

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۳/۵

تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۱/۲۰

عصاره‌گیری و رنگریزی الیاف پشم با رنگزای پوست گردو به کمک امواج فراصوت

ربابه تقی‌زاده بروجنی (نویسنده مسئول)

کارشناس ارشد مواد اولیه و رنگریزی، دانشگاه کاشان

E-mail: r.t.b.1363@gmail.com

احمد اکبری

دانشیار گروه فرش، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

عبدالسلیم قره‌بائی

کارشناس ارشد مواد اولیه و رنگریزی، دانشگاه کاشان

چکیده

امروزه تحقیقات زیادی بر روی استفاده از روش‌های جدید در رنگریزی منسوجات انجام شده که در همه آن‌ها تلاش می‌شود با انتخاب یک روش مناسب برای کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی مصرفی، محصولی مقرون‌به‌صرفه با یکنواختی قابل قبول تولید گردد. یکی از این روش‌ها، استفاده از امواج فراصوت است. از آنجاکه ماده رنگزا شدیداً با غشای سلولی گیاه محدود شده است، استخراج با روش‌های بهتری همچون فراصوت می‌تواند به بهبود مکانیسم استخراج رنگزاهای طبیعی و خروج رنگزا از جداره‌های غشای سلولی و همچنین بهبود انتقال رنگزا بر روی الیاف در فرایند رنگریزی در جهت حفظ منابع طبیعی کمک کند. هدف از این پژوهش استفاده از امواج فراصوت در استخراج رنگزای پوست گردو و رنگریزی الیاف پشم با عصاره مطلوب حاصله است که نتایج آن با روش معمول مقایسه می‌شود. با محاسبه راندمان جذب در روش فراصوت نسبت به معمول، مشخص شد که استفاده از امواج فراصوت باعث افزایش

میزان غلظت رنگزا در محلول نسبت به روش معمول بوده است. به منظور بررسی تأثیر امواج فراصوت در فرایند رنگریزی، میزان بهره‌وری روش فراصوت در رنگریزی نسبت به روش معمول در دو حالت UU و UC محاسبه شده است. میزان بهره‌وری UU نسبت به UC برابر با ۱۳/۷۷٪ بوده است. نتایج اندازه‌گیری ثبات نمونه‌ها نشان می‌دهد که ثبات نمونه‌ها در هر دو روش فراصوت و معمول، متوسط تا خوب بوده است. نتایج حاصل از آنالیز SEM نیز این موضوع را به وضوح ارائه می‌دهند. ایجاد نوعی فرسایش سطحی و تخریب فلس‌ها در سطح لیف که سبب نفوذ بیشتر رنگزا به داخل لیف شده و قدرت رنگی را افزایش می‌دهد، از اثرات پدیده کاویتاسیون شمرده می‌شود که در تصاویر SEM دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عصاره‌گیری، رنگریزی، الیاف پشم، پوست گردو، امواج فراصوت.



دوفصلنامه
علمی - پژوهشی
انجمن علمی
فرش ایران
شماره ۲۸
پاییز و زمستان ۱۳۹۴

۹۳

■ مقدمه

در راستای بهبود کیفیت و بازدهی مواد رنگزای طبیعی، امروزه مواردی همچون افزایش راندمان استخراج رنگ از گیاه، مدنظر بسیاری از گروه‌های تحقیقاتی قرار گرفته است. امروزه که رنگرزا علاقه‌مند هستند تا از مواد رنگزای طبیعی به‌طور مشابه رنگزاهای مصنوعی استفاده نمایند، استخراج رنگزاهای طبیعی می‌تواند از جنبه‌های مختلفی مثل انبارداری، حمل و نقل، استانداردسازی رنگرها و حتی قدرت رنگی و جنبه‌های اقتصادی نیز مدنظر قرار گیرد.

انتخاب روش مناسب برای استخراج ترکیبات فعال با حداکثر محصول و بالاترین درجه خلوص، به‌طور عمده به ماهیت ترکیبات و پایداری حرارتی و ماهیت مواد خام بستگی دارد. روش‌های استخراج معمول، اغلب به‌علت دخالت بیش از یک فاز در سیستم، به مقاومت انتقال جرم محدود می‌شوند (Jadhav, 2009). نیاز به مدت زمان طولانی در انجام استخراج و مصرف بالای انرژی نیز از معایب قابل توجه در فرایندهای استخراج معمول است. (Lianfu, 2008) در مورد استخراج ترکیبات فعال با حساسیت حرارتی که در دماهای بالا انجام می‌شود، ممکن است به کیفیت عصاره آسیب برسد. در موارد خاص، مولکول‌های فعال ممکن است به‌علت استفاده از دما و فشار در شرایط سخت از بین بروند. محدودیت‌های جدی در روش‌های معمول سبب جست‌وجو برای یافتن روش‌های جدید شده که به همان اندازه مناسب و ضمناً به‌لحاظ اقتصادی ماندگار باشند (da Por-to, 2009; Khan, 2010; Kimbaris, 2006; Adje, 2010). اخیراً استفاده از تکنیک فراصوت^۱ در استخراج و رنگرزی توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. به‌نظر می‌رسد که استفاده از فراصوت اجازه می‌دهد تا ترکیبات هدف به‌دلیل خرابی در دیواره

سلولی، با بازدهی بالاتر و در زمان کوتاه‌تری در حلال حل بشوند. تشکیل پدیده کاویتاسیون^۲ در نتیجه تابش امواج فراصوت و ترک در دیواره سلولی باعث بهبود افزایش نفوذپذیری بافت‌های گیاهی و تسهیل در ورود حلال به قسمت داخلی مواد و همچنین خروج عصاره می‌شود. جدای از اثرات فراصوت و ایجاد پدیده کاویتاسیون که سبب اختلال در بافت‌های گیاه و دیواره‌های سلولی و افزایش نفوذپذیری حلال می‌شود، تلاطم و جریان‌های صوتی ایجادشده به‌میزان قابل توجهی ضرایب انتقال جرم جامد-مایع را افزایش می‌دهند. سرعت افزایش انتقال جرم به این معنی است که حلال با سرعت افزایشی به سطح جامد آورده می‌شود و همچنین انتقال ترکیبات محلول به حلال افزایش می‌یابد. اثرات مکانیکی فراصوت همچنین می‌تواند سطح تماس بین فاز جامد و مایع را به‌دلیل کوچک‌شدن اندازه ذرات افزایش دهد (Shirsath, 2012).

کاویتاسیون، در اثر تشکیل، رشد و فروپاشی داخلی حباب‌های گاز کوچک ناشی از فشردگی‌سازی متناوب و امواج فراصوت ایجاد می‌شود. حباب‌های کاویتاسیون نوسان یافته و از داخل منفجر می‌شوند. در نتیجه، سبب افزایش حرکت مولکولی و اثر جنبشی در حمام رنگرزی می‌شوند. وقتی کاویتاسیون در یک سطح جامد-مایع، مثلاً لیف و حمام رنگرزی، رخ می‌دهد، با ایجاد یک انفجار نامتقارن سبب وقوع یک جریان کوچک به‌طرف سطح جامد می‌شود که این جریان تا حد زیادی در لایه داخلی انتشار یافته و سبب انتقال جرم در این مسیر می‌شود (Vankar, 2008). کاویتاسیون و پیامدهای فیزیکی حاصل از آن، بدون ایجاد هرگونه آسیب به لیف، سبب افزایش سرعت رنگرزی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش زمان موردنیاز در عملیات رنگرزی می‌شود (Vankar, P.S. and R. Shanker, 2008). در چند سال گذشته تعداد

معینی مطالعات در استفاده از فراصوت در عملیات رنگرزی طبیعی و تکمیل بر روی الیاف طبیعی و مصنوعی در سطح آزمایشگاهی انجام شده است. انرژی فراصوت مسیری آسان‌تر و کارآمدتر برای استخراج رنگزا، عملیات دندان و فرآیندهای رنگرزی در مقایسه با روش‌های سنتی ارائه داده است (Man-sour, H.F. and S. Heffernan, 2011).

پوست سبز گردو یکی از عمده محصولات ضایعاتی از تولید گردوست که امروزه مصارف کمی دارد؛ اما محققان با شناخت این ماده به عنوان منبعی از ترکیبات فنلی با فعالیت‌های ضد رادیکالی و ضد میکروبی، متوجه خواص مفید آن شده و مطالعات زیادی بر روی شناخت خواص پوست سبز گردو انجام شده است (Oliveira, 2008; Carvalho, 2010). در حالی که گونه گردو شامل حدود ۴۰ نوع است، رقم‌هایی که دارای بیشترین اهمیت در تولید و تجارت جهانی است، متعلق به *Juglans Regia* از تیره گردویان است. گردوی ایرانی (*J. Regia*) یک گونه با عمر طولانی است و پیداکردن درختان ۱۰۰ تا ۲۰۰ ساله آن‌ها زیاد مشکل نیست. یکی از این ترکیبات مهم کینونی به نام ژاگلون^۳ (متعلق به خانواده Juglandaceae) در گردو وجود دارد. این ترکیب در اجزای مختلف درخت (مثل ریشه‌ها، برگ‌ها و پوسته درخت) یافت می‌شود (Vardhini, 2014). به طور سنتی، از ژاگلون به عنوان یک رنگزای طبیعی برای رنگرزی منسوجات، به خصوص الیاف پشم، استفاده می‌شود. ژاگلون در حالت محلول یک ترکیب ناپایدار است که تحت واکنش‌های برگشت پذیر اکسایش-کاهش با تشکیل هم‌زمان رادیکال‌های آزاد تغییر می‌کند (Anderson, 2001). بنابراین، انتخاب یک روش استخراج، از جمله حلال، زمان استخراج و دمای مناسب برای استخراج کارآمد مواد از پوست گردو اهمیت بسیاری دارد. محققان در یافته‌های قبلی تأثیر متغیرهای زیادی مانند

روش استخراج، ترکیب حلال، pH، دما، فشار و زمان استخراج در عملکرد مواد فعال زیستی استخراجی از گیاهان مختلف را گزارش کرده‌اند (Popovici, 2012). نقش مثبت یا منفی هریک از این عوامل در انتقال جرم فرایند همیشه روشن نیست. ویژگی‌های شیمیایی حلال و ساختارهای متنوع محصولات طبیعی نشان می‌دهد که هریک از سیستم مواد-حلال دارای رفتارهای مختلفی است که قابل پیش‌بینی نیست (Popovici, 2012).

