

بررسی خواص زعفران در رنگرزی کاغذ بر اساس دستورالعمل‌های متون تاریخی (مطالعه ثبات رنگی در برابر نور)

صدیقه روحی دهبنه^۱، کورس سامانیان^{*۲}، مریم افشارپور^۳

۱- کارشناس ارشد، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۵۵-۶۵۵

۲- دانشیار، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۵۵-۶۵۵

۳- دانشیار، پژوهشکده توسعه فرایندهای شیمیایی، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۳۳۵-۱۸۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۸/۹/۱۶

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی ثبات رنگی زعفران با توجه به دستورالعمل‌های ساخت رنگ در متون تاریخی ایرانی در برابر نور و شناسایی، معایب و مزایای آن برای استفاده در مرمت نسخ خطی است. سه نمونه کاغذ منتخب (I، II و III) با دستورالعمل‌های مختلف زعفران رنگ شد و بر اساس استاندارد ۲۰۲۸۳ ISIRI، در محفظه زنون پیرسازی گردید. سپس میزان تغییرات رنگ، ریخت‌شناسی الیاف، تخریب سلولز قبل و بعد از پیرسازی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد کاغذ III رنگرزی نشده به دلیل نداشتن افزودنی، پس از پیرسازی پایداری بیشتری نسبت به دو نوع کاغذ دیگر دارد. در مقایسه سه روش رنگرزی قبل و بعد از پیرسازی، زعفران سبب اکسایش کاغذ نشده و روش مستقیم برای رنگرزی سه نوع کاغذ، روش مناسب‌تری است. مقدار ثبات رنگی در نمونه‌های رنگرزی شده با روش دندان زدن هم‌زمان پایداری بیشتری نسبت به روش پیش دندان دارد، هر چند در روش پیش دندان و مقایسه اختلاف کل رنگ، کاغذ II پایداری بیشتری نسبت به کاغذ I داشته که این موضوع نشانگر تأثیر نوع کاغذ بر ثبات رنگی ماده رنگزای مورد استفاده در رنگرزی است.

واژه‌های کلیدی: زعفران، ماده رنگزای گیاهی، ثبات نوری، نسخ خطی، مرمت، متون تاریخی.

Study of Light fastness Properties of Saffron Used in Paper Dyeing according to Historical Treatises

S. Roohi Dehboneh¹, K. Samanian^{*1}, M. Afsharpour

1- Faculty of Conservation, University of Art, P. O. Box: 11155-655, Tehran, Iran

2- Chemistry and Chemical Engineering Research Center of Iran, P. O. Box: 14335-186, Tehran, Iran

Received: 17-07-2018

Accepted: 19-02-2019

Available online: 07-12-2019

Abstract

The purpose of this study is investigation of the colourfastness of saffron according to the instructions of dyeing in Persian historical treatises, and identifying the advantages and disadvantages of applying it in the restoration of manuscripts. Three types of selected papers (I, II and III) were dyed with saffron via different instructions. Ageing was done based on the ISIRI 20283 in Xenon container. Then, the color changes, fiber morphology and degree of cellulose degradation were compared before and after ageing. The experiments had shown that paper III, which was not dyed, had more stability than the other two types of paper after ageing. Comparing three types of dyeing methods, saffron had not been caused the oxidation of papers and the direct dyeing method was more appropriate for dyeing among three types of papers. Colourfastness in meta-mordanting method was more stable than pre-mordanting method. However, in the pre-mordanting method, comparing the total color difference (ΔE) show that paper II was more stable than paper I. So, the type of paper can affect on the colourfastness of dye and this should be considered as an important issue in dyeing. J. Color Sci. Tech. 13(2019), 169-190©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Saffron, Plant colorant, Light fastness, Manuscript, Restoration, Historical treatises.

۱- مقدمه

سه شاخه می‌باشد که به زعفران مشهور است [۱۳]. بالا بودن قیمت زعفران سبب شده تا برای رنگرزی الیاف کمتر مورد استفاده قرار گیرد. در صورتی که در گذشته کشت آن در مناطقی که کارگاه‌های نساجی فراوان بود، رواج داشت [۱۴، ۳]. اطلاعات درباره پیشینه کاغذسازی ایرانیان و طریقه ساخت آن بسیار اندک است و در متون کهن اشاراتی اجمالی و گذرا به آن شده است. ایرانیان در پیشرفت این صنعت نقش زیادی ایفا کرده‌اند و مواردی از قبیل آهارزدن به کاغذ، استفاده از قالب خیزران و کاغذ رنگی از نوآوری‌های آن‌ها بوده است [۱۵].

رساله‌های تاریخی متعددی در باب دستورالعمل و روش‌های رنگرزی کاغذ به جا مانده است. طبق اسناد تاریخی دوره تیموریان و صفویان تا دوره قاجار، کاغذهای مورد استفاده در مکتوبات اغلب رنگرزی شده‌اند [۱۶]. همچنین در اخراجات میرزا محمد علی صحاف (وزیر خانلر میرزا احتشام‌الدوله) به این صورت بیان شده است که: «رنگ کاغذها بنا به اولویت و اهمیت نوع مطالب و مخاطب آن مشخص و بر همین اساس مطالب از یکدیگر مجزا می‌گردیدند». این مسئله، خود معیاری برای انتخاب پوشش‌های محافظ پارچه‌ای این اسناد در زمان قاجار بوده است، یعنی انطباق رنگ کاغذ با رنگ کیسه‌های پارچه‌ای و همچنین کیفیت آنها [۱۷] که نشانگر اهمیت موضوع رنگ کردن کاغذ می‌باشد.

۱- Dioscorids پزشک، گیاه‌شناس و فیزیکیان یونانی که ترجمه آثارش به نام De material medica معروف است [۵].

2- Crocus sativus

ایرانیان، رومیان و یونانیان باستان از زعفران برای رنگرزی استفاده می‌کردند به طوری که این ماده در قرون وسطی به عنوان یک کالای مهم بازرگانی به‌شمار می‌رفت [۱]. در مصر باستان، زعفران برای رنگ‌آمیزی ابریشم [۲] و در چین، برای رنگ کردن لباس امپراطور و کاغذهای درباری استفاده می‌شده است [۳]. زعفران به عنوان داروی گیاهی، ادویه، رنگ غذا و ماده طعم‌دهنده از دوران باستان شناخته شده و سابقه آن ۲۳۰۰ سال قبل از میلاد می‌باشد. در نوشته‌های آشوری مربوط به قرن ۷ قبل از میلاد نیز به استفاده از زعفران اشاره شده است [۴]. همچنین دیوس کوریدس^۱ به معرفی رنگ‌های گیاهی دوران باستان و برای تهیه فام زرد و استفاده از گل‌های زعفران برای رنگ‌های زرد و نارنجی پرداخته است [۵، ۱]. زعفران به عنوان رنگینه زرد در مینیاتورهای ایرانی قرن ۱۶ و جعبه نقاشی و پالت‌های رنگ قرن ۱۹ شناسایی شده است [۶]. زعفران علاوه بر استفاده در رنگ‌آمیزی کاغذ، به واسطه خواص بافری و به منظور جلوگیری از خوردگی کاغذ، به عنوان یک ماده افزودنی به مرکبها [۷] و برای تولید رنگ سبز به زنگار نیز اضافه می‌شده [۸، ۶]. همچنین در گستره زمانی وسیعی (سده سوم تا دوازدهم) در تزئین قرآن‌ها به کار رفته و عمده استفاده آن در تعیین فواصل آیات، کتابت سر سوره‌ها و نیز ترسیم جدول‌ها بوده است [۹، ۱۰].

زعفران از گل‌های گیاه کروکوس ساتوس^۲ به‌دست می‌آید [۱۱] و جزء دسته مواد رنگزای کارتونوئیدی می‌باشد [۱۲]. گیاهی کوچک و چندساله به ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است. گل‌ها دارای سه پرچم و یک مادگی منتهی به کلاله سه شاخه به رنگ قرمز متمایل به نارنجی است. قسمت مورد استفاده این گیاه انتهای خامه و کلاله



شکل ۲: استفاده زعفران در تزئین سر سوره قطعه‌ای از قرآن سده سوم، مجموعه موزه ملی ایران شماره دستیابی ۳۴۵۴ [۱۰].



شکل ۱: بکارگیری زعفران در رنگ سبز زنگار نقاشی مینیاتور ایرانی متعلق به قرن ۱۶ م.، مجموعه عتیقی، تهران، ایران [۸].

یک سو و از سوی دیگر تنوع رنگ در کاغذ این نسخه‌ها، مرمت‌گران را دچار مشکلاتی برای هم‌رنگ‌سازی کاغذهای مرمتی نموده است. از آنجایی که رنگ‌های گیاهی بر خلاف رنگ‌های شیمیایی به دلیل ترکیبات مختلف موجود در آن، با گذشت زمان و در اثر تأثیر مواد شیمیایی، به تدریج کم‌رنگ و در هم آمیخته و موزون می‌شوند [۳۶] و از سوی دیگر با محیط زیست سازگار، تجدیدپذیر و برای سلامتی انسان کم‌خطر است [۳۷]، بنابراین مرمت‌گران به استفاده از رنگ‌های گیاهی برای هم‌رنگ‌سازی کاغذها تمایل بیشتری دارند. با توجه به بررسی عملکرد مراکز مرمت در ایران مشاهده می‌شود که در اکثر آنها، برای استفاده از رنگ‌های گیاهی در رنگ‌آمیزی کاغذهای مرمت، بیشتر به مسئله تشابه رنگی به صورت چشمی تأکید شده و در بعضی از مراکز، علاوه بر موضوع فوق، به میزان اسیدی بودن نیز توجه می‌گردد. اما با بررسی دستورالعمل‌های ساخت رنگ‌های سنتی موجود در رساله‌های تاریخی، دیده می‌شود برای به دست آوردن رنگی با ثبات و کیفیت مناسب، رعایت شرایط خاص ضروری است، در غیر این صورت رنگ، کیفیت، فام مناسب و ثبات لازم در برابر نور، مواد شیمیایی را به دست نمی‌آورد؛ به همین دلیل عدم دقت در استفاده از مواد مناسب در مرمت می‌تواند زوال زود هنگام آثار تاریخی را دربرداشته باشد.

نور یکی از عوامل بسیار مهم در تخریب ساختار مواد اشیای موزه‌ای، کتابخانه‌ای و آرشیوی و تغییر رنگ آنها است که در این پژوهش به آن توجه شده است. نور منتشر شده از منابع نوری طبیعی یا مصنوعی موجود در فضاهای نگهداری آثار (مخازن یا ویتترین‌های نمایش موزه‌ها)، می‌تواند آسیب‌های مختلفی را به آثار مکتوب از جمله بی‌رنگ شدن مواد رنگزا، رنگدانه‌ها و جوهرها را به دنبال داشته باشد. بر طبق نظر کربی [۳۸] و کروهن [۳۹] عوامل متعددی بر کیفیت رنگ در هنگام ساخت مؤثر می‌باشد و از سوی دیگر کیفیت، ثبات رنگی و درخشش رنگ‌ها در اکثر آثار تاریخی، نشان‌دهنده بکارگیری روش‌های خاص در تهیه رنگ آنها است. به همین جهت هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر مواد رنگزای زعفران با توجه به دستورالعمل‌های ساخت رنگ، در متون تاریخی ایرانی بر میزان مقاومت و ثبات رنگی کاغذهای رنگ شده با زعفران در برابر نور، شناسایی معایب و مزایای احتمالی استفاده از این رنگینه در رنگرزی کاغذهای مورد استفاده در مرمت نسخ خطی و احیاء روش‌های سنتی رنگ‌آمیزی کاغذ که یکی از فنون اصلی در کتاب‌آرایی و نسخه‌شناسی به شمار می‌آید؛ می‌باشد.

روش پژوهش حاضر کمی و تلفیقی از روش میدانی و تحلیلی و از نظر هدف پژوهشی کاربردی بوده که در جمع‌آوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای و میدانی بهره‌گیری شده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات بر اساس جدول‌ها و نمودارهای تهیه شده منتج از نتایج

متون تاریخی نظیر «رساله در بیان طریقه ساختن مرکب و کاغذهای الوان» قرن ۱۰ ه.ق. [۱۹، ۱۸]، «جوهریه» مربوط به قرن ۱۳ یا ۱۴ ه.ق. [۲۲-۱۹]، «بیاض خوشبویی» [۲۳، ۱۶]، «گلزار صفا» [۲۴، ۲۵، ۱۹] و نسخه خطی «جواهرالصنایع» به شماره ۲۸۴۹ کتابخانه مجلس شورای اسلامی [۲۶] در مورد تهیه رنگ از گیاهان مختلف از جمله زعفران مطالبی را ارائه کرده است. همچنین نسخه‌شناسانی نظیر دانش‌پژوه، افشار، گلچین معانی و غیره، ضمن شناسایی نسخه‌های خطی و معرفی مشخصات نسخه‌شناسی به صورت مقاله، به شناساندن نسخه‌ها از طریق استنساخ یا چاپ نسخ خطی اهتمام داشته‌اند. این موضوع در کتاب مرجع مایل هروی [۱۹] یا قلیچ‌خانی [۲۷] که نسخ خطی متعددی را معرفی و استنساخ نموده‌اند، کاملاً دیده می‌شود.

با بررسی مطالعات انجام شده محققان، مشاهده می‌شود که محور بیشتر پژوهش‌ها، کاربرد مواد رنگزای طبیعی (گیاهی و معدنی) و شیمیایی در رنگرزی الیاف پارچه و فرش یا تجزیه و تحلیل مواد رنگزای بکار رفته در آثار نظیر نقاشی‌ها، تذهیب‌ها و غیره بوده و این مسئله از زوایای مختلف مورد مطالعه، ارزیابی و مقالات و پایان‌نامه‌های متعددی ارائه شده است، در این بین تعداد پژوهشگران اندکی نسبت به تحلیل تاریخی و علمی مواد رنگزای طبیعی مورد استفاده در کاغذ توجه نشان داده‌اند. به عنوان مثال برکشلی در پژوهش خود مشاهده کرد که بکارگیری رنگ سبز زنگار به تنهایی، سبب خوردگی کاغذ خواهد شد [۲۱]، اما افزودن کمی زعفران به آن در هنگام ساخت (مطابق دستورالعمل‌های سنتی)، سبب پایداری رنگ و توقف روند تخریب در زنگار می‌شود [۲۹]. این محقق در پژوهش‌های اخیر خود (از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ م.) اقدام به معرفی متون تاریخی و طبقه‌بندی مواد و مصالح مورد استفاده در کتاب‌آرایی نظیر آهارها و مواد رنگزای گیاهی بومی ایران بر اساس فام رنگ نموده است [۳۰-۳۳]؛ همچنین ایجاد استفاده از رنگ‌های طبیعی زرد رنگ در آستر بدرقه نسخه‌های خطی مصری و دستورالعمل‌های موجود در متون تاریخی^۳ را بررسی کرده است. او دریافت که بیشترین منابع رنگ زرد استفاده شده در طول قرون میانه اسلامی، اسپرک، زردچوبه، گلرنگ و زعفران بوده است [۳۴]. بلانس برای تعیین ساختار رنگ‌های گیاهی از روش HPLC-DAD استفاده کرده است و نمونه‌هایی از عصاره‌های رنگ‌های طبیعی از نقشه‌های تاریخی متعلق به آرشیو Royal Chancellery در گراندادا تهیه و به شناسایی آنها پرداخته است [۳۵].

وجود نسخ خطی آسیب‌دیده فراوان و نیازمند مرمت در کشور از

۱- رونوشت برداشتن از نوشته یا کتابی، نسخه برداری [۲۸].

۲- Ebeid

۳- نسخه خطی موجود در کتابخانه و آرشیو ملی مصر با عنوان «Rsalh Fa

'Sna'at al-Hbar Wghyrha» مربوط به مصطفی الصفتی (1851 AD)، با

پانزده دستورالعمل تاریخی، مورد بررسی قرار گرفته است [۳۴].

۴- در ادوار قدیم به رنگ کردن کاغذ، گونه کردن گفته می‌شد [۴۱].

