

Study on the Effect of Different Non-ionic Surfactants on the Efficiency of the Extraction Process of Natural Dyes Using the Ultrasonic Method and Dyeing Characteristics of Wool Yarn

Mousa Sadeghi-Kiakhani^{1,2*}, Ali R. Tehrani-Bagha³, Razieh Aladpoosh¹, Elaheh Hashemi⁴

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

2- International Scientific Studies and Cooperation Center of the Ministry of Science, Research and Technology

3- School of Chemical Engineering, Aalto University, Espoo 02150-Finland

4- Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Shahid Rajaee teacher training university, P.O. Box: 16785-163, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 24-02-2023

Accepted: 27-05-2023

Available online: 20-09-2023

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1402.17.2.4.5

Keywords:

Extraction

Natural dye

Surfactant

Ultrasound

Dyeing

Wool yarn

ABSTRACT

The extraction process is very important in separating and purifying dye components from the natural plants. Various extraction methods have been used to obtain valuable natural compounds. Compared to the traditional extraction method, each has advantages, including less solvent consumption, shorter time, and less environmental pollution. This research studied the effect of non-ionic surfactants at various initial concentrations in extracting natural colorants from madder, weld, and walnut. The results showed that using surfactants improved the amount of extracted colored compounds in the extraction process. The efficiency of the extraction process in the presence of each surfactant is diverse due to the different color compounds in each colorant used. The extraction process of weld natural dye has been improved by 60 % in the presence of Keol surfactant. Also, the color strength of dyed wool yarns in the presence of surfactants has increased by 30-44 % compared to the control dyed sample (without surfactants). The results of this research clearly show that it is possible to use non-ionic surfactants to improve the extraction efficiency, color strength, and better leveling of the natural dyes on the wool yarn.

*Corresponding author: * sadeghi-mo@icrc.ac.ir





بررسی اثر مواد سطح فعال غیر یونی بر کارایی فرآیند استخراج مواد رنگزای طبیعی با استفاده از روش فراصوت و خصوصیات رنگی نخ پشمی

موسی صادقی کیاخانی^{۱*}، علیرضا تهرانی بقا^۲، راضیه آلاپوش^۳، الهه هاشمی^۵

۱- دانشیار، پژوهشکده مواد رنگزا، گروه مواد رنگزای آلی، پژوهشگاه رنگ، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

۲- مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم تحقیقات و فناوری

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آلتو فنلاند، صندوق پستی: اسپو ۰۲۱۵۰

۴- دکترا، پژوهشکده مواد رنگزا، گروه مواد رنگزای آلی، پژوهشگاه رنگ، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

۵- استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی، صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵

چکیده

فرآیند استخراج در جداسازی و خالص‌سازی اجزای موجود در گیاهان بسیار بااهمیت است. برای حصول ترکیب‌های طبیعی باارزش، روش‌های استخراج مختلفی مطرح شده است که هرکدام از آنها نسبت به روش سنتی استخراج، با توجه به مصرف حلال کمتر، زمان کوتاه‌تر و آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند. در این پژوهش، تأثیر مواد سطح‌فعال غیر یونی با غلظت‌های مختلف در استخراج رنگزاهای طبیعی روناس، اسپرک و پوست‌گردو به روش فراصوت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از مواد سطح‌فعال میزان استخراج ترکیبات رنگی موجود در رنگزاهای ذکر شده را بهبود داد. از آنجاکه ترکیبات رنگی موجود در هر یک از گیاهان رنگی مورد استفاده متفاوت است، بازده استخراج در حضور هرکدام از سطح‌فعال‌ها، متفاوت است. بطوریکه در رنگزای اسپرک در حضور سطح فعال Keol، فرآیند استخراج به مقدار ۶۰ درصد فرآیند استخراج بهبود یافته است. همچنین، قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگ شده در حضور سطح‌فعال‌ها نسبت به نمونه رنگ شده شاهد (بدون سطح فعال) بین ۳۰ تا ۴۴ درصد افزایش یافته است. نتایج این تحقیق بخوبی نشان می‌دهد که می‌توان از مواد فعال سطحی غیر یونی برای بهبود فرآیند استخراج رنگزاهای طبیعی و میزان رنگزای جذب شده به صورت یکنواخت بر روی نخ‌های پشمی استفاده کرد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۲۶

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۲/۶/۲۹

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1402.17.2.4.5

واژه‌های کلیدی:

استخراج

رنگزای طبیعی

مواد سطح‌فعال

فراصوت

رنگرزی

نخ پشمی



۱- مقدمه

استفاده گسترده از رنگزاهای مصنوعی در صنایع مختلف می‌تواند یکی از اجزای اصلی آلودگی‌های محیطی باشد (۱). سالانه حدود ۸۵۰۰ میلیون تن پساب رنگی در سرتاسر جهان تخلیه می‌شود که ۵۵ درصد آنها بدون تصفیه وارد منابع آبی می‌شوند. این غلظت بالای ماده رنگی مانع از ورود نور به اعماق آب شده، محیط آبی را مختل کرده، بر فعالیت فتوسنتزی آبزیان تأثیر می‌گذارد، کیفیت آب را کاهش می‌دهد و تهدیدی برای زمین‌های کشاورزی و حیات دریایی هستند (۲، ۱). این آلاینده‌ها حاوی اجزای غیرقابل تجزیه‌زیستی و سرطان‌زا هستند و برای تصفیه آنها به مقدار قابل توجهی هزینه، زمان و عملیات نیاز است (۴، ۳).

تولیدکنندگان در تمام بخش‌ها، از جمله نساجی، مواد غذایی، دارویی و لوازم آرایشی و بهداشتی در تلاش هستند تا محصولات سبز و پایدار تولید کنند (۵). ارتقاء استانداردهای زندگی و افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان سبب شده‌است تا رنگزاهای طبیعی به عنوان محصولات پایدار و ایمن به عنوان جایگزین رنگزاهای شیمیایی مورد توجه واقع شوند. از مزایای رنگزاهای طبیعی می‌توان به عوارض جانبی کم، ضریب ایمنی بالا، زیست تخریب‌پذیر و سازگار با محیط‌زیست، خواص عملکردی مانند خاصیت ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضد میکروبی و همچنین ضد اکسید شونده اشاره کرد (۲). به علاوه اینکه، برخی از رنگزاهای طبیعی در صنعت نساجی سایه‌های رنگی روشن‌تر، بهتر، سریع‌تر، درخشان‌تر، جذاب‌تر، ملایم‌تر و همچنین ویژگی‌های دافع حشرات دارند (۷-۵).

اولین مرحله برای جدا کردن ترکیب‌های طبیعی مورد نظر از منابع طبیعی، استخراج است. در استخراج معمولاً مواد موثره مورد نظر با استفاده از محیط حاوی حلال‌های مختلف طی مدت زمان خاصی بدست می‌آیند. معمولاً به روش سنتی از حلال آب در دمای جوش به مدت طولانی برای انجام فرآیند استخراج استفاده می‌شود که در بسیاری موارد کارایی فرآیند استخراج با توجه به حرارت، انرژی و زمانی که بکار می‌رود، پایین است (۹، ۸). به طور کلی، در فرآیند استخراج، حلال به ماتریس منبع حاوی ماده موثره نفوذ می‌کند و ترکیب‌های موثره از منبع رنگی جدا شده و وارد فاز حلال می‌شوند. ترکیب‌های موثره داخل فاز حلالی پخش می‌شود و در نهایت مواد استخراج شده جمع‌آوری می‌شود. نکته قابل توجه این است که روش استخراج، نوع و قطبیت حلال مورد استفاده، اندازه ذرات منبع حاوی ماده موثره، مقدار حلال، دمای استخراج و pH، از جمله عواملی هستند که بر بازده استخراج تأثیر می‌گذارند (۱۱، ۱۰). حلال‌هایی با قطبیت نزدیک به قطبیت ترکیب‌های موثره بهتر عمل می‌کنند و هرچه اندازه ذرات منبع رنگی کوچک‌تر باشد، فرآیند استخراج بهتر انجام می‌شود. به هر حال، اندازه بسیار ریز ذرات در مرحله فیلتر

کردن مشکل ایجاد می‌کند. علیرغم اینکه درجه حرارت بالا باعث افزایش حلالیت و پخش شدن مواد موثره می‌شود، ممکن است افزایش بیش از حد آن باعث تجزیه اجزای حساس به حرارت موجود در مواد موثره شود که نامطلوب است و به ناچار باید از روش‌هایی استفاده کرد که فرآیند استخراج با کمک آنها در دمای کمتر انجام شود (۱۳، ۱۲). از آنجا که گیاهان و ترکیبات موثره آنها هر یک دارای ساختار شیمیایی متفاوتی هستند، بهترین روش و شرایط در هر گیاه متفاوت بوده و یافتن روش‌هایی که بتوان بیشترین ماده موثره را با حداقل تخریب و مواد ناخالص بدست آورد، بسیار بااهمیت است. در این میان روشی مطلوب است که ساده، کم‌هزینه و سریع باشد و حلال‌های آلی بکار رفته را در کمترین مقدار مصرف نماید و علاوه بر بازده، گزینش‌پذیری و تکرارپذیری بالایی داشته باشد.

