



دوفصلنامه مطالعات موزه‌ای زرین فام
دوره ۳، شماره ۵، پاییز و زمستان ۱۴۰۴
شاپا چاپی: ۱۵۴۵-۳۱۱۶
شاپا الکترونیکی: ۱۳۲۴-۳۱۱۶

ایجاد پایگاه داده الیاف کاغذهای دوره تیموری برای طبقه‌بندی و تاریخ‌گذاری نسخ خطی

مریم میرانی^{ID} ✉ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌سنجی گرایش آلی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
محسن محمدی آچاچلویی استادیار گروه مرمت آثار و اشیاء فرهنگی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
داوود افهامی سی سی استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
نفیسه یوسفی دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌سنجی گرایش آلی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱

پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷

انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۰۱

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی مجموعه‌داده‌ای جامع در زمینه شناسایی الیاف کاغذهای به‌کاررفته در نسخه‌های خطی است؛ زیرا مطالعات پیشین در این زمینه عمدتاً بر مجموعه‌های محدودی متمرکز بوده و دوره تاریخی مشخصی را به‌طور مستقل مورد بررسی قرار نداده‌اند. بر همین اساس، در پژوهش حاضر ویژگی‌های الیاف کاغذ ۵۰ نسخه خطی تاریخی متعلق به دوره تیموری، موجود در مخزن خطی اداره مخطوطات آستان قدس رضوی، مورد مطالعه و شناسایی قرار گرفت. شناسایی الیاف با بهره‌گیری از روش‌های میکروسکوپی مبتنی بر مورفولوژی و بیومتری و نیز با استفاده از آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) انجام شد. بر اساس بررسی منابع پیشین، الیاف غیرچوبی، از جمله کتان و شاهدانه، در کاغذسازی اولیه ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که الیاف به‌کاررفته در ساخت هر ۵۰ نمونه کاغذ متعلق به دوره تیموری، از شاهدانه و کتان تشکیل شده است. همچنین، نوع خمیر مورد استفاده، علاوه بر شاهدانه، شامل کربنات کلسیم و آلومین بوده و میزان لیگنین آن بسیار پایین است. مواد به‌کاررفته برای آهاردهی نیز شامل نشاسته و ژلاتین بوده است. افزون بر این، با توجه به بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد که چنانچه نمونه‌ای حاوی پنبه باشد، نمی‌توان آن را متعلق به دوره تیموری دانست. علاوه بر این، با توجه به شواهد و منابع موجود، می‌توان بیان کرد که از طریق شناسایی تفاوت‌ها و شباهت‌های ساختاری در نسخه‌های خطی و تطبیق آن‌ها با ویژگی‌های زمانی، تا حدودی امکان بررسی و تعیین دوره زمانی نمونه‌های مجهول فراهم می‌شود؛ با این حال، برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و تعمیم‌پذیرتر، انجام پژوهش‌ها و مطالعات بیشتری در این زمینه ضروری است.

واژگان کلیدی: الیاف، کاغذهای تاریخی، نسخ خطی، تیموری، آنالیز میکروسکوپی، طیف‌سنجی FTIR.

استناد: میرانی، مریم، محمدی آچاچلویی، محسن، افهامی سی سی، داوود، یوسفی، نفیسه (۱۴۰۴). ایجاد پایگاه داده الیاف کاغذهای دوره تیموری برای طبقه‌بندی و تاریخ‌گذاری نسخ خطی. *مطالعات موزه‌ای زرین فام*، ۳(۵)، ۱-۱۹.

<https://doi.org/10.30481/museum.2026.571116.1078>

© ۲۰۲۶/۱۴۰۴ نویسنده(گان). این مقاله یک اثر دسترسی آزاد است که تحت مجوز CC BY 4.0 منتشر شده است. استناد و انتشار مجدد این اثر با ذکر منبع مجاز است.

۱. مقدمه

نقش فرهنگی پوست و کاغذ در تاریخ بشر بسیار گسترده و چندوجهی بوده است. کتاب‌های باستانی، نسخه‌های خطی و اسناد بایگانی، از مهم‌ترین مخازن تاریخی ثبت‌شده از دوره‌های اولیه به شمار می‌روند و می‌توانند سرنخ‌های ارزشمندی برای درک صحیح بافت‌های تاریخی، اجتماعی و سیاسی فراهم آورند. از این‌رو، بررسی کاغذ تشکیل‌دهنده این نسخه‌ها می‌تواند زمینه مناسبی برای استخراج و تفسیر بخشی از این داده‌های تاریخی فراهم سازد (Espejo et al., 2010).

کاغذ از مواد و اجزای مختلفی تشکیل شده است که در این میان، ارزیابی الیاف تشکیل‌دهنده آن می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره ویژگی‌ها و فنون کاغذسازی در ادوار مختلف تاریخی فراهم آورد و در نمونه‌های مجهول، امکان تخمین دوره و مکان ساخت را نیز تا حدودی میسر سازد. از سوی دیگر، شناسایی نوع الیاف موجود در کاغذها، امکان طبقه‌بندی مناسب نسخه‌های کاغذی را بر اساس مواد سازنده آن‌ها و با در نظر گرفتن ویژگی‌های جغرافیایی فراهم می‌کند.

نسخه‌های خطی بخش قابل توجهی از میراث فرهنگی ایران را تشکیل می‌دهند و در میان آن‌ها، نمونه‌های متعدد و ارزشمندی از دوره تیموری برجای مانده است که حامل بار فرهنگی و ارزش‌های متعددی هستند. این ویژگی‌ها بر اهمیت حفظ، مطالعه، استخراج و معرفی مفاهیم نهفته در این آثار تأکید می‌کند. با وجود این، تاکنون مطالعه‌ای جامع و مستند درباره این موضوع بر روی نمونه‌های متعلق به این دوره صورت نگرفته است؛ مسئله‌ای که موجب شده بخش قابل توجهی از ارزش‌های مادی و تاریخی این آثار همچنان ناشناخته یا مخدوش باقی بماند. از این‌رو، انجام چنین پژوهشی در راستای تبیین فن و هنر کاغذسازی در عصر تیموری و نیز تعریف معیارها و ایجاد پایگاه داده‌ای برای تخمین سن نمونه‌های مجهول، از طریق مطالعات ترکیبی مشتمل بر بررسی‌های ظاهری و شناسایی ویژگی‌های مواد سازنده، ضروری به نظر می‌رسد.

سطح نوشتاری کدکس خطی، از منظر اطلاعات مادی، بسیار فراتر از متن و عناصر تزینی آن است؛ زیرا در ساختار مادی کدکس، شواهد فراوانی درباره تاریخچه نسخه و فرهنگ تولیدی آن نهفته است. برای کدیکولوژیست، این شواهد می‌توانند در تاریخ‌گذاری یا تعیین جایگاه کدکس و نیز در تبیین و بسط تاریخچه شیوه‌های هنر کتاب‌سازی مؤثر باشند. در نتیجه، شناخت و مطالعه عملی تکنیک‌های تاریخی و مدرن نیز ضروری است. یکی از زمینه‌های پژوهشی در حال توسعه در آزمایشگاه‌های حفاظت و مرمت، شناسایی و توسعه روش‌هایی برای تعیین نوع الیاف کاغذ است (Carr et al., 2008).

بسیاری از نسخه‌های خطی دارای اطلاعاتی درباره مؤلف، کاتب و تاریخ کتابت هستند؛ با این حال، در مورد بخش قابل توجهی از نسخه‌های خطی ارزشمند، به دلیل افتادگی اوراق یا مخدوش شدن اطلاعات، تاریخ دقیق نسخه در دسترس نیست. از این‌رو، شناسایی و مطالعه ویژگی‌های بصری و همچنین ویژگی‌های ساختاری نسخه‌ها می‌تواند تا حدودی در شناسایی و تاریخ‌گذاری آن‌ها مؤثر باشد؛ زیرا برخی از الیاف و انواع خاص کاغذ، در دوره‌هایی مشخص، بیشتر در کشورها یا مناطق معین مورد استفاده قرار می‌گرفتند (McBride, 2002). با توجه به اینکه در دوره تیموری و اواخر آن و نیز در دوره صفوی، رشد صنعت کاغذسازی و هنرهای مرتبط با نسخه‌های خطی به اوج خود رسیده است، انجام این گونه تحقیقات می‌تواند اطلاعات مهمی از این جامعه آماری ارائه دهد.



۲. پیشینه پژوهش

تعیین قدمت و شناسایی مواد تشکیل دهنده اسناد و نسخه‌های خطی، یکی از چالش‌های اساسی در پژوهش‌های تاریخی و باستان‌شناختی به شمار می‌رود که مستلزم تحلیل دقیق ویژگی‌های کاغذ، از جمله نوع الیاف، آهار و مواد پرکننده، و مقایسه آن‌ها با شواهد تاریخی است. مطالعات متعددی با بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی گوناگون به این موضوع پرداخته‌اند که در ادامه بررسی می‌شوند.

حسینی صومعه (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های کاغذهای دوره‌های سلجوقی و تیموری پرداخت و از روش‌های کیفی، مانند معرف‌های شیمیایی، و ابزارهای پیشرفته، از جمله میکروسکوپ الکترونی و میکروسکوپ پلاریزان، استفاده کرد. یافته‌ها نشان دادند که میکروسکوپ الکترونی امکان بررسی ویژگی‌های سطحی، از جمله اندازه و تاب الیاف و نیز برجستگی خطوط متقاطع، را فراهم می‌کند؛ درحالی‌که میکروسکوپ پلاریزان برای شناسایی تغییرات رنگی سطح و تشخیص وجود اگزالات کلسیم مناسب است. به‌طور مشابه، باقرزاده کثیری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از معرف‌های رنگی، تحلیل‌های میکروسکوپی و طیف‌سنجی، الیاف کاغذهای تاریخی را بررسی کردند و دریافتند که کتان و کنف به‌عنوان مواد اصلی در کاغذهای دارای تاریخ مشخص غالب بوده‌اند و این نتایج با نمونه‌های فاقد تاریخ نیز هم‌خوانی دارد.