هدف از این پژوهش استفاده از امواج فراصوت در استخراج رنگزای پوست گردوست که نتایج آن با روش معمول مقایسه می‌شود. برای این منظور، عمل استخراج رنگزای پوست گردو با بررسی تأثیر حضور امواج فراصوت و عوامل مختلف نظیر دما، زمان، مقدار رنگزا، نسبت حجم حمام به وزن کالا و pH در شرایط مختلف انجام شد. در ادامه، الیاف پشم شسته شده به روش معمول با این عصاره‌ها رنگرزی شده‌اند تا با تعیین میزان جذب رنگزا بر روی کالا، عصاره مطلوب مشخص گردد. سپس به سه روش مختلف، الیاف پشم با عصاره مطلوب رنگرزی شده و نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفته است.

بخش تجربی

مواد و وسایل مورد استفاده

در این پروژه از پودر خشک و آسیاب شده پوست گردوی خریداری شده از بازار کاشان، الیاف پشم منطقه سیرجان نمره ۵ متریک دولا، صابون نانیونیک خریداری شده از منطقه اصفهان معروف به مول ۱۰، اسید کلریدریک ۳۷٪ و کربنات سدیم محصول شرکت Merck آلمان استفاده شده است.

دستگاه‌های به کار برده شده همچنین شامل دستگاه فراصوت محصول شرکت BANDELIN مدل SONOREX DIGITEC DT 255/H، دستگاه



اسپکتروفتومتر انعکاسی مدل KONICA MINOLTA CM-3600d، بنماری الکتریکی محصول شرکت ارغوان طب تجهیز، ثابت شست و شویی محصول شرکت JAME & HEAL، ثابت سایشی محصول شرکت JAME & HEAL مدل 255/Crockmaster، ثابت نوری Megasol محصول شرکت JAME & HEAL، اسپکتروفتومتر جذبی محصول استرالیا مدل Cintra-101-GBC و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) محصول چین، مدل EM-3200 و pH متر محصول سوئیس مدل Metrohm 744.

درجه سانتی‌گراد) و همچنین در سه pH ۲، ۵ و ۸ در حضور امواج فراصوت به منظور استخراج ماده رنگزا صورت گرفت. سپس محلول از صافی گذرانده شد و تفاله‌ها از محلول جدا و دور ریخته شدند. در ادامه، به منظور تعیین بهترین شرایط عصاره‌گیری، الیاف پشم شسته شده با این عصاره‌ها به روش معمول در دمای جوش به مدت ۹۰ دقیقه و نسبت حجم حمام به کالای ۱:۴۰ رنگریزی شدند تا از طریق محاسبه میزان K/S الیاف رنگریزی شده، عصاره مطلوب انتخاب شود.

روش کار

شست و شوی کالای پشمی

کالای پشمی به همراه ۲ گرم بر لیتر صابون نان‌آنیونیک و با نسبت حجم حمام به وزن کالای (L:R) ۱:۴۰ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه شسته شده و آب‌کشی شدند. در نهایت، در دمای محیط در آزمایشگاه خشک شدند.

ارزیابی قدرت رنگی (K/S)

در ارزیابی قدرت رنگی نمونه‌ها، مقادیر K/S با استفاده از رابطه کیو بلکا مانک^۴ محاسبه گردید که در آن، R فاکتور انعکاس در طول موج ماکزیمم S و K نیز به ترتیب ضریب جذب و انتشار می‌باشند. فاکتور انعکاسی نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر انعکاسی مدل KONICA MINOLTA CM-3600d معادله اندازه‌گیری شد.

$$K/S = (1-R)^2/2R \quad \text{معادله (۱)}$$

رنگریزی به روش فراصوت و معمول

تئوری رنگریزی، محدوده وسیعی از موضوعات، به ویژه در حوزه فیزیک و شیمی، را دربرمی‌گیرد. مانند تمامی تئوری‌ها، هدف فراهم کردن مجموعه‌ای از فرضیات است که رفتار سیستم‌های شناخته شده رنگریزی را توصیف کند و بتواند آنچه را در موقعیت جدید اتفاق می‌افتد، پیش‌بینی نماید. بعضی از موضوعات در تئوری رنگریزی عبارت‌اند از: حالت رنگزا در محلول و در لیف، سرعت فرایند رنگریزی، تئوری ساختار لیف (اکبری، ۱۳۹۱). در این رابطه اثر pH در فرایند عصاره‌گیری در این مقاله به ساختار رنگزا و لیف بستگی دارد. رنگزای پوست گردو در

محاسبه راندمان جذب محلول رنگزا

در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه با غلظت‌های مختلفی از رنگزای پوست گردو شامل ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰ درصد عملیات استخراج در حضور و عدم حضور امواج فراصوت انجام شد. سپس میزان جذب محلول‌های رنگی حاصل در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/Vis)، مدل KONICA MINOLTA CM-3600d اندازه‌گیری شده است (Kale, 2013).

فرایند عصاره‌گیری به روش فراصوت و معمول

فرایند عصاره‌گیری با مقادیر مختلف از پوست گردو (۱۰۰-۲/۵ درصد وزنی-حجمی) در زمان‌های مختلف (۲۰ تا ۸۰ دقیقه) در محدوده دمایی (۳۵ تا ۷۵

تهیه شده از مرحله عصاره گیری، رنگریزی شده اند. در طی این فرایند تأثیر عوامل زمان و دما نیز مورد بررسی قرار گرفت. کدگذاری نمونه ها در جدول ۱ آورده شده است.

محاسبه راندمان میزان جذب رنگزا بر روی کالای پشمی

میزان قدرت رنگی در نمونه های رنگریزی شده به سه حالت UU و UC و CC توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی میزان راندمان (K/S) به کمک معادله ۳ این مقدار برآورد شده و میزان بهره وری روش فراصوت در رنگریزی نسبت به روش معمول محاسبه می شود. بدین ترتیب، راندمان قدرت رنگی در دو روش UU و UC به منظور بررسی تأثیر امواج فراصوت در فرایند رنگریزی محاسبه شده است.

مشخصات رنگی نمونه های رنگریزی شده

مشخصات رنگی ($L^*a^*b^*$) نمونه های رنگریزی شده به سه حالت UU و UC و CC با دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی اندازه گیری شده و نتایج آن آورده شده است.

حالت محلول در آب، شامل گروه کربونیل است که در شرایط اسیدی افینیته بالایی نسبت به گروه های آمینو پروتونه شده کالای پشمی پیدا می کند. به سبب این افینیته، وقتی رنگزا بر روی لیف ظاهر بشود، واکنش های یونی اتفاق می افتند و این واکنش های یونی تمایل رنگی لیف را افزایش می دهد. از آنجایی که فرایند رنگریزی اساساً در محیط اسیدی و با تشکیل کمپلکس بین آنیون ژاگلون و گروه های آمینوی پروتونه شده پشم اتفاق می افتد، لذا همچنان که در نتایج ارائه شده خواهیم دید، میزان قدرت رنگی در محیط اسیدی نسبت به دو محیط دیگر از میزان بالاتری برخوردار است.

در این مرحله از پژوهش، فرایند رنگریزی کالای پشمی با عصاره های مطلوب تهیه شده به دو روش فراصوت و معمول، در سه حالت عصاره گیری و رنگریزی به روش فراصوت (UU)، عصاره گیری به روش فراصوت-رنگریزی به روش معمول (UC) و عصاره گیری و رنگریزی به روش معمول (CC) انجام شد. از آنجایی که پوست گردو جزء گیاهان تانن دار است و البته هدف از این مقاله بررسی تأثیر امواج فراصوت بر عصاره گیری و رنگریزی بوده است، لذا رنگریزی به روش هم زمان و بدون حضور دندان انجام پذیرفته است. در این مرحله لیاف پشم با عصاره های

جدول ۱. کدگذاری نمونه های رنگریزی شده

نمونه	زمان رنگریزی (دقیقه)	دمای رنگریزی (درجه سانتی گراد)
۱	۲۰	۷۵
۲	۴۰	۷۵
۳	۶۰	۷۵
۴	۶۰	۵۵
۵	۶۰	۳۵

(منبع: نگارندگان)



آنالیز SEM

ریخت‌شناسی ساختار الیاف پشم خام و رنگریزی‌شده، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل EM-3200 مورد بررسی قرار گرفت. این آنالیز بر روی کالای پشم خام به‌عنوان نمونه مرجع و بر روی نمونه‌هایی با بیشترین میزان قدرت رنگی صورت گرفت. دو نمونه کالای پشمی انتخاب‌شده در شرایطی رنگریزی شدند که عصاره به‌کاربرده شده از روش فراصوت حاصل شده است؛ اما یک کالا با روش معمول حرارت‌دیدن (UC) و کالای دیگر به روش فراصوت (UU) رنگریزی شده است. زمان رنگریزی در هر دو روش ۶۰ دقیقه و دما نیز ۷۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. شکل‌های ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ تصاویر SEM به ترتیب مربوط به نمونه کالای پشمی خام، رنگریزی‌شده به روش معمول و رنگریزی‌شده به روش فراصوت است.

