسایل و ابزارآلاتی ساخته شدند که قابل حرارت دادن بودند. بدین ترتیب رنگرزی در حمام‌های حاوی آب جوش انجام شدند. مزیت استفاده از آب جوش این بود که سرعت رنگرزی به شدت افزایش می‌یافت [۲۹].

ماشین‌های رنگرزی اولیه از وسایل بسیار ساده‌ای تشکیل می‌شدند که به مرور زمان پیشرفت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در این صنعت به وجود آمد و ماشین‌های رنگرزی مدرن و خودکار ساخته شدند. به طور کلی یک ماشین رنگرزی جدید شامل قسمت‌های مختلف نظیر مخزن اصلی برای قرار گرفتن محلول ماده رنگزا و کالا، وسیله حرکت دهنده کالا یا محلول، سیستم بارگیری و تخلیه، مخزن جدا برای افزودن ماده رنگزا و مواد شیمیایی به مخزن اصلی و سیستم کنترل‌کننده درجه حرارت و فشار می‌باشند.

در انتخاب ماشین رنگرزی مناسب عوامل بسیاری وجود دارند، به طور کلی برای آنکه از نظر تجاری عمل رنگرزی قابل قبول باشد، ماشین رنگرزی باید دارای خصوصیات مختلفی نظیر وجود تحرک نسبی بین کالا و محلول رنگرزی، مناسب بودن جنس ماشین‌های رنگرزی، مجهز بودن به دستگاه‌های کنترل حرارت و فشار، نسبت حجم حمام به وزن کالا (L:R) مناسب، داشتن

دریچه‌های ورودی و خروجی محلول مناسب در مخزن می‌باشد. در هر ماشین رنگرزی باید دستگاه یا وسیله‌ای موجود باشد که بین لیف و محلول رنگرزی حرکت نسبی به وجود آورد. افزایش حرکت نسبی بین کالا و مایع رنگرزی باعث دو اثر مهم در رنگرزی می‌گردد. اولاً ماده رنگزای بیشتری جذب کالا شده و رمق‌کشی افزایش می‌یابد. ثانیاً مواد رنگزا در تمام نقاط کالا به طور یکنواخت جذب شده و یکنواختی رنگرزی افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل اینکه در ماشین‌های رنگرزی انواع مواد شیمیایی از قبیل اسیدها، بازها و غیره به کار می‌روند، بدنه آنها در معرض خوردگی و تغییرات نامطلوب قرار می‌گیرند. عمر یک ماشین رنگرزی به مقدار بسیار زیادی به جنس آن بستگی دارد [۲۹].

کنترل افزایش دمای حمام رنگرزی یک عامل مهم در ایجاد یکنواختی در رنگرزی است، این عمل با ایجاد شیب حرارتی مطلوب امکان‌پذیر است. معمولاً در ماشین‌های رنگرزی درجه حرارت بوسیله قطع و وصل یک ترموستات کنترل می‌گردد ولی در ماشین‌های جدید کنترل درجه حرارت به وسیله دستگاه‌های رایانه‌ای انجام می‌گیرد که احتمال نایکنواختی کالا را بسیار کم می‌کند. مسأله مهم دیگر انتقال حرارت به صورت یکنواخت به همه نقاط محلول رنگرزی می‌باشد، زیرا در غیر این صورت خطر نایکنواختی وجود خواهد داشت. در برخی از ماشین‌های رنگرزی، بخار آب که مستقیماً یا غیرمستقیم وارد حمام می‌گردد تأمین می‌شود که دارای معایبی نیز می‌باشند. در بسیاری از ماشین‌های رنگرزی به دلیل ایجاد یکنواختی و کاهش هزینه، عمل رنگرزی در مخزن‌های سر بسته صورت می‌گیرد و فشار داخل مخزن بالا می‌رود. معمولاً در این ماشین‌ها کنترل با تنظیم درجه حرارت و فشار صورت می‌گیرد. کنترل فشار در این نوع ماشین‌ها از اهمیت به سزایی برخوردار است زیرا در صورت عدم کنترل باعث صدمه زدن به کار می‌شود.

نسبت حجم حمام به وزن کالا در ماشین‌های رنگرزی متغیر است. هر چه این مقدار کمتر باشد حجم محلول رنگرزی کمتر و غلظت ماده رنگزا بیشتر می‌گردد ولی از طرف دیگر خطر ایجاد نایکنواختی در رنگرزی افزایش می‌یابد. امروزه سازندگان ماشین‌های رنگرزی با طراحی مناسب، نسبت L:R را بدون آنکه کالا به صورت نا یکنواخت رنگرزی شود کاهش داده‌اند. اصولاً سازندگان ماشین‌های رنگرزی تمایل دارند نسبت حجم حمام به وزن کالا را کاهش دهند [۲۹].