قائنی و صفاپور (۱۳۹۵) امکان تعیین قدمت نسخه‌های خطی بدون تاریخ را با استفاده از روش‌های حرارتی، طیف‌سنجی و میکروسکوپی ارزیابی کردند. آنان با بهره‌گیری از معرف‌های رنگی، میکروسکوپ نوری، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و تحلیل‌های حرارتی، از جمله TGA و DSC، چهار نسخه خطی مجهول را با نمونه‌های متعلق به دوره صفویه مقایسه کردند و نشان دادند که بررسی مواد اولیه و انجام تحلیل‌های حرارتی می‌تواند در تعیین قدمت نسخه‌ها مؤثر باشد. نیک‌سرشت سیگارودی و همکاران (۱۳۹۰) نیز با مطالعه ویژگی‌های آناتومیکی الیاف گونه‌های سوزنی‌برگ، پهن‌برگ و غیرچوبی، امکان شناسایی دقیق الیاف کاغذ را تأیید کردند؛ هرچند برخی الیاف در صورت وجود به میزان اندک ممکن است شناسایی نشوند.

بهادری و بحرالعلومی (۱۳۹۰) در پژوهشی بر روی یک نسخه خطی با ورق‌های چوبی از مجموعه کتابخانه مجلس، از طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه و میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به تجزیه شیمیایی (SEM-EDX) استفاده کردند و نشان دادند که کاغذ از چوب چنار و آهار آن از نوع حیوانی است. یونسی (۱۳۹۱) نیز با انجام تحلیل‌های باستان‌سنجی بر روی ۲۰ نسخه خطی متعلق به قرن دهم هجری، امکان تاریخ‌گذاری نمونه‌های مجهول را از طریق بررسی الیاف و آهار تأیید کرد. خمسه (۱۳۸۸) نیز در بررسی اسناد قرن هفتم هجری بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی، کتان و کنف را به‌عنوان مواد اصلی تشکیل دهنده کاغذ شناسایی کرد. نقوی و روستایی (۱۳۹۸) با استفاده از معرف‌های رنگی، میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان دادند که کاغذهای مورد مطالعه عمدتاً از کتان و کنف و در برخی موارد از رامی تشکیل شده‌اند. همچنین، آهار مورد استفاده از نوع پلی‌ساکاریدی، عمدتاً نشاسته، و مواد پرکننده شامل کربنات کلسیم، گچ و کائولن بوده است.

در سطح جهانی، یام و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان، کاغذهای کره‌ای متعلق به سده‌های پانزدهم تا هجدهم میلادی را بررسی کردند و دریافتند که چوب درخت توت از اوایل قرن پانزدهم میلادی در کاغذسازی سنتی کره مورد استفاده قرار گرفته است؛ یافته‌ای که با برخی فرضیه‌های مطرح‌شده در منابع غربی در تعارض است. ترافیل (۲۰۰۸) نیز با تحلیل ۱۷۰ نمونه کاغذ از نظر pH، خاکستر، لیگنین و درجه پلیمریزاسیون سلولز، امکان تاریخ‌گذاری کاغذ را بر اساس تغییرات

شیمیایی آن تأیید کرد. ودمن و بولر (۱۹۹۶) نیز با استفاده از تحلیل‌های حرارتی DSC و TGA، چهار نمونه کاغذی مکزیکی را بررسی کردند و این روش‌ها را برای شناسایی مواد اولیه مؤثر دانستند.

مارکولی و ویدمن (۲۰۰۱) با ترکیب تحلیل‌های حرارتی و طیف‌سنجی رامان، امکان تمایز آثار هنری اصیل از نمونه‌های جعلی و همچنین تخمین کیفی قدمت کاغذ را نشان دادند. بودراگس و همکاران (۲۰۰۳) نیز با استفاده از تحلیل DSC، چرم کهنه و جدید را با یکدیگر مقایسه کردند و این روش را برای شناسایی آثار اصیل مناسب ارزیابی کردند. شاه و لی (۲۰۱۳) با استفاده از معرف هرزبرگ، الیاف درخت توت و مقدار کمی پنبه را در کاغذهای چینی متعلق به سده‌های پانزدهم و شانزدهم شناسایی کردند. چایک و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بررسی دست‌نوشته‌های تبتی منطقه دانهانگ، رامی، کنف و توت را به‌عنوان مواد اصلی تشکیل‌دهنده کاغذ شناسایی کردند و در کنار آن، رنگدانه‌ها و مرکب‌های موجود در دست‌نوشته‌ها را نیز مورد تحلیل قرار دادند.

بررسی‌های انجام‌شده نشان‌دهنده پیشرفت‌های چشمگیر در شناسایی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کاغذ با استفاده از روش‌های میکروسکوپی، طیف‌سنجی و حرارتی است. بااین‌حال، نبود پایگاه داده‌ای جامع از ویژگی‌های کاغذهای تاریخی، به‌ویژه در ایران، و نیز کمبود رویکردهای یکپارچه برای تاریخ‌گذاری دقیق، همچنان از جمله چالش‌های جدی این حوزه به‌شمار می‌روند. پژوهش حاضر با تمرکز بر تحلیل‌های چندگانه و مقایسه نتایج حاصل با نمونه‌های متعلق به دوره‌های تاریخی مشخص، درصدد است این کاستی‌ها را تا حد امکان برطرف سازد.

۳. روش پژوهش

در این پژوهش، ۵۰ نمونه تاریخی کاغذی از نسخه‌های خطی نفیس متعلق به دوره تیموری، مربوط به قرون هشتم و نهم هجری قمری، از مخزن نسخ خطی اداره مخطوطات آستان قدس رضوی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های انتخاب‌شده دارای تاریخ دقیق کتابت توسط کاتب در انتهای نسخه هستند. هیچ‌یک از نسخه‌های انتخاب‌شده پیش از انجام این پژوهش تحت عملیات حفاظتی یا مرمتی قرار نگرفته‌اند. همچنین، به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های بیشتر، نسخه‌های مورد بررسی شامل نمونه‌هایی به زبان‌های عربی، فارسی و سمرقندی (ازبکستانی) بوده‌اند. لازم به ذکر است که نمونه‌ها از بخش‌هایی فاقد جوهر و آلودگی و همچنین با فاصله از حاشیه نسخه انتخاب شدند تا شرایط مناسبی برای انجام تجزیه و تحلیل فراهم شود. نسخه‌های مورد مطالعه پیش از نمونه‌برداری، به‌صورت بصری و دیجیتالی بررسی و مستندسازی شدند و در جدول ۱، معرفی اجمالی نسخه‌های مورد مطالعه با تاریخ دقیق کتابت ارائه شده است. عنوان انتخاب‌شده برای نام‌گذاری نمونه‌ها، همان شماره ثبت اموال نسخه در مخزن مذکور است. بااین‌حال، به دلیل تعداد زیاد نمونه‌ها و به‌منظور سهولت در مطالعه و ارجاع، علاوه بر شماره اموال، به هر نسخه یک شماره نیز اختصاص داده شد.

الیاف و انواع خاص کاغذ گاهی در برخی کشورها یا مناطق، با بسامد بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند و از این‌رو، شناسایی آن‌ها می‌تواند در تعیین منشأ یک اثر یا مصنوع مؤثر باشد (McBride, 2002; Liu et al., 2011). در پژوهش حاضر، چهار نمونه الیاف از ترکیب شناخته‌شده کتان، شاهدانه، کنف و پنبه، که از جمله گیاهان بومی سرزمین ایران به‌شمار می‌روند، مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس شواهد تاریخی، این الیاف در کاغذسازی ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نمونه‌های معتبر



مذکور به عنوان نمونه‌های مرجع برای تجزیه و تحلیل و مقایسه با الیاف ناشناخته موجود در ۵۰ نمونه کاغذ تاریخی مورد استفاده قرار گرفتند (Causin et al., 2010).