به منظور بهبود کارایی فرآیند استخراج از روش‌های مختلفی برای جدا کردن مواد موثر موجود در منابع طبیعی استفاده می‌شود که می‌توان به بعضی از روش‌های مدرن مانند استخراج مایعات فوق‌العاده بحرانی (SFC)، استخراج مایع تحت فشار (PLE)، استخراج به روش فراصوت (UAE) و استخراج با کمک مایکروویو (MAE) اشاره کرد؛ که سبز بودن این روش‌ها، مصرف پایین‌تر حلال و زمان کوتاه‌تر فرآیند از جمله مزایای آنهاست (۱۵، ۱۴). روش‌های جدید استخراج مانند استفاده از امواج فراصوت، پرتو فرابنفش، تابش مایکروویو و پرتو گاما با بهبود جذب رنگ در فاز مائی جزو روش‌های استخراج سبز محسوب می‌شوند (۱۷، ۱۶). تابش فراصوت با ایجاد دو پدیده حفره‌زایی و گرمایش می‌تواند فرآیند استخراج را افزایش دهد. دما و فشار در حباب‌های ریز در لحظه متلاشی شدن ممکن است تا ۵۰۰۰ کلوین و ۵۰۰۰ اتمسفر بالا رود، ایجاد این نقاط داغ می‌تواند بطور چشم‌گیری فرآیند استخراج را تسریع بخشد. فشار و دمای بالای به کار گرفته شده در این فرآیند، دیواره‌های سلولی ماتریس گیاهی را تخریب کرده و محتوای آنها را در محیط آزاد خواهد کرد. برخلاف روش‌های مرسوم، امواج صوتی باعث انهدام دیواره سلولی در مدت زمان کوتاه شده و عصاره گیاهی در طول دیواره سلولی انتشار می‌یابد. مشخصات گیاهی مثل میزان رطوبت، اندازه ذرات و نوع حلال مورد استفاده، به منظور به دست آوردن استخراج کارآمد و موثر مهم هستند. به علاوه عوامل زیادی شامل فرکانس، فشار، دما و زمان، کارکرد امواج صوتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۰، ۱۸).

مواد سطح‌فعال ترکیبات آلی هستند که از دو بخش شیمیایی با قطبیت‌های مختلف تشکیل شده‌اند، یک گروه در سر با میل ترکیبی به فازهای قطبی و یک گروه انتهایی که جذب فازهای غیرقطبی می‌شوند. مواد فعال سطحی معمولاً به عنوان تعلیق‌کننده، پراکنش‌کننده، شوینده، مواد ضد میکروبی، نرم‌کننده و پخش‌کننده در فرآیندهای نساجی از قبیل رنگ‌رزی، چاپ و تکمیل منسوجات به کار می‌روند (۲۱، ۲۰). به دلیل منحصر به فرد بودن در ساختار، سطح‌فعال‌ها

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

سه نوع سطح فعال غیر یونی با مشخصات جدول ۱ از شرکت کیمیاگران امروز تهیه شد. رنگزاهای طبیعی اسپرک، روناس و پوست گردو از بازار محلی تبریز تهیه شدند و به شکل پودر در فرآیند عصاره گیری مورد استفاده قرار گرفت. از آب مقطر به عنوان حلال در روش استخراج استفاده شد. جذب محلول های رنگی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر CECIL 9200 دو پرتوی اندازه گیری شد. همچنین مشخصات رنگی الیاف پشمی رنگزی شده با عصاره گیاهی توسط دستگاه طیف سنج انعکاسی HunterLab MiniScan EZ Model Number 4500L مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲- تعیین CMC مواد سطح فعال انتخابی

برای اندازه گیری غلظت CMC مواد سطح فعال مورد استفاده، از روش اندازه گیری کشش سطحی (روش حلقه پلاتینی) استفاده شد. برای این منظور، غلظت های مختلفی از هر یک از سطح فعال ها تهیه شد (۰.۰۱-۱ گرم بر لیتر) و کشش سطحی آنها با استفاده از دستگاه Kruss K100MK2 ساخت کشور آلمان اندازه گیری و گزارش شد. در نهایت، مقدار CMC از تلاقی شیب خط هایی که در شکل ۱ آورده شده است، تعیین شد.

به طور گسترده ای برای کاهش کشش بین سطحی دو یا چند فاز مورد استفاده قرار می گیرند. تمایل آنها به ایجاد ساختارهای خود-تجمعی^۱ درون محلول سبب تشکیل میسل ها^۲ با قطرهای مختلف در محدوده نانو تا میکرو می شود (۲۲) تشکیل میسل در غلظت بسیار کم سطح فعال رخ می دهد که باعث کاهش انرژی آزاد سیستم می شود. میسل ها همچنین برای افزایش حلالیت موادی که معمولاً در محیط نامحلول یا کم محلول هستند، استفاده می شوند (۲۳).

تاکنون مطالعات محدودی در مورد اثر مواد فعال سطحی مختلف بر روی انحلال مواد رنگزا در آب مورد بررسی قرار گرفته است (۲۲، ۲۳). در این پژوهش اثر مواد سطح فعال غیر یونی در استخراج رنگزای طبیعی اسپرک، روناس و پوست گردو به روش فراصوت مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور سه نوع سطح فعال غیر یونی با نام های تجاری Kenon حاوی نونیل فنل اتوکسیله شده، Keol حاوی اولئیک اسید اتوکسیله شده و Tween حاوی پلی سوربات اتوکسیله شده انتخاب شد. CMC^۳ (غلظت بحرانی میسل)، هریک از سطح فعال ها به روش کشش سطحی اندازه گیری شد و در فرآیند استخراج به روش فراصوت در غلظت های مختلف استفاده شدند. میزان اثر آنها در فرآیند استخراج هریک از رنگزاهای به روش جذب سنجی با استفاده از دستگاه طیف سنج UV-Visible اندازه گیری شد. همچنین، خصوصیات رنگی و ثباتی نخ پشمی رنگزی شده با عصاره های رنگی تعیین شد.

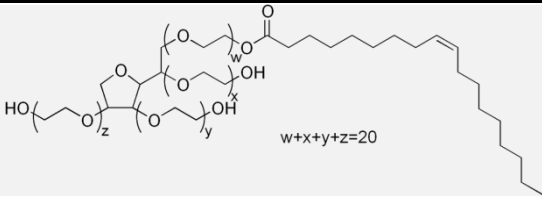
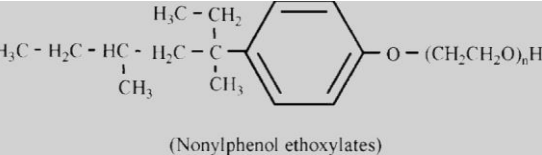

1- Self-assembled structures

2- Micelles

3- Critical micelle concentration

جدول ۱: مشخصات سطح فعال های غیر یونی.

Table 1: Characteristic of non-ionic surfactants.

| Details | Chemical structure | Trade name | Chemical name |
|-------------|---|------------|--|
| HLB=15-16 |  | Tween 20 | Sorbitan Ester Polyethylene Glycol Ether |
| HLB=13.3-14 |  | Kenon 10 | Nonylphenol polyethylene Glycol Ether |
| HLB=11.6 |  | Keol 9 | Oleic Acid Polyethylene Glycol Ester |

۵-۲- ثبات رنگی

ثبات شستشویی نمونه‌های رنگزای شده بر اساس استاندارد ملی ایران ISIRI ۱۰۰۷۶ بررسی شد. نمونه‌های رنگزای شده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آبی حاوی شوینده استاندارد با L:G = ۵۰:۱ شسته شدند و با استفاده از معیار خاکستری مورد ارزیابی قرار گرفتند.

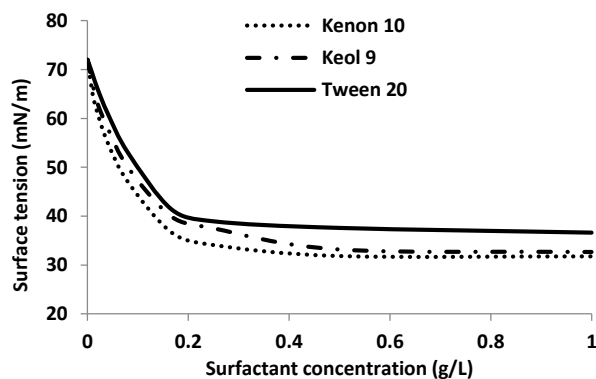
برای بررسی ثبات نوری نمونه‌های رنگزای شده از استاندارد ملی ایران ISIRI ۲۰۵ استفاده شد. نیمی از نمونه‌ها پوشانده شده، بطوریکه در برابر نور محافظت شود و در داخل دستگاه ثبات نوری قرار گرفتند. سپس اختلاف بین دو قسمت نمونه (نور دیده و نور ندیده) با استفاده از معیار آبی مورد ارزیابی قرار گرفت.

قابل ذکر است که اندازه‌گیری‌های جذب‌سنجی و قدرت رنگی هرکدام سه بار تکرار شد و میانگین آنها در نتایج آورده شده است و به لحاظ تحلیل آماری انحراف استاندارد نسبی، کمتر از ۴ درصد بود.

۳- نتایج و بحث

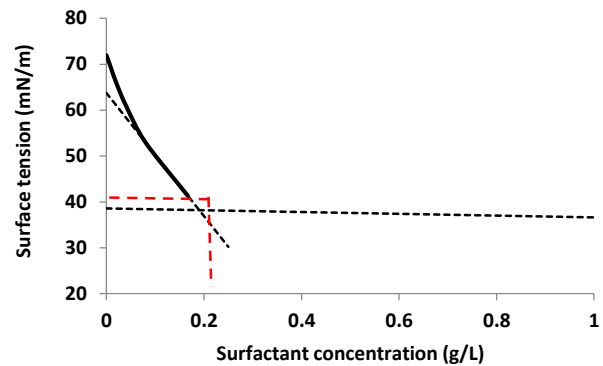
۳-۱- اندازه‌گیری غلظت بحرانی میسلی به روش کشش سطحی

مواد فعال سطحی برای بهبود خیس‌شوندگی، انحلال و پراکندگی مواد رنگزا، نقش مهمی دارند که در آنها غلظت بحرانی میسلی پارامتر مهمی است و تأثیر زیادی بر کارایی سطح فعال دارد. در غلظت‌های کم سطح فعال، مولکول‌ها و زنجیرهای سطح فعال به حالت پراکنده وجود دارند و کشش سطحی به مقدار کمی کاهش می‌یابد. از این‌رو، افزایش مقدار بیشتر سطح فعال سبب تشکیل حالت میسلی شدن سطح فعال شده و کاهش بیشتر در مقدار کشش سطحی اتفاق می‌افتد. در حالی که، در غلظت‌های بالاتر از نقطه CMC، دیگر کاهش یا افزایش در کشش سطحی اتفاق نمی‌افتد (شکل ۳) [۲۲، ۲۳]. مقادیر CMC سطح فعال‌های مورد استفاده که به روش اندازه‌گیری کشش سطحی مشخص شد، در جدول ۲ آورده نشان داده شده‌است.