«رساله در بیان طریقه ساختن مرکب و کاغذهای الوان»^۷ [۱۹] و «جوهریه»^۸ [۲۷]، ۱ مثقال زعفران به ۵ سیر آب و قرارگیری در آفتاب به مدت ۳ روز و در «رساله در معرفت کاغذ الوان» [۴۴، ۱۹۰]، این نسبت به ۱ مثقال زعفران و ۵۰ مثقال آب تغییر کرده است. در برخی از رساله‌ها نظیر «رساله در بیان رنگ کردن کاغذ»^۹ [۴۴]، «مجموعه الصنایع»^{۱۰} [۴۵] و «بیاض خوشبویی»^{۱۱} [۴۶] برای تهیه رنگ زعفرانی و زرد زرین مقادیر زعفران و آب نامشخص بوده، اما زمان قرارگیری در آفتاب در «مجموعه الصنایع» نیم روز و در «بیاض خوشبویی» یک روز می‌باشد. از آنجایی که موضوع تفاوت در مقادیر ارائه شده برای زعفران و آب، در تنالیته رنگ زرد حاصله تأثیر خواهد داشت، به همین علت این دستورالعمل‌ها در یک دسته طبقه‌بندی شدند، از سوی دیگر در اکثر رساله‌های مورد بررسی برای تهیه رنگ زرد از زعفران، به دستورالعمل ۱ مثقال زعفران و ۵ سیر آب و قرار دادن آن به مدت ۳ روز در آفتاب اشاره شده است، بنابراین دستورالعمل فوق، مبنای تهیه رنگ زرد در این پژوهش قرار گرفته است^{۱۱} [۴۷].

۳۱۲۱/۴، ۴۷۶۷، ۱۱۰۰ (ق.) و ۴۲۶۷/۱۱ (۱۲۶۷ ق.) در مرکز اسناد و کتابخانه مجلس شورای اسلامی موجود است [۴۴، ۲۷، ۱۹۰]. در ضمن مایل هروی این نسخه را با عنوان رساله‌ای در بیان کاغذ، مرکب الوان و خط اوئل معرفی کرده‌اند [۱۹]. ۷- این نسخه به شماره ۲۸۷۰ در مرکز اسناد، کتابخانه و موزه ملی ملک موجود است [۱۹].

۸- از این نسخه خطی به شماره ۵۲۶/۸ (۱۲۷۱ ق.) در مرکز اسناد، کتابخانه و موزه ملی ملک (بخش رنگ‌های کاغذ در این نسخه موجود نمی‌باشد)، به شماره ۳۳۶۴/۸ (قرن ۱۱) در مرکز اسناد و کتابخانه مجلس شورای اسلامی و نسخه محفوظ در کتابخانه بودلیان به نشانی Add69/32 (۱۲۰۰ ق.) که فیلم آن به شماره ۱۲۳۶ در کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران نگهداری می‌شود؛ موجود است [۲۷، ۱۹۰].

۹- قلیچ‌خانی این نسخه را با عنوان «رساله‌ای در رنگ‌آمیزی کاغذ» در کتاب رسالاتی در خوشنویسی آورده است. از این نسخه خطی به شماره ۳۰۴/۸ در کتابخانه خانقاه نوربخش (مایل هروی به شماره ۳۰۴ در خانقاه نعمت‌اللهی اشاره دارد) موجود است [۴۴، ۲۷، ۱۹۰].

۱۰- از این نسخه به شماره ۹۷۸ ف (۱۱۲۹ ق.) و شماره ۵۱۹-۲۴۰۴ (۱۰۹۶ ق.) در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ج.ا.ا. به شماره ۲۸۷۶ در کتابخانه مدرسه سپهسالار، نسخه خطی به شماره ۳۸۷۵ (۱۰۰۵ ق.) و میکروفیلم به شماره ۱۱۱۹ در کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران، نسخه‌های شماره ۲۷۸۱ (۱۱۴۷ ق.)، مؤلف میر یحیی) و ۲۷۸۳ (۱۱۹۴ ق.)، مؤلف حکیم فیلسوف مغربی) در ایندیا آفیس و نسخه چاپ سنگی نوشته حکیم کامران شیرازی صنعت‌شناس عصر قاجار (چاپ شده در سال ۱۹۰۶ میلادی در هند) موجود است [۴۹].

۱۱- این نسخه در کتابخانه دیوان هند به شماره ۸۲۸ موجود است [۴۴، ۲۳].

۱۲- نمونه‌ای از دستورالعمل رنگ‌رزی مستقیم در رساله «جوهریه» برای تهیه رنگ زرد از زعفران عبارتست از: «قدری زعفران بی‌غش (پاک) را که نیک تلخ باشد، و زرد رنگ بود، ریشه ریشه از یکدیگر جدا کند و در شیشه اندازه، و هر یک مثقال زعفران را پنج سیر آب پاک بیامیزد، و سر شیشه محکم کند، و در آفتاب نهد سه روز، تا تمامت شیریه آن بیرون آید و جرم او چون کاه بماند. آنگاه آنرا بر کوبی پاک [و] نازک بیالاید، و در قحچ چینی بگذارد، تا نیک صاف شود. پس در طبقی پاک [و] بزرگ ریزد، و پهن [کند] و کاغذ را در آن بیالاید و چندان توقف کند، که رنگ در مجموع اجزاء کاغذ اثر کند. آنگاه پاره کرباسی پاک را بر طنابی اندازه، و کاغذ را بر بالای آن کرباس افکند، و در سایه خشک کند؛ بعد از آن مهره زند [۲۷].

تجربی در نرم‌افزار SPSS و EXCEL می‌باشد. تلاش خواهد شد با بررسی تحلیلی متون تاریخی، انجام آزمایشات شبیه‌سازی و آنالیزهای تفسیری به سوالات پژوهش پاسخ داده شود.

۱-۱- بررسی متون تاریخی در خصوص تهیه فام زرد از زعفران
در این تحقیق به منظور دستیابی به فام زرد جهت رنگ‌رزی کاغذهای مرمتی مورد استفاده در مرمت اسناد و نسخ خطی آسیب‌دیده، دستورالعمل‌های ارائه شده در ۳۲ رساله فن کتاب‌آرایی مورد بررسی قرار گرفت. ۲۳ رساله از رساله‌های بالا به رنگ‌آمیزی کاغذ و معرفی گیاهان برای به دست آوردن انواع رنگ‌های روحی^۱ (رنگینه گیاهی) پرداخته، که از این تعداد، فقط در ۱۱ رساله دستورالعمل‌های رنگ زرد با استفاده از زعفران موجود می‌باشد. در این رساله‌ها علاوه بر دستورالعمل‌های رنگ «زرد»، دستورالعمل‌های ساخت رنگ‌هایی نظیر «زرد زرین»، «زرد لیموئی»، «زعفرانی»، «لیموئی» در نظر گرفته شده است. سرخ، باریک، بلند و جدا بودن ریشه‌ها، تلخ بودن و عاری از خاک و آلودگی زعفران، مشخصاتی است که در رساله‌های مورد بررسی به آن تأکید شده است.

براساس گزارش‌های پیشین، زعفران رنگی محلول در آب بوده و بدون هیچ آماده‌سازی اولیه، در آب خیس‌انده شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۳]. با مطالعه متون تاریخی، سه دسته دستورالعمل رنگ‌رزی برای تهیه رنگ زرد از زعفران یافت شد که عبارتند از رنگ‌رزی مستقیم (دستورالعمل ۱)، رنگ‌رزی پیش‌دندان (دستورالعمل ۲) و رنگ‌رزی دندان زدن هم‌زمان (دستورالعمل ۳). در نسخه‌های خطی مختلف برای رنگ‌رزی از نوع مستقیم، ۱۰ دستورالعمل ارائه شده است. به طور مثال در نسخه خطی «گلزار صفا»^۲ [۲۴، ۲۷] و «ریاض‌الابرار»^۳ [۴۰، ۱۹۰]، ۱ مثقال^۴ زعفران به ۱ سیر^۵ آب اضافه و به مدت ۳ روز در آفتاب نگهداری می‌شود. سپس کاغذ پس از رنگ‌رزی در سایه خشک می‌گردد. اما این مقادیر در نسخه‌های خطی «رساله در بیان کاغذ و رنگ‌های الوان»^۶ [۲۰، ۲۷]، «رساله در بیان کاغذ و مرکب و حل الوان» [۱۹]،

۱- رنگ‌های شفاف و خالص که جرم و وزن خاصی به کار، نمی‌دهند. در نسخ خطی رنگ‌ها به «جسمی» (نور از آنها عبور نمی‌کند)، «روحی» (نور از آنها عبور می‌کند) و «سریشمی» (رنگ‌های طبیعی مخلوط با بست‌هایی نظیر شیره انگور، عسل و صمغ عربی)؛ تقسیم‌بندی می‌شوند [۴۲].

۲- نسخه‌ای از آن در پاریس به شماره p.1656 است که فیلم آن به شماره ۳۶۳۷/۳ در کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران قابل دسترس است [۲۷، ۱۹۰].

۳- از این نسخه به شماره ۲۰۳۳ در کتابخانه آستان قدس رضوی و نسخه دیگری از آن در کتابخانه موزه بریتانیا or3648 (فیلم آن به شماره ۴۰۲۱ در کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران) موجود است. نسخه آستان قدس معتبرتر و نزدیک به روزگار تألیف می‌باشد [۱۹].

۴- هر مثقال برابر ۴/۶۴ گرم می‌باشد [۴۲، ۳۳].

۵- واحد وزن ایرانی سنتی است و برابر است با ۷۵ گرم [۳۳].

۶- نسخه خطی به شماره‌های ۶۱۵۰ [۲۰]، ۴۱۰۵۰ [۲۴۵۹]، ۳۱۲۱/۵ (۹۰۸ ق.)،

مرمتی در مرمت اسناد و نسخ خطی استفاده می‌شوند، انتخاب گردیدند. لازم به ذکر است ساخت کاغذهای مرمتی به روش دست‌ساز سنتی بوده و در تهیه آن از آهار استفاده نگردیده و الیاف آن سفیدشویی نشده است. کاغذهای فوق، به‌دلیل کیفیت بالا، در گذشت زمان دچار تخریب کمتری می‌شوند [۵۱].

۱- از این نسخه خطی به شماره‌های ۲۸۴۹، ۱۲۲۴۸ و ۱۵۶۱۷ به نام‌های مجمع الصنایع و مجموعه‌الصنایع در کتابخانه مجلس شورای اسلامی وجود دارد [۲۶] همچنین نسخه‌ای به شماره IRN-003-0621 در کتابخانه حائری قم به تاریخ ۱۰۰۸ ق. موجود است [۴۸].

۲- زاج سفید
۳- در رساله مجموعه‌الصنایع برای رنگ لیمویی چنین بیان شده است: «قدری زعفران حل کرده و صاف نکرده ورق زر نیم حل چنانکه ریزه ریزه باشد به آن بیامیزند و اول کاغذ را بآب شَبّ یمانی بردارند و بگذارند تا خشک شود و بعد از آن زعفران زرد ازو بشوراند و درو برکشند زرد زرین زرافشان شود برنگ لیمویی لطیف [۴۵].

۴- در رساله جواهرالصنایع برای رنگ زرد چنین بیان شده است: «در رنگ زرد بستاند قدری زعفران و شَبّ در ظرفی کنند و قدری آب نیم در وی ریزند و نیم‌روز بیشتر نگذارند بعد از آن بیالایند و کاغذ از آن برکشند و اگر رنگ بیشتر و نیک خواهند ساعتی دیگر بردارند زرد در غایت خوبی و لطافت آید [۴۸].

۵- مهم‌ترین دندان‌های که در رنگرزی رنگ‌های قالی از آن استفاده می‌گردد؛ املاح آلومینیم و مخصوصاً نمک مضاعف آلومینیم و پتاسیم است که زاج سفید نامیده می‌شود. در متون قدیمی از آن به زیمه، شَبّ، شَبّ یمانی نام برده می‌شود. نام فارسی آن زاک، زاغ، زاج است و در زبان هندی، پهنکری گفته می‌شود. نام‌های محلی آن زمه (مشهدی)، زی (ترکی)، زمج (افغانی) است و بیش از ۲۵ نوع می‌باشد. در ایران معادن زاج سفید فراوان است. مهم‌ترین معادنی که فعلاً استخراج می‌شوند معادن طارم زنجان و ارومیه هستند [۵۳].

۶- کاغذهای ژاپنی که در حفاظت و مرمت به‌کار برده می‌شوند اغلب دست‌ساز، بسیار نازک و به‌دلیل طویل و محکم بودن الیاف گیاهان مورد استفاده در آن (*Gampi, Mitsumata, Kozo*) دارای استحکام بالایی هستند. با انتخاب الیاف گیاهی مناسب و مقدار کمی تغییر در فرآیند ساخت، انواع مختلفی از کاغذهای ژاپنی با شماره و وزن‌های مختلف تولید می‌شود [۵۴].

در سه نسخه خطی «مجموعه‌الصنایع»، «جواهرالصنایع»^۱ [۴۹]، [۴۸] و «بیاض خوشبویی»،^۳ دستورالعمل از نوع پیش‌دندان‌ها برای تهیه رنگ لیمویی و زرد لیمویی با استفاده از زعفران، آب، شَبّ یمانی^۲ و ورق زر ارائه شده است.^۳ در این دستورالعمل‌ها ابتدا کاغذ با شَبّ یمانی آغشته و خشک شده؛ سپس با زعفران رنگرزی می‌گردد که در حقیقت رنگرزی از نوع پیش‌دندان‌ها می‌باشد. مقادیر وزنی مواد در این دستورالعمل‌ها و همچنین مدت زمان قرارگیری در آفتاب بیان نشده است. از آنجایی که در دوران قدیم برای ساخت کاغذ زرافشان، بکارگیری ورق طلا مرسوم بوده است و این امر بیشتر جنبه تزئینی به کاغذ می‌داده و تأثیری بر الیاف یا رنگ نداشته، به همین دلیل در ساخت این رنگ‌ها، از بکارگیری ورق طلا (ورق زر) صرف‌نظر شده است.

در نسخه خطی «جواهرالصنایع»، یک دستورالعمل از نوع دندان‌زدن هم‌زمان برای تهیه رنگ زرد نیز وجود دارد که در آن به طور هم‌زمان آب نیم گرم، شَبّ و زعفران مخلوط و به مدت نیم روز در آفتاب قرار داده می‌شود.^۴ این دستورالعمل رنگرزی از نوع دندان‌زدن هم‌زمان می‌باشد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

گیاه زعفران مورد استفاده در این پژوهش از روستای تیزاب توابع شهرستان سنگان پایین خواف از شهر تربت حیدریه استان خراسان رضوی تهیه گردید. زعفران فوق مربوط به کشت سال ۱۳۹۵ بوده و پس از جدا شدن سرریشه‌ها از گل زعفران، به صورت طبیعی و بدون استفاده از دستگاه، خشک شده است. زاج سفید^۵ از عطاری‌های سنتی تهران خریداری گردید. در این تحقیق از کاغذ واتمن شماره ۱ به عنوان کاغذ استاندارد استفاده شد و به منظور مطالعه بیشتر، دو نوع کاغذ ژاپنی^۱ (*Usumino B6* و *Kinugawa*) که به عنوان کاغذ

جدول ۱: مشخصات کاغذهای مورد استفاده در رنگرزی.

ردیف	نام کاغذ	شرکت سازنده	شماره کاغذ	نوع الیاف	pH ₀	گرم‌اژ ^۱ (g/m ²)
۱	Kinugawa*	جایپکو ^۲	J۶۳۲۱۶۱	Thai Kozo ۷۰٪، ۳۰٪ خمیر	۷	۲۲
۲	Usumino B6**	جایپکو	J۶۳۲۱۹۱	Japan Kozo ۱۰۰٪	۷/۱	۲۸
۳	Whatman	----	شماره ۱	پنبه (۹۸٪ آلفا سلولز) [۵۲]	----	۸۷

* خمیر موجود در Kinugawa خمیر سولفیت و در فرآیند پخت آن از سود سوزآور استفاده شده است [۵۱].

** در فرآیند پخت کاغذ Usumino از کربنات سدیم استفاده شده است [۵۱].

۱- بر اساس سیستم متریک، گرم‌اژ (گرم بر متر مربع)، اصطلاح پذیرفته شده‌ای برای چگالی سطح است. به عبارت دیگر، گرم‌اژ اندازه‌گیری وزن نمونه کاغذی با سطح معین است. نام قدیمی‌تر آن، وزن پایه (Basis Weight) یا ماده جامد (Substance) بوده است [۵۵].

