

بهینه‌سازی شرایط استخراج رنگزا از گیاه نیل و بررسی کیفیت رنگریزی

ماریه ملا، زهرا احمدی^{۱*}

۱ کارشناسی ارشد، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

۲ استادیار، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر، تهران، ایران



تاریخ دریافت:

۹۸/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش:

۹۸/۱۰/۰۹

در عصر حاضر به دلیل روند رو به رشد آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از پساب‌های گوناگون صنعتی و بیماری‌های ناشی از آن، گرایش مردم به جهانی پاک و سبز افزایش یافته و در جستجوی استفاده از منابع طبیعی به جای انواع شیمیایی آن می‌باشند. در رنگریزی طبیعی که در هنر-صنعت تولید فرش بسیار با اهمیت است استفاده از مواد طبیعی به جای مواد شیمیایی مورد توجه قرار می‌گیرد. در گذشته از گیاهان برای رنگریزی استفاده می‌شد. رنگ آبی در قدیم از وسمه یا نیل و امروزه معمولاً از نیل شیمیایی بدست می‌آید. در این پژوهش سعی شده با استفاده از منابع گیاهی بومی جهت تسهیل رنگریزی، شرایط بهینه تولید پودر رنگزای گیاهی برای فام آبی ارائه شود. گیاه مورد استفاده در این پژوهش نیل (Indigofera tinctoria) بود. استخراج رنگزا (ایندیگو) به روش آب گرم انجام شد. تاثیر روش‌های خشک کردن گیاه، اندازه pH حمام استخراج، زمان استراحت محلول و درجه حرارت بر میزان استخراج ایندیگو، مورد آزمایش قرار گرفت. روش‌های خشک کردن برگ گیاه در آفتاب، سایه، میکروویو با توان ۱۰۰٪ و خشک کردن در دستگاه آون در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. نتایج آزمایشات نشان داد که بیشترین میزان ایندیگو در pH حمام استخراج برابر با ۹ که گیاه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد دیده‌باشد، بدست می‌آید. کیفیت رنگریزی و ثبات‌های عمومی کالای رنگریزی شده با رنگزای استخراجی در مقایسه با کالای رنگریزی شده با نیل مصنوعی عالی و قابل قبول بود.

حکایت

وسمه، گیاه نیل، استخراج ایندیگو، رنگریزی گیاهی

واژگان کلیدی

Optimization of Dye Extraction from *Indigofera tinctoria* & Dyeing Quality Evaluation

M. Mola¹, Z. Ahmadi^{*2}

1. M.Sc., Art University, Tehran, Iran

2. Assistant professor, Art University, Tehran, Iran

Abstract

Nowadays, because of the growing of industrial process, environment contamination increased. Industrial waste waters and the resultant diseases that threaten today's world; human knowledge leads to build a green and unpolluted world; and they are looking to use natural resources instead of chemicals. In the natural dyeing, which is very important in the art-industry of carpet production, the use of natural materials rather than chemicals is considered. In the past, natural dyes were used to dye the required fibers for the carpet. Blue is one of the main colors in the hand-made carpet, which is produced by Woad and indigo in the past and synthetic Indigo nowadays. This research attempts to utilize natural blue color, by using available herbal resources. Plant used in this research is "Indigofera tinctoria". The primary method of experimentations is extraction of blue pigment (Indigo) from the plant by hot water procedure. Also, the impacts of plant-drying methods on the amount of Indigo extraction from the plant were examined; including: drying in sunlight, in shadow, by microwave and in the oven. The results show that the most amount of Indigo extraction increased when the PH value is about 9. The extracted solution examination was stabilized for 7 days; and the heating temperature was 80 centigrade. Fastness of dyed fibers with extracted dye compare to synthetic Indigofera was acceptable.

Keywords

Woad, Natural Dyeing, Indigo Extraction

۱- مقدمه

رنگرزی خامه قالی مرحله ای با اهمیت در فرایند تولید قالی است. با اختراع رنگزاهای مصنوعی و گسترش آن‌ها استفاده از رنگزاهای طبیعی بسیار کاهش یافته است؛ که از جمله دلایل آن را می‌توان تنوع، دستیابی و استفاده آسان از رنگزاهای مصنوعی دانست. به دلایل زیست‌محیطی امروزه توجه جوامع بشری به سمت استفاده بیشتر از مواد با منشأ طبیعی معطوف گشته و تمام فعالیت‌های علمی به سمتی پیش می‌رود که از آسیب رسانی به محیط زیست کاسته شود. در نتیجه، عملیات رنگرزی شیمیایی که باعث تولید پساب‌های رنگی آلوده و خطرناک می‌باشد می‌تواند از ارزش و اعتبار فرش ایرانی بکاهد. نیل مصنوعی از جمله رنگزاهایی است که برای به دست آوردن رنگ آبی با ثبات که رنگی با اهمیت در مناطق مختلف فرش بافی ایران است به کشور وارد می‌شود. برای به دست آوردن این رنگ، می‌توان از وسمه و یا نیل که گیاهان بومی ایران است و در استان‌هایی چون سیستان و بلوچستان، کرمان و مازندران یافت می‌شود؛ بهره برد. روش رنگرزی با نیل برای رسیدن به فام آبی بر اساس روش اکسید و احیا می‌باشد به این صورت که: ابتدا رنگزا با احیا کننده تولید و سپس به روش اکسید کردن روی کالا تثبیت می‌شود. با فرآوری بهینه نیل که در ایران کشت می‌شود می‌توان به نتایج مطلوبی رسید از جمله: ایجاد اشتغال در زمینه کشت نیل، مقرون به صرفه بودن آن نسبت به وارد کردن نیل شیمیایی، احیاء رنگ آبی طبیعی در فرایند رنگرزی قالی، توجه به بهداشت و سلامت محیط زیست و همچنین حفظ ارزش و اعتبار فرش ایرانی.

باستان‌شناسان بر این باورند که زیستگاه ابتدایی گیاه نیل سرزمین پهناور هند می‌باشد. این گیاه هزاران سال قبل از دوره مسیحیت در آسیا شناخته شده و مورد استفاده بوده است. با توجه به کشفیات باستان‌شناسی و استناد به مدارک و اسناد علمی موجود می‌توان نتیجه گرفت که رنگرزی با استفاده از گیاه نیل (indigofera-tinctoria) در آسیا به عصر برنز (۱۳۰۰-۳۳۰۰ ق.م) باز می‌گردد [۱-۲]. کشفیات اخیر در سایت باستان‌شناسی در (HuacaPrieta) واقع در شمال پرو (Peru) نتایج جدیدی در مورد زمان استفاده از نیل در رنگرزی، بیان می‌کند. در این منطقه تکه پارچه‌ای پنبه‌ای متعلق به ۶۲۰۰ سال قبل، حدود ۴۲۰۰ سال ق.م، کشف شده است. تا به امروز پارچه‌های یافت شده توسط باستان‌شناسان که با نیل رنگ شده بود به حدود ۲۴۰۰ ق.م در مصر یا ۱۰۰۰ ق.م در چین می‌رسید. در صورتی که کشف آخرین تکه پارچه از منطقه هوآکا قدمت استفاده از نیل را به ۱۶۰۰ سال قبل از کشفیات مربوط به مصر می‌رساند. دکتر Splitstoser (محقق و باستان‌شناس دانشگاه جورج واشنگتون)، در این باره می‌گوید: "از هشت تکه پارچه یافت شده در سایت هوآکا، پنج مورد از آن‌ها با نیل رنگ شده‌اند و سه نمونه دیگر احتمالاً در اثر گذر زمان، شست و شو و یا آسیب دیدگی