شکل ۳: تعیین غلظت CMC مواد سطح فعال به روش اندازه‌گیری کشش سطحی.

Figure 3: Determination of surfactants CMC via measuring surface tension.



شکل ۱: روش محاسبه مقدار CMC سطح فعال‌های مورد استفاده.

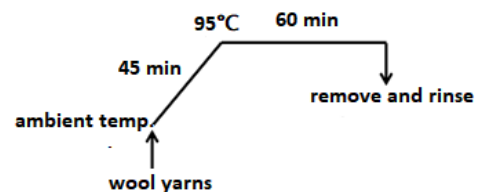
Figure 1: The method of calculating the CMC value of the used surfactants.

۳-۲- روش استخراج

فرآیند استخراج رنگزای طبیعی به روش فراصوت و با استفاده از مواد سطح فعال غیر یونی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ۰.۵ گرم از پودر گیاه خشک شده به همراه سطح فعال غیر یونی درون حمام استخراج با نسبت ۱:۱۰۰، تحت امواج فراصوت به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط عمل شد. محلول رنگی تهیه شده با استفاده از کاغذ صافی فیلتر و سپس جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مواد سطح فعال در سه غلظت متفاوت ۱، ۵ و ۱۰ درصد برحسب وزن رنگزا به کار برده شد. برای بررسی اثر حضور سطح فعال غیر یونی در حمام استخراج، عصاره‌گیری رنگزاهای طبیعی به تنهایی با شرایط یکسان به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد.

۴-۲- رنگزای کالای پشمی با استفاده از عصاره رنگزا

ابتدا برای از بین بردن ناخالصی‌های سطحی، کالای پشمی با ۵ g/l شوینده غیر یونی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با L:G = ۴۰:۱ به مدت ۳۰ دقیقه شستشو، سپس به خوبی آبکشی و در دمای محیط خشک شد. رنگزای کلاف‌های پشمی ۱ گرمی با استفاده از عصاره‌های بدست آمده انجام شد. گراف رنگزای در شکل ۲ نشان داده شده‌است. مقادیر مختلف از عصاره مصرفی برحسب وزن کالا و L:G = ۴۰:۱ در نظر گرفته شد.



شکل ۲: نمودار رنگزای کالای پشمی.

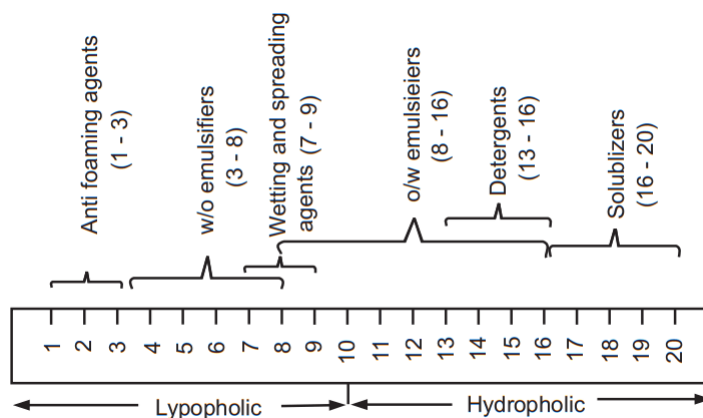
Figure 2: Diagram of dyeing wool yarns

بسیاری در این زمینه انجام شده است (۱۸، ۱۴). در میان حالت‌های مختلف ایجاد حفره زایی، حفره زایی‌های صوتی و هیدرودینامیکی به دلیل سهولت کار و ایجاد شدت‌های مورد نیاز شرایط حفره‌ای، برای انجام فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلف، اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۹). بهبود بازده فرآیند استخراج با استفاده از امواج فراصوت را می‌توان ناشی از انتشار امواج فراصوت درون حلال و پدیده حفره‌زایی دانست. کنترل مکانیزم استخراج به کمک امواج فراصوت به طور کلی به اثرات مکانیکی و حرارتی حفره‌زایی نسبت داده می‌شود که می‌تواند منجر به اختلال در دیواره سلولی، کاهش اندازه ذرات و افزایش انتقال جرم شود. به نظر می‌رسد که استفاده از امواج فراصوت و حفره‌زایی ناشی از آن با ایجاد اختلال در دیواره سلولی سبب افزایش نفوذپذیری بافت‌های گیاهی شده و ورود حلال به قسمت‌های داخلی را تسهیل می‌کند و در نتیجه، عملکرد را در زمان کوتاه‌تری افزایش می‌دهد (۲۰، ۱۹).

۳-۲-۱- اسپرک

اسپرک با نام علمی *Reseda luteola* یکی از مهم‌ترین مواد رنگزای زرد طبیعی است و در صنعت فرش دستبافت در رنگرزی الیاف پروتئینی به کار برده می‌شود. این ماده رنگزای طبیعی در کتاب مرجع رنگ^۱ با عنوان C.I.NATURAL YELLOW 2، شماره ۷۵۵۹۰ و ۷۵۵۸۰ معرفی شده است (۳). مواد اصلی موجود در رنگزای اسپرک لوتئولین^۲ و آپیزنین^۳ به ترتیب با فرمول مولکولی $C_{15}H_{10}O_6$ و $C_{15}H_{10}O_5$ است که متعلق به گروه فلاونوئیدهاست و ساختار شیمیایی آنها در شکل ۵ نشان داده شده است (۴، ۳).

- 1- Color index
2 Luteolin
3 Apigenin



شکل ۴: ارزیابی و طبقه‌بندی مواد سطح فعال با استفاده از مقدار HLB (۲۵).

Figure 4: HLB scale and classification of surfactants with their functional applications (25).

جدول ۲: مقادیر CMC اندازه‌گیری شده سطح فعال‌های مورد استفاده..

Table 2: Measured CMC values of surfactants.

| Surfactant | CMC (mg/L) | HLB |
|------------|------------|------|
| Keol 9 | 32.9 | 0.15 |
| Kenon 10 | 32.5 | 0.17 |
| Tween 20 | 37.7 | 0.18 |

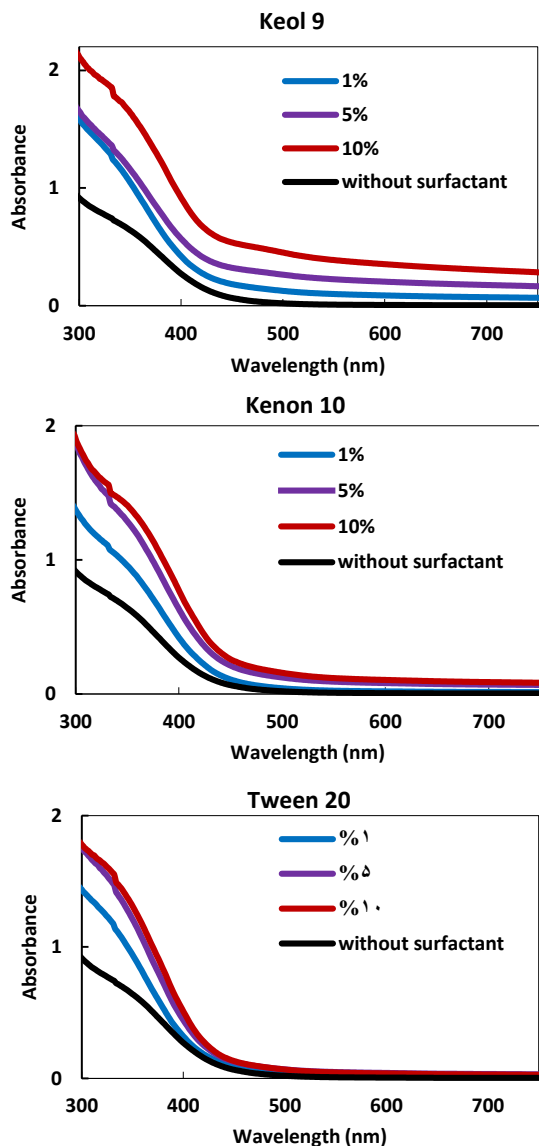
برای انتخاب مناسب‌ترین سطح فعال از نظریه توازن آب‌دوستی-چربی‌دوستی (HLB, hydrophilic-lipophilic balance) استفاده می‌شود. این نظریه بر اساس ساختار مولکولی مقدار آب‌دوستی و چربی‌دوستی ماده سطح فعال و تمایل آن به نوع امولسیون را نشان می‌دهد (۲۴). سطح فعال‌ها براساس تمایل به آب یا روغن با استفاده از روش HLB طبقه بندی می‌شوند. اگر در یک مولکول سطح فعال، تعداد کمی گروه‌های آب‌دوست وجود داشته باشد، عدد HLB آن در محدوده ۳-۶ است [۲۲، ۲۳]. این سطح فعال‌ها غیرقطبی بوده و بیشتر به سمت فاز روغن گرایش دارند و امولسیون‌های (روغن در آب) O/W را تثبیت می‌کنند. اگر در یک مولکول سطح فعال، تعداد زیادی گروه‌های آب‌دوست وجود داشته باشد، عدد HLB در محدوده ۸-۱۸ است (شکل ۴). این سطح فعال‌ها قطبی بوده، بیشتر به سمت فاز آبی گرایش دارند و موجب تثبیت امولسیون‌های (آب در روغن) W/O می‌شوند. معمولاً اعداد HLB در عوامل مرطوب کننده و شوینده به ترتیب در محدوده ۷-۹ و ۱۳-۱۵ قرار دارند.