جدول ۱. معرفی نسخ خطی مطالعاتی در این پژوهش

ردیف	شماره اموال	عنوان نسخه، توضیحات
۱	۲۷۸، ۲۷۷، ۲۷۶	مجموع نافع یوم الحشر باب الحادی، محل کتابت مشهد، سال: ۸۰۵ (ه.ق)
۲	۷۶۵	شرح هیاکل نور، سال: ۸ (ه.ق)
۳	۱۷۵۶	فتح الباری فی شرح التجاری، سال: ۸۷۳ (ه.ق)
۴	۲۲۴۰	انوار الاعمال الابرار، سال: ۸۱۳ (ه.ق)
۵	۲۸۹۴	قرآن، سال: ۸۸۶ (ه.ق)
۶	۳۵۴۲	قرآن، سال: ۸۷۷ (ه.ق)
۷	۳۶۲۴	انساب مشجر، سال: ۸۷۳ (ه.ق)
۸	۳۸۲۴	شرح الکافی، سال: ۸۷۵ (ه.ق)
۹	۴۱۹۱	قرآن، سال: ۸ (ه.ق)
۱۰	۴۲۴۹	قرآن، سال: ۸۴۵ (ه.ق)
۱۱	۴۶۴۴	دیوان خاقانی، سال: ۸۴۷ (ه.ق)
۱۲	۵۲۵۵	تفسیر التحریر، سال: ۸۷۳ (ه.ق)
۱۳	۵۳۸۶۳	شرح صحیح مسلم، سال: ۸۵۷ (ه.ق)
۱۴	۶۶۳۱	الافتتاح، سال: ۸۷۷ (ه.ق)
۱۵	۷۱۳۶	مطلوب کل طالب، محل کتابت سمنان مدرسه مسعودیه، سال: ۸۷۵ (ه.ق)
۱۶	۷۵۱۲	تفسیر قمی، سال: ۸۷۳ (ه.ق)
۱۷	۱۱۲۹۴	کافی، سال: ۸۹۱ (ه.ق)
۱۸	۱۱۷۱۱	جزوه قرآنی، سال: ۸۴۰ (ه.ق)
۱۹	۱۱۷۱۴	مجموعه اصطلاحات الصوفیه، محل کتابت مکه، سال: ۸۷۳ (ه.ق)
۲۰	۱۲۴۴۰	جزوه قرآنی، سال: ۸۴۶ (ه.ق)
۲۱	۱۳۰۸۸	کنزالدقائق، سال: ۸۷۲ (ه.ق)
۲۲	۱۳۴۶۴	حاشیه به شرح مختصر المنتهی، سال: ۸۱۰ (ه.ق)
۲۳	۱۳۷۷۰	کشاف جلد ۲، سال: ۸۱۳ (ه.ق)
۲۴	۱۳۹۴۹	شرح قدیم تجرید، سال: ۸۰۸ (ه.ق)
۲۵	۱۷۲۹۸	شرح مفتاح العلوم، سال: ۸۱۹ (ه.ق)
۲۶	۲۴۸۳۷	الدره الصفیله فی شرح ادبیات العقیله، سال: ۸۷۳ (ه.ق)
۲۷	۳۰۳۴۹	مطالع الانظار فی شرح طوابع الانوار، سال: ۸۷۷ (ه.ق)
۲۸	۳۱۷۴۸	الصحاح اللغه جلد اول، سال: ۸ (ه.ق)
۲۹	۳۱۷۴۹	الصحاح اللغه جلد دوم، سال: ۸۷۴ (ه.ق)
۳۰	۳۶۰۸۱	الحدود و الحقائق، سال: ۸۶۳ (ه.ق)
۳۱	۳۶۷۲۳	الشراف الوافی، سال: ۸۷۷ (ه.ق)
۳۲	۳۷۶۶۹	ترغیب الصلاه، سال: ۸۶۶ (ه.ق)
۳۳	۳۸۴۴۸	مراتب الفیه، سال: ۸۷۳ (ه.ق)
۳۴	۴۰۶۱۷	تشبیه الذهان فی القوائن، سال: ۸۷۴ (ه.ق)

اسکندرنامه، سال: ۸۱۲ (ه.ق)	۴۴۹۰۰	۳۵
لغات فرس، سال: ۸۴۲ (ه.ق)	۴۷۹۲۲	۳۶
الصباح فی اللغة، سال: ۹ (ه.ق)	۴۷۹۲۵	۳۷
ادعیه، محل کتابت مشهد الرضا، سال: ۸۳۲ (ه.ق)	۴۸۹۹۴	۳۸
اختیارات بدیعی، سال: ۸۶۳ (ه.ق)	۵۰۸۲۷	۳۹
مثنوی معنوی، سال: ۸۶۴ (ه.ق)	۵۱۲۷۲	۴۰
اذکار المخلصین، سال: ۸۶۲ (ه.ق)	۵۱۷۳۴	۴۱
المنهاج فی شرح صحیح مسلم جلد ۴، سال: ۸۷۵ (ه.ق)	۵۲۱۳۵	۴۲
عماد السلام، سال: ۸۸۱ (ه.ق)	۵۲۳۰۱	۴۳
مثنوی معنوی دفتر سوم، سال: ۸۳۷ (ه.ق)	۵۲۴۸۱	۴۴
حل موجز القانون، سال: ۸۱۷ (ه.ق)	۵۲۵۰۳	۴۵
مجموعه تفسیر زیراوی، سال: ۸۱۴ (ه.ق)	۵۲۷۴۳	۴۶
الذره الکریمه فی الایات العظیمه، سال: ۸۳۶ (ه.ق)	۵۳۴۹۳	۴۷
مختلف الشیعه فی الحکام شریفه ج ۷ و ۶، سال: ۸۷۷ (ه.ق)	۵۳۹۴۶	۴۸
تحریر المعطیات اقلیدس، محل کتابت سمرقند، سال: ۸۳۹ (ه.ق)	۵۳۹۸۵	۴۹
شرح مفتاح العلوم، سال: ۸۳۵ (ه.ق)	۵۴۰۴۲	۵۰

در این پژوهش، تمامی نمونه‌ها، اعم از نمونه‌های مرجع و نمونه‌های جداشده از کاغذهای تاریخی، با روش یکسانی آماده‌سازی شدند و سپس با استفاده از میکروسکوپ نوری، رنگ‌آمیزی و طیف‌سنجی مادون قرمز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. آماده‌سازی نمونه‌ها و تهیه لام‌های میکروسکوپی به منظور شناسایی الیاف، تجزیه نمونه‌های مصنوعات کاغذی، تحلیل الیاف موجود در کاغذها و جداسازی مواد بایندر و پرکننده نمونه‌های کاغذ، بر اساس استاندارد TAPPI (T 401 om-93) انجام شد (TAPPI, 2000). در ابتدا، نمونه‌ها به قطعات ریز برش داده شدند و سپس در یک لیوان کوچک حاوی آب مقطر، روی صفحه داغ قرار گرفتند تا به جوش آیند. پس از آن، آب تخلیه شد و الیاف باقی‌مانده به یک لوله آزمایش ۲۰ میلی‌لیتری حاوی آب مقطر تازه منتقل و به شدت تکان داده شدند تا الیاف موجود در قطعات کاغذ به طور کامل از یکدیگر جدا شوند. برخی از نمونه‌ها که با استفاده از آب مقطر تجزیه نشدند، تحت همین فرایند و با استفاده از محلول ۱ درصد هیدروکسید سدیم نیز قرار گرفتند. پس از تخلیه محلول هیدروکسید سدیم، نمونه دو بار با آب مقطر شست‌وشو داده شد و سپس اسید هیدروکلریک ۲ درصد به آن افزوده شد و برای چند دقیقه باقی ماند. در ادامه، نمونه چندین مرتبه با آب مقطر شست‌وشو داده شد تا تمامی اسیدهای باقی‌مانده حذف شوند. پس از این تیمار، نمونه‌ها مشابه سایر نمونه‌ها در یک لوله آزمایش حاوی آب مقطر تازه توزیع شدند. هیدروکسید سدیم به صورت گلوله و اسید هیدروکلریک ۳۷ درصد از شرکت مرک آلمان تهیه شدند و دارای درجه خلوص تحلیلی بودند.

پس از آماده‌سازی الیاف، از سوسپانسیون فیبر هر نمونه، مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر برای بررسی میکروسکوپی برداشته شد، روی لام میکروسکوپی قرار گرفت و حرارت داده شد تا خشک شود. سپس، به منظور تعیین ترکیبات فیبری کاغذ، از معرف‌های رنگی استفاده شد. معرف‌های به کاررفته در این پژوهش شامل معرف هرزبرگ، گراف و سلگ بودند. این معرف‌ها بر اساس استاندارد ۹۷۱۸ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تهیه شدند.

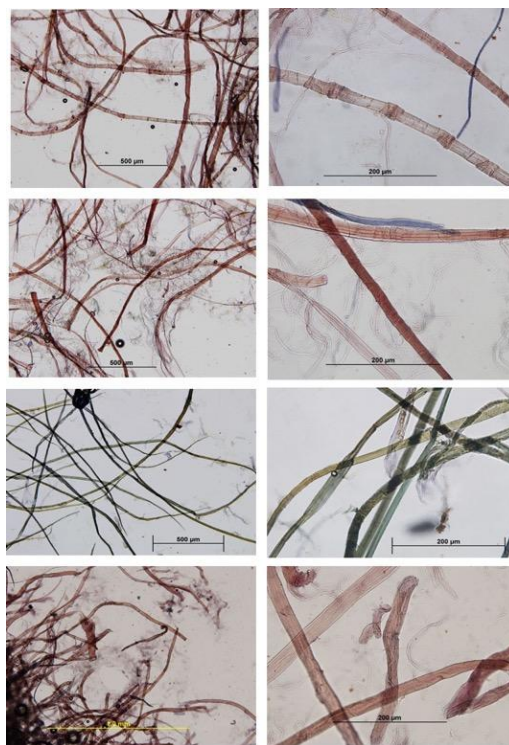


برای انجام مطالعات طیف‌سنجی، از یک طیف‌سنج مادون قرمز FTIR، مدل Nicolet Nexus 470 ساخت شرکت Thermo Nicolet آمریکا، مجهز به متعلقات PIKE MIRacle attenuated total reflectance (ATR) استفاده شد. این دستگاه دارای یک کریستال کامپوزیت تک‌بازتابی استاندارد جهانی ZnSe/Diamond برای ثبت طیف نمونه‌های کاغذ بود. پیش از اسکن نمونه‌ها، یک اسکن زمینه از CleanATR crystal در محدوده 100 cm^{-1} تا 4500 cm^{-1} با ۱۲۸ اسکن به‌دست آمد. محدوده طیفی مورد استفاده برای اندازه‌گیری، از 600 cm^{-1} تا 4000 cm^{-1} بود. هر یک از طیف‌های ATR-FTIR به‌دست‌آمده از پالپ نمونه‌ها، میانگین ۳۲ اسکن مجزا بود که در دمای اتاق و رطوبت محیط ثبت شدند. طیف‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار OMNIC کنترل، پردازش، ثبت و ارزیابی شدند.