نتایج و بحث

محاسبه راندمان جذب

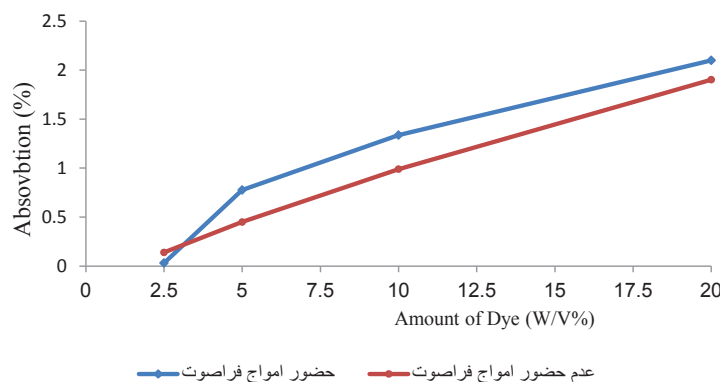
مشاهده می‌شود با استفاده از امواج فراصوت، میزان غلظت رنگزا در محلول بیشتر از روش معمول بوده است و این میزان با افزایش غلظت رنگزا در هر دو روش، افزایش یافته است. میزان بهره‌وری روش فراصوت نسبت به روش معمول در فرایند استخراج برحسب غلظت رنگزا با توجه به معادله زیر محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. شکل ۱ میزان جذب محلول‌های رنگی حاصل از فرایند عصاره‌گیری را برحسب مقدار پوست گردو در حضور و عدم حضور (روش معمول) تابش امواج فراصوت نشان می‌دهد.

$$\%E = \frac{A1-A0}{A0} * 100 \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله A1 میزان جذب محلول در روش فراصوت و A0 میزان جذب محلول در روش معمول است.

خواص ثباتی نمونه‌ها

خواص ثباتی نمونه‌های رنگریزی‌شده به سه حالت UC، UU و CC مطابق روش‌های استاندارد ISO ۱۰۵ اندازه‌گیری شده و نتایج آن آورده شده است.



شکل ۱. مقایسه میزان جذب محلول پوست گردو در فرایند عصاره‌گیری با دو روش فراصوت و معمول برحسب مقدار پوست گردو در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۲۰ دقیقه (منبع: نگارندگان)

جدول ۲. میزان بهره‌وری فرایند فراصوت نسبت به روش معمول در فرایند استخراج برحسب مقدار پوست گردو در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۲۰ دقیقه

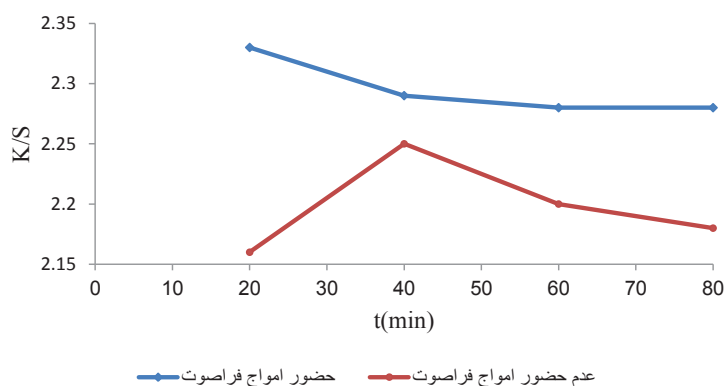
میزان بهره‌وری (%)	مقدار پوست گردو (w/v)
۷۶/۹۶	۲/۵
۷۲/۷۷	۵
۳۵/۱	۱۰
۱۰/۳۸	۲۰

(منبع: نگارندگان)

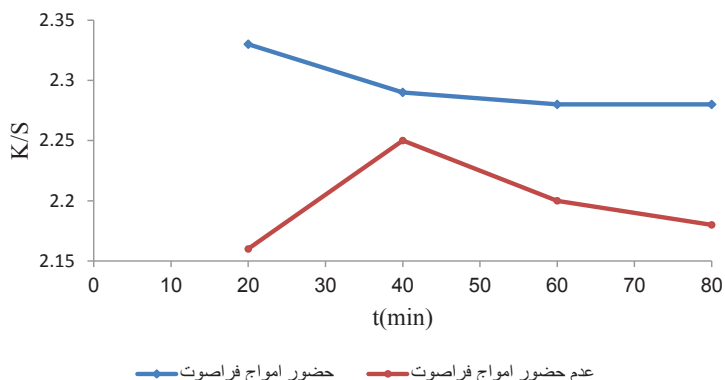
بررسی اثر زمان

فرایند عصاره‌گیری از پوست گردو در دو روش فراصوت و معمولاً در زمان‌های مختلف بین ۲۰ تا ۸۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و با میزان ۵٪ از پوست گردو انجام گرفت. الیاف پشم با این عصاره‌ها به روش معمول به مدت ۹۰ دقیقه در دمای جوش و نسبت حجم حمام به وزن کالای (L:R) ۱:۴۰، رنگ‌ریزی شدند و قدرت رنگی نمونه‌ها (K/S) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. حداکثر دمای استفاده‌شده در این پژوهش با توجه به محدودیت دستگاه فراصوت ۷۵ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد.

در جدول شماره ۲ میزان بهره‌وری فرایند فراصوت نسبت به روش معمول در فرایند استخراج برحسب مقدار پوست گردو در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۲۰ دقیقه آورده شده است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۲، مشاهده می‌شود که با بالا رفتن مقدار پوست گردو در محلول، از میزان بهره‌وری فرایند فراصوت کاسته می‌شود. شاید این کاهش به دلیل وجود مقدار زیاد رنگ‌زا در حجم خاصی از محلول است که فضای لازم برای نفوذ امواج به داخل محلول را کاهش داده و بدین ترتیب از تأثیر امواج کاسته می‌شود.



شکل ۲. اثر مدت‌زمان فرایند عصاره‌گیری بر روی قدرت رنگی کالای پشمی در دو روش فراصوت و معمول در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد، (منبع: نگارندگان)



شکل ۳. اثر دمای فرایند عصاره‌گیری پوست گردو بر روی قدرت رنگی کالای پشمی در دو روش فراصوت در زمان ۲۰ دقیقه و روش معمول در زمان ۴۰ دقیقه (مقدار پوست گردو ۵٪ وزن کالا، ۴۰:۱ L/R)، (منبع: نگارندگان)

نتایج نشان می‌دهد که در روش فراصوت در زمان ۲۰ دقیقه بیشترین میزان قدرت رنگی به‌دست آمده است و با گذشت زمان، میزان قدرت رنگی کاهش یافته است. این میزان در روش معمول بعد از گذشت ۴۰ دقیقه سیر کاهشی داشته است. کاهش ایجادشده در روش فراصوت احتمالاً به‌دلیل تخریب رنگزا در شرایط موجود (حرارت و افزایش زمان) است که در هنگام آزمایش نیز این اثر مشاهده شد و رنگزای استخراج‌شده ته‌رنگ متفاوتی نسبت به دیگر نمونه‌ها داشت.

باتوجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که با استفاده از روش فراصوت، میزان عصاره‌گیری در هر زمان، بیشتر از روش معمول بوده که درنهایت باعث افزایش میزان K/S شده است. از آنجایی که فرایند استخراج رنگزا در روش فراصوت در زمان ۲۰ دقیقه و در روش معمول در زمان ۴۰ دقیقه بیشترین بهره‌وری را نشان می‌دهد، لذا این زمان‌ها به‌عنوان شرایط مطلوب در ادامه در نظر گرفته شد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین میزان قدرت رنگی در زمان ۲۰ دقیقه و دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در روش فراصوت به‌دست آمده است. به‌علاوه، میزان قدرت رنگی در روش معمول در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌مقدار ناچیزی بیشتر از روش فراصوت بوده است. با این حال، با افزایش دما مشاهده می‌شود که غلظت رنگزا در محلول افزایش یافته و میزان قدرت رنگی نیز افزایش یافته است. این در حالی است که میزان قدرت رنگی در روش فراصوت بر روش معمول برتری دارد.

این رفتار به‌دلیل اثر افزایشی مربوط به نیروی فراصوت است که بدون نیاز به جوش آوردن آب

بر روش معمول برتری دارد.