۳-۲- استخراج رنگزاهای طبیعی در حضور سطح فعال‌های

غیر یونی

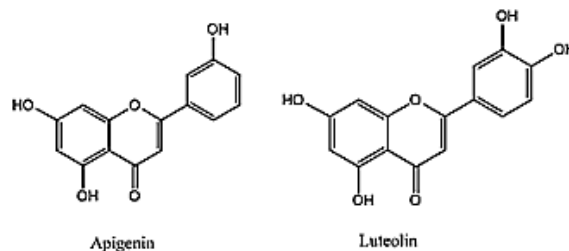
استفاده از انرژی فراصوت برای عصاره‌گیری یکی از روش‌های نوین، سازگار با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه است و تاکنون مطالعات

استخراج بهتر انجام می‌شود. همچنین، برای تعیین بهترین نوع سطح فعال غیر یونی در عصاره‌گیری رنگزای اسپرک، طیف‌های جذبی نمونه‌های مختلف در غلظت ۱۰ درصد در شکل ۷ نشان داده شده است. در حضور سطح فعال Keol، فرآیند استخراج به مقدار ۶۰ درصد و در حضور دو سطح فعال Kenon و Tween به مقدار ۵۴ درصد فرآیند استخراج بهبود یافته‌است. بنابراین می‌توان سطح فعال Keol را به عنوان سطح فعال مناسب برای انجام فرآیند استخراج رنگزای اسپرک در نظر گرفت. مقدار کمتر CMC سطح فعال Keol، می‌تواند دلیل عملکرد بهتر این سطح فعال باشد.



شکل ۶: طیف‌های جذبی رنگزای اسپرک عصاره‌گیری شده با سطح فعال‌های مختلف در مقادیر ۱، ۵ و ۱۰ درصد به روش فراصوت

Figure 6: UV-visible spectra of extracted weld with varied surfactants at concentrations of 1, 5 and 10% via ultrasound-assisted extraction method.



شکل ۵: ساختار شیمیایی فلاونوئیدهای اصلی اسپرک، لوتئولین و آپیزین (۱۰).

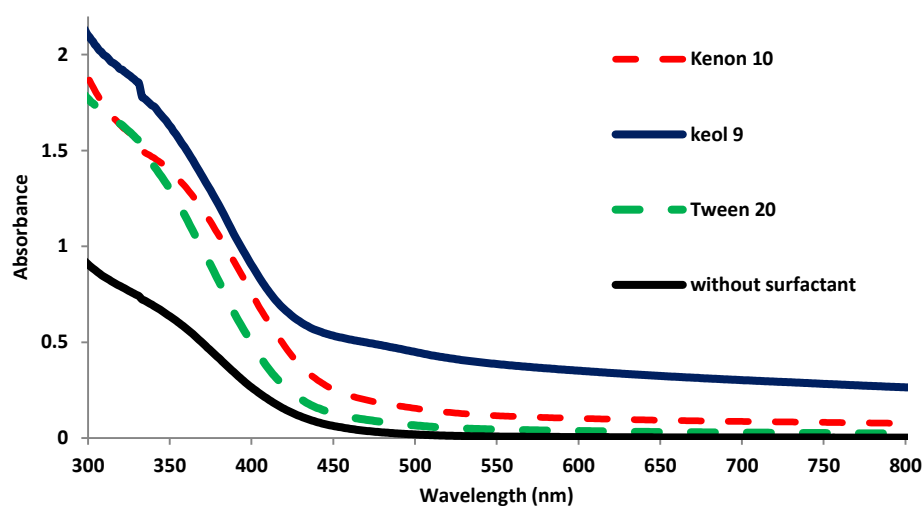
Figure 5: Chemical structure of the main flavonoids in weld, luteolin and apigenin (10).

طیف جذبی رنگزای اسپرک استخراج شده به روش فراصوت در شکل ۶ نشان داده شده‌است. طیف UV-Vis اکثر فلاونوئیدها دو نوار جذبی اصلی را نشان می‌دهد: الف) باند بنزوئیل^۱ در محدوده ۲۴۰-۲۸۵ nm (ب) باند سیناموئیل^۲ در محدوده ۳۲۰-۳۸۵ nm (۱۰). با توجه به مطالعات صورت گرفته، فلاونوئیدهای اصلی موجود در رنگزای گیاهی اسپرک دارای جذب در محدوده طول موج ۳۵۰ nm و قبل از محدوده مرئی است (۲۶، ۳۰). بر این اساس میزان جذب در طول موج ۳۵۰ nm، برای مقایسه طیف‌های جذبی مورد توجه قرار گرفت. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، فرآیند عصاره‌گیری با استفاده از روش فراصوت با بازده قابل قبولی صورت می‌گیرد. فرآیند استخراج با این رنگزا در شرایط بهینه مقدار رنگزا ۱۰ گرم بر لیتر، pH خنثی، دمای محیط و زمان ۱۵ دقیقه انجام شد. در حضور سطح فعال‌های مختلف، مقدار رنگزای استخراج شده کمی با هم فرق دارد که آن را می‌توان به تفاوت در ساختار سطح فعال، HLB و کاهش مقدار کشش سطحی ایجاد شده توسط سطح فعال‌ها نسبت داد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سطح فعال‌ها میزان جذب افزایش یافته‌است و این تغییرات با توجه به نوع سطح فعال مورد استفاده متفاوت است. ترکیباتی که بیشتر در فاز آب استخراج می‌شود گلیکوزیدها هستند که در گیاه وجود دارند. ترکیبات دیگر حلالیت کمی در آب دارند، ولی با تشکیل میسل توسط سطح فعال‌های مختلف و کاهش کشش سطحی می‌توان آنها را حل کرده و استخراج کرد.

نتایج به دست آمده از طیف‌های جذبی استخراج رنگزای اسپرک با کمک مواد سطح فعال غیر یونی در غلظت‌های مختلف نشان‌دهنده افزایش میزان جذب رنگزا برای هر سه نوع سطح فعال Keol، Kenon و Tween است (شکل ۶). با افزایش غلظت سطح فعال، شکل میسل‌ها تغییر نموده و تعدادشان افزایش می‌یابد. بنابراین مولکول‌های رنگزای بیشتری به داخل فاز مائی وارد شده و فرآیند

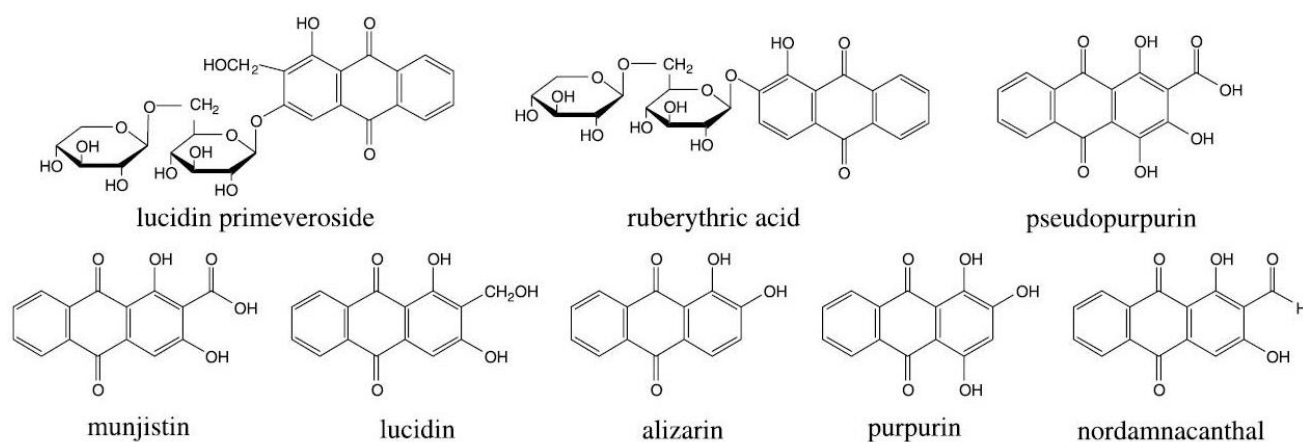
1 Benzoyl

2 Cinnamoyl



شکل ۷: طیف جذب رنگزای اسپرک استخراج شده با سطح فعال‌های مختلف در غلظت ۱۰ درصد به روش فراصوت.

Figure 7: UV-visible spectra of extracted weld with different surfactants at 10 % concentration via ultrasound-assisted extraction method.



شکل ۸: ساختار برخی ترکیبات موجود در رنگزای روناس (۱۲).

Figure 8: Chemical structure of components in madder (12).

برخی از این ترکیبات در شکل ۸ نشان داده شده است. ریشه روناس حاوی ۲ تا ۳٫۵ درصد گلیکوزیدهای دی-تری هیدروکسی آنتراکینون است، همچنین محتوای آلیزارین موجود در ریشه روناس می‌تواند بین ۶٫۱ تا ۱۱٫۸ میلی‌گرم بر گرم متغیر باشد (۵). مهم‌ترین ساختار آنتراکینونی که در ریشه روناس وجود دارد و سبب ایجاد رنگ قرمز می‌شود، آلیزارین و پورپورین است (۷). آلیزارین به عنوان جزء اصلی رنگزای روناس در نظر گرفته شده و عصاره روناس از گذشته برای رنگرزی پنبه، لینن، پشم و ابریشم مورد استفاده بوده است (۲۷).

