Journal of Research on Archaeometry, 2021; 7 (2): 17-35

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.52547/jra.7.2.17

URL: https://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Identification and Comparison between Non-Woody Plant Fibers (Flax, Hemp, Kenaf And Cotton) with Manuscript Paper Fibers of The 5th, 7th to 12th Centuries AH, Belonging to the Malek National Library and Museum

Mohadeseh Hosseini Someah [1], Mehrnaz Azadi Boyaghchi [*1], Kambiz Pourtahmasi [2], Maryam Afsharpour [3], Samad Nejad Ebrahimi [4]

[1.] PhD. Graduate in Faculty of Conservation & Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, IRAN

[2.] Associate Professor, Faculty of Conservation & Restoration, Art University of Isfahan, Isfahan, IRAN

[3.] Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, IRAN

[4.] Associate Professor, Chemistry & Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, IRAN

[5.] Assistant Professor, Phytochemistry Department, Shahid Beheshti University, Tehran, IRAN

Received: 16/08/2021 **Accepted: 21/12/2021**

Abstract

The raw and building material in historical papers are plant fibers that are into the category of non-woody or dicotyledonous plants. There are few sources that have mentioned these plants in Iran in different historical periods or even mentioned them in paper making. This research aims to find the types of historical paper fibers in the manuscripts available in the Malek National Library and Museum, which belong to the 5th, 7th to 12th centuries AH. Identify and adapt their structure to the fibers of current non-woody plants, which are most frequently referenced in library historical sources. To achieve this goal, laboratory methods based on microscopic examinations and Microchemical reagents (standard 9718 for paper fibers and Franklin method for plant fibers) were used. The results show that the main primary and structural compounds used in the study papers are the bast fibers of flax and hemp fibers, which have been used separately or in combination with cotton fibers. Because paper-making processes affect the morphology of the fibers, the presence of associated cells such as parenchyma, calcium oxalate crystals, etc. in the pulp of historical paper plays an important role in the correct identification of paper fibers. Although the presence of kenaf fibers in papermaking has been mentioned in some historical sources, it was not observed in the study samples in this research.

Keywords: Non-Woody Plants, Flax Plant, Hemp Plant, Kenaf Plant, Cotton Plant, Paper Fibers, Manuscripts

*Corresponding Author: m.azadi@aui.ac.ir

Introduction

The land of Iran has a huge treasure of paper works (manuscripts, scrolls, etc.) that the science, art and culture of the civilizations of this land figured in their paper. The birth of paper began in the eastern lands and reached its peak in Iran. This superiority was shown in the types of papers, kind of remaking paper and the type of plant fibers in each geographical region of Iran. Historians such as Hafiz Abro refer to the planting of flax in the southwestern regions of Iran, which has been used in the textile and fabric industry. Hemp plant is also mentioned as the second plant used in the paper industry of Iran, which has also been used in the weaving of ropes and underlay. Kenaf, which has been reported in student dissertations in the manufacture of Samarqand paper, has been used only in the northern regions of Iran, despite the fact that cotton has been planted throughout the country. These plant fibers belong to non-woody plants (shrubs) and are generally annual plants. Due to low lignin, the amount of cellulose similar to woody plant species has been easily converted into pulp and has been used in Islamic period paper making. Despite initial research by researchers on the fibers of Persian, Arabic, Syrian, and Egyptian paper, there is still a lack of information to assist in the fields of historiography, archeology, botany, and conservation and restoration. Fortunately, there are exquisite manuscripts from different historical centuries in museums that can fill the gap.

Materials and Methods

The oldest non-woody plant categories belong to foreign sources from 1982 and 1995, which are not of good quality. Therefore, it is necessary to collect non-woody plants, whose names are mentioned in library sources as the material of historical papers, and to document and morphologically test them. For this purpose, flax, hemp, kenaf and cotton plants were prepared from Isfahan, Tehran, Gorgan and Khorasan, respectively. After purification by Franklin solution method (equal part of acetic acid and hydrogen peroxide), these plants were placed in an oven at 70 °C for 48 hours. After bleaching, washing several times, defibration and staining with safranin were examined under a microscope. Historical paper fibers were also identified under the influence of Herzberg color reagent standard and examined under a light and polarizing microscope.

Results

Defibration tests of flaxseed, hemp and kenaf bast plants show two distinct parts including bast and woody fibers (Figures 1 to 9). Cotton fibers, which are from the fruit fiber category, appear in a completely different type and in the form of strips, spirals and twists. Comparisons between woody and bast fibers of flax, hemp, and kenaf plants reveal biometric differences and similarities in the diameters of bast fibers, woody fibers, vessels, epidermis, and parenchyma. These differences and similarities also appear in the morphology of the fibers surface such as swelling, dislocation (nods), cross markings or longitudinal straight, fiber walls such as irregular structures (scalloped) or smooth, the shape of the fiber cell ends, shapes of lumen, the crowded of cavities on the vessels and the type of short pitted fiber or woody fibers (Tables 2 and 3). In the historical study papers, flax and hemp fibers are more common, which sometimes do not follow the biometrics of the fibers. In manuscript pulp 345 and 4769, there are associated cells such as pitted and spirals vessels element, and calcium oxalate crystals, which make it easier to distinguish the type of fibers. The presence of cotton fibers is observed in manuscript papers belonging to the 7th, 8th, 11th and 12th centuries AH, but there is no trace of kenaf fibers (Table 4).

Discussion

The results of laboratory studies on the fibers that used in historical papers belonging to the 5th, 7th to 12th centuries AH show that the bast fibers of flax and hemp plants and the fruit fibers of the cotton plant are the primary fibers and constituents of study papers. These fibers were used alone or in combination with each other and sometimes together with woody fibers (short pitted fiber) and other associated cells in historical paper pulp, which can express the diversity of paper-making processes through the use of plant fibers directly or rag textiles. Many similarities between the bast fibers of flax and hemp, despite expressing the characteristics of this plant, are still observed in biometrics, which can be distinguished and differences from each other only by the presence of associated cells. These fibers definitely existed in Iran because they show a different structure from

the paper materials of their neighboring country (China). Therefore, it is inferred that raw materials in each geographical area have a significant impact on industries, especially the paper industry.

Conclusion

Comparison of historical studies, laboratory studies and the results of tests to identify the fibers of historical study papers and non-woody plants of flax, hemp, kenaf and cotton show that the papers belonging to the 5th, 7th to 12th centuries AH are mainly from the bast fibers of hemp and flax plants. cotton fibers exist and sometimes mixed together. The presence of xylem cells (associated cells) in their pulp helps to correctly identify the fibers along with other morphological and biometric properties of bast fibers. Despite the researchers' descriptions of the absence of cotton in the paper industry before the 15th century AD (9 AH), in this study and in the sample of papers belonging to manuscripts 7 and 8 AH, cotton was observed. Inverse to what has been said in library sources about kenaf and its use in papermaking, a similar case was not found in the study papers.

پژوهه باستان‌سنجی ۱۴۰۰؛ ۷(۲): ۱۷-۳۵

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.52547/jra.7.2.17

URL: http://jra-tabriziau.ir/

دانشگاه هنر اسلامی تبریز ۱۳۷۸

مقاله پژوهشی

شناسایی و مقایسهٔ میان الیافِ گیاهیِ غیرچوبی (کتان، شاهدانه،کنف و پنبه) با الیافِ کاغذهایِ نسخ خطی قرون ۵، ۷ الی ۱۲ ه.ق متعلق به موزهٔ ملی ملک*

محدثه حسینی صومعه[۱]، مهرناز آزادی بویاغچی[۲]، کامبیز پورطهماسی[۳]، مریم افشارپور[۴]، صمد نژاد ابراهیمی[۵]**

۱. دکتری مرمت اشیای فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشیار، گروه مرمت آثار، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۳. استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. دانشیار، گروه شیمی معدنی، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران

۵. استادیار، گروه فیتوشیمی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰**

چکیده

کاغذهای تاریخی متشکل از الیاف گیاهان غیرچوبی هستند، الیافی که تنها در منابعی انگشت شمار به آنان اشاره شده است. این پژوهش بر آن است تا تنوع و بیشترین نوع الیاف گیاهی مورد استفاده در نمونه کاغذهای نسخ خطی قرون ۵، ۷ الی ۱۲ ه.ق را از طریق تطبیق با نمونه گیاهان موجود بررسی کند. بنابراین با استناد به منابع کتابخانه‌ای در خصوص بیشترین گیاهان مورد استفاده در کاغذسازی، جمع¬آوری گیاهان غیرچوبی و بررسی الیاف آنان با مرفولوژی الیاف کاغذهای نسخ خطی موجود در مؤسسهٔ کتابخانه و موزه ملی ملک داده‌ها را گردآوری می¬کند. این داده‌ها بر پایهٔ روش‌های آزمایشگاهی و از طریق معرف میکروشیمیایی و بررسی‌های میکروسکوپی نوری و پلاریزان به¬دست آمدند که در نهایت به توصیف، تحلیل و دسته‌بندی انواع الیافِ سازنده در نمونه کاغذهای این پژوهش منتهی شدند. نتایج مطالعات نشان دادند که الیاف گیاهی کتان، شاهدانه، کنف در دو دسته فیبرهای چوبی و پوستی از یکدیگر متمایز هستند اما این تفاوت پایدار نیست و گاهی از استانداردهای بیومتری الیاف تبعیت نمی‌کند و گاهاً شباهت‌هایی، به ویژه در میان الیاف پوستی‌شان مشاهده می¬شود. در نمونه کاغذهای مطالعاتی نیز، عمده مواد تشکیل دهندهٔ فیبرهای پوستی گیاهان کتان، شاهدانه و الیاف لینتِ میوه گیاه پنبه حضور دارند و نشانه‌ای از حضور الیاف کنف در میان کاغذهای این نسخ خطی نیست. در خمیر همهٔ این کاغذها، فیبرهای چوبی و سلول‌های همراه به ندرت وجود دارند که کار شناسایی الیاف گیاهی را دشوار می‌سازند، اما حضورشان نقش مؤثری در امر شناسایی و تشخیص صحیح الیاف گیاهی دارد.

واژگان کلیدی: گیاهان غیرچوبی، گیاه کتان، گیاه شاهدانه، گیاه کنف، گیاه پنبه، الیافِ کاغذ، نسخ خطی.

*این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسنده اول در دانشگاه هنر اصفهان با عنوان "کاربرد روش غیرتخریبی فتولومینسانس در شناسایی الیاف کاغذهای تاریخی در نسخ خطی" به راهنمایی اساتید نگارندهٔ دوّم و سوّم و اساتید مشاور، نگارندهٔ چهارم و پنجم است

** نویسنده مسئول مکاتبات: اصفهان، خیابان حکیم نظامی، چهارراه خاقانی، دانشگاه هنر اصفهان، دفتر روابط علمی و بین المللی، صندوق پستی: ۱۷۴۴