۴. یافته‌ها و بحث

شناسایی الیاف کاغذ یکی از روش‌های کلیدی در مطالعه نسخه‌های خطی به شمار می‌رود که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره فناوری کاغذسازی و شرایط فرهنگی دوره‌های تاریخی فراهم آورد. متداول‌ترین الیاف به‌کاررفته در کاغذهای تاریخی شامل الیاف گیاهی، نظیر کتان، کنف و شاهدانه، و همچنین پارچه‌های بازیافتی کتان و پنبه‌ای هستند. این الیاف معمولاً با استفاده از روش‌های رنگ‌آمیزی، میکروسکوپ نوری و تحلیل طیف‌سنجی مادون قرمز شناسایی می‌شوند (Ferrer, 2000). در پژوهش حاضر، خمیر کاغذ ۵۰ نمونه از نسخه‌های خطی دوره تیموری جمع‌آوری و با بهره‌گیری از روش‌های رنگ‌آمیزی و تحلیل‌های دستگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

به‌منظور شناسایی منشأ الیاف، شامل کتان، کنف، شاهدانه یا پنبه، خمیر کاغذ نمونه‌ها با معرف متیل بلو رنگ‌آمیزی و با نمونه‌های مرجع مقایسه شد (شکل ۱). نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱. شناسایی الیاف به ترتیب با دو بزرگ‌نمایی الف (کتان)، ب (شاهدانه)، پ (کنف)، ت (پنبه) (Taylor, 2015)

جدول ۲. نتایج شناسایی میکروسکوپی الیاف نمونه‌ها

ردیف	شماره اموال	کتان	کنف	شاهدانه	پنبه	موارد دیگر
۱	۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸	+	-	+	-	-
۲	۷۶۵	+	-	+	-	-
۳	۱۷۵۶	-	-	+	-	-
۴	۲۲۴۰	-	-	+	-	-
۵	۲۸۹۴	+	-	+	-	-
۶	۳۵۴۲	+	-	+	-	-
۷	۳۶۲۴	+	-	+	-	-
۸	۳۸۲۴	+	-	+	-	-
۹	۴۱۹۱	+	-	+	-	-
۱۰	۴۲۴۹	+	-	+	-	-
۱۱	۴۶۴۴	+	-	+	-	-
۱۲	۵۲۵۵	+	-	+	-	-
۱۳	۵۳۸۶۳	+	-	+	-	-
۱۴	۶۶۳۱	+	-	+	-	-
۱۵	۷۱۳۶	+	-	+	-	-
۱۶	۷۵۱۲	+	-	+	-	-
۱۷	۱۱۲۹۴	+	-	+	-	-
۱۸	۱۱۷۱۱	+	-	+	-	-
۱۹	۱۱۷۱۴	+	-	+	-	-
۲۰	۱۲۴۴۰	+	-	+	-	-
۲۱	۱۳۰۸۸	+	-	+	-	-
۲۲	۱۳۴۶۴	+	-	+	-	-
۲۳	۱۳۷۷۰	+	-	+	-	-
۲۴	۱۳۹۴۹	+	-	+	-	-
۲۵	۱۷۲۹۸	+	-	+	-	-
۲۶	۲۴۸۳۷	+	-	+	-	-
۲۷	۳۰۳۴۹	+	-	+	-	-
۲۸	۳۱۷۴۸	+	-	+	-	-
۲۹	۳۱۷۴۹	+	-	+	-	-
۳۰	۳۶۰۸۱	+	-	+	-	-
۳۱	۳۶۷۲۳	+	-	+	-	-
۳۲	۳۷۶۶۹	+	-	+	-	-
۳۳	۳۸۴۴۸	+	-	+	-	-
۳۴	۴۰۶۱۷	+	-	+	-	-
۳۵	۴۴۹۰۰	+	-	+	-	-
۳۶	۴۷۹۲۲	+	-	+	-	-
۳۷	۴۷۹۲۵	+	-	+	-	-
۳۸	۴۸۹۹۴	+	-	+	-	-

-	-	+	-	+	۵۰۸۲۷	۳۹
-	-	+	-	+	۵۱۲۷۲	۴۰
-	-	+	-	+	۵۱۷۳۴	۴۱
-	-	+	-	-	۵۲۱۳۵	۴۲
-	-	+	-	-	۵۲۳۰۱	۴۳
-	-	+	-	+	۵۲۴۸۱	۴۴
-	-	+	-	-	۵۲۵۰۳	۴۵
-	-	+	-	+	۵۲۷۴۳	۴۶
-	-	+	-	-	۵۳۴۹۳	۴۷
-	-	+	-	+	۵۳۹۴۶	۴۸
-	-	+	-	+	۵۳۹۸۵	۴۹
-	-	+	-	+	۵۴۰۴۲	۵۰

الیاف کتان بلند و باریک هستند و اغلب به انتهای نوک تیز ختم می شوند. دررفتگی ها، خطوط متقاطع و خطوط طولی، به ویژه پس از رنگ آمیزی، به وضوح قابل مشاهده اند. نشانه های متقاطع اغلب به صورت تجمعی ظاهر می شوند و در برخی موارد، الگوهای V شکل ایجاد می کنند. الیاف شاهدهانه و کتان شباهت مورفولوژیکی زیادی به یکدیگر دارند و تمایز آنها اغلب بر اساس وجود یا عدم وجود سلول های همراه امکان پذیر است. در کتان، الیاف کوتاه حفره دار وجود دارند که معمولاً باریک تر از الیاف کنف و شاهدهانه هستند. عناصر آوندی حفره دار نیز در کتان مشاهده می شوند که آنها نیز نسبت به نمونه های موجود در کنف یا شاهدهانه باریک ترند. سلول های اپیدرمی نیز ممکن است در پالپ مشاهده شوند و در مقایسه با نوع دنداندار که غالباً در گیاهانی مانند برنج یا گندم دیده می شود، دارای دیواره های صاف تری هستند.

الیاف شاهدهانه دارای دیواره های بلند و ضخیم بوده و نشانه های متقاطع، دررفتگی های متعدد و خطوط طولی در آنها مشاهده می شود. این الیاف معمولاً به انتهای صاف ختم می شوند؛ هرچند انتهای نامنظم نیز ممکن است وجود داشته باشد که غالباً حاصل فرایندهای پردازش است. الیاف حاصل از منسوجات معمولاً فاقد سلول های همراه هستند، در حالی که الیاف به دست آمده از مواد خام ممکن است حاوی عناصر آوندی حفره دار، پارانشیم و الیاف کوتاه حفره دار باشند. تمایز شاهدهانه از کتان می تواند دشوار باشد.

الیاف کنف عموماً پهن تر بوده و سلول های همراه متمایزی دارند. الیاف کنف که نوعی الیاف کوتاه با خطوط متقاطع کم رنگ هستند، می توانند به انواع مختلفی از انتهاها ختم شوند، اگرچه معمولاً ظاهری نوک تیز دارند. گشادشدگی الیاف می تواند در نتیجه تغییر در عرض لومن رخ دهد. همچنین، الیاف حفره دار نیز مشاهده می شوند که نسبت به الیاف کتان پهن تر بوده و از این نظر شباهت زیادی به الیاف شاهدهانه دارند. عرض دیواره های سلولی نیز ممکن است در طول الیاف متفاوت باشد. الیاف در اثر رنگ آمیزی به رنگ زرد همراه با لومنی سبز یا آبی دیده می شوند و در برخی الیاف، بسته به میزان پردازش، ممکن است ویژگی های مذکور تفکیک پذیری متفاوتی داشته باشند.

الیاف پنبه صاف و روبان مانند هستند و به واسطه ماهیت پیچ خورده خود به راحتی قابل شناسایی اند. الیاف نابالغ اغلب فاقد پیچ خوردگی مشخص هستند. انتهای الیاف معمولاً شکسته است، اگرچه در برخی موارد، انتهای نواری شکل نیز مشاهده می شود.

شناسایی الیاف نمونه ها با استفاده از سه معرف رنگی هرزبرگ، سلگر و گراف انجام شد و نتایج شناسایی الیاف و منابع احتمالی آن ها در جدول ۳ خلاصه شده است. با این حال، نتایج قطعی را نمی توان صرفاً بر اساس رنگ ایجاد شده در نمونه ها تعیین کرد و این احتمال وجود دارد که برخی ویژگی های مورفولوژیکی الیاف، همان گونه که در شکل ۱ (الف، ب، پ، ت) مشاهده می شود، در نتیجه فرایندهای اساسی مربوط به تولید منسوجات و سپس ساخت کاغذ، از بین رفته یا کم رنگ شده باشند. از این رو، برای تمایز دقیق تر میان الیاف کتان، کنف، شاهدانه و پنبه، تحلیل بیشتر نمونه های کاغذی با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوری (FTIR) انجام شد.

بر اساس سوابق تاریخی، مواد خام مورد استفاده در تولید کاغذ در سده های نخستین اسلام، عمدتاً پارچه هایی از منسوجات مستعمل بوده اند. در حضور معرف ها، الیاف غیرچوبی و بدون لیگنین که از پارچه های فرسوده، مانند کنف، کتان، شاهدانه و پنبه، به دست آمده اند، به رنگ قرمز شرابی مشاهده می شوند. با افزایش میزان لیگنین، رنگ الیاف از قرمز شرابی، در الیاف فاقد لیگنین، به آبی خاکستری، خاکستری مایل به زرد و زرد مایل به قهوه ای تغییر می کند. در نهایت، در الیافی با میزان بالای لیگنین، مانند بامبو، رنگ زرد مشاهده می شود.