این رفتار به‌دلیل اثر افزایشی مربوط به نیروی فراصوت است که بدون نیاز به جوش آوردن آب

بررسی اثر دما

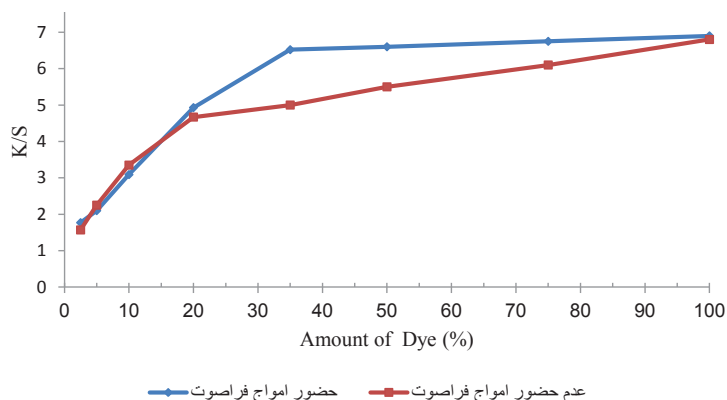
فرایند عصاره‌گیری پوست گردو در دو روش

مسیری آسان و مؤثر را برای عصاره‌گیری پوست گردو و استخراج رنگزا فراهم می‌کند. وجود امواج فراصوت در حمام استخراج بر روی دیسپرس کردن، گاززدایی و نفوذ ماده رنگزا به محلول تأثیر قابل توجهی داشته است. به همین دلیل، در روش فراصوت میزان جذب بالا در دمای پایین‌تری نسبت به روش معمول به دست می‌آید. در روش معمول، در اثر افزایش دما، میزان استخراج افزایش یافته است. بدین ترتیب، در روش معمول نسبت به روش فراصوت به دما و زمان بیشتری برای رسیدن به میزان استخراج بیشتر نیاز است که این میزان در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۴۰ دقیقه به دست آمده است.

بررسی تأثیر مقدار پوست گردو

فرایند عصاره‌گیری پوست گردو در دو روش فراصوت (زمان: ۲۰ دقیقه، دما: ۶۵ درجه سانتی‌گراد) و معمول (زمان: ۴۰ دقیقه، دما: ۷۵ درجه سانتی‌گراد) در مقادیر مختلف از پوست گردو (۱۰۰-۲/۵ وزنی / حجمی) انجام گرفت. الیاف پشم با این عصاره‌ها به روش معمول به مدت ۹۰ دقیقه در دمای جوش و نسبت حجم حمام به وزن کالای (L:R) ۴۰:۱ رنگریزی شدند و قدرت رنگی نمونه‌ها توسط K/S

اندازه‌گیری شد که در شکل ۴ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در مقادیر کمتر از ۲۰٪ قدرت رنگی در هر دو روش به یک نسبت در حال افزایش است. این در حالی است که در مقدار ۳۵٪ رنگزا، در روش فراصوت، قدرت رنگی بیشتر از معمول بوده و با افزایش مقدار پوست گردو روند افزایشی قدرت رنگی در روش فراصوت کند می‌شود؛ اما در روش معمول با افزایش مقدار پوست گردو، میزان قدرت رنگی در حال افزایش است. می‌توان گفت با افزایش مقدار پوست گردو در مرحله عصاره‌گیری، مسلماً میزان قدرت رنگی نیز افزایش یافته است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، در مقدار بالای ۲۰٪ قدرت رنگی در روش فراصوت نسبت به معمول از مقدار بیشتری برخوردار است. از آنجایی که در مقدار بالای ۳۵٪ این میزان تا حدودی ثابت بوده و تغییر قابل توجهی نداشته، لذا مقدار ۳۵٪ برای روش فراصوت به عنوان غلظت مطلوب معرفی شده است (Kamel, 2005). در روش معمول با افزایش مقدار پوست گردو قدرت رنگی در حال افزایش است. بدین ترتیب، میزان مقدار پوست گردو مطلوب در روش معمول مقدار ۱۰۰٪ در نظر گرفته می‌شود.

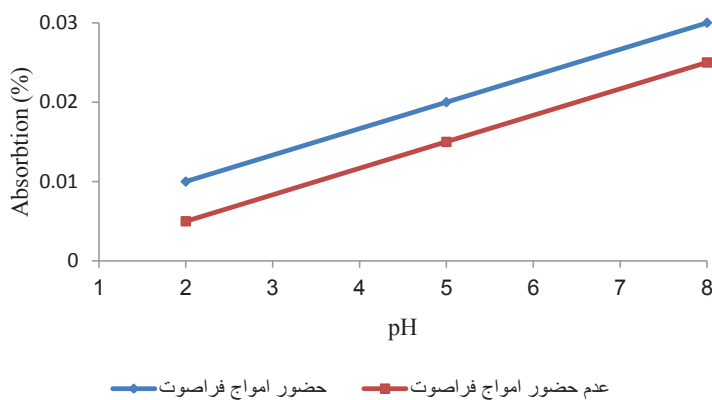


شکل ۴. اثر مقدار پوست گردو در فرایند عصاره‌گیری بر میزان جذب توسط کالای پشمی در دو روش فراصوت و معمول در شرایط مطلوب تعریف‌شده به تفکیک برای هر دو روش، (منبع: نگارندگان)

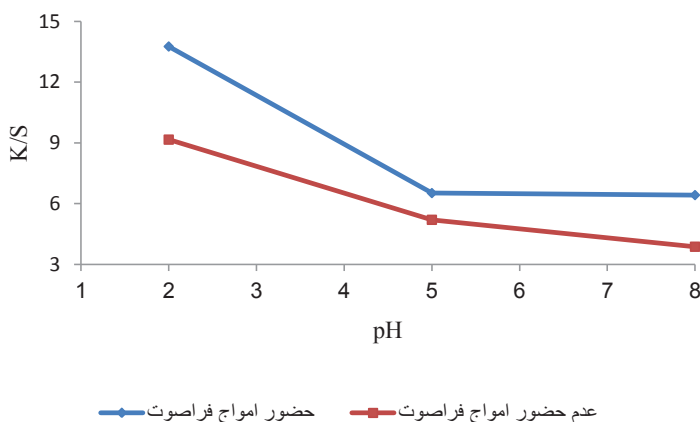


کوچک شدن ذرات رنگزا شده و بدین ترتیب سطح تماس بین ذرات و رنگزا را افزایش می‌دهد و در نتیجه انتقال ترکیبات محلول به حلال افزایش می‌یابد و از این طریق میزان مقدار پوست گردو در حمام فراصوت افزایش یافته، در نتیجه نسبت به روش معمول در فرایند رنگرزی، قدرت رنگی بیشتری حاصل می‌شود. در شکل ۴ مقدار جذب بر اساس مقدار پوست گردو در هر دو روش نمایش داده شده است.

مکانیسم کنترل استخراج به کمک فراصوت به طور کلی به اثرات مکانیکی، کاویتاسیون و حرارتی نسبت داده می‌شود که می‌تواند منجر به اختلال در دیواره‌های سلولی، کاهش اندازه ذرات و افزایش انتقال جرم در سراسر غشای سلولی بشود. به دلیل پدیده کاویتاسیون، ترک در دیواره سلولی باعث پیشرفت در افزایش نفوذپذیری بافت‌های گیاهی و تسهیل در ورود حلال به قسمت داخلی مواد و همچنین خروج عصاره شده است (Shirsath, 2012). اثرات مکانیکی حاصله سبب



شکل ۵. میزان جذب محلول پوست گردوی عصاره‌گیری شده به دو روش فراصوت و معمول برحسب pH (منبع: نگارندگان)



شکل ۶. قدرت رنگی پوست گردوی عصاره‌گیری شده روی کالای پشمی به دو روش فراصوت و معمول برحسب pH (منبع: نگارندگان)

بررسی اثر pH

فرایند عصاره‌گیری پوست گردو به دو روش فراصوت (۲۰ دقیقه، ۶۵ درجه سانتی‌گراد) و معمول (۴۰ دقیقه، ۷۵ درجه سانتی‌گراد) با ۳۵٪ رنگزا و L:R ۴۰:۱ به‌منظور بررسی تأثیر pH انجام گرفت. برای ایجاد محیط اسیدی از اسیدکلریدریک و برای محیط قلیایی از کربنات‌سدیم استفاده شده است. طیف جذبی ماورای‌بنفش-مرئی (UV/Vis) در آب، در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی جذبی اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از آنالیز کمی عصاره موردنظر در شکل ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان جذب محلول در محیط قلیایی نسبت به دو محیط دیگر بیشتر است. بدین ترتیب، غلظت رنگزا در این محیط نیز بیشتر است. به‌منظور بررسی pH بر روی میزان قدرت رنگی، الیاف پشم با این عصاره‌ها به‌روش معمول به مدت ۹۰ دقیقه در دمای جوش و نسبت حجم حمام به وزن کالای (L:R) ۴۰:۱ رنگری شدند و میزان قدرت رنگی (K/S) اندازه‌گیری شد که نتایج حاصله در شکل ۶ ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، برخلاف آنچه انتظار می‌رفت، میزان قدرت رنگی در محیط اسیدی با pH برابر با ۲، در هر دو روش نسبت به دو محیط دیگر از مقدار بیشتری برخوردار است. در محیط اسیدی در هر دو روش این میزان بالا بوده؛ اما با افزایش pH، این روند به‌سرعت کاهش یافته است. ژاگلون با pKa برابر با ۶/۹۶، یک ترکیب اسیدی ضعیف است (Ratasuk, 2004) که در آب انحلال‌پذیری کمی دارد، اما در محیط قلیایی، برعکس محیط اسیدی، کاملاً حل می‌شود. محلول اسیدی ژاگلون زرد خیلی کم‌رنگی است که با افزایش pH، پررنگ‌تر می‌شود. اگرچه ژاگلون در محیط قلیایی کاملاً حل می‌شود و فرایند استخراج آن بهتر صورت

می‌گیرد، ولی به‌دلیل دافعه یونی با گروه‌های کربوکسیلیک لیف پشم در محیط قلیایی میزان برهم‌کنش آن با لیف پشم کمتر بوده و از رمق‌کشی کمتری برخوردار است. در محیط اسیدی دافعه یونی وجود نداشته و رنگزایی ژاگلون به‌دلیل نامحلول بودن با توجه به تمایل به لیف پشم بیشتر جذب می‌گردد و همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، نمونه در شرایط اسیدی از قدرت بالاتر برخوردارند.

رنگری به‌روش فراصوت و معمول بررسی تأثیر زمان

فرایند رنگری کالای پشمی با عصاره پوست گردو در دو روش فراصوت و معمول در زمان‌های مختلف بین ۲۰ تا ۶۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد با نسبت حجم حمام به وزن کالای (L:R) ۴۰:۱ صورت گرفت. در این مرحله به سه حالت، فرایند رنگری انجام گرفته است. دو نمونه کالای پشمی با عصاره تهیه‌شده از روش فراصوت با میزان ۳۵٪ رنگزا به دو روش مختلف فراصوت (UU) و معمول (UC) رنگری شده و یک نمونه کالای پشمی با عصاره تهیه‌شده به‌روش معمول با میزان ۱۰۰٪ رنگزا به‌روش معمول (CC) رنگری شده است. نتایج حاصله در شکل ۷ ارائه شده است. از آنجایی که میزان دما در دستگاه فراصوت مورد استفاده در این پژوهش از ۷۵ درجه سانتی‌گراد فراتر نمی‌رود، لذا حداکثر دما در این مرحله انتخاب و بررسی شده است.

نتایج نشان می‌دهد که در زمان ۲۰ دقیقه میزان قدرت رنگی در روش UC به‌مقدار کمی از روش UU بیشتر بوده است. با این حال، پس از گذشت زمان در ۴۰ و ۶۰ دقیقه، روش UU برتری داشته و در زمان ۶۰ دقیقه، میزان قدرت رنگی در روش UU به ۶/۰۳ رسیده است. این نشان می‌دهد که با گذشت زمان میزان جذب افزایش می‌یابد. عموماً افزایش در قدرت رنگی

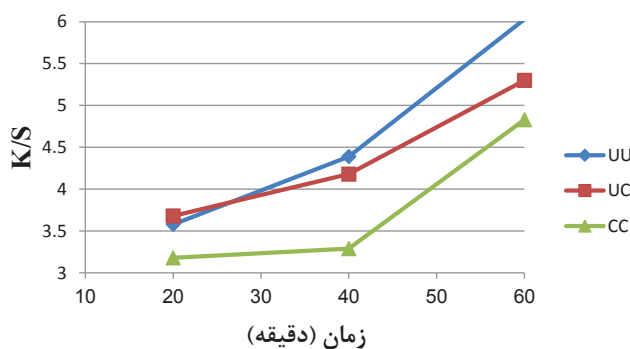


با تورم لیف و یا با افزایش نفوذ رنگزا توضیح داده می‌شود. در روش فراصوت امواج سبب شکسته شدن تجمع مولکول‌های رنگزا می‌شود که نفوذ رنگزا را به داخل لیف بیشتر می‌کند. از آنجایی که بیشترین میزان قدرت رنگی در زمان ۶۰ دقیقه صورت گرفته است، لذا از این زمان به عنوان زمان مطلوب رنگرزی نام برده می‌شود و در آزمایشات بعدی این زمان در هر سه حالت مذکور به عنوان زمان مطلوب در نظر گرفته شده است.

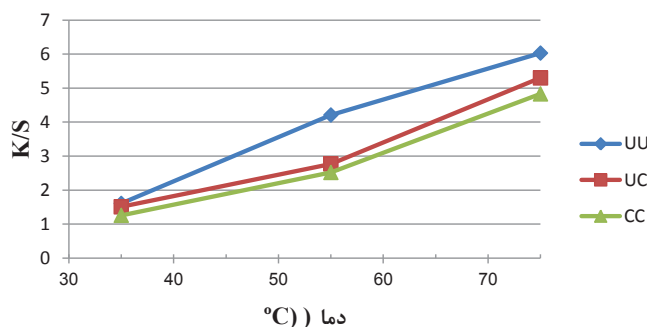
بررسی اثر دما

فرایند رنگرزی کالای پشمی با محلول عصاره گیری شده پوست گردو در دو روش فراصوت

و معمول در دماهای مختلف ۳۵، ۵۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۶۰ دقیقه با نسبت حجم حمام به وزن کالای (L:R) ۴۰:۱ صورت گرفت. در این مرحله به سه حالت، فرایند رنگرزی انجام گرفته است. در دو حالت، کالای پشمی با عصاره مطلوب تهیه شده از روش فراصوت با میزان ۳۵% رنگزا به دو روش مختلف فراصوت (UU) و معمول (UC) رنگرزی شده و در حالت سوم، کالای پشمی با عصاره مطلوب تهیه شده به روش معمول با میزان ۱۰۰% رنگزا با روش معمول (CC) رنگرزی شده است. با توجه به نتایج حاصل از مرحله قبل، زمان تعیین شده در فرایند رنگرزی مدت ۶۰ دقیقه بوده است. نتایج در شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۷. اثر زمان در میزان قدرت رنگی برحسب نوع روش در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد. (منبع: نگارندگان)



شکل ۸. اثر دما بر میزان قدرت رنگی برحسب نوع روش در زمان ۶۰ دقیقه رنگرزی. (منبع: نگارندگان)

محاسبه راندمان میزان جذب رنگزا بر روی کالای پشمی

میزان قدرت رنگی در نمونه‌های رنگری شده به سه حالت UU و UC و CC توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی میزان راندمان (K/S) به کمک معادله ۳ این مقدار برآورد شده و میزان بهره‌وری روش فراصوت در رنگری نسبت به روش معمول محاسبه می‌شود. بدین ترتیب، راندمان قدرت رنگی در دو روش UU و UC به منظور بررسی تأثیر امواج فراصوت در فرایند رنگری محاسبه شده است.

$$\%E = \frac{(K/S)_c - (K/S)_u}{(K/S)_c} * 100 \quad \text{معادله (۳)}$$

در این معادله (K/S)_u میزان قدرت رنگی در روش فراصوت و (K/S)_c میزان قدرت رنگی در روش معمول است. جدول ۳ نتایج بهره‌وری روش فراصوت نسبت به روش معمول در فرایند رنگری که توسط دستگاه اسپکتروسکوپی انعکاسی و طبق معادله کیو بلکا مانک محاسبه شده است را نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، مشاهده می‌شود که در نمونه‌های ۱ تا ۳ که متغیر آزمایش عامل زمان بوده است با افزایش زمان در نمونه شماره ۳، میزان بهره‌وری افزایش یافته است. همچنین در نمونه‌های ۳ تا ۵ که متغیر آزمایش دمای رنگری بوده است، با افزایش دما در نمونه شماره ۳ میزان بهره‌وری افزایش یافته است.

مشاهده می‌شود که با افزایش دما میزان قدرت رنگی در هر سه حالت افزایش یافته است. از آنجایی که مولکول‌های رنگزا در آب به صورت تجمع هستند، با بالا رفتن دمای رنگری، حجم رادیکال‌های تجمع کم می‌شود و این یکی از دلایل مؤثر برای رنگری بهتر در دمای بالاست. همچنین با نفوذ آب به داخل الیاف و شکستن پیوندهای هیدروژنی، منافذ الیاف باز شده و حرکت مولکول‌های رنگزا را به داخل مناطق بی‌شکل الیاف ممکن ساخته و سبب پخش و پراکندگی مولکول رنگزا در داخل الیاف می‌شود. تورم الیاف در آب با بالا رفتن دما بیشتر می‌شود و این دلیل عمده تأثیر دما در بالا رفتن میزان قدرت رنگی است. این در حالی است که در روش UU شیب نمودار تا رسیدن به دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دو روش دیگر تندتر است؛ اما با افزایش دما به ۷۵ درجه سانتی‌گراد، نمودار شیب کمتری دارد. با این وجود، روش UU بر سه حالت برتری داشته و از بیشترین میزان قدرت رنگی برخوردار است. این برتری مربوط می‌شود به تأثیر امواج فراصوت بر روی سطح لیف، تخریب فلس‌ها و در نتیجه افزایش نفوذپذیری کالا نسبت به رنگزا که سبب پخش و افزایش انتقال مولکول رنگزا از این طریق به داخل لیف می‌شود. در نتیجه، با افزایش دما، میزان قدرت رنگی افزایش یافته است. باتوجه به نتایج حاصل از این بخش از پروژه، دمای مطلوب رنگری در هر سه حالت مذکور ۷۵ درجه سانتی‌گراد است.

جدول ۳. میزان بهره‌وری روش فراصوت نسبت به معمول در فرایند رنگری در دو حالت UU و UC بر حسب زمان و دمای رنگری

میزان بهره‌وری (%)	دمای رنگری (درجه سانتی‌گراد)	زمان رنگری (دقیقه)	نمونه
۲/۷۱	۷۵	۲۰	۱
۵/۰۲	۷۵	۴۰	۲
۱۳/۷۷	۷۵	۶۰	۳
۱۱/۹۸	۵۵	۶۰	۴
۶/۶۲	۳۵	۶۰	۵

(منبع: نگارندگان)



مشخصات رنگی نمونه‌های رنگ‌رزی شده

مشخصات رنگی نمونه‌های رنگ‌رزی شده به سه حالت UC، UU و CC با دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی اندازه‌گیری شده و نتایج آن در زیر آورده شده است.