رنگ خود را از دست داده اند." این تیم تحقیقاتی در مورد ماندگاری رنگ آبی در نمونه‌های کشف شده متخیر مانده‌اند [۳]. نیل، رنگ اصلی تمدن‌های آسیایی تا مدت‌ها در اروپا ناشناخته بود. در میانه قرون وسطی مقدار کمی نیل از طریق جاده ابریشم و دریای سرخ راهی اروپا می‌شد و در تولید مرکب یا به عنوان ماده رنگی چابی گرانقیمت مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ به همین دلیل اروپاییان آن را از نوع سنگ معدن می‌دانستند و آن را سنگ هندی می‌نامیدند [۴]. با ورود نیل به اروپا و روش رنگرزی آسان‌تر نسبت به وسمه، رفته‌رفته نیل جایگزین وسمه شد. با توسعه استعمار کشورهای اروپایی، مناطق گوناگونی از جهان به تهیه نیل پرداختند از جمله: آمریکا، ماداگاسکار و به خصوص هندوستان. تا آنکه با شناخت و ساخت رنگزاهای مصنوعی در قرن ۱۹ میلادی و جایگزینی این رنگزاها با نوع گیاهی، ارزش و اعتبار نیل کاهش یافت و تولید و تجارت آن به مرور از رونق افتاد [۵]. گیاه نیل درختچه ای است از تیره پروانه واران و دارای برگ‌های مرکب شانه‌ای پوشیده از کرک که اغلب مخالف جهت هم می‌باشند، گل‌های آن سفید، صورتی یا ارغوانی هستند که دارای آرایش خوشه‌ای یا سنبله‌ای می‌باشند. میوه آن شبیه به نخود فرنگی است. نیل گیاهی از خانواده (Leguminosae) و تیره فرعی (Papilionaceae) می‌باشد. نیل گیاهی دو ساله است و در اوایل بهار یا پاییز کاشته می‌شود. آب و هوای مناسب برای کاشت آن گرم و مرطوب است و در مناطق گرمسیری کشت می‌شود. گیاه نیل تحت شرایط مطلوب می‌تواند تا حدود سه متر رشد کند. (حیاتی، ۱۳۸۴، صص. ۷۸-۷۹؛ امیری، ۱۳۸۷، صص. ۶۰-۶۱؛ کریمشاهی، ویسیان، حیدری، ۱۳۸۶، صص. ۲۵۷).

ایندیگو از نام سرزمین اصلی نیل یعنی هندوستان مشتق شده است و کلمه فرا در لاتین به معنای تولید کردن است. در مجموع ایندیگو فرا به معنای تولیدکننده ایندیگو است که به گیاهانی که این ماده را تولید می‌کنند اطلاق می‌شود. در زبان سانسکریت واژه (Nila) به معنای آبی پررنگ است. این واژه هم برای گیاه و هم برای رنگ



شکل ۱: گیاه نیل

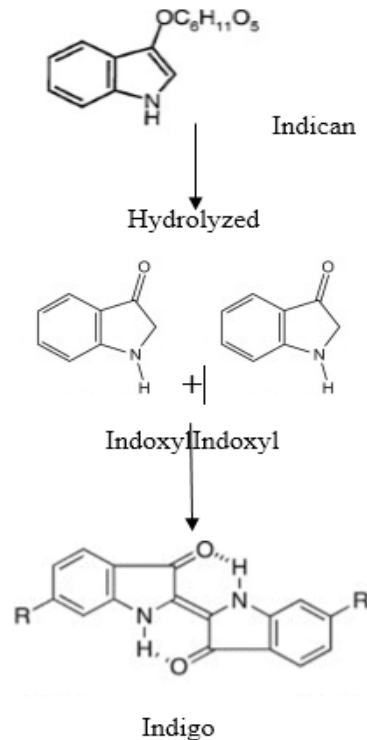
صورت که گیاه را از انتهای ساقه یعنی حدود دو وجب بالاتر از سطح زمین قطع می‌کنند. عملیات برداشت در صبح زود وقتی هوا هنوز گرم نشده انجام می‌گیرد و گیاهان برداشت شده به کارخانه منتقل می‌شوند. در قدیم ابتدا برگ‌ها را خشک می‌کردند و هنگامی که به رنگ سیاه درآمد برگ‌ها را از شاخه جدا کرده و در حوض‌های چوبی یا سیمانی قرار می‌دادند. در حال حاضر برگ‌ها را به صورت تازه و سبز در حوض‌ها قرار می‌دهند. سپس روی برگ‌ها را با چوب‌های سنگین می‌پوشانند و درون حوض را از آب پر می‌کنند تا روی برگ‌ها کاملاً مملو از آب باشد. پس از چند ساعت، تخمیر برگ‌ها شروع می‌شود، نشانه این تخمیر نیز کف کردن روی سطح آب است. در این زمان انیدریک کربنیک و اکسیژن از برگ‌ها متصاعد می‌شود. آب سطح حوض ابتدا به رنگ زرد و سپس سبز تغییر می‌کند. پس از تکمیل تخمیر، برگ‌ها را از آب بیرون آورده و مایع درون حوض را به سرعت به هم می‌زنند تا اکسیژن هوا با محلول ترکیب شود. با این عمل رنگ مایع درون حوض آبی پررنگ می‌شود. در پایان، ایندیگو به شکل رسوب ته‌نشین می‌گردد. گاهی نیز برای سرعت بخشیدن به رسوب رنگزا، کمی سود یا آمونیاک به آن می‌افزایند [۹-۱۴].

استفاده از حمام رنگرزی با ایندیگو تاریخچه‌ای طولانی دارد. روش رنگرزی هندیان به این گونه بود که از سولفید آرسنیک در حمام رنگ با ایندیگو بهره می‌بردند، این روش در اروپا در قرن ۱۶ میلادی به کار گرفته شد. در همان سال‌های ابتدایی ورود نیل به اروپا (قرن ۱۶ میلادی) و با وجود تمام ممنوعیت‌ها در قبال استفاده از نیل، رنگرزان از مقدار اندکی نیل در حمام‌های سنتی رنگرزی و سوسه به منظور ثبات و پایداری بیشتر حمام رنگ و سوسه بهره می‌بردند. در حمام‌هایی که به محیط قلیایی قوی‌تری احتیاج داشتند فقط از نیل استفاده می‌شد که به منظور رنگرزی پنبه و نخ توسعه یافتند. محتویات این حمام‌ها شامل: خیسانده‌ی خاکستر یا پتاس، میزان بسیار زیادی سوس، روناس، نان بیات، شیرهی چغندر، قلیا یا علف شوره و نیل بوده است. از جمله مشکلات استفاده از نیل، آسیاب کردن تکه‌های بسیار سخت و محکم آن بود. انقلاب صنعتی در اروپا باعث ایجاد شیوه‌های بهتری به منظور تولید انبوه رنگزا‌های با ثبات بالا گشت. در اواخر قرن هجدهم و قرن نوزدهم میلادی، رنگزا‌های دست ساز بیشماری تولید شد و آزمایشات و دستورالعمل‌های بسیاری برای رنگرزی و چاپ پارچه انجام گرفت. در اواسط قرن ۱۸ میلادی رنگرزان پنبه، نخ و ابریشم به شیوه‌های تخمیر با گرمای کمتر رجوع کردند تا اولین حمام غیر آلی (سرد) را تولید کنند؛ که سولفات آهن یا حمام Cop-peras نام گرفت. در این حمام سولفات آهن با آهک آبدیده شده

