Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

Journal of Research on Archaeometry 2024; 10 (2); 225-242

Journal of Reserarch on Archaeometry

DOI: http://dx.doi.org/10.61882/jra.10.2.408

Original Paper Open Access

The Structural and Appearance Characteristics of two Manuscripts from the 5th Century AH Belonging to Malek National Library and Museum Institute

Mohadeseh Hosseini Someah[1,*], Mehrnaz Azadi Boyaghchi[2], Kambiz Pourtahmasi[3], Maryam Afsharpour [4], Samad Nejad Ebrahimi[5]

1. PhD, Conservation Department, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Conservation Department, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
3. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran
4. Associate Professor, Chemistry & Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, Iran
5. Assistant Professor, Phytochemistry Department, Shahid Beheshti University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2024/04/26 Accepted: 2024/09/25

Abstract

The first historical papers in their most primitive form provide valuable information from their manufacturing technology and are still being researched. This research aims to investigate the structural and appearance characteristics of the papers of two early manuscripts belonging to the 5th century AH. For this purpose, library studies provided descriptive information about historical papers, and the existence of organic and mineral substances was determined through optical and polarizing microscopic, microchemical and SEM_EDX tests. The visual and appearance characteristics of the papers were checked using colorimeters and light sheets. The results show that the fibers of flax and hemp plants are the basic fibers and their accompanying cells are the side fibers of the material in the papers of this manuscript. The presence of accompanying plant cells such as vessels and parenchyma in these papers confirms the use of the plant itself in preparing the papers of these manuscripts. Minerals in SEM images and in matching with EDX data show the presence of calcium carbonate (lime) and possibly white soil or alkaline Shokhar substance, which have a different structure from the shape of plant star crystals of hemp calcium oxalate. The absence of chain lines, the presence of deviated parallel lines with a large distance from each other, and the non-uniform distribution of pulp in the papers of both manuscripts indicate the first paper-making molds. The thickness of the papers in the cross-section is relatively high and the surface coating of both papers is made of wheat and rice starch. The paper of manuscript 5922 is darker than the self-colored paper of 345 manuscript. Also, this manuscript has iron stains and benefits from a lower amount of rice starch at the surface of own papers.

Keywords:

Historical paper, Mold papermaking, paper structure, paper appearance, Paper fibers, Mineral filles

* Corresponding Author: m.h.somea@gmail.com

©2024 by the Authours.This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

Introduction

The first papers appeared after the advent of Islam in the 4th century AH (10th AD). The unknown pulp of historical papers led to the use of new examination methods to discover the internal and external structure of historical papers.

Materials and Methods

Varity types of light microscopy, polarizing and electron microscopy (SEM) methods were used (Yum, 2008; Hajji et al., 2015). Using Herzberg and Lugel's microchemical reagents and matching with botanical standards, the fiber structure was investigated. The structure of minerals in paper pulp was determined by (EDS) analysis. Colorimetry and light sheets were used for the appearance of the papers.

Results

The light sheet in paper sample 345 only show the laid lines of the papermaking molds that have deviated from their straight path (Figure 1). The distance of laid lines from each other is 1 mm and the number of lines is 7 in 1 cm. The non-uniformity of the pulp of paper fibers is evident and the thickness of the paper is 0.14 mm (149.41 μm) in the (SEM) images. Optical and polarizing microscope images show fibers with an average diameter of 44-11 μm and sometimes up to 65 μm with indistinct dislocation, lumen cavity with different widths and the end of the round or sharp tip of the fibers and the presence of calcium oxalate crystals (Figure 5). Also, elemental analysis (EDS) has determined carbon, oxygen, sodium, chlorine, calcium, lead, potassium, magnesium, sulfur, and phosphorus as the most to least elements (Table 7) and (Figure 11). In paper's manuscript 5922, the laid lines are deviated from their alignment and the pulp is not uniform. These lines can be seen in the number of 7 to 8 per 1 cm of the paper surface (Figure 2). Electron microscope (SEM) images show the thickness 0.20 mm (204.84 μm) and calcium oxalate crystals are evident in the fibers. A light brown color and red dots can be seen on the paper surface (Table 4,5) which proved the presence of iron in the elemental analysis (EDS) (Table 2) and (Figure 3). The length of fibers varies in width from the lowest to the highest size of 10-82 μm, with the characteristic of weak dislocations and sometimes wide lumen cavity, which indicate hemp, and narrow fibers with a thin lumen narrow, dislocations, cross-markings, longitudinal striations, and swelling with a width of about 24-45 μm indicate flax. The presence of parenchyma with blunt corners, epidermis, phloem vessels with a diameter of 45 μm, and sometimes the presence of wood fibers with separate and distinct and wide holes in the pulp of the fibers are observed, which belong to hemp plant fibers (Figures 6,7). The elemental analysis in order from the most to the least element identified carbon, oxygen, calcium, sodium, potassium, chlorine and sulfur (Table 7) and (Figure 11).

Discussion

The results of light sheet show that both papers have primary papermaking mold (Table 3). Features such as the absence of chain lines, widely spaced laid lines, the number of laid lines that were between 8 and 10 cm and the line width decreased by 0.5 mm and deviation from straight lines are present in the papers of this manuscript, which are characteristic of papers before the 6th and 7th centuries AH (Roger & Hazem, 2009; Moqbel Isfahani, 2001).The data of the Image J software show less surface coating of rice starch on the 5922 papers (Figures 8,9,10) and (Table 6). Electron microscope images show the type of starch used in the papers of these two manuscripts, which appear as granules of varying sizes, either separately or attached to each other in the cross-section of the paper samples (Figures 9 and 10). In general, the starch structure consists of granules with amylose and amylopectin inside. The size, shape, surface area of the granules, and the amount of amylose and amylopectin they contain depend on the plant source of the starch (Godarzi & Abdullahzadeh, 2019). The shape of the large granules is like a disk or lens, and the small granules are spherical or oval (Qandehari Alavija et al., 2021). In paper 345, wheat starch with relatively large and small granules of different sizes covers the surface of the papers with a layer 40.75 μm thick. This surface coating is almost uniform and is accompanied by burnished sizing. In both papers bast fibers and accompanying cells of non-woody plant of hemp and flax are used (Figures 5,6,7). Associated cells in paper pulp such as vessel, epidermis and parenchyma effective in better distinguishing between non-woody plants such as flax and hemp (Bergfjord & Holts, 2010; Catling & Grayson, 1982; Sisko,1995). Also, calcium oxalate crystals (CaC_2O_4, CaO_X) and lime are observed among them (Figures 12). Scanning electron microscope images confirm the type of mineral crystals of settled lime water (Ca (OH2)) alongside star-shaped (cluster) crystals (Faheed et al., 2013; Guggiari et al., 2011) of calcium oxalate (Figure 12). The elemental analysis (EDS) of the mineral structure of both papers shows the presence of minerals, which is probably caused by the presence of bleaching agents such as lime (CaO), probably Schokhar and Huntite ($Mg_3Ca\ (CO_3)_4$).

Conclusion

The results show that the appearance of historical papers in two manuscripts 345 and 5922 belonging to the 5th centuries A.H. followed the pattern of early paper-making molds. In terms of color, the papers of manuscript 5922 are darker and more yellow and red and contain iron element. The surface coating of sizing in 345 paper's manuscript is wheat starch and in manuscript's 5922 it is rice starch. The internal structure of the papers of these two manuscripts

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

are hemp and flax plant fibers. The mineral elements found in the structure of the papers are evidence of lime, sodium chloride, calcium oxalate crystals, Huntite or alkaline substances.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

پژوهه باستان سنجی، ۱۴۰۳؛ ۱۰ (۲): ۲۴۲-۲۲۵

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: http://dx.doi.org/10.61882/jra.10.2.408

مقاله پژوهشی | دسترسی آزاد

ویژگی‌های ساختاری و ظاهری کاغذهای دو نسخه‌خطی قرن ۵ هجری قمری متعلق به کتابخانه و موزه 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، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشیار، گروه مرمت آثار ، دانشکده 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، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۴

چکیده

نخستین کاغذهای تاریخی در ابتدایی‌ترین شکل، اطلاعات ارزشمندی را از فنّاوری ساخت خود حاصل می‌آورند و همچنان مورد تحقیق و بررسی‌اند. هدف این پژوهش بررسی ویژگی‌های ساختاری و ظاهری کاغذهای دو نسخه‌خطی اولیه متعلق به قرن ۵ ه.ق است. برای این منظور مطالعات کتابخانه‌ای، اطلاعات توصیفی پیرامون کاغذهای تاریخی را فراهم آورد و از طریق آزمون‌های میکروسکوپی نوری و پلاریزان، میکروشیمیایی و دستگاهی SEM_EDX ماهیت وجودی مواد آلی و معدنی تعیین گشت. ویژگی بصری و ظاهری کاغذها با استفاده از دستگاه‌های رنگ‌سنجی و صفحات نوری بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند که الیاف گیاهان کتان و شاهدانه الیاف پایه‌ای و سلول‌های همراه آنان فیبرهای جانبی ماده سازنده در کاغذهای این نسخ خطی هستند. وجود سلول‌های همراه گیاهی همچون آوندها و پارانشیم‌ها در این کاغذها مؤید استفاده از خود گیاه در تهیه کاغذهای این نسخ خطی است. مواد معدنی در تصاویر SEM و در تطبیق با داده‌های EDX وجود کربنات کلسیم (آهک) و احتمالاً گل سفید و یا ماده قلیایی شُخار را نشان می‌دهند که ساختاری متفاوت از شکل کریستال‌های گیاهی ستاره‌ای اگزالات کلسیم شاهدانه دارند. پراکندگی غیریکنواخت الیاف در خمیر کاغذهای این دو نسخه‌خطی، عدم وجود خطوط زنجیره‌ای و حضور خطوط موازی ناشی از اثر خطوط قالب کاغذسازی که از راستای مستقیم منحرف شده‌اند و با فاصله زیاد از یکدیگر قرار گرفته‌اند مبیّن اولین قالب‌های کاغذسازی هستند. ضخامت کاغذها در مقطع عرضی نسبتاً زیاد است و پوشش سطحی هر دو کاغذ از آهار نشاسته گندم و برنج برخوردار است. کاغذ نسخه خطی ۵۹۲۲ تیره‌تر از نسخه خود رنگ ۳۴۵ است و دارای لکه‌های آهن‌دار است و از میزان کم آهار نشاسته برنج بهره‌مند شده است.

واژگان کلیدی

کاغذ تاریخی، قالب کاغذسازی، ویژگی‌های ساختاری کاغذ، ویژگی‌های ظاهری کاغذ، الیاف کاغذ، پرکننده معدنی

*مسئول مکاتبات: m.h.somea@gmail.com

©2024 by the Authours.This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

۱. مقدمه

کاغذ به‌عنوان مهم‌ترین بوم نوشتاری سهم ارزنده‌ای در انتقال تمدن، فرهنگ و هنر ایرانی– اسلامی داشته است. بسیاری از محققین پیشینه این هنر و صنعت در ایران را به قبل از اسلام نسبت می‌دهند (گرابر، ۱۳۹۰: ۳۵) و تاریخی به سال ۱۳۴ ه.ق (۷۵۱ م) که عمدتاً آثار مانوی و به زبان پهلوی اشکانی و جنسی از کاغذِ سمرقندی است (حسینی صومعه و دیگران، ۱۳۹۶: ۲). امّا دوران شکوفایی این صنعت بعد از اسلام متجلّی می‌گردد و اشاره به کاغذخانه‌هایی که پیش از حکومت خلفای بنی‌امیّه در خراسان وجود داشته و احتمالاً ورقِ چینی را خراسانیان به‌دست آورده‌اند (مایل هروی، ۱۳۸۰: ۲۵۴). تولید کاغذ از قرن دوّم ه.ق (هشتم.م) آغاز شده بود (Loveday, 2001) اما نمونهٔ آشکارا و به معنایِ واقعی کاغذ، طی قرن چهارم ه.ق (دهم م) در ایران پدیدار گشت (دروش و همکاران، ۱۳۷۹: ۳۹). این کاغذ به‌عنوان نخستین کاغذ ایرانی، توسط سلطان علی مشهدی در صراط السطور مرغوب‌ترین کاغذ و به نام کاغذ سمرقندی معرفی شده است (پورتر، ۱۳۸۹). دومین کاغذ، کاغذ بخارایی است و سپس کاغذِ خانبالغ که در قرن پنجم ه.ق (۱۱ م) در ایران تولید و حتی صادراتی به چین بوده و از ویژگی‌های ظاهری آن کاغذهای روشن، متراکم و بافت نازک‌تری نسبت به کاغذ چینی داشته است و از صمغ عربی به‌عنوان آهار بهره‌مند بوده است (بحرالعلومی، ۱۳۹۲). با شکل‌گیری رویکردهای آزمایشگاهی در سال ۱۹۳۹ میلادی به شناخت فنی آثارِ کاغذی، مطالعات بسیاری پیرامون ساختار کاغذها، فرآیند تولید، مواد اولیه و آهار و غیره صورت گرفت. مطالعات میکروسکوپ نوری گتنز بر روی نسخه‌خطی قرن پنجم ه.ق (۱۱ م) و شناسایی مواد ساختاری گیاهان علفی و بامبو (گِتنز، ۱۳۸۹) یافته‌های دان بکر از کاربرد الیاف کتان و سپس شاهدانه (Loveday, 2001) نشان از ساختار اولیهٔ کاغذهای تاریخی دارند. استفاده از میکروسکوپ‌های پلاریزان (PLM) با نور قطبیده شده (تفرق یافته) برای تفاوت میان الیافِ گیاهان کتان و شاهدانه در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ پیشنهاد شد (Haung & Holts, 2014; Bergfjord & Holts, 2010). میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌بینی پاشنده انرژی اشعه ایکس (SEM_EDS) جهت بررسی مرفولوژی و سطح ساختاری کاغذهای تاریخی و الیاف استفاده‌شده و با الحاق به EDX ساختار عناصر فلزی و معدنی در کاغذها را آشکار نمود (Van Schaik et al., 2015). چنانچه نیاز به تعیین فازها، ساختمان کریستال‌ها و دیگر پارامترهای ساختاری در کاغذها باشد، آنالیز دستگاهی پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده گشت (Hajji et al., 2015). در سال ۲۰۱۱ برای بررسی سطحِ حساس کاغذهای تاریخی از آنالیزهای (TOF-SIMS) و طیف‌بینی فتوالکترون اشعه ایکس (XPS) استفاده شد. روش نخستین، مرفولوژی سطحِ الیاف، آنالیز کاغذها و مواد تشکیل دهندهٔ آنان شامل ژلاتین و آلوم را نشان داد و XPS نیز علائمی از تخریب الیاف سلولز را که از ژلاتین پوشیده نبودند، ظاهر نمود (Benetti & Marchettini, 2011). این پژوهش نیز بر آن است تا با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و دستگاهی، شناسایی دقیقی از ظاهر و مواد ساختاری کاغذهای دو نسخه‌خطی قدیمی موجود در کتابخانه و موزهٔ ملی ملک را ارائه دهد؛ زیرا این دو نسخه به‌عنوان اولین نمونه‌های کاغذهای ایرانی– اسلامی موجود، اطلاعات ارزشمندی را از مواد ساختاری درونی، ظاهری و ویژگی‌های شیوهٔ ساخت خود ارائه می‌دهند؛ بنابراین سؤالاتی پیرامون یافتن این اطلاعات در زیر شکل می‌گیرد؛

– به لحاظ ظاهری چه تفاوت و شباهت‌هایی میان این دو کاغذ وجود دارد و چه اطلاعاتی از شیوه ساخت آنان استنباط می‌شود؟

– چه ساختاری از مواد شیمیایی معدنی و آلی (گیاهی) در ساخت این کاغذهای اولیه متعلق به قرن ۵ ه.ق به کار رفته است؟

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. معرّفی نمونه‌ها

نسخه‌خطی با شماره اموالی ۳۴۵ متعلّق به موسسه کتابخانه و موزه ملی ملک با عنوان «دیوان الادب و میزان کلام العرب» به زبان عربی و با موضوع واژه نامه‌ها است. پدیدآور این نسخهٔ‌خطی ابوابراهیم اسحاق ابن ابراهیم ابن فارابی است که در تاریخ ۳۷۸ هجری قمری فوت نموده و خطاط آن حمزه ابن عبدالعزیز مقشری که تاریخ تولّدش قرن ۴ ه.ق است. این نسخه خطی دارای رقم مصرح کتابت به سال ۴۱۹ ه.ق (قرن ۵ ه.ق) است. خط آن نسخِ معرّب و جنس کاغذها از نوع دولت‌آبادی تشخیص داده شده است. تعداد سطرها ۲۰ –۲۳، طول و عرض کاغذها به ترتیب ۲۱/۹ cm و ۱۸/۲ است. این نسخه‌خطی توسط اعتضادالسلطنه به معتمدالسلطنه فرهاد میرزا اهداء شده است. دوّمین نسخه‌خطی مربوط به نسخه‌ای با شماره اموالی ۵۹۲۲ موجود در موسسه کتابخانه و موزه ملّی ملک است. عنوان این نسخه‌خطی اجازه ابوعلی ابن مَسکَویه به ضیاءالدین ابومنصور یحیی‌بن حسین‌بن علی است که مضامین حدیث و اجازه‌ها را دربر دارد. پدیدآور این نسخهٔ‌خطی احمدبن محمد ابن مسکویه (۴۳۱ ه.ق) و خطاط آن غیاث الدّین محمدبن حمدویه است که با خطی بین کوفی و نسخ که در سال ۴۱۰ ه.ق رواج داشته، نگاشته است. تعداد سطرها ۱۵ عدد، طول و عرض کاغذها به ترتیب ۱۹ cm و ۱۴/۱ است. این نسخه دارای تاریخ استنساخ قبل از بازهٔ زمانی اواخر عصر غزنوی است و با توجه

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

به نوع خط، متعلق به قرن ۵ ه.ق است (افشار و دیگران، ۱۳۷۱: ۱۰۵). در این پژوهش، نمونه کاغذها با پیشوند D-۳۴۵ و T-۵۹۲۲ به ترتیب برای کاغذ دولت‌آبادی و ترمه با شماره اموالی نسخ در طول پژوهش معرفی می‌شوند (جدول ۱).

جدول ۱. معرّفی نسخ خطی مورد مطالعه

Tab 1. Introduction of Studying Manuscripts in this research

ردیف No.	کُد نمونه Sample's code	نام نسخ خطی Manuscript title	شماره اموالی Property number	تاریخ Date of scribe: year (A.D)	زبان ، نوع خط و نوع کاغذ Type: Language, Calligraphy, paper
1	D-345	دیوان الادب و میزان کلام العرب Diwan al-Adab and Mizan Kalam al-Arab	345	سال 419- قرن پنجم هجری قمری 1028 (A.D)	عربی، نسخ معرب و کاغذ دولت‌آبادی Arabic, Arabian Naskh, Dawlatabadi
2	T-5922	ابن مسکویه Ibn al-Moskawieh	5922	اواخر دورهٔ غزنوی The least of Ghaznavid period	عربی، بین کوفی و نسخ و کاغذ ترمه Arabic, between Naskh and Kufi, Termeh

۲-۲. بررسی کیفیت ظاهری کاغذها: آزمون رنگ‌سنجی، صفحات نوری و میکروسکوپ دیجیتالی

به‌منظور بررسی ویژگی‌های ظاهری در کاغذهای این دو نسخه خطی، از دو آزمون رنگ‌سنجی و صفحات نوری استفاده شد. در نخستین روش شباهت‌ها و تفاوت‌های رنگی موجود در دو کاغذ با دستگاه رنگ‌سنج ساخت شرکت Salutron کشور آلمان، مدل Color Alpha سنجیده شد که برحسب CIE l* a* b* با تکرار ۳ مرتبه اندازه‌گیری برای هر نمونه از طریق روابط فرمول ۱ محاسبه گردید:

فرمول ۱: $\Delta L = L_2 - L_1, \Delta a = a_2 - a_1, \Delta b = b_2 - b_1, \Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$

در این رابطه، مولفهٔ L روشنایی/ تیرگی از صفر تا صد است که مقادیر مثبت dL گویای افزایش روشنی و مقادیر منفی نشان دهنده کاهش روشنی و یا افزایش تیرگی است. مولفهٔ b مربوط به میزان زردی/آبی در نمونه‌هاست که مقادیر مثبت db افزایش زردی و مقادیر منفی افزایش آبی را می‌رساند. مولفهٔ a بازگوکننده میزان قرمز/ سبز است و مقادیر مثبت da نشان دهنده افزایش قرمزی و مقادیر منفی آن گویای افزایش سبز است و در نهایت dE نیز تفاوت رنگی کلی را نشان می‌دهد (Cocca et al., 2011). مستندنگاری با صفحات نوری کیفیات سطحی کاغذ اعم از؛ تراکم خمیر کاغذ و یکنواختی آن، الیاف ضخیم و منفرد در سطح کاغذ، فرم خطوط قالب یا توری کاغذسازی (Meisterenst et al., 2015) ته نقش‌ها و هرگونه علائم پنهان در کاغذها را آشکار می‌کند. با تاباندن نور به پشتِ صفحاتِ کاغذ با استفاده از صفحهٔ نوری ساخت شرکت CTS ایتالیا، مدل L3002 و مستندنگاری با دوربین Canon مدل G16 به همراه با میکروسکوپ دیجیتالی Dino Lite کیفیات کاغذ اندازه‌گیری و بررسی شد.

۲-۳. بررسی کیفی و کمیّ ساختار کاغذها

آزمون‌های میکروشیمیایی معرف هرز برگ و لوگل، آزمون مرفولوژی الیاف و مواد معدنی ساختاری با میکروسکوپ نوری (OM) و پلاریزان (PLM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به پراش اشعه ایکس (SEM_EDX) در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی نوع الیاف (مرفولوژی) در خمیر کاغذهای تاریخی با آزمون میکروشیمیایی نقطه‌ای معرف هرزبرگ انجام شد که ترکیبی از محلول یدید در محلول کلریدروی است (Dilek & Grabner, 2010) و معرف رایج برای شناسایی و تفکیک الیافی غیرچوبی از الیاف چوبی است که با توجه به مقادیر متفاوت لیگنین در الیاف رنگ‌های مختلفی را ایجاد می‌کند (Shi & Li, 2013). برای این منظور به‌طور تصادفی نمونه‌های اندکی از کاغذهای نسخه‌خطی برداشته و پس از ۲۰ دقیقه جوشاندن در آب مقطر تخلیه و در حالت نیمه مرطوب، چند قطره معرّف هرزبرگ افزوده شد و تغییرات رنگی در نور طبیعی گزارش گردید (Van Schaik et al., 2015). برای شناسایی میکروسکوپی الیاف کاغذهای دفیبره شده با متیل بلو(آبی) و یا سافرانین رنگ‌آمیزی شدند. برای وابُری کامل الیاف در حین جوشاندن، یک قطره محلول هیدروکسید سدیم ۱ ٪ افزوده و سپس الیاف با آب‌مقطر چند مرتبه شستشو داده شدند و در ادامه یک قطره اسیدکلریدریک رقیق ۲ ٪ اضافه گشت و مجدداً چند بار شستشو و سپس رنگ‌آمیزی انجام شد. اسلایدهای رنگی پس از فیکساسیون با چسب مخصوص با میکروسکوپ‌های نوری و پلاریزان با استانداردهای منطبق بر ریخت‌شناسی الیاف (Paper,

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

cardboard and paper pulp (8981), 2006; Ilvessalo-Pfäffli,1995) تطبیق و مقایسه شدند. میکروسکوپ نوری و (عبوری– انعکاسی) MEIJI مدل MT 8100 در بزرگنمایی X ۵۰ و X۱۰۰و X ۲۰۰ با نور ساده و پلاریزان در این آزمون مورد استفاده قرار گرفت. همچنین معرّف لوگل که به شناساگر یُد (Stuart, 2007) معروف است و از ترکیب مقدار ۳/۶ گرم یدید پتاسیم محلول در ۵ml آب‌مقطر به همراه ۰/۱۳g یُد خالص و رسیدن به حجم ۱۰۰ml تهیه می‌گردد برای آزمون میکروشیمیایی آهار استفاده شد که در صورت حضور نشاسته رنگ آبی– بنفش را ظاهر می‌سازد (Odegaard et al., 2005). کلیه مواد و ترکیبات این آزمون‌ها در فرم تجاری Merck به کار رفتند. از میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت ارزیابی سطح و ضخامت کاغذ، اندازه و ساختار الیاف، پوشش‌دهی میزان آهار و همچنین نمایش بزرگنمایی کریستال‌های اگزالات کلسیم و سایر ساختارهای معدنی استفاده شد (Hajji et al.,2015; Bergfjord & Holts, 2010). نمونه‌ها پس از پوشش‌دهی با طلا، با استفاده در بزرگنمایی‌های مختلف میکروسکوپ الکترونی روبشی پژوهشکده شیمی و مهندسی شیمی ایران ساخت کمپانی TESCAN جمهوری چک مدل VEGA3 مورد مطالعه قرار گرفتند. این دستگاه مجهز به شناساگرهای مختلف از جمله EDX است که توانایی شناسایی عناصر سنگین‌تر از بور (Br) را دارد و برای شناسایی فازهای عنصری در ساختار کاغذها استفاده شد.

۳. یافته‌ها و بحث

۳-۱. بررسی کیفیت ظاهری کاغذها

نتایج بررسی با صفحات نوری نشان می‌دهند که کاغذهای دست‌ساز این دو نسخهٔ‌خطی نماینده الگوی قالب کاغذسازی با خطوط خوابیده (موازی‌اند) (Boyle & Hiary, 2009; Meisterenst et al., 2015) که متمایز از قالب بافته (بدون اثر خطوط قالب بر روی کاغذ) (مقبل اصفهانی، ۱۳۸۰) هستند. در هر دو نمونه کاغذ ۳۴۵ (دولت‌آبادی) و ۵۹۲۲ (ترمه) کلفتی نخ‌های بافت توری قالب‌سازی، فاصله و تعداد آنان در هر کاغذ متفاوت است و الگوی خاصی را نمایان می‌کند. تصاویر میکروسکوپ دیجیتالی با بزرگنمایی X ۵۰، الیافی برجسته و بلند را در سطح کاغذهای دولت‌آبادی، با شماره اموالی ۳۴۵ نشان می‌دهند. این کاغذها به رنگ کِرمی، ضخیم و یکپارچه آهار زده (نیمه شفاف) و پرداخت شده هستند (شکل ۱). خطوط موازی قالب که در راستای افقی نوشتار قرار گرفته‌اند، از مسیر مستقیم خود منحرف شده و در لبه‌های بالایی کاغذ کج شدند. فاصله خطوط موازی از یکدیگر ۱mmو تعداد خطوط ۷ عدد در ۱ cm است. عدم یکنواختی خمیر الیاف کاغذ و عدم حضور خطوط زنجیره‌ای در کاغذهای این نسخه‌خطی و ضخامت ۰/۱۴mm (۱۴۹/۴۱µm) در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده می‌شود.

الف–A ب–B ج–C

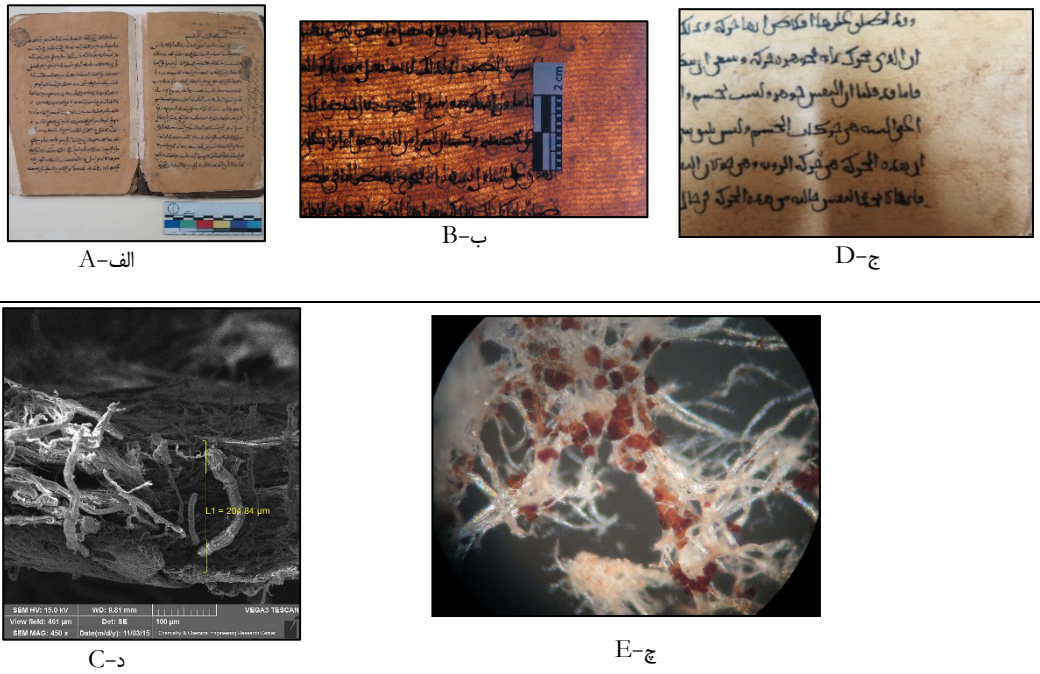
شکل ۱.کاغذ دولت‌آبادی D-۳۴۵: الف) کاغذ به رنگ کرمی؛ ب) عدم پراکندگی یکنواخت خمیر کاغذ، انحراف خطوط موازی از راستای مستقیم، فاصله خطوط ۱/۲mm– ۱ به تعداد ۷ عدد در ۱cm؛ ج) کاغذ به ضخامت ۰/۱۴mm

Figure 1. D-345 papers: A) cream-colored paper, B) non-uniform distribution of paper pulp, deviation of laid lines from straight with 1-1.2 mm distance between 7 lines per 1 cm, C) thickness of 0.14 mm

تصاویر میکروسکوپ الکترونی ضخامتِ کاغذهای نسخه‌خطی ۵۹۲۲ را ۰/۲۰mm (۲۰۴/۸۴ µm) نشان می‌دهند. کاغذهای این نسخه‌خطی به رنگ قهوه‌ای تیره و نقاطی قرمز رنگ در سطح کاغذها را نشان می‌دهند. صفحات نوری خطوطی نامنظم و نازک که حاصل از نقشِ توریِ قالبِ کاغذسازی هستند و گاهاً از راستای مستقیم خود فاصله گرفته، منحنی و موجدار شده‌اند را نشان می‌دهند. ماتی سطح کاغذ از حضور اندک آهار بر آن حکایت می‌کند اما احتمالاً مهره‌کشی اندک آن نیز به نیمه براقی آن در سطح کاغذها افزوده و تقریباً زبر به نظر می‌رسد. خطوط نازکِ موازی در راستای افقی نوشتار با فاصله زیاد مشاهده می‌گردند. این خطوط به تعداد ۷ الی ۸ عدد در ۱ cm از سطح کاغذ دیده می‌شوند که خطوط نازکی را به نسبت خطوط موازی کاغذهای نسخه‌خطی ۳۴۵ دارا هستند. پراکندگی و تراکم خمیر الیاف در سطح کاغذهای کلفت این نسخه‌خطی بسیار نامنظم و غیریکنواخت است و رشته‌های الیاف در سطح آن با چشم غیر مسلّح دیده می‌شود (شکل ۲). نتایج آنالیز EDX از لکه‌ها و الیاف رنگی، نشست ماده‌ای حاوی مقادیر بالایی از آهن را نشان می‌دهد که در زیر میکروسکوپ نوری درشکل ۲ مشخص است. از آنجا که این لکه‌های قرمز رنگ سطح

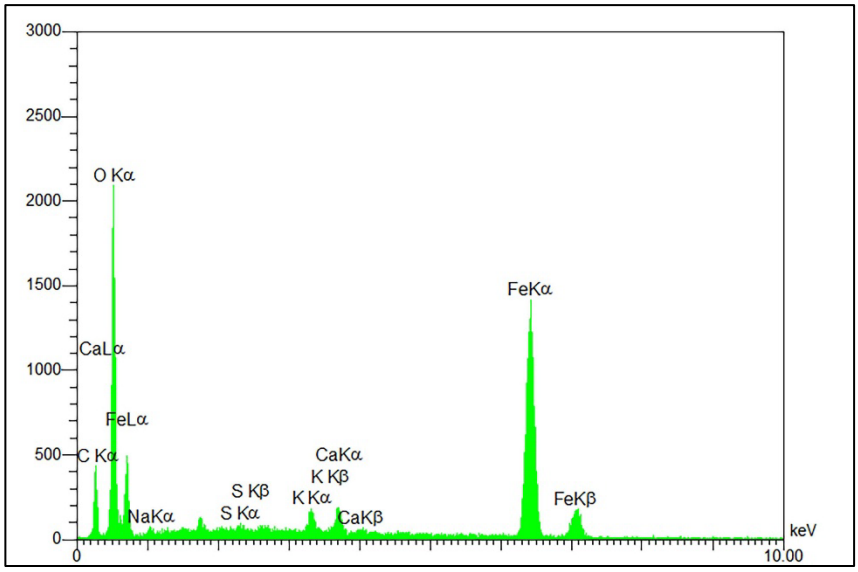
[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

الیاف کاغذ را رنگی نمودند، این احتمال وجود دارد که عنصر آهن تشخیص داده شده در آنالیز، به ماده رنگ‌آمیزی کننده کاغذها و یا سطوحی که محل خشک شدن کاغذها بوده‌اند باشد (شکل ۳). حضور اندکی رنگ بر سطح کاغذهای تاریخی از مزیت‌ها و کیفیات کاغذ خوب محسوب شده است و هنرمندان از این ویژگی در منابع مختلف نام برده‌اند (Karimian & Mirzaei Pari, 2009).



شکل ۲. کاغذ ترمه ۵۹۲۲ -T؛ الف) کاغذ به رنگ قهوه‌ای؛ ب) عدم پراکندگی یکنواخت خمیر کاغذ، انحراف خطوط موازی قالب از راستای مستقیم، فاصله خطوط ۱mm– ۱/۲ به تعداد ۷ عدد در ۱cm؛ ج) و چ) لکه‌های قرمز رنگ، د) کاغذ به ضخامت ۰/۲۰ mm

Figure 2. T- 5922: A) brown paper, B) non-uniform distribution of paper pulp, deviation of laid lines from straight with 1-2.1 mm distance between 7 lines per 1 cm, C) thickness of 0.20 mm D) & E) red spot



شکل ۳. آنالیز عنصری از نقاط قرمز رنگ در کاغذهای نسخه‌خطی **T-۵۹۲۲**

Figure 3. Elemental analysis (EDS) of red dots in manuscript papers T-5922

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

جدول ۲. نتایج آنالیز عنصریEDX از نقاط قرمز در کاغذ تاریخی ۵۹۲۲ -T (واحد: درصد وزنی)
Tab 2. The result of Elemental analysis (EDS) of red dots in manuscript papers T-5922

آهن Fe	کلسیم Ca	پتاسیم K	گوگرد S	سدیم Na	اکسیژن O	کربن C
88.27	1.35	1.12	0.31	0.24	5.88	2.83

بنابراین دو کاغذ تاریخی ۳۴۵ و ۵۹۲۲ متعلق به قرن ۵ ه.ق به واسطه قالب خوابیده یا موازی ساخته شده‌اند. قالب‌هایی با توری‌های ساخته شده از مواد نرم و محکم که به نظر هانتر و رایت توسط ایرانیان ابداع شد و ورقه‌های خیس را راحت آزاد کرده است. این توری با تراشه‌های نازک بامبو یا ساقه‌های به هم دوخته شده گیاهان با موی اسب یا ابریشم بوده است. سطح صاف این قالب، کاغذساز را قادر می‌ساخته تا کاغذ را فوراً برای پوشش دادن آماده کند (Yum, 2008). از آنجا که تاریخ استنساخ این نسخه‌خطی به قرن ۵ ه.ق دلالت دارد، ویژگی‌هایی همچون عدم حضور خطوط زنجیره‌ای، خطوط موازی با فاصله زیاد (معمولاً از قرن نهم ه.ق (۱۵ میلادی) تعداد خطوط موازی بین ۸ تا ۱۰ cm و کاهش ۰/۵ mm در عرض خط ایجاد شد) و انحراف از راستای مستقیم در کاغذهای این نسخه خطی وجود دارد که از مشخصه کاغذهای قبل از قرن ششم و هفتم هجری قمری است (Loveday, 2001) و نشان دهنده کیفیت قالب‌های اولیه کاغذسازی در دورهٔ اسلامی است. جدول ۳ ویژگی‌های بصری کاغذها را که با خطوط شکل گرفته از توری قالب کاغذسازی ظاهر شده‌اند را در دو نسخه دولت‌آبادی و ترمه بیان می‌کند.

جدول ۳. انواع خطوط قالب کاغذسازی در کاغذهای دولت‌آبادی و ترمه
Tab 3. Types of paper making mold lines in Daulatabadi and Termeh papers

کد نمونه Sample No	قرن (ه.ق) Century (A.H)	نوع توری قالب‌سازی Types of molding net	سایر ویژگی‌ها Other features
D-345	5 5th century	قالب با خطوط موازی بدون خطوط زنجیره‌ای Mold with laid line& without chain line	کاغذ به رنگ کرمی، به ضخامت ۰/۱۴mm، خطوط موازی ضخیم مشخص و گاها نا مشخص، انحراف از راستای مستقیم، فاصله خطوط ۱mm به تعداد ۷ عدد در۱ cm. Cream-colored paper, 0.14 mm thickness, clear and sometimes unclear thick laid lines, deviation from the straight, 1 mm line distance, 7 pieces per cm1.
T-5922	5 5th century	قالب با خطوط موازی بدون خطوط زنجیره‌ای Mold with laid line& without chain line	کاغذ به رنگ قهوه‌ای، به ضخامت ۰/۲۰mm، خطوط موازی پیدا، مشخص و نازک با انحراف از راستای مستقیم، فاصله خطوط ۱/۵mm به تعداد ۷ عدد در ۱cm. Brown paper, 0.20 mm thickness, clear and thin laid lines with deviation from the straight, 1.5 mm line distance, 7 numbers per cm1.

تغییرات رنگی توسط مولفه‌های موثرL* (روشنایی/تیرگی)، a* (قرمز/سبز) و b* (زردی/آبی) در رنگ‌سنجی اختلاف بصری میان این دو کاغذ را در جدول و نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد. کاغذ ۵۹۲۲ بیشترین تیرگی را نسبت به کاغذ ۳۴۵ دارد. این کاغذ علاوه بر داشتن ویژگی تیره‌ترین کاغذ به سمت زردشدگی و قرمز شدگی بیشتری نیز متمایل است. همچنین نمود تغییرات رنگی دو کاغذ با وجود فاکتور آهار که با پسوند (ws) و بدون آهار (ns) نام گذاری شدند، نشان می‌دهند که آهار به‌عنوان پوشش روی کاغذها تیرگی، زردی و قرمزی کاغذها را افزایش داده است. این کاغذها پس از برداشتن آهار، روشنایی و میزان کاهش زردی و قرمزی را آشکار می‌نمایند (جدول ۴ و ۵) و (شکل ۴).

جدول ٤. داده‌های رنگ‌سنجی
Tab 4. Colorimetric data

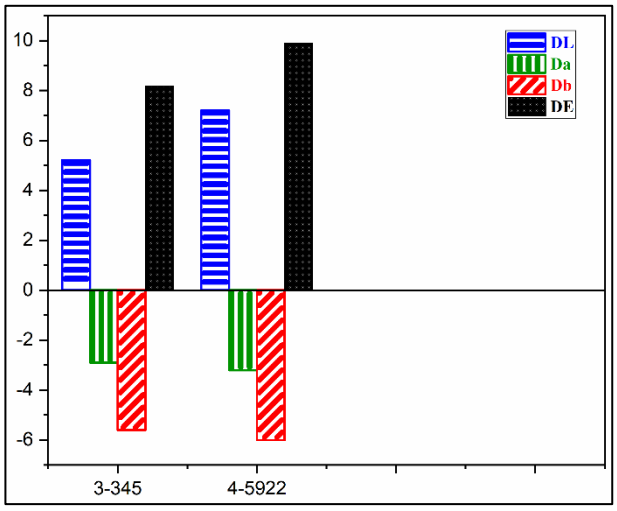
a*	b*	L*	نمونه ها Samples
+5.1	+20.3	+72.8	D-345-ws
+2.2	+14.7	+78.0	D-345-ns
+8.1	+23.7	+63.7	T-5922-ws
+4.9	+17.7	+70.9	T-5922-ns

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

جدول ۵. اختلاف داده رنگ‌سنجی بین کاغذ آهاردار و بدون آهار

Tab 5. Difference's Colorimetric data between paper with sizing and without sizing

DE	Db	Da	DL	مقایسه نمونه‌ها Samples Comparison	ردیف No.
8.17	-6.5	-2.9	5.2	345-ws 345-ns	1
9.90	-6	-3.2	7.2	5922-ws 5922-ns	2

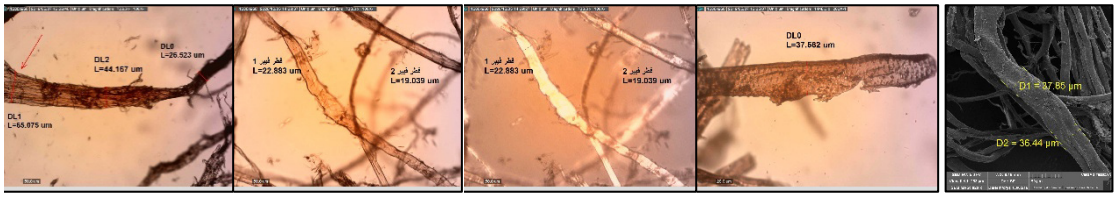


شکل ٤. نمودار تغییرات رنگی بین کاغذهای آهاردار و بدون آهار D-۳۴۵ و T- ۵۹۲۲

Figure 4. Diagram of color changes between sizing and non-sizing papers D-345 and T-5922

۳-۲. بررسی کیفی و کمیّ ساختار آلی و معدنی کاغذها

الیاف وابُری شده (دفیبره) از دو کاغذ تاریخی متعلق به قرن ۵ ه.ق تحت تاثیر معرف هرزبرگ، به رنگ قرمز شرابی درآمدند و خمیری متشکل از گیاهان غیرچوبی کتان، شاهدانه و غیره را نشان می‌دهند (Ion et al., 2008; Kostadinovska, 2015; Meisterenst et al., 2015; Shi & Li, 2013). این گیاهان دارای لیگنین کم، سلولز مشابه با الیاف چوبی اما پنتوزان بیشترند و به همین دلیل راحت‌تر و ارزان‌تر تبدیل به خمیر شدند (حسینی، ۱۳۷۹: ۱۰۵). تصاویر میکروسکوپ نوری و پلاریزان از الیاف وابری شدهٔ کاغذ ۳۴۵، الیافی کوبیده شده با متوسط قطر ۴۴µm-۱۱ و بعضاً تا ۶۵ µm با برجستگی‌های نامشخص و حفره لومن با پهنای متفاوت که در انتها به نوک گِرد یا تیز ختم شدند به همراه سلول‌های همراهی همچون آوندها را نشان می‌دهندکه همگی بر الیاف شاهدانه دلالت می‌کنند. میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۸۲۰ برابر الیافی با پهنای مختلف را نشان می‌دهد (شکل ۵).



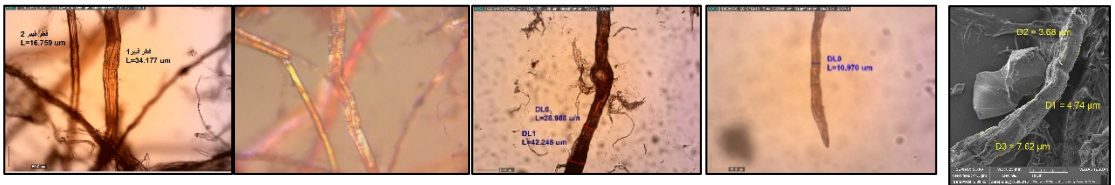
الف-A ب-B ج-C د-D چ-E

شکل ۵. الیاف پوستی و سلول‌های همراه شاهدانه در خمیرکاغذ D-۳۴۵ در بزرگنمایی ۱۰۰ X و ۲۰۰X: الف) و ب) فیبرهای پوستی؛ ج) نورپلاریزان؛ د) آوند تخریب شده؛ چ) الیاف در بزرگنمایی ۸۲۰X با SEM

Figure 5. Bast fibers and accompanying cells of hemp in paper pulp D-345 at 100 X and 200 X magnification: A) and B) Bast fibers, C) polarized, D) destroyed vessel and E) fibers at 820 X magnification with SEM

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

الیاف کاغذ ترمهٔ نسخه‌خطی ۵۹۲۲ منسوب به قرن ۵ ه.ق به خط ابن مسکویه موسیلاژهای فراوان گیاهی با نسبت قطر زیاد الیاف به طول آنان را نشان می‌دهند. فیبرهای قطور که دارای خطوط طولی و فقدان بندهای مشخص در نور معمولی هستند شاید به الیاف رامی شبیه باشند اما به دلیل کوبانده شدن زیاد آنان ازدیاد قطر یافته‌اند و در نور پلاریزان خطوط متقاطع در سطح خود را نشان‌می‌دهند. این الیاف از کمترین تا بیشترین پهنا به اندازه ۸۲–۱۰ µm با بندهای ضعیف و حفره لومن گاهاً پهن دلالت بر شاهدانه دارند که فیبرهای باریک با حفره لومن نازک و بندهای مشخص با پهنایی در حدود ۴۵–۲۴ µm کتان را همراهی می‌کنند. همچنین انتهای نوک تیز و باریک در الیاف سالم مشاهده می‌شود. میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی X ۵۰۰۰ الیافی نسبتاً تخریب شده (کوبانده شده) با پهنای مختلف را نشان می‌دهد که با موسیلاژهای فراوان گیاهی و کریستال‌های مواد معدنی همراه است (شکل ۶).

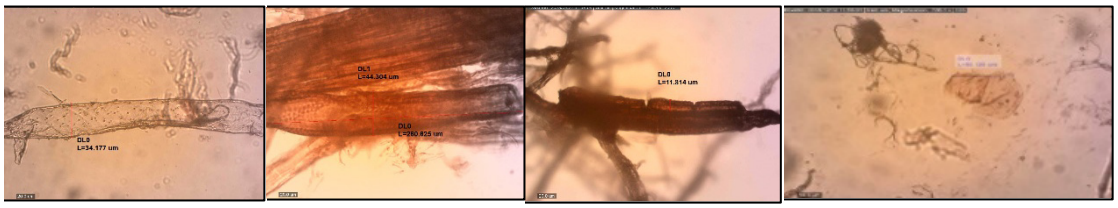


الف–A ب–B ج–C د–D چ–E

شکل ٦. الیاف کتان و شاهدانه در خمیرکاغذ ۵۹۲۲ -T در بزرگنمایی X۱۰۰: الف) الیاف با ضخامت‌های مختلف و حفره لومن متفاوت؛ ب) بندها در لیف باریک و خطوط متقاطع فراوان در لیف پهن در نور پلاریزان؛ ج) لیف با راستای مستقیم؛ د) انتهای لیف؛ چ) تصویر SEM الیاف با بزرگنمایی ۵ KX

Figure 6. Flax and hemp fibers in T-5922 paper pulp at 100 X magnification: A) fibers with different thicknesses and different lumen cavities, B) dislocation in narrow fiber, thin lumen, cross-markings in wide fiber in polarized light, C) longitudinal striations and swelling and D) end of fiber, E) fiber in 5 KX 5 magnification with SEM

حضور پارانشیم‌های عرضی با گوشه‌های کُند، اپیدرم، آوندهای آبکش به قطرµm ۴۵ و گاهاً وجود فیبرچوبی با حفرات مجزا و مشخص و پهن در خمیر الیاف مشاهده می‌شود که به الیاف گیاه شاهدانه تعلق دارند (شکل ۷).



الف–A ب–B ج–C د–D

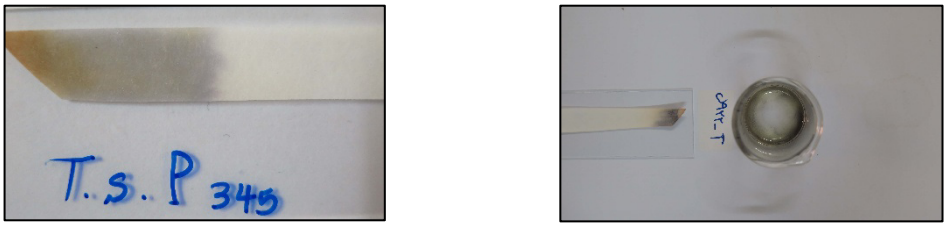
شکل ۷. سلول‌های همراه در خمیرکاغذ ترمه ۵۹۲۲ -T در بزرگنمایی X ۱۰۰: الف) فیبر چوبی؛ ب) آوند؛ ج) اپیدرم؛ د) پارانشیم‌ها

Figure 7. Associated cells in paper pulp T-5922 at 100 X magnification: A) wood fiber, B) vessel, C) epidermis, D) parenchyma

نتایج حاصل از تست آهار با معرف لوگل، حضور نشاسته را در دو کاغذ تاریخی ۳۴۵ و ۵۹۲۲ با تغییرات رنگی آبی/ بنفش تیره تائید نمود (شکل ۸). به دلیل آمیلوز موجود در نشاسته و در ترکیب با یُد، رنگ آبی تا بنفش ظاهر می‌گردد (Odegaard et al., 2005). تغییر رنگی از آبی ژرف تا تیره نمایندهٔ نشاسته (در نمونه‌های قرن ۱۱–۱۳ میلادی) و رنگ قرمز– بنفش تا قرمز نشان دهندهٔ سایر پلی‌ساکاریدها حاصل از نشاستهٔ اصلاح یافته است. این نوع نشاسته تا حدودی متفاوت از نشاسته طبیعی واکنش می‌دهد که معمولا بیشتر با پراکندگی یکدست همراه است و لکهٔ یکنواختی را تشکیل می‌دهد (Kostadinovska, 2015). نشاسته از گیاهِ گندم، سیب زمینی، برنج و ذرت حاصل می‌شود که در عمدهٔ الکتاب و مجموعهٔ الصنایع؛ لعابِ حاصل از برنج، آهار بسیار خوبی برای کاغذهای معروفِ بغدادی بوده است (پورتر، ۱۳۹۸: ۴۶). آهارِ نشاستهٔ گندم (Karabacek, 1991) و سپس نشاستهٔ برنج (Loveday, 2001) بیشتر در کاغذهای عربی، پارسی و آهار ژلاتین در کاغذهای اولیه ایتالیایی مورد استفاده قرار گرفته است (Ferrer & Carme, 2007). به نظر می‌رسد نشاسته گندم و برنج بیشترین کاربرد را در تهیه آهار کاغذهای تاریخی داشته‌اند، زیرا سیب‌زمینی در قرن ۱۲ ه.ق (۱۸ م) و در عهد فتحعلی‌شاه قاجار (۱۱۷۶– ۱۲۱۳ شمسی) توسط سِرجان مِلکُم به ایران آورده شد (بیرجندی، ۱۳۸۷: ۱۷۶) و مسلما کاغذهای تاریخی قبل از قرن ۱۲ ه.ق از آهار این گیاه بی‌بهره بودند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نوع نشاستهٔ مورد استفاده در کاغذهای این دو نسخه‌خطی را نشان می‌دهد که به صورت گرانول‌هایی با تفاوت ابعادی و به صورت مجزا یا چسبیده به یکدیگر در مقطع عرضی نمونه کاغذها نمایان هستند (شکل۹ و ۱۰). به‌طور کلی، ساختار نشاسته از گرانول‌هایی تشکیل یافته که آمیلوز و

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

آمیلوپکتین در درون آن قرار گرفته است. اندازه، شکل، سطح گرانول‌ها و میزان آمیلوز و آمیلو پکتین موجود در آنان بستگی به منبع گیاهی نشاسته دارد (گودرزی و عبدالهزاده، ۱۳۹۸: ۵). از آنجا که برای آهار کاغذها، نشاسته به صورت محلول در آب سرد و سپس تحت حرارت تغییر یافته و ژلی می‌شود، شکل گرانول‌های آن نیز تغییر می‌یابد. گندم با گرانول‌هایی به اندازهٔ ۲ تا ۱۰ میکرون، اولین نشاسته‌ای است که در دمای کمی (۵۴C°–۵۲) ژلاتینه می‌شود و توزیع دو حالته از گرانول‌های کوچک و بزرگ دارد و به دلیل میزان کم لیپید در ساختار خود نسبت به سایر نشاسته‌ها بیشتر و سریع‌تر متورم و ژلاتینه می‌شود. شکل گرانول‌های بزرگ شبیه دیسک یا عدسی و گرانول‌های کوچک کروی یا بیضی‌اند (قندهاری علویجه، ۱۳۹۹: ۳۳۲). در کاغذ ۳۴۵، نشاسته گندم با گرانول‌های نسبتاً بزرگ و کوچک در اندازه‌های مختلف با لایه‌ای به ضخامت ۴۰/۷۵ µm پوشش‌دهندهٔ سطح کاغذها است. این پوشش سطحی تقریباً یکنواخت و با مهره‌کشی (آهار مهره) همراه است.



الف–A ب–B

شکل ۸. آهار نشاسته: الف) کاغذ نسخه D-۳۴۵؛ ب) کاغذ نسخه T-۵۹۲۲

Figure 8. Starch sizing: A) D-345 paper and B) T-5922 paper

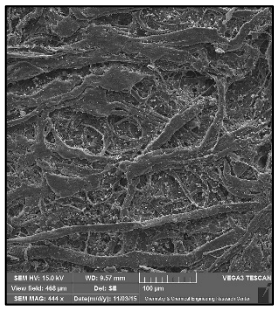
الف–A ب–B

شکل ۹. تصاویر SEM از کاغذ D–۳۴۵: الف) پوشش سطحی آهار نشاسته گندم و مهره‌کشی در بزرگنمایی X ۴۴۴؛ ب) اندازه ضخامت پوشش آهار در مقطع عرضی و اندازه گرانول‌ها در بزرگنمایی KX ۱.۵

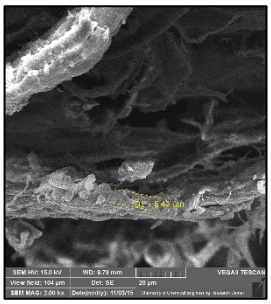
Figure 9. SEM images of D-345 paper: A) surface coating of wheat starch and beading at 444 X magnification, B) measurement of thickness of sizing coating in cross section and scale of granules sizing at 1.5 KX magnification

بر خلاف پوشش سطحی تقریباً یکنواخت و زیاد آهار نشاسته در کاغذ ۳۴۵، کاغذ ۵۹۲۲ از آهار نشاسته کمتری برخوردار است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی ضخامتِ لایه آهار را µm ۵/۴۳ نشان می‌دهد. گرانول‌های به هم چسبیده در اندازه‌های بسیار کوچکی ظاهر شده‌اند و به نوع آهار نشاسته برنج (فرم ژلی از برنج) شباهت دارند. گرانول‌های نشاسته برنج کوچکترین گرانول‌های شناخته شده موجود در دانه‌های غلات هستند و اندازه آن‌ها معمولا در محدودهٔ µm ۳–۸ قرار دارد. این گرانول‌ها با افزایش حرارت به تدریج شکل طبیعی و چند ضلعی خود را از دست داده و به حال خمیری تغییر می‌یابند (فرهمندفر و دیگران، ۱۳۹۲: ۱۹). مقایسه کسر حجمی فازی در بزرگنمایی یکسان ۴۴۴X از تصاویر SEM در بخش الف تصاویر ۹ و ۸، توسط نرم افزار Image J نشان می‌دهد که سطح کاغذهای نسخه‌خطی ۳۴۵ از پوشش آهار بیشتری نسبت به سطح کاغذهای ۵۹۲۲ نسخه‌خطی برخوردارند. کسر حجمی پوشش دهی آهار در کاغذهای نسخه‌خطی ۵۹۲۲ به میزان ۲/۶ درصد در مقایسه با پوشش دهی آهار کاغذهای نسخه‌خطی ۳۴۵ به مقدار ۱۱/۸ درصد است. همچنین متوسط اندازهٔ دانه‌های آهار (گرانول‌ها) در (جدول ۶) آورده شده است.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026



الف-A



ب-B

شکل ۱۰. تصاویر SEM از الیافِ کاغذT-۵۹۲۲: الف) پوشش سطحی آهار نشاسته برنج و مهره‌کشی در بزرگنمایی ۴۴۴X؛ ب) اندازه ضخامت پوشش آهار در مقطع عرضی و اندازه گرانول‌ها در بزرگنمایی ۲ KX

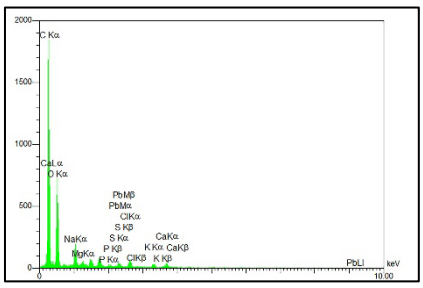
Figure 10. SEM images of T-5922 paper: A) surface coating of rice starch and beading at 444 X magnification, B) measurement of thickness of sizing coating in cross section and scale of granules sizing at 2 KX magnification

جدول ٦. داده‌های حاصل از محاسبه کسر حجمی پوشش سطحی آهار و اندازه گرانول‌های آهار با استفاده از نرم افزار Image J

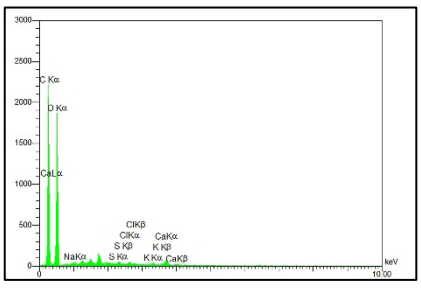
Tab 6. The data results of the volume fraction calculation of the surface coating of sizing and the scale of sizing granules using Image J software

کد نمونه	اندازه گرانول‌ها Granule's scale					میزان پوشش سطحی Coating surface Measurements	
	تعداد	متوسط اندازه	بزرگترین	کوچکترین	انحراف معیار	تعداد دانه در سطح	کسر حجمی (٪)
Samples No	Number	Average Size	Max	Min	Standard deviation	Count	% Area
D-345	52	6.258	12.182	2.073	2.755	7613	11.823
T-5922	43	1.557	3.143	0.764	0.498	2526	2.645

نتایج آنالیز عنصری از کاغذهای دو نسخه خطی ۳۴۵ و ۵۹۲۲، پس از کربن و اکسیژن که مبین سلولز الیاف گیاهی در خمیر کاغذهای تاریخی هستند، بیشترین مقادیر مواد معدنی را به عنصر کلسیم اختصاص می‌دهد (جدول ۷ و شکل ۱۱). این ماده نه تنها در ترکیب شیمیایی اگزالات کلسیم در گیاهان نقش اصلی دارد، بلکه در سایر افزودنی‌های کاغذ همچون؛ سولفات کلسیم (گچ) و سفید کننده‌های قلیایی و معدنی مانند آهک استفاده شده است. از آنجا که کاغذهای این دو نسخه‌خطی جزء نخستین کاغذهای موجود از قرون پنجم ه.ق هستند، حضور مواد پُر کننده‌ای که شفافیت و صافی را به‌مانند کاغذهای امروزی در آنان بیافزاید را کمرنگ می‌کند. از این‌رو احتمال حضور آب آهک به‌عنوان قلیا جهت تخمیر الیاف پوستی از ساقهٔ گیاهی (تسهیل در جداسازی الیاف پوستی) و همچنین سفید کردن الیاف حین عملیات ساخت کاغذ را پُر رنگ‌تر می‌سازد. این مادهٔ قلیایی پس از پخته شدن همراه با الیاف در چندین مرحله آبکشی از الیاف جدا شده و نشست اندکی در لابلای الیاف خواهد داشت که در زیر میکروسکوپ الکترونی در قسمت ب شکل ۱۲ نشان داده شده است. بنابر مطالعات پورتر احتمالاً هنگامی که عمل‌آوری مستقیم الیاف پوستی از گیاه انجام شده از آهکِ پُخته استفاده شده و چنانچه لباس‌های کهنه و پارچه‌های مندرس مادهٔ اولیه کاغذسازی بودند، گچ برای خیساندن کاربرد داشته است و سپس با محلولی از اکسید قلع و جوش‌شیرین آن را بارها می‌شستند تا سفید و صاف شوند (پورتر، ۱۳۸۹: ۴۰).



الف-A



ب-B

شکل ۱۱. نمودار آنالیز عنصری EDX: الف) کاغذ ۳۴۵-D؛ ب) کاغذ ۵۹۲۲-T

Figure 11. Diagram of EDX elemental analysis: A) D-345 paper and B) T-5922 paper

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

جدول ۷. نتایج آنالیز عنصریEDX از دو کاغذ تاریخی متعلق به قرن ۵ ه.ق (واحد: درصد وزنی)

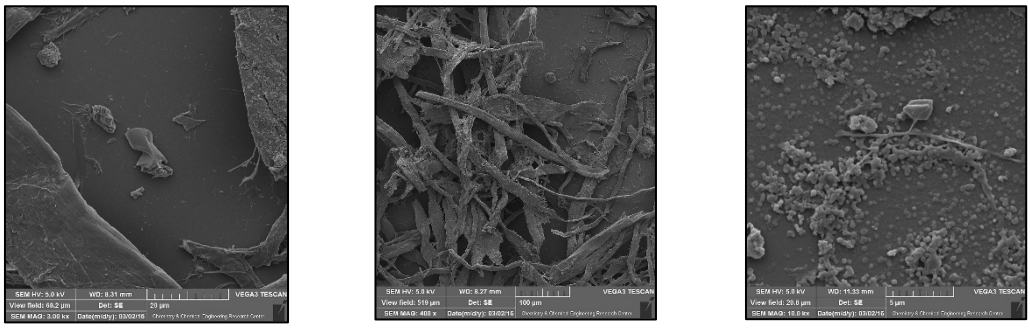
Tab 7. EDX elemental analysis results of two historical papers belonging to the 5th century A.H

کد نمونه Samples No	کربن C	اکسیژن O	سدیم Na	منیزیوم Mg	فسفر P	گوگرد S	کلر Cl	پتاسیم K	کلسیم Ca	سرب Pb
D-345	56.82	29.18	3.41	0.97	0.65	0.84	2.26	1.60	2.14	2.13
T-5922	46.36	45.65	0.51	–	–	1.18	1.38	1.41	3.51	–

از آنجا که آهار در حین جوشاندن و وابری الیاف از سطح کاغذها برداشته شده است، انواعی از اشکال کریستالی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی دیده می‌شوند. در تصاویر الف و ب شکل ۱۲، کریستال‌های معدنی اگزالات کلسیم و مادهٔ قلیایی در کاغذ ۳۴۵ در مقایسه با کاغذ ۵۹۲۲ آورده شده‌اند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نوع کریستال‌های معدنی آب آهک پخته ($Ca(OH_2)$) را در کنار کریستال‌های ستاره‌مانند (خوشه‌ای) اگزالات کلسیم تائید می‌کند (شکل۱۲). کریستال‌های اگزالات کلسیم در میان الیاف گیاهی شاهدانه به وفور یافت می‌شود. اندازهٔ این کریستال‌ها در کاغذ ۳۴۵، ۱۹/۶۴۴ µm و در کاغذ ۵۹۲۲، ۱/۲۲ µm تا ۱/۵۰µmمحاسبه شد (شکل ۱۲). اگزالات کلسیم (CaC_2O_4, CaO_x) از مواد معدنی معمول، فراوان و نامحلول در گیاهان و بسیاری از خانواده‌های گیاهی است (Matsushimaa et al., 2012) و عامل مهم شناسایی الیاف پوست است (حسینی صومعه و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۲). این ترکیب شیمیایی با توجه به تعداد مولکول آب در واحد فرمول شیمیایی خود در ساختارهای متفاوت منوکلینیک منوهیدرات، تتراگونال دهیدرات، ودالیت و تری‌کلینیک تری هیدرات ظاهر می‌شود. فرم‌های منشوری (چند وجهی) که شکل‌های هگزاگونال، مکعبی و لوزی شکل (گهگاه به وجود می‌آیند و بیشتر به فرم دوقلویی‌اند) دارند و یا به فرم‌های خوشه‌ای یافت می‌شوند (Faheed et al., 2013). اندازه این کریستال‌ها متفاوت بوده که در فرم‌های معمول کریستالی از نوع ودالیت با بزرگنمایی KX ۱۰/۰، ۲۰µm است (Guggiari et al., 2011). از آنجا که ویژگی‌های ظاهری الیاف گیاهی شاهدانه و کتان بسیار به هم شبیه هستند، حضور کریستال‌های خوشه‌ای شکل و ندرتاً تنها نشانه الیاف گیاهی شاهدانه در مقابل الیاف گیاهی کتان است (Bergfjord & Holts, 2010; Ilvessalo-Pfäffli, 1995). این کریستال‌ها به صورت دسته‌ای و مکرّر در مغز چوبی گیاه به ویژه نزدیک پیشاوند چوبی، به صورت تک تک در هر خانه سلول قرار گرفتند (Catling & