در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۷، شماره ۳، (۱۳۹۶) ۴۴-۳۳

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

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش

مروری بر روش‌ها و فناوری‌های بهبود جذب و ثبات مواد رنگزای طبیعی بر روی الیاف پنبه

امین الدین حاجی

استادیار، گروه مهندسی نساجی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران، کد پستی: ۹۷۱۷۷۱۱۱۱۱.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۵ تاریخ بازبینی نهایی: ۱۳۹۶/۰۸/۰۵ تاریخ پذیرش:۹۶/۰۸/۰۶ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۹۶/۰۹/۲۲

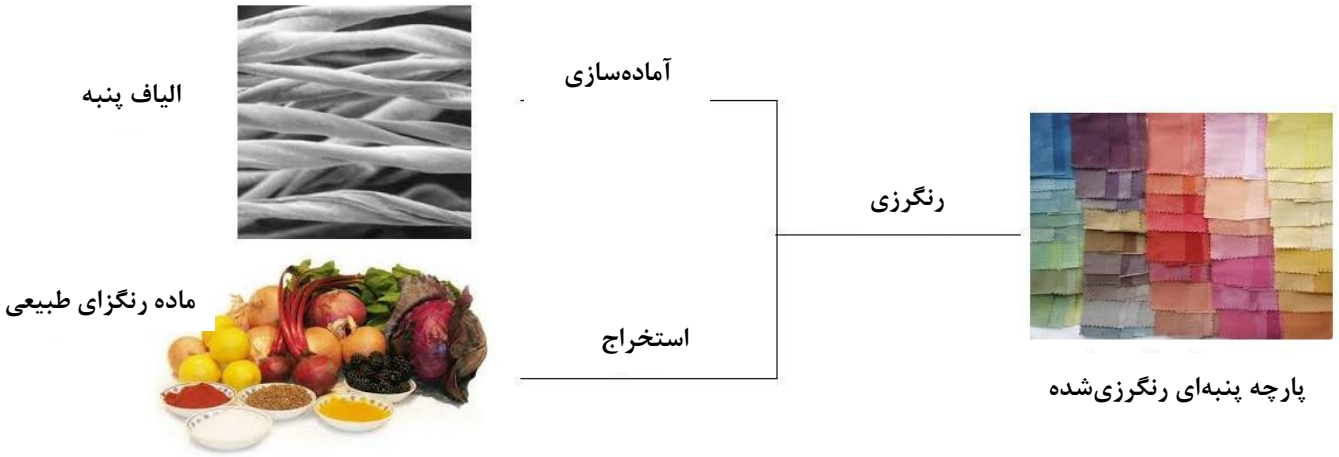
چکیده

امروزه به دلیل نگرانی‌هایی که از لحاظ زیست‌محیطی و سلامتی مصرف‌کننده در خصوص 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. بر خلاف الیاف پروتئینی، الیاف پنبه میل جذبی بسیار پایینی به مواد رنگزای طبیعی دارند و کالای رنگرزی شده نیز علاوه بر قدرت رنگی پایین، از ثبات کمی نیز برخوردار است. در این مقاله، تحقیقات مختلف انجام شده در زمینه بهبود رنگ‌پذیری الیاف پنبه به وسیله مواد رنگزای طبیعی مختلف مرور و دسته‌بندی شده است. روش‌های مختلفی شامل استفاده از دندانه‌های فلزی، آنزیم‌ها، دندانه‌های زیستی، ترکیبات آنیونی و کاتیونی، ترکیبات آمینی، امواج فراصوت، پرتو گاما، فناوری پلاسما و پرتو فرابنفش و ریزموج مورد بررسی قرار گرفته و نتایج تحقیقات انجام شده در هر مورد گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی

پنبه، مواد رنگزای طبیعی، جذب رنگ، ثبات، اصلاح.

چکیده تصویری



نویسنده مسئول: Ahaji@iaubir.ac.ir

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

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

Journal of Studies in Color World, Vol. 7, No. 3, (2017) 33-44

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

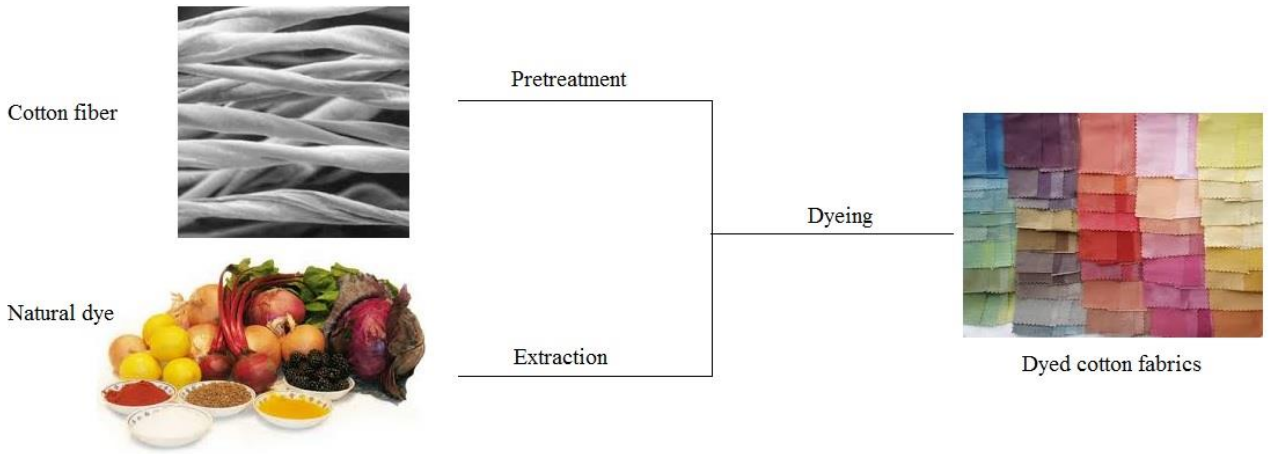
Review on Methods and Technologies for Improvement of Adsorption and Fastness Properties of Natural Dyes on Cotton Fibers

Aminoddin Haji
Textile Engineering Department, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran, P.O. Box: 9717711111

Abstract
Nowadays, due to the ecological and health concerns associated with the use of synthetic dyes, there is a great tendency for the use of natural dyes in the dyeing of textiles, especially natural fibers. Unlike protein fibers, cotton has a very low affinity toward the natural dyes and the dyed goods have low fastness properties besides low color strength. In this study, several investigations reported on the improvement of natural dyeing of cotton fibers have been reviewed and classified. Different methods including the use of metal mordants, enzymes, bio-mordants, cationic and anionic compounds, amine compounds, ultrasound, gamma rays, plasma technology, UV rays and microwave have been considered and the results of the reported literature have been reviewed.

Keywords
Cotton, Natural Dye, Dye sorption, Fastness, Modification.

Graphical abstract



Corresponding author: Ahaji@iaubir.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه تمایل زیادی به استفاده از مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی منسوجات به وجود آمده است. دلایل این تمایل شامل سازگاری این مواد رنگزا با طبیعت، سمیت و حساسیت‌زایی کم هنگام استفاده از آنان، زیست‌تخریب‌پذیری بهتر و غیره است [۳-۱]. یکی از مشکلات مهم در رنگرزی الیاف نساجی با اغلب مواد رنگزای طبیعی، رمق‌کشی کم آنها و ثبات پایین کالای رنگرزی شده است. بیشتر تلاش ها برای حل این مشکل برروی استفاده از دندانه‌های فلزی که معمولا باعث بهبود رمق‌کشی، افزایش ثبات و تغییر فام رنگی می‌شوند متمرکز شده اند. این مشکل هنگام رنگرزی الیاف پنبه با مواد رنگزای طبیعی بیشتر از الیاف پروتئینی پشم و ابریشم نمود پیدا می‌کند [۴، ۵]. از همین رو تحقیقات زیادی در زمینه روش‌های بهبود جذب و ثبات مواد رنگزای طبیعی برروی الیاف پنبه انجام شده است. در این تحقیق روش‌های متنوع به کاررفته برای بهبود رمق‌کشی مواد رنگزای طبیعی بر روی الیاف پنبه مورد بررسی قرار گرفته و در هر مورد تاثیر فرآیند بر قدرت رنگی و خواص ثباتی کالا مورد توجه قرار گرفته است.

۲- روش‌های بهبود خواص رنگرزی پنبه با مواد رنگزای طبیعی

۲-۱- استفاده از دندانه‌های فلزی

از لحاظ شیمیایی دندانه‌های فلزی ترکیبات فلزات چندظرفیتی (مانند کرم، قلع، آهن، مس و آلومینیم) هستند که می‌توانند با برخی ملکول‌های رنگی و الیاف تشکیل کمپلکس بدهند. اتم فلز معمولا با اتم اکسیژن گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل الیاف و ماده رنگزا تشکیل پیوند داتیو[1] می‌دهد. اتم‌های فلزاتی که معمولا به عنوان دندانه استفاده می‌شوند توانایی تشکیل چندین پیوند داتیو یا کئوردیناسیون را دارند، به عنوان مثال عدد کئوردیناسیون مس و آهن به ترتیب ۴ و ۶ است. لذا این دندانه‌ها می‌توانند چند ملکول ماده رنگزا را نیز به یکدیگر و نهایتا به الیاف متصل کنند و سبب افزایش قدرت رنگی و بهبود ثبات رنگ شوند [۶]. در زمینه بررسی تاثیر دندانه‌های فلزی مختلف در رنگرزی الیاف پنبه‌ای با مواد رنگزای طبیعی تحقیقات بسیاری انجام شده است.