آبی حاصل از آن استفاده می‌شد. مطالعه ساختار شیمیایی گیاه نشان می‌دهد که ماده اصلی درون گیاه ایندیکان (Indicon)، این واژه نیز از ایندیا یعنی هندوستان مشتق شده است، در اثر تغییرات و مراحل رنگرزی به ایندیگو تغییر می‌کند. در واقع ایندیگو رنگرزی آبی رنگ مشتق شده از گیاه است که در مرحله پایانی رنگرزی حاصل می‌شود. تصویر شماره ۱ گیاه نیل را نمایش می‌دهد [۴۶]. گیاهانی که بتوان از آن‌ها رنگ آبی به دست آورد در گروه گیاهان حاوی ایندیگو دسته‌بندی می‌شوند. از بهترین نوع گیاه ایندیگو که بیشتر از سایر گیاهان این گروه کشت می‌شود (-Indigofera-tinc toria) می‌باشد، زیرا محصول فراوانی حاصل می‌نماید. ایندیگوفر (toria) متشکل از هشتصد گونه است. بیش از ششصد گونه در آفریقا، حدود دویست گونه در آسیا، هشتاد گونه در آمریکا و شصت گونه در استرالیا یافت شده است [۶].

ماده‌ای که تولید رنگزا نموده و در گونه‌های متفاوت گیاه ایندیگو وجود دارد، ایندیکان (Indican) است. وجود مقدار قابل ملاحظه‌ای از این ماده، باعث تولید رنگ آبی پایدار می‌شود. نیل جزء گیاهانی است که ایندیکان آن به میزان مناسب است. ایندیکان در اثر هیدرولیز شدن تشکیل ایندوکسیل می‌دهد. دو مولکول از ایندوکسیل در معرض هوا با یکدیگر ترکیب شده و ایندیگو را می‌سازند، تصویر شماره ۲ ساختار شیمیایی اجزای موجود در گیاه نیل را نشان می‌دهد [۷ و ۸].

نیل در اوایل بهار کاشته و در اواخر بهار چیده می‌شود. به این



شکل ۲: مراحل تبدیل Indican به Indigo برای رسیدن به رنگ آبی [۸]

شده‌اند. در نتیجه ساختار داخلی مقاومی در مقابل محیط‌های قلیایی ندارند و در این محیط استحکام خود را از دست می‌دهند. در نتیجه شرایط رنگرزی کالای پشمی به گونه‌ای است که باید از قلیایی ضعیف تر مانند آمونیاک یا کربنات سدیم بهره برد. همانطور که گفته شد ایندیگو در حالت کلی نامحلول است در نتیجه فاقد بار یونی می باشد. رنگزا به منظور نفوذ در الیاف پشمی یا پنبه ای باید به صورت محلول باشد از این رو باید از احیا کننده مناسب در رنگرزی استفاده شود. هیدروسولفیت سدیم به منظور احیا کردن گروه ایندیگو استفاده می شود. هیدرو با ایندیگو واکنش داده و لوکویی (Leuco) را تشکیل می دهد که هنوز بی رنگ و نامحلول است. برای تشکیل محلول پایدار، از هیدروکسید سدیم استفاده می شود. سود باعث می شود که نمک لوکو (فرم رنگزای محلول - پایدار) تشکیل شده و با لیف پیوند برقرار کند. pH در رنگرزی یکنواخت بسیار با اهمیت است. اگر pH پایین بیاید، ماده نامحلول لوکوی اسیدی به دست می آید و پیوند بین لیف و رنگ حاصل نمی شود. بعد از اتمام رنگرزی مرحله اکسید کردن لیف در مجاورت اکسیژن هوا انجام می گیرد. با این عمل رنگ جذب شده در لیف دوباره نامحلول می شود [۸-۱۰].

جهت سهولت استخراج رنگزا از گیاه نیل و وسه تحقیقات بسیاری انجام شده است. در این پژوهش‌ها زمان برداشت گیاه از مهمترین متغیرهای تاثیر گذار در راندمان استخراج بوده است. از روشهای حرارت دهی، استفاده از آب گرم و تخمیر برای استخراج رنگزا استفاده شده است [۸ و ۱۹-۱۵]. در یک پژوهش جالب روش

یا پتاس ترکیب می شود. استفاده از این حمام رنگ آسان بوده و رنگ آبی مطلوبی ایجاد می کرد ولی از جمله معایب آن هزینه بسیار بالای آن بود، زیرا مصرف نیل در آن بسیار بالا بوده و به سرعت رسوب می کرد. در قرن ۱۹ میلادی حمام رنگ ارزان تر و آسان تری توسعه یافت که حمام روی-آهک (Zinc-Lime) نام گرفت و بر پایه آهک آبدیده و روی استوار بود. این حمام نیز رسوبات ناخواسته‌ای تولید می کرد و پارچه های رنگ شده در این حمام باید به منظور پاکسازی از آهک در اسید شسته می شدند. آزمایشات بسیاری انجام گرفت تا اینکه در اواخر قرن ۱۹ میلادی هیدروسولفیت سدیم تولید شد. در ابتدا سدیم بی سولفیت با روی و آهک در حمامی که هنوز تولید رسوب می کرد، ترکیب می شد. اما در سال ۱۹۰۴ یک فرمی مقاوم و پایدار از سدیم هیدرو سولفیت (دی تیونیت) تولید شد که خیر از حمام ایندیگوی مدرن داد. این عامل کاهنده (احیا کننده) با آمونیاک ترکیب می‌شود و برای هر نوع الیافی قابل استفاده است. این ماده برای ترکیب با نیل طبیعی و مصنوعی قابل ترکیب بود و مقدار استفاده از رنگزا در حمام رنگ را کاهش می داد. استفاده از آن در حمام رنگرزی ایجاد رسوب نمی کرد و نسبت به روش های موجود، راحت تر بود [۸].

مکانیسم رنگرزی با رنگزا های حاوی ایندیگو به این صورت است که چون آن‌ها از خانواده رنگزا های خمی می‌باشند و کاربرد وسیعی روی الیاف پشم دارند. بنابراین در حالت کلی باید آن‌ها را ابتدا محلول و سپس جذب لیف و آن گاه مجددا نامحلول کرد. الیاف پشم دارای ساختمان پروتئینی بوده و از آمینو اسیدها تشکیل

جدول ۱: مواد و ابزار مورد استفاده در انجام آزمایشات

نوع و نام مواد	محل تولید	ابزار و تجهیزات
رنگزای طبیعی نیل Indigoferatinctoria	ایران-کرمان	مایکروویو- آون
رنگزای مصنوعی نیل	آلمان- BASF	دستگاه Data Color
هیدروکسیدسدیم NaOH, هیدروسولفیت سدیم Na ₂ S ₂ O ₄ , کربنات سدیم Na ₂ CO ₃	آلمان- شرکت Merck	دستگاه سنجش ثبات نوری ساخت ایران (لامپ UV با طول موج نوع B)



شکل ۳: مراحل روش آب گرم برای استخراج ایندیگو از سمت راست به ترتیب سرد کردن سریع و سمه، اکسیژن دهی و تشکیل لایه نقره ای آبی ایندیگو پس از گذشت هفت روز

بررسی تاثیر شرایط فرآوری، خشک کردن گیاه و شرایط استخراج رنگزا روی خواص رنگ دهی نیل بوده است.