جدول ۴. مشخصات رنگی نمونه‌های عصاره‌گیری شده و رنگ‌رزی شده به روش فراصوت

	L*	a*	b*	C*	h°
۱UU	۵۵/۹۸	۱۰/۰۶	۲۳/۰۶	۲۵/۱۶	۶۶/۴۲
۲UU	۵۲/۴۱	۱۰/۱۳	۲۲/۴۱	۲۴/۵۹	۶۵/۶۷
۳UU	۴۸/۴۵	۱۰/۴۰	۲۳/۵۱	۲۵/۷۱	۶۶/۱۳
۴UU	۵۳/۷۵	۹/۹۲	۲۳/۳۶	۲۵/۳۸	۶۶/۹۷
۵UU	۶۶/۸۸	۶/۸۶	۲۰/۳۹	۲۱/۵۱	۷۱/۴

(منبع: نگارندگان)

جدول ۵. مشخصات رنگی نمونه‌های عصاره‌گیری شده و رنگ‌رزی شده به روش معمول

	L*	a*	b*	C*	h°
۱CC	۵۶/۵۴	۹/۱۱	۲۰/۸۴	۲۲/۷۵	۳۸/۶۶
۲CC	۵۴/۴۰	۸/۵۲	۱۸/۷۲	۲۰/۵۷	۶۵/۵۳
۳CC	۴۹/۷	۹/۰۸	۲۰/۱۱	۲۲/۰۷	۶۵/۷
۴CC	۵۹/۵۶	۸/۲۸	۱۹/۹۲	۲۱/۵۷	۶۷/۴۳
۵CC	۷۰/۳۰	۶/۴	۱۹/۲۳	۲۰/۲۷	۷۱/۵۸

(منبع: نگارندگان)

جدول ۶. مشخصات رنگی نمونه‌های عصاره‌گیری شده به روش فراصوت و رنگ‌رزی به روش معمول

	L*	a*	b*	C*	h°
۱UC	۵۴/۹۹	۹/۲۸	۲۲/۲۳	۲۴/۰۹	۶۷/۳۴
۲UC	۵۳/۲۲	۹/۴۶	۲۲/۳۵	۲۴/۲۷	۶۷/۰۶
۳UC	۴۹/۷۹	۱۰	۲۲/۵۸	۲۴/۷	۶۶/۱
۴UC	۵۹/۲۴	۹/۳۳	۲۱/۹۷	۲۳/۸۷	۶۶/۹۸
۵UC	۶۷/۸۰	۶/۹۷	۱۹/۹۱	۲۱/۱	۷۰/۷

(منبع: نگارندگان)

روشنایی (L*)

باتوجه به نتایج ارائه شده در جداول ۴ تا ۶، مشاهده می شود که نمونه های رنگریزی شده به روش فراصوت دارای کمترین میزان روشنایی هستند که نشان دهنده بیشترین عمق رنگی در این نمونه هاست. مشاهده می شود که با گذشت زمان، میزان روشنایی در تمامی نمونه ها کاهش یافته است و بیشترین میزان روشنایی نمونه ها در هر سه حالت از رنگریزی در کمترین زمان (۲۰ دقیقه) بوده است. مقایسه میزان روشنایی نمونه ها در زمان ۶۰ دقیقه در دماهای مختلف نشان می دهد که عامل روشنایی با افزایش دمای رنگریزی، کاهش می یابد. کاهش میزان روشنایی نشان دهنده افزایش عمق رنگی در نمونه هاست.

قرمزی - سبزی (a*) و زردی - آبی بودن (b*)

نتایج نشان می دهد که میزان (a*) و (b*) در تمامی نمونه ها از مقادیر مثبتی برخوردار است. مشاهده می شود که میزان قرمزی و زردی نمونه ها در دو حالت UU و UC با افزایش زمان افزایش یافته است و در حالت CC این عامل کاهش یافته است. بدین ترتیب، نتیجه می شود که عصاره گیری به روش فراصوت، با هر دو روش رنگریزی (فراصوت و معمول) سبب افزایش میزان قرمزی و زردی در نمونه ها شده است. همچنین اینکه بیشترین میزان قرمزی و زردی در نمونه های رنگریزی شده، در روش UU بوده است. نتایج حاصل از افزایش دمای رنگریزی نشان می دهد که بیشترین میزان قرمزی و زردی در نمونه های رنگریزی شده به روش UU بوده و این میزان با افزایش دما، در هر سه حالت رنگریزی، افزایش یافته است. بدین ترتیب، تأثیر امواج فراصوت در افزایش شدت رنگی نمونه ها باتوجه به افزایش میزان قرمزی و زردی نمونه های رنگریزی شده به کمک امواج فراصوت مشاهده می شود.

خلوص رنگی (C*) و زاویه فام (h°)

میزان خلوص رنگی (C*) در نمونه های رنگریزی شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی اندازه گیری شد. باتوجه به جدول ۴ تا ۶ مشاهده می شود که بیشترین میزان خلوص رنگی در زمان ها و دماهای مختلف مربوط به نمونه های UU است. همچنین نمونه های UC نیز نسبت به نمونه های CC از میزان خلوص رنگی بیشتری برخوردار هستند. این نتایج نشان می دهند که امواج فراصوت در میزان خلوص رنگی نمونه ها تأثیر داشته و سبب افزایش آن شده است. این در حالی است که در نمونه هایی که علاوه بر فرایند رنگریزی، در فرایند عصاره گیری نیز از روش فراصوت استفاده شده است، میزان خلوص رنگی بیشتر است.

آنالیز SEM

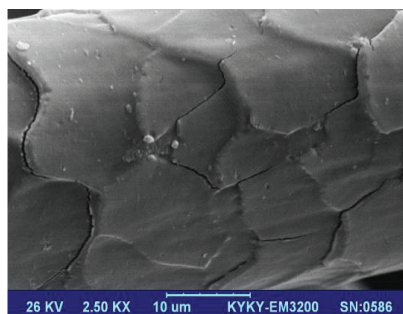
ریخت شناسی ساختار الیاف پشم خام و رنگریزی شده، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل EM-3200 مورد بررسی قرار گرفت. این آنالیز بر روی کالای پشم خام به عنوان نمونه مرجع (شکل ۹، تصویر الیاف خام) و بر روی نمونه هایی با بیشترین میزان قدرت رنگی صورت گرفت. دو نمونه کالای پشمی رنگریزی شده به ترتیب نمونه کالای رنگریزی شده به روش معمول با عصاره تهیه شده به روش فراصوت UC در زمان ۶۰ دقیقه و دمای ۷۵ درجه سانتی گراد و کالای رنگریزی شده به روش فراصوت با عصاره تهیه شده به روش فراصوت UU در زمان ۶۰ دقیقه و دمای ۷۵ درجه سانتی گراد انتخاب شده اند. شکل های ۹ و ۱۰ و ۱۱ تصاویر SEM به ترتیب مربوط به نمونه کالای پشمی خام، رنگریزی شده به روش معمول و رنگریزی شده به روش فراصوت است. مقایسه تصاویر به وضوح تخریب فلس ها را در سطح لیف رنگریزی شده به روش فراصوت نشان



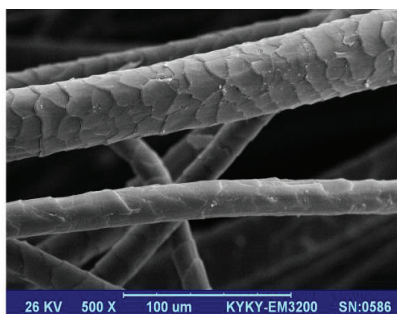
می‌دهد؛ درحالی‌که فلس‌ها در تصاویر ۱۰ و ۹ سالم هستند. همچنین سطح لیف در شکل ۱۱ خشن و ناصاف است؛ درحالی‌که در شکل ۱۰ صاف و متمایز است که ناشی از اثرات تابش امواج فراصوت است. این نتایج ممکن است به دلیل ایجاد حفره در ساختار الیاف باشد که منجر به شل شدن فیزیکی ساختار الیاف شده و امکان بیشتری برای نفوذ مولکول‌های رنگزا به داخل الیاف ایجاد می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که حضور امواج فراصوت بر زیر دست الیاف تأثیر محسوسی نداشته است.

ازسوی دیگر، در رنگرزی به‌روش فراصوت، پدیده ازسوی کاویتاسیون منجر به پراکندگی، گاززدایی و انتشار شده و با شکافتن لایه محافظ لیف سبب شتاب‌دادن

به میزان نفوذ رنگزا به داخل لیف و افزایش سرعت واکنش شیمیایی بین رنگزا و لیف می‌شود. در نتیجه، می‌توان گفت این امواج با ایجاد پدیده کاویتاسیون، سبب ایجاد نوعی فرسایش سطحی و تخریب فلس در سطح لیف شده و بدین ترتیب سبب افزایش نفوذ بیشتر رنگزا به داخل لیف شده و در نتیجه میزان قدرت رنگی نسبت به نمونه رنگرزی شده به‌روش معمول، افزایش می‌یابد و احتمالاً بر خاصیت کششی الیاف تأثیر منفی می‌گذارد (Kamel, 2009). با این وجود، فرسایش و آسیب وارده به لیف فقط سطحی بوده و درون لیف آسیبی نمی‌بیند. تصاویر SEM الیاف خام و نمونه‌هایی با بیشترین میزان قدرت رنگی در زیر آورده شده است.