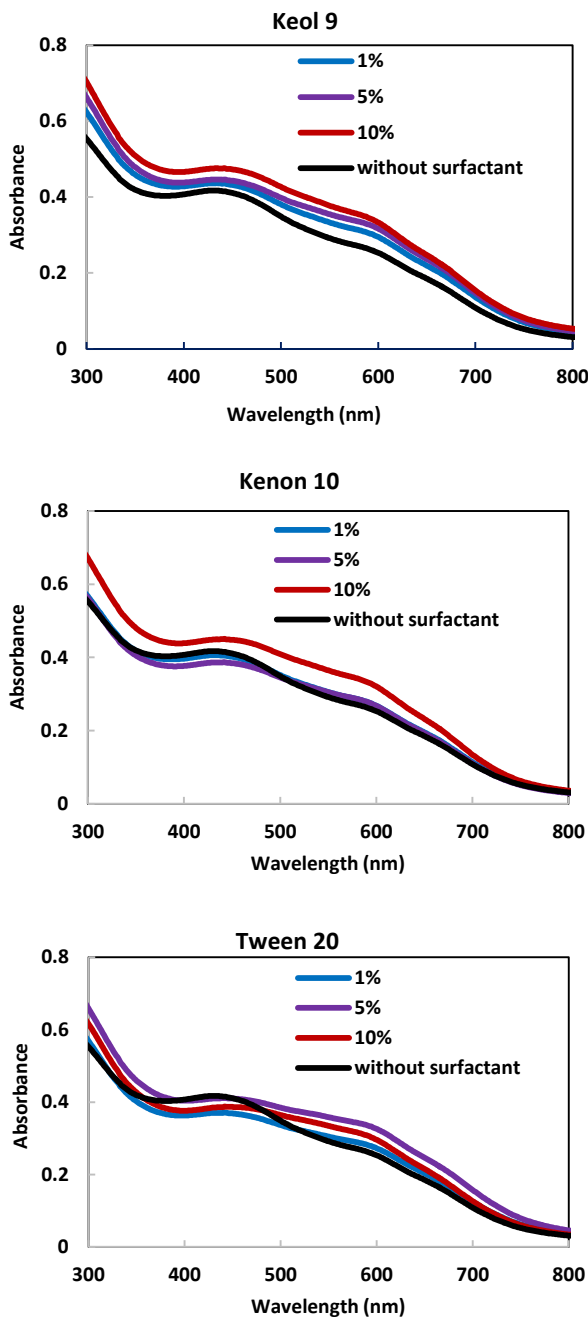
براساس مطالعات قبلی در طیف جذب رنگزای روناس، پیک

۳-۲-۲- روناس

روناس با نام علمی *Rubia tinctorum* یکی از قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین رنگ‌های طبیعی قرمز است که در رنگرزی پشم استفاده می‌شود و در شاخص رنگ با رنگزای قرمز طبیعی شماره C.I.Natural Red 8 شناخته شده است. ترکیبات موجود در رنگزای طبیعی روناس پیچیده است و شامل آلیزارین، کوئین آلیزارین^۱، منجوستین^۲، پورپورین^۳ و سایر مشتقات هیدروکسیل آنتراکینونی است (۱۱).

- 1- Quinalizarin
- 2- Munjistin
- 3- Purpurin

ساختار مولکولی ژاگلون در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۹: طیف جذبی رنگزای روناس استخراج شده با سطح فعال های مختلف در غلظت های ۱، ۵ و ۱۰ درصد به روش فراصوت.

Figure 9: UV-visible spectra of extracted madder with varied surfactants at concentrations of 1, 5 and 10 % via ultrasound-assisted extraction method.

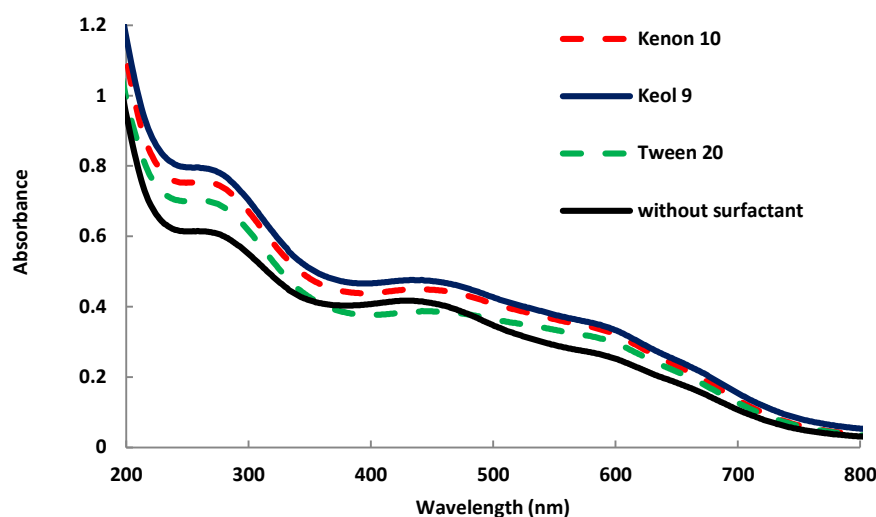
کوچکی در محدوده ۳۸۰-۳۹۰ nm گزارش شده است که احتمالاً به دلیل جذب کتو یا به طور خاص برای گروه کینون در ساختار آنتراکینون موجود در روناس حاوی آلیزارین و غیره است. به علاوه، پیک های شاخص در منطقه مرئی، مربوط به فام اصلی اجزای رنگزاست. در بسیاری از موارد، بیشتر از یک پیک در محدوده مرئی وجود دارد که نشان دهنده حضور بیش از یک جزء رنگی در ترکیب است (۱۳). میزان جذب رنگزای روناس استخراج شده با مواد سطح فعال غیر یونی مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است. به منظور بررسی میزان مواد رنگزای استخراج شده، شدت جذب در طول موج بیشینه (λ_{max}) ۴۲۰ نانومتر با یکدیگر مقایسه شد. با افزایش مقدار سطح فعال های Keol و Kenon در مقادیر جذب رنگ، بطور نسبی بهبود مشاهده می شود. در حالی که، میزان جذب برای نمونه در حضور سطح فعال Tween نسبت به نمونه شاهد تفاوتی ندارند. برای تعیین نوع سطح فعال در استخراج رنگزای روناس، طیف های جذبی مربوطه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. سطح فعال های Keol و Kenon بترتیب توانسته اند کارایی فرآیند استخراج را بترتیب به مقدار ۱۲ و ۸ درصد بهبود دهند. با توجه به نتایج بدست آمده می توان سطح فعال Keol را به عنوان سطح فعال مناسب در مقایسه با سایر سطح فعال ها در نظر گرفت.

روناس مخلوطی از رنگزایی است که معمولاً حاوی استخلاف گلوکوزیدی هستند که در آب حل شده و استخراج می شوند. وقتی سطح فعال های غیر یونی در غلظت های بالاتر از CMC استفاده می شود ترکیبات خیلی بیشتری استخراج می شوند. میسل های سطح فعالی می توانند رنگزای نامحلول در آب را هم در خود حل کرده و استخراج کنند. بنظر می رسد درصد بهبود وابسته به این است که گیاهی که برای استخراج استفاده شده حاوی چند درصد از هر یک از این ساختارهای شیمیایی است.

۳-۲-۳- پوست گردو

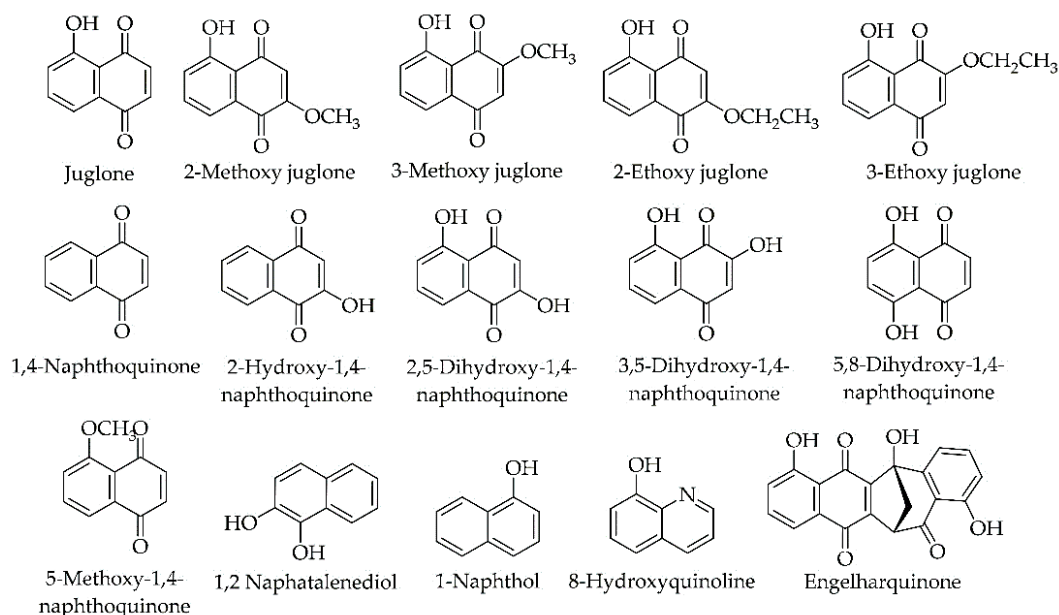
گیاه گردو با نام علمی *Juglans regia* متعلق به خانواده گردوییان^۱ بوده و در سرتاسر دنیا با بیش از ۱۵ گونه مختلف یافت می شود. پوست گردو حاوی تعداد زیادی گروه های پلی فنلی زیست فعال از جمله گالیک اسید، کافئیک اسید، کوئرستین^۲، میرستین^۳ و ژاگلون^۴ است (۱۴). ژاگلون یک ماده آلی با فرمول مولکولی $C_{10}H_6O_3$ است که به عنوان رنگ اصلی در پوسته گردو شناخته شده است (۱۵).

- 1- Juglandaceae
- 2- Quercetin
- 3- Myricetin
- 4- Juglone



شکل ۱۰: طیف جذبی رنگزای روناس استخراج شده با سطح فعال‌های مختلف در غلظت ۱۰ درصد به روش فراصوت.

Figure 10: UV-visible spectra of extracted madder with different surfactants at 10% concentration with ultrasound-assisted extraction method.