بنابراین، همان گونه که انتظار می رفت، با توجه به قدمت مصنوعات مورد بررسی و با فرض اینکه تمامی نمونه ها، شامل ۵۰ نمونه، از کاغذ پارچه ای تشکیل شده باشند، این موضوع تأیید شد. مشاهده پالپ الیاف در تمامی نمونه ها پس از رنگ آمیزی نیز مؤید آن بود که هر ۵۰ نمونه، شامل مصنوعات شماره ۱ تا ۵۰، از الیاف کهنه و بازیافتی پارچه های غیرچوبی، به ویژه کتان و شاهدانه، ساخته شده اند.

جدول ۳. نتایج شناسایی الیاف با استفاده از معرف های رنگی

ردیف	شماره اموال	معرف رنگی			منابع خمیر مثبت
		گراف C	سلگر	هرزبرگ	
۱	۲۷۸، ۲۷۷، ۲۷۶	قرمز نارنجی	قرمز قهوه ای	قرمز قهوه ای	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۲	۷۶۵	قرمز قهوه ای	قرمز	قرمز قهوه ای	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۳	۱۷۵۶	قرمز شرابی	قرمز قهوه ای	ارغوانی قرمز	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۴	۲۲۴۰	قرمز قهوه ای	قرمز قهوه ای	ارغوانی قرمز	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۵	۲۸۹۴	قرمز نارنجی	قرمز	ارغوانی قرمز	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۶	۳۵۴۲	قرمز قهوه ای	قرمز شرابی	قرمز ارغوانی	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۷	۳۶۲۴	قرمز قهوه ای	قرمز قهوه ای	قرمز ارغوانی	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۸	۳۸۲۴	قرمز قهوه ای	قرمز	قرمز ارغوانی	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۹	۴۱۹۱	قرمز قهوه ای	قرمز	قرمز ارغوانی	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۱۰	۴۲۴۹	قرمز قهوه ای	قرمز	قرمز قهوه ای	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۱۱	۴۶۴۴	قرمز قهوه ای	قرمز قهوه ای	قرمز ارغوانی	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)
۱۲	۵۲۵۵	قرمز نارنجی	قرمز قهوه ای	قرمز ارغوانی	کنف، شاهدانه، کتان، پنبه (کهنه پارچه)

برای تأیید نتایج حاصل از رنگ آمیزی، تحلیل طیف سنجی مادون قرمز انجام شد. تجزیه و تحلیل های انجام شده بر روی نمونه های خمیر کاغذ، توصیف کامل تری از ویژگی های الیاف کاغذ در مصنوعات تاریخی فراهم می کند. این تکنیک ها زمانی اهمیت بیشتری می یابند که امکان تمایز الیاف بر اساس ویژگی های مورفولوژیکی آنها وجود نداشته باشد. در مورد الیاف تحت تیمار، تشخیص مورفولوژیکی و تمایز میان آنها، برای مثال کتان، شاهدانه و کنف، می تواند دشوار باشد. از این رو، تمایز میان کاغذهای پارچه ای با منشأ متفاوت از طریق آشکارسازی الگوهای مشخص طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) امکان پذیر است. در نمونه های مورد مطالعه، همبستگی مناسبی میان نتایج حاصل از دو روش تحلیلی مشاهده شد.

با توجه به طیف حاصل از تمامی نمونه ها، تفاوت قابل توجهی در یک پیک گسترده در محدوده جذبی 2800 تا 3000 cm^{-1} مشاهده شد. این محدوده به ارتعاشات کششی گروه های C-H ، C-H_2 و C-H_3 مربوط است. در الیاف کتان مورد آزمایش، پیک های مشخصی در محدوده های 2915 تا 2923 cm^{-1} و 2841 تا 2848 cm^{-1} مشاهده شد، در حالی که برای گونه های شاهدانه، این پیک ها در محدوده های 2895 تا 2897 cm^{-1} و 2939 قرار داشتند (Zimniewska et al., 2018). این یافته ها نشان دهنده وجود گروه های هیدروکسیل (OH) در تمامی نمونه ها است؛ با این حال، شدت پیک در الیاف کاغذهای تاریخی به دلیل حذف همی سلولز و لیگنین کاهش یافته است. تیمار قلیایی، با حذف بخشی از گروه های هیدروکسیل (OH)، موجب کاهش پیوندهای هیدروژنی می شود. گروه های هیدروکسیل همچنین در تشکیل پیوندهای هیدروژنی با گروه های کربوکسیل، از جمله گروه های موجود در اسیدهای چرب سطح الیاف، نقش دارند. از این رو، این تغییرات با کاهش و پهن شدن قله ها در حدود 3200 cm^{-1} قابل مشاهده است.

پیک جذبی در محدوده 2800 تا 2900 cm^{-1} به کشش گروه C-H نسبت داده شد. افزون بر این، پیک ارتعاشی C-H در سلولز در حدود 2900 cm^{-1} ظاهر می شود و پیک های مربوط به همی سلولز موجود در الیاف تیمار نشده، پس از فرایند تیمار تضعیف می شوند؛ موضوعی که نشان دهنده حذف بخشی از همی سلولز است (Liu et al., 2004). پیک 1729 cm^{-1} که در الیاف تیمار نشده یا الیاف خام مشاهده شد، پس از تیمار در الیاف کاغذی کهنه و پارچه ای ناپدید شده است (Tserki et al., 2005; Sgriccia et al., 2008). این پیک به ارتعاش کششی گروه C=O استیل موجود در همی سلولز مربوط می شود (Alemdar & Sain, 2008). همچنین، این پیک به پیوند استری گروه کربوکسیلیک در اسیدهای فرولیک و پی کوماریک موجود در لیگنین یا همی سلولز نسبت داده شده است.

ناپدید شدن این پیک در الیاف تیمار شده، حذف لیگنین و همی سلولز را در طی فرایند تولید پارچه و سپس تهیه کاغذ از آن تأیید می کند. مرسریزاسیون موجب حذف لایه مومی، پکتین های چسبنده و همی سلولزهایی می شود که دسته های الیاف را به یکدیگر و نیز به لایه های غنی از پکتین و همی سلولز در بخش مرکزی متصل می کنند (Mwaikambo & Ansell, 2002). همچنین، شدت پیک در حدود 1506 cm^{-1} در الیاف تیمار نشده، پس از انجام فرایند تیمار کاهش می یابد. این پیک به ارتعاش کششی متقارن آروماتیک C=C در ساختار لیگنین مربوط است (Le Troedec et al., 2008).

جذب در محدوده 1320 تا 1380 cm^{-1} ، هم در الیاف تیمار نشده و هم در الیاف تیمار شده، به ارتعاش خمشی گروه های C-H و C-O حلقه آروماتیک در پلی ساکاریدها مربوط می شود. پیک جذبی در 1230 cm^{-1} برای الیاف تیمار نشده، پس از انجام فرایند تیمار، به 1319 cm^{-1} منتقل شد و شدت این پیک نیز کاهش یافت (Jonoobi et al., 2009). این پیک به گروه آریل موجود در لیگنین نسبت داده می شود؛ بنابراین، تغییر مشاهده شده را می توان ناشی از حذف لیگنین پس از تیمار الیاف دانست.

در نهایت، پیک‌های شدید در محدوده ۱۰۱۰ تا ۱۰۷۰ cm^{-1} به کشش گروه‌های C-O و O-H موجود در سلولز مربوط هستند (Nacos et al., 2006).

تجزیه و تحلیل طیف‌های FT-IR ATR برای تمامی الیاف مورد آزمایش، وجود طیف‌های مشترکی را در محدوده‌های جذبی مختلف نشان داد؛ به گونه‌ای که شکل کلی طیف و موقعیت پیک‌ها برای تمامی انواع کاغذ مشابه بود. با این حال، تمایزهای مناسبی را می‌توان در نواحی اثر انگشت مشاهده کرد. مهم‌ترین باندهای ATR شناسایی شده برای الیاف کتان، کنف، شاهدانه و پنبه در جدول ۴ ارائه شده‌اند. تمامی گروه‌های مورد بحث در بخش‌های پیشین، با محاسبه نسبت‌های شدت در باندهای cm^{-1} ۱۵۹۵، ۱۱۰۵ و ۲۹۰۰ مورد بررسی قرار گرفتند که به ترتیب بیانگر محتوای آلی، محتوای لیگنین و محتوای سلولز هستند. طیف حاصل از تمامی نمونه‌های خمیر کاغذ تاریخی نشان داد که این نمونه‌ها، مطابق مشاهدات میکروسکوپی، حاوی الیاف کتان، کنف یا شاهدانه هستند. بررسی کلی طیف‌ها نیز تأیید می‌کند که کاغذهای مورد مطالعه از ضایعات خمیری تشکیل شده‌اند؛ این موضوع با وجود نوارهای جذبی مشخصه سلولز در ناحیه اثر انگشت، در حدود cm^{-1} ۸۹۷، ۱۰۳۰، ۱۰۵۵، ۱۱۰۵، ۱۱۵۵ و ۱۲۰۰، نشان داده می‌شود (Ganzerla et al., 2009).