2- Japico

۲-۲- ابزار، دستگاه و روش‌ها

شدت تابش نور تابیده شده از منبع نوری، سبب ایجاد واکنش‌های فوتوشیمیایی در کاغذ می‌شود و این امر روشنایی و مشخصه‌های رنگی آن را تغییر می‌دهد. در پیرسازی نوری تسریع شده، کاغذهای شاهد و رنگریزی شده با دستورالعمل‌های مختلف زعفران در معرض نور زنون که مشخصات آن نزدیک به نور خورشید است، قرار می‌گیرد. نور فوق در شرایط کنترل شده‌ای از نظر دما و رطوبت در مدت زمان معینی به نمونه‌ها تابیده می‌شود. با توجه به محدودیت‌های تحقیق در خصوص عدم تطابق تجهیزات دستگاه‌های پیرسازی نوری موجود، برای پیاده‌سازی استانداردهایی نظیر ASTM D6789-02 [۵۶] و ASTM D4303-0 [۵۷] با هدف فقط پیرسازی نوری نمونه‌های مورد آزمایش، تحت شرایط معین و بررسی تغییرات فوتوشیمیایی نمونه‌های کاغذ، از محفظه زنون تست شرکت REESANJ ساخت ایران مربوط به شرکت آزمایشگاهی بهساز از آزمایشگاه‌های همکار سازمان ملی استاندارد استفاده شد. این دستگاه دارای لامپ زنون WDC ۱۰۰۰، با شدت روشنایی ۵۵۰۰ لوکس، دمای منبع نور ۶۵۰۰ کلوین و طول موج‌های نور سفید ۵۵۰-۵۰۰ نانومتر می‌باشد. به دلیل قرار گرفتن شیشه در اطراف قوس زنون، نور فرابنفش تا حد زیادی فیلتر می‌گردد. دما و رطوبت این محفظه بر طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۰۴۸ آزمون‌های ثابت رنگ [۵۸] بر روی دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۲۵ درصد تنظیم شد. از آنجایی که مشخصات لامپ زنون فوق با سایر استانداردهای پیرسازی تطبیق نداشت، پیرسازی به مدت ۳ ساعت در شرایط موجود در استاندارد ملی کاغذهای حساس به حرارت به شماره ۲۰۲۸۳ [۵۹] انجام شد. نمونه کاغذها بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۵۹۳۶ [۶۰] و دستگاه رنگ‌سنج Drick ساخت کشور چین مربوط به شرکت آزمایشگاهی بهساز، رنگ‌سنجی شدند. از آنجایی که طیف‌سنجی FT-IR در مطالعات متعددی از جمله تحقیق نایپ و همکارانش برای شناسایی رنگ‌های آبی، زرد و سبز در ۵۰ نسخه خطی متعلق به ایران، عراق، مصر و آسیای مرکزی [۶۱]، مورد استفاده قرار گرفته است و از سوی دیگر روش‌های ATR و نمونه برداری انعکاسی انتشاری، به دلیل غیرتخریبی بودن برای مطالعه کاغذ مناسب می‌باشند [۶۱]؛ به همین سبب نمونه کاغذهای رنگ شده با زعفران قبل و بعد از پیرسازی با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) BRUKER مدل Tensor27 مجهز به سیستم ATR ساخت کشور آلمان در آزمایشگاه دانشگاه هنر تهران آنالیز گردید و گراف‌های موجود در نتایج بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌ها، با پایگاه داده گراف‌های طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه نرم‌افزار IRUG 2000 مورد مطالعه تطبیقی قرار گرفت. برای مشاهده تغییرات ریخت سطح الیاف، نمونه‌های کاغذ رنگریزی شده و نشده (شاهد)، با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA\\TSCAN-LMU ساخت

کشور چک در مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی و شرکت آریا الکترون اپتیک مورد بررسی قرار گرفت. این دستگاه دارای قدرت تفکیک ۱ نانومتر، ولتاژ مصرفی زمان تصویربرداری ۱۵ kv در حلاء بالا، منبع الکترون لانتانیم بروماید (LaBa6) و با استفاده از پمپ‌های حلاء مولکولی توربو و چرخشی می‌باشد، در ضمن نوع دکتور برای بررسی ریخت سطح از نوع SE بوده و نمونه‌ها بر روی پلاک‌هایی به ابعاد ۱×۱ cm قرار گرفته و سطح آنها برای رسانا شدن به مدت زمان ۱۷۰ ثانیه با طلا پوشش‌دهی گردید.

میزان اسیدیته نمونه‌ها بر اساس استاندارد TAPPI T529om-04 [۶۲] و با استفاده از دستگاه pH متر پرتابل Meterhom مدل ۸۲۶ و میزان تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی با استفاده از دستگاه مقاومت کششی Olson مدل H10ks بر اساس استاندارد ملی به شماره ۸۲۷۳ [۶۳] در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری میزان مقاومت کششی، نمونه‌ها با ابعاد ۱۰×۱٫۵ Cm برش زده شد و آزمون فوق در دو جهت طولی و عرضی بر روی آنها انجام گردید. در ضمن تحلیل آماری داده‌های به دست آمده از آزمون مشخصه‌های رنگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 انجام گرفت. آزمون‌های مورد استفاده در تحلیل آماری شامل اندازه‌گیری‌های تکراری^۱ و PostHoc می‌باشد. همچنین از برنامه EXCEL2010 برای رسم نمودارها استفاده شده است.

۲-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها

مطابق بند ۲، دستورالعمل‌های ۱ تا ۳ همانند دستورالعمل‌های موجود در متون تاریخی تهیه شد. برای این که ماده مؤثره زعفران در هر سه دستورالعمل تاریخی یکسان باشد. محلول یک مثقال زعفران در ۵ سیر آب مینا قرار گرفت. برای آماده‌سازی محلول مذکور یک مثقال زعفران معادل ۴٫۶۴ گرم با ترازوی Sartorius مدل TE313S با دقت ۰٫۰۰۱ وزن گردید. در این تحقیق به منظور حذف تأثیر املاح موجود در آب در فرآیند رنگریزی، از آب مقطر استفاده شده است. ۵ سیر آب مقطر معادل ۳۷۵ میلی‌لیتر (با توجه به جرم حجمی نزدیک به ۱ آب) بر روی زعفران ریخته، سپس در ظرف محکم بسته و به مدت ۳ روز در معرض نور مستقیم خورشید قرار داده شد. پس از گذشت زمان فوق، محلول صاف گردید. این محلول که از این پس با نام محلول A به کار برده می‌شود و محلول مینا در تهیه هر سه نوع دستورالعمل تاریخی است.

از آنجایی که در رنگریزی، عواملی نظیر مدت زمان حمام رنگریزی، درجه حرارت حمام و مواد شیمیایی اضافه شده در حمام، در نوع رنگ مؤثر است [۶۴]، به همین دلیل در تمامی دستورالعمل‌ها حجم حمام

1- Repeated Major

بعدی ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول A به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شده و کاغذهای دندان‌شده درون تشتک آزمایشگاهی، رنگرزی و سپس در مجاورت هوا خشک می‌شود.

۳-۳-۲- دستورالعمل تاریخی سوم- رنگرزی دندان‌زدن هم‌زمان (SW₃)

در این دستورالعمل عمل دندان‌زدن هم‌زمان با رنگرزی انجام می‌شود. ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول A به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسید، سپس به این محلول ۰.۵ گرم زاج سفید افزوده شد. کاغذها در تشتک حاوی محلول زاج و رنگ قرار گرفته و پس از آن، در مجاورت هوا خشک گردید.

۴-۳-۲- دستورالعمل قراردادی - رنگرزی مستقیم (SW₄)

به منظور بررسی میزان تأثیر مقادیر مختلف زعفران بر کاغذ، در این دستورالعمل به صورت قراردادی ۵ گرم زعفران توزین و توسط هاون چینی آزمایشگاهی سائیده شد. پودر زعفران با ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده و پس از سرد شدن، محلول صاف گردید (محلول B). سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول B با آب مقطر به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سه نمونه کاغذ در تشتک حاوی حمام رنگ قرار گرفته، سپس در مجاورت هوا خشک گردید.

رنگ تهیه شده ۲۵۰ میلی‌لیتر و دمای آن، دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) در نظر گرفته شده است. در ضمن سه نمونه کاغذ به ابعاد A₅ به‌طور هم‌زمان و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام رنگ قرار گرفته و پس از آن در سایه و به صورت آویزان در مجاورت هوا خشک گردید.

کاغذ واتمن (III) به عنوان کاغذ استاندارد و دو نمونه کاغذ مرمتی (I و II) مطابق جدول ۱ جهت بررسی خواص نزدیک‌تر به کاغذهای تاریخی برای رنگرزی با چهار روش زیر انتخاب گردید. کدگذاری نمونه‌ها مطابق جدول ۲ انجام شد. دستورالعمل‌های ساخت رنگ‌های مورد استفاده در این پژوهش اعم از دستورالعمل تاریخی و قراردادی به شرح زیر می‌باشد:

۱-۳-۲- دستورالعمل تاریخی اول- رنگرزی مستقیم (SW₁)

۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول A را توسط پیپت برداشته و آن را در بالن ژوژه ۲۵۰ میلی‌لیتر به حجم می‌رسانیم. پس از هم‌وزنیزه کردن محلول مذکور، آن را در تشتک آزمایشگاهی ریخته و کاغذها در آن رنگ می‌شوند.

۲-۳-۲- دستورالعمل تاریخی دوم- رنگرزی پیش‌دندان (SW₂)

در بررسی متون تاریخی، مقدار زاج ارائه نشده است، از آنجائی که دندان (زاج) می‌تواند نقش مهمی در ثبات یا عدم ثبات رنگ داشته باشد، به همین دلیل مقدار زاج براساس ۱۵ درصد وزن الیاف (WOF)^۱ به میزان ۰.۵ گرم در نظر گرفته شده است. این مقدار زاج در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب حل گردید. سپس کاغذها در تشتک حاوی محلول زاج به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفته و خشک شد. در مرحله

1- Weight of Fiber

جدول ۲: نحوه کدگذاری نمونه‌ها.

علامت اختصاری						علامت اختصاری																	
کاغذ شاهد (رنگرزی نشده) kinugawa						I						قبل از پیرسازی						B					
کاغذ شاهد (رنگرزی نشده) Usumino B ₆						II						بعد از پیرسازی						A					
کاغذ شاهد (رنگرزی نشده) Whatman 1						III						زعفران						S					
دستورالعمل رنگرزی قراردادی (چهارم)						W ₄						دستورالعمل‌های رنگرزی تاریخی اول، دوم و سوم						W ₁ , W ₂ , W ₃					
IISW ₄		IISW ₄		ISW ₄		IISW ₃		IISW ₃		ISW ₃		IISW ₂		IISW ₂		ISW ₂		IISW ₁		IISW ₁		ISW ₁	
کاغذهای شاهد (III, II, I) رنگرزی شده با دستورالعمل قراردادی زعفران (چهارم)						کاغذهای شاهد (III, II, I) رنگرزی شده با دستورالعمل تاریخی سوم زعفران						کاغذهای شاهد (III, II, I) رنگرزی شده با دستورالعمل تاریخی دوم زعفران						کاغذهای شاهد (III, II, I) رنگرزی شده با دستورالعمل تاریخی اول زعفران					

نشان می‌دهد که نمونه رنگی نسبت به نمونه شاهد تیره‌تر شده است. a^* محتوای بین قرمز و سبز متغیر است. مقادیر منفی توصیف‌کننده رنگ سبز و مقادیر مثبت توصیف‌کننده رنگ قرمز هستند. b^* محتوای بین زرد و آبی تغییر می‌کند. مقادیر منفی نشان‌دهنده رنگ آبی و مقادیر مثبت نشان‌دهنده رنگ زرد می‌باشد. همچنین مقدار اختلاف کل رنگ بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2} \quad (1)$$

لازم به ذکر است مقادیر ΔL^* ، Δa^* و Δb^* به ترتیب اختلاف مقادیر روشنایی، قرمزی-سبزی، زردی-آبی بعد و قبل از پیرسازی نمونه‌ها است [۶۶].

شکل ۳ نشان‌دهنده تفاوت رنگ کاغذ در روش‌های مختلف رنگ‌گری در سه نوع کاغذ رنگ‌گری شده می‌باشد. همچنین جدول ۳ داده‌های رنگ‌سنجی کاغذهای I، II و III رنگ‌گری نشده و شده با چهار دستورالعمل تاریخی و قراردادی قبل و بعد از پیرسازی را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

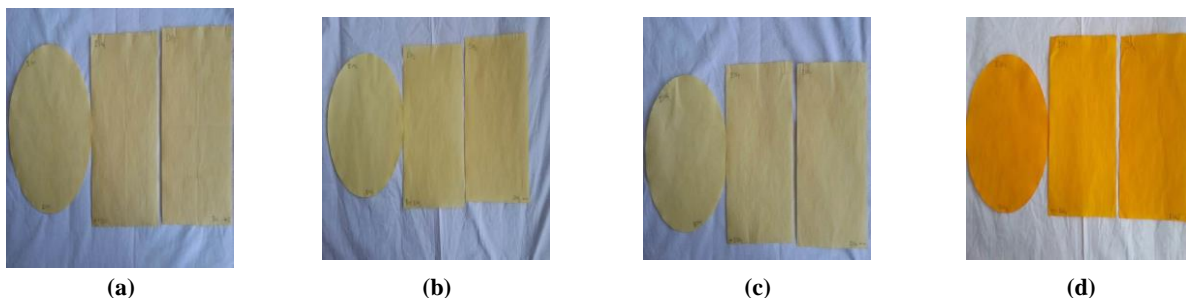
برای بررسی تأثیر روش‌های مختلف رنگ‌گری در سه نوع کاغذ منتخب، قبل و بعد از پیرسازی، کاغذهای رنگ نشده و شده با استفاده از آزمایش‌های رنگ‌سنجی، طیف‌سنجی FT-IR، بررسی ریخت‌شناسی کاغذها، اسیدی بودن و سنجش تغییرات مقاومت کششی، مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱- بررسی رنگ‌سنجی نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی

از آنجائی که تغییرات مولکولی ایجاد شده توسط واکنش‌های تخریبی سلولز، سبب تغییرات رنگی در کاغذ می‌شود [۶۵]. جهت بررسی این تغییرات، رنگ‌سنجی در نمونه‌های رنگ نشده و نمونه‌های رنگ شده با زعفران توسط سیستم $L^*a^*b^*$ CIE مطابق با استاندارد ملی ایران ۵۹۳۶ [۶۰] اندازه‌گیری گردید. سه مشخصه موجود در این مدل برای توصیف کامل رنگ‌های یک شی لازم است و بیان‌کننده موارد زیر می‌باشند: L^* میزان روشنایی را بیان می‌کند، $L^*=0$ سیاه و $L^*=100$ سفید را توصیف می‌کنند. هر چه این مقدار کمتر باشد؛

جدول ۳: تغییرات مشخصه‌های رنگی در نمونه کاغذهای رنگ نشده و رنگ شده قبل و پس از پیرسازی.