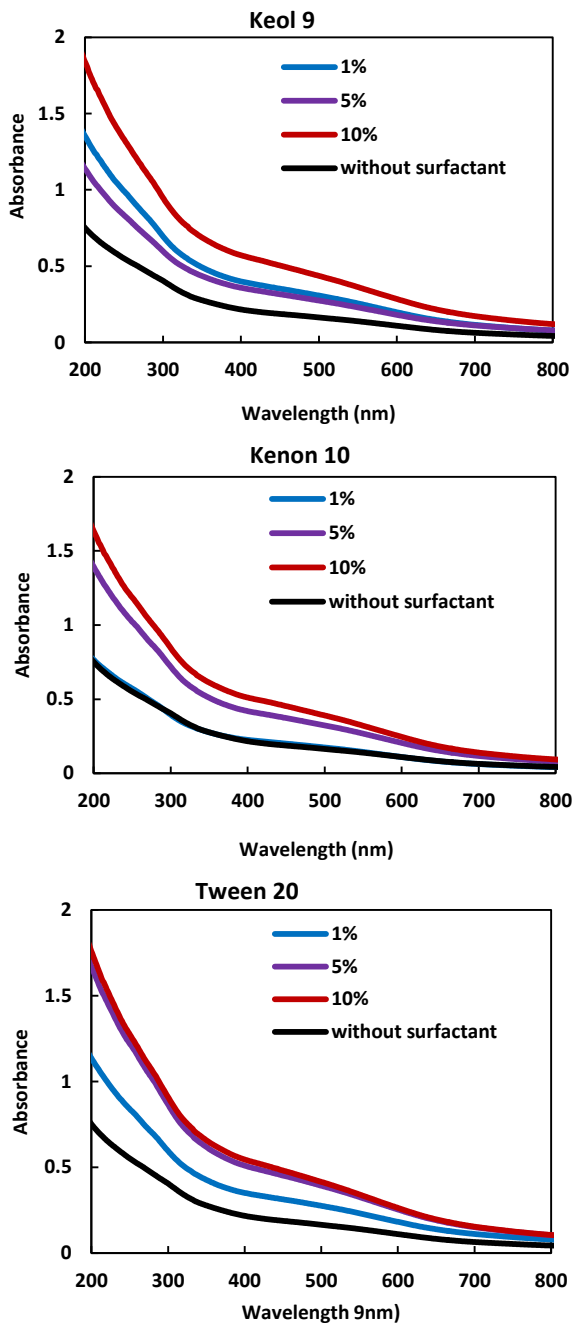
شکل ۱۱: ساختارهای شیمیایی ژاگلون و نفتوکینون‌های مختلف شناسایی شده در پوسته سبز گردو (۲۸).

Figure 11: The chemical structures of juglone and different identified, isolated, and quantified naphthoquinones in the walnut green husk (28).

تایید می‌کند. همچنین با افزایش میزان سطح فعال از ۱ به ۱۰ درصد میزان جذب نیز برای همه نمونه‌ها به مقدار ۵۹ درصد افزایش یافته است. طیف جذبی پوست گردو استخراج شده با مقدار یکسان سطح فعال (۱۰ درصد) از گروه‌های مختلف در شکل ۱۳ نشان داده شده است. استفاده از مواد سطح فعال غیر یونی بدون در نظر گرفتن نوع آنها، سبب افزایش قابل توجهی در میزان جذب محلول آبی رنگزا

طیف‌های جذبی پوست گردو عصاره‌گیری شده با کمک سطح فعال غیر یونی به روش فراصوت در شکل ۱۲ نشان داده شده است. پوست گردو دارای دو پیک اصلی در محدوده UV با طول موج‌های ۲۲۹ و ۲۸۰ نانومتر است که به انتقال‌های $\pi-\pi^*$ و $n-\pi^*$ گروه کربونیل مربوط است (۱۶). تغییر شدت جذب در محدوده ۴۰۰ نانومتر نقش قابل توجه سطح فعال را در حمام استخراج

بیشتری برای ترکیبات دیگر در خود بوجود بیاورند. در این تحقیق به نظر می‌رسد Keol در مقایسه با دو سطح فعال دیگر، ظرفیت بالاتری برای حل کردن رنگزاهای در میسل‌های خود دارد.



شکل ۱۲: طیف جذبی رنگزای پوست گردو استخراج شده با سطح فعال‌های مختلف در غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ درصد به روش فراصوت.

Figure 12: UV-visible spectra of extracted walnut with varied surfactants at concentrations of 1, 5 and 10% via ultrasound-assisted extraction method.

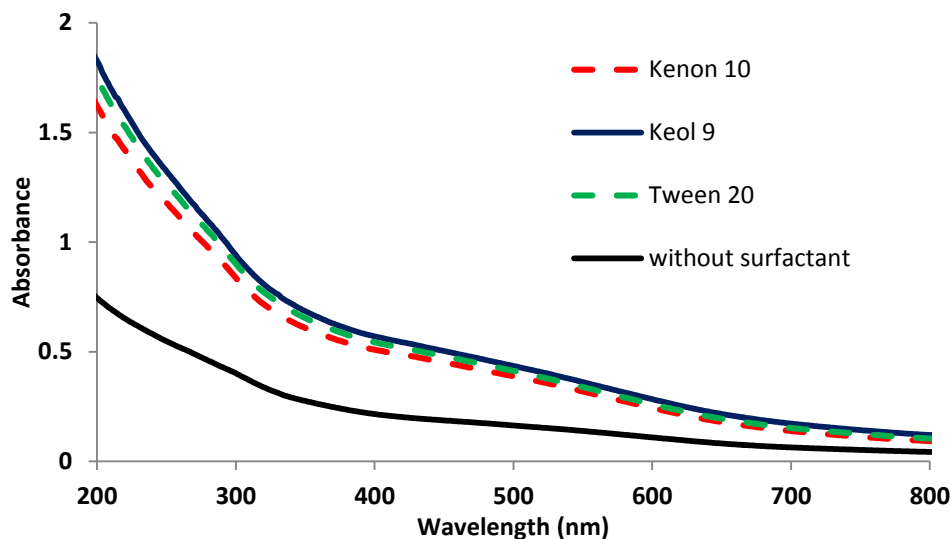
شده است. جذب نمونه‌های حاوی سطح فعال منطبق بر یکدیگر بوده و نشان‌دهنده عدم تأثیر نوع سطح فعال غیر یونی است. با توجه به نتایج بدست آمده به ترتیب بیشترین و کمترین میزان جذب مربوط به نمونه عصاره‌گیری شده با سطح فعال Keol و نمونه شاهد است. ترکیبات دارای استخلاف گلوکوزیدی حلالیت بیشتری در آب دارند و ترکیبات نامحلول‌تر می‌توانند در حضور میسل‌های سطح‌فعالی حل شده و استخراج شوند. دلیل افزایش میزان استخراج، ترکیبات متنوع‌تر و بیشتری است که در حضور سطح‌فعال‌ها آزاد می‌شوند.

به طور کلی می‌توان ذکر کرد که استفاده هم‌زمان فرآیند فراصوت و مواد سطح فعال برای استخراج رنگزا می‌تواند اثر هم‌افزایی ایجاد کند و سبب افزایش بازده عصاره‌گیری شود. به طوری که امواج فراصوت با انرژی بالا به عنوان عامل فیزیکی عمل نموده و با تخریب غشای سلولی دسترسی به مولکول‌های رنگزا را تسهیل کند. از طرفی فعل و انفعالات شیمیایی مواد سطح فعال غیر یونی با مولکول رنگزا و تشکیل میسل می‌تواند انحلال پذیری را افزایش دهد. با توجه به اینکه سطح فعال غیر یونی درون آب یونیزه نمی‌شوند و بار الکتریکی ندارند، به دلیل اینکه قسمت آبدوست آنها غالباً گروه‌های استری، فنلی و الکلی است (۲۴). همچنین ساختار رنگزاهای بکار برده شده فاقد گروه‌هایی است که بتوانند با سطح فعال ایجاد پیوندهای الکترواستاتیکی کنند، بنابراین انتظار می‌رود تنها پیوندهای هیدروژنی بین مولکول رنگزا و ماده سطح فعال برقرار شود. نتایج نشان می‌دهد که حضور سطح فعال غیر یونی Keol (با غلظت ۱۰ درصد) در حمام استخراج رنگزاهای طبیعی اسپرک، روناس و پوست گردو بیشترین میزان جذب را سبب شده است.

ساختارهای شیمیایی مواد سطح فعال در تشکیل میسل و استخراج مواد رنگزای آبریز می‌تواند نقش بسزایی را ایجاد کند. شروع قابلیت حل کردن مواد رنگزای نامحلول در آب از غلظت تشکیل میسل شروع می‌شود و هر چه غلظت سطح فعال بیشتر شود تعداد میسل بیشتری در آب وجود می‌آید که هر یک می‌تواند یک مولکول نامحلول در آب را در خود جای دهد و در آب حل کند (شکل ۱۴). هر چه طول زنجیر آبریز سطح فعال بلندتر و طول زنجیر آبدوست اکسی اتیلن آن کوتاه‌تر باشد، سطح فعال آبریز‌تر است و برعکس. بهر حال در این تحقیق مشاهده می‌شود که غلظت CMC سطح فعال‌ها خیلی به هم نزدیک هستند. بنابراین تفاوت در میزان استخراج و حل کردن مواد رنگزای آبریز در آب را باید به CPP آنها نسبت داد (۲۹). بنابراین مولکول‌های سطح فعال که میسل‌های حجیم و بزرگتری را تشکیل می‌دهند می‌توانند فضای

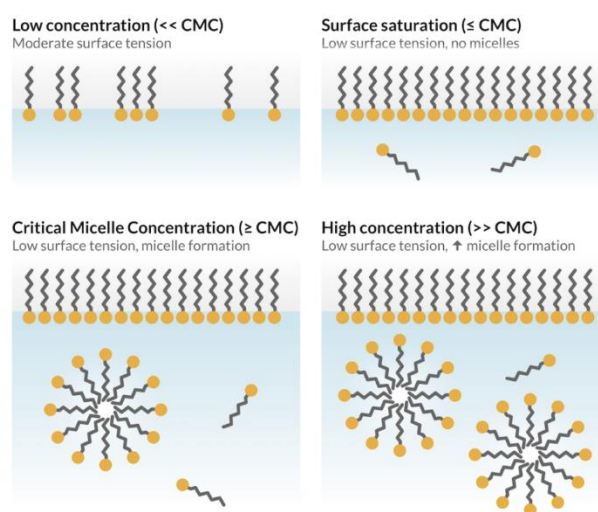
1- Critical packing parameter

یک مقیاس بدون بعد برای سطح فعال‌ها می‌باشد که در ارتباط با حجم گروه آبریز، طول گروه آبریز و گروه سر سطح فعال می‌باشد و می‌تواند شکل میسل‌های سطح فعال و حجم آن را تعیین نماید.



