جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹
ص ۱۳-۲۵

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2020.293075.1043

مطالعهٔ ساختاری هشت نمونهٔ مطالعاتی کاغذ از اسناد بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی متعلق به موزهٔ ملی ایران

سوگند نقوی[1*]، شیرین روستایی[2]

۱. مربی، گروه مرمت آثار تاریخی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲. دانش‌آموختهٔ مقطع کارشناسی، گروه مرمت آثار تاریخی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶

چکیده

اسناد تاریخی بیانگر هویت و ارزش‌های ملی، مذهبی، هنری و تاریخی هر ملت است. شناخت عوامل سازندهٔ کاغذ به شناخت فرهنگ‌های گذشته و تطور فنون مرتب بسیار کمک می‌کند. اسناد متعلق به بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی از کهن‌ترین مجموعه اسناد شناخته‌شدهٔ دورهٔ اسلامی ایران است که با وجود ارزش‌های تاریخی منحصربه‌فرد، تا کنون تحقیقات و بررسی‌های آزمایشگاهی کاملی در حوزهٔ شناخت فنی عوامل سازندهٔ کاغذهای آن صورت نگرفته است. در این پژوهش به‌منظور شناسایی نوع الیاف، آهار، خمیر و نوع پرکنندهٔ موجود در نمونه‌های مطالعاتی کاغذ از روش‌های شناسایی با معرف‌های رنگی، مشاهدات میکروسکوپ نوری به روش عبوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌بینی پاشندهٔ انرژی پرتو ایکس استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که در ساخت نمونه‌ها از الیاف کتان و کنف استفاده شده است و تنها در سه نمونه افزون‌بر الیاف گفته‌شده، الیاف رامی هم مشاهده شد. علاوه‌بر این، نتایج آزمون شناسایی خمیرکاغذ حاکی از آن است که خمیر به‌کاررفته در نمونه‌های بررسی‌شده از نوع کهنه پارچه است که به روش دست‌ساز (مکانیکی) تهیه شده‌اند. همچنین براساس آزمون شناسایی آهار مشخص شد که آهار موجود در نمونه‌ها از نوع پلی‌ساکاریدی (نشاسته) و پرکنندهٔ موجود در نمونه‌ها از نوع کربنات کلسیم است که در دو نمونه، گچ و در یک نمونه، کائولن نیز تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: آهارزنی، اسناد کاغذی بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی، الیاف، پرکننده، کاغذ.

مقدمه

نسخ خطی و اسناد کاغذی از مهم‌ترین آثار فرهنگی و هنری هر تمدن و بیانگر هویت و ارزش‌های ملی، مذهبی، هنری و تاریخی آن ملت هستند. بخش بسیار بزرگی از آثار تاریخی و فرهنگی ایران شامل نسخ و کتب خطی است که در موزه‌ها و آرشیوها واجد ارزش‌اند. با توجه به اینکه هر نسخهٔ خطی پیشینه‌ای دارد و پیشینهٔ آن ریشه در تاریخ و هویت هر تمدن و دورهٔ تاریخی دارد، تعیین نوع کاغذ در اسناد و نسخ خطی از نظر الیاف، آهار، پرکننده و تشخیص نوع مواد به‌کاررفته در آن و به‌طور کلی شناخت فناوری ساخت کاغذ در هر دورهٔ تاریخی، می‌تواند در شناخت تمدن‌های گذشته کمک بسیار بزرگی به هویت کشور و شناخت نگرش‌های پیشین کند [۱]. از طرفی این اطلاعات می‌تواند جنبه‌های توسعه و فناوری صنعت و هنر کاغذسازی را برای ما آشکار کند. اسناد متعلق به بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی از نفیس‌ترین مجموعه اسناد شناخته‌شدهٔ دوره اسلامی ایران است. قدمت، تعداد و تنوع

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۳۸۵۸۶۷۹۷۴
Email: s_naghavi@uoz.ac.ir

اسناد از ویژگی‌های اصلی این مجموعه است. کل اسناد این بقعه در حدود ۸۰۰ سند است که بخش اعظم آن در موزهٔ ملی ایران نگهداری می‌شود. با توجه به اهمیت این اسناد از جنبه‌های تاریخی و هنری، هشت نمونه سند کاغذی مربوط به دورهٔ صفوی که در موزهٔ ملی ایران نگهداری می‌شوند برای بررسی و مطالعات آزمایشگاهی انتخاب شد. نمونه‌ها به اندازهٔ تقریبی ۳×۳ سانتی‌متر به‌صورت تصادفی گزینش شدند.

به‌طور کلی می‌توان گفت که کاغذ در نسخ خطی از لحاظ تنوع و ویژگی‌های منحصربه‌فردی که دارد، فقط نوعی مادهٔ نوشتاری محسوب نمی‌شود، بلکه می‌تواند یک موضوع پژوهشی و محتوایی نیز باشد [۱]. از این‌رو امروزه روش‌های آزمایشگاهی و دستگاهی متعددی برای مطالعه و بررسی عوامل سازندهٔ اسناد و نسخ خطی به‌کار برده می‌شود که اطلاعات ارزشمندی را در اختیار کارشناسان و پژوهشگران قرار می‌دهد. برخی از این آزمایش‌ها عبارت‌اند از آنالیز طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه[1] (FTIR)، آنالیز کروماتوگرافی[2] (TLC)، آنالیز وزن‌سنجی حرارتی[3] (TGA)، گرماسنجی روبشی تفاضلی[4]، روش پیکسی[5] (PIXE: Proton Induced X-Ray Emission)، میکروسکوپ نوری- عبوری[6] (OM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌بینی پاشندهٔ انرژی[7] (SEM-EDS)، معرف‌های رنگی گراف C، هرزبرگ، سلگر[8]، آزمون ید (لوگل)، آزمون نین‌هیدرین، آزمون بیوره، آزمون راس پیل، آزمون آلومینون و مولیش[9] که اطلاعات مفیدی را دربارهٔ عوامل سازندهٔ آثار کاغذی و همچنین صنعت کاغذسازی ارائه می‌دهند [۵-۲].