اختلاف کل رنگ	مقدار تغییرات مشخصه‌های رنگی			پس از پیرسازی			قبل از پیرسازی			کد نمونه
	ΔE	Δb^*	Δa^*	ΔL^*	b_2^*	a_2^*	L_2^*	b_1^*	a_1^*	
۱۰,۸۸	-۹,۶۲	-۶,۱۸	۱,۲۴	۴,۵۶	-۰,۵۸	۸۶,۶۰	۱۴,۱۸	۵,۶۰	۸۵,۳۶	I
۱۹,۷۴	۱۸,۳۳	-۱,۴۱	-۷,۱۸	۱۵,۲۸	۱,۲۹	۸۳,۴۴	-۳,۰۵	۲,۷۰	۹۰,۶۲	II
۵,۴۹	۴,۱۸	-۱,۵۷	-۳,۲۱	۲,۷۲	-۰,۳۹	۹۰,۲۴	-۱,۴۶	۱,۱۸	۹۳,۴۵	III
۱۱,۲۲	-۱۰,۵۱	-۳,۷۲	۱,۲۶	۳۷,۰۳	۲,۹۳	۸۳,۵۲	۴۷,۵۴	۶,۶۵	۸۲,۲۶	ISW1
۱۱,۷	-۱۱,۶۹	-۰,۲۶	۰,۴۸	۳۱,۷۹	۰,۸۶	۸۶,۰۷	۴۳,۴۸	۱,۱۲	۸۵,۵۹	IISW1
۹,۹۷	-۹,۹۶	-۰,۰۳	-۰,۴۷	۳۴,۷۰	-۰,۱۶	۸۷,۸۳	۴۴,۶۶	-۰,۱۳	۸۸,۳۰	IIISW1
۵۲,۳۸	-۴۹,۲۸	۳,۹۷	-۱۷,۲۹	-۲,۵۹	۷,۵۴	۶۵,۸۲	۴۶,۶۹	۳,۵۷	۸۳,۱۱	ISW2
۱۳,۰۷	-۱۲,۹۸	۱,۴۹	۰,۴۴	۲۸,۷۸	۱,۵۷	۸۶,۵۳	۴۱,۷۶	۰,۰۸	۸۶,۰۹	IISW2
۱۰,۸۵	-۱۰,۷۶	۱,۳۲	۰,۴۲	۳۰,۹۰	۱,۰۷	۸۹,۴۴	۴۱,۶۶	-۰,۲۵	۸۹,۰۲	IIISW2
۱۱,۵۶	-۱۱,۴۸	۰,۱۶	۱,۳۳	۳۴,۹۵	۳,۵۷	۸۴,۶۹	۴۶,۴۳	۳,۴۱	۸۳,۳۶	ISW3
۱۱,۳۵	-۱۰,۸۳	-۲,۶۱	۲,۱۹	۳۰,۸۷	۱,۴۴	۸۷,۳۶	۴۱,۷۰	۴,۰۵	۸۵,۱۷	IISW3
۱۵,۹۱	-۱۵,۹۱	-۰,۰۶	-۰,۲۶	۲۶,۴۵	-۰,۰۱	۸۸,۶۵	۴۲,۳۶	۰,۰۵	۸۸,۹۱	IIISW3
۱۰,۰۲	-۷,۰۶	-۶,۸	۱,۲	۷۰,۸۰	۲۱,۹۳	۷۲,۶۷	۷۷,۸۶	۲۸,۷۳	۷۰,۵۷	ISW4
۱۷,۸۱	-۱۶,۴۵	-۵,۶۸	۳,۷۹	۶۴,۸۹	۲۱,۱۱	۷۷,۲۷	۸۱,۳۴	۲۶,۷۹	۷۳,۴۸	IISW4
۲۹,۸۶	-۲۰,۰۷	-۴,۲۸	۳,۷۵	۶۱,۸۱	۲۲,۷۶	۷۷,۴۳	۸۱,۸۸	۲۷,۰۴	۷۳,۶۸	IIISW4



شکل ۳: کاغذهای رنگ شده I، II، III با دستورالعمل‌های تاریخی زعفران: (a) دستورالعمل اول SW₁، (b) دستورالعمل دوم SW₂، (c) دستورالعمل سوم SW₃، (d) دستورالعمل قراردادی SW₄.

Thai Kozo نوعی الیاف کوزو تایلندی است که به ژاپن وارد می‌شود. کیفیت کاغذ تولید شده از این کوزو نسبت به کوزوی ژاپنی به دلیل اختلاف در شرایط آب و هوا و خاکی که گیاه در آن رشد کرده متفاوت است. پوسته این نوع کوزو حاوی مواد رزینی است که به سختی در قلیاهای ملایم حل شده و می‌تواند در کاغذ نهایی لکه‌هایی کرم رنگ یا قهوه‌ای روغنی شکل از خود به جای بگذارد. در هنگام رنگ کردن این کاغذها، این لکه‌ها رنگ نشده و مقاوم باقی می‌مانند، به همین علت فرآیند پخت *Thai Kozo* نیاز به یک قلیایی قوی‌تر نظیر سود سوزآور دارد [۵۱]. اما کاغذ II (Usimino) از ۱۰۰٪ *Japan kozo* ساخته شده که در فرآیند آن از قلیایی ضعیف‌تری نظیر کربنات سدیم استفاده می‌شود.

همان‌طور که مشاهده شد، رنگ اولیه کاغذ I نسبت به کاغذ II، دارای زردی و قرمزی بیشتری می‌باشد. دلیل این اختلاف رنگ اولیه کاغذ را می‌توان به استفاده از لایه‌های مختلف پوسته ساقه *Kozo* (لایه بیرونی - سیاه رنگ، لایه میانی - سبز رنگ، لایه داخلی - سفیدرنگ) در تولید کاغذ I نسبت داد. همچنین اختلاف رنگ کاغذها پس از پیرسازی را می‌توان به تفاوت فرآیند پخت این دو کاغذ و نوع الیاف بکاررفته در آنها نسبت داد. در طی فرآیند پخت قلیایی برخی از ترکیبات غیرسلولزی نظیر همی سلولوز، لیگنین، پکتین و مواد معدنی توسط هیدرولیز حل می‌شوند [۵۱].

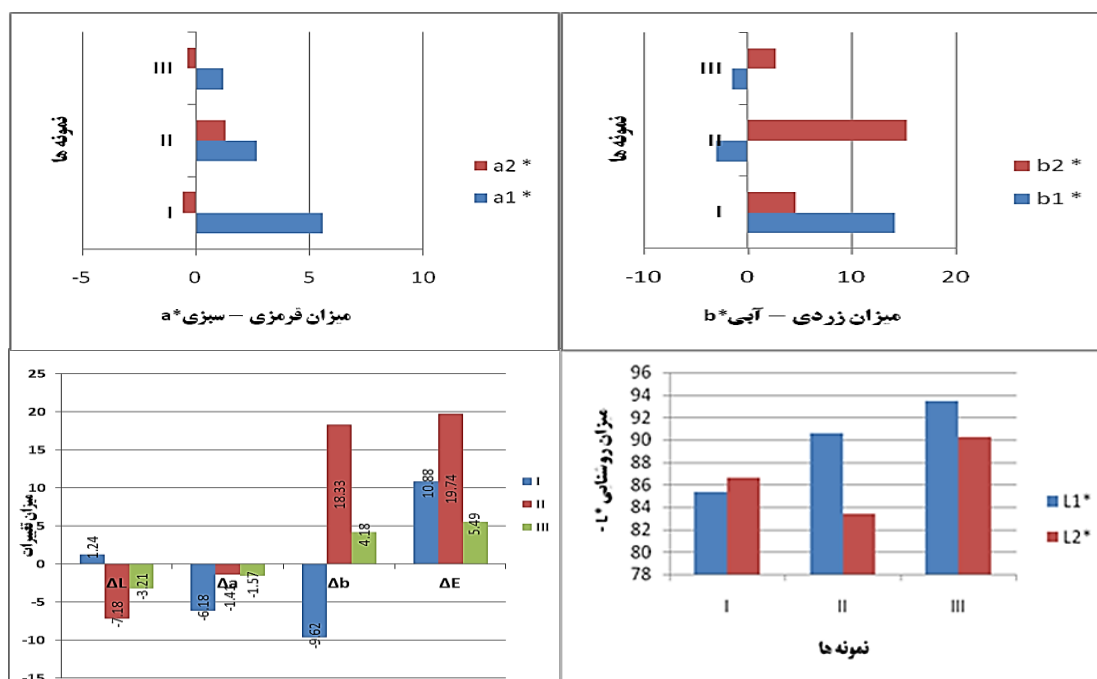
افزایش تیرگی کاغذ در اثر تخریب فوتوشیمیایی معمول است و در گزارش‌های بسیاری به آن اشاره شده است [۶۷] در کاغذ II که از الیاف خالص کوزو ژاپنی ساخته شده و فرآیند پخت ملایمی داشته نیز مشاهده شده است. اما در کاغذ I به دلیل وجود خمیر سولفیت و فرآیند پخت با مواد شیمیایی قوی، کاهش زردی، قرمزی و روشنایی مشاهده می‌شود که احتمال تغییر رنگ کاغذ به دست آمده در این فرآیند پخت، به دلیل استفاده از مواد شیمیایی قوی، زیاد است [۶۸].

۳-۱-۱-۳ نتایج مقایسه تغییرات مشخصه‌های رنگی قبل و بعد

از پیرسازی در مورد نمونه کاغذهای رنگرزی نشده (شاهد)

شکل ۴ تغییرات رنگی نمونه‌های کاغذ رنگ نشده را قبل و بعد از پیرسازی نشان می‌دهد. رنگ اولیه نمونه کاغذ I زردی و قرمزی بیشتری را نشان داده که بعد از پیرسازی، زردی و قرمزی به شدت کاهش یافته و روشنایی آن مقدار کمی افزایش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده نوعی تخریب فوتوشیمیایی در آن می‌باشد. در کاغذ II بعد از پیرسازی، زردی به شدت افزایش و روشنایی و قرمزی آن کاهش داشته است، این امر نشان‌دهنده زرد و تیره شدن کاغذ II پس از پیرسازی در اثر تخریب فوتوشیمیایی می‌باشد. در کاغذ III (کاغذ واتمن) تغییرات اختلاف رنگ به نسبت کمتری (کمترین ΔE) دیده می‌شود و مقدار کمی کاهش در قرمزی و روشنایی و کمی افزایش در زردی مشاهده می‌گردد. دلیل این امر را می‌توان به خلوص کاغذ واتمن (۹۸٪ سلولز خالص) نسبت داد. در مقایسه دو کاغذ مرمی رنگرزی نشده پس از پیرسازی، بیشترین روشنایی و کمترین زردی و قرمزی متعلق به کاغذ I می‌باشد و برعکس نمونه کاغذ II کمترین روشنایی و بیشترین زردی و قرمزی را پس از پیرسازی نشان می‌دهد. این تغییرات شدید رنگی نشان‌دهنده تخریب فوتوشیمیایی این دو کاغذ می‌باشد. تفاوت در نتایج کاغذ I و II را می‌توان به مواد متشکله دو کاغذ و فرآیند ساخت آنها نسبت داد که منجر به دو فرآیند متفاوت گردیده است. کاغذ I (Kinugawa) مخلوطی از ۷۰٪ الیاف *Thai Kozo* و ۳۰٪ خمیر سولفیت^۱ می‌باشد.

۱- در فرآیند سولفیت، برای تخریب و انحلال‌پذیر کردن لیگنین، از مخلوطی از اسید سولفور و (H₂SO₃) و یون بی‌سولفیت (HSO₃) استفاده می‌شود. در این روش سازوکار تأثیر شیمیایی به‌گونه‌ای است که لیگنین با ساختار ملکولی نسبتاً تغییر یافته، به صورت نمک‌های اسید لیگنو سولفونیک خارج می‌شود. یون مثبت همراه با یون بی‌سولفیت می‌تواند یون کلسیم، منیزیم، آمونیم یا سدیم باشد [۵۵].



شکل ۴: نتایج رنگ‌سنجی کاغذهای I، II و III رنگ‌رزی نشده قبل و بعد از پیرسازی.

مشاهده نمی‌شود، فقط زردی کاهش کمی پیدا کرده، این امر نشان‌دهنده این است که دندان زدن هم‌زمان، رنگ پایدارتری ایجاد می‌کند. در مقایسه سه روش رنگ‌رزی تاریخی در کاغذ I، اختلاف کل رنگ به ترتیب در SW₁، SW₂ و SW₃ افزایش یافته است. بنابراین رنگ‌رزی مستقیم برای این نوع کاغذ روش مناسب‌تری است.

مقایسه کاغذ I و II بر اساس تغییرات متغیرهای رنگی در سه روش رنگ‌رزی با زعفران نشان می‌دهد؛ در کاغذ II مقدار زردی و قرمزی کاغذ کمتر و روشنایی بیشتر می‌باشد. در مقایسه کاغذهای II و III رنگ‌رزی شده با دستورالعمل SW₁ (بدون دندان) و SW₃ (دندان زدن هم‌زمان)؛ پس از پیرسازی، نتایجی نزدیک به کاغذ I را نشان می‌دهد؛ اما کاغذ I رنگ‌رزی شده با دستورالعمل SW₂ (پیش‌دندان) کاهش زردی و افزایش قرمزی بیشتری در مقایسه با کاغذ II نشان می‌دهد که مربوط به پایداری بیشتر رنگ در کاغذ II نسبت به کاغذ I می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان بر اساس توضیحات قبلی به روش ساخت (استفاده از سود غلیظ) و مواد متشکله (خمیر سولفیت) کاغذ I مرتبط دانست.

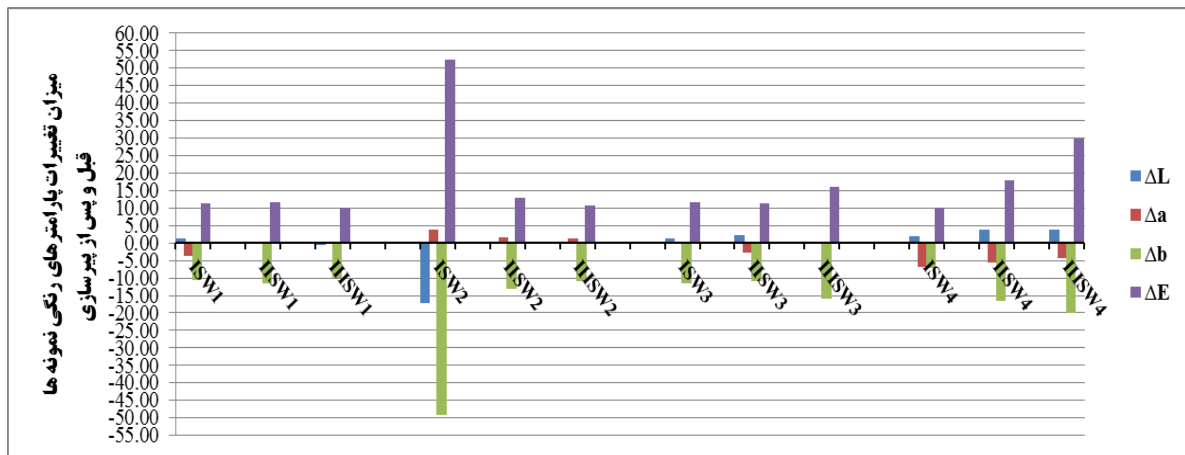
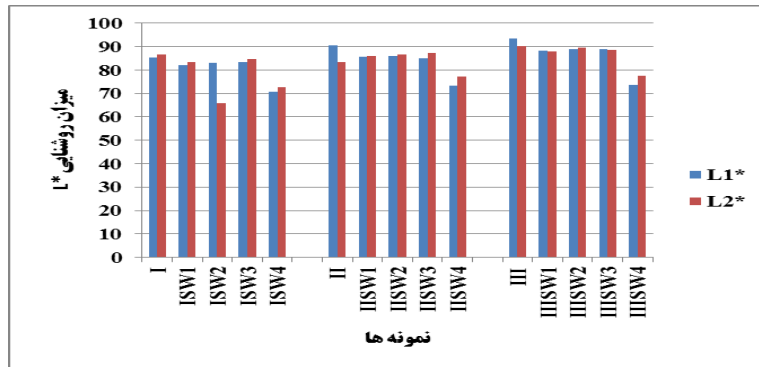
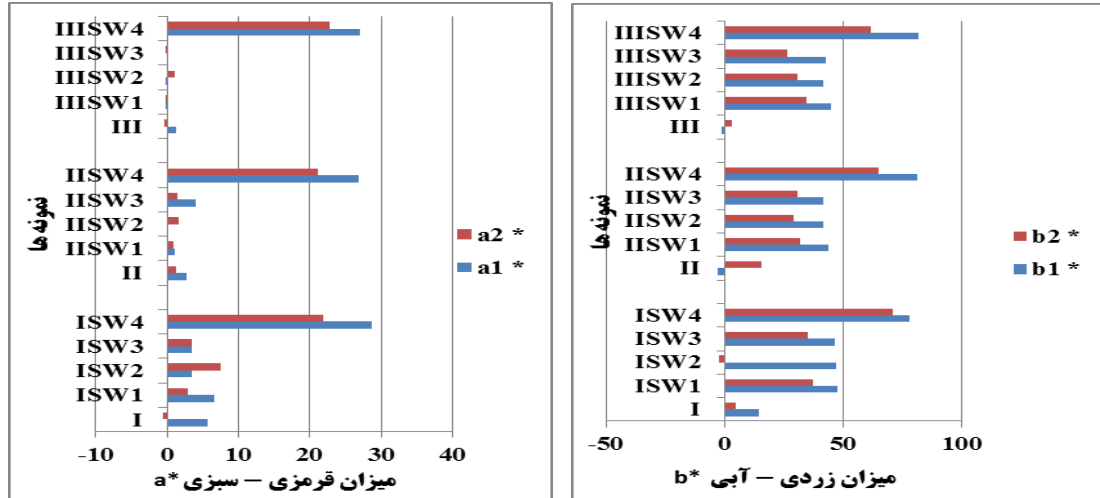
مطالعات آماری تأییدکننده مطالب ذکر شده فوق می‌باشد. تحلیل اندازه‌گیری‌های تکراری نشان داد در میزان کل اختلاف رنگ قبل و بعد از پیرسازی در گروه نمونه‌های کاغذ I رنگ شده با زعفران تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، یعنی ثبات رنگ در گروه نمونه‌های کاغذ I رنگ شده با زعفران به طور کلی قابل قبول است. اما در مورد

۱-۲-۳ نتایج مقایسه تغییرات مشخصه‌های رنگی قبل و بعد از پیرسازی در مورد نمونه کاغذ شاهد با دستورالعمل‌های زعفران بر طبق شکل ۵ نمونه کاغذ I رنگ‌رزی شده با دستورالعمل SW₁ (بدون دندان) در مقایسه با کاغذ I رنگ‌رزی نشده، نشان می‌دهد که زردی به شدت افزایش یافته و علاوه بر آن مقداری هم قرمزی دیده می‌شود، به همین دلیل روشنایی آن نیز کاهش یافته است. در نمونه‌های رنگ‌رزی شده با SW₂ و SW₃ (با دندان) نسبت به SW₁ (بدون دندان)، زردی تقریباً برابر اما قرمزی کمتری مشاهده می‌شود. هر دو نمونه SW₂ و SW₃ قبل از پیرسازی رنگ مشابهی را نشان می‌دهند. اما در نمونه قراردادی SW₄ (بدون دندان) به دلیل اینکه غلظت زعفران زیادتر بوده، شدت رنگ زرد بیشتری دیده می‌شود و کاغذ پررنگ‌تر شده است.