کاربرد دندانه‌های سولفات آهن، زاج سفید (آلوم)[2] و سولفات مس بر روی جذب مواد رنگزای استخراج شده از چای سیاه توسط الیاف پنبه به سه روش دندانه‌دادن قبل، بعد و همزمان با رنگرزی باعث افزایش قدرت رنگی و ثبات شستشویی و نوری در مقایسه با نمونه‌های فاقد دندانه‌شده است. نتایج نشان داده که نمونه‌هایی رنگرزی شده به روش دندانه‌دادن بعد از رنگرزی، عمق رنگی و ثبات بالاتری ایجاد کرده‌اند که احتمالا مربوط به ایجاد کمپلکس‌های بیشتر و محکم تر بین ماده رنگزا و دندانه در این روش است [۵]. مشابه این نتیجه در اثر دندانه‌دادن پنبه با سولفات آهن و هیدروکسید کلسیم و رنگرزی با عصاره منگوستین[3] نیز گزارش شده است [۷]. با اینحال در رنگرزی الیاف پنبه با زعفران، روش دندانه‌دادن قبل از رنگرزی نتیجه بهتری نسبت به دو روش دیگر نشان داده است [۸].

در تحقیق دیگری دانه *Cassia tora L.* به عنوان ماده رنگزای طبیعی بر روی الیاف پنبه در حضور دندانه‌های فلزی مختلف به کار رفته است. دانه این گیاه حاوی امودین، رئین و کریزوفانول[4] به عنوان مواد تولیدکننده رنگ است. در این تحقیق سولفات‌های آهن، مس، نیکل، روی، آلومینیم و منگنز به عنوان دندانه بر روی الیاف پنبه به کار رفته و تاثیر هریک بر خواص رنگی و ثباتی بررسی شده است. نتایج نشان داده است که قدرت رنگی کالای پنبه‌ای رنگرزی‌شده با این ماده رنگزا با افزایش اسیدی‌شدن[5] حمام رنگرزی از ۲ تا ۹ افزایش پیدا کرده است. بررسی اختلاف رنگ[6] نمونه‌های دندانه‌شده (بدون رنگرزی) ترتیب زیر را نشان داده است:

سولفات آهن> سولفات مس > سولفات نیکل > سولفات روی> سولفات آلومینیم > سولفات منگنز

کالای دندانه‌داده شده و رنگرزی شده با مواد رنگزای طبیعی فوق قدرت رنگی بالاتری در مقایسه با کالای رنگرزی شده بدون حضور دندانه نشان داده است. ترتیب قدرت رنگی نمونه‌های دندانه‌داده شده بعد از رنگرزی به ترتیب زیر گزارش شده است:

سولفات آهن > سولفات مس > سولفات روی > سولفات منگنز ≅ سولفات آلومینیم > سولفات نیکل > بدون دندانه

در این تحقیق نیز ثبات شستشویی و نوری بالاتری برای نمونه‌های دندانه داده شده گزارش شده است و بالاترین قدرت رنگی و درجات ثباتی برای دندانه‌های مس و آهن مشاهده شده است [۹].

در تحقیق دیگری از هلیله[7] به عنوان دندانه گیاهی (تانن) و دندانه‌های فلزی برای افزایش جذب ماده رنگزای استخراج شده از میوه درخت نان صحرایی[8] استفاده شده است. میوه این گیاه حاوی ماده رنگی بر پایه فلاونول به نام مورول[9] است. نتایج این تحقیق نشان داده است که استفاده از ۲۰٪ -۱۰٪ از هلیله و سپس ۲۰٪ -۱۰٪ از دندانه‌های فلزی آلوم و سولفات آهن بهترین روش دندانه دادن برای کسب بالاترین قدرت رنگی توسط این ماده رنگزا بر روی الیاف پنبه بوده است [۱۰]. هلیله به همراه دندانه‌های آلوم، دی‌کرومات پتاسیم، سولفات مس و سولفات آهن نیز تاثیر مثبت بر روی قدرت رنگی و ثبات رنگی کالای پنبه‌ای رنگرزی شده با پوست گردو داشته است [۱۱]. نتایج مشابهی از کاربرد هلیله و سولفات نیکل، سولفات آلومینیم، سولفات آهن و دی‌کرومات پتاسیم بر روی الیاف پنبه و سپس رنگرزی آن بوسیله عصاره گل *spathodea campanulata* به دست آمده است [۱۲].

[1] Co-ordination or Dative Bond
[2] Alum, Aluminum Potassium Sulfate
[3] Mangosteen
[4] Emodin, Rhein, Chrisophanol
[5] pH
[6] ΔE
[7] Myrobalan
[8] Jackfruit
[9] Morol

در تحقیق دیگری از روناس، اسپرک و گل اشرفی به عنوان مواد رنگزای طبیعی بر روی پارچه پنبه‌ای استفاده شده و تاثیر دو نوع دندانه آلومینیم شامل آلوم (آلومینیم پتاسیم سولفات) و استات آلومینیم (به‌صورت پیش‌دندانه) بر روی ثبات رنگی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان داده که استفاده از استات آلومینیم نتیجه بهتری در مقایسه با آلوم عاید کرده است [۶].

علاوه بر نوع دندانه، مقدار دندانه مصرفی نیز بر قدرت رنگی و ثبات کالای رنگرزی شده تاثیرگذار است [۱۳]. شکل ۱، تاثیر مقادیر مختلف دندانه‌های متنوع را بر روی قدرت رنگی نسبی کالای پنبه‌ای رنگرزی شده با عصاره زیره سبز نشان می‌دهد [۱۴].

۲-۲- استفاده از دندانه زیستی[1]

برخی گیاهان می‌توانند مقادیر بالایی از بعضی فلزات را در خود جمع و نگهداری کنند، که می‌توان از آن به عنوان دندانه زیستی در رنگرزی با یک گیاه دیگر استفاده نمود. بررسی بر روی برگ گیاه *Eurya acuminata* نشان داده که عصاره آن حاوی مقدار بالایی یون آلومینیم است. از این گیاه به عنوان دندانه برروی پنبه استفاده شده و کالای دندانه‌داده شده به وسیله روناس رنگرزی شده است. نتایج نشان داده است که در صورت استفاده از محلول ۲٪ عصاره برگ این گیاه، جذب ماده رنگزای روناس توسط الیاف پنبه به میزان ۲۳/۵٪ افزایش یافته است. این افزایش در صورت استفاده از همان مقدار دندانه آلوم، ۳۳/۵٪ بوده است [۱۵].

تانن موجود در برخی گیاهان نیز می‌تواند به عنوان یک دندانه زیستی برای بهبود رنگرزی الیاف پنبه با مواد رنگزای طبیعی به کار روند. بکار بردن تانن (طبیعی یا مصنوعی) بر روی الیاف پنبه، تعداد زیادی گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل جدید به الیاف پنبه اضافه می‌کند که می‌تواند منجر به بهبود جذب برخی مواد رنگزا به الیاف شود. همچنین اگر لیف پنبه عمل شده با تانن، توسط دندانه‌های فلزی نیز دندانه داده شود، کاتیون‌های لازم برای ایجاد کمپلکس با ماده رنگزا نیز به خوبی جذب الیاف شده و قدرت جذب رنگ الیاف پنبه افزایش قابل توجهی می‌یابد. استفاده از ۶۰٪ آلوم به‌مدت ۳۰ دقیقه و سپس عمل کردن با ۲۰٪ تانن به‌مدت ۱ ساعت و مجددا قرار دادن در باقیمانده حمام قبلی آلوم روشی است که وقتی تمام مراحل آن در محیط قلیایی بر روی الیاف پنبه انجام شده است، منجر به افزایش بسیار بالای قدرت رنگی کالای رنگرزی شده با چهار ماده رنگزای گیاهی متفاوت[2] در مقایسه با روش معمول رنگرزی شده است. ثبات نوری، شستشویی و سایشی خوب تا عالی نیز با این روش حاصل شده است [۱۶].

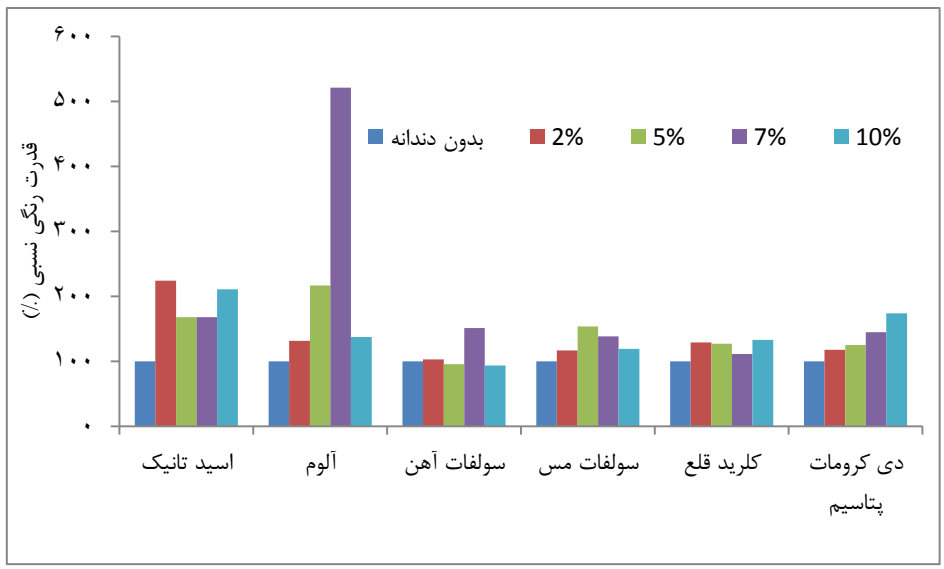
در تحقیق دیگری که بر روی رنگرزی پنبه با ماده رنگزای استخراج شده از برگ *Acacia nilotica* بعد از دندانه دادن با تانن و دندانه‌های فلزی (به تنهایی و یا بصورت متوالی در حمام‌های مجزا) انجام شده نیز نتایج مشابهی حاصل شده است. در این بررسی دندانه دادن با تانن و پس از آن با سولفات آهن، بالاترین قدرت‌رنگی و درجات ثباتی را برای کالای رنگرزی شده عاید کرده است [۱۷].