در زمینهٔ شناسایی الیاف و مواد استفاده در ساخت کاغذهای تاریخی اعم از کاغذهای دست‌ساز و صنعتی، پژوهش‌های بسیاری بر پایهٔ مطالعه و بررسی میکروسکوپی ریخت‌شناسی الیاف و بررسی مواد به‌کاررفته در ساخت کاغذها براساس روش‌های تجزیهٔ شیمی تر (کلاسیک) و همچنین روش‌های دستگاهی انجام گرفته است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود:

خمسه (۱۳۸۸) در مقالهٔ خود با عنوان "شناسایی روش‌هایی از الیاف‌شناسی کاغذ و مرمت پنج نمونه از اسناد بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی" که متعلق به قرن هفتم هجری قمری است، به بررسی الیاف به‌کاررفته در ساخت کاغذهای اسناد تحت مطالعه و همچنین مرمت آنها پرداخت و دریافت که برای ساخت این کاغذها از الیاف کتان و کنف استفاده شده است [۶]. باقرزاده کثیری و همکاران در مقاله‌ای با عنوان"شناسایی الیاف کاغذهای تاریخی جهت امکان‌سنجی تاریخ‌گذاری نمونه‌های مجهول" به شناسایی الیاف و مواد استفاده در ساخت کاغذهای مورد نظر پرداختند و نتیجه گرفتند که کتان و کنف بیشترین کاربرد را در این کاغذها داشته است [۷]. مانسو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی‌های خود به روش دستگاهی (SEM-EDS, XRF و XRD) دربارهٔ کاغذهای تاریخی و مدرن ایتالیایی مربوط به قرن هفدهم تا بیستم میلادی، کاربرد انواع پرکننده در این کاغذها از جمله کلسیت، گچ، کائولن، تالک، منیزیت و دولومیت و تفاوت تأثیر آنها در کیفیت کاغذها براساس تصاویر میکروسکوپی را مشخص کردند [۸]. شای و لی (۲۰۱۳) در مقالهٔ خود به بررسی کاغذهای چینی سده‌های پانزدهم و شانزدهم میلادی با تکیه بر شناسایی الیاف و رنگدانه‌ها و نیز به بررسی معرف هرزبرگ و تغییر رنگ آن در برابر الیاف مختلف پرداختند و در نهایت پی بردند که الیاف استفاده‌شده در ساخت این کاغذها، الیاف درخت توت همراه با مقدار

1. Fourier-transform infrared spectroscopy
2. Thin-layer chromatography
3. Thermogravimetric analysis
4. Differential scanning calorimetry
5. Particle-induced X-ray emission
6. Optical microscope
7. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy
8. Graff C Stain, Herzberg Stain, Selleger's Stain
9. Iodine test, Ninhydrin test, Biuret test, Raspail test, Molisch test

کمی پنبه است [۹]. در پژوهش حاجی و همکارانش (۲۰۱۵) دربارهٔ دست‌نوشته‌های مراکشی، مورفولوژی سطح الیاف کاغذها و پرکننده‌های مورد استفاده در ساخت کاغذها بررسی شد که در نهایت مشخص شد در این کاغذها از پرکننده‌های متفاوتی از جمله آلوم، کائولن، کربنات کلسیم و سولفات باریم استفاده شده است [۱۰]. چایک و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق دربارهٔ دست‌نوشته‌ها و نقاشی‌های مذهبی اولیهٔ تبتی به‌دست‌آمده از دانهانگ با هدف بررسی ارتباط بین آنها نتیجه گرفتند که الیاف استفاده‌شده در ساخت کاغذ آثار تحت مطالعه شامل الیاف رامی و کنف و همچنین الیاف توت است. در این مقاله الیاف کاغذی رنگدانه‌ها و مرکب استفاده‌شده در این آثار نیز بررسی و شناسایی شد [۱۱].

هدف اصلی این پژوهش، شناخت و تعیین فناوری ساخت کاغذهای اسناد تاریخی مورد نظر براساس شناسایی الیاف و مواد به‌کاررفته در خمیرکاغذ است. به‌منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از روش‌های میکروسکوپی نوری–عبوری (OM) و میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌بینی پاشندهٔ انرژی (SEM-EDS) و روش‌های آزمایشگاهی کلاسیک (شیمی تر) بهره گرفته شد. برای شناخت نوع الیاف به‌کاررفته در کاغذها از میکروسکوپ نوری–عبوری (OM) و به‌منظور تعیین پرکننده‌های مورد استفاده در کاغذها از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌بینی پاشندهٔ انرژی (SEM-EDS)، بهره گرفته شد. علاوه‌بر این، برای شناسایی نوع خمیرکاغذ نمونه‌های تحت بررسی از روش‌های شیمی تر استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش هشت نمونهٔ مطالعاتی کاغذ از اسناد بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی انتخاب شد که انتخاب نمونه‌ها به‌صورت تصادفی انجام گرفت. روش تحقیق در این پژوهش تجربی و شیوهٔ گردآوری داده‌ها و نتایج تحقیق، مطالعات آزمایشگاهی و کتابخانه‌ای است. بررسی و مطالعهٔ آزمایشگاهی دربارهٔ آثار تاریخی مستلزم نمونه‌برداری از اثر است که با توجه به ویژگی‌های اثر انجام می‌گیرد. بدین منظور نمونه‌برداری، با استفاده از تیغ بیستوری انجام گرفت. با توجه به اینکه نمونه‌های تحقیق از اسناد بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی و متعلق به دورهٔ صفویه است، برای نام‌گذاری آنها از حرف S (Safi) و اعداد ۱ تا ۸ استفاده شد. آماده‌سازی نمونه‌ها با هدف شناسایی الیاف براساس استاندارد بین‌المللی TAPPI [1] 401 صورت گرفت [۱۲]. همچنین به‌منظور شناسایی خمیرکاغذ نمونه‌های مورد مطالعه از استاندارد ۱۴۱۷ مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران استفاده شد [۱۳]. برای آماده‌سازی نمونه‌ها تکهٔ کوچکی از کاغذها به‌همراه چند سی‌سی آب مقطر حرارت داده شد. سپس از محلول سود NaOH ۱ درصد برای جداسازی بهتر الیاف استفاده شد و پس از شست‌وشو با آب مقطر، برای خنثی‌سازی الیاف، چند قطره اسید کلریدریک رقیق HCl ۲ درصد به آن اضافه شد و شست‌وشوی الیاف تکرار شد. بخشی از الیاف برای بررسی ریخت‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ نوری–عبوری (OM)، با متیل‌بلو [2] رنگ‌آمیزی شد و بخش دیگر الیاف برای آزمون شناسایی خمیرکاغذ استفاده شد.