پس از پیرسازی، در کاغذ شاهد I، روشنایی تغییرچندانی نداشته، زردی با شدت بیشتر و قرمزی با شدت کمتر کاهش می‌یابد، اما در نمونه کاغذ I رنگ‌رزی شده با دستورالعمل SW₁ (بدون دندان) کاهش کمی در زردی و قرمزی مشاهده می‌شود. در نمونه SW₂ (پیش‌دندان) افزایش قرمزی و کاهش شدید زردی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تغییرات شدید رنگ در مجاورت نور می‌باشد، به همین دلیل روشنایی آن نیز کاهش یافته است یا به عبارت دیگر رنگ نمونه پیش‌دندان ناپایدارتر از رنگ نمونه بدون دندان بوده است. در نمونه SW₃ (دندان زدن هم‌زمان) تفاوت زیادی بعد از پیرسازی

نداشته است. همچنین در نمونه‌های رنگ‌آمیزی شده با زعفران، بین تمامی جفت دستورالعمل‌های تاریخی SW_1 ، SW_2 و SW_3 به کارگرفته شده نسبت به دستورالعمل قراردادی SW_4 از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با $P < 0,01$ مشاهده شد که مربوط به غلظت بیشتر زعفران در این دستورالعمل نسبت به دستورالعمل‌های تاریخی است.

گروه نمونه‌های کاغذ شماره II و III رنگ شده با زعفران تفاوت معنی‌داری به ترتیب با $P = 0,035$ و $P = 0,020$ وجود دارد. به عبارتی دیگر میزان تغییرات رنگ در گروه نمونه‌های کاغذ II و III رنگ ش دهبیا زعفران به اندازه‌ای بود که نمی‌توان آن را صرفاً ناشی از تصادف تلقی کرد، بلکه به نظر می‌رسد کاغذ II و III در رنگ‌آمیزی با زعفران عملکرد کافی در ایجاد ثبات رنگی طی فرآیند پیرسازی



شکل ۵: نتایج رنگ‌سنجی کاغذهای I، II و III رنگرزی شده با زعفران قبل و بعد از پیرسازی.

نامتقارن و ارتعاش خمشی CH_2 متقارن است. در بازه 900 تا 1200 cm^{-1} باندهای مربوط به ارتعاش کششی پیوند اتری C-O مشاهده می‌گردد [۶۹]. نوار جذبی 896 cm^{-1} مربوط به C-O-C کششی که به عنوان پیک شاخص ساختار بی‌شکل سلولز شناخته می‌شود.

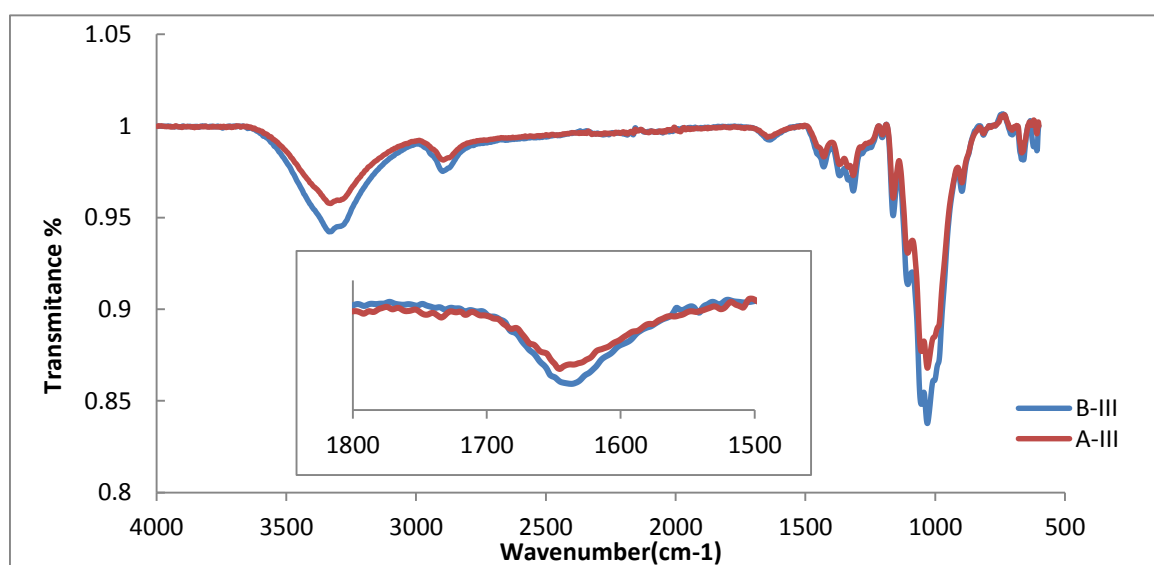
در مورد سلولز، واکنش اکسایش عمدتاً گروه‌های کربونیل را از گروه‌های کربوکسیل در واحدهای گلوکز تشکیل می‌دهد. کربونیل‌ها ممکن است در فرآیند اکسایش بیشتر به اسید کربوکسیلیک تبدیل شوند [۶۷]. بیشترین ناحیه طیفی حاوی اطلاعات مفید از طیف سلولز، به‌ویژه برای آزمون تخریب سلولز، بین 1500 – 1900 cm^{-1} شناخته شده است [۶۵]. نور جذب شده توسط کاغذ، انرژی کافی برای شروع واکنش‌های رادیکالی در سلولز، همی سلولز و لیگنین را فراهم می‌کند. این واکنش‌ها در لیگنین با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد [۷۰]. اکسایش سلولز توسط رادیکال‌های هیدروکسیل، منجر به تشکیل گروه‌های کربونیل می‌شود [۷۲–۷۰]. گروه کربونیل C=O به صورت یک نوار جذبی قوی در ناحیه 1660 – 1820 cm^{-1} با پهنای متوسط مشاهده می‌شود [۷۳].

طیف FT-IR کاغذ رنگرزی نشده III در شکل ۶ نشان داده شده است. افزایش بسیار کمی در باند جذبی 1675 cm^{-1} گروه کربونیل مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تخریب کم سلولز در اثر پیرسازی کاغذ واتمن می‌باشد.

۲-۳- بررسی طیف‌سنجی زیر قرمز نمونه‌ها

از مهم‌ترین واکنش‌های تخریبی انجام گرفته در کاغذهای تاریخی می‌توان به اکسایش و صدمات فوتوشیمیایی اشاره کرد. اکسایش واکنش تخریبی است که می‌تواند منجر به شکست زنجیره سلولز در کاغذ شود [۶۷]. جهت بررسی اثر رنگرزی بر روی کاغذها، طیف FT-IR کاغذها قبل و بعد از پیرسازی مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور کلی طیف‌سنجی FT-IR، به اکسایش سلولز حساس می‌باشد اما برخی محدودیت‌ها و مشکلاتی در تفسیر طیف‌ها وجود دارد [۶۵]. از آنجایی که در کاغذ سلولزی خالص، واکنش اکسایش بسیار آرام انجام می‌شود [۶۷] و همچنین در آزمون رنگ‌سنجی مشاهده گردید نمونه کاغذ III رنگرزی نشده (واتمن) پس از پیرسازی تغییرات کمتری نسبت به کاغذهای II و I از خود نشان داده است، به همین دلیل کاغذ III برای مطالعات میزان تخریب شیمیایی در اثر رنگرزی (اکسایش سلولز) انتخاب شد.

در طیف FT-IR نمونه کاغذ III قبل از پیرسازی، پیک‌های شاخص سلولز را می‌توان در ناحیه 1500 – 850 cm^{-1} که ناحیه اثر انگشت شناخته می‌شود، مشاهده کرد [۶۹]. نوار جذبی موجود در ناحیه 3334 cm^{-1} ، مربوط به ارتعاش کششی OH است که می‌تواند اطلاعات صحیحی در رابطه با باندهای هیدروژنی فراهم آورد. جذب مربوط به ارتعاش کششی گروه CH سلولز در ناحیه 2897 cm^{-1} مشاهده می‌شود. باندهای 1367 و 1429 cm^{-1} به ترتیب نشان‌دهنده CH کششی



شکل ۶: FT-IR کاغذ واتمن (III) قبل و بعد از پیرسازی.

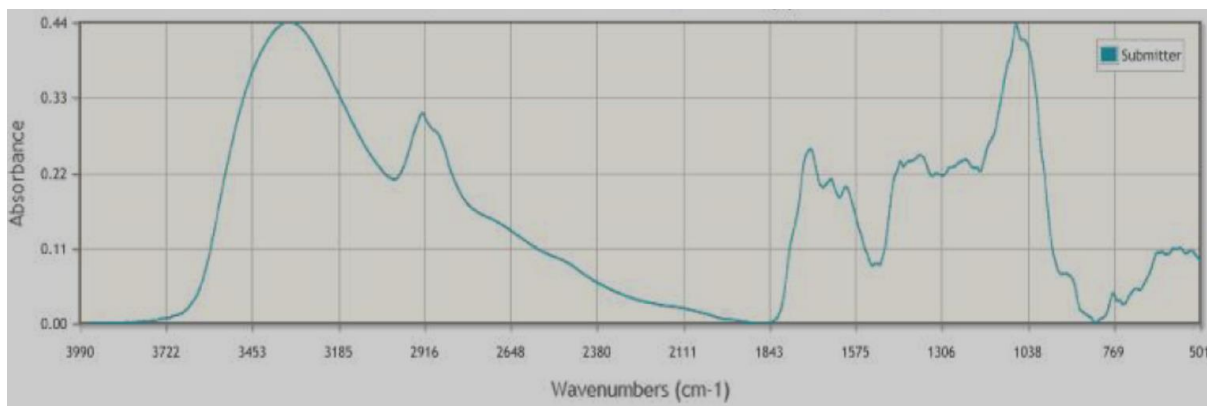
تغییرات مشخصی در ناحیه ۱۵۵۰ تا ۱۸۰۰ را نشان نمی‌دهد. این موضوع نشان‌دهنده این است که رنگ زعفران بدون دندان پس از پیرسازی، تخریبی بر روی کاغذ ایجاد نمی‌کند و حتی تخریب کمی که پس از پیرسازی در کاغذ رنگری نشده (شکل ۶) به وجود آمده بعد از رنگری با زعفران و حتی پس از پیرسازی آن مشاهده نمی‌شود که دلیل آن را می‌توان به خواص آنتی‌اکسیدانی زعفران [۷۶] نسبت داد.

شکل ۱۰ نتایج مقایسه ای طیف‌سنجی FT-IR پس از پیرسازی در دستورالعمل‌های مختلف زعفران را نشان می‌دهد. مقایسه این طیف‌ها نشان می‌دهد که تفاوت خاصی در میزان اکسایش مشاهده نشده، بنابراین روش‌های مختلف رنگری هم تأثیر چندانی بر روی تخریب کاغذ نداشته‌اند.

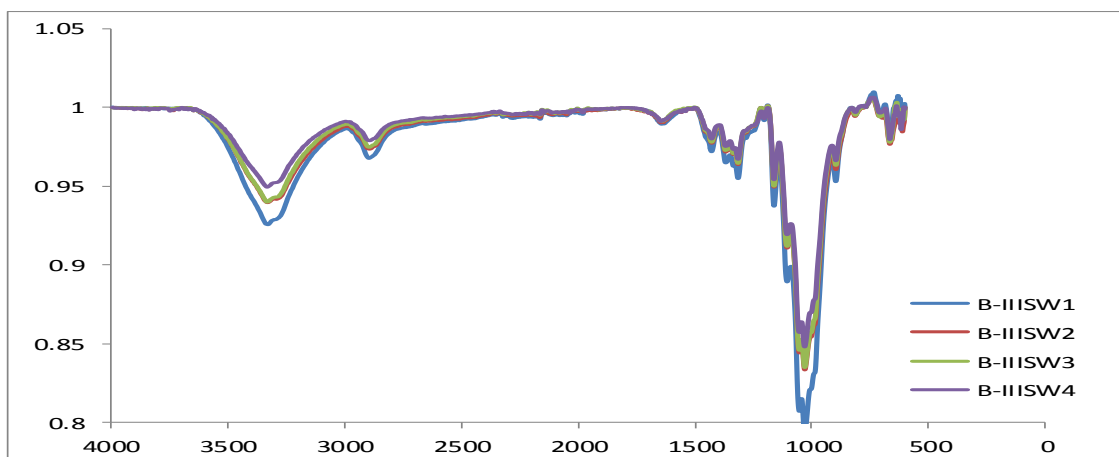
شکل ۷ مربوط به طیف FT-IR کلاله زعفران است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شدت طیف زعفران در ناحیه $2800-3000\text{ cm}^{-1}$ بیشتر مربوط به باند کششی C-H می‌باشد و پیک‌های 1462 cm^{-1} و 1081 cm^{-1} مربوط به باند ارتعاشی C=O است [۷۴]. از آنجایی که باندهای زعفران با باندهای کاغذ هم‌پوشانی دارند، در طیف FT-IR کاغذهای رنگری شده قابل تشخیص نیست.

شکل ۸ مقایسه طیف FT-IR تمام دستورالعمل‌های مختلف زعفران قبل از پیرسازی است، تفاوت چندانی در ساختار کاغذ مشاهده نمی‌شود که نشان می‌دهد رنگ زعفران هیچ تأثیر مخربی بر روی کاغذ قبل از پیرسازی ندارد.