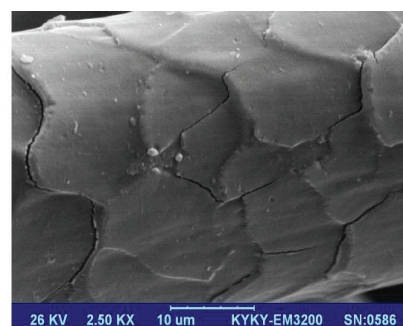


ب

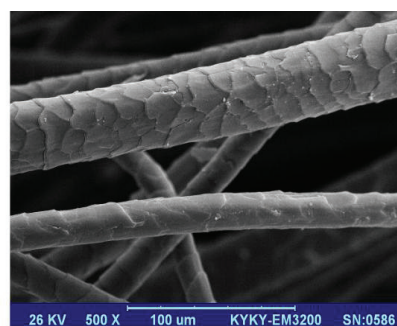


الف

شکل ۹. تصویر الیاف پشم خام. (منبع: نگارندگان)

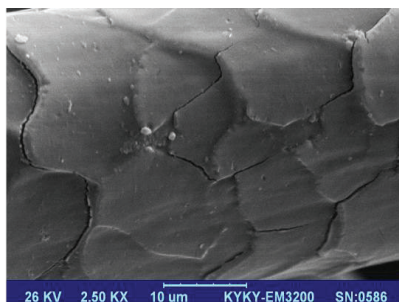


ب

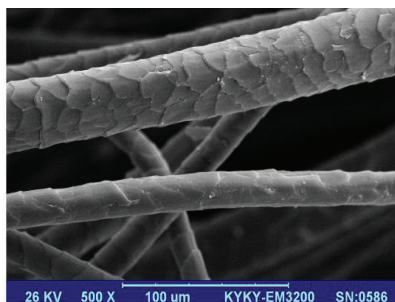


الف

شکل ۱۰. تصویر الیاف پشم رنگرزی شده به‌روش UC. (منبع: نگارندگان)



ب



الف

شکل ۱۱. تصویر الیاف پشم رنگریزی شده به روش فراصوت UU، (منبع: نگارندگان)

خواص ثباتی نمونه‌ها

خواص ثباتی نمونه‌های رنگریزی شده به سه حالت UC، UU و CC مطابق روش‌های استاندارد ISO-105 اندازه‌گیری شده است. این نتایج در زیر آورده شده است.

ثبات مالشی رنگ

ثبات مالشی نمونه‌ها مطابق روش استاندارد ISO105 - C01:1989(E) در شرایطی که هر رفت و برگشت ۱ ثانیه طول بکشد، این عمل برای هر نمونه ۱۰ بار تکرار شده است و با استفاده از دستگاه ثبات مالشی رنگ اندازه‌گیری شده است. ارزیابی نمونه‌ها با معیار خاکستری و به‌شیوه بصری انجام گرفته است. نتایج حاصل از این ارزیابی در جدول ۷ آمده است. مشاهده می‌شود که بیشترین میزان ثبات مالشی رنگ به ترتیب متعلق به نمونه‌های UU، CC و UC بوده است. نتایج نشان می‌دهد که ثبات نمونه‌ها در هر دو روش معمول و فراصوت متوسط تا خوب بوده است. در بین نمونه‌های CC نیز بیشترین میزان ثبات در زمان ۶۰ دقیقه و دماهای کمتر از ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمده است.

ثبات شست‌وشویی

ثبات شست‌وشویی نمونه‌ها مطابق روش استاندارد ISO105 - C01:1989(E) با شرایط دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۳۰ دقیقه و L:R:۱:۴۰ با محلول صابون ۵ گرم بر لیتر (با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و با استفاده از دستگاه ثبات شست‌وشویی GYROWASH 815 QUICK START انجام شد. همچنین ارزیابی نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی به روش دستگاهی صورت گرفته است. میزان لکه‌گذاری نمونه‌ها بر روی پارچه همراه چندجنسی به‌شیوه بصری با معیار خاکستری انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که ثبات نمونه‌ها در هر دو روش، متوسط تا خوب بوده است. مشاهده می‌شود که به‌طور کلی میزان لکه‌گذاری نمونه‌ها در حد خوبی بوده است و بدین ترتیب بهترین ثبات مربوط به نمونه‌های UU است. همچنین مشاهده می‌شود که میزان لکه‌گذاری بر روی پشم و پنبه بسیار ناچیز بوده است. نتایج لکه‌گذاری‌ها در جدول ۸ آورده شده است.

می‌توان گفت امواج فراصوت در نفوذ بهتر رنگزا و تثبیت آن در لیف نقش مؤثری داشته است. نتایج

حاصل از انجام تست‌های ثبات شست‌وشویی در جدول ۹ آورده شده است. بیشترین ثبات شست‌وشویی در نمونه‌های عصاره‌گیری شده و رنگ‌رزی شده به‌روش معمول CC بوده است و نمونه‌هایی که در معرض امواج فراصوت قرار داشته‌اند، با تفاوت کمتری در رتبه بعدی قرار دارند. در این میان تفاوت قابل توجهی بین نمونه‌های روش UU و UC نیز مشاهده نمی‌شود. قابل ذکر است که با توجه به نوع صابون مورد استفاده در تست‌های شست‌وشویی، در تمامی نمونه‌ها تغییر رنگی ایجاد شده است.

جدول ۷. درجه ثبات مالشی رنگ نمونه‌های رنگ‌رزی شده با پوست گردو به سه روش مختلف

نمونه		۱	۲	۳	۴	۵
ثبات مالشی رنگ	UU	۴	۳-۴	۴	۳-۴	۴-۵
	UC	۴	۳-۴	۴	۴	۴-۵
	CC	۳-۴	۴	۳-۴	۴-۵	۴-۵

(منبع: نگارندگان)

جدول ۸. میزان لکه‌گذاری نمونه‌های رنگ‌رزی شده با پوست گردو به سه روش مختلف

نمونه	UU					UC					CC				
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
پارچه همراه	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
پشم	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
پنبه	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵

(منبع: نگارندگان)

جدول ۹. درجه ثبات شست‌وشویی نمونه‌های رنگ‌رزی شده با پوست گردو به سه روش مختلف

نمونه	UU					UC					CC				
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
درجه ثبات	۲/۵	۳	۲/۵	۳	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۳	۲/۵	۳	۳/۵	۳	۲/۵	۲/۵	۳

(منبع: نگارندگان)

جدول ۱۰. میزان ثبات نوری نمونه‌های رنگ‌رزی شده در سه روش مختلف

نمونه	UU	UC	CC
درجه ثبات	۵	۴/۵	۴

(منبع: نگارندگان)

جدول ۱۱. شرایط مطلوب عصاره‌گیری

شرایط روش استخراج	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	غلظت رنگزا (%)	L:R	pH
فراصوت	۶۵	۲۰	۳۵	۴۰:۱	۲

(منبع: نگارندگان)

ثبات نوری

ثبات نوری نمونه‌ها مطابق استاندارد ISO105 – B02:1994(E) به روش دوم و با دستگاه اندازه‌گیری ثبات نوری Megasol در دمای دستگاه ۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای صفحه‌سیاه استاندارد ۴۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۵ با فاصله‌های زمانی ۴ ساعته طی ۷۲ ساعت انجام شد. ارزیابی تغییر رنگ نمونه‌ها با معیار خاکستری و به‌شیوه بصری انجام گرفته است. معیار مقایسه، شاخص آبی (Blue Scale) است. باتوجه به جدول ۱۰، مشاهده می‌شود که ثبات نوری نمونه‌هایی که تحت تأثیر امواج فراصوت بوده‌اند، بیشتر از نمونه‌های رنگ‌رزی شده به روش معمول بوده است. این‌گونه می‌توان ارزیابی کرد که به دلیل رمق‌کشی و جذب بالای رنگزا بر روی لیف با روش فراصوت و وجود میزان بیشتری از مقدار رنگزا داخل لیف، لذا با روش فراصوت، نمونه‌ها از میزان ثبات نوری بیشتری در مقایسه با روش معمول برخوردار هستند. نتایج این ارزیابی در جدول ۱۰ آورده شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر امواج فراصوت بر فرایندهای عصاره‌گیری و رنگ‌رزی الیاف پشم با پوست گردو، عمل استخراج رنگزای پوست گردو با بررسی تأثیر حضور امواج فراصوت و عوامل مختلف نظیر دما، زمان، مقدار رنگزا، نسبت حجم حمام به وزن کالا و pH در شرایط مختلف انجام شد. در ادامه، الیاف پشم شسته‌شده به روش معمول با این عصاره‌ها رنگ‌رزی شده‌اند تا با تعیین میزان جذب رنگزا بر روی کالا، عصاره مطلوب مشخص گردد. سپس به سه روش مختلف الیاف پشم با عصاره مطلوب رنگ‌رزی شده و نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفته است.

با محاسبه راندمان جذب در روش فراصوت نسبت به معمول مشخص شد که استفاده از امواج فراصوت باعث افزایش میزان غلظت رنگزا در محلول نسبت به روش معمول بوده است. باتوجه به این نتیجه، فرایند استخراج رنگزای پوست گردو با استفاده از امواج فراصوت انجام گرفته و نتایج آن با روش معمول



مقایسه شد. از نتایج حاصل از بررسی میزان قدرت رنگی نمونه‌های رنگ‌رزی شده، عصاره‌های مطلوب در هر دو روش انتخاب شد. خصوصیات عصاره‌های انتخاب شده در جدول ۱۱ آورده شده است.