مشابه این نتیجه در رنگرزی پنبه با لاک[3] بعد از دندانه‌دادن با تانن و استات آلومینیم بطور متوالی حاصل شده است. استفاده از تانن باعث بهبود جذب یون آلومینیم به الیاف پنبه شده و افزایش جذب آلومینیم نیز باعث افزایش جذب ماده رنگزا و در نتیجه افزایش قدرت‌رنگی کالای نهایی شده است.

[1] Bio-mordant

[2] Meyna laxiflora (Helu), Maba angustifolia (Kalindrin), Wendlandia thyrsiodea (Shevara), and Eupatorium repandum (Ranmodi)

[3] Lac



شکل ۱- تاثیر مقدار دندانه بر قدرت رنگی نسبی پارچه پنبه‌ای رنگرزی شده با زیره سبز [۱۴].

این ماده رنگزا از ترشحات سفت شده یک حشره به دست می‌آید و ماده اصلی قرمز رنگ در آن لاکائیک اسید است [۱۸]. در تحقیق دیگری، تانن استخراج شده از میوه خشک‌شده *Emblica officinalis G.* به تنهایی (۱۵٪) و به همراه دندانه سولفات مس (۱٪-۰/۵٪) بر روی الیاف پنبه بکار برده شده و تاثیر آن بر قدرت رنگی کالای رنگرزی شده با مواد رنگزای طبیعی زردچوبه، پوست انار، حنا و روناس بررسی شده است. این دندانه زیستی به تنهایی و در ترکیب با سولفات مس باعث بهبود قابل توجه قدرت رنگی کالای رنگرزی شده با هر چهار ماده رنگزای مذکور گردیده است. کالای نهایی دارای خاصیت ضدباکتری قابل ملاحظه نیز بوده است. این روش دندانه‌دادن ثبات شستشویی و نوری را نیز تا حدودی بهبود داده اند [۱۹].

مازو[1] حاوی مقدار قابل توجهی تانن است. استفاده از آن به عنوان دندانه زیستی باعث افزایش جذب ماده رنگزای استخراج شده از ریشه گیاه سنگدانه[2] (به‌نام شیکونین[3]) بر روی الیاف پنبه معمولی و کاتیونی شده گردیده است [۲۰].

پوسته تمرهندی نیز حاوی مقدار زیادی تانن است که از آن به عنوان دندانه (به تنهایی و یا ترکیب با دندانه فلزی سولفات مس) استفاده شده و کالای دندانه‌داده شده با دو ماده رنگزای طبیعی زردچوبه و پوست انار رنگرزی‌شده است. همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، استفاده از دندانه تانن به تنهایی باعث افزایش قدرت رنگی شده است اما استفاده از مقدار کمی‌دندانه فلزی به همراه آن باعث بهبود چشمگیر قدرت‌رنگی کالای رنگرزی شده نهایی گردیده است [۲۱].

۲-۳- کاتیونی‌کردن و آنیونی‌کردن الیاف پنبه

ترکیبات کاتیونی بر مبنای نمک‌های آمونیم چهارظرفیتی[4] معمولا برای ایجاد خاصیت ضدباکتری و بهبود رنگ‌پذیری الیاف پنبه با مواد رنگزای آنیونیک بکار می‌روند. استفاده از این ترکیبات بر روی الیاف پنبه، می‌تواند باعث بهبود جذب برخی مواد رنگزای طبیعی توسط الیاف پنبه نیز شود. به عنوان مثال در یکی از تحقیقات انجام شده، الیاف پنبه با ترکیب کاتیونی در محیط قلیایی اصلاح‌شده و سپس با مواد رنگزای طبیعی متفاوت با ساختار شیمیایی مختلف رنگرزی شده است. نتایج نشان داده که کالای پنبه‌ای کاتیونی شده پس از رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی چوب قرمز یا چوب برزیلی[5] (قرمز طبیعی ۲۴[6]) و قرمزدانه (قرمز طبیعی ۴[7]) قدرت رنگی بیشتری در مقایسه با کالای پنبه‌ای اصلاح‌نشده اصلاح‌نشده نشان داده است. در مورد گیاه سنگدانه با وجود بهبود اندک در قدرت رنگی کالای کاتیونی شده نسبت به کالای خام، رنگرزی نایکنواخت بر روی کالای کاتیونی شده حاصل شده است. قدرت‌رنگی نمونه‌های کاتیونی‌شده و رنگرزی‌شده با دو ماده رنگزای طبیعی کاتیونی استخراج شده از گیاه زرین ریسمان[8] و برگ درخت آمور[9]، هیچگونه بهبودی نسبت به نمونه اصلاح نشده، نشان نداده اند [۲۲].

کاتیونی‌کردن پنبه به وسیله ماده تجاری با نام Albafix WFF به روش آغشته‌کردن-خشک‌کردن-پخت انجام شده و تاثیر آن بر جذب مواد رنگزای طبیعی استخراج شده از رزماری بررسی شده است. نتایج نشان داده که در مقایسه با نمونه پنبه معمولی، کاتیونی‌کردن باعث بهبود جذب رنگ و حصول ثبات متوسط تا خوب شده است. با اینحال عمق رنگی و درجات ثباتی بدست آمده روی پنبه کاتیونی، به خوبی کالای پشمی نبوده است [۲۳].

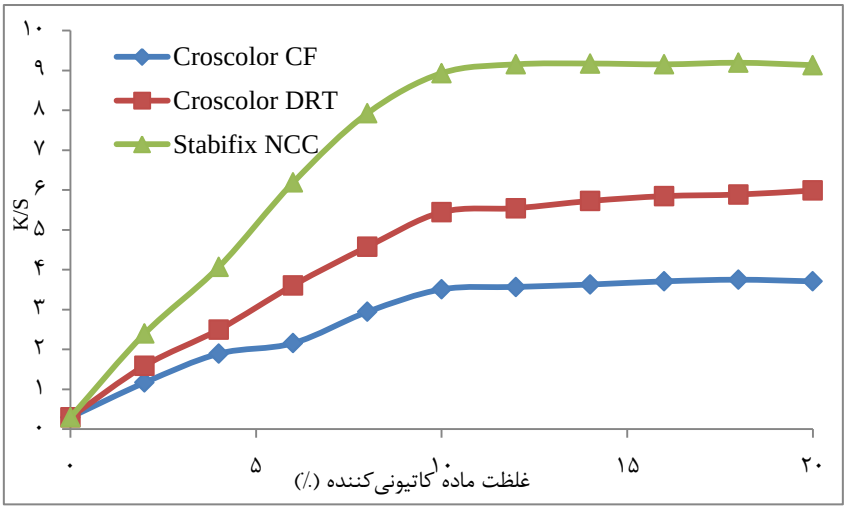
مقدار ماده کاتیونی مورد استفاده بر حسب نوع و ساختار آن و نوع ماده رنگزای مصرفی، متغیر است. در تحقیقی که به بررسی تاثیر کاربرد سه نوع ماده کاتیونی‌کننده تجاری (شکل ۲) بر رنگرزی پنبه با گیاه ختمی الوان[10] انجام شده مشخص شده که برای مقدار ماده کاتیونی‌کننده مصرفی یه عدد بهینه وجود دارد که بکاربردن مقدار بیشتر از آن تاثیر چندانی بر جذب ماده رنگزا ندارد. شکل ۲ نشان می‌دهد که غلظت تقریبی ۱۰٪ برای مواد کاتیونی‌کننده مورد مصرف مقدار بهینه به حساب می‌آید [۲۴]. نتایج مشابهی در مورد مواد کاتیونی‌کننده دیگر تحت نام‌های تجاری Sera Fast GMT، Rewin Os، Denitex BC و همچنین اسید تانیک در رنگرزی پنبه کاتیونی‌شده با عصاره کلم قرمز مشاهده شده است [۲۵].

قابلیت تبادل کاتیونی مواد تجاری مورد مصرف در این تحقیق اندازه‌گیری شده و به ترتیب $MmolEquiv.g^{-1}$ ۸۴/۹۶، ۷۳/۵۹، ۱۲۵ برای Croscolor DRT ، Croscolor CF و Stabifix NCC گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان تاثیر هر کدام از این مواد نسبت مستقیم با قابلیت تبادل کاتیونی آن دارد [۲۴].

جدول ۱- قدرت رنگی کالای پنبه‌ای رنگرزی شده با زردچوبه و پوست انار بعد از دندانه دادن با تانن و سولفات مس [۲۱].

قدرت رنگی (K/S)	دندانه	ماده رنگزای مصرفی (۲۰٪)
۱/۶۶	-	زردچوبه
۱/۹۳	تانن ۱۵٪	
۴/۱۴	تانن ۱۵٪+ ۰/۵٪ مس	
۵/۰۲	تانن ۱۵٪+ ۱٪ مس	
۰/۷۲	-	پوست انار
۰/۹۸	تانن ۱۵٪	
۱/۵۵	تانن ۱۵٪+ ۰/۵٪ مس	
۲/۰۲	تانن ۱۵٪+ ۱٪ مس	

[1] Gallnut
[2] Gromwell
[3] Shikonin
[4] Quaternary ammonium salts
[5] Redwood
[6] C.I. Natural Red 24
[7] C.I. Natural Red 4
[8] Goldthread
[9] Amur cork tree
[10] Hibiscus mutabilis



شکل ۲- تاثیر غلظت ماده کاتیونی‌کننده بر قدرت‌رنگی پارچه پنبه‌ای رنگرزی شده با ختمی الوان [۲۴].

در تحقیق دیگری که از Croscolor DRT برای کاتیونی‌کردن پنبه پیش از رنگرزی با برگ رازیانه استفاده شد، مشاهده شد که مقدار قدرت رنگی از ۰/۳۶ (برای پنبه معمولی و رنگرزی شده) به ۳/۸۴ (برای پنبه کاتیونی‌شده و رنگرزی‌شده) افزایش یافته است. ثبات رنگ در برابر نور، سایش و شستشو نیز در این تحقیق بهبود یافته است [۲۶].