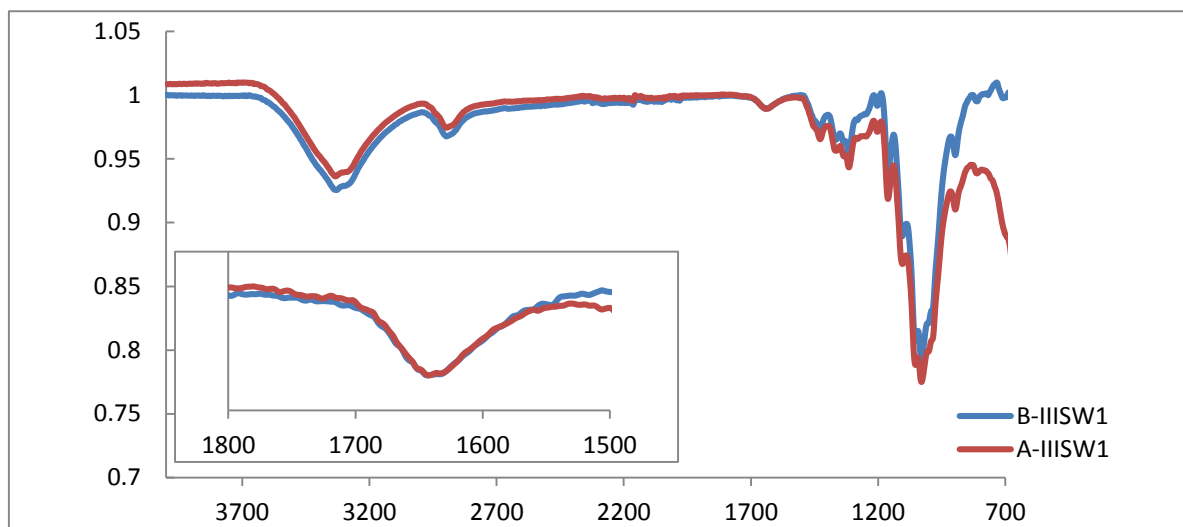
شکل ۹ مقایسه طیف FT-IR نمونه کاغذهای رنگری شده با زعفران در دستورالعمل SW₁ قبل و بعد از پیرسازی می‌باشد، نتایج



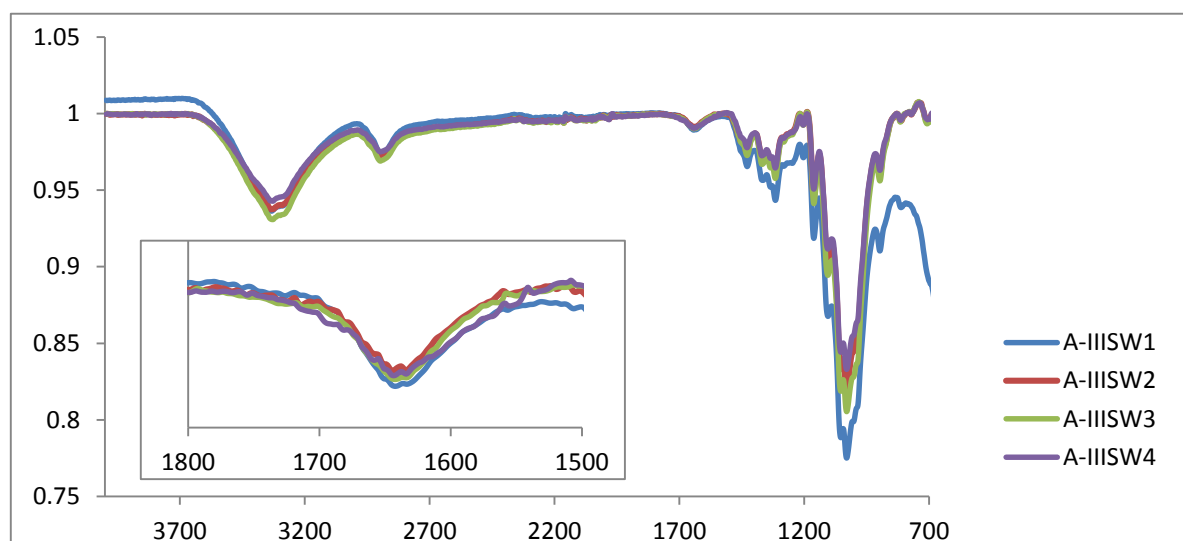
شکل ۷: طیف FT-IR زعفران (IRUG Filename: IOD00073) [۷۵]



شکل ۸: FT-IR کاغذ واتمن رنگری شده با تمام دستورالعمل‌های مختلف زعفران قبل از پیرسازی.



شکل ۹: مقایسه طیف FT-IR نمونه رنگری شده با زعفران در دستورالعمل ۱ (SW₁) قبل و بعد از پیرسازی.



شکل ۱۰: مقایسه FTIR کاغذ واتمن رنگری شده با تمام دستورالعمل‌های زعفران پس از پیرسازی.

طریق برهم کنش رنگ با الیاف، رنگ‌ها درون الیاف تثبیت می‌گردند. اما اگر زمان رنگری طولانی شود ممکن است به الیاف صدمه وارد شود [۶۴]. در مقایسه تصاویر با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ برابر کاغذ III رنگری نشده و شده با زعفران قبل از پیرسازی، مشاهده می‌شود که ماده رنگزای گیاه مورد مطالعه باعث مشخص‌تر شدن پونکتواسیون‌ها^۱ در الیاف شده است. اما عملیات رنگری، تغییری در میزان

۱- سوراخ‌های ریزی بر روی الیاف می‌باشند تا آب و مواد غذایی را از یک لیف به لیف دیگر منتقل نمایند.

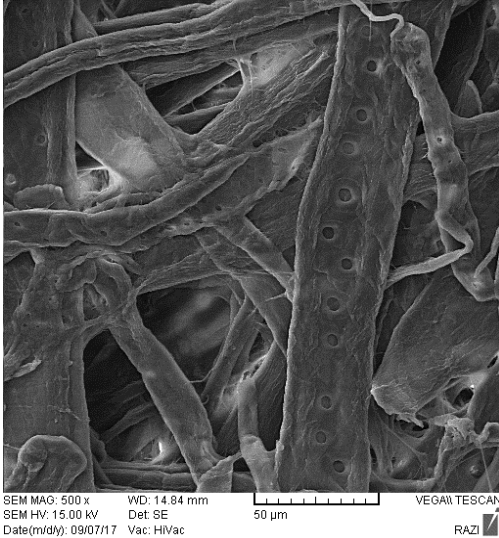
۳-۳- بررسی ریخت‌شناسی نمونه‌ها با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

هنگامی که الیاف طبیعی خیس می‌شوند آب به مناطق بی‌نظم آنها نفوذ می‌کند و موجب تورم الیاف می‌شود. در این حالت رنگ می‌تواند به این فضاها نفوذ کند. اگر رنگ خیلی سریع در سطح الیاف قرار گیرد نتیجه رنگری غیریکنواخت و بی‌دوام خواهد بود. رنگری در مدت زمان مناسب، سبب می‌شود که مولکول‌های رنگ آرام‌تر و به عمق بیشتر نفوذ کنند و واحدهای بزرگ‌تر رنگ نیز می‌توانند در فضاهای درونی فیبریل‌ها نفوذ کنند. پس از نفوذ رنگ به فیبریل‌ها، از

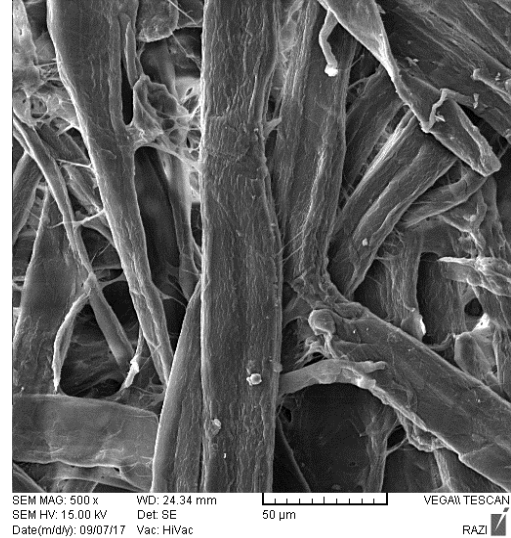
تصاویر نشان می‌دهد الیاف نمونه مذکور بعد از پیرسازی ناهموارتر و دارای چروکیدگی بیشتری است. پونکتواسیون‌ها واضح‌تر اما در لبه‌های آن تخریبی مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان گفت در نمونه پیرسازی شده میزان شکستگی بیشتری در الیاف دیده می‌شود که نشان‌دهنده تخریب الیاف پس از پیرسازی است. این موضوع در نتایج طیف‌سنجی FT-IR نیز مشاهده شده است.

درهم‌تنیدگی و چروکیدگی سطح الیاف در دو نمونه فوق ایجاد نکرده است. این مسئله با نتایج بدست آمده از طیف‌سنجی FT-IR هم‌خوانی دارد.

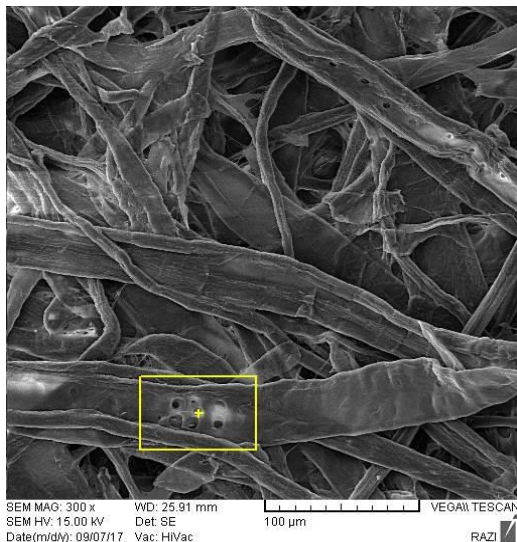
در SEM کاغذ III رنگرزی نشده با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر پونکتواسیون‌ها تا حدی قابل مشاهده می‌باشد. تصاویر SEM نمونه رنگرزی نشده قبل و بعد از پیرسازی مورد مطالعه قرار گرفتند.



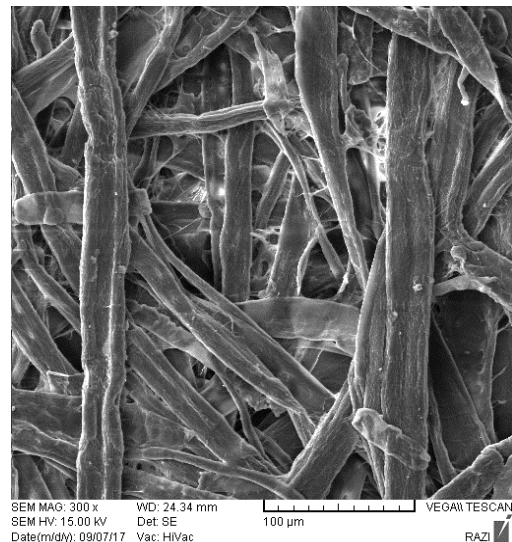
شکل ۱۲: SEM کاغذ III (واتمن) رنگ شده با زعفران بزرگنمایی ۵۰۰ برابر.

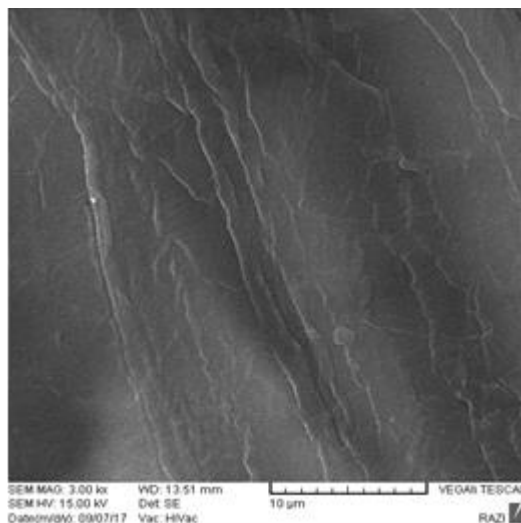
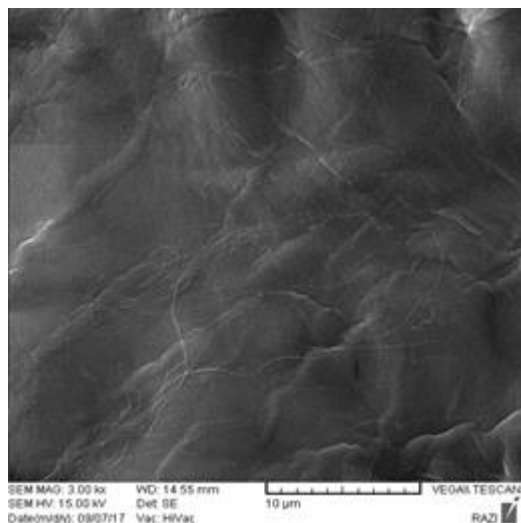


شکل ۱۱: SEM کاغذ III (واتمن - شاهد) رنگ نشده با بزرگنمایی ۵۰۰ برابر.



شکل ۱۳: SEM کاغذ III (واتمن) با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر، راست: قبل از پیرسازی و چپ: بعد از پیرسازی.





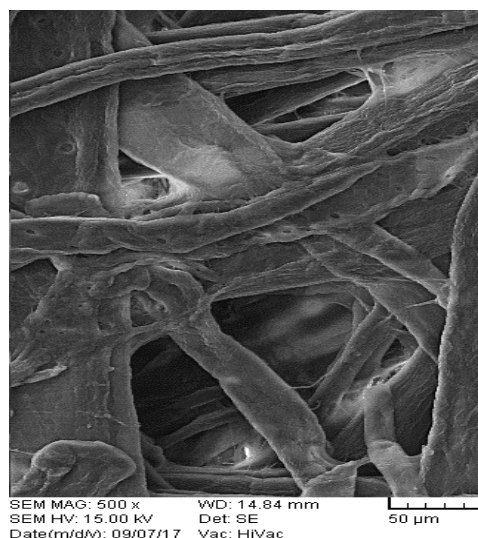
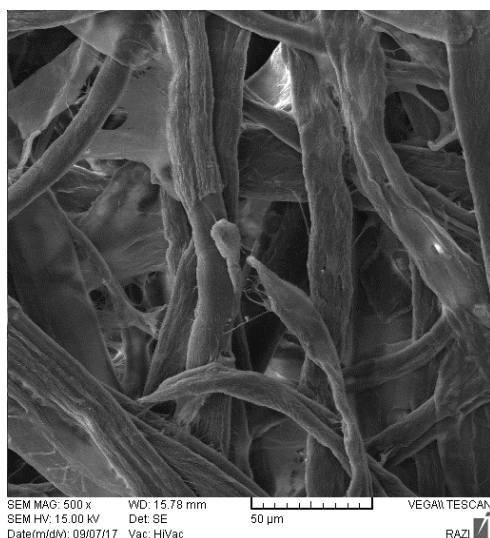
شکل ۱۴: SEM کاغذ III (واتمن) با بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر، راست: قبل از پیرسازی و چپ: بعد از پیرسازی.

[۷۷، ۷]. یک روش ساده که غالباً در آزمایشگاه‌های حفاظت و مرمت، برای تعیین اسیدی بودن کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اندازه‌گیری سطح نمونه با استفاده از یک الکتروود سرتخت بر اساس استاندارد TAPPI T529 om-04 [۶۲] می‌باشد. از مزایای این روش تکرارپذیری، دقت بالا، غیرتخریبی بودن و سهولت در انجام کار است که معمولاً در مجموعه‌های آرشیوی و کتابخانه‌ای از آن استفاده می‌شود. یادآوری می‌گردد اعداد جدول ۳، میانگین اندازه‌گیری میزان اسیدی بودن سه نقطه مختلف از نمونه‌ها می‌باشد.

در تصاویر SEM نمونه کاغذ واتمن رنگ شده با زعفران قبل و بعد از پیرسازی، تغییرات محسوس بر روی ریخت الیاف قابل مشاهده نمی‌باشد.

۳-۴- بررسی تغییرات اسیدی بودن نمونه‌ها (pH)

در کاغذهای پایدار، هیدرولیز بلوره شده اسید سلولز، اغلب به عنوان مهم‌ترین علت تخریب محصولات کاغذی به شمار می‌رود، بنابراین سنجش میزان اسیدی بودن یک کاغذ، اولین و ساده‌ترین راه بررسی تخریب شیمیایی است و می‌تواند کمک بزرگی در پایداری آن باشد



شکل ۱۵: SEM کاغذ واتمن رنگ شده با زعفران (IISW1) با بزرگنمایی ۵۰۰ برابر، راست: قبل از پیرسازی و چپ: بعد از پیرسازی.

جدول ۴: میزان اسیدی بودن نمونه‌های رنگ شده با زعفران قبل و بعد از پیرسازی.