عملیات رنگ‌رزی الیاف پشم با این عصاره‌ها به دو روش فراصوت و معمول در سه حالت UC، UU و CC انجام شد. در این فرایند تأثیر عوامل زمان و دما نیز مورد بررسی قرار گرفت. دما و زمان مطلوب رنگ‌رزی حاصل از انجام این مرحله از پروژه در جدول ۱۲ آورده شده است.

میزان قدرت رنگی، میزان راندمان قدرت رنگی در روش فراصوت نسبت به معمول، آنالیز SEM، مشخصات رنگی و خواص ثباتی نمونه‌ها اندازه‌گیری و نتایج ارائه شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در حالت UU، میزان جذب رنگ‌زا بر روی کالا از دو حالت دیگر بیشتر بوده است. از آنجایی که امواج فراصوت سبب شکسته شدن تجمع مولکول‌های رنگ‌زا می‌شود، نفوذ رنگ‌زا به داخل لیف بیشتر شده، در نتیجه، جذب توسط کالا افزایش می‌یابد.

بررسی خصوصیات رنگی نمونه‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌های رنگ‌رزی شده به روش فراصوت دارای کمترین میزان روشنایی هستند که نشان‌دهنده بیشترین عمق رنگی در این نمونه‌هاست. میزان روشنایی در نمونه‌های UU، با افزایش زمان و دمای رنگ‌رزی کاهش یافته که نشان می‌دهد بیشترین عمق رنگی در این شرایط (زمان ۶۰ دقیقه و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) به دست آمده است. همچنین نمونه‌های UU دارای بیشترین میزان قرمزی، زردی و خلوص رنگی هستند که بیشترین مقادیر در شرایط (زمان ۶۰ دقیقه و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) مشاهده می‌شود. بدین ترتیب، تأثیر امواج فراصوت در افزایش شدت رنگی نمونه‌ها با توجه به خصوصیات رنگی نمونه‌های رنگ‌رزی شده به کمک امواج فراصوت مشاهده می‌شود.

به منظور بررسی تأثیر امواج فراصوت در فرایند رنگ‌رزی، میزان بهره‌وری روش فراصوت در رنگ‌رزی نسبت به روش معمول در دو حالت UC و UU محاسبه شده است. میزان بهره‌وری UU نسبت به UC در شرایط مطلوب آورده شده در جدول ۲ برابر با ۱۳/۷۷٪ بوده است.

بدین ترتیب، اثرات مفید استفاده از امواج فراصوت در فرایند رنگ‌رزی شامل جنبه‌های مختلف مکانیکی مثل گاززدایی از لیف، تحریک و به تلاطم در آوردن محلول رنگ‌زا، پخش سریع رنگ درون لیف و شکستن تجمع مولکول‌های رنگ‌زاست که سبب نفوذ بیشتر رنگ‌زا به داخل لیف و شدت یافتن عمق رنگی حاصله می‌شود. نتایج اندازه‌گیری ثبات نمونه‌ها نشان می‌دهد که ثبات نمونه‌ها در هر دو روش متوسط تا خوب بوده است.

نتایج حاصل از آنالیز SEM نیز این موضوع را به وضوح ارائه می‌دهند. ایجاد نوعی فرسایش سطحی و تخریب فلس‌ها در سطح لیف که سبب نفوذ بیشتر رنگ‌زا به داخل لیف شده و قدرت رنگی را افزایش می‌دهد، از اثرات پدیدهٔ کاویتاسیون شمرده می‌شود که در تصاویر SEM دیده می‌شود.

در نگاهی کلی به نتایج حاصل از این پژوهش، بایستی به برتری انجام فرایندهای عصاره‌گیری و رنگ‌رزی با امواج فراصوت نسبت به روش معمول از نظر بهره‌وری از منابع و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش غلظت رنگ‌زای مصرفی در حمام رنگ‌رزی و پساب همراه با افزایش قابل توجهی در بازدهی رنگ‌رزی و مشخصات رنگی، کاهش آلودگی پساب‌ها، بهبود بهره‌وری و کیفیت محصول تولیدی، به حداقل رساندن آسیب به الیاف در فرایند رنگ‌رزی، جایگزینی بی‌خطر و سازگار با محیط‌زیست در مقابل روش‌های سنتی اشاره داشت که موجب ایجاد رقابت در صنعت نیز می‌شود.

جدول ۱۲. شرایط مطلوب حاصله در فرایند رنگرزی

زمان (دقیقه)	دما (درجه سانتی گراد)	شرایط
		حالت رنگرزی
۶۰	۷۵	UU
۶۰	۷۵	UC
۶۰	۷۵	CC

(منبع: نگارندگان)

■ منبع مالی

این مقاله در قالب پایان نامه و تحت حمایت دانشگاه کاشان انجام پذیرفته است.

پیشنهاد می شود تأثیر حضور دندان در رنگرزی الیاف پشم با رنگزای پوست گردو تحت امواج فراصوت مورد بررسی قرار بگیرد.

■ پیشنهادات

از آنجایی که پوست گردو از دسته گیاهان تانن دار است، لذا در این پروژه عملیات رنگرزی بر روی الیاف پشم بدون دندان انجام شده است. بدین ترتیب،

■ پی نوشتها

1. Ultrasound
2. Cavitation
3. Juglone
4. Kubelka – Munk equation

■ فهرست منابع

- اکبری، احمد (۱۳۹۱)، رنگرزی الیاف پروتئینی با رنگینه های شیمیایی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه کاشان، کاشان.
- D. Jadhav, P.R. Gogate, V.K. Rathod, Extraction of vanillin from vanilla pods: A comparison study of conventional soxhlet and ultrasound assisted extraction, *Journal of food engineering*, 93 (2009) 421-426.
- Z. Lianfu, L. Zelong, Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes, *Ultrasonics Sonochemistry*, 15 (2008) 731-737.
- C. Da Porto, D. Decorti, Ultrasound-assisted extraction coupled with under vacuum distillation of flavour compounds from spearmint (carvone-rich) plants: Comparison with conventional hydrodistillation, *Ultrasonics sonochemistry*, 16 (2009) 795-799.
- M.K. Khan, M. Abert-Vian, A.S. Fabiano-Tixier, O. Dangles, F. Chemat, Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel, *Food Chemistry*, 119 (2010) 851-858.
- A.C. Kimbaris, N.G. Siatis, D.J. Daferera, P.A. Tarantilis, C.S. Pappas, M.G. Polissiou, Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic



(*Allium sativum*), *Ultrasonics sonochemistry*, 13 (2006) 54-60.

- F. Adjé, Y.F. Lozano, P. Lozano, A. Adima, F. Chemat, E.M. Gaydou, Optimization of anthocyanin, flavonol and phenolic acid extractions from *Delonix regia* tree flowers using ultrasound-assisted water extraction, *Industrial crops and products*, 32 (2010) 439-444.

- S. Shirsath, S. Sonawane, P. Gogate, Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—a review of current status, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 53 (2012) 10-23.

- Vankar, P.S. et al. *Sonicator dyeing of natural polymers with *Symplocos spicata* by metal chelation*. *Fibers and Polymers*, 2008. 9(2): p. 121-127.

[10] Vankar, P.S. and R. Shanker, *Ecofriendly ultrasonic natural dyeing of cotton fabric with enzyme pretreatments*. *Desalination*, 2008. 230(1): p. 62-69.

- Mansour, H.F. and S. Heffernan, *Environmental aspects on dyeing silk fabric with *sticta coronata* lichen using ultrasonic energy and mild mordants*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2011. 13(1): p. 207-213.

- I. Oliveira, A. Sousa, I.C. Ferreira, A. Bento, L. Estevinho, J.A. Pereira, Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks, *Food and chemical toxicology*, 46 (2008) 2326-2331.

- M. Carvalho, P.J. Ferreira, V.S. Mendes, R. Silva, J.A. Pereira, C. Jerónimo, B.M. Silva, Human cancer cell antiproliferative and antioxidant activities of *Juglans regia* L., *Food and chemical toxicology*, 48 (2010) 441-447.

- S.R. Vardhini, Evaluating the Binding Affinity of Juglone on Ikms- An In Silico Approach, *Bioinformatics and Comparative Genomics*, 1 (2014) 1-2.

- K.J. Anderson, S.S. Teuber, A. Gobeille, P. Cremin, A.L. Waterhouse, F.M. Steinberg, Walnut polyphenolics inhibit in vitro human plasma and LDL oxidation, *The Journal of nutrition*, 131 (2001) 2837-2842.

- C. Popovici, L. Gîtin, P. Alexe, Characterization of walnut (*Juglans regia* L.) green husk extract obtained by supercritical carbon dioxide fluid extraction. *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies* 1 (2012): 5-9.

- A. kale, S. gaikwad, V. adsu, N. deshpande, J. salvekar, Quantification of a phytotoxin from walnut species by hptlc method, *International Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 5 (2013).

- M. Kamel, R.M. El-Shishtawy, B. Yussef, H. Mashaly, Ultrasonic assisted dyeing: III. Dyeing of wool with lac as a natural dye, *Dyes and Pigments*, 65 (2005) 103-110.

- N. Ratasuk, Redox functional groups of humic substances, University of Oklahoma, 2004.

- Kamel, M. et al. *Ultrasonic dyeing of cationized cotton fabric with natural dye*. Part 1: Cationization of cotton using Solfix E. *Ultrasonics sonochemistry*, 2009. 16(2): p. 243-249