برای بهبود جذب مواد رنگزای طبیعی کاتیونی به الیاف پنبه نیز می‌توان از مواد آنیونیک برای اصلاح الیاف استفاده کرد. به عنوان مثال استفاده از ماده واکنش‌پذیر با فرمول شیمیایی sodium, 4-(4,6- dichloro-1,3,5- triazinylamino)-benzenesulfonate باعث بهبود ۲۳ برابری جذب ماده رنگزا کاتیونیک بربرین (استخراج شده از برگ درخت آمور) توسط کالای پنبه‌ای اصلاح‌شده در مقایسه با کالای اصلاح‌نشده گردیده است. جذب ماده رنگزای فوق توسط الیاف پنبه اصلاح‌شده با افزایش اسیدی‌شدن محیط افزایش یافته است [۲۷]. همچنین افزودن نمک خنثی به حمام رنگرزی پنبه آنیونی شده با ماده رنگزای کاتیونی بربرین باعث افزایش رمق‌کشی و تثبیت ماده رنگزا شده است. همچنین کالای رنگرزی شده خواص ضدباکتری نیز از خود نشان داده است [۲۸].

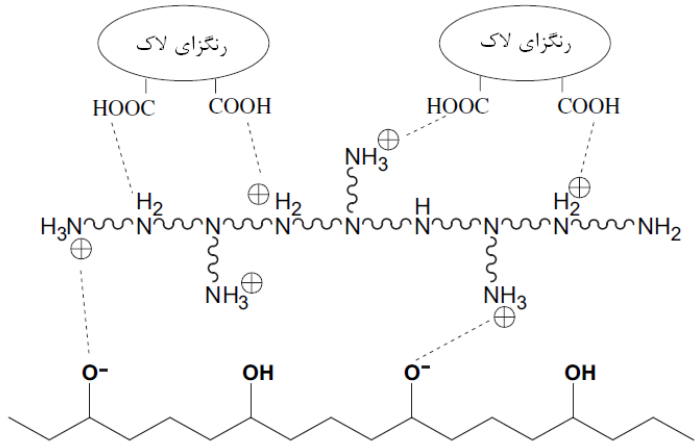
در تحقیقی که توسط نگارنده انجام شده است، اکریلیک اسید به کمک پلاسما برروی الیاف پنبه پلیمری‌شده و از طریق ایجاد گروه‌های عاملی کربوکسیلیک اسیدی تمایل الیاف پنبه به مواد رنگزای کاتیونی افزایش یافته است. در این تحقیق، پیوندزدن اکریلیک اسید به الیاف پنبه، باعث بهبود قابل توجه جذب رنگزای کاتیونی بربرین استخراج شده از ریشه درخت زرشک به الیاف شده است. البته اصلاح پلاسمایی بدون پیوندزنی اکریلیک اسید هم به مقدار کمی باعث بهبود جذب ماده رنگزا شده است. ثبات شستشویی، سایشی و نوری کالای پیوندزنی شده با اکریلیک اسید، از دو نمونه دیگر بیشتر گزارش شده است [۲۹].

در تحقیق دیگری از ساکسینیک اسید (دارای دو گروه COOH-) برای ایجاد گروه‌های کربوکسیلیک اسیدی بر روی الیاف پنبه استفاده شده و کالای اصلاح‌شده به کمک ماده رنگزای آنتوسیانینی (دارای بار مثبت) استخراج شده از میوه شاتوت رنگرزی شده است. جاذبه یونی بین الیاف اصلاح‌شده و ماده رنگزای آنتوسیانینی باعث افزایش قابل توجه قدرت‌رنگی کالا در مقایسه با الیاف پنبه خام شده است. در این تحقیق در هنگام استفاده از ۳۰٪ ساکسینیک اسید بر روی پنبه، قدرت رنگی کالای رنگرزی شده از ۲/۷ به ۵/۳ افزایش یافته است (بدون هیچ نوع دندانه). در صورت استفاده از دندانه کلرید قلع، قدرت‌رنگی به ۶/۹ نیز رسیده است. همچنین درجات ثباتی نیز بین ۰/۵ تا ۲ درجه بهبود نشان داده است [۳۰].

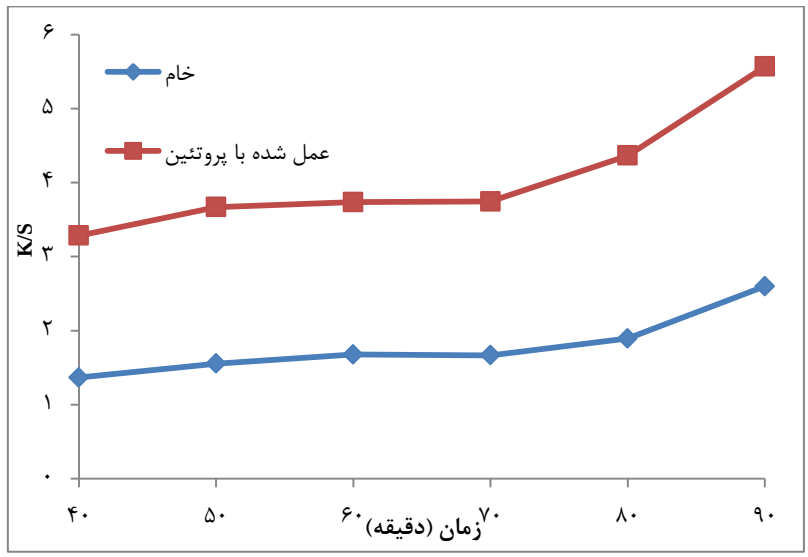
۲-۴- استفاده از ترکیبات آمینی

علاوه بر ترکیبات کاتیونی، می‌توان از ترکیبات آمینی که در زمان رنگرزی و در محیط اسیدی بار مثبت پیدا می‌کنند نیز برای بهبود جذب مواد رنگزای طبیعی استفاده کرد. در یکی از تحقیقات انجام شده، از پلی اتیلن ایمین که یک ترکیب پلی آمین آلیفاتیک پرشاخه است به روش رمق‌کشی برروی الیاف پنبه استفاده شده است. سپس الیاف پنبه به وسیله ماده رنگزای حیوانی لاک (قرمز طبیعی ۲۵[1]) رنگرزی شده است. نتایج نشان داد که این عمل باعث بهبود جذب این ماده رنگزا به الیاف پنبه و کاهش رنگ‌دهی آن پس از شستشو شده است [۳۱، ۳۲]. شکل ۳ سازوکار برهمکنش بین الیاف پنبه و پلی اتیلن ایمین و ماده رنگزای لاک را نشان می‌دهد. استفاده از آلبومین[2] که نوعی پروتئین است، بر روی پنبه نیز باعث بهبود جذب ماده رنگزای لاک توسط الیاف اصلاح شده گردیده است [۳۲]. آب پنیر حاوی تعدادی پروتئین کروی[3] است که می‌توان آن‌را به الیاف پنبه متصل نمود تا با ایجاد بار مثبت در محیط اسیدی به جذب مواد رنگزای آنیونی کمک کند [۳۳]. در شکل ۴ تاثیر آماده‌سازی الیاف پنبه به کمک این پروتئین بر جذب ماده رنگزای استخراج‌شده از برگ *Xylocarpus granatum* مشاهده می‌شود.

[1] C.I. Natural Red 25
[2] bovine serum albumin
[3] β-lactoglobulin, α-lactalbumin and bovine serum albumin (BSA) (BSA)



شکل ۳- سازوکار برهمکنش بین الیاف پنبه و پلی اتیلن ایمین و ماده رنگزای لاک [۳۱].



شکل ۴- تاثیر زمان رنگرزی بر جذب ماده رنگزای طبیعی توسط پنبه خام و اصلاح شده با پروتئین حاصل از آب پنیر [۳۳]

همان‌طور که مشخص است کالای اصلاح‌شده با پروتئین مذکور، جذب ماده رنگزا و قدرت‌رنگی بالاتری نسبت به کالای معمولی نشان داده است. در این تحقیق بهترین نتیجه رنگرزی در اسیدی‌بودن معادل ۵ حاصل شده است [۳۳].

در تحقیقات دیگری از کیتوسان که یک ترکیب پلی ساکارید آمین‌دار است برای بهبود جذب ماده رنگزای طبیعی بر روی الیاف پنبه استفاد شده است. اتصال کیتوسان به سلولز، باعث می‌شود مکان‌های جدید جذب مولکول‌های ماده رنگزا (گروه‌های آمین و متیلول) به لیف پنبه اضافه شود و از این طریق امکان جذب بیشتر ملکول‌های ماده رنگزا فراهم گردد. به عنوان مثال پارچه پنبه‌ای که به روش آغشته‌کردن-خشک‌کردن بوسیله محلول آبی کیتوسان با غلظت حداکثر ۱٪ آماده‌سازی شده، در رنگرزی با ماده رنگزای استخراج شده از میوه منگوستین[1]، جذب ماده رنگزا بیشتر همراه با ثبات‌های نوری و شستشویی بالاتر در مقایسه با پارچه اصلاح‌نشده به دست آمده است. با این‌حال استفاده از دندانه‌های فلزی برروی کالای اصلاح شده باعث بهبود بیشتر عمق رنگی و درجات ثباتی شده است [۳۴]. استفاده از کیتوسان به عنوان جایگزینی طبیعی برای دندانه‌ها، بر روی کالای پنبه‌ای سبب بهبود رنگپذیری آن توسط ماده رنگزای استخراج شده از چای سبز نیز شده است. عصاره چای سبز حاوی کاتچین‌ها و فلاونول‌ها است که اتصال کیتوسان به پنبه، از طریق ایجاد جاذبه یونی باعث افزایش جذب این مواد رنگزا به الیاف می‌شود. با افزایش غلظت کیتوسان، بدلیل تاثیر آن بر افزایش میزان جذب ماده رنگزا، قدرت رنگی و میزان جذب پرتو فرابنفش کالای رنگرزی شده

[1] Mangosteen

افزایش نشان داده است [۳۵]. همچنین پارچه پنبه‌ای اصلاح‌شده با کیتوسان، در رنگرزی با عصاره پوست پیاز، قدرت‌رنگی و درجات ثباتی بالاتری را در مقایسه با کالای اصلاح‌نشده حاصل کرده است [۳۶]. مشابه این نتیجه در هنگام استفاده از عصاره پوست منگوستین نیز مشاهده شده است [۳۷]. در تحقیق دیگری، اتصال کیتوسان به نخ‌پنبه‌ای به کمک روش آغشته‌کردن- خشک‌کردن- پخت باعث افزایش جذب ماده رنگزای طبیعی لاک به الیاف پنبه (در مقدار اسیدی بهینه معادل ۴) شده است. استفاده از نمک کلرید سدیم نیز باعث بهبود جذب ماده رنگزا شده است [۳۸]. استفاده از مقدار ۰/۰۵ درصد از کیتوسان در حمام آغشته‌سازی به همراه ماده رنگزای گیاهی استخراج شده از Acacia nilotica و A. catechu در رنگرزی به روش آغشته‌کردن–پخت، سبب بهبود قدرت رنگی کالای پنبه‌ای شده است. این فرآیند در صورت استفاده از دندانه سولفات آهن به روش آغشته‌کردن–خشک‌کردن بعد از پخت اولیه ماده رنگزا و کیتوسان، تاثیر بهتری نیز نشان داده است [۳۹].

۲-۵- استفاده از آنزیم

آنزیم‌ها در سال‌های اخیر استفاده وسیعی در صنعت نساجی پیدا کرده اند. به عنوان مثال آنزیم آمیلاز در آهارگیری، سلولاز در تکمیل کالای جین و پروتئاز در تکمیل کالای ابریشمی، پشمی و چرمی کاربرد پیدا کرده‌اند. آنزیم‌ها در شرایط ملایم به کار می‌روند و تاثیر آنها محدود به سطح الیاف می‌شود و از لحاظ زیست‌محیطی نیز مورد تایید هستند.

استفاده از آنزیم آلفا-آمیلاز[1] و سلولاز[2] بر روی الیاف پنبه قبل از رنگرزی در تحقیق دیگری تاثیر اصلاح الیاف پنبه به کمک آنزیم بر روی رنگرزی آن توسط مواد رنگزای زرد استخراج شده از زعفران[3] و زردچوبه[4] بررسی شده است. ماده رنگی شناسایی شده در زعفران و زردچوبه به ترتیب کروسین (زرد طبیعی ۶[5]) و کورکومین (زرد طبیعی ۳[6]) نام دارند. از دو آنزیم آلفا-آمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز[7] برای اصلاح سطح الیاف پنبه استفاده شده است. عملیات آماده‌سازی با هر دو آنزیم مذکور باعث بهبود جذب هر دو ماده رنگزای کروسین و کورکومین شده است. استفاده از آلفا-آمیلاز در مورد ماده رنگزای کورکومین نتایج بهتری نسبت به کروسین داده است و در مجموع تاثیر آماده‌سازی با آلفا آمیلاز بر روی جذب این دو ماده رنگزا بیشتر از آمیلوگلوکوزیداز بوده است. در این تحقیق نیز ثبات شستشویی و نوری بدون تغییر باقی مانده اند [۴۰].

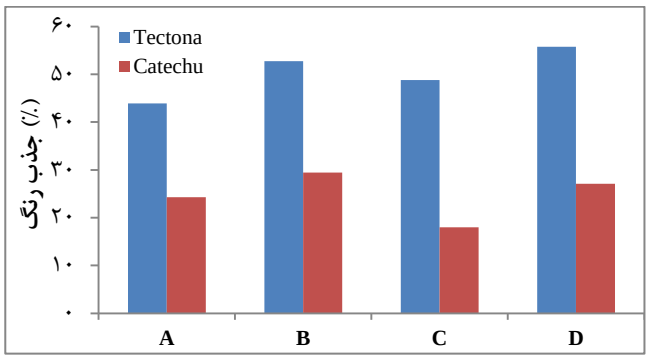
با کلروفیل[8] (سبز طبیعی ۵[9]) و کارمین[10] (قرمز طبیعی ۴[11]) باعث بهبود جذب این مواد رنگزا به میزان ۳۰ الی ۵۰ درصد شده است ولی ثبات نوری و شستشویی نمونه‌های رنگرزی شده نسبت به نمونه اصلاح‌نشده با آنزیم تغییر محسوسی نداشته است [۴].

در تحقیق دیگری، از آنزیم‌های دیاستراز، لیپاز و پروتئاز به همراه آمیلاز به طور همزمان با تانن و سه نوع ماده رنگزای طبیعی (پوست انار، گل ریواس و آرجون) بر روی پارچه پنبه‌ای استفاده شده است. در این تحقیق تاثیر استفاده همزمان از آنزیم و تانن برروی بهبود جذب ماده رنگزا و خواص ثباتی کالای رنگرزی شده به اثبات رسیده است [۴۱].

آنزیم‌هایی که در بالا ذکر شد به‌صورت عملیات آماده‌سازی بر روی پارچه پنبه‌ای قبل از رنگرزی آن به وسیله دو ماده رنگزای طبیعی Acacia catechu و Tectona grandis نیز به کار برده شدند و بهترین آنزیم برای هر یک از مواد رنگزا شناسایی شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، برای ماده رنگزای Acacia catechu بهترین نتیجه هنگام استفاده از آنزیم پروتئاز به همراه آمیلاز و برای ماده رنگزای Tectona grandis بهترین نتیجه با استفاده از آنزیم دیاستراز حاصل شده است. در این بررسی نیز علاوه بر بهبود قدرت‌رنگی، خواص ثباتی کالای رنگرزی شده نیز بهبود یافته است. استفاده از امواج فراصوت نیز حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد رمق‌کشی این مواد رنگزا را در مقایسه با رنگرزی به روش متداول افزایش داده است [۴۲].

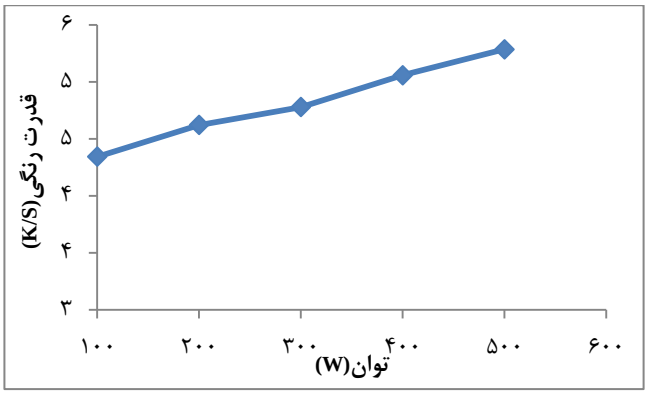
۲-۶- استفاده از امواج فراصوت

استفاده از امواج فراصوت میتواند هم بر میزان استخراج مواد رنگزای طبیعی از بافت گیاهی و هم بر جذب آنها توسط الیاف مختلف تاثیر مثبت بگذارد [۴۳]. شکل ۶ تاثیر توان امواج فراصوت بکاررفته در رنگرزی پنبه کاتیونی شده با ماده رنگزای لاک، بر روی قدرت رنگی را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار مشخص است، با افزایش توان امواج، قدرت رنگی کالای رنگرزی شده نیز افزایش یافته است. تاثیر مثبت امواج فراصوت بیشتر به شکستن تجمعات ملکول‌های ماده رنگزا در اثر برخورد امواج، خارج کردن حباب‌های ریز هوا از داخل الیاف و در نتیجه افزایش تماس ماده رنگزا با لیف و همچنین گرمایش موضعی الیاف و تسهیل نفوذ ماده رنگزا به داخل آن مربوط می‌شود. استفاده از امواج فراصوت در حدود ۶۶ درصد باعث افزایش برداشت ماده رنگزا توسط الیاف در مقایسه با روش معمول رنگرزی شده است.



شکل ۵- تاثیر آنزیم‌های مختلف بر رنگرزی پنبه با Tectona و Catechu (بدون آنزیم :A، پروتئاز و آمیلاز :B، لیپاز :C، دیاستراز : D) [۴۲].

[1] α-amylase
[2] Cellulase
[3] Crocus sativus L.
[4] Curcuma
[5] Crocin, C.I. Natural Yellow 6
[6] Curcumin, C.I. Natural Yellow 3
[7] Amyloglycosidase
[8] Chlorophyll
[9] C.I. Natural Green 5
[10] Carmine, Cochineal
[11] C.I. Natural Red 4



شکل ۶- تاثیر توان امواج فراصوت بر قدرت رنگی پنبه کاتیونی و رنگرزی شده با ماده رنگزای لاک [۴۴].

این روش علاوه بر صرفه‌جویی در زمان و انرژی، می‌تواند امکان استفاده دوباره از حمام رنگرزی را نیز میسر کند [۴۴]. مشابه این نتیجه در رنگرزی الیاف پنبه به وسیله زعفران نیز مشاهده شده است [۸].

تاثیر امواج فراصوت در رنگرزی پنبه با ماده رنگزای طبیعی حاصل از گیاه Eclipta نیز بررسی شده و نشان داده شده است که روش استفاده از امواج فراصوت باعث افزایش بازده رنگرزی به میزان ۹٪-۷٪ نسبت به روش معمول شده است [۴۵]. این افزایش برای رنگرزی پنبه با گیاه Mahonia naupalensis در حضور دندانه آلوم و امواج فراصوت به میزان ۱۸٪ گزارش شده است [۴۶].

استفاده از امواج فراصوت با توان ۳۰۰ وات، در استخراج ماده رنگزای قرمزدانه از بدن حشره ماده، باعث بهبود بازده استخراج حتی در دمای پایین‌تر و زمان کمتر نسبت به روش معمول (جوشاندن) شده است. کالای پنبه کاتیونی‌شده و رنگرزی شده با کمک امواج فراصوت نیز قدرت رنگری بالاتری در مقایسه با کالای رنگرزی شده با روش معمول داشته است [۴۷، ۴۸].