پست الکترونیکی: m.azadi@aui.ac.ir

۱. مقدمه

کاغذ میراث گران بهایی است که بخش عظیمی از حافظهٔ تاریخی ما را نشان می‌دهد. این آثار نه تنها حافظان و امانت‌داران گذشته‌های تاریخی هستند، بلکه خود نیز حامل اندوخته‌های فراوان فنی و تکنیکی هستند که بسیار مورد توجه محققان داخلی و خارجی قرار گرفته‌اند. تولد این مهم، از خاور دور آغاز شد و در سرزمین پارس رنگ و بوی جدید به خود گرفت و کاملاً متمایز از مهد اولیه‌اش شد که در بررسی‌های علمی و تحلیل‌های میکروسکوپی سال ۱۹۳۹ میلادی کاملاً مشهود است [1]. آنچه بررسی انواع کاغذهای پارسی، عربی، مصری و سوریه‌ای در نیمهٔ دوم قرن ۱۹ میلادی نشان دادند، الیاف سازنده‌ای همچون کتان و شاهدانه بودند [2] که متمایز از ساختارهای کاغذهای شرق دور هستند و این مشاهدات با توصیفات Isenberg (۱۹۵۵)، Bloom (۲۰۰۱) و Hunter (۱۹۷۸) در مورد ساخت کاغذها از پارچه‌های مندرس البسه مومیایی‌ها که از الیاف پوستی گیاه کتان و شاهدانه تهیه و گاهی با مادهٔ خام آنان نیز مخلوط شده‌اند [3,4,5]، منطبق است. استفاده از الیاف کنف در پایان‌نامه‌ها و تحقیقات متأخر بر روی الیاف کاغذهای تاریخی گزارش شده و الیاف پنبه به عنوان لیف سازنده در قرون متأخر کاغذسازی بیان شده است [3]. به استناد این منابع، تفاوت و تنوع گیاهی سرزمین ایران چنین اقتضا می‌کرد که بیشترین الیاف گیاهی مورد استفاده در کاغذهای تاریخی از گیاهان کتان، شاهدانه، کنف و پنبه باشند. اگر چه این گیاهان از گذشته‌های دور در صنایع کهن ایران مورد استفاده بوده‌اند و نقش مهّمی را در تهیه مواد اولیه داشته‌اند اما همچنان متون کافی در خصوص نوع مواد گیاهی تشکیل دهنده در کاغذهای سرزمین پارس وجود ندارد و تشخیص صحیح این الیاف در خمیر کاغذهای دست‌ساز به دلیل فرایندهای کاغذسازی بر دشواری شناخت افزوده است. خوشبختانه شواهد زنده از کاغذهای نسخ خطی موجود در کتابخانه‌ها و موزه‌ها می‌تواند تا حدی این خلأ موجود را مرتفع کند و به محققان بسیاری در علومی همچون نسخه‌شناسی، مرمت و حفاظت آثار کاغذی، جغرافیای گیاهی و تاریخ‌شناسی کمک کند و داده‌های مفیدی را از شرایط و محیط تاریخی هر دوره بازگو کند. به دنبال این مسئله و به استناد منابعی که تنوع الیاف گیاهی در کاغذهای تاریخی را از گیاهان فوق برشمردند، الیاف گیاهان کتان، شاهدانه، کنف و پنبه تهیه شد و با الیاف تعدادی از کاغذهای نسخ‌خطی ۵، ۷ الی ۱۲ ه.ق مؤسسه کتابخانه و موزه ملی ملک مقایسه شد و پرسش‌هایی برای رهنمون شدن به هدف این پژوهش مطرح شد، بدین صورت است که چه نوعی از گیاهان غیرچوبی کتان، شاهدانه، کنف و پنبه، بیشترین مواد لیفی سازنده در کاغذهای دست‌ساز را تشکیل می‌دهند؟ و چه اطلاعاتی از مقایسهٔ میان الیافِ گیاهی موجود با الیافِ سازنده کاغذهای تاریخی حاصل می‌شود؟

۲. پیشینهٔ پژوهش

قدیمی‌ترین کاغذهای موجود، از کهنه پارچه‌هایی متشکل از گیاهان رامی و شاهدانه متعلق به آغاز قرن چهارم و پنجم میلادی می‌رسد که در منطقهٔ دان هوانگ[1] پیدا شدند [6]. در این تاریخ سُغدیان[2] چگونگی ساخت کاغذ را در طی استقرار مهاجران یاد گرفتند و احتمالاتی وجود دارد که سنت کاغذسازی قبل از اسلام از زمان ساسانیان به سرزمین‌های شمال خاوری خصوصاً چین رسیده باشد. در چین، از فیبر گیاه رامی[3] (علف چینی) که کاغذ بادوامی را می‌ساخت و به تدریج از ورقه‌های جوانِ چوب توت و بامبو در خمیر کاغذسازی استفاده می‌کردند اما این روش بعد از مدتی توسط پارس‌ها تغییر کرد و کاغذسازان، کاغذ سمرقندی (خراسانی) را با شیوهٔ نوین و ترکیبی از الیاف بافته شده گیاه کتان با دیگر الیاف مرطوب مخلوط کردند و خمیری از پارچه‌های گیاهی مندرس برای ساخت کاغذ استفاده کردند [7]. پس از ورود اسلام، کاغذسازی با استفاده از الیاف گیاهی بیش از پیش رواج یافت و مسلماً این صنعت وابستگی خود را به مواد گیاهی موجود در هر منطقه نشان داد [8]. در برخی

منابع، به پیشینهٔ کاربردی این گیاهان در دوران باستان در ایران اشاره شده و نام‌شان در دایرهٔ المعارف عهد ساسانی "بُندهش" و شاهنامه فردوسی آورده شده است [9,10,11,12] و در دوره‌های تاریخی پس از ورود اسلام نیز همچنان در صنایع خوراک، پوشاک و کاغذسازی مورد استفاده بوده‌اند که پیشینهٔ کاشت این گیاهان گواه بر این ادعا است. حافظ ابرو ۱۳۷۸، به کاشت گیاه کتان در نواحی وسیعی از جنوب غربی ایران اشاره می‌کند که صنعت نساجی و پارچه‌بافی اعلایی را به خود اختصاص داده بود و به سایر مناطق فرستاده می‌شد [13]. شاهدانه نیز، به عنوان دومین گیاه مورد استفاده در کاغذسازی [2] در ایران وجود داشته است و با الیاف آن طناب و زیلوهای رنگارنگی را می‌ساخته‌اند [14,15]. حتی صنعت پارچه‌بافی و ریسمان‌بافی برای گیاه کنف در مناطق شمالی ایران [16,17] گزارش شده است که احتمالاً در صنعت کاغذسازی و در کاغذهای سمرقندی نیز مورد استفاده قرار گرفته است [18]. صنعت تهیهٔ پوشاک از گیاه پنبه، در همه شهرهای ایران وجود داشته و در قرون نخست پس از ظهور اسلام، بیش از پیش رواج یافته و خود را در کاغذسازی نیز نشان داده است [12]. قدیمی‌ترین منابع در حوزهٔ مرتبط با شناسایی این الیاف گیاهی، به کتاب‌های Catling ۱۹۸۲و sisko ۱۹۹۵ میلادی می‌رسد که به بررسی و متمایزات میان این الیاف به لحاظ مرفولوژیکی و بیومتری پرداخته‌اند [19,20] و به دنبال آنان پژوهش‌هایی در خصوص شباهت میان الیاف پوستی در این گیاهان توسط Bergfjord ۲۰۱۰ و Haugane ۲۰۱۴ منتشر شد [21,22]. حسینی ۱۳۷۹، نیز بیان می‌کند که همهٔ الیافِ گیاهیِ کتان، شاهدانه، کنف و پنبه، متعلق به گیاهان غیرچوبی (درختچه، بوته‌ای) و عموماً با عمر یک‌ساله هستند و به دلیل لیگنین کم، مقدار سلولز مشابه با گونه‌های گیاهی چوبی به راحتی تبدیل به خمیر شده‌اند [23].

۳. مواد و روش آزمایشگاهی

نمونه‌برداری و وابری الیاف از گیاهان

از آنجا که قدیمی‌ترین اطلس‌های مربوط به گیاهان غیرچوبی به منابع خارجی در سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۹۵ میلادی می‌رسد که از کیفیت تصاویر رنگی و واضح برخوردار نیستند و حتی در برخی از استانداردهای داخلی نیز گاهاً شباهت و تفاوت میان این دسته از گیاهان دولپه‌ای به خوبی تفکیک نشده است، نمونه‌هایی از این گیاهان از مناطق مختلف ایران جمع-آوری شدند و جهت ارزیابی استانداردهای بیومتری و تغییرات مرفولوژیکی و دستیابی به تصاویر رنگی و با کیفیت در تطبیق با اطلس‌های قدیمی سایر محققان پیشین مورد استفاده قرار گرفتند. همانطور که پیشینهٔ مطالعات محققان نشان می‌دهد، گیاهان کتان، شاهدانه، کنف و پنبه از جمله گیاهان بومی سرزمین ایران بیان شدند که پیشینهٔ کاشت باستانی در ایران داشته‌اند و در کاغذسازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در پژوهش حاضر، گیاهان کتان از اصفهان، شاهدانه از تهران (کرج)، کنف از گرگان و پنبه از خراسان (تربت حیدریه) تهیه شدند. به جز گیاه پنبه که دارای الیاف آشکار است، کلیه آزمون‌ها برای تهیهٔ الیاف از سه گیاه دیگر صورت گرفت. جهت بررسی الیاف پوستی و چوبی این گیاهان، آزمون وابری الیاف با استفاده از روش فرانکلین [24] انجام شد. بدین صورت که تکه‌هایی از ساقهٔ سه گیاه خشک کتان، کنف و شاهدانه با بیستوری از آنان جدا شد و هر کدام جداگانه به لوله‌های فالکن منتقل و به نسبت مساوی در اسید استیک و هیدروژن پرکسید غوطه‌ور شدند. لوله‌های آزمایش درون آون با دمای ۷۰ °C به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. پس از سفید شدن الیاف به آرامی با آب مقطر شسته شدند و با قرار گرفتن تحت شرایط همزن با سنگ مگنت، هات پلیت الیاف از هم باز شدند. الیاف پنبه نیز پس از جدا شدن از غوزه، مستقیماً از هم باز شدند و پس از رنگ-آمیزی با محلول سافرانین با میکروسکوپ نوری بررسی شدند.

کاغذهای تاریخی نسخ خطی

نمونه کاغذهایی از نسخ خطی موجود در مؤسسهٔ کتابخانه و موزه ملی ملک که به لحاظ تاریخی در قرون ۵، ۷ الی ۱۲ ه.ق کتابت شده بودند، انتخاب شد. این نسخه‌ها متعلق به قرون پنجم، هفتم، هشتم، نهم، دهم، یازدهم، دوازدهم هجری قمری هستند که در جدول ۱ آورده شده‌اند. لازم به ذکر است اسامی و نام انواع کاغذهای نسخ‌خطی موجود در مؤسسهٔ کتابخانه و موزه ملی ملک توسط نسخه‌شناسانی همچون ایرج افشار و محمد تقی دانش‌پژوه با همکاری محمد باقر حجتی و احمد منزوی بررسی و نام‌گذاری شده است. جهت آنالیز و بررسی الیاف کاغذهای این نسخ، از استاندارد معرّف‌های رنگی (در این آزمون معرف هرزبرگ) استفاده شد [25]. معرّف هرزبرگ ترکیبی از محلول یدید در محلول کلرید روی است [26] و معرف رایجی برای شناسایی و تفکیک الیافی با منبع غیرچوبی از الیاف چوبی است و به طور قابل توجّهی برای بیش از ده نمونه الیاف مورد استفاده است. الیاف با منابع مختلف گیاهی تحت‌تأثیر این معرّف، رنگ‌های مختلفی را ایجاد می‌کنند که این امر بستگی به میزان لیگنین در الیاف دارد. الیاف فاقد لیگنین تهیه شده از پارچه‌های فرسوده مثل (کنف، رامی و پنبه) به رنگ قرمز شرابی درمی‌آیند. زمانی‌که میزان لیگنین افزایش می‌یابد، رنگ از قرمز شرابی (بدون لیگنین) به خاکستری مایل به آبی و از آن به خاکستری- زرد و از آن به قهوه‌ای- زرد و سرانجام برای الیافی که میزان بالایی لیگنین دارند (مثل بامبو)، رنگ زرد ایجاد می‌کند. معرّف هرزبرگ همچنین روش مناسب و سریعی برای تأیید وجود نشاسته‌های گیاهی است که سبب ایجاد رنگ آبی می‌شود و این به دلیل وجود ید در ترکیب این معرّف است [27]. برای آزمون هرزبرگ، ابتدا الیاف برداشته شده از هر دو نسخه خطی به مدت ۲۰ دقیقه در آب مقطر جوشانده شدند. پس از خالی نمودن آب مقطر، الیاف به آهستگی بر روی اسلاید (لام) قرار گرفتند. پس از خشک شدن الیاف، چند قطره معرّف هرزبرگ به آنان اضافه و تغییرات رنگی در زیر میکروسکوپ مشاهده و ثبت شد [28]. همچنین کلیهٔ مواد و ترکیبات این آزمون‌ها در فرم تجاری Merck به کار رفتند.