۲- تجربیات

مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز در جدول ۱ بنام برده شده است.

۳-۱- روش‌ها

به منظور استخراج ایندیگو از نیل، روش آب گرم به دو طریق مورد استفاده قرار گرفت.

الف: استخراج به روش آب گرم

۱. کربنات سدیم (به میزان لازم) در ۳۰ میلی لیتر آب جوش حل شد سپس به آرامی خنک شد. (مقدار کربنات سدیم در طول آزمایشات متغیر است تا بهترین مقدار مشخص گردد)
۲. ۲۵ گرم پودر گیاه نیل خشک درون بشر ریخته و ۷۰۰ میلی لیتر آب با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به آن افزوده شد و حدود ۱۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد.
۳. سپس بشر بیرون آورده و در ظرف پر از یخ قرار گرفت تا دما به سرعت پایین آید. (تصویر شماره ۳)

جدول ۲: میزان ایندیگوی استخراج شده از برگ خشک گیاه نیل، بررسی تاثیر متغیر pH

مواد/نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
مقدار کربنات سدیم (گرم)	۰/۱	۰/۳	۰/۷	۱/۵	۲	۳	۴	۵	۶	۷
اندازه pH	۷/۵	۷-۸	۸	۸/۵	۹	۹-۱۰	۱۰	۱۰-۱۱	حدود ۱۱	۱۱
میزان ایندیگو استخراج شده (گرم)	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۴۲	۰/۰۵۱	۰/۱۶	۰/۰۴۰	۰/۰۳۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵

جدول ۳: فام رنگی نخ های پشمی رنگری شده با محلول نمونه های آزمایش مندرج در جدول شماره ۲

نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
				
نمونه ۶	نمونه ۷	نمونه ۸	نمونه ۹	نمونه ۱۰
				

سود و هیدروسولفیت سدیم اضافه و دما به ۵۰ درجه سانتیگراد رسانده شد و تا حدود ۱۰ دقیقه نیز در این دما ماند. کالای شسته شده و نمناک وارد محلول شده و حدود ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در محلول نگهداری شد. پس از اتمام رنگرزی الیاف خارج و حدود ۲۰ دقیقه اکسیژن دهی انجام شد. سپس الیاف با اسیداستیک رقیق خنثی سازی و آب کشی شدند.

ج: رنگرزی با رنگزای استخراج شده

- در تمام آزمایش ها، وزن نمونه نخ های پشمی (مربینوس، نمره ۲۰ و ۴) برای رنگرزی ۲ گرم بود.
- تمامی نمونه های آزمایش به شیوه ی آب گرم دو بار تکرار شدند. بار نخست به منظور استخراج رنگزا از عصاره ی گیاه نیل جهت رنگرزی و دومین بار به منظور رنگرزی الیاف در همان مایع.
- برای رنگرزی محلول مورد نظر به خوبی با قاشقک هم می خورد. سپس ۵۰ میلی لیتر از نمونه ی مربوطه داخل بشری به گنجایش

۴. وقتی دما به حدود ۵۵ درجه سانتیگراد رسید، محتویات بشر از صافی حریر عبور داده و پودر نیل جدا شد. در این زمان محلولی به رنگ قهوه ای تیره بدست آمد.

۵. هنگامی که دمای مایع مزبور به حدود ۴۹ تا ۵۰ درجه سانتیگراد رسید، حدود ۸٪ کربنات سدیم به آن اضافه شد.

۶. در این زمان محلول احتیاج به اکسیژن دارد. حدود ۱۰ دقیقه با استفاده از هم زن برقی فرایند اکسیژن دهی به محلول انجام شد.

۷. محلول چند ساعتی در سایه قرار گرفت و سپس توسط صافی حریر، رنگزا جدا شده و برای رنگرزی استفاده شد.

ب: استخراج و رنگرزی همزمان:

در این روش پس از آنکه محلول در سایه قرار داده شد بدون اینکه رنگزا به وسیله صافی جدا شود، محلول حاوی رنگزا مستقیماً برای رنگرزی استفاده شد. محلول حرارت داده تا به دمای ۴۰ درجه سانتیگراد رسید و در این دما حدود ۱۰ دقیقه نگه داشته شد. سپس

جدول ۴: میزان ایندیگو استخراج شده از برگ خشک نیل، بررسی تاثیر متغیر زماندر pH=۸.۵

شرایط نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
تعداد روز ثابت ماندن نمونه ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
میزان ایندیگو استخراجی (گرم)	۰/۰۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۳۳	۰/۰۲۱	۰/۰۳۸	۰/۰۴۵	۰/۰۵۳	۰/۰۴۱	۰/۰۴۰	۰/۰۳۴	کپک زد






*در تمام آزمایش ها: وزن نیل ۲۵ گرم، زمان گرمادهی و هوادهی ۱۰ دقیقه، میزان آب ۷۰۰ میلی لیتر، دمای آب ۸۰ °C

جدول ۵: میزان ایندیگو استخراج شده از برگ خشک نیل، بررسی تاثیر متغیر زماندر pH=۹

شرایط نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
تعداد روز ثابت ماندن نمونه ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
میزان ایندیگو استخراجی (گرم)	۰/۰۰۲	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۶۴	۰/۰۶۷	۰/۰۹۷	۰/۱۵۶	۰/۱۴۲	۰/۱۴۱	۰/۱۳۷	کپک زد

*در تمام آزمایش ها: وزن نیل ۲۵ گرم، زمان گرمادهی و هوادهی ۱۰ دقیقه، میزان آب ۷۰۰ میلی لیتر، دمای آب ۸۰ °C

جدول ۶: فام رنگی نخ های پشمی رنگ شده با محلول نمونه های آزمایش جدول شماره ۵

نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
				
نمونه ۶	نمونه ۷	نمونه ۸	نمونه ۹	نمونه ۱۰
				

طبق آزمایشات انجام گرفته برای رسیدن به نتیجه مطلوب، زمان قرارگیری نمونه‌ها در سایه و در مکانی ثابت حائز اهمیت است، در نتیجه برای تعیین pH مناسب، نمونه‌ها (حمام استخراج رنگزا) به مدت هفت روز به صورت بی‌حرکت و ثابت در سایه قرار داده شدند. در تحقیقی که توسط گیلبرت و همکاران انجام گرفت، هنگامی که خرده‌های برگ گیاه و سمه را در آب گرم قرار دادند، از اسید سولفوریک و یا کلریدریک برای تنظیم pH در محدوده‌ی اسیدی حدود ۳-۴ استفاده نمودند. با این کار جزء ایساتان در گیاه پایدار می‌ماند. احتمالاً استفاده از محیط اسیدی استخراج اولیه برای افزایش تبدیل ایندیکان به ایندیگو باشد. در روش بکار رفته که به منظور استخراج در مقیاس صنعتی توصیه شده به ازای هر تن گیاه تازه و سمه، ۲۰ کیلوگرم ایندیگو استخراج شده است [۱۸]. همچنان که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهند مقدار رنگزای استخراج شده با افزایش pH افزایش یافته و تا مقدار ۹ این افزایش ادامه دارد اما بعد از آن راندمان استخراج سیر نزولی پیدا کرده و مقدارش کم می‌شود. در پژوهشی از هیدروکسید سدیم برای تنظیم pH در ۱۱ استفاده شد و آزمایشات استخراج در محدوده قلیایی ۹-۱۱ انجام گرفت [۱۹]. امام‌طابق یافته‌های تحقیق حاضر که در جدول شماره ۲ گزارش شده، بیشترین میزان ایندیگو در pH ۹ به دست آمده