۶-۱- رنگرزی نخ پشمی قالی با ماشین آلات رنگرزی

وجود ناخالصی زیاد در مواد رنگزای گیاهی و عدم حلالیت کامل این مواد رنگزا در داخل آب موجب گردید که در حال حاضر استفاده از دستگاه‌های رنگرزی جهت رنگرزی نخ پشمی قالی با مشکلاتی مواجه باشد. به‌طوری‌که نمی‌توان از دستگاه‌های رنگرزی با مواد رنگزای شیمیایی برای رنگرزی نخ پشمی قالی با مواد رنگزای طبیعی استفاده نمود. با توجه به تحقیقات و مطالعات در حال انجام در زمینه استخراج ماده رنگزا گیاهی جهت مصرف در رنگرزی نخ پشمی قالی، پیش‌بینی می‌گردد که در آینده بتوان از ماشین‌آلات رنگرزی لیاف، کلاف نخ و بوبین نخ جهت رنگرزی نخ پشمی قالی با مواد رنگزای طبیعی استفاده نمود.

در نوع اول کلاف ثابت و محلول رنگری متحرک می‌باشد، این ماشین‌ها شامل قفسه‌ای هستند که میله‌های حامل کلاف در روی آن جای می‌گیرند، پس از قرار گرفتن کلاف روی میله‌ها، قفسه توسط وسیله‌ای که در بالای ماشین تعبیه شده در درون مخزن محلول رنگری قرار می‌گیرد. در پایین این مخزن صفحه مشبکی وجود دارد که محلول رنگری و لوله بخار در زیر آن قرار دارند. گردش جریان محلول رنگری در این ماشین توسط یک پروانه که در محفظه کنار کلاف‌ها قرار دارد انجام می‌گیرد، با بر عکس چرخیدن این پروانه گردش جریان محلول نیز عوض می‌گردد. در نوع دوم ماشین‌های رنگری کلاف آویزان می‌باشند و محلول رنگری ثابت و کالا در حرکت است. در قدیمی‌ترین و ساده‌ترین نوع این ماشین‌ها کلاف‌ها بر روی میله‌هایی قرار می‌گیرند و میله‌های حامل کلاف در محلول رنگری با دست به چرخش در می‌آید. در ماشین‌های جدید چرخش کلاف‌ها توسط یک موتور صورت می‌گیرد و توسط چرخ دنده‌ها به تمام کلاف‌ها منتقل می‌گردد [۳۰].

در ماشین رنگری بوبین کالا ثابت و محلول متحرک می‌باشد برای رنگری با این ماشین ابتدا نخ روی بوبین پیچیده می‌شود. نوع بوبینی که نخ روی آن پیچیده می‌شود بستگی به نوع الیاف دارد. جنس بوبین معمولاً فلز ضدزنگ و یا پلاستیک مخصوص می‌باشد. برای داخل و یا خارج کردن قفسه حاوی بوبین، ابتدا درب فوقانی ماشین باز شده و سپس توسط زنجیری که در بالای ماشین تعبیه شده، عمل تعویض انجام می‌شود. در گذشته پر و تخلیه کردن قفسه‌ها توسط نیروی انسانی انجام می‌شد، ولی امروزه این دو عمل نیز توسط ماشین صورت می‌گیرد. ماشین از یک مخزن فولادی تشکیل شده است. محلول رنگری در این ماشین از دو طرف حرکت می‌کند. یک بار محلول از داخل لوله وارد مخزن می‌شود و از لایه لای کالا می‌گذرد و از طریق لوله خارج می‌شود و یک بار عکس این جریان حرکت می‌کند، در ماشین‌های پیشرفته تعویض جریان محلول و کنترل درجه حرارت به وسیله رایانه انجام می‌گیرد. دما در این ماشین‌ها تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد بالا رفته و فشار به ۴ تا ۵ اتمسفر می‌رسد. ماشین‌های رنگری بوبین نه تنها به صورت عمودی بلکه به صورت افقی نیز ساخته می‌شوند [۳۰].