جدول ۱: معرفی نسخ‌خطی مطالعاتی در این پژوهش

Table 1: Introduction of studying manuscripts in this research

ردیف No.	شماره اموالی Property number	عنوان نسخ Manuscript title	نوع: زبان، خط، کاغذ Type: Language, Calligraphy, paper	تاریخ نسخه: سال (قرن) Date of scribe: year (A.D)
1	۳۴۵ 345	دیوان‌الادب و میزان کلام العرب Diwan al-Adab and Mizan Kalam al-Arab	عربی، نسخ معرب، کاغذ دولت‌آبادی Arabic, Arabian Naskh, Dawlatabadi	سال ۴۱۹ (۵ ه.ق.) 1028 A.D
2	۳۶۰۵ 3605	روضه‌المنجمین Rozat al-Monajemin	عربی، نستعلیق، کاغذ دولت‌آبادی Arabic, Nastaliq , Dawlatabadi	سال ۶۱۶ (۷ ه.ق.) 1219 A.D
3	۴۵۱۰ 4510	توضیحات‌القانون Tozihat al-Qanon	عربی، نسخ، کاغذ دولت‌آبادی Arabic, Naskh, Dawlatabadi	سال ۷۴۵ (۸ ه.ق.) 1344 A.D
4	۵۹۰۱ 5901	کشف حقایق زیج ایلخانی Discovering the facts of Zij-i-Ilkhani	عربی، نستعلیق، کاغذ سمرقندی Arabic, Nastaliq , Samarqandi	سال ۸۷۷ (۹ه.ق.) 1472 A.D
5	۵۴۷۲ 5472	دیوان عطار نیشابوری Diwan Attar Neyshabouri	فارسی، نستعلیق،کاغذ ترمه ختایی Farsi, Nastaliq, Khatai Termeh	سال ۹۰۴ (۱۰ه.ق.) 1498 A.D
6	۳۶ 36	قرآن مجید Holy Quran	عربی، نسخ، کاغذ ترمه خانبالغ Arabic, Naskh, Khanbaleq Termeh	سال ۱۰۹۴ (۱۱ه.ق.) 1682 A.D
7	۴۷۶۹ 4769	منظومه فتوحات شاه اسماعیل Epopee of conquests of king Ismail	فارسی، نستعلیق و کاغذ سمرقندی Farsi, Nastaliq, Samarqandi	سال ۱۱۳۲ (۱۲ ه.ق.) 1719 A.D

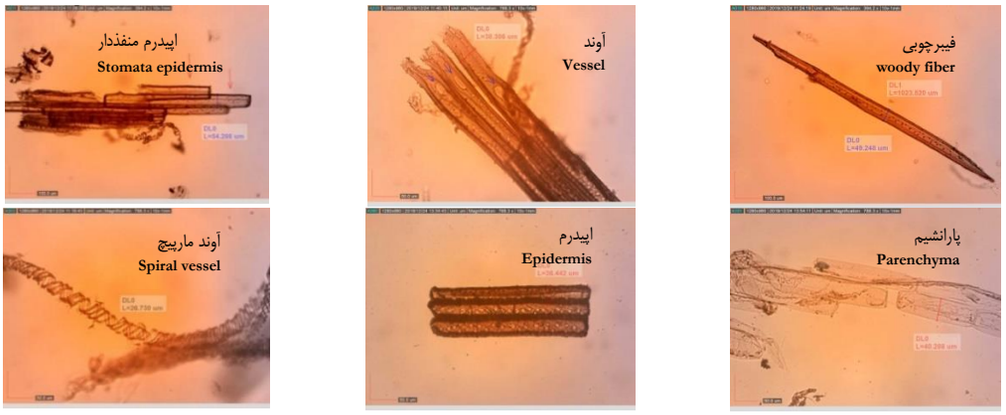
بررسی با میکروسکوپ نوری (OM)[۴]و پلاریزان (PLM)[۵] مجهز به میکروسکوپ چشمی و لوپ دیجیتالی Dino Lite

مطالعهٔ ساختمان میکروسکوپی الیاف گیاهان کتان، شاهدانه، کنف و پنبه با استفاده از میکروسکوپ نوری، عبوری– انعکاسی MEIJI مدل MT8100 ساخت کشور ژاپن انجام شد و الیاف در بزرگنمایی‌های۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ برابر با نور ساده و پلاریزان مورد بررسی قرار گرفتند. در این بررسی، الیاف بدون رنگ، رنگ-آمیزی شدند و تحت معرّف هرزبرگ جهت بررسی ویژگی‌شان در زیر نور قطبیده شده، مشاهده شدند. میکروسکوپ‌های پلاریزان با توجه به تغییرات رنگی که توسط نور قطبیده شده اعمال می‌کنند، امکان بررسی سطح الیاف را نیز فراهم می‌سازند. به طوری که خطوط متقاطع، برجستگی‌ها و شکستگی‌ها در سطح الیاف که منجر به تشخیص آنان می‌شود، قابل رؤیت و واضح‌تر از میکروسکوپ نوری می‌شود [3,6,21,22,29]. از طرفی کریستال‌های اگزالات کلسیم به وسیلهٔ میکروسکوپ پلاریزان، قابل رؤیت و شناسایی می‌شوند [21-29]. این میکروسکوپ جهت عکاسی از الیاف گیاهی، به میکروسکوپ چشمی دیجیتالی Dino Lite مدل AM-7023 مجهز است که امکان مقیاس زدن بر روی نمونه‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف را برای لنز چشمی میکروسکوپ فراهم می‌آورد.

٤. نتایج و یافته‌ها

بررسی الیاف ساختاری در گیاهان کتان، شاهدانه، کنف و پنبه

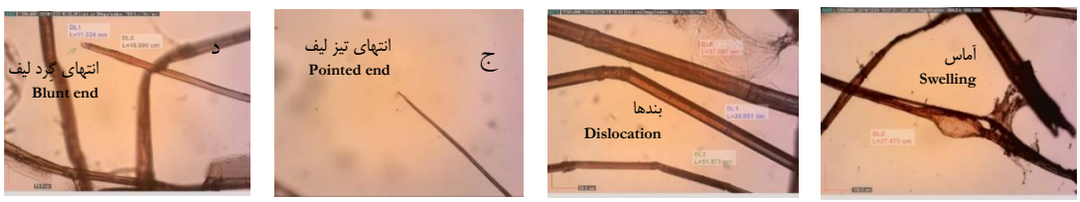
آزمون وابری الیاف، دو بخش متمایز از فیبرها را در هر یک از این گیاهان غیرچوبی آشکار می‌سازد. بررسی الیاف در گیاه کتان، دو دسته از فیبرهای بخش چوبی و پوستی را به انضمام سلول‌های همراه بخش زایلم نشان می‌دهد (شکل ۱). فیبرهای چوبی به ضخامت ۴۹ µm دارای منافذ واضح و مجزا و باریک با انتهای نوک تیز مشاهده می‌شوند. قطر عناصر آوندی از ۳۸ تا ۴۱ µm متغیر با حفرات مشخص است و آوندهای مارپیچ ضخیم قابل مشاهده هستند. سلول‌های پارانشیمی به شکل‌های مختلف گرد، مربع تا مستطیل و سلول‌های اپیدرمی منفذدار با دیواره‌های صاف و نرم در وابری الیاف گیاه کتان به چشم می‌خورند. این نوع از اپیدرم‌های منفذدار مختص گیاه کتان است و از جمله سلول‌های همراهی محسوب می‌شود که نقش مؤثری در شناسایی و تفکیک الیاف این گیاه از سایر گیاهان شاهدانه و کنف دارد. علاوه بر این، فیبرهای چوبی این گیاه باریک‌تر از شاهدانه و کنف با انتهای نوک تیز هستند و حضور عناصر آوندی حفره‌دار باریک و لاغرتر از شاهدانه و کنف با پهنای مختلف و با حفرات آوندی کوچک متمایز کنندهٔ این گیاه هستند [19].



شکل۱: الیاف چوبی و سلول‌های همراه کتان با میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۱۰۰X و ۲۰۰X

Fig. 1: Woody fibers and associated cells of flax with light microscopic at x100 and x200 magnification

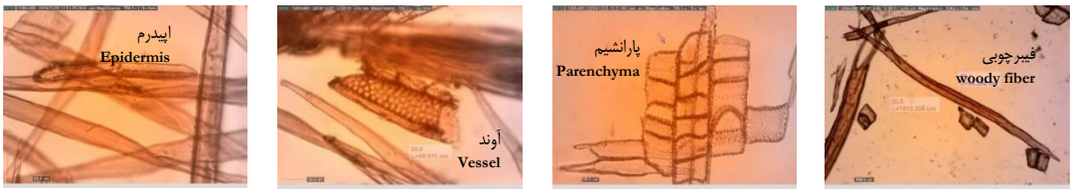
در الیاف پوستی کتان دیوارهٔ فیبرها، وجود آماس (تورم)، شیارهای طولی در راستای لیف، خطوط متقاطع و بندها مشخص شده است (شکل ۲). بیشترین ضخامت در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر در حدود ۳۷ µm برای این الیاف محاسبه شد. فیبرهای پوستی گیاه کتان بلند و نسبتاً باریک با پهناهای متفاوت دیده می‌شوند. انتهای الیاف در ساختار فیبرهای پوستی این گیاه، مخروطی نوک تیز و گاهاً مخروطی با نوک گرد نمایان می‌شوند. فیبرهای پوستی از پوستهٔ داخلی گیاه به دست می‌آیند که تقریباً حدود ۰/۱ الی ۰/۲۵ وزن ساقه را تشکیل می‌دهند [30]. میانگین طول این الیاف (۹۰–۷۰mm) ۳۳ mm و پهنای (۳۸ µm– ۵) ۲۱µm، ۴۰–۵ µm [22] است [19]. فیبرهای پوستی این گیاه، بسیار شبیه به فیبرهای پوستی گیاه شاهدانه است و چنانچه لیف در خمیر تهیه شده از کتان سالم باقی مانده باشد، می‌توان با بررسی حفرهٔ لومن و انتهای لیف، آن را از شاهدانه متمایز کرد. در فیبر پوستی گیاه کتان، انتهای لیف به صورت مخروطی نوک تیز با حفرهٔ لومن بسیار باریک (یک ششم دیواره)، بندهای متناوب و خطوط متقاطع ضعیف [22] قابل ملاحظه است. در زیر میکروسکوپ پلاریزان، تورم روی فیبرهای پوستی گیاه کتان و برجستگی بندها تحت نور قطبیده بیشتر نمایان می‌شود (شکل ۳).



شکل۲: الیاف بخش پوستی کتان با میکروسکوپ نوری ۲۰۰X
Fig. 2: Bast fibers of flax with light microscopic at x200 magnification

شکل۳: الیاف پوستی کتان با میکروسکوپ پلاریزان ۲۰۰X
Fig. 3: Bast fibers of flax with polarized light microscopic at x200 magnification

فیبرهای چوبی و سلول‌های همراه در گیاه شاهدانه در شکل ۴، آورده شده است. در بزرگنمایی ۱۰۰ برابر، بیشترین ضخامت فیبرهای چوبی کوچک، حفره‌دار ۴۹/۳۴۵ µm محاسبه شدند که نسبت به فیبرهای گیاه کتان اندکی پهن‌تر هستند و حفراتی نامشخص دارند. سلول‌های پارانشیمی به صورت مربع و گاهی دم‌دار مشاهده می‌شوند. عناصر آوندی به ضخامت تقریبی ۸۵µm با حفرات شلوغ به شکل بیضی تا چند وجهی قابل مشاهده هستند. چنین آوندهایی (با طول mm ۰/۸ و عرض µm ۱۵۰) که پهن‌تر از آوند گیاه کتان و گاهاً کنف هستند و دنبالهٔ کوچک و شبیه به آوندهای میانی پهن‌برگان دارند، برای گیاه شاهدانه گزارش شده است. همچنین دیگر عناصر آوندی مارپیچ، شبکه مانند و حلقه‌ای حضور دارند. سلول‌های پارانشیمی نیز وجود دارند و اپیدرم به همراه مو به‌ندرت ظاهر می‌شود [19].



شکل۴: الیاف چوبی شاهدانه با میکروسکوپ نوری x۲۰۰

Fig. 4: Woody fibers of hemp with light microscopic at x200 magnification

ویژگی فیبرهای پوستی شاهدانه که از خیساندن پوست داخلی به دست می‌آیند در شکل زیر آورده شده‌اند (شکل ۵). ضخامت این فیبرها با تقریب µm ۳۱ در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر محاسبه شد. حضور بندهای واضح و متوالی و خطوط طولی در راستای لیف در تصاویر مشخص هستند و انتهای مخروطی گِرد و کُند دارند. برای فیبرهای پوستی این گیاه، ویژگی‌هایی همچون بلندی، دیوارهٔ ضخیم و پهن‌تر از فیبرهای پوستی کتان بیان شده است. میانگین بیشترین طول و عرض برای فیبرهای پوستی شاهدانه (۵۵–۵mm) ۲۵ mm و پهنای (۵۱–۱۰µm) ۲۵ µm [19]، حتی پهنای (۶۵–۱۵µm)، قطرحفره لومن پهن و مسطح نیز گزارش شده است [22]. همچنین حضور کریستال‌های اگزالات کلسیم به صورت گروهی و گاهی پراکنده در ساختار گیاه شاهدانه [21] که با الیاف پوستی همراه شده‌اند، تفکیک و تمایز میان فیبرهای پوستی این گیاه و گیاه کتان را مشخص می‌سازند. در زیر میکروسکوپ پلاریزان، کریستال‌های گروهی اگزالات کلسیم آشکار هستند و بندهای متناوب و متوالی فیبرهای پوستی شاهدانه در این نور قطبیده شده، کاملاً مشخص و واضح نمایان می‌شوند (شکل ۶).