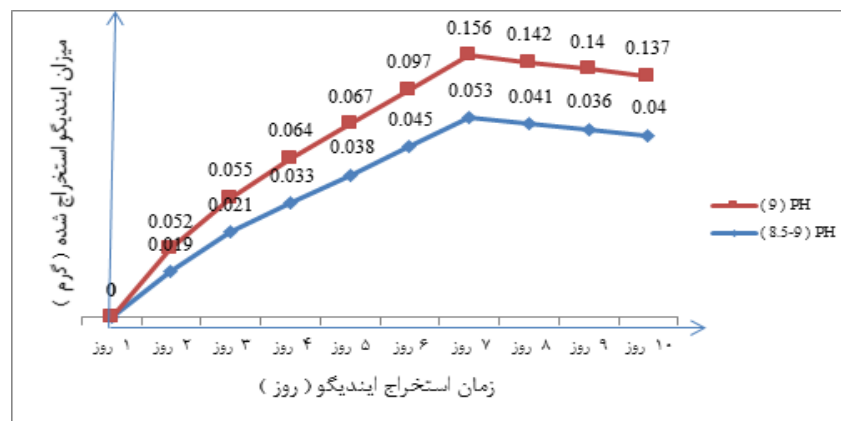
۱۰۰ میلی لیتر ریخته و دمای آن به ۴۰ درجه سانتیگراد رسانده شده و در این دما حدود ۱۰ دقیقه ماند. سپس ۲٪ هیدروسولفیت سدیم و ۱٪ سودسوزآور اضافه شد تا محلول برای رنگرزی آماده شود. در این شرایط رنگ محلول به زردی تغییر یافت. دما حدود ۵۰ درجه سانتیگراد است. بعد از گذشت ۱۰ دقیقه الیاف شسته شده وارد محلول شد و حدود ۳۰ دقیقه در این دما ماند. در خاتمه الیاف حدود ۲۰ دقیقه در معرض هوا قرار گرفت تا رنگ آبی درون آن تثبیت گردد. سپس‌تخهای رنگرزی شده برایخنثی سازی در اسید استیک ۱٪ قرار داده شد. پس از خاتمه‌ی کار، نخ‌ها با صابون غیر یونی حدود ۲۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد شسته شدند.

۳- نتایج و بحث

در روش آب گرم برای بررسی تاثیر شرایط در میزان استخراج رنگزا، متغیرهای دما، اندازه pH، زمان و میزان هوادهی مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور بررسی تاثیرات ناشی از این متغیرها در میزان استخراج ایندیگو، تمامی آن‌ها مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند. در ادامه نتایج به دست آمده در جداول ۲ تا ۴ آورده شده‌اند. قبل از آنکه محلول از صافی فیلتر شود، محلول به مدت سه تا چهار ساعت ثابت و بی‌حرکت ماند، سپس از صافی عبور داده شد.

جدول ۷: مقادیر نسبی رنگی نمونه نخ‌های پشمی رنگرزی شده با محلول نمونه‌های آزمایش جدول شماره ۵

نمونه	a*	b*	c*	L*
نمونه شماره ۲	-۳,۷۸	-۱۱,۹۳	-۵,۱۰	-۱۲,۴۷
نمونه شماره ۳	-۳,۸۵	-۲۲,۴۶	۳,۳۶	-۳۲,۱۴
نمونه شماره ۴	-۳,۵۴	-۲۲,۴۶	۳,۲۶	-۳۶,۸۲
نمونه شماره ۵	-۲,۹۹	-۲۱,۰۹	۱,۷۹	-۳۷,۷۴
نمونه شماره ۶	-۲,۳۶	-۲۵,۸۲	۶,۲۲	-۴۲,۳۴
نمونه شماره ۷	-۲,۵۳	-۲۵,۹۱	۶,۳۵	-۴۴,۱۰
نمونه شماره ۸	-۳,۸۷	-۲۳,۲۳	۴,۱۰	-۳۷,۳۱
نمونه شماره ۹	-۲,۴۸	-۲۱,۲۲	۱,۷۷	-۳۷,۹۷



شکل ۳: مقایسه مقدار ایندیگو استخراج شده‌ها اندازه pHهای ۹ و ۸/۵ در مدت زمان ۱ تا ۱۰ روز

بشرها نیز تجمعی از رنگزاهای آبی معلق نزدیک به انتهای بشر مشاهده گردید، با این حال از صافی عبور داده لیکن استخراج آن دشوار بود. روز هفتم انسجام و تجمع رنگزاهای آبی در کنار هم به گونه‌ای بود که جداسازی آن‌ها با استفاده از صافی به خوبی انجام گرفت؛ همچنین بیشترین توده رنگزا درون بشر در روز هفتم مشاهده شد. از روز هفتم به بعد پراکندگی ذرات رنگی و عدم انسجام آن‌ها سبب شد جداسازی با مشکل مواجه شود و تا روز یازدهم درون بشر کپک زده و محلول فاسد شد. مقایسه‌ی نتایج این دو جدول نشان می‌دهد که میزان ایندیگوگی استخراج یافته در pH برابر با ۹ و زمان استراحت به مدت ۷ روز بیشتر می‌باشد در جدول شماره ۵ نخهای پشمی رنگرزی شده قابل مشاهده است. از آنجا که پودر رنگزای استخراج شده می‌بایست به صورت لوکوی رنگی (فرم رنگزای محلول در آب) درآمده تا بتوان رنگرزی را انجام داد، لذا عدم تشکیل لوکوی کامل در رنگرزی بسیار تاثیر گذار است. علاوه بر راندمان استخراج رنگزا، فرم تشکیل لوکو نیز در فام نهایی نمونه نخ رنگرزی شده تاثیر گذار است.

مقادیر رنگی برای نمونه‌های مندرج در جدول شماره ۶ به شرح جدول شماره ۷ اندازه‌گیری شدند. مقادیر رنگی نسبی بوده و مقادیر رنگی هر نمونه نخ رنگی با یک نمونه نخ پشم خام به عنوان نمونه‌ی شاهد مقایسه و ارائه شده است. از آنجا که مقادیر روشنایی در نمونه‌ی نخ پشم خام بیشتر از نخ رنگی می‌باشد، مقادیر روشنایی نسبی مندرج در جدول شماره ۷ منفی است. نتایج جدول شماره ۷ نشان می‌دهد با افزایش مقدار رنگزای استخراج شده از برگ گیاه نیل مقادیر سبزی و آبی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. میزان آبی در نمونه‌های ۶ و ۷ بیشترین مقدار است. نتیجه جالب تر این است که تغییرات میزان سبزی و آبی نمونه‌ها هم‌سو است. در نمونه‌های ۶ و ۷ که میزان سبزی کاهش یافته در مقابل میزان آبی و اشباع رنگی افزایش یافته است. بیشتر بودن ماده رنگزا