۷- آینده مواد رنگزای طبیعی

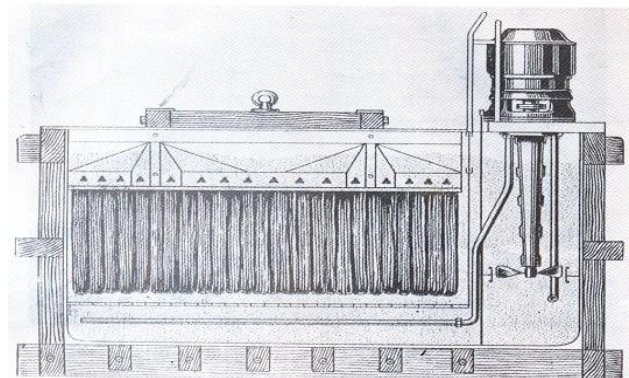
به طور کلی مواد رنگزای طبیعی دارای کاربردهای مختلفی در صنایع گوناگون بوده و در دهه اخیر کاربردهای صنعتی این مواد رنگزا مد نظر قرار گرفته است. بدون شک، یکی از دلایل شهرت فرش ایران، به دلیل رنگ‌بندی زیبا و چشم نواز و استفاده از رنگزاهای گیاهی می‌باشد. اصالت، هماهنگی، ثبات و درخشش رنگ‌های متنوع طبیعی در فرش، باعث می‌شود که فرش‌های دستباف ایرانی به کالایی هنری ارزشمند و غیرقابل رقابت در بازارهای جهانی بدل شود. احیاء و توسعه فرهنگ استفاده از مواد رنگزای طبیعی در هنر- صنعت فرش دستباف به دلایل زیادی از اهمیت بالایی برخوردار است که می‌توان به طور مختصر به موارد زیر اشاره نمود:

- رویکرد جدید جهان امروز به کالای هنری و فرهنگی ملل مختلف و اصالت استفاده از مواد اولیه طبیعی در فرش دستباف
- صرفه‌جویی ارزی و ارزش اقتصادی
- ایجاد اشتغال

کلاف نخ پشمی قالی را می‌توان در ماشین‌های رنگری الیاف، رنگری کرد. روش کار به این صورت است که هر دو یا سه کلاف را با هم در یک کیسه توری قرار داده و استوانه مشبک ماشین رنگری را بجای الیاف از کیسه‌های حامل کلاف پر کرد. استوانه پر شده را در داخل ماشین قرار داده و عمل رنگری را انجام داد، در شکل ۶ دستگاه رنگری کلاف نشان داده شده است [۳۰].

جهت رنگری الیاف در این ماشین‌ها، الیاف را به صورت باز در استوانه مشبک ریخته و داخل ماشین روی پمپ قرار می‌دهند، برای داخل و خارج کردن استوانه مشبک حامل الیاف داخل ماشین از یک زنجیر نقاله و قرقره که در بالای ماشین نصب شده است استفاده می‌شود. پمپ این ماشین از نوع گریز از مرکز بوده و محلول رنگری را با فشار از داخل به خارج استوانه مشبک درون الیاف به طور یک طرفه از داخل به خارج عبور می‌دهد، در ماشین‌های نوع جدید این پمپ به طور دوطرفه یعنی از خارج به داخل و از داخل به خارج عمل می‌نماید و نسبت به برنامه‌ای که به ماشین داده می‌شود در زمان‌های تعیین شده جهت حرکت محلول رنگری عوض می‌شود و این عمل باعث یکنواختی بیشتر در رنگری می‌گردد. برای پر کردن استوانه مشبک از الیاف باید دقت کافی به عمل آید تا استوانه به طور یکنواخت پر شود، بعد از پر شدن، استوانه، الیاف را مرطوب و با فشار فشرده می‌نمایند و سپس استوانه محتوی الیاف را در داخل ماشین قرار داده سر ماشین را محکم بسته و محلول ماده رنگزا و سایر مواد شیمیایی را وارد ماشین می‌نمایند تا ماشین به اندازه کافی پر شود. وجود هوا همراه با محلول اشکالاتی را به وجود می‌آورد، مثلاً محلول رنگری در حمام ماشین کف می‌کند، عمل رنگری به طور نایکنواخت انجام می‌شود و در کار پمپ ایجاد اختلال کرده و پمپ نمی‌تواند کار اصلی خود را انجام دهد. برای اطمینان کامل از پر شدن محلول و تخلیه هوا، شیری در بالای ماشین قرار دارد که در زمان ورود محلول توسط پمپ این شیر باز است و با وارد شدن محلول به ماشین هوای داخل، توسط این شیر تخلیه می‌گردد تا ماشین کاملاً از محلول پر شود، سپس شیر را بسته و ماشین را روشن کرده تا عمل رنگری انجام شود. در حال حاضر نوع خودکار ماشین رنگری الیاف نیز موجود می‌باشد که تمام اعمال پشت سر هم و به طور خودکار انجام می‌گیرد [۳۰].