شکل۵: الیاف پوستی شاهدانه با میکروسکوپ نوری x۲۰۰

Fig. 5: Bast fibers of hemp with light microscopic at x200 magnification

شکل۶: الیاف پوستی و کریستال‌های اگزالات کلسیم در شاهدانه با میکروسکوپ پلاریزان x۲۰۰

Fig. 6: Bast fibers and calcium oxalate crystals of hemp with polarized light microscopic at x200 magnification

در گیاه کنف، فیبرهای چوبی حفره‌دار با ضخامت‌های متغیرµm ۵۷–۳۲ و فیبرهای تراکئید با پهنای تقریبی µm ۴۱ محاسبه شد. در شکل ۷، فیبرهای چوبی و سلول‌های همراه موجود در گیاه کنف نشان داده شده است. عناصر آوندی حفره‌دار در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر، با ضخامت تقریبی µm ۱۰۷ محاسبه شدند. در سایر گزارش‌های محققان طول mm ۰/۷ و عرض µm ۱۵۰ بیان شده است [19]. این آوندها دارای حفرات متعدد و شلوغ در سطح خود هستند و نسبت به آوندهای

گیاه کتان و شاهدانه مذکور در بالا پهن‌تر به نظر می‌رسند. همچنین آوندهای مارپیچ و پارانشیم‌های مربع شکل و سلول‌های اپیدرم با دیواره‌های کنگره و حلزونی شکل در وابری الیاف این گیاه مشاهده می‌شوند.

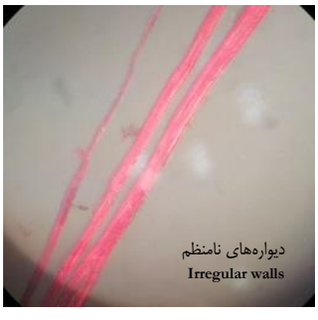
شکل۷: الیاف چوبی کنف با میکروسکوپ نوری ۱۰۰X و ۲۰۰X

Fig. 7: Kenaf woody fibers with light microscopic at x100 and x200 magnification

فیبرهای پوستی گیاه کنف تفاوت بسیاری را از دو گیاه دیگرِ کتان و شاهدانه نشان می‌دهد. در گیاه کنف فیبرها نسبتاً کوتاه و باریک با دیوارهٔ نازک یا کلفت هستند. بلندی فیبرهای پوستی این گیاه، آن را از گیاه ژوت (جوت) متمایز می‌کند. میانگین بیشترین طول برای الیاف این گیاه (۲mm–۶) ۵mm و پهنای ۲۱µm (۱۴µm–۳۳) گزارش شده است [19]. در شکل زیر تفاوت پهنای این فیبرها از باریک‌ترین به ضخیم‌ترین اندازه در حدود تقریبی µm ۱۹ تا µm ۳۸ می‌رسد. حضور بندها و خطوط متقاطع، ضعیف به نظر می‌رسند و دیوارهٔ الیاف ساختار نامنظمی را به صورت کنگره‌ای نمایان می‌سازد که پهنای متفاوت الیاف و به دنبال آن تفاوت در قطر حفرهٔ لومن را منجر می‌شود (شکل ۸). در این تصاویر انتهای الیاف نیز به شکل‌های مختلف گرد، هلالی شکل، شاخه‌دار، قاشقی یا حلزونی شکل ظاهر شده است. در زیر میکروسکوپ پلاریزان برجستگی بندها و خطوط متقاطع بسیار ضعیف مشخص شده است (شکل ۹).

شکل ۸: الیاف پوستی کنف با میکروسکوپ نوری ۲۰۰X

Fig. 8: Bast fibers of kenaf with light microscopic x200 magnification



شکل ۹: الیاف پوستی کنف با میکروسکوپ پلاریزان ۲۰۰X

Fig. 9: Bast fibers of kenaf with polarized light microscopic at x200 magnification

در بررسی الیاف پنبه، با میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر، ظاهر نواری، پیچان و تاب‌دار به همراه خطوط مارپیچی و حلزونی شکل در راستای طولی این الیاف مشاهده می‌شود (شکل ۱۰). ضخامت این الیاف به تقریب ۴۲–۴۹μm محاسبه شد. این الیاف در زیر میکروسکوپ پلاریزان، تحت نور قطبی شده، پیچ و تاب در سطح الیاف خود را بیشتر منعکس و نمایان ساختند. این الیاف مربوط به الیاف بلند لینت (lint) یا همان پنبه هستند که از نوع دیگر الیاف کوتاه لینتر (linter) متفاوت هستند. اگرچه طول الیاف رسیدهٔ لینتِ پنبه به یک اینچ (۲۵,۴mm) می‌رسد [31] اما طول‌هایی به اندازهٔ ۱۰ mm–۴۰ نیز برای آن گزارش شده است که به صورت خام در صنعت استفاده می‌شود. در حقیقت این بنیان دانه است که این الیاف (الیاف خالص پنبه) را می‌سازد [32] و برای استفاده در صنعت نساجی، در حین عملیات پنبه زنی برداشت می‌شوند. در مقابل این الیاف، فیبرهای لینتر قرار دارند که برای تبدیل شدن به خمیر باید پروسه‌های سفید شدن و خالص‌سازی را انجام دهند و خمیری که حاصل می‌شود برای ساخت کاغذهای مختلف بر پایهٔ درجه‌شان تولید می‌شود. طول الیاف لینتر به ۲–۷ mm می‌رسد و الیاف اطراف بذر (دانه) هستند که به شکل استوانه‌ای و دیوارهٔ ضخیم دارند [19]. این الیاف کرکی پنبه بر روی دانه پنبه رشد می‌کنند و همراه با الیاف لینت هستند که سلول‌های نزدیک نوک دانه آنان را می‌سازند. این الیاف بعد از برداشت پنبه به دانه چسبیده‌اند و در عملیات روغن‌گیری دانه برداشت می‌شوند [32]. ویژگی‌هایی همچون؛ رنگدانه قهوه‌ای روشن، قدرت چسبندگی زیاد به دانه و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، آنان را از الیاف لینت قابل تفکیک می‌کنند [33].

شکل۱۰: الیاف لینت پنبه در بزرگنمایی ۲۰۰x: الف) میکروسکوپ نوری و ب) با میکروسکوپ پلاریزان
Fig. 10: Cotton lint fibers at x200 magnification: a) with light and b) polarized microscopic

به طور کلی، گیاهان دو لپه‌ای کتان، شاهدانه، کنف و پنبه ساختار یکسانی دارند و از بخش‌های اپیدرم، کورتکس، فلوم، کامبیوم، زایلم و هسته در ساقه تشکیل شده‌اند. اما ویژگی‌های بارزی همچون فیبرهای چوبی، فیبرهای پوستی و دیگر سلول‌های همراه و حتی نوع الیاف پوست، برگ و میوه در یک گیاه آنان را از یکدیگر متمایز می‌کند. البته در این میان الیافی نیز وجود دارند که همهٔ ویژگی‌ها و خصلت‌های دیگر گونه‌ها را دارند [22]. خلاصه‌ای از ویژگی‌های فیبرهای چوبی و سلول‌های همراه گیاهان کتان، شاهدانه، کنف بیان شده است (جدول ۲). همچنین ویژگی‌های الیاف پوستی گیاهان کتان، شاهدانه، کنف به اختصار در جداول زیر آورده شده است تا مهمترین عوامل شناسایی الیاف در این گیاهان مشخص شود (جدول ۳).

جدول ۲: خلاصه ویژگی‌های فیبرهای چوبی و سلول‌های همراه گیاهان کتان، شاهدانه، کنف

Table 2. Summary of woody fibers and associated cells characteristics of flax, hemp, kenaf

گیاه Plant	فیبرهای چوبی (طول/عرض (µm)) Woody fibers (Length/Width (µm))	سلول‌های همراه Associated cells			
		آوندها Vessels	پارانشیم Parenchyma	کریستال Crystal	اپیدرم Epidermis
کتان Flax	µmکوتاه، حفره‌دار و باریک (- ۴۹/۱۰۲۳) -Short, Pitted and narrow (49/1023 µm) –حفرات مشخص و مجزا Distinct and prominent pitted	۳۸-µm–پهنای عناصر آوندی باریک (۴۱) با طول‌های مختلف -Width of Narrow vessel elements (38-41 µm) with vary length –حفرات کوچک Small pitted –باریک‌تر از شاهدانه و کنف Narrower than of hemp and kenaf	گرد، مربع تا مستطیل شکل Circle, square to shape rectangular	–	فراوانی اپیدرم‌های منفذدار با دیواره‌های صاف Abundant stomata epidermis with smooth walls
شاهدانه Hemp	µm– کوتاه، حفره‌دار (و پهن‌تر از کتان و ۴۹/۱۰۱۲) شبیه پهنای کنف -Short, pitted (49/1012 µm) and wider than of flax and resemble to kenaf width	۸۵) با دنباله کوتاهµm–آوندهای پهن (-Wide vessels (85 µm) with short tails – حفرات آوندی شلوغ از فرم بیضی تا چند وجهی (شبیه پهن برگان) - Crowded pits with oval to hexagonal outlines (resembling hardwoods) –عناصر آوندی پهن‌تر از کتان و شبیه پهنای کنف - Vessel elements wider than flax and resembling kenaf width	مربع تا مستطیل شکل با دنباله کوچک -Shape square to rectangular with short tails	دسته‌ای و خیلی به ندرت تنها Cluster and very rarely solitary	–
کنف Kenaf	کوتاه، حفره‌دار با پهنای متغیر µm(پهن‌تر از کتان) و طول (۳۲/۴۲/۵۷–۱۱۳۶) Short, pitted with varying width (wider than flax) and length (32/42- 1136-57)	–حفرات شلوغ، پهن‌تر از کتان و همانند µm(۱۰۷پهنای شاهدانه (Crowded pits, wider than flax and resembling hemp width –آوندهای مارپیچ، حلزونی سالم و از هم باز شده ضخیم Spiral vessel element and unwound spiral thickenings	مربع تا مستطیل شکل -Shape square to rectangular	منفرد و ندرتاً زنجیره‌وار -Individual clusters and rarely chains	با دیواره‌های نامنظم (کنگره‌ای) Irregular walls (scalloped)

جدول ۳: خلاصه ویژگی‌های الیاف پوستی گیاهان کتان، شاهدانه، کنف

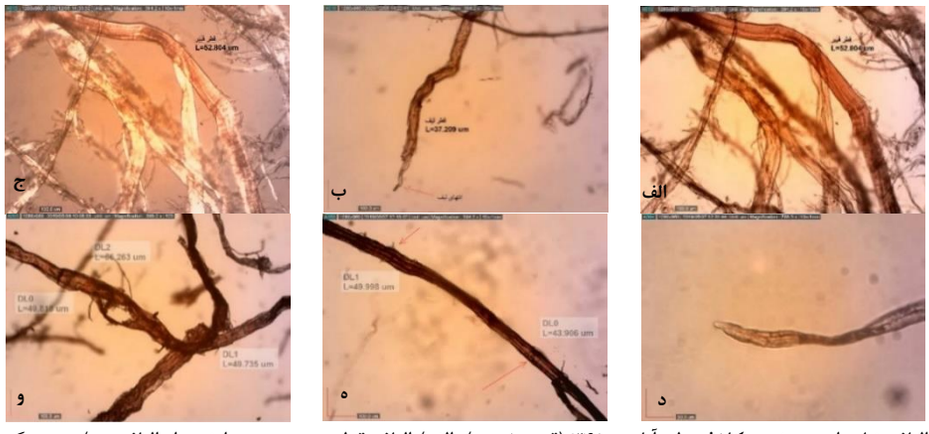
Table 3. Summary of bast fiber characteristics of flax, hemp, kenaf