به‌منظور شناسایی نوع الیاف در ساخت کاغذهای اسناد براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی الیاف از میکروسکوپ نوری–عبوری (OM) بهره گرفته شد. این آزمایش در آزمایشگاه دانشکدهٔ هنر دانشگاه زابل انجام گرفت. همچنین بررسی میکروسکوپی الیاف با میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌بینی پاشندهٔ انرژی با هدف تعیین پرکننده‌های به‌کاررفته در ساخت کاغذها و تعیین کیفیت آهار صورت گرفت. این آزمایش در آزمایشگاه بنیاد علوم کاربردی رازی تهران با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) مدل MIRA3، ساخت شرکت TESCAN جمهوری چک مجهز به طیف‌بینی پاشندهٔ انرژی

1. Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)
2. Methyl blue

(EDS) مدل RONTEC ساخت آلمان، دارای نرم‌افزار QUANTAX مدل QX2 انجام گرفت. SEM-EDS یک روش سریع برای ارزیابی نوع و توزیع پرکننده در کاغذ است [۱۴]. به‌عبارت دیگر آنالیز دستگاهی SEM-EDS می‌تواند اطلاعات دقیقی از مقدار عناصر موجود در سطح معینی از نمونهٔ کاغذ و همچنین نحوهٔ پراکندگی عناصر در سطح کاغذ را مشخص کند [۵]. در نهایت نوع آهار موجود در نمونه‌ها به روش کلاسیک (شیمی تر) و با استفاده از معرف رنگی ید و یدید پتاسیم شناسایی شد [۱۵].

نتایج و بحث

شناسایی الیاف کاغذ با استفاده از میکروسکوپ نوری- عبوری (OM)

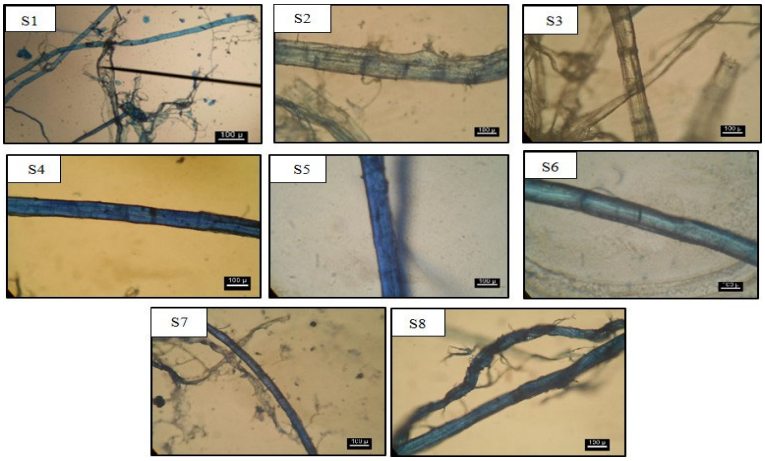
آزمایش‌های شناسایی الیاف با استفاده از دو روش شیمی تر و میکروسکوپ نوری-عبوری اجرا شد که هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند. با این حال، آزمایش ریخت‌شناسی الیاف اغلب روش سودمندی برای تأیید یا شناسایی الیاف کاغذهای تاریخی محسوب می‌شود [۱۶، ۱۷]. در بررسی سطح مقطع طولی الیاف کاغذها به‌صورت کیفی به کمک میکروسکوپ نوری- عبوری و مقایسه با منابع معتبر [۳، ۱۸] مشخص شد که کتان، کنف و رامی، الیاف اصلی در ساخت نمونه‌های ۱ تا ۳ هستند و در نمونه‌های ۴ تا ۸ از الیاف کتان و کنف استفاده شده است. نتایج بررسی میکروسکوپی کاغذها در جدول ۱ و تصاویر هر کدام از الیاف در شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود. در مطالعات خمسه (۲۰۰۹) بر روی پنج سند از مجموعه اسناد بقعهٔ شیخ صفی‌الدین اردبیلی نتایج مشابهی به‌دست آمد. [۶]. باقرزاده کثیری و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی میکروسکوپی ۲۰ نمونه کاغذ مربوط به قرن دهم هجری قمری (دورهٔ صفویه) مشخص کردند که الیاف کتان، کنف و پنبه مواد اصلی در ساخت کاغذها بوده‌اند. آنان بیان داشتند که در ۱۰ نمونه، الیاف پنبه وجود ندارد و فقط از کتان و کنف استفاده شده است [۷]. همچنین در بررسی میکروسکوپی الیاف چهار نسخهٔ خطی متعلق به دورهٔ صفوی به شمارهٔ اموال ۲۷۶۶، ۲۹۲۵، ۳۱۴۲ و ۵۱۴۶ متعلق به مؤسسه و کتابخانهٔ موزهٔ ملی ملک مشخص شد که از الیاف کتان، کنف و رامی برای ساخت این کاغذها استفاده شده است [۱۹]. ویژگی مقطع طولی این الیاف در زیر میکروسکوپ، یکی از راه‌های تشخیص این الیاف از یکدیگر است. لیف کتان شفاف و منظم و دارای دیوارهٔ ضخیم و یکنواخت است. قسمت بیرونی این لیف صیقلی یا کمی چیندار است که گره‌هایی در فاصله‌های مشخص در طول لیف وجود دارد. لیف کنف نیز مانند لیف کتان دارای شکستگی‌ها و گره‌هایی در سطح لیف است و دو انتهای لیف کشیده است. تنگ بودن کانال مرکزی لیف یکی دیگر از ویژگی‌های این لیف است که در آن فیبر بدون تغییر ضخامت، تنگ و محدود می‌شود. الیاف رامی شکل و اندازهٔ نامنظم و استوانه‌ای دارد که گاه پهن و نازک می‌شود. سطح لیف صیقلی است و گاهی شکاف‌های طولی و عرضی و گاه متقاطع در سطح آن مشاهده می‌شود. این لیف از دیگر الیاف ساقه‌ای پهن‌تر است و در موارد نادر پیچ و تاب‌هایی در سطح آن مشاهده می‌شود [۲، ۲۰]. با توجه به موارد گفته‌شده ویژگی ریخت‌شناسی الیاف کتان، کنف و رامی در شکل ۴ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در منابع مختلف بیان شده است، سال‌های متمادی درکشورهای مختلف از الیاف گوناگونی برای تولید کاغذ استفاده می‌کردند که مهم‌ترین آنها الیاف گیاهی غیرچوبی شامل الیاف دانه‌ای مانند پنبه[1]، الیاف ساقه‌ای مانند کتان، کنف، رامی، کوزو، گامپی[2]، و الیاف برگی همچون کنف مانیل و سیزال[3] است. پس از آن و با پیشرفت فناوری ساخت کاغذ، الیاف گیاهی چوبی نیز برای ساخت کاغذ به‌کار برده شد [۲۲-۲۰]. لیف کنف از دیرباز برای تولید پارچه و کاغذ کاربرد داشت. این لیف از