جدول ۹: میزان ایندیگو استخراج شده از برگ خشک نیل (مقایسه‌ی تاثیر متغیر زمان گرمادهی)

نمونه	۱	۲	۳	۴
زمان گرمادهی (دقیقه)	۵	۱۰	۳۰	۶۰
مقدار ایندیگو (گرم)	۰/۰۴۸	۰/۱۵۶	۰/۰۵۹	۰/۰۶۲

*در تمام آزمایش‌ها، وزن نیل ۲۵ گرم، زمان گرمادهی ۱۰ دقیقه، میزان آب ۷۰۰ میلی لیتر، دمای آب °C ۸۰، pH=۹

است. مقدار رنگزای استخراج شده در pH برابر با ۹ تقریباً ۳ برابر دومین راندمان استخراج در pH برابر با ۸/۵ حاصل شده است. در تحقیقات پیشین [۲۰-۱۵] از هر ۱ کیلوگرم گیاه ماکزیمم مقدار ۱ گرم پودر رنگزا (گیاهی که اردیبهشت ماه برداشت شده) استخراج شده بود. لیکن در این تحقیق از ۲۵ گرم گیاه برای شرایط نمونه ۵ مقدار ۰/۱۶ گرم پودر گیاه استخراج شده است. یعنی با این روش برای ۱ کیلوگرم گیاه مقدار ۶/۴ گرم پودر ماده رنگزا استخراج خواهد شد. اما برای مقایسه بهتر برای آزمایش بررسی متغیر زمان اکسیژن دهی، هر دو میزان pH ۸/۵ و ۹ مورد بررسی قرار گرفت. در جدول شماره ۳ فام رنگی نخ‌های پشمی رنگرزی شده با نمونه‌های جدول شماره ۲ قابل مشاهده است. (جدول شماره ۳) برای هر نمونه دو بار تکرار شد. یکی از آن‌ها برای استخراج ایندیگو و دیگری به منظور رنگرزی با محلول آن انجام گرفته است. تفاوت نتایج در جدول‌های شماره ۴ و ۵ بیان شده است. مراحل انجام آزمایش برای هر نمونه دو بار تکرار شد. یکی از آن‌ها برای استخراج ایندیگو و دیگری به منظور رنگرزی با آن محلول انجام گرفته است.

مقایسه نتایج استخراج رنگزا با مقادیر گزارش شده در جدول شماره ۲ نشان می‌دهد، در pH برابر ۹، با افزایش زمان استراحت نمونه، میزان استخراج رنگزا افزایش یافته است. اما این روند برای pH برابر با ۸/۵ مشاهده نمی‌شود. و پس از ۷ روز مقدار استخراج کاهش یافته است. اما با وجود روند کاهشی مقادیر آنها از استخراج در زمان‌های استراحت کمتر، بیشتر بوده است.

در آزمایشات استخراج ایندیگو از برگ گیاه نیل ملاحظه شد در روز اول، لایه‌ی ناچیز آبی رنگ مشاهده گردید. روز دوم بر روی سطح محلول لایه‌ی ای نازک به رنگ آبی-نقره‌ای تشکیل شد و هنگام استفاده از صافی برای جدا سازی ایندیگو، درون بشر تجمعی از رنگزا دیده نشد. از روز سوم به بعد علاوه بر سطح محلول، درون

جدول ۸: میزان ایندیگو استخراج شده از برگ خشک نیل، بررسی تاثیر متغیر زمان هوادهی

نمونه	۱	۲	۳	۴
زمان هوادهی (دقیقه)	۱۰	۳۰	۶۰	۱۲۰
مقدار ایندیگو (گرم)	۰/۱۵۶	۰/۱۳۲	۰/۱۳۰	۰/۱۲۵

*در تمام آزمایش‌ها، وزن نیل ۲۵ گرم، زمان گرمادهی ۱۰ دقیقه، میزان آب ۷۰۰ میلی لیتر، دمای آب °C ۸۰، pH=۹

جدول ۱۰: میزان ایندیگو استخراج شده از برگ خشک نیل (مقایسه‌ی تاثیر دمای آب)

نمونه	۱	۲
دمای آب	۸۰ °C	۹۵ °C
میزان ایندیگو (گرم)	۰/۱۵۶	۰/۰۳۴

جدول ۱۱: تاثیر شرایط خشک کردن بر فام رنگی و میزان استخراج رنگزا

شرایط خشک کردن گیاه نیل	آفتاب	سایه	مایکروویو توان ۱۰۰٪	آون با دمای ۴۵ درجه سانتی گراد
میزان ایندیگو استخراجی (گرم)	۰/۰۶۸	۰/۰۵۴	۰/۰۸۵	۰/۰۴۶
الیاف رنگری شده				

*در تمام آزمایش ها، وزن نیل ۲۵ گرم، زمان گرمادهی و هوادهی ۱۰ دقیقه، میزان آب ۷۰۰ میلی لیتر، دمای آب ۸۰ °C، اندازه pH برابر با ۹

جدول ۱۲: انتخاب نمونه های مطلوب

شماره	گیاه نیل (گرم)	ویژگی	روش	میزان ایندیگویی استخراجی (گرم)	فام رنگی نمونه رنگری در محلول
۱	۲۵	برگ های نیل که به صورت خشک شده از استان کرمان تهیه گردید	به روش آب گرم در pH برابر با ۹ استخراج انجام شد	۰/۱۵۶	
۲	۳۵	برگ های نیل که به صورت خشک شده از استان کرمان تهیه گردید	به روش آب گرم در pH برابر با ۱۱ استخراج انجام شد	۰/۰۰۵	
۳	۱۰۰	برگ های تازه نیل که از استان کرمان تهیه شد	به روش آب گرم در pH برابر با ۹ استخراج انجام شد	۰/۰۷۳	
۴	۳۵	برگ های تازه نیل با دستگاه مایکروویو با توان ۱۰۰٪ خشک شدند	روش آب گرم در pH برابر با ۹ استخراج انجام شد	۰/۰۸۵۴	
۵		رنگری با نیل شیمیایی انجام گرفت. مقدار ۱/۱۵٪ نیل، ماندن نیل در آب ۴۰ درجه به مدت ۱۰ دقیقه، اضافه کردن ۱٪ سود و ۲٪ هیدروسولفیت سدیم، رساندن دما به ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه، اضافه کردن کلاف پشمی، ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد سپس خروج کلاف پشمی، ۲۰ دقیقه هوادهی، قرار دادن در اسید رقیق و در نهایت آب کشی			
۶		رنگری با ایندیگو استخراج شده از نیل. ۱/۱۵٪ نیل، ماندن پودر نیل در آب ۴۰ درجه به مدت ۱۰ دقیقه، اضافه کردن ۱٪ سود و ۲٪ هیدروسولفیت سدیم، رساندن دما به ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه، اضافه کردن کلاف پشمی، ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد بماند. خروج کلاف پشمی، ۲۰ دقیقه هوادهی، قرار دادن در اسید رقیق و در نهایت آب کشی			

جدول ۱۳: مقادیر رنگی برای نمونه های مندرج در جدول شماره ۱۲

نمونه	a*	b*	c*
نمونه شماره ۱ از جدول ۱۲	-۲,۵۳	-۲۵,۹۱	۶,۳۵
نمونه شماره ۲ از جدول ۱۲	-۰,۱۴	-۲۲,۰۶	۲,۲۱
نمونه شماره ۳ از جدول ۱۲	-۰,۳۱	-۲۸,۵۷	۸,۷۲
نمونه شماره ۴ از جدول ۱۲	-۲,۸۴	-۲۶,۲۷	۶,۷۶
نمونه شماره ۵ از جدول ۱۲	-۶,۱۴	-۲۲,۱۶	۴,۰۴
نمونه شماره ۶ از جدول ۱۲	-۴,۲۵	-۲۲,۲۰	۳,۲۶

انجام گرفت حاصل شده و افزایش زمان هوادهی تا ۱۲۰ دقیقه تاثیریری در افزایش میزان استخراج رنگزا نداشته و سبب کاهش آن نیز شده است.