	دیواره، طول و عرض لیف Width, length and wall fibers	بندها در لیف Dislocations	خطوط متقاطع و طولی Cross marking and longitudinal striation	آماس (تورم) Swelling	حفره سلولی (لومن) Lumen	انتهای لیف Fiber end
کتان	پهنا (۳۷µm) از ۵µm–۳۸ بلند و باریک با پهناهای متفاوت Width (37 µm) from (5-38 µm) long and narrow with varying width	برجسته/ تکرار شونده Prominent/ frequent	واضح و آشکار Prominent and strong	فراوان Abundant	باریک و به صورت خط تیره Narrow and dash	ظریف و نوک تیز Tapering pointed

شاهدانه	پهنا (۳۱µm) از ۱۰–۵۱µm شبیه کتان ولی بلند، پهن تر، دیواره نازک Width (31 µm) from (10-51 µm) like to flax but longer and wider with thin-walled	برجسته/ تکرار شونده (متوالی) Prominent/ frequent	واضح/ تکرار شونده Prominent and frequent	گاهاً Sometimes	پهن و یکدست (هموار) Wide (smooth)	کند و گِرد Tapering ends tend to be blunt
کنف	پهنا ۱۹–۳۸µm از ۱۴–۳۳µm دیواره بی نظم(کنگره‌ای) با پهنای متغیر در طول فیبر Width (19-38 µm) from (14-33 µm) irregular walls with varying width	ضعیف Faint	ضعیف Faint	–	پهنای متغیر در طول فیبر Varying width	نامنظم: نوک تیز گرد تا قاشقی، شاخه‌دار، هلالی و حلزونی ... Irregular: forked, scalloped, scimitar like, spatulate, rounded

بررسی الیاف ساختاری در کاغذهای تاریخی

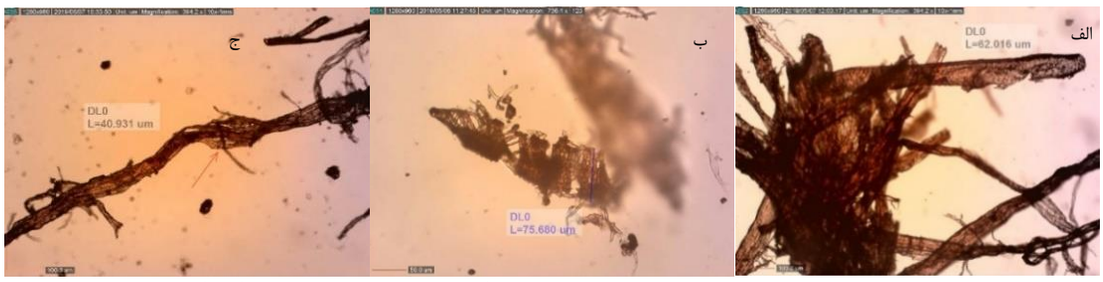
همه نمونه الیاف وابری شده از کاغذهای تاریخی، تحت‌تأثیر معرّف هرزبرگ به رنگ قرمز شرابی ظاهر شدند. این نشان دهنده حضور خمیری از الیاف گیاهی [2] یا پارچه‌ای متشکل از گیاهان کتان، شاهدانه، کنف و پنبه که حاوی مقادیر اندکی از لیگنین هستند [27]. قدیمی‌ترین الیاف کاغذ به نسخه خطی ۳۴۵ متعلق به سال ۴۱۹ (قرن ۵ ه.ق.) مربوط می‌شود که احتمالاً در زمان حکمرانی سلاطین آل‌بویه (عمادالدین، ابوکالیجار و مرزبان) که در مناطقی از عراق عرب، فارس، خوزستان و کرمان فرمانروایی داشتند [34]، کتابت شده است و کاغذهای مشهور به دولت‌آبادی را دارد. در شکل ۱۱، الیاف متعلق به کاغذهای این نسخه آورده شده‌اند. الیاف، نسبتاً راحت باز شدند و در این میان، قطر نسبتاً زیاد فیبرها در بزرگنمایی ۵۰ برابر با موسیلاژهای فراوان گیاهی همراه هستند. این الیاف قطور با بیشترین ضخامت در حدود ۵۲µm گاهاً با برجستگی نامشخص و حفرهٔ لومن باریک و پهن ظاهر می‌شوند. در طول فیبرها، ضخامت‌های متفاوت که عمدتاً در محدودهٔ آماس‌های تخریب شده بیشتر می‌شوند، وجود دارند. خطوط طولی در راستای الیاف سالم مشاهده می‌شوند که سرانجام با راستای باریک به شکل‌های مختلف به نوک گِرد یا تیز ختم می‌شوند که همگی بر الیاف شاهدانه دلالت می‌کنند.



شکل ۱۱: الیاف شاهدانه در خمیر کاغذ دولت‌آبادی ۳۴۵ (قرن ۵ ه.ق): الف) الیاف قطور و پوسته جدا شده از الیاف، ب) برجستگی و راستای خطوط الیاف در نور پلاریزان، ج) و د) انتهای الیاف، ه) حفره لومن پهن و و) آماس آسیب دیده

Fig. 11: Hemp fibers in Dawlatabadi paper pulp 345 (5th century AH): a) Thick fibers and shell separated from fibers, b) Dislocations and longitudinal striations in polarized light, c) and d) Fiber ends, e) Wide lumen cavity And f) damaged swelling

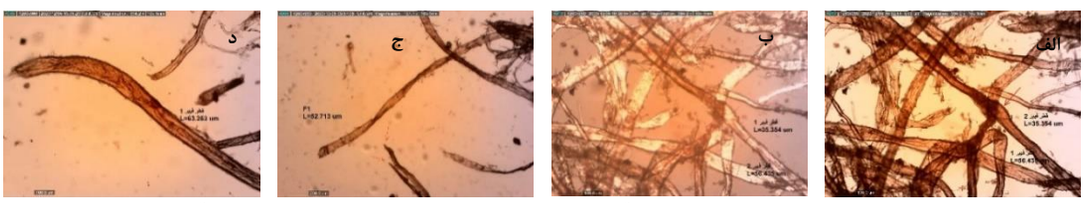
در خمیر کاغذ این نسخه‌خطی، سلول‌هایی همچون عناصر آوندی آبکش و اسپیرال که تخریب شدند، حضور دارند که در کنار سلول‌های کریستالی اگزالات کلسیم در امر شناسایی بسیار مؤثر هستند. با توجه به ضخامت آوند آبکش تخریب شده و شلوغی حفرات آبکش روی آن و وجود کریستال‌های ستاره مانند، حضور الیاف پوستی شاهدانه در تهیه خمیر کاغذ این نسخه خطی پُر رنگ‌تر می‌شود که در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: حضور سلول‌های همراه در کنار الیاف شاهدانه در خمیر کاغذ دولت‌آبادی ۳۴۵ (قرن ۵ ه.ق): الف) آوند آبکش قطور، ب) آوند اسپیرال و ج) سلول‌های کریستالی

Fig. 12: Presence of associated cells along with hemp fibers in Dawlatabadi paper pulp 345 (5th century AH): a) thick pitted vessel element, b) spiral vessel and c) crystal cells

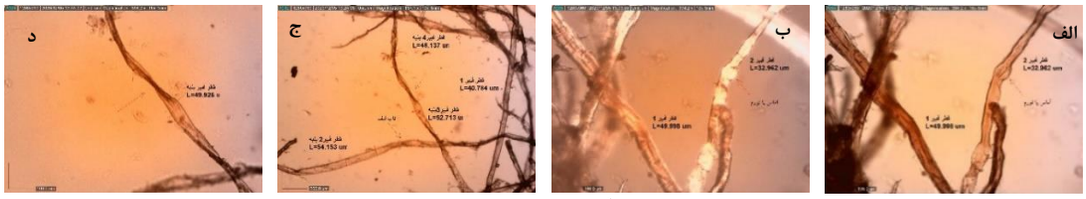
نسخه خطی ۳۶۰۵ که در سال ۶۱۶ (قرن ۷ ه.ق) و احتمالاً در اواخر سلطنت محمد خوارزمشاهی ملقّب به علاءالدین و یا اوایل حکومت منکبرنی خوارزمشاهی ملقب به جلال الدین [34] کتابت شده، بر روی کاغذهایی از جنس دولت‌آبادی نگارش شده است. الیاف وابری (دیفیبره) شده، به راحتی از هم باز شدند که نسبتاً تمیز (بدون موسیلاژهای فراوان گیاهی) مشاهده می‌شوند. الیاف، نسبتاً باریک و کوتاه هستند و آماس و تورم‌های پی در پی آنان را همراهی می‌کنند. برجستگی و خطوط متقاطع نامشخص که در نور پلاریزان نیز نامعلوم هستند، حفره لومن باریک و گاهاً نامشخص و انتهای نوک تیز در فیبرها وجود دارد. علاوه بر این لیف، فیبرهای لینت و لینتر پنبه نیز به صورت مشخص با حالت روبان مانند و مارپیچ برای الیاف لینت و الیاف لینتر با دیواره ضخیم و تقریباً استوانه‌ای با خطوط متقاطع در سطح الیاف مشهود هستند. ضخامت متوسط برای الیاف پوستی که احتمالاً کتان هستند در حدود ۲۱–۴۸μm و برای الیاف لینت و لینتر پنبه به ترتیب در حدود ۵۲μm و ۶۳μm محاسبه شده است که از پهنای گزارش شده برای آنان تجاوز کرده است [19]. بنابراین در خمیر این کاغذ دولت‌آبادی الیاف پوستی کتان و پنبه به کار رفته است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: الیاف پوستی کتان و پنبه در خمیر کاغذ دولت‌آبادی ۳۶۰۵ (قرن ۷ ه.ق): الف) الیاف پنبه و کتان با آماس، ب) الیاف در نور پلاریزان، ج) الیاف روبان مانند پنبه (لینت)، د) الیاف ضخیم و استوانه‌ای پنبه (لینتر)

Fig. 13: Flax bast fibers and cotton fibers in Dawlatabadi paper pulp 3605 (7th century AH): a) cotton fibers and swelling of flax, b) fibers in polarized light, c) ribbonlike fibers such as cotton (lint), d) thicker walls and cylindrical (fibers of cotton (linter)

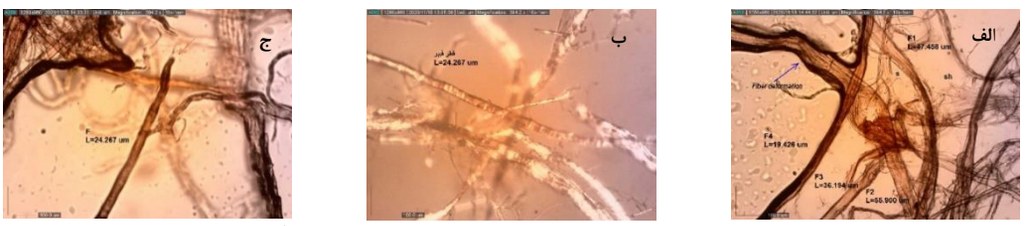
کاغذهای نسخه خطی متعلق به سال ۷۴۵ (قرن ۸ ه. ق) با شماره اموالی ۴۵۱۰ که در آن قانون طب ابن سینا در زمان سلطنت مبارزالدین‌محمدبن‌المظفر (آل-مظفر) و احتمالاً در شیراز نگاشته است [34]، مورد بررسی قرار گرفت. الیاف در وابری (دیفیبره شدن) به راحتی از هم باز شدند و الیافی تمیز (فاقد زوائد گیاهی)، کوتاه و قطور را نمایان ساختند (شکل ۱۴). حضور آماس و تورم در سطح الیاف، خطوط طولی، حفره لومن باریک به صورت خط تیره، انتهای تیز الیاف، به وجود الیاف پوستی کتان اشاره می‌کنند. هر چند که در این نوع الیاف از وجود بندها و خطوط متقاطع مشخص که از ویژگی‌های الیاف پوستی کتان است، خبری نیست و حتی در نور پلاریزان نیز، وضوح اندکی دارند. در میان این الیاف، الیاف لینت پنبه نیز به چشم می‌خورند که پهنایی در حدود ۵۲–۵۴μm را شامل می‌شوند. علی‌رغم پیروی نکردن از ویژگی‌های الیاف پوستی کتان در خصوص بندها، قطر و خطوط متقاطع، فیبرهای مورد استفاده در خمیر این کاغذ دولت‌آبادی ترکیبی از الیاف پوستی کتان و پنبه شناسایی می‌شود.