در ماشین‌های جدید کلاف رنگ‌کنی کلاف‌ها را به صورت آویزان در ماشین‌ها قرار می‌دهند. این ماشین‌ها دارای دو نوع مختلف هستند [۳۰].



شکل ۶- دستگاه رنگری کلاف [۳۰].

- ایجاد آلودگی وسیع در محیط زیست به سبب تولید و مصرف رنگرهای شیمیایی [۳۱].

۸- نتیجه گیری

با توجه به تنوع مواد رنگرزی طبیعی در رنگرزی نخ پشمی قالی و شیوه های متنوع رنگرزی با مواد رنگرزی طبیعی مانند روناس، اسپرک، قرمز دانه، پوست گردو، پوست انار، جاشیر، گندل، در این تحقیق آماده سازی، روش های دندانه دهی، رنگرزی با مواد رنگرزی طبیعی، و ماشین آلات رنگرزی مورد استفاده در گذشته، حال و آینده بررسی گردید.

در حال حاضر جهت آماده سازی حمام رنگرزی با مواد رنگرزی طبیعی عصاره گیری رایج ترین شیوه رنگرزی می باشد، در آینده چنانچه رنگر

۹- مراجع

۱. م. منتظر، م. ویسیان، م. حیدری گلفزانی، "طبیعت گرایی در رنگرزی الیاف پروتئینی (پشم و ابریشم)"، مرکز ملی فرش ایران، ۱۳۸۸.
۲. ع. شمس ناتری، ا. اکرامی، ن. امیرعلیان، ف. ریسی، "نگاهی به روند تحولات در کاربرد و خواص مواد رنگرزی طبیعی"، دومین سمینار ملی تحقیقات فرش دستباف، ۱۳۸۶.
3. I. J. Age, C. Hafner, C. Welsch, K. Schneider, H. Iznaguen, J. Westendorf, "The mutagenic potential of madder root in dyeing processes in the textile industry", *Mutat. Res.* 605, 22-29, 2006.
۴. م. حسین نژاد، ک. قرنجیگ، "مروری بر آخرین تحقیقات درباره کاربردهای مواد رنگرزی طبیعی در رنگرزی، مواد خوراکی و سلول های خورشیدی"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۲۷، ۱۷-۷، ۱۳۹۶.
5. M. Shahid, S. ul-Islam, F. Mohammad, "Recent advancements in natural dye applications: A review", *J. Clean. Prod.* 57, 2-18, 2013.
6. I. Zerín, N. Farzana, A. Sayem, D. M Anang, J. Haider, "Potentials of Natural Dyes for Textile Applications", *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 873-883, 2020.
7. P. Samanta, "A Review on Application of Natural Dyes on Textile Fabrics and Its Revival Strategy", *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*, 1-25, 2020.
۸. ز. احمدی، ف. غلامی هوجقان، "مروری بر خواص ضدباکتری، ضد میکروب و ضدقارچ ترکیبات گیاهی و کاربرد آنها در منسوجات"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۹، ۴۱-۵۸، ۱۳۹۸.
۹. ر. جعفری، ک. قرنجیگ، "مطالعه مشخصه های رنگی الیاف طبیعی رنگرزی شده با مواد رنگرزی طبیعی"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۷۴، ۱۳۹۷، ۸-۶۳.
۱۰. ا. حاجی، "مروری بر روش ها و فناوری های بهبود جذب و ثبات مواد رنگرزی طبیعی بر روی الیاف پنبه"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۴۴، ۳۳-۱۳۹۶، ۷.
۱۱. س. میرنژاد، س. صفاپور، م. صادقی کیاخانی، "مروری بر خواص و کاربرد رنگ طبیعی قرمز دانه در صنایع مختلف"، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۵، ۴۶-۳۳، ۱۳۹۴.
۱۲. ه. پیرالهی، "شیمی آلی تجربی نوین"، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۶.
۱۳. م. آئینه چی، م. باقرزاده کثیری، ک. قرنجیگ، "مطالعه و بهینه سازی فرآیند استخراج مواد رنگرزی گیاه اسپرک به کمک امواج فراصوت"، نشریه علمی، پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۱۲۴، ۱۱۵-۱۲، ۱۳۹۷.
۱۴. ک. قرنجیگ، ش. روحانی، م. آرامی، ر. پیرکهن، "طرح تحقیقاتی شناسایی مواد رنگرزی مورد مصرف در نخ پشمی قالی و بهترین شیوه استخراج و بکارگیری آنها (با تاکید بر آلزارین و پورپورین)"، مرکز ملی فرش ایران، ۱۳۹۰.
15. K. Sinha, P. D. Saha, S. Datta, "Extraction of natural dye from petals of flame of forest (Butea Monosperma) flower: process optimization using response surface methodology (RSM)", *Dyes Pigm.* 94, 212-216, 2012.
16. M. E. Borges, R. L. Tejera, L. Diaz, P. Esparza, E. Ibanez, "Natural dyes extraction from cochineal (Dactylopius Coccus): New extraction methods", *Food Chem.* 132, 1855-1860, 2012.
17. S. Saxena, A. S. M, Raja, "Natural dyes: sources, chemistry, application and sustainability issues", *Roadmap Sustainable Text. Clothing*, 37-80, Doi: 10.1007/978-981-287-065-0_2, 2014.
۱۸. ح. بهمن، ک. قرنجیگ، ش. روحانی، آ. تحویلی، م. حسین نژاد، ه. ایمانی، ع. محمودی نهاوندی، "بهینه سازی استخراج مواد رنگرزی روناس به روش سطح پاسخ و بررسی خواص رنگرزی"، نشریه علوم و فناوری رنگ، ۸۳، ۹۶-۱۴، ۱۳۹۹.
۱۹. H. Uslu, H. S. Bamufleh, "Effect of solvent and pH on the extraction of carbolic acid from aqueous solution by TOMAC", *J. Chem. Eng.* 61, 1676-1680, 2016.
20. X. Xinsheng, W. Lua, J. Shunhua, Z. Qicheng, Z. Xinlong, H. Xiaofeng, "Extraction of coloring matter from Sargentodoxa cuneata by ultrasonic technique and its application on wool fabric", *Indian J. Fibre Text. Res.* 426-430, 2008.