در تحقیق دیگری ابتدا پارچه پنبه‌ای بصورت خیس به‌مدت ۱۵ دقیقه تحت گاز ازن قرار گرفته و سپس به مدت ۵ دقیقه در حمام آب تحت امواج فراصوت تحت شستشو قرار گرفته است.

گاز ازن خاصیت اکسیدکنندگی دارد و می‌تواند گروه‌های عاملی اکسیژن دار بر روی کالا ایجاد کند. چهار مرتبه تکرار این فرآیند سبب بهبود نسبی جذب مواد رنگزای طبیعی پوست انار، پوست گردو و برگ درخت پرتغال و ریشه هواچوبه به الیاف پنبه شده است (بدون نیاز به دندانه) [۴۹]. استفاده از امواج فراصوت در حمام آماده‌سازی آنزیمی کالای پنبه‌ای برای رنگرزی با هر یک از چهار ماده رنگزای بالا نیز باعث بهبود آب‌دوستی، جذب ماده رنگزا واستحکام کالای رنگرزی شده گردیده است [۵۰].

۲-۷- استفاده از پرتو فرابنفش

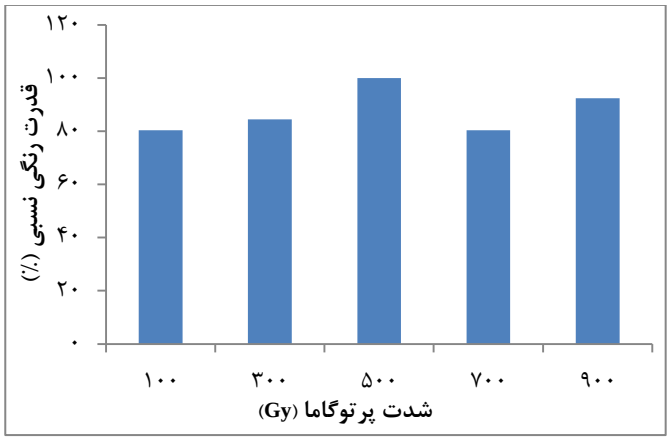
پرتو فرابنفش بخشی از طیف الکترومغناطیس با طول موج بین ۴۰۰-۱۰ nm را شامل می‌شوند. قرار دادن الیاف در معرض این امواج می‌تواند تغییرات فیزیکی و شیمیایی را بر روی آن ایجاد کند که منجر به بهبود جذب آب و رنگ‌پذیری الیاف شود. در یکی از تحقیقاتی که در زمینه استفاده از پرتو فرابنفش در رنگرزی پنبه با مواد رنگزای طبیعی انجام شده، پارچه پنبه‌ای، پودر ماده رنگزا (برگ حنا) و محلول رنگزا، هر کدام تحت تابش (۲۴۵ nm، ۱۸۰ W، به مدت یک ساعت) قرار گرفته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که پارچه پنبه‌ای که تحت تابش پرتو فرابنفش قرار گرفته است، عمق رنگی بیشتری در مقایسه با پارچه‌ای که تحت تابش قرار نگرفته حاصل کرده و ثبات رنگی بالاتری نیز نشان داده است. استفاده از پرتو فرابنفش برروی پودر و محلول ماده رنگزا نیز باعث افزایش ثبات رنگی شده است [۵۱]. مشابه این نتایج در مورد کاربرد پودر زردچوبه و برگ اقاقیا برروی پارچه پنبه‌ای نیز گزارش شده است [۵۲-۵۴].

۲-۸- استفاده از پرتو گاما

گاما پرتویی الکترومغناطیسی با بسامد بالا و در نتیجه انرژی بالاست. پرتو گاما به هنگام فروپاشی هسته عناصر رادیواکتیو به وجود می‌آید. پرتو هنگام عبور از مواد با اتم‌های آن برخود می‌کند و گاه بر اثر این برخوردها ممکن است الکترون‌ها از اتم‌های این مواد جدا شوند و یون تولید کنند. پرتو گاما می‌تواند در برخورد با الیاف پنبه باعث تغییرات فیزیکی و شیمیایی شده و نهایتا بر خواص جذب ماده رنگزا آن تاثیر بگذارد.

در تحقیقی که بر روی رنگرزی پنبه با برگ اکالیپتوس شده، پارچه پنبه‌ای و پودر برگ‌ها تحت تابش گاما (Co-60 با شدت[1]های ۹۰۰ Gy-۱۰۰) قرار گرفته اند. در هر دو مورد، استفاده از تابش گاما باعث افزایش قدرت‌رنگی و ثبات نوری و شستشویی کالای رنگرزی‌شده نهایی‌شده است. شکل ۷ تاثیر شدت پرتو بکار رفته بر قدرت‌رنگی نسبی کالای رنگرزی شده را نشان می‌دهد [۵۵]. استفاده از پرتو گاما (Cs-137) با شدت ۸ kGy بر روی الیاف پنبه توانسته باعث بهبود میزان جذب ماده رنگزا و درجات ثباتی در رنگرزی با ماده رنگزای طبیعی حنا شود [۵۶].

در مورد استفاده از پوسته درخت Cassia fistula ، گیاه برگ خونی[2]، پوست پیاز، برگ اقاقیا و Alternanthera bettzickiana به عنوان ماده رنگزا، بهترین تاثیر تابش گاما به ترتیب در شدت ۶ kGy، ۱۰ kGy ، ۴ kGy، ۲۰ kGy و ۱۵ kGy مشاهده شده است [۵۷-۶۱].



شکل ۷- تاثیر شدت پرتو گاما (Co-60) بکار رفته بر روی الیاف پنبه در رنگرزی با پودر اکالیپتوس [۵۵].

[1] Dosage
[2] Chicken gizzard

۲-۸- استفاده از ریزموج[1]

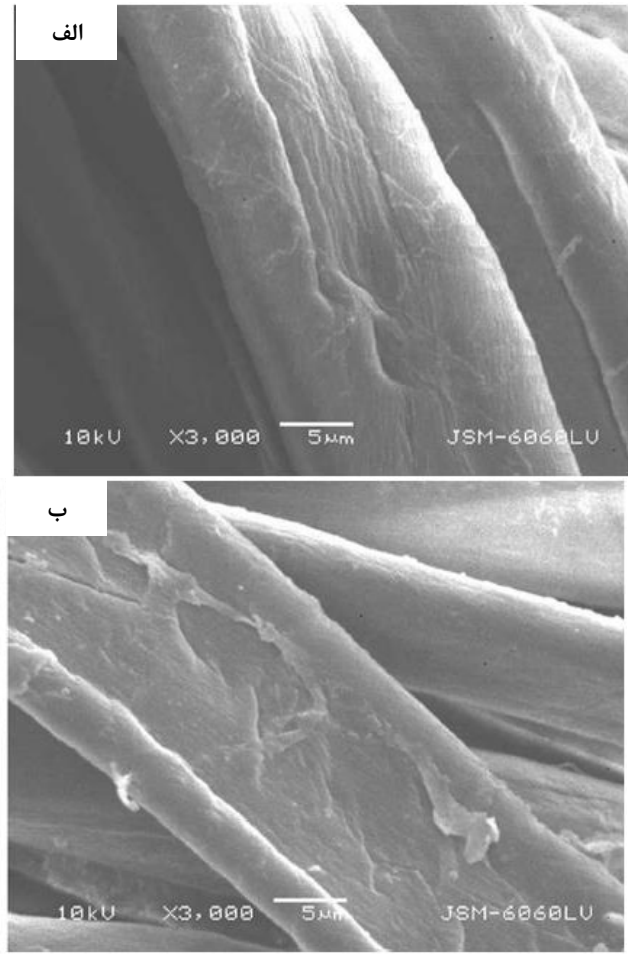
ماکرویو یا ریزموج شامل محدوده‌ای از امواج الکترومغناطیس با بسامد بین ۳۰۰ MHz تا ۳۰۰ GHz است. از ریزموج میتوان برای بهبود فرآیند رنگرزی طبیعی هم در مرحله استخراج ماده رنگزا و هم در مرحله رمق‌کشی برروی کالای نساجی استفاده نمود. انرژی ریزموج می‌تواند فرآیند انتقال ملکول‌های ماده رنگزا از داخل بافت گیاهی به فاز محلول را تسریع کند. در یکی از تحقیقات انجام شده در این زمینه تاثیر استفاده از ریزموج (بسامد ۲۴۵۰ MHz) در استخراج ماده رنگزا از دانه‌های آناتو[2] بررسی شده و متغیرهای فرآیند استخراج به کمک طراحی آزمایشات به روش رویه پاسخ و شبکه عصبی، بهینه‌سازی شده‌اند [۶۲]. نتایج این تحقیق نشان داد که بازده استخراج ماده رنگزا با افزایش اسیدی‌شدن حمام استخراج و زمان عملیات، افزایش می‌یابد.

۲-۹- استفاده از فناوری پلاسما

فناوری پلاسما به عنوان یک فناوری دوست‌دار محیط‌زیست برای اصلاح بسیاری از خواص منسوجات با حداقل مصرف مواد شیمیایی و کمترین صدمه به خواص مطلوب الیاف مطرح شده است. بسته به نوع گاز مصرفی در فرآیند پلاسما و سایر عوامل فرآیند مانند بسامد، توان، زمان، نرخ گاز و غیره می‌توان تغییرات متنوعی شامل کنده‌کاری سطح، پلیمریزاسیون، فعال‌سازی، گروه‌های شیمیایی جدید و غیره را روی الیاف نساجی ایجاد نمود [۶۳]. در یکی از تحقیقات انجام شده، پارچه پنبه‌ای بوسیله پلاسمای هوا آماده‌سازی شده و توسط یک ماده رنگزای طبیعی با نام آمازون با ساختار کاروتنوئیدی رنگرزی شده است. قدرت نمونه اصلاح‌شده بوسیله پلاسما به مقدار اندکی (۳/۵٪) نسبت به نمونه معمولی افزایش نشان داده است [۶۴].