شکل ۱۴: الیاف پوستی کتان و لینت پنبه در خمیرکاغذ دولت‌آبادی ۴۵۱۰ (قرن ۸ ه.ق): الف) ضخامت‌های مختلف و حفره لومن باریک و حضور آماس، ب) بندها در نور پلاریزان، ج) الیاف پنبه و کتان و د) الیاف پنبه

Fig. 14: Flax bast fibers and cotton lint fibers in Dawlatabadi paper pulp 4510 (8th century AH): a) different thicknesses and narrow lumen and the presence of swellings, b) dislocation (nods) in polarized light, c) cotton and flax fibers and d) cotton fibers

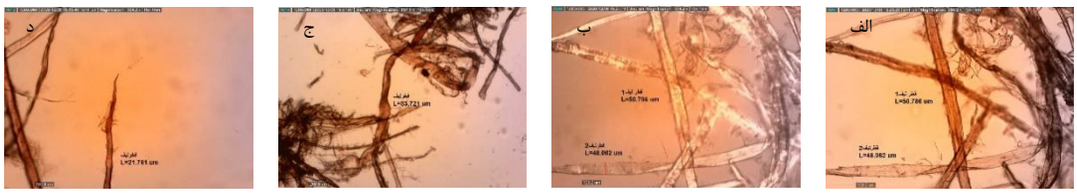
کاغذهای سمرقندی نسخه‌خطی با شماره اموالی ۵۹۰۱، متعلق به سال ۸۷۷ (قرن ۹ ه.ق) مورد بررسی قرار گرفت. فیبرها به راحتی از هم باز شدند که با موسیلاژهای فراوان گیاهی همراه هستند و احتمالاً در اثر فرایند کوباندن و یا پروسهٔ تمیزکاری الیاف در خمیر کاغذ ظاهر شدند. در بزرگنمایی ۵۰ برابر، نسبت قطر الیاف به طول آنان باریک و نازک است. قشر پوسته مانند که مشابه به آن در الیاف کاغذ ۳۴۵ مشاهده شد، در اینجا نیز وجود دارد که به دلیل ضربات کاغذسازی مانع از تشخیص درست آنان می‌شود. در تصویر ب، وجود آماس و بندهای مشخص با خطوط متقاطع ضعیف که تنها در نور پلاریزان قابل رؤیت هستند در میان این الیاف به چشم می‌خورد. ضخامت‌های متغیر با متوسط اندازه ۲۶μm و در مناطق آماس ۵۷μm که به انتهایی با نوک گِرد ختم می‌شوند (تصویر ج)، قابل ملاحظه هستند. هر چند که چنین انتهایی، بیشتر برای الیاف شاهدانه گزارش شده [19]، برای الیاف پوستی کتان نیز ذکر شده است [20].



شکل ۱۵: الیاف کتان در خمیر کاغذ سمرقندی ۵۹۰۱ (قرن ۹ ه.ق): الف) ضخامت‌های متفاوت و آماس، ب) بندهای الیاف در نور پلاریزان و ج) انتهای لیف

Fig. 15: Flax fibers in Samarqandi paper pulp 5901 (9th century AD): a) different thicknesses and swellings, b) fiber dislocations in polarized light and c) fiber ends

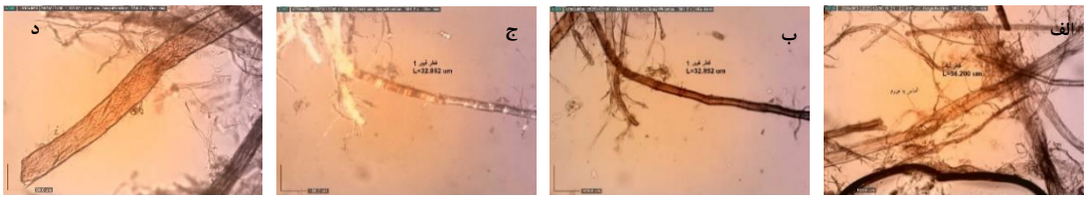
نسخه خطی متعلق به سال ۹۰۴ (قرن۱۰ ه.ق) که در اواخر سلطنت محمود بن ابوسعید (تیموریان) و اوایل پادشاهی اسماعیل (الاول) بن حیدر صفوی [۳۴] استنساخ شده با شماره اموالی ۵۴۷۲، شامل کاغذهایی از جنس ترمه ختایی است که الیاف مورد استفاده در کاغذهای این نسخه خطی در شکل ۱۶ آورده شده است. الیاف به راحتی از هم باز و وابری شدند و در بزرگنمایی ۵۰ برابر الیاف بلند و نسبتاً قطور و تقریباً به دور از موسیلاژهای گیاهی را نمایان می‌سازند. فقدان بندها، خطوط متقاطع و حفره لومن نامشخص، تشخیص نوع لیف پوستی را دشوار می‌سازد. حضور آماس‌های پی در پی و انتهای الیاف که گاهی نوک تیز و گاهی گِرد ظاهر می‌شوند، قابل ملاحظه هستند. ضخامت‌های متفاوت در راستای لیف که آنان را به کتان شبیه ساخته است با پهنای μm ۲۵–۵۰ تعیین شدند. هر چند که فقدان برخی ویژگی‌ها به الیاف پوستی شاهدانه نیز اشاره می‌کنند. در میان این الیاف پوستی، الیافی شبه پنبه نیز مشاهده می‌شوند که ضخامتی در حدود μm ۴۸ را به خود اختصاص می‌دهند اما این الیاف در نور پلاریزان دارای خطوط متقاطع هستند که احتمال پنبه بودن را ضعیف می‌کنند. چنین الیافی با قطر زیاد و تابدار در میان الیاف شاهدانه مشاهده شده است [19]. در مجموع، در الیاف مورد استفاده در کاغذهای ختایی این نسخه‌خطی الیاف پوستی کتان یا شاهدانه شناسایی می‌شوند.



شکل ۱۶: الیاف پوستی کتان یا شاهدانه در خمیر کاغذ ترمه ختایی ۵۴۷۲ (قرن ۱۰ ه.ق): الف) راستای مستقیم و حفره لومن باریک، ب) الیاف تابدار در نور پلاریزان، ج) آماس‌های متوالی و دیواره نامنظم وکنگره‌ای و د) انتهای لیف

Fig. 16: Bast fibers of hemp or flax in Khitai Termeh paper pulp 5472 (10th century AD): a) longitudinal striations fibers and narrow lumen, b) twisted fibers in polarized light, c) successive swellings and irregular and scalloped fiber walls, and d) fiber ends

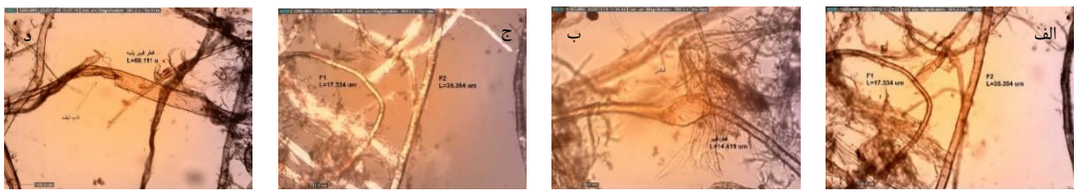
در کاغذ مشهور به ترمه خانبالیغ (خانبالغ) که در کتابت نسخه‌خطی ۳۶ متعلق به سال ۱۰۹۴ (قرن ۱۱ ه.ق) و در زمان سلطنت شاه سلیمان اول و شاه سلطان حسین اول صفوی [34] مورد استفاده قرار گرفته است، الیاف بسیار کوتاه و قطور به کار رفته‌اند. این الیاف بسیار سخت از هم باز و دیفیبره شدند که با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر در شکل ۱۷ همراه با موسیلاژهای فراوان گیاهی قابل مشاهده هستند. الیاف قطور با بندهای برجسته و گاهی بدون حضور بندهای واضح با ضخامت‌های مختلف از μm۱۹–۵۱ و حداکثر در حدود μm۵۶ وجود دارند. خطوط متقاطع که در نور پلاریزان بیشتر نمایان هستند با همراه داشتن آماس‌های تخریب شده و خطوط طولی در راستای لیف با انتهای نوک تیز در الیاف سالم خود نمایی می‌کنند. حفرهٔ لومن در الیاف قطور مشخص نیست و بعضاً با ضخامت زیاد و خطوط طولی، مشابه الیاف رامی به نظر می‌رسد و حتی در برخی از الیاف، حفرهٔ لومن باریک به صورت خط چین مشاهده می‌شود. در میان این الیاف قطور و باریک، الیاف ضخیم با خطوط ضربدری و گاهی تابدار که مشخصهٔ الیاف لینت پنبه هستند، مشاهده می‌شوند. بررسی دقیق تصاویر و تطبیق با گزارش‌های آناتومی از الیاف غیر چوبی نشان داد که خمیر تهیه شده برای ساخت این کاغذ ترمه خانبالغ ترکیبی از الیاف پوستی کتان (اندک)، الیاف پوستی شاهدانه و الیاف پنبه (اندک) است که کاغذ محکم و با دوامی را به وجود آورده است.



شکل ۱۷: الیاف پوستی شاهدانه، کتان و پنبه در خمیر کاغذ ترمه خانبالغ ۳۶ (قرن ۱۱ ه.ق): الف) ضخامت‌های مختلف در راستای لیف، آماس و حفره لومن پهن در الیاف قطور، ب) الیاف با راستای مستقیم و بندهای برجسته، ج) بندهای مشخص در نور پلاریزان و د) الیاف پنبه

Fig. 17: Bast fibers of hemp, flax and cotton in khanbaleq Termeh paper pulp 36 (11th century AD): a) different thicknesses in fiber directions, swellings and wide lumen diameter fibers, b) longitudinal striations and prominent dislocations, c) prominent nods in polarized light and d) cotton fibers

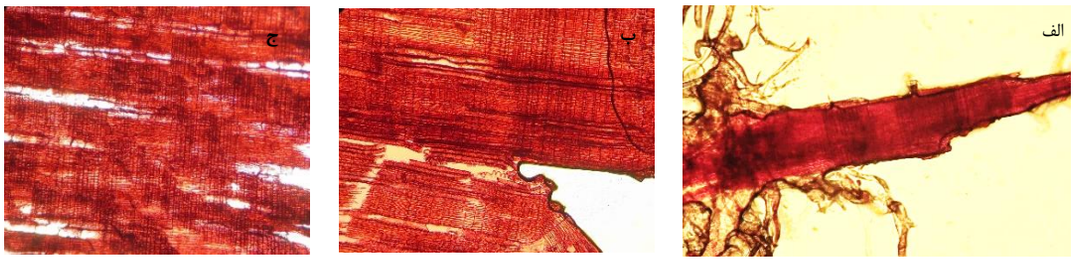
در شکل ۱۸، نمونه الیاف وابری شده از کاغذ سمرقندی ۴۷۶۹ که با رقم مصرح به سمرقندی بودن کاغذ آن اشاره شده، آورده شده است. این نسخه خطی متعلق به سال ۱۱۳۲ هجری قمری (قرن ۱۲ ه.ق.) است و در دورهٔ قاجاریه و زمان سلطنت فتحعلی شاه بن حسینقلی کتابت شده است [34]. خمیر الیاف در فرایند جداسازی، به راحتی از هم باز شدند و حضور موسیلاژهای فراوان گیاهی نسبتاً اندک مشاهده می‌شود. الیاف دارای قطر باریک و بلند هستند که بندهای برجسته و خطوط تقریباً ضعیف متقاطع بر روی آنان در نور معمولی و پلاریزان مشاهده می‌شود. تغییر ضخامت در راستای فیبرهای پوستی در حدود ۱۴–۵۶μm با متوسط ۳۵μm و گاهاً به صورت آماس یا تورم ظهور می‌یابد. در تصویر د، الیاف پنبه نیز به طور مشخصی در خمیر این کاغذ مشاهده می‌شوند.