همچنین، جذب پایین در محدوده cm^{-1} ۱۵۰۵ تا ۱۵۱۰ و حدود cm^{-1} ۱۵۹۵، که به لیگنین، یعنی پلیمری مرتبط با استفاده از چوب آسیاب شده، مربوط است، شواهد دیگری در تأیید عدم استفاده از چوب آسیاب شده در نمونه‌های مورد بررسی فراهم می‌کند. نشانه دیگری که استفاده از چوب آسیاب شده را در این نمونه‌ها منتفی می‌کند، آن است که در تمامی طیف‌ها نوار جذبی در حدود cm^{-1} ۱۷۳۰ مشاهده نشد؛ این نوار معمولاً در اثر اکسیداسیون سلولز و تشکیل اکسی سلولز ایجاد می‌شود. با این حال، نوارهایی در حدود cm^{-1} ۱۷۳۵ در برخی از طیف‌ها مشاهده شد که بیانگر حضور گروه‌های کربوکسیل غیرکونژوگه در ساختار سلولز است (Calvini & Gorassini, 2002; Gargside & Wyeth, 2003).

مقایسه طیف‌های به دست آمده با نمونه‌های مرجع نشان داد که الیاف پایه در بیشتر نمونه‌ها، احتمالاً شاهدانه همراه با مقداری کتان بوده است. فقدان باندهای جذبی مرتبط با پنبه نیز عدم وجود این الیاف را در نمونه‌های مورد مطالعه تأیید کرد. همچنین، بررسی میزان مساحت جذب در نواحی اثر انگشت نمونه‌های مرجع و مقایسه آن با ۵۰ نمونه تاریخی، به منظور تشخیص و تمایز الیاف کتان، کنف، پنبه و شاهدانه انجام شد. نتایج حاصل بر اساس نوارهای جذب ATR-FTIR در جدول ۴ ارائه شده است. مهم‌ترین باندهای ATR شناسایی شده برای الیاف کتان و کنف در پایگاه داده IRUG1 (Price & Pretzel, 2009) و نیز نمونه خمیر پنبه (Chung, Lee, & Choe, 2004) در جدول ۴ ارائه شده‌اند. تمامی نوارهای مورد بحث در بخش‌های پیشین و تخصیص آن‌ها به اجزا و الیاف احتمالی موجود در مصنوعات کاغذی تاریخی مورد تجزیه و تحلیل، در جدول ۴ خلاصه شده‌اند.

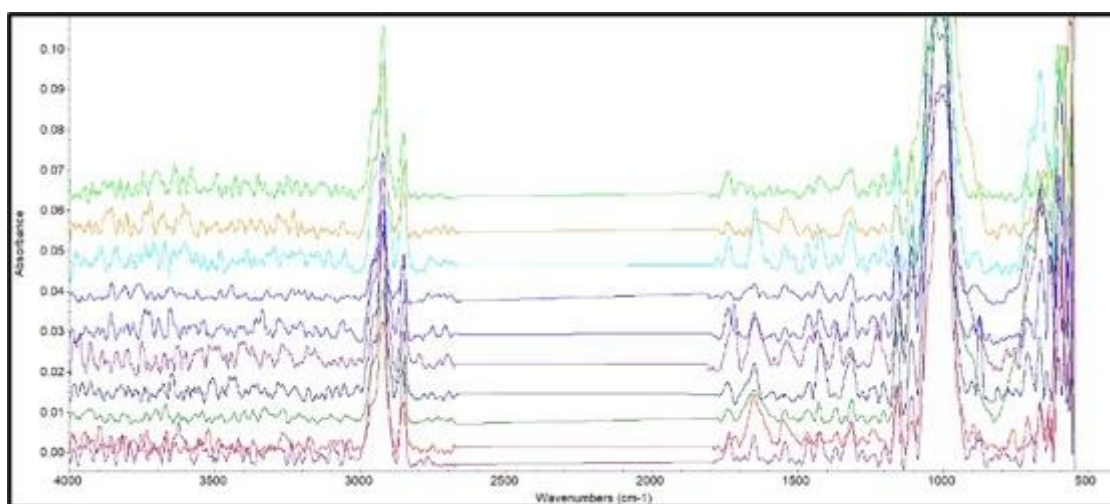
جدول ۴. نوارهای جذب ATR-FTIR برای کتان (http://www.irug.org/jcamp-details?id=606)، کنف (http://www.irug.org/jcamp-details?id=5241) و پنبه (http://www.irug.org/jcamp-details?id=110)، شاهدانه (n.d.-b, n.d.-c; Dai & Fan, 2010)

پنبه		کنف		شاهدانه		کتان	
A_i/A_t	ATR band [cm^{-1}]	A_i/A_t	ATR band [cm^{-1}]	A_i/A_t	ATR band [cm^{-1}]	A_i/A_t	ATR band [cm^{-1}]
۰/۹۶۴	۳۳۳۹	۰/۷۰۰	۳۳۵۲	۰/۶۴۰	۳۳۳۶	۰/۷۱۰	۳۳۵۰
۰/۱۲۸	۲۹۰۲	۰/۱۶۰	۲۹۰۲	۰/۱۴۰	۲۸۹۲	۰/۱۴۰	۲۹۰۶
/	/	/	/	/	/	۰/۱۰۰	۲۸۴۹

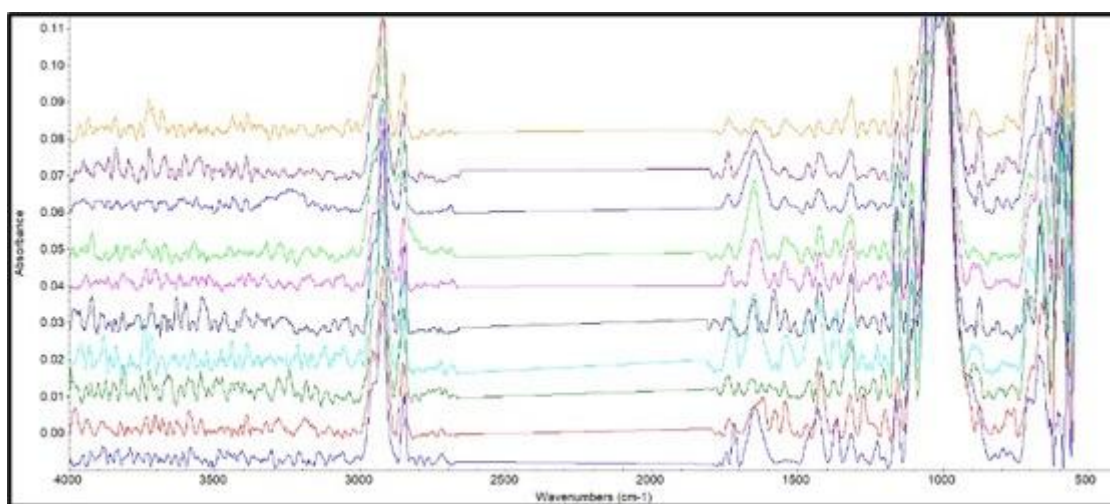
/	/	۰/۰۶۰	۱۵۱۰	۰/۰۶۰	۱۵۰۵	۰/۰۲۰	۱۵۱۱
۰/۳۱۵	۱۱۶۱	۰/۴۵۰	۱۱۶۰	۰/۴۵۰	۱۱۵۵	۰/۳۵۰	۱۱۵۵
۰/۵۷۳	۱۱۱۰	۰/۶۵۰	۱۱۱۰	۰/۶۵۰	۱۱۰۰	۰/۶۸۰	۱۱۰۹
۱/۰۰۰	۱۰۵۵	۱/۰۰۰	۱۰۵۸	۱/۰۰۰	۱۰۵۹	۱/۰۰۰	۱۰۵۷
۰/۹۷۲	۱۰۳۲	۰/۹۰۰	۱۰۳۵	۰/۸۲۰	۱۰۳۴	۰/۸۰۰	۱۰۳۵
۰/۷۳۱	۱۰۰۱	/	/	/	/	/	/
۰/۰۵۳	۸۹۸	۰/۰۷۸	۸۹۷	۰/۰۸۰	۹۰۱	۰/۰۴۰	۸۹۷

^۱ مساحت زیر نمودارهای جذبی (Ai/At: عبور داخلی (اتلاف انرژی توسط جذب خود محیط)، At: عبور کلی به دلیل جذب، پراکندگی، انعکاس و غیره است).

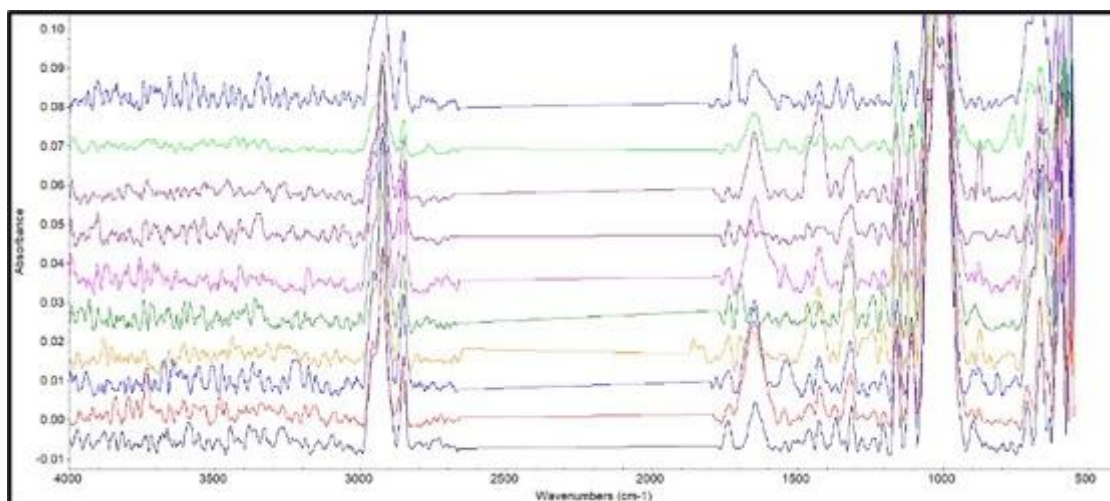
تحلیل طیف سنجی همچنین حضور برخی افزودنی‌ها، از جمله نشاسته و ژلاتین، و مواد پرکننده‌ای نظیر کربنات کلسیم و سولفات را نشان داد. مقدار ناچیز نشاسته موجود در نمونه‌ها احتمالاً به‌عنوان پوشش سطحی مورد استفاده قرار گرفته است. وجود کربنات کلسیم در تمامی نمونه‌ها نیز قابل توجه بود؛ به‌ویژه با توجه به اینکه نسخه‌های مورد بررسی پیش از انجام این پژوهش تحت هیچ‌گونه عملیات حفاظتی یا مرمتی قرار نگرفته بودند. این یافته‌ها با شواهد و روش‌های تاریخی کاغذسازی همخوانی دارند. طیف‌های مادون قرمز به‌دست‌آمده از نمونه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۲ تا ۶ ارائه شده‌اند.