در تحقیق دیگری ۱۷ ماده رنگزای گیاهی سنتی تایوان بر روی کالای پنبه‌ای آماده‌سازی شده با پلاسمای اکسیژن بکار برده شده و خاصیت ضدباکتری کالای نهایی به عنوان معیاری برای ارزیابی تاثیر عملیات پلاسما بر میزان جذب هر یک از مواد رنگزای مورد استفاده از طریق اندازه‌گیری قطر هاله عدم رشد باکتری ارزیابی شده است. چهارده مورد از هفده مورد ماده رنگزای مورد مطالعه بر روی کالای آماده‌سازی شده با پلاسما خاصیت ضدباکتری بهتری نشان داده اند [۶۵].

استفاده از پلاسمای بخار آب بر روی الیاف پنبه و بامبو و تاثیر آن بر جذب ماده رنگزای طبیعی استخراج شده از ریشه گیاه هفت بند ژاپنی[3] مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۸ نشان می‌دهد که عملیات پلاسما باعث کنده‌کاری جزئی سطح الیاف پنبه شده است. این تغییرات فیزیکی در کنار تغییرات شیمیایی (ایجاد گروه‌های هیدروکسیل) سبب بهبود اندکی در جذب ماده رنگزای مذکور به الیاف پنبه شده است. این تاثیر درمورد الیاف بامبو بیشتر بوده است [۶۶].



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (الف) الیاف پنبه خام و (ب) عمل شده با پلاسمای بخار آب [۶۶]

استفاده از پلاسمای اکسیژن و هوا، قابلیت چاپ ماده رنگزای قرمزدانه برروی کالای پنبه‌ای را بهبود بخشیده است. دلیل این امر کنده‌کاری سطح، ایجاد گروه‌های فعال شیمیایی و در نتیجه بهبود قابلیت جذب آب و ماده رنگزای توسط کالای پنبه‌ای است [۶۷].

۳-نتیجه گیری

در این تحقیق روش‌های مختلف برای بهبود جذب و ثبات مواد رنگزای طبیعی بر روی الیاف پنبه مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های شیمیایی مانند استفاده از دندانه‌های فلزی و زیستی و ترکیبات آمینی، استفاده از آنزیم به عنوان یک روش دوست‌دار محیط‌زیست، استفاده از انواع امواج الکترومغناطیس شامل فراصوت، فرابنفش، گاما و ریزموج در کنار روش پلاسما به عنوان یک روش فیزیکی- شیمیایی سریع و دوست‌دار محیط‌زیست، هر یک به نحوی باعث بهبود رمق‌کشی و ثبات مواد رنگزای طبیعی مختلف بر روی الیاف پنبه می‌شوند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کالای سلولزی به کمک روش‌های مذکور و یا ترکیبی از آنها قابلیت رنگرزی رضایت بخش با مواد رنگزای طبیعی را پیدا می‌کند. انتخاب نوع روش بستگی به نوع ماده رنگزای بکاررفته دارد. استفاده از دندانه زیستی مانند گیاهان تانن دار و به دنبال آن به کار بردن دندانه‌های فلزی

[1] Microwave
[2] Annatto
[3] Fallopia japonica

می‌توانند منجر به حصول عمق رنگی بالاتری در رنگرزی بعد از آن شود. همچنین استفاده از امواج فراصوت یا ریزموج به دلیل کاهش زمان رنگرزی و دندانه دادن و در نتیجه آن کاهش مصرف انرژی توصیه می‌شود. به کمک این روش‌ها می‌توان کالای پنبه‌ای را به خوبی با مواد رنگزای طبیعی رنگرزی نمود و محصولی دوست‌دار محیط‌زیست همراه با خواص ثباتی قابل قبول و در برخی موارد، بسته به نوع ماده رنگزای مصرفی، با خواص جانبی مانند ویژگی ضدباکتری، عرضه نمود.

۴-مراجع

1. M. Bagherzadeh Kasiri and S. Safapour, "Exploring and exploiting plants extracts as the natural dyes/antimicrobials in textiles processing", Prog. Color Colorants Coat, 8, 87-114, **2015**.
2. S. Mortazavi, M. Kamali Moghaddam, S. Safi and R. Salehi, "Saffron petals, a by-product for dyeing of wool fibers", Prog. Color Colorants Coat, 5, 75-84, **2012**.

۳. م. حسین نژاد و ک. قرنجیگ، "مروری بر آخرین تحقیقات درباره کاربردهای مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی، مواد خوراکی و سلولهای خورشیدی"، مطالعات در دنیای رنگ، ۷، ۱۷-۲۷، **۱۳۹۶**.

4. E. Tsatsaroni and M. Liakopoulou-Kyriakides, "Effect of enzymatic treatment on the dyeing of cotton and wool fibres with natural dyes", Dyes Pigm., 29, 203-209, **1995**.
5. H. T. Deo and B. K. Desai, "Dyeing of cotton and jute with tea as a natural dye", Color. Technol., 115, 224-227, **1999**.
6. 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**.
7. M. Chairat, J. B. Bremner and K. Chantrapromma, "Dyeing of cotton and silk yarn with the extracted dye from the fruit hulls of mangosteen,garcinia mangostana linn", Fibers Polym., 8, 613-619, **2007**.
8. M. M. Kamel, H. M. Helmy and N. S. E. Hawary, "Some studies on dyeing properties of cotton fabrics with crocus sativus (saffron) (flowers) using an ultrasonic method", Autex Res. J., 9, 29-35, **2009**.
9. Y.-H. Lee and H.-D. Kim, "Dyeing properties and colour fastness of cotton and silk fabrics dyed withcassia tora l. Extract", Fibers Polym., 5, 303-308, **2004**.
10. A. K. Samanta and P. Agarwal, "Dyeing of jute and cotton fabrics using jackfruit wood extract: Part i—effects of mordanting and dyeing process variables on colour yield and colour fastness properties", Indian J. Fibre Text. Res., 32, 466-476, **2007**.
11. A. Sharma and E. Grover, "Colour fastness of walnut dye on cotton", Indian J. Nat. Prod. Resour., 2, 164-169, **2011**.
12. M. Kumaresan, P. Palanisamy and P. Kumar, "Application of eco-friendly natural dye on cotton using combination of mordants", Indian J. Fibre Text. Res., 37, 194-198, **2012**.
13. A. Davulcu, H. Benli, Y. Şen and M. İ. Bahtiyari, "Dyeing of cotton with thyme and pomegranate peel", Cellulose, 21, 4671-4680, **2014**.
14. P. B. Tayade and R. V. Adivarekar, "Dyeing of cotton fabric with cuminum cyminum l. As a natural dye and its comparison with synthetic dye", J. Text. Inst., 104, 1080-1088, **2013**.
15. P. S. Vankar, R. Shanker, D. Mahanta and S. C. Tiwari, "Ecofriendly sonicator dyeing of cotton with rubia cordifolia linn. Using biomordant", Dyes Pigm., 76, 207-212, **2008**.
16. R. Mahangade, P. Varadarajan, J. Verma and H. Bosco, "New dyeing technique for enhancing colour strength and fastness properties of cotton fabric dyed with natural dyes", Indian J. Fibre Text. Res., 34, 279-282, **2009**.
17. A. Ali, S. Ali, H. Saleem and T. Hussain, "Effect of tannic acid and metallic mordants on the dyeing properties of natural dye extracted from acacia nilotica bark", Asian J. Chem., 22, 7065-7069.2010 ,
18. Y. Togo and M. Komaki, "Effective lac dyeing of cotton fabric by pretreating with tannic acid and aluminum acetate", Sen'i Gakkaishi, 66, 99-103, **2010**.
19. K. H. Prabhu, M. D. Teli and N. Waghmare, "Eco-friendly dyeing using natural mordant extracted from emblica officinalis g. Fruit on cotton and silk fabrics with antibacterial activity", Fibers Polym., 12, 753-759, **2011**.
20. K. Hong, J. Bae, S. Jin and J. Yang, "Preparation and properties of multi-functionalized cotton fabrics treated by extracts of gromwell and gallnut", Cellulose, 19, 507-515, **2012**.
21. K. H. Prabhu and M. D. Teli, "Eco-dyeing using tamarindus indica l. Seed coat tannin as a natural mordant for textiles with antibacterial activity", J. Saudi Chem. Soc., 18, 864-872, **20**.14
22. S.-i. Eom, D.-y. Shin and K.-j. Yoon, "Improving the dyeability of natural colorants on cotton by cationization", Indian J. Fibre Text. Res., 26, 425-431, **2001**.
23. M. Oktav Bulut and E. Akar, "Ecological dyeing with some plant pulps on woolen yarn and cationized cotton fabric", J. Cleaner Prod., 32, 1-9, **2012**.
24. W. Haddar, M. Ben Ticha, A. Guesmi, F. Khoffi and B. Durand, "A novel approach for a natural dyeing process of cotton fabric with hibiscus mutabilis (gulzuba): Process development and optimization using statistical analysis", J. Cleaner Prod., 68, 114-120, **2014**.
25. M. Ben Ticha, W. Haddar, N. Meksi, A. Guesmi and M. F. Mhenni, "Improving dyeability of modified cotton fabrics by the natural aqueous extract from red cabbage using ultrasonic energy", Carbohydr. Polym., 154, 287-295, **2016**.
26. W. Haddar, I. Elksibi, N. Meksi and M. F. Mhenni, "Valorization of the leaves of fennel (foeniculum vulgare) as natural dyes fixed on modified cotton: A dyeing process optimization based on a response surface methodology", Ind. Crops Prod., 52, 588-596, **2014**.
27. T.-K. Kim, S.-H. Yoon and Y.-A. Son, "Effect of reactive anionic agent on dyeing of cellulosic fibers with a berberine colorant", Dyes Pigm., 60, 121-127, **2004**.
28. T.-K. Kim and Y.-A .Son, "Effect of reactive anionic agent on dyeing of cellulosic fibers with a berberine colorant—part 2: Anionic agent treatment and antimicrobial activity of a berberine dyeing", Dyes Pigm., 64, 85-89, **2005**.
29. A. Haji, "Eco-friendly dyeing and antibacterial treatment of cotton", Cellul. Chem. Technol., 47, 303-308, **2013**.
30. H. Wang, Z. Tang and W. Zhou, "A method for dyeing cotton fabric with anthocyanin dyes extracted from mulberry (morus rubra) fruits", Color. Technol., 132, 222–231, **2016**.
31. S .Janhom, P. Griffiths, R. Watanesk and S. Watanesk, "Enhancement of lac dye adsorption on cotton fibres by poly(ethyleneimine)", Dyes Pigm., 63, 231-237, **2004**.