شکل ۱۸: الیاف کتان و پنبه در خمیر کاغذ سمرقندی ۴۷۶۹ (قرن ۱۲ ه.ق) با رقم مصرح کاغذ سمرقندی: الف) ضخامت‌های مختلف الیاف بلند و باریک کتان،ب) آماس، ج) بندها در نور پلاریزان، د) الیاف پنبه

Fig. 18: Flax and cotton fibers in Samarqandi paper pulp 4769 (12th century AH) with the authorized number of Samarqandi paper: a) Different thicknesses of long and narrow flax fibers, b) swellings, c) Dislocations in polarized light, d) Cotton fibers

همچنین سلول‌های همراه بخش چوبی ساقه گیاه که دربردارندهٔ برش شعاعی از گیاه هستند در خمیر حضور دارند. این بخش که ترتیب سلول‌های اشعه چوبی را نشان می‌دهد به برش شعاعی کنف و شاهدانه شبیه نیست و آن را به الیاف کتان مربوط می‌سازد (شکل ۱۹). خطوط موازی که ترتیب قرار گرفتن اشعه‌ها را نشان می‌دهند در کنف با فاصله بیشتر و در شاهدانه شلوغ‌تر و نامنظم‌تر هستند. همچنین فاصلهٔ کمتری میان آغاز هر دسته خطوط موازی از اشعه‌ها به چشم می‌خورد. حضور این تکه‌ها در خمیر کاغذهای تاریخی نشان می‌دهند که احتمالاً برخی از آنان مستقیماً از الیاف گیاهان (نه کهنه پارچه‌ها) فراهم آمدند. در جدول ۴، الیاف مورد استفاده در کاغذهای تاریخی بر مبنای ویژگی‌های ظاهری (مرفولوژی) و بیومتری آورده شده است (جدول ۴).



شکل ۱۹: مقایسه میان ترتیب قرارگیری اشعه‌ها از برش شعاعی ساقه‌های گیاهی: الف) سلول‌های اشعه داخل خمیر کاغذ، ب) اشعه‌های کنف و ج) اشعه‌های شاهدانه

Fig. 19: Comparison between the arrangement of rays from the radial section of plant stems: a) ray cells in 4769 paper pulp, b) kenaf rays and c) hemp rays

جدول ۴: الیافِ سازندهٔ کاغذهای تاریخی بر پایه ویژگی‌های مرفولوژیکی و بیومتری

Table 4. Fundamental fibers of historical papers based on morphological and biometric properties

کد نمونه Sample code	قرن (ه.ق) Century (AH)	نوع الیاف و سلول‌های همراه Fiber type and associated cells	تشابهات و تناقضات Similarity and contradiction
۴۷۶۹ 4769	12	کتان و لینت پنبه و اشعه‌های چوبی Flax and cotton lint and woody rays	–
۵۹۰۱ 5901	9	کتان و قشر پوستی شبه پنبه Flax and bark layer cotton liked	شباهت به شاهدانه: انتهای لیف، خطوط متقاطع مشخص Similar to hemp: Fiber end, prominent cross marking
۳۴۵ 345	5	شاهدانه، آوندهای آبکش و اسپیرال و کریستال Hemp, pitted and spiral vessel elements and crystal	شباهت به کتان: انتهای لیف، حفرات لومن باریک، بندهای متعدد و واضح Similar to flax: fiber end, narrow lumen, prominent and frequent dislocation
۳۶۰۵ 3605	7	کتان و الیاف لینت و لینتر پنبه Flax and lint and linter cotton fiber	شباهت به کنف: دیوارهای کلفت، کنگره‌ای و برجستگی‌های ضعیف Similar to kenaf: Thick-walled, scalloped and faint dislocations
۴۵۱۰ 4510	8	کتان و لینت پنبه Flax and cotton lint	شباهت به شاهدانه: قطر زیاد الیاف، خطوط متقاطع در سطح لیف Similar to hemp: wider width of fiber, cross marking
۳۶ خانبالغ 36 Khanbaliq	11	کتان، شاهدانه (فراوان) و پنبه Flax, hemp (abundant) and cotton lint	شباهت به کنف: فقدان‌بندها و خطوط متقاطع Similar to kenaf: Lake of dislocation and cross marking شباهت به رامی: قطر زیاد و متجاوز از شاهدانه و داشتن خطوط طولی مستقیم Similar to ramie: wider width of fiber and more than hemp and longitudinal striations
۵۴۷۲ ختایی 5472 Khataie	10	کتان یا شاهدانه و شبه پنبه Flax or hemp and cotton liked	شباهت به شاهدانه:– انتهای الیاف، قطر زیاد الیاف، گاهاً کمبود خطوط متقاطع در سطح لیف و حفرهٔ لومن پهن Similar to hemp: fiber end, wider width of fiber, sometimes lake cross marking and wider lumen

۵. بحث در نتایج و یافته‌ها

نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی الیاف سازندهٔ کاغذهای تاریخی نشان می‌دهند که بیشتر فیبرهای سازنده در نمونه کاغذهای مطالعاتی در قرون ۵، ۷ الی ۱۲ در این پژوهش از فیبرهای پوستی گیاهان کتان و شاهدانه و فیبر لینت حاصل از میوهٔ گیاه پنبه هستند. اگر چه در منابع تاریخی از گیاه کنف نیز در تهیهٔ کاغذهای قدیمی نام برده شده است اما نمونه‌ای از الیاف این گیاه در نمونه‌های مطالعاتی مشاهده نشد. شاید کاغذسازان به تجربه دریافته بودند که الیاف گیاهی کنف نسبت به کتان و شاهدانه دارای لیگنین بیشتر و در نتیجه انعطاف کمتری هستند [19] و الیاف زبر و درشت آن [20] مناسب کاغذسازی نیستند. اما الیاف پوستی شاهدانه، همچنان به تقلید از چینیان [27] در کاغذسازی پارسی و عربی در سرزمین ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همه فیبرهای مورد استفاده در کاغذسازی، از بخش پوستی گیاهان مذکور که موجب استحکام و انعطاف‌پذیری ساقه گیاه می‌شوند و از بخش فلوم ساقه، حاصل می‌آیند که جهت پارچه بافی یا کاغذسازی به روش خیساندن (غوطه‌وری) ساقه‌های رسیده در آب تهیه شدند (بر خلاف گیاه رامی که پوست آن کنده می‌شود) و سپس ساقه‌های خشک شده و تمیز شده از ملحقات آن به صورت دسته‌های بلند جهت ریسندگی آماده می‌شدند [19]. همانطور که بررسی الیاف نمونه کاغذهای مطالعاتی از قرون ۵، ۷ الی ۱۲ ه.ق نشان می‌دهد، اگر چه فیبرهای پوستی هر گیاه دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند، اما الیافی همچون کتان و شاهدانه وجود دارند که نه تنها ویژگی‌های بیومتری آنان از استانداردهای گزارش شده تبعیت نمی‌کند بلکه خصوصیات مرفولوژیکی مشابه به هم و یا تغییر یافته را در طی مراحل تهیه خمیر کاغذ دارند. در بررسی میان ویژگی‌های ظاهری سطح الیاف، در ترکیبات شیمیایی، اندازه و شکل مقطع عرضی فیبرهای پوستی شباهت‌های بسیاری دیده شده است و استناد به مرفولوژی و بیومتری با تردید بیان شده است [21]. این تغییرات بیومتری حتی در مقایسهٔ الیاف گیاهان امروزی با استانداردهای موجود نیز متفاوت هستند. از آنجا که برای تهیهٔ ریسمان‌های گیاهی از فیبرهای پوستی، به ندرت الیاف چوبی و سلول‌های همراه حضور می‌یابند (مگر تخریب بخش‌هایی از زایلم)، بنابراین کار شناسایی الیاف در خمیر کاغذهای تاریخی با دشواری همراه است. بنابراین حضور فیبرهای غیرچوبی بلند و نوک تیز، دیواره‌های نسبتاً باریک و تنوع شکلی پارانشیم‌ها [35] و حضور کریستال‌های اگزالات کلسیم [21] به عنوان سلول‌های همراه در خمیر کاغذهای تهیه شده از گیاهان غیر چوبی، عاملی مهّم در شناسایی الیاف بیان شده است که اکنون در نمونه کاغذهای مطالعاتی در این پژوهش وجود ندارند و یا به ندرت ظاهر شدند. در دسته‌بندی الیاف سازندهٔ کاغذهای تاریخی قرون ۵، ۷ الی ۱۲ ه.ق، الیاف گیاهی کتان، شاهدانه، لینت پنبه مشاهده می‌شود که این الیاف بومی این سرزمین (ایران) هستند. بنابراین همجواری و تقلید این صنعت از چینیان، مواد سازندهٔ متفاوتی را نشان می‌دهد. زیرا که در دوره‌های کاغذسازی چین الیافی از گیاهان بامبو، پوست داخلی درخت توت، موسو بامبو، خیزران، رامی و شاهدانه [27] وجود داشته و نمونه‌هایی از الیاف گیاهی کتان، کنف و پنبه در دوره‌های تاریخی کاغذسازی آنان گزارش نشده است. بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که مواد خام اولیه در هر منطقه تأثیر بسزایی بر روی اسلوب صنایع، به‌خصوص صنعت مورد بررسی در این پژوهش، کاغذسازی در سرزمین پارس داشته است و علی‌رغم حضور پنبه‌زارهای فراوان در ایران، گیاهان کتان، شاهدانه و کنف نیز وجود داشته‌اند که به صورت مواد خام اولیه و یا به صورت فرآوری شده در قالب ریسمان‌ها جهت بافت پارچه‌ها و یا به شکل کهنه پارچه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند [36]. فیبرهای پوستی این گیاهان، الیاف بلند و محکمی را جهت بافت منسوجات و پارچه‌ها فراهم می‌آوردند. پس بعید نیست که همین الیاف گیاهی در ساخت کاغذهای پارسی مورد استفاده قرار گرفته باشند. بنابراین پس از بررسی کاغذهای تاریخی پاسخ سئوال اول چنین داده

می‌شود که؛ بیشترین الیافِ مورد استفاده در کاغذهای تاریخی مورد مطالعه در این پژوهش الیاف شاهدانه، کتان و در دوره‌های متأخر در تلفیق با پنبه هستند. اگرچه تاریخ کاربرد پنبه در آغاز کاغذسازی اروپا درسال ۱۱۰۲ میلادی [3] و بنا بر نظراتی به همراه ساقه‌های برنج (الیاف علفی) و گامپی از قرن ۱۵ میلادی (۹ ه.ق.) گزارش شده است [29] اما در نسخ مطالعاتی این پژوهش با شماره اموالی ۳۶۰۵ متعلق به سال ۶۱۶ (قرن ۷ ه.ق.) و نسخه ۴۵۱۰ متعلق به سال ۷۴۵ (قرن ۸ ه.ق.) این الیاف مشاهده شدند و این یافته تهیه شدن کاغذ در دورهٔ عباسیان و فاطمیان در قرون چهارم و پنجم هجری قمری را با استفاده از کهنه پارچه‌های پنبه‌ای تأیید می‌کند [12]. همچنین نتایج تطبیق الیاف کاغذهای تاریخی قرون ۵، ۷ الی ۱۲ ه.ق با الیاف گیاهان مطالعاتی، پاسخ سئوال دوم را روشن می‌سازند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که فیبرهای پوستی، الیاف اصلی تشکیل دهنده در کاغذهای تاریخی هستند و چنانچه فیبرهای چوبی و سلول‌های همراه در خمیر این کاغذها حضور داشته باشند، امر شناسایی را تسهیل می‌کنند. همچنین ویژگی‌های مرفولوژیکی و بیومتری فیبرهای پوستی موجود در کاغذهای تاریخی از استانداردهای معرفی شده برای گیاهان مطالعاتی در این پژوهش تبعیت نمی‌کنند که این می‌تواند نشان‌دهندهٔ تغییرات ژنتیکی گیاهان از گذشته تا به امروز باشد. نتیجه دیگری که این تحلیل‌ها حاصل می‌آورند، مشابه بودن ساختار کاغذهای مختلف مشهور به سمرقندی، دولت‌آبادی و ترمه (خانبالغ و یا ختایی) در نمونه‌های مطالعاتی این پژوهش است که به لحاظ نوع الیاف سازنده یکسان هستند و دسته‌بندی مشخصی را در دوره‌های مختلف از قرن ۵، ۷ تا ۱۲ ه.ق نداشتند. از آنجا که نام‌گذاری کاغذهای نسخ منتخب در این پژوهش توسط نسخه‌شناسان در موزه ملک نام‌گذاری شده است، به نظر می‌رسد تفاوت کاغذهای سمرقندی و ترمه و .... باید به عوامل دیگری همچون ضخامت، رنگ، نوع قالب ساخت کاغذ و ... بستگی داشته باشد. در حال حاضر در نمونه‌های مطالعاتی از هر نوع کاغذ در این رساله که از قرون ۵ تا ۱۲ ه.ق. انتخاب شدند، الیاف گیاهان کتان یا شاهدانه به تنهایی و یا در ترکیب با یکدیگر و مخلوط با پنبه به کار رفته‌اند. از آنجا که در خمیر این کاغذها، گاهاً سلول‌های همراه و فیبرهای چوبی حضور دارند، چنین نتیجه می‌شود که مادهٔ سازندهٔ کاغذهای تاریخی یا به طور مستقیم از ریسمان‌های پوستی گیاهان تهیه شدند و یا به صورت فرآوری شده از کهنه پارچه‌های فرسوده حاصل از این الیاف پوستی گیاهی بوده‌اند.