نوع کاغذ	pH ₁	pH ₂	Δ pH
I	۶	۵,۴۲	-۰,۵۸
II	۷,۰۹	۶,۲۱	-۰,۸۸
III	۶,۰۱	۵,۸۲	-۰,۱۹
ISW ₁	۵,۵۴	۵,۴۵	-۰,۰۹
IISW ₁	۶,۶۱	۵,۶۷	-۰,۹۴
IIISW ₁	۵,۴۷	۴,۸۸	-۰,۵۹
ISW ₂	۴,۴۵	۴,۲۲	-۰,۲۳
IISW ₂	۴,۵۵	۴,۶۷	۰,۱۲
IIISW ₂	۴,۱۸	۴,۶	۰,۴۲
ISW ₃	۴,۲۵	۳,۸۵	-۰,۴
IISW ₃	۴,۱۶	۴,۱۸	۰,۰۲
IIISW ₃	۴,۰۷	۴,۱۱	۰,۰۴
ISW ₄	۶,۲۸	۵,۷	-۰,۵۸
IISW ₄	۶,۶۹	۶,۴۹	-۰,۲
IIISW ₄	۶,۰۴	۶,۰۲	-۰,۰۲

در جدول ۵ مقادیر تفاضل اسیدی بودن قبل و بعد از پیرسازی هر یک از کاغذهای شاهد و میانگین اسیدی بودن برای سه نوع کاغذ شاهد I, II و III آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود انحراف معیار این تفاضل برای هر یک از گروه کاغذهای شاهد قابل محاسبه نیست، زیرا در هر نوع کاغذ، فقط یک نمونه وجود دارد. بنابراین اگر خواسته ما، بررسی اثر «نوع کاغذ» بر تغییرات اسیدی بودن طی فرآیند پیرسازی باشد، باید در هر گروه کاغذ، تعداد بیشتری نمونه وجود داشته باشد. با توجه به این که تغییر اسیدی بودن در کاغذهای رنگرزی نشده معنی‌دار نمی‌باشد، نیازی به تعدیل اثر پیرسازی در آزمون‌های بعدی نیست. از آنجایی که تغییرات در اسیدی بودن قبل و بعد پیرسازی در کل نمونه‌های شاهد معنی‌دار نبوده است، می‌توان نتیجه گرفت، تغییرات اسیدیته مشاهده شده در نمونه‌های رنگرزی شده متناسب به رنگ و دستورالعمل‌های مورد استفاده برای رنگرزی است و به فرآیند پیرسازی ارتباطی ندارد.

آزمون اندازه‌گیری‌های تکراری جهت مقایسه اسیدیته قبل و بعد از رنگرزی در کاغذهای رنگرزی شده، نشان‌دهنده آن است که اسیدی بودن قبل و بعد از رنگرزی به صورت معنی‌داری متفاوت است ($P=0,027$)، به عبارتی دیگر فرآیند رنگرزی به صورت معنی‌داری باعث تغییر اسیدی بودن کاغذها شده است.

همچنین آزمون Post Hoc که برای بررسی اثر نوع کاغذ انجام گردید، نشان داد که اندازه تغییر اسیدی بودن قبل و بعد از رنگرزی به نوع کاغذ بستگی نداشته، لذا تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید

با توجه به نتایج جدول ۴، مشاهده می‌شود قبل از پیرسازی، کاغذ رنگرزی نشده I نسبت به کاغذ رنگرزی نشده II، اسیدی‌تر است؛ این موضوع با مواد تشکیل‌دهنده دو کاغذ (کاغذ II، از ۱۰۰٪ Kozo و کاغذ I از ۷۰٪ Thai Kozo و ۳۰٪ خمیر سولفیت) در ارتباط مستقیم می‌باشد. به‌طور معمول الیاف Kozo محتوی مقادیر بسیار کمی لیگنین است، بنابراین به صورت ذاتی خاصیت اسیدی کمی دارد [۷۸].

دامنه pH محلول‌های آبی زعفران به دلیل خاصیت بافاری بین ۵,۵ تا ۸,۵ می‌باشد [۷۶]. بنابراین قبل از پیرسازی میزان pH کاغذهای رنگرزی شده با زعفران در دستورالعمل‌های SW₁ و SW₄، با تغییرات جزئی همراه است. اما کاغذهای رنگرزی شده با دستورالعمل‌های SW₂ و SW₃، به دلیل استفاده از زاج سفید به صورت پیش‌دندانه و دندانه زدن هم‌زمان در عملیات رنگرزی، نسبت به کاغذهایی که در رنگرزی آنها از دندانه استفاده نشده (SW₁ و SW₄)، اسیدی‌تر می‌باشند. این موضوع مربوط به ترکیب شیمیایی دندانه مورد استفاده $(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O)$ می‌باشد که به دلیل دارا بودن یون سولفات، سبب اسیدی شدن کاغذ می‌گردد.

آزمون اندازه‌گیری‌های تکراری نشان داد بین اسیدیته قبل و بعد از پیرسازی در نمونه کاغذهای شاهد تفاوتی وجود نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، صرف فرآیند پیرسازی تأثیر معنی‌داری بر تغییر اسیدی بودن هیچ یک از انواع کاغذهای رنگ نشده نداشته است ($P=0,353$).

۳-۵- بررسی تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها (TS)

یکی از مشخصه‌هایی که در کاغذ پس از پیرسازی دچار تغییر می‌شود، مقاومت کششی است که در ارزیابی کلی می‌تواند حائز اهمیت باشد. میزان تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی بر اساس استاندارد ملی به شماره ۸۲۷۳ [۶۳] اندازه‌گیری گردید. مقادیر در جدول ۶ نشان داده شده است.

($P=0,18$). البته باید توجه داشت توان آماری این آزمون‌ها به دلیل تعداد خوانده کم از نمونه‌ها، پایین است. بنابراین ممکن است در واقعیت نوع کاغذ با تغییر اسیدی بودن در ارتباط باشد و در تکرار مطالعه با حجم نمونه کافی چنین رابطه‌ای مشاهده شود. باید توجه شود عدم معنی‌داری آماری لزوماً به معنی عدم معنی‌داری تکنیکال نیست. در این راستا تکرار بررسی با تعداد خوانده کافی از هر نمونه پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۵: مقادیر تفاضل اسیدی بودن قبل و بعد از پیرسازی هر یک از کاغذهای رنگ‌زنی نشده.

نوع کاغذ	ΔpH	انحراف معیار ^۱	تعداد خوانده‌ها
I	-۰,۵۸	-	۱
II	-۰,۸۸	-	۱
III	-۰,۱۹	-	۱
-	-	۰,۹۱۷۶۸	۳

1- Standard Deviation

جدول ۶: میزان مقاومت کششی نمونه‌های رنگ نشده و رنگ شده با زعفران قبل و بعد از پیرسازی.

نوع کاغذ	^۱ TS ₁	^۲ TS ₂
I	۲,۳	۰,۸۱
II	۲,۹۲	۱,۴
III	۱,۹۷	۰,۷۸
ISW ₁	۲,۰۵	۰,۸۹
IISW ₁	۲	۱,۲۱
IIISW ₁	۱,۲۸	۰,۵۵
ISW ₂	۱,۹	۰,۸۲
IISW ₂	۲,۴۵	-
IIISW ₂	۱,۹۴	۰,۷۹
ISW ₃	۳,۴۲	۰,۸۱
IISW ₃	۲,۶۷	۱,۲
IIISW ₃	۱,۱۵	۰,۸
ISW ₄	۴,۲۵	-
IISW ₄	۲,۲۵	۱
IIISW ₄	۱,۳۴	۰,۹۱

2- Tensile Strength before exposure

3- Tensile Strength after exposure

۳-۵-۱- مقایسه تغییرات کلی مقاومت کششی قبل و بعد از

پیرسازی بین گروه کاغذها

براساس نتیجه آزمون اندازه‌گیری تکراری، تغییرات مقاومت کششی در نمونه‌های شاهد معنی‌دار نبود ($P=0,062$). همین آزمون نشان داد نوع کاغذ در میزان تغییرات مقاومت کششی طی فرآیند پیرسازی مؤثر

بوده است ($P=0,001$). مقادیر میانگین و انحراف معیار تغییرات مقاومت کششی کاغذ طی فرآیند پیرسازی به تفکیک انواع کاغذ (جهت استفاده در رتبه‌دهی به کاغذها) به شرح زیر می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود عملکرد کاغذ I و II به یکدیگر نزدیک است.

جدول ۷: مقادیر میانگین و انحراف معیار تغییرات مقاومت کششی کاغذ طی فرآیند پیرسازی به تفکیک انواع کاغذ.

نوع کاغذ	میانگین	انحراف معیار	تعداد خواننده
I	۱,۲۶۰۰	۰,۶۵۷۷۴	۹
II	۱,۰۷۸۷	۰,۲۷۵۲۴	۸
III	۰,۸۳۰۰	۰,۵۲۹۷۰	۱۰
مجموع	۱,۰۴۷۰	۰,۵۳۳۶۳	۲۷

می‌تواند استفاده از لایه‌های مختلف پوسته ساقه *Kozo* (لایه بیرونی - سیاه رنگ، لایه میانی - سبز رنگ، لایه داخلی - سفیدرنگ) در تولید کاغذ I باشد.

بعد از پیرسازی، تخریب فتوشیمیایی کاغذهای رنگرزی نشده I و II نسبت به کاغذ III بیشتر است، تفاوت در نتایج رنگ‌سنجی کاغذ I و II را می‌توان به مواد متشکله دو کاغذ و فرآیند ساخت آنها نسبت داد. در مقایسه کاغذ III (کاغذ واتمن) با دو کاغذ دیگر، تغییرات اختلاف رنگ به نسبت کمتری (کمترین ΔE) دیده می‌شود که مربوط به خلوص کاغذ واتمن (۹۸٪ سلولز خالص) می‌باشد. افزایش باند جذبی 1675 cm^{-1} گروه کربونیل در طیف FT-IR این نمونه، نشان‌دهنده تخریب سلولز در اثر پیرسازی است که با بررسی ریخت‌الیاف، این موضوع تأیید گردید.

در فرآیند رنگرزی با روش پیش‌دندان و دندان زدن هم‌زمان (SW_2 و SW_3)، رنگی مشابه و نسبت به روش مستقیم (SW_1)، زردی تقریباً برابر اما قرمزی کمتری مشاهده می‌شود. اما در کاغذ رنگرزی شده با روش قراردادی SW_4 (بدون دندان) به دلیل اینکه غلظت زعفران زیادتر بوده، شدت رنگ زرد بیشتری دیده می‌شود و کاغذ پررنگ‌تر شده است.

پس از پیرسازی نمونه‌های رنگرزی شده، در نمونه کاغذ I رنگرزی شده با دستورالعمل‌های تاریخی، رنگ نمونه پیش‌دندان ناپایدارتر از رنگ نمونه بدون دندان بوده است و روش SW_3 (دندان زدن هم‌زمان) نسبت به روش پیش‌دندان، رنگ پایدارتری را به ما می‌دهد. به‌طوری که در کاغذ I، اختلاف کل رنگ به ترتیب در روش SW_1 ، SW_2 و SW_3 افزایش یافته است. بنابراین رنگرزی مستقیم یا بدون دندان برای این نوع کاغذ روش مناسب‌تری است. مقایسه کاغذهای II و III رنگرزی شده با دستورالعمل بدون دندان و دندان زدن هم‌زمان؛ پس از پیرسازی، نتایجی نزدیک به کاغذ I را نشان داد؛ با این تفاوت که کاغذ I در رنگرزی پیش‌دندان نسبت به کاغذ II دچار تغییرات بیشتری شد. دلیل این امر را می‌توان به روش ساخت (استفاده از سود غلیظ) و مواد متشکله (خمیر سولفیت) کاغذ I مرتبط دانست.

طیف FT-IR تمام دستورالعمل‌های مختلف زعفران قبل و بعد از پیرسازی، سبب اکسایش در کاغذ نشده است بنابراین زعفران تأثیر مخربی بر روی کاغذ نداشته و دلیل آن را می‌توان به خواص

براساس نتایج آزمون Post Hoc، مقایسه‌های جفتی نشان داد، تفاوت مقاومت کششی در کاغذ III با I و II با III از نظر آماری معنی‌دار است ($P=0,001$). اما تفاوت بین کاغذ شماره I و II معنی‌دار نیست ($P=0,936$) و این دو کاغذ از لحاظ تغییرات مقاومت کششی عملکرد مشابهی دارند.

۳-۲-۵-۳- بررسی تغییرات مقاومت کششی قبل و بعد از پیرسازی به تفکیک انواع کاغذ

به طور کلی تغییر میزان مقاومت کششی قبل از پیرسازی نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشته است. اما بعد از پیرسازی نسبت به قبل از آن، در هر سه نوع کاغذ I، II و III صرف نظر از نوع رنگرزی، کاهش یافته و از نظر آماری با $P=0,001$ معنی‌دار است.

۴- نتیجه‌گیری

زعفران بر اساس ساختار شیمیایی، جز گروه مواد رنگزای کاراتونوئیدی می‌باشد. این گیاه فام‌هایی از زرد تا نارنجی ایجاد می‌کند. با توجه به دستورالعمل‌های به دست آمده از متون تاریخی روش عصاره‌گیری از زعفران، روش آبی (محلول در آب) و در فرآیند رنگرزی کاغذ، از سه روش رنگرزی مستقیم، پیش‌دندان و دندان زدن هم‌زمان استفاده شده است. درصد فراوانی دستورالعمل‌ها، برای رنگرزی مستقیم ۷۱,۴۳٪، رنگرزی پیش‌دندان ۲۱,۴۳٪، رنگرزی دندان‌زدن هم‌زمان ۷,۱۴٪ می‌باشد.

از آنجایی که مواد رنگزای طبیعی در گستره وسیعی از آثار موزه‌ای از قبیل نقاشی‌ها، منسوجات، آثار مکتوب و غیره مورد استفاده هستند. چنین موادی باید مقاومت قابل قبولی در مقابل نور داشته باشند. به همین علت آزمایش‌های مختلفی برای میزان تأثیر زعفران بر روی سه نمونه کاغذ انتخاب شده انجام گردید. در آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های رنگ شده بر اساس دستورالعمل‌های مختلف رنگرزی موجود در نسخ خطی، نتایج زیر از بررسی ثبات رنگی، اکسایش سلولز با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR، میزان تغییرات اسیدیته، تغییرات در مقاومت کششی و ریخت‌شناسی الیاف نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی نوری به دست آمده است:

رنگ اولیه نمونه کاغذ رنگرزی نشده I نسبت به دو کاغذ رنگرزی شده II و III، دارای زردی و قرمزی بیشتری است. دلیل این موضوع

یون سولفات، سبب اسیدی شدن کاغذ می‌گردد. تغییرات در اسیدی شدن قبل و بعد پیرسازی در کل نمونه‌های رنگریزی نشده معنی‌دار نبوده است، می‌توان نتیجه گرفت، تغییرات اسیدی بودن مشاهده شده در نمونه‌های رنگریزی شده منتسب به رنگ و دستورالعمل‌های مورد استفاده برای رنگریزی است و به فرآیند پیرسازی ارتباطی ندارد. در کاغذ I و II تغییرات مقاومت کششی بیشتر از III می‌باشد به طوری که طبق یافته‌های حاصله، رنگریزی روی این عامل تأثیری نداشته است. با این وجود پس از پیرسازی، مقاومت کششی در هر سه نوع کاغذ، صرف‌نظر از نوع رنگریزی کاهش یافته است که به این ترتیب نمی‌توان اولیبتی برای نوع کاغذ مورد استفاده عنوان نمود.

آنتی‌اکسیدانی زعفران نسبت داد. این نتایج در بررسی ریخت‌الیاف توسط دستگاه SEM تأیید گردید.