طبق نسخه، زمان گرمادهی، ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد است. در مراجع اشاره شده که برخی رنگرزان [۲۰ و ۱۷] حدود ۳۰ تا ۶۰ دقیقه گرمادهی نیل را انجام می دهند. از این رو در این پژوهش گرمادهی در زمان های ۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه با برگ های خشک نیل مورد آزمایش قرار گرفت. همانطور که در نتایج جدول ۹ ملاحظه می شود، بیشترین مقدار ایندیگو در زمان ۱۰ دقیقه گرمادهی حاصل شده است.

در تحقیقات پیشین دمای پیشنهادی برای انجام آزمایش استخراج از وسمه، ۸۰ درجه سانتیگراد بوده، با این حال دمای نزدیک به جوش یعنی حدود ۹۵ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد نیز مورد آزمایش

این انتظار را ایجاد می کند که رنگ نمونه نخ رنگرزی شده آبی تر باشد. اما کم تر بودن شاخصه ی رنگ آبی یا به عبارتی بیشتر بودن شاخصه زردی می تواند به دلیل اشکال در رنگرزی و احیاء نشدن کامل پودر رنگزای ایندیگوی استخراج شده باشد. در نمونه های شماره ۵ و ۹ که کمترین شاخصه سبزی و آبی را دارند ملاحظه می شود که کمترین مقدار شاخصه اشباع رنگی را نیز دارا هستند. عدم احیای کامل رنگزا و اشکال در رنگرزی شبیه شده تا در اندازه گیری پارامترهای رنگی علیرغم فام رنگی پرمایه در نمونه رنگرزی شده مقادیر رنگی کمتری محاسبه شود. در نمودار شکل ۳ مقدار ایندیگوی استخراج شده در محیط قلیایی مختلف نشان داده شده است.

همانطور که نتایج گزارش شده در جدول ۷ نشان می دهد، بیشترین میزان رنگزا با ده دقیقه هوادهی ممتد که با دستگاه همزن برقی

جدول ۱۴: بررسی ثبات های شست و شویی، لکه گذاری و نوری، نمونه های جدول ۱۲

شماره نمونه	از شست و شو		میزان ثبات	از شست و شو		میزان ثبات نوری
	قیل	یعد		قیل	یعد	
۱			۴-۵ ثبات لکه گذاری			۷
۲			۴-۵			۸
۳			۴-۵			۸
۴			۴-۵			۸
۵			۴-۵			۴
۶			۴-۵			۵

نمونه‌های رنگ‌رزی شده با رنگزای استخراج شده نسبت به نوع شیمیایی بسیار بهتر است. احتمالاً غلظت بالای رنگزای موجود در کلاف پشمی، فام پررنگ تر، دلیل افزایش ثبات‌ها باشد. یکی از متغیرهای تاثیر گذار در ثبات نوری نخ‌های نساجی غلظت رنگزا یا رنگدانه درون کالا می باشد [۲۱].

۴- نتیجه گیری

طبق آزمایشات صورت گرفته بیشترین مقدار ایندیگو به منظور استخراج از نیل به روش آب گرم زمانی حاصل می شود که میزان pH محیط ۹ باشد. همان طور که نتایج نشان می دهد میزان ایندیگوی استخراج شده از pH برابر با ۷ تا ۹ روند رو به رشدی دارد و از pH ۹، هر چه بر اندازه pH افزوده می شود، میزان ایندیگوی استخراج شده کاهش می یابد. همچنین نمونه نخ‌های پشمی رنگ‌رزی شده نشان می دهد که با افزایش pH در حمام استخراج، مقادیر رنگی مربوط به فام آبی در نمونه‌ها افزایش می یابد و کالای پررنگ تری مشاهده شد. تا جایی که نمونه آزمایش با pH حدود ۱۱ کالای رنگ شده به رنگ سرمه‌ای را نشان می دهد. در نتیجه pH ۹ به منظور داشتن بیشترین راندمان استخراج رنگزا مناسب بوده و pH تا حدود ۱۱ آبی پررنگ تری را در رنگ‌رزی حاصل می کند. همچنین به منظور افزایش راندمان استخراج، دمای گرمادهی ۸۰ درجه سانتی گراد بوده، هوادهی باید به مدت ۱۰ دقیقه انجام گیرد و نمونه آزمایش (محلول رنگی) نیز هفت روز ثابت و بی حرکت بماند. همچنین به منظور ارزیابی تاثیر شیوه‌های گوناگون خشک کردن گیاه نیل در استخراج رنگزا، برگ‌های تازه گیاه نیل تهیه شده از کرمان به شیوه های گوناگون خشک شده و به روش آب گرم مورد آزمایش قرار گرفتند. بیشترین مقدار ایندیگو از برگ هایی که در آب و هوای کرمان خشک شده بودند، به دست آمد. شاید چون گیاه تازه نیل تا از کرمان به تهران برسد تازگی و طراوت خود را از دست داد. بنابراین گیاه خشک شده در شرایط تهران با گیاه تازه خشک شده در کرمان یکسان نبودند. و مدتی که طول کشید تا گیاه تازه از کرمان به تهران برسد تخمیر جزئی سبب تغییر ساختار اجزای درون گیاه شده باشد. این موضوع نیاز به انجام آزمایشات مفصل تری دارد. با وجود آنکه میزان ایندیگو استخراج شده از برگ های خشک شده با میکروویو نسبت به استخراج از برگ‌هایی که در آب و هوای کرمان خشک شده‌اند کمتر است؛ رنگ‌رزی در هر کدام از نمونه ها نشان می دهد که نخ‌های رنگ‌رزی شده با برگ های خشک شده در میکروویو با توان ۱۰۰٪ رنگ آبی پرمایه تری را به دست می دهد، احتمالاً میزان ایندیگوی موجود در پودر حاصله بیشتر بوده است. پیشنهاد می شود در پژوهش‌های

قرار گرفت. نتیجه نشان می دهد که بیشترین مقدار ایندیگو در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد حاصل شده و مقدار رنگزا در دمای نزدیک به جوش به شدت کاهش یافت. احتمالاً دمای جوش سبب تجزیه فرم ایندیکان در گیاه نیل می شود. در جدول ۹ نیز نتایج نشان می دهد که افزایش زمان گرمادهی نیز سبب افت راندمان استخراج شده است.

۳-۱- بررسی تاثیر شرایط خشک کردن گیاه نیل بر میزان استخراج ایندیگو

به منظور بررسی تاثیر شرایط خشک شدن گیاه نیل بر میزان استخراج ایندیگو، برگ‌های تازه گیاه نیل از استان کرمان تهیه و شرایطی چون: خشک کردن گیاه در آفتاب، سایه، دستگاه میکروویو و دستگاه اون مورد ارزیابی قرار گرفتند که در ادامه نتایج به دست آمده در جدول شماره ۱۱ نشان داده شده است. نکته قابل توجه این که وزن هر ۱۰۰ گرم گیاه تازه‌ی نیل پس از خشک شدن تقریباً ۲۵ گرم می شود.