1. Cotton
2. Linen, Hemp, Ramie, Kozo, Gampi
3. Sisal

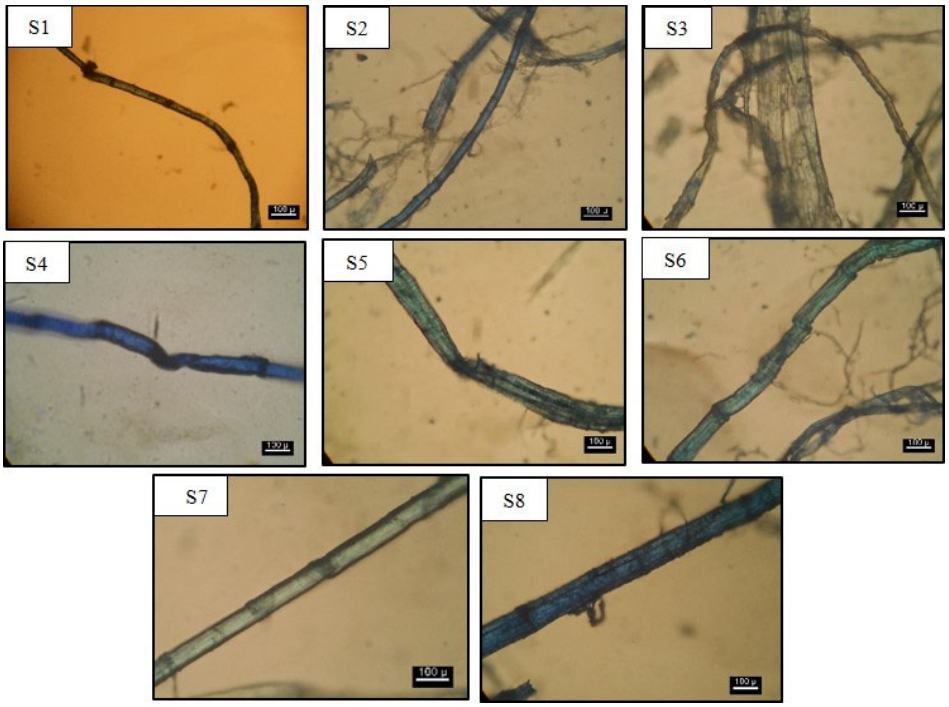
ساقهٔ گیاهان بلند و باریک چندساله یا سالانه در پاییز برداشت می‌شد. دست‌نوشته‌های تاریخی نشان می‌دهد که این الیاف به‌عنوان الیاف اصلی بادبان و طناب کاربرد داشت [۱۸]. کنف با نام "Ta ma"در چین شناخته می‌شود، هرچند که سرمنشأ آن شمال هند و ایران است. این احتمال وجود دارد که این گیاه اولین گیاهی به‌کاررفته در صنعت کاغذسازی باشد، زیرا تسای لون در نوشته‌های خود بیان کرده که از این گیاه برای ساخت کاغذ مورد نیاز خود استفاده کرده است [۲۳]. الیافی که برای کاغذسازی استفاده می‌شوند به‌طور متوسط ۱۵ تا ۵۵ میلی‌متر طول و ۰/۰۱۶ تا ۰/۲۲ میلی‌متر قطر دارند [۲۴]. Linen انواع مختلفی از مواد را در بر می‌گیرد که به‌عنوان کتان یا الیاف کتانی به‌کار گرفته می‌شوند. از ۴۵۰۰ سال پیش از میلاد، در اروپا و چین، کتان به‌عنوان مادهٔ نساجی کاربرد داشت [۲۳]. در تحقیقات کلاپرتون (۱۹۳۴) و تورنر و اسکیولد (۱۹۸۳) مشخص شد که همراه با کنف، الیاف کتان به‌عنوان یکی دیگر از الیاف مورد استفاده برای ساخت کاغذ توسط تسای لون به‌کاررفته است. یکی از مهم‌ترین مناطق کشت این گیاه در قدیم، در منطقه سمرقند ذکر شده است که بعدها این منطقه به کاغذسازی شهرت یافت [۲۱]. یکی دیگر از الیاف غیرچوبی شناخته‌شده در کاغذسازی که از قدیمی‌ترین الیاف گیاهی محسوب می‌شود و هزاران سال کاربرد داشته، لیف رامی است. در طول سال‌های ۵۰۰۰ تا ۳۰۰۰ قبل از میلاد، الیاف رامی در پارچه‌هایی که برای مومیایی کردن اجساد در مصر استفاده می‌شد، به‌کاررفته است. این گیاه قرن‌ها در چین وجود داشته و به‌دلیل نرمی، درخشندگی، استحکام و ماندگاری، باارزش بوده است [۲۵]. الیاف رامی که از سلولز خالص تشکیل شده‌اند، قوی‌ترین و بادوام‌ترین فیبرهای گیاهی هستند. لیف‌های کوتاه و هدررفتهٔ آنها برای تولید کاغذ استفاده می‌شود که طول این الیاف به‌طور متوسط ۱۲۰ میلی‌متر و عرض آنها ۰/۰۵ میلی‌متر است [۲۶] که این ویژگی در کیفیت و مقاومت کاغذ مؤثر است.

جدول ۱. نتایج شناسایی میکروسکوپی الیاف نمونه‌های کاغذی تحت بررسی

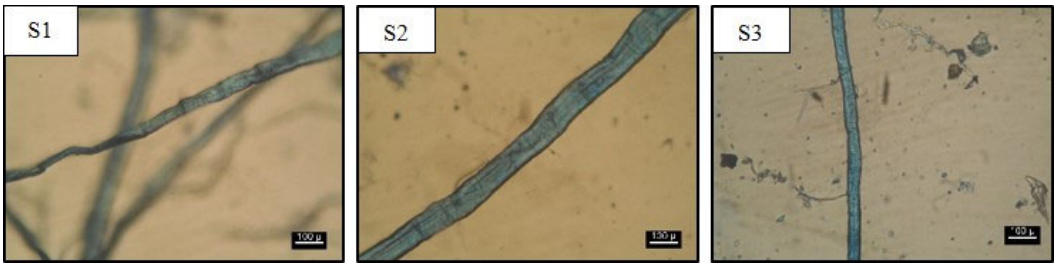
شماره	کتان	کنف	رامی	الیاف دیگر
S1	+	+	+	–
S2	+	+	+	–
S3	+	+	+	–
S4	+	+	–	–
S5	+	+	–	–
S6	+	+	–	–
S7	+	+	–	–
S8	+	+	–	–



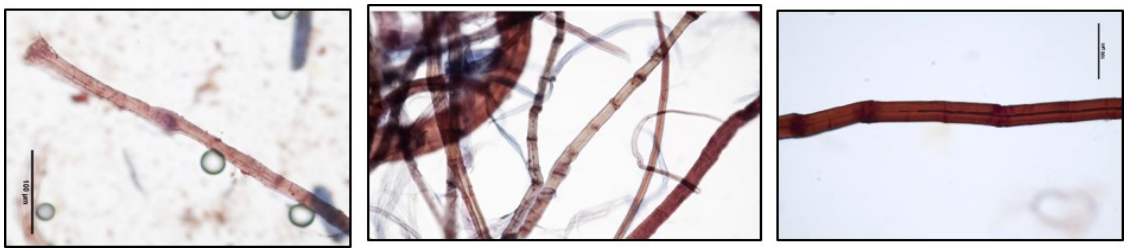
شکل ۱. تصاویر تهیه‌شده با میکروسکوپ نوری-عبوری (OM) از الیاف کتان در نمونه‌های کاغذهای تحت مطالعه. گره‌ها از ویژگی‌های میکروسکوپی سطح الیاف کتان است که در تصاویر دیده می‌شود.