شکل ۱۳: طیف جذبی رنگزای پوست گردوی استخراج شده با سطح فعال‌های مختلف در غلظت ۱۰ درصد به روش فراصوت.

Figure 13: UV-visible spectra of extracted walnut with different surfactants at 10 % concentration with ultrasound-assisted extraction method.



شکل ۱۴: ارتباط غلظت سطح فعال با تشکیل میسل‌ها (۲۴، ۲۹).

Figure 14: The relationship between surfactant concentration and the formation of micelles (24, 29).

نقش قابل توجه سطح فعال در عصاره‌گیری به روش فراصوت باشد. نتایج قدرت رنگی استفاده از سطح فعال‌های مختلف به صورت زیر می‌باشد: Tween > Keol ~ Kenon > Blank. نکته قابل ذکر این است که مواد سطح فعال علی‌رغم اینکه ترکیبات رنگی موجود در گیاه را بخوبی حل کرده و وارد فاز مائی نموده‌اند، همچنین توانسته‌اند در انجام فرآیند رنگزایی نیز تاثیر مثبت بگذارند. بطوریکه بهبود جذب رنگ در رنگزاهای طبیعی بصورت زیر است: اسپرک < روناس < پوست گردو. داده‌های رنگی نشان می‌دهد که سطح فعال Tween برخلاف

۳-۳- رنگزایی با استفاده از رنگزاهای استخراج شده به روش فراصوت

مشخصات رنگی و قدرت رنگی کلاف‌های پیشمی رنگزایی شده با عصاره رنگزاهای طبیعی به روش فراصوت و استفاده از مواد سطح فعال در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اختلاف رنگی و قدرت رنگی نمونه‌های رنگزایی شده در حضور سطح فعال‌ها افزایش یافته است. همچنین روشنایی نمونه شاهد در مقایسه با سایر نمونه‌های رنگزایی شده بیشتر است که می‌تواند تأییدکننده

دیگر دارد در فرآیند رنگرزی با محبوس کردن مواد رنگزا در میسل‌های خود باعث کاهش جزئی در قدرت رنگی نخ‌های پشمی شده است.

در جدول ۴، نتایج مربوط به داده‌های رنگی نمونه‌های نخ پشمی دنداندار شده و رنگرزی شده با رنگزاهای طبیعی در حضور و عدم حضور سطح فعال Tween آورده شده است. نتایج نشان داد که در حضور سطح فعال غیر یونی مقدار جذب رنگ بهبود یافته است و این مقدار برای رنگزای اسپرک بیشتر از دو رنگزای روناس و پوست گردو می‌باشد.

۳-۳- بررسی خصوصیات ثبات رنگی

ثبات نوری و شستشویی الیاف پشمی رنگرزی شده با عصاره رنگزای طبیعی در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مواد فعال سطحی علی‌رغم اینکه جذب رنگزا بر روی کالای پشمی را بهبود داده‌اند، در ثبات رنگی نمونه‌های رنگرزی شده، تأثیر منفی ندارند. بنظر می‌رسد که در فرآیند رنگرزی در حضور سطح فعال‌ها، مولکول‌های رنگزا با یکنواختی بیشتری جذب کالا شده و رنگزاهای سطحی که بر روی الیاف جذب می‌شوند و می‌توانند باعث کاهش ثبات شوند، کمتر می‌باشند. بنابراین، مقادیر ثبات‌ها تغییر چندانی نداشته است و در برخی موارد بهبود نسبی مشاهده می‌شود.

اینکه در فرآیند عصاره‌گیری در مقایسه با سایر سطح‌فعال‌ها تأثیر کمتری ایجاد کرده‌بود، اما در فرآیند رنگرزی افزایش بیشتری در جذب رنگ بر روی کالا ایجاد کرده‌است. کاهش کشش سطحی ایجاد شده توسط سطح فعال Tween در مقایسه با سایر سطح‌فعال‌ها کمتر بوده، لذا در انحلال مواد رنگزای موجود در رنگزاهای طبیعی تأثیر کمتری داشته اما در فرآیند رنگرزی، رنگزاهای استخراج شده در فاز مائی در حضور این سطح‌فعال، بر روی کالا جذب رنگ بیشتری داشته‌اند و این بدان معناست که رنگزای کمتری در حمام رنگرزی باقیمانده و رنگزاهای حل شده در فاز میسلی جدا شده و جذب کالا شده‌اند. در حالیکه رنگزاهای طبیعی در حضور Keol و Kenon، مقدار بیشتری از رنگزاهای استخراج شده را در فاز میسلی خود نگهداشته و اجازه جذب بیشتر رنگزا بر روی کالا را نمی‌دهند، لذا رنگزاهای محلول بیشتری در حمام رنگرزی باقی مانده است.

جدول ۳ نشان می‌دهد که هر سه سطح فعال غیر یونی توانسته‌اند مقدار بیشتری از مواد رنگزا را از اسپرک، روناس، و گردو استخراج کنند و در نتیجه رنگرزی پشم در حضور غلظت بالاتر مواد رنگزا منجر به افزایش قدرت رنگی و بهبود یکنواختی شده‌است. قدرت رنگی نخ‌های پشمی رنگ شده در حضور سطح فعال‌ها نسبت به نمونه رنگ شده شاهد (بدون سطح فعال) بین ۳۰ تا ۴۴ درصد افزایش یافته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سطح فعال Keol که ظرفیت بالاتری برای حل کردن مواد رنگزا نسبت به دو سطح فعال

جدول ۳: مشخصات رنگی کالای پشمی رنگرزی شده با عصاره گیاهی تهیه شده به روش فراصوت با استفاده از سطح فعال غیر یونی.

Table 3: Colorimetric properties of dyed wool yarns with natural dyes extracted through ultrasound-assisted process in presence of nonionic surfactants.

| Natural dye | Surfactant | L* | a* | b* | ΔE | C*(chroma) | K/S |
|-------------|------------|-------|-------|-------|------|------------|------|
| Weld | Blank | 70.96 | -1.85 | 31.41 | - | 31.47 | 14.5 |
| | Kenon 10 | 69.02 | -1.2 | 35.65 | 4.70 | 35.67 | 18.8 |
| | Tween 20 | 68.69 | -1.26 | 36.51 | 5.61 | 36.53 | 21.9 |
| | Keol 9 | 68.98 | -1.49 | 35.9 | 4.92 | 35.93 | 21.7 |
| Madder | Blank | 44.56 | 27.9 | 19.99 | - | 34.32 | 6.1 |
| | Kenon 10 | 37.91 | 29.4 | 20.38 | 6.82 | 35.78 | 9.9 |
| | Tween 20 | 37.2 | 29.85 | 21.02 | 7.68 | 36.51 | 10.4 |
| | Keol 9 | 39.29 | 28.71 | 19.48 | 5.35 | 34.7 | 8.8 |
| Walnut | Blank | 44.93 | 8.92 | 16.54 | - | 18.79 | 6.4 |
| | Kenon 10 | 40.64 | 9.26 | 17.22 | 4.35 | 19.55 | 8.92 |
| | Tween 20 | 40.59 | 9.39 | 17.16 | 4.40 | 19.56 | 8.95 |
| | Keol 9 | 41.39 | 9.14 | 16.86 | 3.56 | 19.18 | 8.33 |

جدول ۴: مشخصات رنگی کالای پشمی رنگریزی شده بهینه به روش فراصوت در حضور دندان AI.

Table 4: Colorimetric properties of dyed wool yarns through ultrasound-assisted process in presence of AI mordant.

| Sample | L* | a* | b* | C* | h | K/S |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Weld | 69.29 | -0.09 | 64.65 | 64.65 | 90.08 | 22.52 |
| Weld- Tween | 69.25 | -1.06 | 63.84 | 63.85 | 90.95 | 26.05 |
| Madder | 41.89 | 37.02 | 28.22 | 46.55 | 37.32 | 11.82 |
| Madder- Tween | 41.6 | 38.96 | 30.11 | 49.24 | 37.7 | 12.31 |
| Walnut | 41.73 | 9.2 | 18.4 | 20.57 | 63.44 | 8.74 |
| Walnut- Tween | 41.19 | 8.76 | 17.87 | 19.9 | 63.87 | 9.01 |

جدول ۴: ثبات شستشویی و نوری کالای پشمی رنگریزی شده با عصاره گیاهی تهیه شده به روش فراصوت در حضور سطح فعال غیر یونی Tween.

Table4. Washing and light fastness of dyed wool yarns with extracted natural dyes through ultrasound-assisted process in presence of Tween surfactant.

| Sample | Light fastness | Washing fastness | | |
|--------------|----------------|------------------|----------|--------|
| | | Color change | Staining | |
| | | | Wool | cotton |
| Weld-blank | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Weld-Tween | 5-6 | 4 | 4 | 4 |
| Madder-blank | 3 | 3 | 4 | 3-4 |
| Madder-Tween | 3 | 4 | 4 | 3-4 |
| Walnut-blank | 4-5 | 4-5 | 5 | 5 |
| Walnut-Tween | 5 | 4-5 | 5 | 5 |

۴- نتیجه گیری

نفوذ حلال حاوی مواد سطح فعال می شود. از طرفی مواد سطح فعال با تشکیل ساختار خود-تجمعی کشش سطحی را کاهش داده و سبب خروج رنگزا به صورت محلول می شود. اسپرک، روناس و پوست گردو حاوی رنگزاهای محلول و نامحلول در آب هستند. امکان استخراج رنگزاهای نامحلول در آب فقط با افزودن حلال ها و یا سطح فعال ها به محلول آبی امکان پذیر می شود. نتایج این تحقیق نشان می دهد که با افزودن سطح فعال های غیر یونی به محلول آبی حاوی اسپرک، روناس و پوست گردو ماده رنگزای بیشتری استخراج می شود و مقدار جذب محلول ها بالاتر است. این سطح فعال ها باعث کاهش کشش سطحی محلول شده و با تشکیل تجمعات مولکولی (میسل) امکان حل کردن مواد رنگزای استخراج شده در آب را به طور قابل توجهی افزایش می دهند. بطور کلی، سطح فعال هایی که CMC کمتر دارند، آبگریزتر هستند و توانایی حل کردن ترکیبات آب گریز در میسل های سطح فعالی در غلظت های بالاتر از CMC وابسته به اندازه (حجم) میسل ها و نحوه قرار گیری زنجیرهای اکسی اتیلن در محیط آبی دارد. سطح فعال های غیر یونی با طول زنجیر اتیلن اکساید طویل تر،