32. S. Janhom, R. Watanesk, S. Watanesk, P. Griffiths, O.-A. Arquero and W. Naksata, "Comparative study of lac dye adsorption on cotton fibre surface modified by synthetic and natural polymers", Dyes Pigm., 71, 188-193, **2006**.
33. P. Pisitsak, J. Hutakamol, R. Thongcharoen, P. Phokaew, K. Kanjanawan and N. Saksaeng, "Improving the dyeability of cotton with tannin-rich natural dye through pretreatment with whey protein isolate", Ind. Crops Prod., 79, 47-56, **2016**.
34. S. Kittinaovarat, "Using chitosan for improving the dyeability of cotton fabrics with mangosteen rind dye", J. Sci. Res. Chula. Univ., 29, 155-164, **2004**.
35. [35]S.-h. Kim, "Dyeing characteristics and uv protection property of green tea dyed cotton fabrics", Fibers Polym., 7, 255-261, **2006**.
36. M. Verma, S. S. J. Singh, N. M. Rose and R. Singh, "Effect of concentration of chitosan in increasing colour strength of cotton fabric", Indian Journal of Health and Wellbeing, 8, 157-160, **2017**.
37. S. Kittinaovarat, "Using chitosan for improving the dyeability of cotton fabrics with mangosteen rind dye", Journal of Scientific Research Chulalongkorn University, 29, 155-164, **2004**.
38. S. Rattanaphani, M. Chairat, J. B. Bremner and V. Rattanaphani, "An adsorption and thermodynamic study of lac dyeing on cotton pretreated with chitosan", Dyes Pigm., 72, 88-96, **2007**.
39. S. Ratnapandian, S. Islam ,L. Wang, S. M. Fergusson and R. Padhye, "Colouration of cotton by combining natural colourants and bio-polysaccharide", J. Text. Inst., 104, 1269-1276, **2013**.
40. E. Tsatsaroni, M. Liakopoulou-Kyriakides and I. Eleftheriadis, "Comparative study of dyeing properties of two yellow natural pigments—effect of enzymes and proteins", Dyes Pigm., 37, 307-315, **1998**.
41. P. S. Vankar, R. Shanker and A. Verma, "Enzymatic natural dyeing of cotton and silk fabrics without metal mordants", J. Cleaner Prod., 15, 144.2007 ,1450-1
42. P. S. Vankar and R. Shanker, "Ecofriendly ultrasonic natural dyeing of cotton fabric with enzyme pretreatments", Desalination, 230, 62-69, **2008**.
43. M. M. Kamel, R. M. El-Shishtawy, B. M. Yussef and H. Mashaly, "Ultrasonic assisted dyeing: Iii. Dyeing of wool with lac as a natural dye", Dyes Pigm., 65, 103-110, **2005**.
44. M. M. Kamel, R. M. El-Shishtawy, B. M. Youssef and H. Mashaly, "Ultrasonic assisted dyeing. Iv. Dyeing of cationised cotton with lac natural dye", Dyes Pigm., 73, 279.2007 ,284-
45. P. S. Vankar, R. Shanker and J. Srivastava, "Ultrasonic dyeing of cotton fabric with aqueous extract of eclipta alba", Dyes Pigm., 72, 33-37, **2007**.
46. P. S. Vankar, R. Shanker, S. Dixit, D. Mahanta and S. C. Tiwari, "Sonicator dyeing of modified cotton, wool and silk with mahonia napaulensis dc. And identification of the colorant in mahonia", Ind. Crops Prod., 27, 371-379, **2008**.
47. M. M. Kamel, M. M. El Zawahry, N. S. E. Ahmed and F. Abdelghaffar, "Ultrasonic dyeing of cationized cotton fabric with natural dye. Part 1: Cationization of cotton using solfix e", Ultrason. Sonochem., 16, 243-249, **2009**.
48. M. M. Kamel, M. M. El Zawahry, N. S. E. Ahmed and F. Abdelghaffar, "Ultrasonic dyeing of cationized cotton fabric with natural dye. Part 2: Cationization of cotton using quat 188", Ind. Crops Prod., 34, 1410-1417, **2011**.
49. H. Benli and M. İ. Bahtiyari, "Combination of ozone and ultrasound in pretreatment of cotton fabrics prior to natural dyeing", J. Cleaner Prod., 89, 116-124, **2015**.
50. H. Benli and M. İ. Bahtiyari, "Use of ultrasound in biopreparation and natural dyeing of cotton fabric in a single bath", Cellulose, 22, 867-877, **2015**.
51. J. Iqbal, I. A. Bhatti and S. Adeel, "Effect of uv radiation on dyeing of cotton fabric with extracts of henna leaves", Indian Journal of .Fibre & Textile Research, 33, 157-162, **2008**.
52. S. Adeel, I. A. Bhatti, K. EL-Nagar, M. M. Alam and N. Ali, "Dyeing of cotton fabric using uv irradiated turmeric (curcuma longa l.) as natural dye", Res. J .Text. Apparel, 15, 71-76, **2011**.
53. S. Adeel, I. A. Bhatti, A. Kausar and E. Osman, "Influence of uv radiations on the extraction and dyeing of cotton fabric with curcuma longa l", Indian J. Fibre Text. Res., 37, 87-90, **2012**.
54. S. Adeel, R. Hanif, M .Zuber and M. Muneer, "Ecofriendly dyeing of uv-irradiated cotton using extracts of acacia nilotica bark (kikar) as source of quercetin", Asian J. Chem., 26, 830, **2014**.
55. S. Naz, I. A. Bhatti and S. Adeel, "Dyeing properties of cotton fabric using un-irradiated and gamma irradiated extracts of eucalyptus camaldulensis bark powder", Indian J. Fibre Text. Res., 36, 132-136, **2011**.
56. F.-u. Rehman, S. Adeel, S. Qaiser, I. Ahmad Bhatti, M. Shahid and M. Zuber, "Dyeing behaviour of gamma irradiated cotton fabric using lawson dye extracted from henna leaves (lawsonia inermis)", Radiat. Phys. Chem., 81, 1752-1756, **2012**.
57. S. Adeel, T. Gulzar, I. A. Bhatti, S. Qaiser and A. Abid, "Dyeing behaviour of g-irradiated cotton using amaltas (cassia fistula) bark extracts", Asian J. Chem., 25, 2739, **2013**.
58. F. Batool, S. Adeel, M. Azeem, A. Ahmad Khan, I. Ahmad Bhatti, A. Ghaffar and N. Iqbal, "Gamma radiations induced improvement in dyeing properties and colorfastness of cotton fabrics dyed with chicken gizzard leaves extracts", Radiat. Phys. Chem., 89, 33-37, **2013**.
59. F.-u. Rehman, S. Adeel, M. Shahid, I. A. Bhatti, F. Nasir, N. Akhtar and Z. Ahmad, "Dyeing of γ-irradiated cotton with natural flavonoid dye extracted from irradiated onion shells (allium cepa (powder", Radiat. Phys. Chem., 92, 71-75, **2013**.
60. A. A. Khan, N. Iqbal, S. Adeel, M. Azeem, F. Batool and I. A. Bhatti, "Extraction of natural dye from red calico leaves: Gamma ray assisted improvements in colour strength and fastness properties", Dyes Pigm., 103, 50-54, **2014**.
61. T. Gulzar, S. Adeel, I. Hanif, F. Rehman, R. Hanif, M. Zuber and N. Akhtar, "Eco-friendly dyeing of gamma ray induced cotton using natural quercetin extracted from acacia bark (a. Nilotica)", J. Nat. Fibers, 12, 494-504, **201**.5
62. K. Sinha, S. Chowdhury, P. D. Saha and S. Datta, "Modeling of microwave-assisted extraction of natural dye from seeds of bixa orellana (annatto) using response surface methodology (rsm) and artificial neural network (ann)", Ind. Crops Prod., 41, 1.2013 ,171-65
۶۳. ب. انصاری، م. خواجه مهریزی و ا. حاجی، "رنگرزی کالای پشمی‌آماده سازی شده به کمک پلاسمای اکسیژن با رنگزای طبیعی گل ریواس"، علوم و فناوری رنگ، ۹، ۱۳۵-۱۴۳، **۱۳۹۴**.
64. N. V. Bhat, A. N. Netravali, A. V. Gore, M. P. Sathianarayanan, G. A. Arolkar and R. R. Deshmukh, "Surface modification of cotton fabrics using plasma technology", Text Res J, 81, 1014-1026, **2011**.
65. C. Chen, L. Fan and H. Wang, "Antibacterial evaluation of cotton fabric pretreated by microwave plasma and dyed with taiwan folkloric medicinal plants", Sen'i Gakkaishi, 63, 252-255, **2007**.
66. M. Gorjanc, A. Savić, L. Topalić-Trivunović, M. Mozetič, R. Zaplotnik, A. Vesel and D. Grujić, "Dyeing of plasma treated cotton and bamboo rayon with fallopia japonica extract", Cellulose, , 2.۲۰۱۶ ,۲۲۲۸-۲۲۲۱ ,۳.
67. H. Ahmed, K. Ahmed, H. Mashaly and A. El-Halwagy, "Treatment of cotton fabric with dielectric barrier discharge (dbd) plasma and printing with cochineal natural dye", Indian J. Sci. Technol., 10, 1-10, **2017**.