شکل ۲. تصاویر تهیه‌شده با میکروسکوپ نوری عبوری (OM) از الیاف کنف در نمونه‌های کاغذهای تحت مطالعه. گره‌ها از ویژگی‌های میکروسکوپی سطح الیاف کنف است که در تصاویر دیده می‌شود.



شکل ۳. تصاویر تهیه‌شده با میکروسکوپ نوری عبوری (OM) از الیاف رامی در نمونه‌های کاغذهای S1، S2، S3، خطوط متقاطع در سطح الیاف دیده می‌شود.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از الیاف رامی (تصویر سمت راست)، کتان (تصویر وسط) و کنف (تصویر سمت چپ) در خمیرکاغذ [۲۷].

۲. شناسایی نوع خمیرکاغذ به‌کاررفته در نمونه‌های بررسی‌شدهٔ کاغذ به‌کمک معرف رنگی هرزبرگ

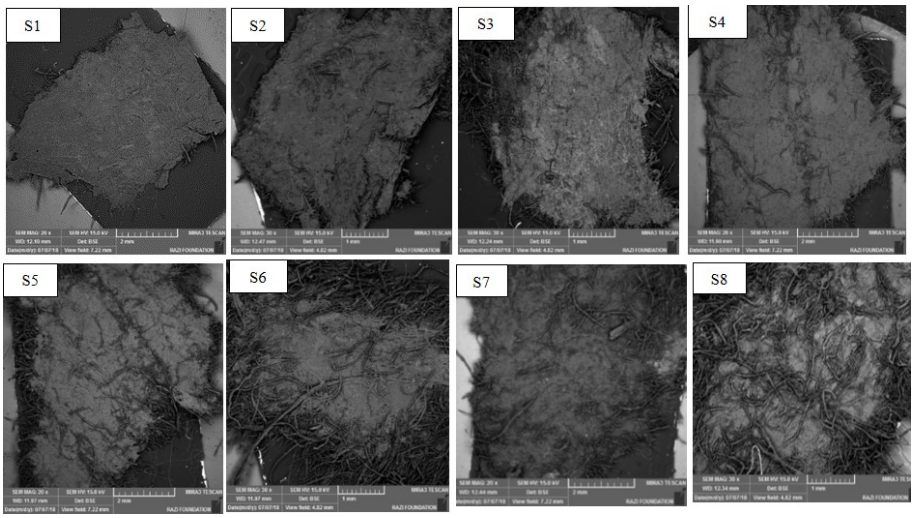
یکی از راه‌های تعیین ترکیبات فیبری خمیرکاغذ استفاده از معرف‌های رنگی است. معرف رنگی به‌کاررفته در این پژوهش معرف هرزبرگ است که براساس استاندارد ۱۴۱۷ [۱۳] تهیه شد و مقایسهٔ تغییر رنگ الیاف نمونه‌های مطالعاتی در برابر معرف به رنگ قرمز تیره با جدول‌های تغییر رنگ موجود در منبع ذکرشده انجام پذیرفت (جدول ۲). در این آزمون مشخص شد که خمیرکاغذ به‌کاررفته برای ساخت کاغذهای تحت مطالعه خمیر کهنه پارچه است که از الیاف گیاهی غیرچوبی- الیاف با طول بلند- مانند کتان، کنف، رامی و موارد مشابه به روش دست‌ساز (مکانیکی) تهیه شده‌اند [۲۸]. همچنین در پژوهش‌های خمسه (۲۰۰۹)، بر روی اسناد کاغذی بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی و نقوی (۲۰۱۲) و باقرزاده و همکاران (۲۰۱۶) بر روی خمیرکاغذ نسخ خطی دورهٔ صفوی، خمیر کهنه پارچه برای همهٔ نمونه‌ها شناسایی شد [۶، ۷، ۱۹].

۳. شناسایی نوع آهار به‌کاررفته در نمونه‌های کاغذهای تحت مطالعه

یکی از مراحل ساخت کاغذ، آهارزنی است که برای این کار از مواد مختلفی استفاده می‌شود. آهار به‌منظور افزایش استحکام و ایجاد سطح مناسب برای نگارش کاربرد دارد. برای آهارزنی از موادی مثل نشاسته و ژلاتین و در مواردی در چین از سریشم (چسب) ماهی استفاده می‌شد [۲۱، ۲۹]. یکی از راه‌های تعیین نوع آهار در کاغذهای تاریخی استفاده از معرف رنگی ید و یدید پتاسیم است. استفاده از این معرف، روش مناسب و سریعی برای تأیید وجود نشاسته‌های گیاهی است که سبب ایجاد رنگ آبی می‌شود. این آزمایش برای هشت نمونه کاغذ تحت مطالعه انجام گرفت که در همهٔ نمونه‌ها تغییر رنگ آبی مشخص‌کنندهٔ استفاده از محلول نشاسته در آهارزنی کاغذها بود [۱۵]. علاوه‌بر شناسایی نوع آهار، کیفیت سطحی آهار در تصاویر تهیه‌شده به روش SEM بررسی شده و مشخص شد که نمونه‌های S1، S2، S3 و S4 ، آهار به‌نسبت سالم‌تر و مطلوب‌تری از نمونه‌های S6، S7 و S8 دارند و در بعضی از قسمت‌های این کاغذها به‌خصوص در نمونهٔ S8 آهار تقریباً از بین رفته است. همچنین کیفیت آهار در نمونهٔ S5 بین این دو دسته قرار می‌گیرد که تصاویر مربوط به آنها در شکل ۵ دیده می‌شود.