دامنه pH محلول‌های آبی زعفران به دلیل خاصیت بافری بین ۵٫۵ تا ۸٫۵ می‌باشد. بنابراین قبل از پیرسازی میزان pH کاغذهای رنگریزی شده با زعفران در دستورالعمل‌های SW₁ و SW₄، با تغییرات جزئی همراه است. اما کاغذهای رنگریزی شده با دستورالعمل‌های SW₂ و SW₃، به دلیل استفاده از زاج سفید به صورت پیش‌دندان و دندان هم‌زمان در عملیات رنگریزی، نسبت به کاغذهایی که در رنگریزی آنها از دندان استفاده نشده (دستورالعمل‌های SW₁ و SW₄)، اسیدی‌تر می‌باشند. این موضوع مربوط به ترکیب شیمیایی دندان مورد استفاده (KAl(SO₄)₂.12H₂O) می‌باشد که به دلیل دارا بودن

۵- مراجع

۱. ن. آکتابی، هنر رنگریزی با گیاهان. انتشارات دفتر نشر خودکفایی، تهران. ۱۳۶۳.
2. T. Bechtold, R. Mussak, Handbook of natural colorant, Wiley, 2009
۳. و. افشار، فرآیند و روش‌های رنگریزی الیاف با مواد طبیعی. انتشارات دانشگاه هنر تهران، تهران. ۱۳۸۰.
۴. ف. طالب‌پور، م. ویسیان، رنگریزی نخ خامه پشمی با گل زعفران- بررسی تأثیر دندان و اسید. نشریه علمی پژوهشی گلجام، ۲۵، ۲۹-۴۵. ۱۳۹۳.
۵. ا. جاویدتاش، روش رنگریزی با گیاهان و تعیین ثابت ۷۲۴ رنگ گیاهی. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران. ۱۳۷۴.
6. P. Knipe, K. Eremim, M. Walton, A. Babini, G. Rayner, Materials and techniques of islamic manuscripts. *Heritage Sci.* 6 (2018), 1-40.
۷. ز. سلطانی، ح. فرهنگ بروجنی، ع. عابد اصفهانی، بررسی تأثیر افزودنی عسل بر روی مرکب سنتی ایرانی، نشریه علمی علوم و فناوری رنگ، ۱۰ (۱۳۹۵)، ۴۳-۵۴.
8. M. Barkeshli, Material technology and science in persian manuscripts. *Manuscr. Cult.* 8(2015), 187-214.
۹. گ. ا. شریفی، م. مکاری، م. کامیار، بکارگیری رنگ زعفران در تزئین صفحات نسخه‌های قرآنی. *دوفصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات هنر اسلامی*. ۱۸ (۱۳۹۲)، ۲۴-۷.
۱۰. گ. ا. شریفی، گ. شریفی، یک گیاه دارویی از زاویه دیگر: کاربرد زعفران در هنر کتاب‌آرایی، *اولین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار*، دانشگاه شهید مفتح، همدان، ایران، ۱۳۹۲.
۱۱. ه. حمیدیان، ض. محمدی، شیمی و تکنولوژی رنگ. انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۳۹۰.
۱۲. م. خان احمدی، ر. حاجی آقایی، س. قاسمی، ش. آخوندزاده، ن. آشوری، ح. نقدی آبادی، مروری بر خواص گیاهان دارویی. *نشریه علمی پژوهشی گیاهان دارویی* (۱۳۹۲)، ۵۲-۲۵.
۱۳. ق. باقرزاده، ر. حسین‌آبادی، ز. عرب‌پور، بهره‌گیری از گلبرگ و پرچم زعفران به عنوان ضایعات برای رنگریزی الیاف پشمی و بررسی ثبات‌های رنگی، نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های زعفران. (۱۳۹۲)، ۱۴۳-۱۳۶.
۱۴. ح. بارانی، ز. جمشید دوست ملکوتی، س. رفیعی، بهینه‌سازی شرایط رنگریزی الیاف پشمی با گلبرگ زعفران جهت کسب شید آبی. *نشریه علمی علوم و فناوری رنگ*. ۱۰ (۱۳۹۵)، ۲۶۶-۲۵۹.
۱۵. س. محی‌الدین بناب، کاغذ، تاریخچه، نگهداری آن. انتشارات آموت، تهران. ۱۳۸۹.
۱۶. م. برکشلی، اثرات میکروبی حنا در رنگریزی سنتی کاغذهای تاریخی. *نشریه هنر نامه*. ۳ (۱۳۷۸).
۱۷. ع. ابراهیمی جعفری، اوراقی از تاریخ صحافی و نسخه‌نویسی از دوره قاجار، *نشریه نامه بهارستان*. ۱۱ (۱۳۸۴)، ۲۹۶-۲۸۵.
۱۸. رساله در بیان طریقه ساختن مرکب الوان و کاغذهای الوان. نسخه خطی به شماره ثبت ۲۸۷۰، مرکز اسناد، کتابخانه و موزه ملی ملک. ۱۰ ه.ق.
۱۹. ن. مایل هروی، کتاب‌آرایی در تمدن اسلامی- مجموعه رسائل در زمینه خوشنویسی، مرکب‌سازی، کاغذگری، تذهیب و تجلید به انضمام فرهنگ واژگان نظام کتاب‌آرایی. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد. ۱۳۷۲.
۲۰. پ. اذکایی، رساله خط در بیان کاغذ و رنگ‌های الوان و نگاره‌ها و ترکیب مرکب و قلم و خط اوهرل. *نشریه هنر و مردم*. ۸۵ (۱۳۴۸)، ۵۷-۵۱.
۲۱. م. برکشلی، رنگ سبز زنگار و مراحل تخریب آن در مکتوبات مذهب، *نشریه علمی ترویجی اثر*. ۲۸ (۱۳۷۶)، ۱۵۵-۱۴۸.
۲۲. گ. ا. شریفی، گ. ل. شریفی، بررسی تداوم استفاده از زعفران در هنر کتاب‌آرایی ایران. *نشریه علمی پژوهشی نگر*. ۲۸ (۱۳۹۲)، ۱۳-۵.
۲۳. ع. نوشاهی، بیاض خوشبویی- در شرح اسباب و لوازم فرهنگ و تمدن شبه قاره در دوره تیموریان. *نشریه نامه بهارستان*. ۴ (۱۳۸۰)، ۸۶-۷۹.
۲۴. ع. صیرفی، گلزار صفا. فیلم نسخه خطی به شماره ۳۶۳۷/۳، کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران. ۹۵۰ ه.ق.
۲۵. م. ت. دانش‌پژوه، گلزار صفا، صیرفی. *نشریه هنر و مردم*. ۹۳ (۱۳۴۹)، ۴۲-۳۰.
۲۶. م. چترایی، متنی از روزگار صفویان درباره هنرها و صنایع گوناگون، *نشریه پیام*

- بهارستان، ۱۲(۱۳۹۰)، ۳۰۶-۳۱۸.
۲۷. ج. ر. قلیچ خانی، رسالتی در خوشنویسی و هنرهای وابسته. انتشارات روزنه، تهران، ۱۳۷۳.
۲۸. ع. ا. دهخدا، لغت‌نامه دهخدا. تدوین م. معین، ج. شهیدی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۷۷.
۲۹. م. برکشلی، زعفران عامل ثبات سبز زنگار در نگاره‌های ایرانی، نشریه علمی پژوهشی آیین میراث، ۲۸(۱۳۸۴)، ۲۱۶-۱۸۵.
30. M. Barkeshli, Historical & scientific analysis on sizing materials used in Iranian manuscripts & miniature paintings. *The book & paper group annual*. 22 (2001), 9-16.
31. M. Barkeshli, Historical and scientific analysis of Iranian illuminated manuscripts and miniature paintings, (2008), 74-88.
32. M. Barkeshli, Report of title historical & scientific analysis of material used in Islamic manuscript according persian historical treatises, *TIMA Grant Project 2007-2008*, (2009)
33. M. Barkeshli, Historical persian recipes for paper dyes. *Resturator* 37, 1 (2016), 49-89.
34. H. Ebeid, J. Brown, Y. Holt, and B. Singer, A study of dyed endpaper during islamic mediaeval time in Egypt: purpose, materials and techniques, *Paper Conservation: Decisions & Compromises ICOM-CC Graphic Document Working Group-Interim Meeting, Vienna, Austrian National Library*, (2013), 62.
35. R. Blanc, R., T. Espejo, A. Montes, Sampling & identification of natural dyes in historical maps & drawing by liquid chromatography with diode-array detection. *J. Chromatog.* 1122 (2010), 105-113.
۳۶. م. حیاتی، رنگرزی الیاف با رنگ‌های طبیعی. انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی، تهران، ۱۳۸۴.
۳۷. ر. جعفری، ک. قرنجیگ، مطالعه مشخصه‌های رنگی الیاف طبیعی رنگرزی شده با مواد رنگزای طبیعی، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۶۳-۷۴، ۷۴(۱۳۹۷).
38. J. Kirby, M. Bommel, A. Verhecken, Natural Colorants for Dyeing and Lake Pigments Practical Recipes and their Historical Sources, (2014).
39. C. Krohen, V. Frieling, Hawaii Dye Plants and Dye Receipts, university of Hawaii Press, USA. 1980.
۴۰. ج. ع. رستمدری، ریاض‌الابرار. نسخه خطی به شماره ۴۳۴۹، مرکز اسناد و کتابخانه آستان قدس رضوی. ۹۷۹ه.ق.
۴۱. ا. گلچین معانی، یک رساله نفیس و کهنسال هنری، نشریه دانشکده ادبیات تبریز، ۳۴۱، ۲۸۷ - ۳۱۰.
۴۲. م. برکشلی، نشست تخصصی موادشناسی نسخ خطی، دانشگاه الزهراء، (۱۳۹۵).
۴۳. و. هینس، اوزان و مقیاس‌ها در فرهنگ اسلامی. ترجمه غ. وره‌رام، انتشارات پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ۱۳۸۸.
۴۴. م. ت. دانش‌پژوه، رنگ‌سازی در کاغذ و رنگ‌زایی از آن، نشریه هنر و مردم، ۱۶-۳۵، ۱۸۱(۱۳۵۶).
۴۵. ناشناس، مجموعه صنایع. نسخه خطی به شماره ۵۱۹-۴۰۴، سازمان اسناد و کتابخانه ملی ج.ا. ۱۰۹۶ ه.ق.
۴۶. ع. نوشاهی، ی. بیگ‌پور، بیاض خوشبویی - دانشنامه‌ای در شرح اسباب و لوازم فرهنگ و تمدن شبه قاره در دوره تیموریان. انتشارات منشور سمیر، تهران، ۱۳۹۴.
۴۷. ص. روحی‌دهبینه، بررسی خواص فام‌های زرد رنگینه‌های گیاهی در مرمت
- نسخ خطی بر اساس دستورالعمل‌های متون تاریخی، - مطالعه موردی: مطالعه خواص ضد قارچی و ثبات رنگی زعفران، معصفر، زردچوبه در برابر نور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر تهران، ۱۳۹۶.
۴۸. ناشناس. چواهرالصنایع. نسخه خطی به شماره ثبت ۰۰۳-۰۶۲۱-IRN. کتابخانه حائری، قم، ۱۰۰۸ ه.ق.
۴۹. ع. آل داود، رنگ‌آمیزی کاغذ و مرکب‌سازی برگرفته از کتاب جواهرالصنایع، نشریه نامه بهارستان، ۱۶(۱۳۸۹)، ۳۶-۲۷.
۵۰. ا. گلچین معانی، توضیحی درباره رساله خط، نشریه هنر و مردم، ۹۰(۱۳۴۹)، ۳۰-۴۲.
51. M. Mizumura, T. Kubo, T. Moriki, Japanese paper: History, development and use in Western paper conservation, (2015), East Asian Materials and Techniques in Western Conservation. Proceedings from the International Conference of the Icon Book & Paper Group, London 8-10 April.
52. Whatman Price Catalog, (2015), www.whatman.com accessed online Nov. 2017.
53. <http://1001boom.co>, accessed online Sep. 2017.
54. A Larson-Juhl Company, Conservation By Design Catalogue, Vol 2.
۵۵. م. منظورالاجداد، ر. ربیعی، مفاهیم نظری و کاربردی ساخت کاغذ و قرآیند چاپ. خانه کتاب، تهران، ایران، ۱۳۹۰.
56. Accelerated Light Aging of Printing and Writing Paper- Xenon-Arc Exposure Apparatus. ASTM, (2003), D6789-02.
57. Standard Test Methods for Lightfastness of Colorants Used in Artist' Materials, ASTM, (2003), D 4303-03
۵۸. نساجی - آزمون‌های ثبات رنگ - ثبات رنگ در برابر نور مصنوعی - لامپ زنون برای آزمون رنگ‌پردگی. استاندارد ملی ایران، (۱۳۹۳)، ISIRI ۴۰۴۸.
۵۹. کاغذهای حساس به حرارت - ویژگی‌های آزمون. استاندارد ملی ایران، (۱۳۹۴)، ISIRI ۲۰۲۸۳.
۶۰. ثبات رنگ کالاهای نساجی - اصول کلی برای اندازه‌گیری رنگ سطح - روش آزمون. استاندارد ملی ایران، (۱۳۸۱)، ISIRI ۵۹۳۶.
۶۱. ب. استوارت، روش‌های تجزیه‌ای مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی. ترجمه م. باقرزاده کثیری، انتشارات دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ۱۳۹۳.
62. Surface pH measurement of paper, TAPPI, (2004), T529 om-04. <http://www.Tappi.org>, accessed online April 2018.
۶۳. کاغذ و مقوا - اندازه‌گیری ویژگی‌های کششی قسمت دوم: ازدیاد طول با سرعت ثابت - روش آزمون، استاندارد ملی ایران، (۱۳۸۴)، ISIRI ۸۲۷۳.
۶۴. ف. افتخار، نقش رنگ‌ها و مواد واسطه در فرسودگی قالی‌های قدیمی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، ۱۳۷۷.
65. E. Mert, A Comparative Study on Chemical Charaterization of Different Ink Ingredients Used in Anccient Ornamented Manuscripts, Master of Sience in Archaeometry Department, Middl East Tecchnical University, 2008.
۶۶. ز. مشکی، شناسایی اشیاء رنگی ترکیبی در تصویر. پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه پیام نور مشهد، ۱۳۸۹.
۶۷. آزادی بویاچی، م. خواجه محمودی، ع. عابد اصفهانی، بررسی مکانیسم واکنش تخریبی اکسیداسیون در کاغذهای تاریخی. دو فصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی، ۷(۱۳۹۵)، ۵۶-۴۹.
۶۸. ا. مقبل اصفهانی، شناخت و ساخت ماغذهای دست‌ساز، بنیاد پژوهش‌های

- اسلامی و سازمان کتابخانه‌ها، موزه‌ها و مرکز اسناد آستان قدس رضوی، مشهد، ۱۳۸۰.
۶۹. م. عبدالعلی‌زاده، م. آزادی بویاغچی، م. محمدی آچاچلویی، بررسی تأثیرات قارچ‌کش تیوفانات متیل بر ویژگی‌های بصری و ساختاری کاغذ. *نشریه علمی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران*، (۱۳۹۶)، ۳۲-۲۷۶-۲۳۲.
70. C. F. Schauwecker, Evaluation of Various Chemical Treatment to Prevent the Abiotic Deterioration of Southern Pine Surfaces through Outdoor Screening Trials, Doctor of Philosophy in Wood Science, Oregon State University, 2011.
71. M. Carne Sistach, J. M. Gibert, R. Areal, Ageing of Laboratory Iron gall Inks Studied by Reflectance Spectrometry. *Resturator*. (1999), 151-166.
72. A. Gorassini, P. Calvini, A. Baldin, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Analysis of Historic Paper Documents as a Preliminary Step for Chemometrical Analysis, Multivariate Analysis and Chemometry Applied to Environment and Cultural Heritage 2nd ed., Ventotene Island, Italy, (2008).
۷۳. د. پابوا، گ. لمیمن، گ. کریز، نگرشی بر طیف‌سنجی. ترجمه ب. موثق، انتشارات علمی و فنی، تهران، ۱۳۷۰.
74. L. Andronie, A. Corotan, V. Miresan, I. Pop, C. Raducu, A. Rotaru, L. Olar, Results Obtained by Investigating Saffron Using FTIR Spectroscopy. *Bulletin UASVM Animal Sci. Biotech*. 73(2016), DOI: 10.15835/buasvmcn-asb:12162.
75. www.irug.org, accessed online in Jun. 2017.
76. Sz. Bathaie, A. Farajzade, R. Hoshyar, A Review of the Chemistry and Uses of Crocins and Crocetin, the Carotenoid Natural Dyes in Saffron, with Particular Emphasis on applications as Colorants Including their use as Biological Stains. *Biotech. Histochem*. 89(2014), 401-411.
77. H. D. Burgess, C. Leckie, Evaluation of paper products: with special reference to use with photographic materials. Vol. 4, in topics in photographic preservation, AIC, USA, (1991), 96-105.
78. Mc. Braid, T. Claire, A Pigment and Fiber Atlas for Paper Conservation, Getty Trust Postgraduate, 2002.