در این پژوهش استفاده از مواد سطح فعال غیر یونی با گروه اتوکسیله در سه دسته متفاوت نونیل فنل پلی اتیلن گلایکول اتر (Kenon)، سوربیتان استر پلی اتیلن گلایکول اتر (Tween) و اولئیک اسید پلی اتیلن گلایکول استر (Keol) با غلظت های مختلف ۱، ۵ و ۱۰ درصد (براساس وزن رنگزا) برای استخراج رنگزای طبیعی روناس، اسپرک و پوست گردو به روش فراصوت مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از مواد سطح فعال در استخراج رنگزای اسپرک و پوست گردو در روش فراصوت سبب تا میزان جذب افزایش یابد، همچنین با افزایش غلظت مواد سطح فعال میزان جذب برای این دو رنگزا افزایش قابل توجهی داشته است. با توجه به نتایج بدست آمده از طیف های جذبی مواد رنگزا، استفاده از مواد سطح فعال غیر یونی سبب بهبود فرآیند استخراج و رنگریزی شده است. به نظر می رسد که حضور مواد سطح فعال به همراه امواج فراصوت اثر هم افزایی فیزیکی-شیمیایی در استخراج مواد رنگزا ایجاد کرده است. پدیده حفره زایی ناشی از امواج فراصوت با تخریب غشای سلولی در بافت گیاهی دسترسی به مواد رنگزا را تسهیل کرده و سبب افزایش

تشکر و قدردانی

"این پروژه با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم تحقیقات و فناوری انجام شده است."

آب‌دوست‌تر هستند و اندازه تجمعات بزرگتری در آب دارند. این مسئله می‌تواند نقش مثبتی در بهبود استخراج رنگزها داشته باشد که نیاز به تحقیقات بیشتر دارد.

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۵- مراجع

- Adeel S, Rehman FU, Rafi S, Zia KM, and Zuber M, Environmentally Friendly Plant-Based Natural Dyes: Extraction Methodology and Applications. vol. 2. 2019.
- Salaudiddin SkM, Rony MIA, Haque MA, and Shamim AM, Review on Extraction and Application of Natural Dyes. Text. Leather Rev. 2021; 4 (4): 218-233. doi: 10.31881/TLR.2021.09.
- Aynehchee F, Kasiri MB, and Gharanjig K, Study and Optimization of Extraction of Dye from Weld with Ultrasonic Waves Assisted Extraction (UAE). J. Color Sci. Technol. 2018; 12: 115-124.
- Mehrpour L, Safapour S, Sadeghi-Kiakhani M, and Gharanjig K, Improvement of Dyeability of Woolen Pile Used in hand-knotted Carpet Through Biocompatible Chitosan Derivative: Study on Dyeing and Fastness Properties Using Weld Natural Dye. J. Color Sci. Technol. 2016; 10: 89-96.
- Jahangiri A, Ghoreishian SM, Akbari A, Norouzi M, Ghasemi M, Ghoreishian M, et al. Natural Dyeing of Wool by Madder (*Rubia tinctorum* L.) Root Extract Using Tannin-based Biomordants: Colorimetric, Fastness and Tensile Assay. Fibers Polym. 2018; 19 (10): 2139-2148. doi:10.1007/s12221-018-8069-3.
- Mehrpour L, Safapour S, Sadeghi-Kiakhani M, and Gharanjig K. A cleaner and eco-benign process for wool dyeing with madder, *Rubia tinctorum* L., root natural dye. Int. J. Environ. Sci. Technol. 2016; 13 (11): 2569-2578. doi: 10.1007/s13762-016-1060-x.
- Haji A, Dyeing of cotton fabric with natural dyes improved by mordants and plasma treatment. Prog. Color. Color. Coatings. 2019; 12(3): 191-201.
- Taghizadeh Borujeni R, Akbari A, Gharehbaei A. Extraction and dyeing of wool fibers with Walnut Shell using ultrasonic waves. *goljaam* 2016; 11 (28):93-114. Dor: 20.1001.1.20082738.1394.11.28.6.4.[In Persian]
- Cristea D, Bareau I, and Vilarem G, Identification and quantitative HPLC analysis of the main flavonoids present in weld (*Reseda luteola* L.). Dye. Pigment. 2003; 57(3): 267-272. doi: 10.1016/S0143-7208(03)00007-X.
- Vankar PS and Shukla D, Spectrum of colors from reseda luteola and other natural yellow dyes. J. Text. Eng. Fash. Technol. 2018; 4(2) 106-119. doi: 10.15406/jteft.2018.04.00127.
- Jiang HY, Hu XD, Zhu JJ, Wan J, and Yao JB, Studies on the photofading of alizarin, the main component of madder. Dye. Pigment. 2021; 185: 108940. doi: 10.1016/j.dyepig.2020.108940.
- Shahid M, Mohammad F. Recent advancements in natural dye applications: a review. J Clean Prod 2013; 53: 310-331.
- Samanta AK, Bio-Dyes, Bio-Mordants and Bio-Finishes: Scientific Analysis for Their Application on Textiles. Chem. Technol. Nat. Synth. Dye. Pigment. 2020, doi: 10.5772/intechopen.92601.
- Arifeen W ul, Rehman FU, Adeel S, Zuber M, Ahmad MN, and Ahmad T, Environmental friendly extraction of walnut bark-based juglone natural colorant for dyeing studies of wool fabric. Environ. Sci. Pollut. Res. 2021; 28(36): 49958-49966. doi: 10.1007/s11356-021-14277-8.
- Ramezani N, Raji F, Rezakazemi M, and Younas M, Juglone extraction from walnut (*Juglans regia* L.) green husk by supercritical CO₂: Process optimization using Taguchi method. J. Environ. Chem. Eng., 2020; 8(3): 103776. doi: 10.1016/j.jece.2020.103776.
- Bukhari M, Islam S, Shabbir M, Rather LJ, Shahid M, Singh U, et al. Dyeing studies and fastness properties of brown naphthoquinone colorant extracted from *Juglans regia* L on natural protein fiber using different metal salt mordants. Text. Cloth. Sustain. 2017; 3(1): 1-9. doi: 10.1186/s40689-016-0025-2.
- Xu MH, Yang XY, and Fu MR, Combined Ultrasonic and Microwave Method for Juglone Extraction from Walnut Green Husk (*Juglans nigra*). Waste and Biomass Valorization. 2016; 7(5): 1159-1166. doi: 10.1007/s12649-016-9500-x.
- Udrescu C, Ferrero F, Periolatto M. Ultrasound-assisted dyeing of cellulose acetate. Ultrason Sonochem. 2014; 21: 1477-1481.
- Shirsath SR, Sonawane SH, and Gogate PR, Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations-A review of current status. Chem. Eng. Process. Process Intensif. 2012; (53): 10-23. doi: 10.1016/j.cep.2012.01.003.
- Febriana ID, Kusuma HS, Gala S, and Mahfud M, The effect of temperature on extraction of *Swietenia mahagoni* by ultrasound-assisted extraction (UAE) method. ASEAN J. Chem. Eng. 2016; 1(2): 44-49. doi: 10.22146/ajche.49673.
- Shaban SM, Kang J, and Kim DH, Surfactants: Recent advances and their applications, Compos. Commun. 2020; 22: 100537. doi: 10.1016/j.coco.2020.100537.
- M. Sadeghi-Kiakhani and K. Gharanjig, Study of the influence of gemini cationic surfactants on the dyeing and fastness properties of polyester fabrics using naphthalimide dyes. J. Surfactants Deterg. 2015; 18: 47-54.
- Gharanjig K, Sadeghi-Kiakhani M, Investigation of dissolution of an azo naphthalimide disperse dye containing carboxylic acid group in the presence of anionic and nonionic dispersing agents. J. Color Sci. Tech. 2010; 4: 133-142.
- Dave N and Joshi T. A Concise Review on Surfactants and Its Significance. Int. J. Appl. Chem. 2017; 13(3): 663-672.
- Mistry S, HLB Scale, 2021. <https://solutionpharmacy.in/hlb-scale/>.
- Cristea D and Bareau I. Identification and quantitative HPLC analysis of the main flavonoids present in weld (*Reseda luteola* L.). 2003; 57: 267-272. doi: 10.1016/S0143-7208(03)00007-X.
- Abdel-Hamied M, Hassan RRA, Salem MZM, Ashraf T, Mohammed M, Mahmoud N, El-din YS et al. Potential effects

- of nano-cellulose and nano-silica/polyvinyl alcohol nanocomposites in the strengthening of dyed paper manuscripts with madder: an experimental study," *Sci. Rep.*, 2022; 12(1): 19617. doi: 10.1038/s41598-022-23907-1.
28. Jahanban-Esfahlan A, Ostadrahimi A, Tabibiazar M, and Amarowicz R, A comprehensive review on the chemical constituents and functional uses of walnut (*Juglans spp.*) husk. *Int. J. Mol. Sci.* 2019; 20: 3920. doi: 10.3390/ijms20163920.
29. Dutt S, Siril PF, and Remita S, Swollen liquid crystals (SLCs): A versatile template for the synthesis of nano structured materials. *RSC Adv.*, 2017; 7(10): 5733–5750, , doi: 10.1039/c6ra26390a.

How to cite this article:

Sadeghi-Kiakhani M, Tehrani-Bagha AR, Aladpoosh R, Hashemi E. Study on the Effect of Different Non-ionic Surfactants on the Efficiency of the Extraction Process of Natural Dyes Using the Ultrasonic Method and Dyeing Characteristics of Wool Yarn. *J Color Sci Tech.* 2023;17(2):143-158. DOR: 20.1001.1.17358779.1402.17.2.4.5. [In Persian]