نتایج به دست آمده در جدول شماره ۱۱ حاکی از آن است که میزان ایندیگوی استخراج شده از برگ‌هایی که با دستگاه میکروویو خشک شده و سپس با روش آب گرم مورد آزمایش قرار گرفته، بیشترین مقدار می باشد. در جدول شماره ۱۲ نمونه‌های مطلوب به دست آمده در آزمایشات، از نظر فام رنگی و راندمان استخراج مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

مقادیر رنگی برای نمونه‌های انتخابی که از نظر فام رنگی، شرایط و راندمان استخراج و ثبات‌ها مطلوب به نظر رسیدند نیز محاسبه شد. نتایج این اندازه گیری‌ها در جدول شماره ۱۳ ذکر شده است. نتایج حاصل از اندازه گیری مقادیر رنگی نشان می دهد که مقادیر آبی‌ای در نمونه‌های شماره ۱، ۳ و ۴ بیشترین است. علاوه بر آن مقادیر اشباع رنگی نیز بیشترین مقدار را نشان داده است. یعنی برگ تازه گیاه نیل و یا خشک کردن آنها در زمان بسیار کوتاه و با استفاده از میکروویو نتیجه بهتری در استخراج رنگزا را حاصل می نماید.

۳-۲- اندازه گیری ثبات های عمومی

پس از اتمام آزمایشات و انتخاب نمونه‌های مطلوب، ثبات‌های شستشویی، لکه گذاری مطابق روش استاندارد ISO-105 CO3 و ISO 105 BO2 و ثبات نوری مطابق روش ISO 105 CO4 برای نمونه‌ها انجام شد. نتایج اندازه‌گیری ثبات‌های عمومی کالای رنگ‌رزی شده در جدول شماره ۱۴ نشان داده شده است. همانطور که نتایج نشان می دهد ثبات‌های شستشویی، لکه گذاری و نوری

۵- مراجع

- [1] www.wildcolours.co.uk, 20/06/1395).
- [۲] ملا ماریه، بررسی تاثیر شرایط آماده سازی و فرآوری گیاه وسمه در کیفیت رنگرزی نخ خامه قالی، زهرا احمدی کارشناسی ارشد دانشگاه هنر ۱۳۹۶
- [3] www.advances.sciencemag.org, 10/08/1395)
- [4] S.,GostaIndigo Textiles: Technique and History. London Sterling, (1989).
- [5] Clark, Robin J.H., Cooksey, Christopher J., Daniels, Marcus A.M. Indigo, Woad, and Tyrian Purple: Important vat dyes from antiquity to the present. Endeavour. 17(4), (1993), 191-199.
- [۶] کریمشاهی، ویسیان، حیدری نیل از آغاز تا کنون. دومین سمینار ملی تحقیقات فرش دستیاف، تهران، وزارت بازرگانی، (۱۳۸۶).
- [7] Gilbert, K. G., Hill, D. J., Crespo, C., Mas, A. Lewis, M., Cooke, D. T., Qualitative Analysis of Indigo Precursors from Woad by HPLC and HPLC-MS. Phytochem. Anal. 11,(2000), 18-20.
- [8] B.-P., Jenny, Indigo. London british museum press(1998).
- [۹] امیری، داوود. رنگرزی طبیعی و استخراج رنگدانه از گیاه اسپرک. تهران: شباهنگ(۱۳۸۷).
- [۱۰] جهانشاهی افشار، ویکتوریارنگرزی الیاف با مواد طبیعی. تهران: نشر دانشگاه هنر(۱۳۷۵).
- [۱۱] منتظر، ویسیان، حیدری(۱۳۸۸). طبیعت گرایی در رنگرزی الیاف پروتئینی. تهران: مرکز ملی فرش ایران.
- [12] M. Thierry, E., Estelle, Ch., Patrick, Dominique Legoya, Legoya, Identification of an indigo precursor from leaves of Isatistinctoria (Woad). Phytochemistry. 58, (2001), 897-904.
- [13] C., Dominique, Natural dyes. Archeype.(2007).
- [14] R., Mira, Dyes in ancient and medieval india. Vivekananda Road, calcatta. 13, (1977), 83-112.
- [15] Vuorema, Anne. Reduction and analysis Methods of indigo, Department of Chemistry, University of Turku, Finland, (2008)..
- [16] N.Chanayath, S.Lhieochaiphant and S.Phutrakul, Pigment Extraction Techniques from the Leaves of Indigoferatinctoria Linn. and BaphicacanthuscusiaBrem. and Chemical Structure Analysis of Their Major Components, CMU. J., Vol. 1(2), 149, (2002)
- [17] N. Comlekcioglu1, L.Efe, S. Karaman1, Extraction of Indigo from Some Isatis species and Dyeing Standardization Using Low-technology Methods, Brazilian Archives of Biology & Technology Vol.58, No.1,January-February 2015, 96-102,.
- [18] O.Adeyanju, S. E. Emmanuel and S. F Akomolafe, Extraction of Indigo Dye (Powdered, Form) from the Leaf of IndigoferaTinctoria, Int. J. of Physical Science, Volume 6, Number 1, 2011.
- [19] K. G. Stoker, D. T. Cooke, D. J. Hill, An Improved Method for the Large-Scale Processing of Woad (Isatistinctoria) for Possible Commercial Production of Woad Indigo, J. agric. Engng Res. 71, (1998), 315-320.
- [20] P.B.Tayade,R.V.Adivarekar, Extraction of Indigo dye from Couroupitaguianensis and its application on cotton fabric, Fashion and Textiles, 2014, 1-16
- [۲۱] احمدی، زهرا، حقیقت کیش، محمد، پایان نامه دکتری، " بررسی و ارزیابی تاثیر نوع، مقدار و پارامترهای ساختاری رنگدانه بر مکانیسم پایداری نوری الیاف پلی پروپیلن" دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۶

آتی ساختار شیمیایی پودر رنگزای حاصله در هر روش شناسایی شود. زیرا در برخی روش‌ها علیرغم مقدار پودر رنگزای استخراج شده رنگ حاصله کم رنگ تر بوده است. اندازه‌گیری ثبات نمونه‌ها نشان می‌دهد که ثبات شست و شویی و ثبات لکه‌گذاری تمامی نمونه‌های انتخاب شده محدوده‌ی ۴ تا ۵ را نشان می‌دهند که در حد مطلوب است. ثبات نوری الیاف رنگ شده با پودر نیل شیمیایی بسیار ضعیف و حدود ۴ بود. همچنین ثبات نوری نمونه الیاف رنگ شده با برگ‌های خشک‌شده در مایکرو ویو، الیاف رنگ‌شده با برگ‌های تازه ثبات بسیار عالی و حدود ۸ را نشان می‌دهد. مقایسه اقتصادی میزان ایندیگوی استخراج شده با نمونه وارداتی و همچنین راندمان استخراج رنگزا در مقایسه با نتایج تحقیقات سایرین، نشان می‌دهد با شرایط استخراج ذکر شده در مقاله حاضر، روش استخراج به کار گرفته شده برای گیاه نیل و نیز کیفیت رنگرزی قابل قبول است.