٦. نتیجه‌گیری

مطالعات آزمایشگاهی و نتایج حاصله از گیاهان غیرچوبی و تطبیق با چند نمونه الیاف کاغذهای نسخ خطی موجود در مؤسسهٔ کتابخانه و موزهٔ ملی ملک، نشان می‌دهند که الیاف پوستی گیاهان دو لپه‌ای کتان، شاهدانه، الیاف لینت حاصل از میوهٔ پنبه، مواد اولیه و سازندهٔ این کاغذها هستند و حتی ردپای الیاف پنبه در کاغذسازی قرون ۷ و ۸ ه.ق. نیز مشاهده می‌شود. این الیاف چه به صورت الیاف مورد استفاده در پارچه‌های مندرس و چه به صورت ریسمان‌های جدا شده از ساقهٔ گیاهان فوق در کاغذسازی مورد استفاده بودند و به همین علت است که فیبرهای پوستی بیشترین سهم الیاف را در کاغذهای تاریخی به خود اختصاص می‌دهند. حضور فیبرهای چوبی و دیگر سلول‌های همراه در خمیرکاغذهای تاریخی متعلق به قرون ۵، ۷ الی ۱۲ه.ق، در تمایز میان فیبرهای کتان و شاهدانه نقش مؤثری دارد و در کنار استانداردهای بیومتری و ویژگی‌های مرفولوژیکی امر شناسایی الیاف را به روش میکروسکوپی تسهیل می‌کند.

پی نوشت ها

1. Dunhuang
۲. Sogdain؛ این نام برگرفته از واژه سُغد است که ولایتی خَرم از ماوراء النهر محسوب می‌شده است [۱۵].
۳. الیاف گیاهی به اصطلاح علف چینی با نام علمی Boemeria nirea (Urtica)در طی حکومت امپراطوری کائو تسانگ (۶۴۹-۶۸۳ میلادی) است [۳۶].
4. Optical Microscopic
5. Polarized Light Microscopic

میلادی). ترجمه کریم کشاورز. تهران: انتشارات مؤسسه مطالعات و تحقیقات اجتماعی دانشگاه تهران؛ ۱۳۴۴.]

[10] Zarshenas Z. Medicine in Ancient Iran. Quarterly Journal of Medical History. 2009; 1(1). [in Persian].
[زرشناس زهره. پزشکی در ایران باستان. فصلنامه تاریخ پزشکی، ۱۳۸۸. ۱(۱): ۱۷-۸.]

[11] Bahar M. Bundahesh. Tehran: Tous; 2001. [in Persian].
[بهار مهرداد. بندهش. تهران: توس؛ ۱۳۸۰.]

[12] Watson Androw M. Agricultural innovations in the early centuries of Islam. Tr. Naseri F., Kouchaki A. Mashhad: Astan-e-Qods Razavi Pub; 1995. [in Persian].
[واتسون اندرو ام. نوآوری‌های کشاورزی در قرون اولیه اسلام. ترجمه فرشته ناصری و عوض کوچکی. چاپ اول. مشهد: مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی؛ ۱۳۷۴.]

[13] Khafi Shahab al-Din Ab. (Hafez Abrou). Geography book of Hafez Abrou (vol.2) including historical geography of Mediterranean region, Armenia, Farangestan, Jazireh, Iraq, Khozestan and Fars, Introduction, revised by Sajadi S. Tehran: Ayineh Miras, related to Miras Maktoub pub; 1999. [in Persian].
[خوافی(حافظ ابرو) شهاب الدین عبدالله. کتاب جغرافیای حافظ ابرو (جلد دوم) مشتمل بر جغرافیای تاریخی مدیترانه، ارمنستان، فرنگستان، جزیره، عراق، خوزستان و فارس، مقدمه، تصحیح و تحقیق صادق سجادی. چاپ اول. تهران: انتشارات آیینه میراث وابسته به مرکز نشر میراث مکتوب؛ ۱۳۷۸.]

[14] Nasri Heravi Abou Qasem ibn Y. Arshad-o-Zerae (921 AH). Cooperation Moshiri M. Tehran: Amir Kabir Pub;1967. [in Persian].
[نصری هروی ابو قاسم بن یوسف. ارشادالزراعه (در سال ۹۲۱هجری قمری). باهتمام محمد مشیری. چاپ اول. تهران: مؤسسه انتشارات امیرکبیر؛ ۱۳۴۶.]

[15] Ouhadi Beliani T. Sermeh Soleimani (Persian to Persian dictionary). Edited

References

[1] Lienardi A, Damme P V. Manual book of protection, maintenance and restoration of paper. Mashhad: Astan-e-Qods Razavi; 2000. [in Persian].
[لیه ناردی آن، فیلیپ وان دم. راهنمای حفاظت، نگهداری و مرمت کاغذ. مشهد: مؤسّسه انتشارات آستان قدس رضوی؛ ۱۳۷۹.]

[2] Loveday H. Islamic paper: A Study of the Ancient Craft. London: pub; 2001.

[3] Isenberg I. H. Papermaking fibers. Journal of Economic Botany. 1956; 10(2):176-193.

[4] Bloom J. M. Paper Before Print (The History and Impact of Paper in the Islamic World). London: Yale University Press; 2001.

[5] Hunter D. Paper making: The History and Technique of an Ancient Craft. New York: Dover pub; 1978.

[6] Durkin- Meisterenst D, Friedrich M, Hahn O, Helman-Wazny A, Noller R, Raschmann Simone- Ch. Scientific methods for philological scholarship: Pigment and paper analyses in the field of manuscriptology. Journal of cultural heritage. 2015; 17:7-13.

[7] Porter Y. Painters, paintings and book: an essay on Idno- Persian technical literature, 12-19th Centuries. Tr. Rajabi Z. Tehran: Matn works of art pub. 1994. [in Persian].
[پورتر ایو. آداب و فنون نقاشی و کتاب‌آرایی. برگردان زینب رجبی، تهران: نشر آثار هنری متن؛ ۱۳۸۹.]

[8] Afshar Iraj .Paper on Iranian Life and Culture. Tehran: Written Heritage; 2011. [in Persian].
[افشار ایرج. کاغذ در زندگی و فرهنگ ایرانی. تهران: میراث مکتوب؛۱۳۹۰.]

[9] – Petrushevsky E p. Agriculture and land relations in Iran in Mongol era (centuries 13 & 14). Tr. Keshavarz K. Tehran: social research and studies institute of Tehran University pub; 1965. [in Persian].
[پطروشفسکی ایلیا. پ. کشاورزی و مناسبات ارضی در ایران عهد مغول (قرن‌های ۱۳و ۱۴

Hemp and Jute. Journal of Ultramicroscopy 2010; 110: 1192-1197.

[22] Haugane E, Holts B. Flax look-alikes: Pitfalls of ancient plant fiber identification. Archaeometry 2014; 56: 951-960.

[23] Hosseini S Zia-ud-D. Morphology of fibers in wood and paper pulp. Gorgan: University of Agricultural Sciences and Natural Resources Pub; 2000. [in Persian].

[حسینی سید ضیاءالدین. مرفولوژی الیاف در چوب و خمیر کاغذ. گرگان: انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ ۱۳۷۹.]

[24] Franklin G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. Nature 1945; 155(3924): 51-59.

[25] National Standard of Iran 9718. Paper and cardboard - analysis of paper and cardboard fibers - test method. Tehran: Iranian Institute of Standards and Industrial Research 2007; 48-1. [in Persian].

[استاندارد ملی ایران۹۷۱۸. کاغذ و مقوا- آنالیز الیاف کاغذ و مقوا- روش آزمون. تهران: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران؛ ۱۳۸۶، ۴۸-۱.]

[26] Dilek Dogul A, Grabner M. A staining method for determining severity of tension wood. 2010; 381-392.

[27] Shi Ji-l, Li T. Technical investigation of 15th and 19th century Chinese paper currencies: Fiber use and pigment identification. Journal of Raman spectroscopy 2013; 892- 898.

[28] Van Schaik S, Helman- Wazny A, Noller R. Writing, painting and sketching at Dunhuang: assessing the materiality and function of early Tibetan manuscripts and ritual items. journal of Archaeological Science 2015; 53: 110-132.

[29] Yum Hyejung. Traditional Korean paper-making: history, techniques and materials. Doctoral thesis, Northumbria University; 2008.

[30] Pickering Kim L. Properties and performance of natural-fiber composites. England: The Institute of

by Moddbari M. Tehran: University Publishing Center; 1985. [in Persian].

[اوحدی بلیانی تقی‌الدین. سرمه سلیمانی (فرهنگ فارسی به فارسی). به تصحیح و حواشی محمود مدبّری. تهران: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۳۶۴.]

[16] Kiani Deh Kiani S, Kiani Qaleh Sardi F. Investigation of forgotten fibrous plants (jute, ramie, kenaf, hemp). International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges focusing on agriculture, natural resources, environment and tourism; 2014. Tabriz. [in Persian].

[کیانی ده کیانی صمد، کیانی قلعه سردی فریدون. بررسی گیاهان لیفی فراموش شده (ژوت، رامی، کنف، شاهدانه). کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری. تبریز؛ ۱۳۹۳.]

[17] Shabanalizadeh F. Replacement of fibers of core and stem of kenaf with broadleaves to make MDF. Gorgan: University of agricultural science and natural resources; 2011. [in Persian].

[شعبانعلی‌زاده فهیمه. امکان جایگزینی الیاف مغز و ساقه کنف با الیاف پهن برگان در ساخت MDF. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: دانشکده مهندسی چوب و کاغذ.۱۳۹۰.]

[18] Malekian H. Identification of fibers of old paper samples of Samarqandi. Isfahan: Atr University; 1995. [in Persian].

[ملکیان حمید. شناسایی الیاف نمونه‌های کاغذهای قدیمی سمرقندی. پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، اصفهان: دانشگاه هنر : دانشکده حفاظت و مرمت؛ ۱۳۷۴.]

[19] [19] Sisko Mو Pfaffli I. Fiber Atlas Identification of Papermaking Fibers. New York: College of Environmental Science and Forestry Syracuse; 1995.

[20] Catling M. D, Grayson E. J. Identification of Vegetable Fibers. London and New York; 1982.

[21] Bergfjord Ch, Holst B. A procedure for identifying textile bast fibers using microscopy: Flax, Nettle/Ramie,

Materials, Minerals and Mining, Cambridge; 2008.

[31] Hans Krassig. A. Cellulose structure, Accessibility and Reactivity. second edition, Gordon and Breach science pub; 1996. (Accessed: 28/08/2019) https://books.google.com/books

[32] Lewin M. Handbook of fiber Chemistry. New York: Boca Raton London New York; 2007.

[33] Wakelyn Phillip J., Bertoniere Noelie R., Dexter French A, Thibodeaux Devron P., Triplett Barbara A., Rousselle Marie-A, Goynes Wilton R., Vincent Edwards Jr., J, Hunter L, McAlister David D., Gamble Gary R. Cotton Fiber Chemistry and Technology. Boca Raton London New York: International Fiber Science and Technology; 2007.

[34] Shariyatzadeh Ali A. Territory Coins of Iran (Collection of coins of Malek Astan Quds Museum). Tehran: Cultural Institute of Pazineh Pub; 2011. [in Persian]

[شریعت‌زاده علی اصغر. سکه‌های ایران زمین (مجموعه سکه‌های موزه ملک آستان قدس). تهران: مؤسسه فرهنگی انتشاراتی پازینه؛ ۱۳۹۰.]

[35] Nikseresht Sigaroudi Mohammad R, Safdari Vahid R, Sepideh Dam Mohammad J, Hosseini Hashemi Seyed Kh. Investigation of the most important anatomical features in the identification of paper fibers. Iranian Journal of Wood and Paper Sciences Research 2011; 26(3): 563-545. [in Persian]

[نیک‌سرشت سیگارودی محمد رضا، صفدری وحید رضا، سپیده دم محمّد جواد، حسینی هاشمی، سید خلیل. بررسی مهمترین ویژگی‌های آناتومی در شناسایی الیاف کاغذ. فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران ۱۳۹۰؛ ۲۶(۳): ۵۶۳–۵۴۵.]

[36] Karabacek Joseph V. Arab paper. London: 1991.