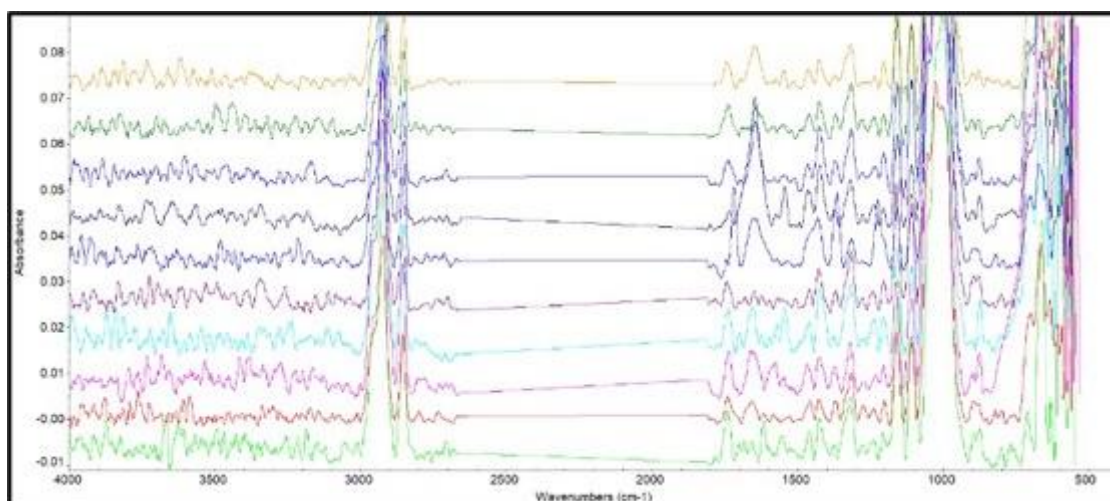
شکل ۲. طیف مادون قرمز نمونه‌های خمیر کاغذهای تاریخی به ترتیب از پایین به بالا شماره نمونه (۱-۱۰)



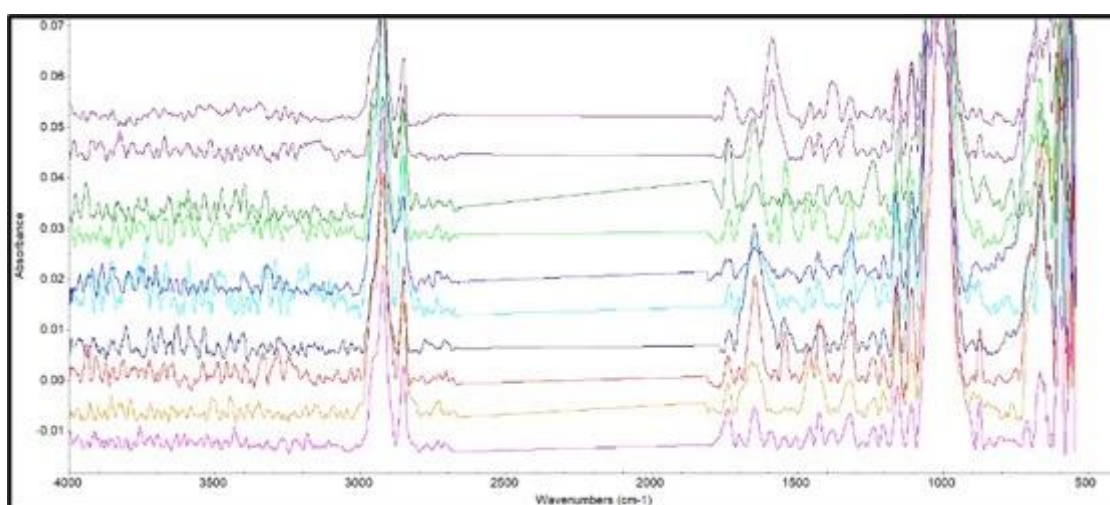
شکل ۳. طیف مادون قرمز نمونه‌های خمیر کاغذهای تاریخی به ترتیب از پایین به بالا شماره نمونه (۱۱-۲۰)



شکل ۴. طیف مادون قرمز نمونه‌های خمیر کاغذهای تاریخی به ترتیب از پایین به بالا شماره نمونه (۲۱-۳۰)



شکل ۵. طیف مادون قرمز نمونه‌های خمیر کاغذهای تاریخی به ترتیب از پایین به بالا شماره نمونه (۳۱-۴۰)



شکل ۶. طیف مادون قرمز نمونه‌های خمیر کاغذهای تاریخی به ترتیب از پایین به بالا شماره نمونه (۴۱-۵۰)

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش به طور خلاصه نشان داد که آزمایش های ریخت شناسی و طیف سنجی مادون قرمز بر روی ۵۰ نمونه کاغذ تاریخی انجام شده است. الیاف پایه در تمامی نسخه های خطی نمونه برداری شده، به احتمال زیاد شاهدانه همراه با مقداری کتان بوده است. در نسخه های خطی متعلق به این دوره، الیاف پنبه مشاهده نشد و مواردی که از نظر ریخت شناختی احتمال حضور آنها مطرح بود، از وضوح و قطعیت کافی برخوردار نبودند. شواهد موجود در منابع تاریخی درباره فناوری ساخت کاغذ در دوره های اولیه، بر استفاده از گیاهان غیرچوبی، به ویژه شاهدانه و کتان، تأکید دارند و نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نیز این احتمال را تقویت می کند. به نظر می رسد کهنه پارچه های حاصل از شاهدانه و کتان به طور قطعی در ساخت کاغذ مورد استفاده قرار می گرفته اند.

آنالیز ساختار شیمیایی کاغذ های تاریخی با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز، بخش مهمی از ساختار شیمیایی ترکیبات سازنده خمیر کاغذ را آشکار ساخت. تمامی نمونه ها دارای طیف های مشترکی بودند؛ با این حال، تفاوت های اندکی در برخی عددهای موجی و میزان جذب باندها مشاهده شد که احتمالاً ناشی از تفاوت های جزئی در منشأ این نمونه ها است. بررسی کلی طیف ها و نوارهای جذبی در ناحیه اثر انگشت سلولز، شامل حدود 897 cm^{-1} ، 1030 ، 1055 ، 1105 ، 1155 و 1200 ، و نیز بررسی شدت لیگنین در الیاف پایه نمونه های کاغذ تاریخی، که میزان آن مثبت اما بسیار اندک بود، تأیید می کند که کاغذ های مورد مطالعه از ضایعات خمیری پارچه ای تشکیل شده اند؛ همان گونه که در مطالعات پیشین نیز از سوی محققان گزارش شده است. با بررسی تفاوت های اندک میان باندهای جذبی گیاهان غیرچوبی، شامل کتان، کنف، پنبه و شاهدانه، می توان به طور تقریبی منشأ کهنه پارچه های به کار رفته در ساخت کاغذ را تعیین کرد. با توجه به مثبت بودن میزان لیگنین، هرچند به مقدار اندک، در حدود 1740 cm^{-1} و در محدوده 1560 cm^{-1} که از ویژگی های همی سلولز و لیگنین به شمار می روند، می توان شواهدی برای شناسایی نوع الیاف پایه به دست آورد. این نقاط در الیاف پنبه مشاهده نمی شوند و همین امر عدم وجود پنبه را که در بررسی های ریخت شناختی نیز مشاهده شد، تأیید می کند.

شدت میزان لیگنین نسبت به سلولز در گیاهان غیرچوبی شامل کتان، کنف، شاهدانه و پنبه با یکدیگر متفاوت است؛ به گونه ای که از بیشترین تا کمترین میزان لیگنین، به ترتیب کتان، کنف، شاهدانه و پنبه قرار می گیرند. این تفاوت احتمالاً به اختلاف در ساختار مونومرهای لیگنین مربوط است. با مقایسه مساحت جذب نمونه های مورد مطالعه با نمونه های مرجع، و با در نظر گرفتن باندهای جذبی مربوط به الیاف گیاهان غیرچوبی، مشخص شد که الیاف پایه نمونه ها به احتمال زیاد شاهدانه همراه با مقدار اندکی کتان است.

با توجه به اینکه مواد افزودنی و پرکننده ها در فرآیند آماده سازی شسته شده اند، وجود نوارهای جذبی مربوط به نشاسته، ژلاتین و پرکننده های کربنات کلسیم و سولفات در نسخه های نمونه برداری شده قابل توجه است. تعیین عملکرد دقیق نشاسته، با توجه به مقدار بسیار پایین آن در نمونه ها، دشوار است؛ با این حال، احتمالاً این ماده به مقدار اندک بر سطح خشک کاغذ اعمال شده است. کربنات کلسیم در تمامی نمونه ها وجود داشت و با توجه به اینکه نسخه های انتخاب شده پیش از انجام پژوهش تحت هیچ گونه فرایند مرمتی یا حفاظتی قرار نگرفته بودند، مشاهده مقدار نسبتاً بالای کربنات کلسیم در آنها قابل توجه است. این نتیجه با رویه های ارائه شده توسط ابن بادیس، به ویژه در توصیف فرایند و فن کاغذ سازی، مطابقت زیادی دارد و شواهدی در تأیید سازگاری این یافته ها با روش های تاریخی کاغذ سازی فراهم می کند.