۲۷. ز. احمدی، "تاثیر دندانه‌های گیاهی در رنگرزی نخ پشمی با روناس و اسپرک"، نشریه علوم و فناوری رنگ، JCST-2001-1081، پذیرفته شده، ۱۳۹۹.
۲۸. ع. شمس ناتری، ا. اکرامی، م. مافی، "بررسی اثر ترتیب عملیات رنگرزی و دندانه دهی بر رنگ حاصل در رنگرزی منفرد و ترکیبی پشم با قرمز دانه و پوست انار"، شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۲۸، ۱-۱۱۷، ۱۳۸۸.
۲۹. ک. قرن‌جیگ، "طرح تحقیقاتی بررسی و مقایسه روش‌های رنگرزی طبیعی نخ پشمی قالی به وسیله دستگاه‌های سنتی و موجود به منظور ارائه روش بهینه"، مرکز ملی فرش ایران، ۱۳۸۷.
۳۰. م. ا. حیدری گلفزانی، "طرح تحقیقاتی راههای کاهش هزینه رنگرزی طبیعی"، مرکز ملی فرش ایران، ۱۳۹۱.
۳۱. م. شاور، ا. کیومرثی، ب. کاتوزیان، م. پروین زاده، "رنگزاهای طبیعی و چشم انداز آن در صنایع مختلف کشور"، اولین همایش علمی، دانشجویی علوم و فناوری رنگ، ۱۳۸۷.
21. M. Yolmeh, M. Bagher, H. Najafi, Reza. Farhoosh, F. Hosseini, "Optimization of ultrasound-assisted extraction of natural pigment from annatto seeds by response surface methodology (RSM)". Food Chem. 155, 319-324. 2014.
۲۲. ش. ناصریان اصل، "بررسی فرایند استخراج، رنگرزی و خواص ثباتی رنگینه‌های حنا و پوست انار به کمک دستگاه آلتراسونیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده هنر و معماری اردکان، ۱۳۹۳.
۲۳. ف. رئیس، ا. شمس ناتری، "استخراج مواد رنگزای طبیعی به کمک دستگاه ماکروویو"، دومین سمینار ملی تحقیقات فرش دستباف، ۱۳۸۶.
۲۴. ر. محمد علی مالک، "طرح تحقیقاتی بررسی چگونگی تأثیر مواد رنگزای طبیعی، تعاونی و شرایط رنگرزی بر خواص فیزیکی و مکانیکی خامه قالی"، مرکز ملی فرش ایران، ۱۳۸۶.
25. S. Haar, E. Schrader and B. M. Gatewood, "Comparison of aluminum mordants on the colorfastness of natural dyes on cotton", Cloth. Text. Res. J. 31, 97-108, 2013.
۲۶. L. Ammayappan, D. B. B. Shakyawar, "Dyeing of Carpet Woolen Yarn using Natural Dye from Cochineal", J. Nat. Fibers, 13, 42-53, 2016.