جدول ۲. خلاصه نتایج به‌دست‌آمده از شناسایی الیاف در نمونه‌های کاغذهای مطالعاتی با استفاده از معرف رنگی هرزبرگ

شماره	معرف هرزبرگ	نتیجه
S1	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه
S2	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه
S3	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه
S4	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه
S5	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه
S6	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه
S7	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه
S8	قرمز تیره	خمیر کهنه پارچه

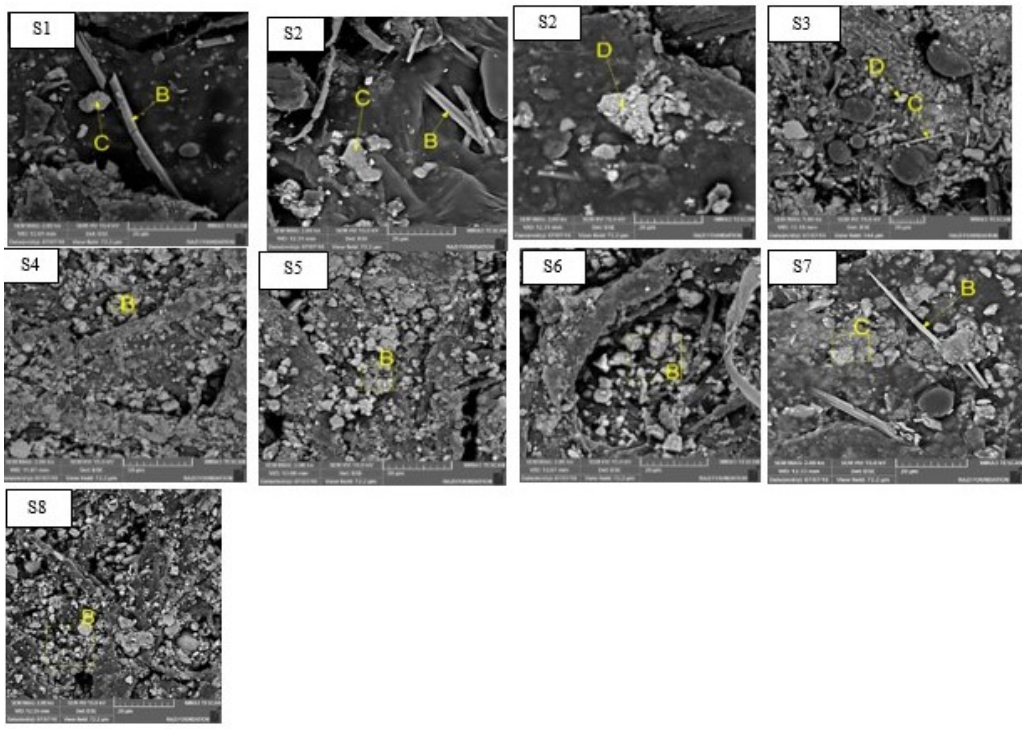


شکل ۵. تصاویر BSE تهیه‌شده به روش SEM-EDS از پوشش سطحی آهار کاغذ در نمونه‌های تحت مطالعه که نشان‌دهندهٔ کیفیت آهار در کاغذهاست.

۴. شناسایی نوع پرکننده به‌کاررفته در نمونه‌های کاغذهای تحت مطالعه به روش SEM-EDS

به‌منظور مطالعه و شناسایی عناصر تشکیل‌دهندهٔ پرکننده‌های موجود در نمونه‌ها از روش SEM-EDS استفاده شد. براساس یافته‌های حاصل از آنالیز SEM-EDS مشخص شد که مقدار اکسیژن ۴۷/۴۸ تا ۵۲/۳۵ درصد، مقدار کربن ۱۶/۷۲ تا ۶۹/۸۲ درصد، مقدار منیزیم ۰/۳۶ تا ۸/۰۹ درصد، مقدار سیلیسیم ۰/۵۱ تا ۴۳/۱۷ درصد، مقدار آلومینیوم ۰/۳۵ تا ۱۲/۰۱ درصد، مقدار آهن ۰/۰۶ تا ۱۲/۸۹ درصد و مقدار تیتانیوم ۰/۰۴ تا ۲/۸۰ است. علاوه بر این، عناصر دیگری هم در نمونه‌ها شناخته شدند که عبارت‌اند از: فسفر (۰/۴۵ تا ۴/۷۴ درصد)، گوگرد (۰/۴۸ تا ۱۷/۲۴ درصد)، کلر (۰/۲۵ تا ۲/۲۷ درصد)، کلسیم (۰/۱۹ تا ۲۰/۷۱ درصد) و پتاسیم (۰/۲۵ تا ۷/۷۵ درصد). همچنین عنصر قلع به مقدار ۰/۶۹ درصد در نمونهٔ S1 و عنصر سدیم به مقدار ۲/۷۷ درصد در نمونهٔ S3 وجود دارند که احتمالاً مربوط به اجزای دستگاه‌های تهیهٔ خمیر و ساخت کاغذ یا مربوط به آلودگی‌های سطحی روی نمونه‌های کاغذهای تحت مطالعه است [۸، ۱۰]. نتایج آنالیز عنصری SEM-EDS در جدول ۳ مشاهده می‌شود. وجود آهک در کاغذهای تاریخی دلایل مختلفی دارد، از جمله آب مورد استفاده برای ساخت کاغذ، کلسیم ناشی از چسب‌های ژلاتینی که مربوط به استخوان حیوانات است، آهک مورد استفاده برای جداسازی الیاف پارچه یا مربوط به ترکیبات معدنی که به‌عنوان پرکننده در ساخت کاغذ استفاده شده است. پتاسیم موجود در نمونه‌ها احتمال دارد مربوط به آلودگی‌های مادهٔ اولیهٔ کاغذسازی باشد. همچنین آهن شناسایی‌شده در نمونه‌ها احتمالاً مربوط به آب استفاده‌شده برای خمیرسازی کاغذ است. درصد کم عناصر اصلی مربوط به پرکننده‌ها در آنالیز SEM-EDS نشان‌دهندهٔ کاربرد پرکننده‌های معدنی در نمونه‌ها به مقدار جزئی است، زیرا کاغذهای ساخته‌شده از کهنه پارچه از کیفیت مناسبی برخوردار بودند و به مقادیر زیاد پرکننده در ساخت این کاغذها نیازی نبود [۸]. کلر و دیگر عناصر کم‌مقدار مانند منیزیم و فسفر نیز مربوط به ناخالصی‌های موجود در خمیرکاغذ یا آلودگی‌های سطحی کاغذهاست [۱۰]. در واقع مواد معدنی برای افزایش و بهبود برخی از خواص کاغذ مانند سفیدی، چاپ‌پذیری بیشتر و غیره به خمیرکاغذ اضافه می‌شوند که از مهم‌ترین پرکننده‌ها می‌توان به کائولن ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)، کربنات کلسیم ($CaCO_3$)، دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) و تالک ($Mg_3(OH)_2Si_4O_{10}$) اشاره

کرد [۳۰]. با توجه به نتایج آنالیز عنصری SEM-EDS که عنصر کلسیم با بیشترین مقدار در همهٔ نمونه‌ها شناسایی شد، احتمال دارد که از کربنات کلسیم به‌عنوان پرکننده در خمیرکاغذ استفاده شده باشد. در نمونهٔ S2 مقدار زیاد آلومینیوم و سیلیس حاکی از وجود کائولن علاوه‌بر کلسیم در خمیرکاغذ است. همچنین در نمونه‌های S1 و S3 مقدار زیاد گوگرد کاربرد ژیپس را در خمیرکاغذ به‌عنوان پرکننده تأیید می‌کند [۸، ۱۰، ۳۰] که نتایج در جدول ۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۶. تصاویر BSE تهیه‌شده به روش SEM-EDS که نواحی علامت‌گذاری‌شده در تصاویر نشان‌دهنده نواحی آنالیزشده است. قسمت‌های روشن مربوط به پرکننده‌های معدنی موجود در کاغذهاست.

جدول ۳. نتایج آنالیز عنصری پرکننده‌های معدنی به‌کاررفته در ساخت کاغذهای تحت مطالعه براساس درصد وزنی

نمونه	C	O	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Sn
S1-B	۲۶/۱۱	۳۵/۵۲	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۴۸	۰/۲۹	۰/۲۵	۱۸/۳۰	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۵۲
S1-C	۱۶/۷۲	۴۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۷	۱/۳۸	۰/۶۸	۱۷/۲۴	۰/۲۷	۰/۴۱	۲۰/۷۱	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۶۹
S2-B	۳۱/۱۹	۴۷/۹۱	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۵۵	۱/۴۸	۰/۶۲	۱۶/۲۰	۰/۱۱	۰/۰۷	–
S2-D	-	۴۱/۹۶	۷/۹۵	۱۲/۰۱	۱۴/۶۰	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۴۹	۲/۵۲	۷/۳۸	۰/۲۰	۱۱/۷۴	–
S3-C	۲۹/۴۳	۵۲/۹۷	۰/۷۷	۰/۹۱	۲/۴۳	۰/۹۵	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۶۷	۱۰/۴۲	۰/۰۶	۰/۰۹	–
S3-D	۱۸/۹۵	۴۹/۳۳	۱/۱۲	۱/۳۴	۳/۴۶	۱/۸۶	۹/۸۲	۰/۴۱	۰/۹۳	۱۲/۲۴	۰/۱۱	۰/۴۳	–
S4-B	–	۴۵/۲۲	۱/۴۹	۱/۷۷	۵/۶۹	۲/۳۸	۱/۱۲	۰/۵۴	۱/۰۱	۶/۱۶	۰/۱۲	۰/۵۲	–
S 5-B	۳۳/۹۸	۵۶/۵۶	۱/۷۹	۶/۲۵	۱۸/۰۴	۲/۱۶	۱/۴۵	۰/۵۸	۴/۷۵	۵/۶۹	۰/۲۲	۲/۵۱	–
S6-B	۱۹/۵۲	۴۳/۱۲	۰/۳۶	۲/۴۶	۱۱/۴۹	۰/۶۱	۲/۲۳	۰/۵۶	۳/۲۹	۱۲/۸۵	۰/۱۷	۳/۳۳	–
S7-C	۲۲/۶۵	۴۱/۱۴	۰/۹۷	۲/۰۴	۵/۳۸	۰/۷۶	۳/۵۳	۱/۲۰	۱/۸۱	۱۹/۶۰	۰/۰۷	۰/۸۵	–
S8-B	۳۲/۵۲	۵۰/۰۶	۱/۱۳	۱/۵۹	۴/۱۳	۰/۶۸	۲/۳۳	۱/۲۸	۱/۲۳	۴/۲۳	۰/۰۹	۰/۷۳	–

جدول ۴. انواع پرکننده‌های شناسایی‌شده به روش SEM-EDS در کاغذهای تحت مطالعه که کربنات کلسیم در هشت نمونه شناسایی شد

شماره	کربنات کلسیم	ژیپس	کائولن
S1	+	+	+
S2	+	+	−
S3	+	+	−
S4	+	−	−
S5	+	−	−
S6	+	−	−
S7	+	−	−
S8	+	−	−

نتیجه‌گیری

سیر تحول فناوری ساخت کاغذ در هر دورهٔ تاریخی از اهمیت زیادی برخوردار است، چراکه ویژگی کاغذهای تاریخی نشان‌دهندهٔ پیشرفت و تکامل بشر در زمینهٔ هنر و صنعت کاغذسازی است. علاوه‌بر این در دوره‌های تاریخی کاغذهای متنوعی برای کاربردهای گوناگون ساخته شده است که مواد و شیوهٔ ساخت آنها با یکدیگر تفاوت داشته است. در نتیجه آثار کاغذی بسیار زیاد و ارزشمندی از دوره‌های تاریخی مختلف بر جای مانده است که هر کدام گویای هنر و فناوری کاغذسازی در آن دوره است. پژوهش حاضر با هدف تعیین و شناخت مواد به‌کاررفته و روش ساخت کاغذهای هشت نمونه از اسناد تاریخی بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی است که در موزهٔ ملی ایران نگهداری می‌شوند. در این پژوهش که برمبنای مطالعات میکروسکوپی (OM) و (SEM-EDS) و روش‌های کلاسیک طرح‌ریزی شد مشخص شد که شیوهٔ ساخت و مواد سلولزی و همچنین نوع آهار در همهٔ نمونه‌ها یکسان است. الیاف استفاده‌شده، الیاف غیرچوبی ساقه‌ای (کتان، کنف و رامی) است که از خمیر کهنه پارچه و به روش دست‌ساز (مکانیکی) تهیه شده‌اند. همچنین نوع آهار نشاسته است. علاوه‌بر این در آنالیز عنصری (SEM-EDS) کربنات کلسیم به‌عنوان پرکنندهٔ اصلی در نمونه‌ها شناخته شد. با وجود این، علاوه‌بر کربنات کلسیم، ژیپس در دو نمونهٔ S1 و S3 و کائولن در نمونهٔ S1 به‌عنوان پرکننده تشخیص داده شد.

References

[1]. Azimi, H. (2012). Manuscript papers. National Studies on Librarianship and Information Organization (NASTINFO), 22(4): 39-54.

[2]. Lienardy, A., and Damme, Ph.V. (1379). Inter folia: manual de conservation et restoration du papier, Translated: Sarvmoghadam, A, Mashhad, Islamic Research Foundation, Mashhad, Iran.

[3]. Isenberg, I.H. (1967). Pulp and Paper Microscopy. The Institute of Paper Chemistry, Second printing, Appleton, Wisconsin.

[4]. Sistach, M.C., Ferrer, N., and Romero, M.T. (1998). Fourier transform infrared spectroscopy applied to the analysis of ancient manuscripts. Restaurator, 173-186.

[5]. Modgi, S., McQuaid, M.E., and Englezos, P. (2006). SEM/EDX analysis of Z-direction distribution of mineral content in paper along the cross-direction. T 124 Pulp & Paper Canada, 107(5): 48-51.

[6]. Khamseh, H. (2009). Identification of paper fiber and restoration techniques of five examples of Sheikh Safieddin Ardebili tomb Documents. 7th Conservation and Restoration Cultural- Historical Objects, Research Institute of Cultural Heritage, Crafts and Tourism Organization, First Edition, 184-192.

[7]. B. Kasiri, M., Younesi, B., and Yajam, A. (2016). Identification historical paper fibers to dating feasibility of unknown samples. Journal of Research on Archaeometry, 2(1): 29-38.

[8]. Manso, M., Carvalho, M.L., Queralt, I., Vicini, S., and Princi, E. (2011). Investigation of the composition of historical and modern Italian papers by Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF), X-ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS). Society for Applied Spectroscopy, 65(1): 52-59.

[9]. Shi, J.I., and Li, T. (2013). Technical investigation of 15th and 19th century Chinese paper currencies: fiber use and pigment identification. Journal of Raman Spectroscopy, 44: 892-898.

[10]. Hajji, L., Boukir, A., Assouik, J., Lakhiari, H., Kerbal, A., Doumenq, P., Mille, G., and Luisa, M. (2014). Conservation of Moroccan manuscript papers aged 150, 200 and 800 years. Analysis by Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), X-ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS), Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Bimolecular Spectroscopy, 136(B): 1038-1046.

[11]. Schaik, S.V., Helman-Wazny, A., and Noller, R. (2015). Writing, painting and sketching at Dunhuang: assessing the materiality and function of early Tibetan manuscripts and ritual items. Journal of Archaeological Science, 53: 110-132.

[12]. Standard Fiber Analysis of Paper and Paperboard (Reaffirmation of T 401 om-03) (No changes from Draft 1).

[13]. Standard Paper, Board and Pulps- Fiber Furnish Analysis, ISIRI Number 1417.

[14]. Rothbard, D.R. (2001). Electron microscopy for the pulp and paper industry. Institute of Paper Science and Technology, Atlanta, Georgia. Atlanta, GA 30318 USA.

[15]. Lipponen, J., and Astola, J. (2004). Novel method for quantitative starch penetration analysis through iodine staining and image analysis of cross-sections of uncoated paper and board. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 19(3): 300-308.

[16]. Albrecht, W., Fuchs, H., and Kittelmann, W. (Eds.). (2006). Nonwoven fabrics: raw materials, manufacture, applications, characteristics, testing processes. John Wiley & Sons.

[17]. Li, T. (2018). Identifying sources of fiber in Chinese handmade papers by photoliths: A methodological exploration. STAR: Science & Technology of Archaeological Research, 4(1): 1-11.

[18]. McBride, C. (2002). A Pigment Particle & Fiber Atlas for Paper Conservators, Getty Trust Postgraduate Fellow, California.

[19]. Naghavi, S. (2012). Reports of Laboratory, National Library and Museum Malek.

[20]. Franck, R.R. (2005). Bast and other plant fibers, Boca Raton, FL, Cambridge: Wood head Publishing Limited, CRC Press.

[21]. Hubbe, M.A, and Bowden, C. (2009). Handmade paper: a review of its history, craft, and science. BioResources, 4(4): 1736-1792.

[22]. Roberts, J.C. (1996). The Chemistry of Paper, The Royal Society of Chemistry.

[23]. Colling, T., and Milner, D. (1978). The identification of oriental paper-making fibers. The Paper Conservator, 3(1):51-79.

[24]. Jeyasingam, J. T. (1994). Industrial experience in the manufacture of cigarette tissue using hemp. TAPPI Nonwood Plant Fiber Progress Report No. 21: 163-178.

[25]. Sen T, H.N., and Reddy, J. (2011). Various industrial applications of hemp, kenaf, flax and ramie natural fibers. International Journal of Innovation, Management and Technology, 2(3): 192-198.

[26]. Chairman, W., Chairman, Wilma., Bergfeld, M.D., Donald, V., Belsito, M.D., Ronald, A.H., and Curtis, D.K. (2012). Cucumis Sativa(Cucumber)-Derived Ingredients as Used in Cosmetics. Moince M. Fiume, Senior Scientific Analytst.

[27]. www.cameo.mfa.org

[28]. Hunter, R.W. (2001). Nonwood Plant Fiber Uses in Papermaking. (Ottawa, Ontario, Canada: Hurter Consult Ink.).

[29]. Carson, F. T. (1926). Measurement of the Degree of Sizing of Paper (No. 326). US Government Printing Office.

[30]. Bennis, H., and Rachid, B. (2010). Quantification of pore size distribution in the Z-direction of paper by using image analysis. Characterization of Paper Structure by image Analysis. In: Symposium on I/V Communications and Mobile Network (ISVC): 1-4.

Structural Study of Eight Study Samples of Sheikh Safiuddin Ardebili Tomb Paper Documents Belonging to the National Museum of Iran

S. Naghavi*; Lecturer, Department of Restoration of Objects, College of Art and Architecture, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

Sh. Roustaei; Graduated of Bachelor, College of Art and Architecture, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

(Received: 28 November 2019, Accepted: 06 January 2020)

ABSTRACT

Historical documents represent the national, religious, and artistic values of each nation and are its historical identity. Understanding factors that make up a paper can help to identify past cultures and maintain true techniques. One of the oldest known collection of documents of the Islamic period of Iran is the Sheikh Safiuddin Ardebili monument's documents which despite its unique historical values, has not been thoroughly studied in terms of technical knowledge of its constituents. In this study, in order to identify the type of used fibers, liner, and filler in the paper, colorimetric identification, optical microscopy, and scanning electron microscopy equipped with X-ray diffraction spectroscopy (SEM-XRD) were used. The results showed that flax and hemp fibers were used in the fabrication of the specimens and only in three specimens, the ramie fibers were observed. In addition, the results of the pulp identification indicated that the pulp used in the study samples was of an old fabric type that was made by hand. Based on the liner identification test, it was found that the liner in the samples was polysaccharide (starch) and the fillers in the samples were calcium carbonate, gypsum and kaolin.

Keywords: Sheikh Safiuddin Ardebili tomb paper documents, fiber, sizing, filler, paper.

* Corresponding Author, Email: s_naghavi@uoz.ac.ir, Tel: +98938586797