در نهایت، بررسی احتمال تنوع در نوع و ترکیب الیاف در سایر نسخه‌های خطی تاریخ‌گذاری شده متعلق به این دوره و نیز دوره‌های تاریخی دیگر، ارزشمند خواهد بود و می‌تواند به درک دقیق‌تر روند تحول فناوری کاغذسازی و شناسایی ویژگی‌های مادی نسخه‌های خطی در دوره‌های مختلف کمک کند.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول با عنوان «مطالعه و شناخت ویژگی‌های الیاف کاغذ ۵۰ نسخه تاریخی دوره تیموری متعلق به اداره مخطوطات آستان قدس رضوی» است که با راهنمایی دکتر محسن محمدی و دکتر افهامی سی‌سی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

در مقاله حاضر نویسنده اول از سهم بیشتری برخوردار است.

منابع

- باقرزاده کتیری، محمد، یونسی، بهاره، و یاجم، افسانه. (۱۳۹۵). شناسایی الیاف کاغذهای تاریخی جهت امکان‌سنجی تاریخ‌گذاری نمونه‌های مجهول. *فصلنامه باستان‌شناسی*، ۸(۲)، ۳۵-۲۳.
- بهادری، رضا، و بحرالعلوم، یاسر. (۱۳۹۰). بررسی آزمایشگاهی یک نسخه خطی با ورق‌های چوبی از مجموعه کتابخانه مجلس شورای اسلامی. *مجله مطالعات تاریخی*، ۱۲(۳)، ۶۰-۴۵.
- حسینی صومعه، سعید. (۱۳۹۶). مروری بر توصیف ویژگی‌های الیاف کاغذهای دوره سلجوقی و تیموری. *نشریه مرمت آثار تاریخی*، ۱۵(۴)، ۲۸-۱۲.
- خمس، احمد. (۱۳۸۸). شناسایی روش‌های الیاف‌شناسی کاغذ و مرمت اسناد بقعه شیخ صفی‌الدین اردبیلی. *مجله میراث فرهنگی*، ۱۰(۱)، ۴۷-۳۳.
- قائنی، زهرا، و صفاپور، سارا. (۱۳۹۵). امکان‌سنجی تاریخ‌گذاری نسخ تاریخی مجهول از طریق شناسایی حرارتی، طیف‌سنجی و میکروسکوپی. *فصلنامه علوم مرمت*، ۹(۳)، ۳۲-۱۸.
- نقوی، مریم، و روستایی، رضا. (۱۳۹۸). شناسایی نوع الیاف، آهار، خمیر و پرکننده در نمونه‌های کاغذ. *نشریه باستان‌سنجی*، ۱۴(۲)، ۲۵-۴۰.
- نیک‌سرشت سیگارودی، محمدرضا، صفدری، وحیدرضا، سپیده‌دم، محمدجواد، و حسینی هاشمی، سید خلیل. (۱۳۹۰). بررسی مهم‌ترین ویژگی‌های آناتومی در شناسایی الیاف کاغذ. *مجله صنایع کاغذسازی*، ۷(۴)، ۲۷-۱۵.
- یونسی، مهدی. (۱۳۹۱). امکان‌سنجی تاریخ‌گذاری نمونه‌های مجهول از طریق تحلیل‌های باستان‌سنجی. *فصلنامه مطالعات کاغذ*، ۱۱(۱)، ۲۲-۱۰.

Alemдар, A., & Sain, M. (2008). Biocomposites from wheat straw nanofibers: Morphology, thermal and mechanical properties. *Composites Science and Technology*, 68(2), 557-565. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.05.044>

Calvini, P., & Gorassini, A. (2002). FTIR-deconvolution spectra of paper documents. *Restaurator*, 23(1), 48-66. <https://doi.org/10.1515/REST.2002.48>

- Carr, D. J., Cruthers, N. M., Smith, C. J., & Myers, T. (2008). Identification of selected vegetable textile fibres. *Studies in Conservation*, 53(Suppl. 2), 75-87. <https://doi.org/10.1179/sic.2008.53.Supplement-2.75>
- Causin, V., Marega, C., Marigo, A., Casamassima, R., Peluso, G., & Ripani, L. (2010). Forensic differentiation of paper by X-ray diffraction and infrared spectroscopy. *Forensic Science International*, 197(1-3), 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.12.056>
- Chung, C., Lee, M., & Choe, E. K. (2004). Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 58(4), 417-420. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.005>
- Dai, D., & Fan, M. (2010). Characteristic and performance of elementary hemp fibre. *Materials Sciences and Applications*, 1(6), 336-342. <https://doi.org/10.4236/msa.2010.16050>
- Espejo, T., Duran, A., Lopez-Montes, A., & Blanc, R. (2010). Microscopic and spectroscopic techniques for the study of paper supports and textile used in the binding of Hispano-Arabic manuscripts from Al-Andalus: A transition model in the 15th century. *Journal of Cultural Heritage*, 11(1), 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.01.007>
- Ferrer, N. (2000). Forensic science, applications of IR spectroscopy. In J. C. Lindon, G. E. Tranter, & J. L. Holmes (Eds.), *Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry* (Vol. 1, pp. 603-615). Academic Press.
- Ganzerla, R., Gambaro, A., Cappelletto, E., Fantin, M., Montalbani, S., & Orlandi, M. (2009). Characterization of selected paper documents from the archives of Palazzo Ducale (Venice), Italy using various analytical techniques. *Microchemical Journal*, 91(1), 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.08.002>
- Garside, P., & Wyeth, P. (2003). Identification of cellulosic fibres by FTIR spectroscopy. *Studies in Conservation*, 48(4), 269-275. <https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.269>
- Infrared and Raman Users Group. (n.d.-a). *Cotton fiber spectrum*. IRUG Spectral Database. Retrieved May 26, 2025, from <http://www.irug.org/jcamp-details?id=5241>
- Infrared and Raman Users Group. (n.d.-b). *Flax fiber spectrum*. IRUG Spectral Database. Retrieved May 26, 2025, from <http://www.irug.org/jcamp-details?id=606>
- Infrared and Raman Users Group. (n.d.-c). *Hemp fiber spectrum*. IRUG Spectral Database. Retrieved May 26, 2025, from <http://www.irug.org/jcamp-details?id=110>
- Jonoobi, M., Harun, J., Mishra, M., & Oksman, K. (2009). Chemical composition, crystallinity and thermal degradation of bleached and unbleached kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofiber. *BioResources*, 4(2), 626-639. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/chemical-composition-crystallinity-and-thermal-degradation-of-bleached-and-unbleached-kenaf-bast-hibiscus-cannabinus-pulp-and-nanofiber/>
- Le Troedec, M., Sedan, D., Peyratout, C., Bonnet, J. P., Smith, A., Guinebreti re, R., Gloaguen, V., & Krausz, P. (2008). Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(3), 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.12.003>
- Liu, J., Guo, D., Zhou, Y., Wu, Z., Li, W., Zhao, F., & Zheng, X. (2011). Identification of ancient textiles from Yingpan, Xinjiang, by multiple analytical techniques. *Journal of Archaeological Science*, 38(7), 1763-1770. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.03.017>
- Liu, W., Mohanty, A. K., Askeland, P., Drzal, L. T., & Misra, M. (2004). Influence of fiber surface treatment on properties of Indian grass fiber reinforced soy protein based biocomposites. *Polymer*, 45(22), 7589-7596. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.08.046>
- McBride, C. (2002). *A pigment particle & fiber atlas for paper conservators*. Graphics Conservation Laboratory, Cornell University.
- Mwaikambo, L. Y., & Ansell, M. P. (2002). Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. *Journal of Applied Polymer Science*, 84(12), 2222-2234. <https://doi.org/10.1002/app.10460>



- Nacos, M. K., Katapodis, P., Pappas, C., Daferera, D., Tarantilis, P., Christakopoulos, P., & Polissiou, M. (2006). Kenaf xylan: A source of biologically active acidic oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 66(1), 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.02.009>
- Price, A. B., & Pretzel, B. (Eds.). (2009). *Infrared and Raman users group spectral database* (Vols. 1-2). Infrared and Raman Users Group. <http://www.irug.org>
- Sgriccia, N., Hawley, M., & Misra, M. (2008). Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(10), 1632-1637. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.07.007>
- TAPPI. (2000). *TAPPI standards and suggested methods, T 401 om-93: Fiber analysis of paper and paperboard*. TAPPI Press.
- Taylor, T. (2015). *Paper technology chronology 1750-2000*. National Archives of Australia. <http://paper.naa.gov.au/chronology/>
- Tserki, V., Zafeiropoulos, N., Simon, F., & Panayiotou, C. (2005). A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(8), 1110-1118. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.01.004>
- Zimniewska, M., Rozańska, W., Gryszczyńska, A., Romanowska, B., & Kicińska-Jakubowska, A. (2018). Antioxidant potential of hemp and flax fibers depending on their chemical composition. *Molecules*, 23(8), 1993. <https://doi.org/10.3390/molecules23081993>
- <http://www.irug.org/jcamp-details?id=5241>
- <http://www.irug.org/jcamp-details?id=110>
- <http://www.irug.org/jcamp-details?id=606>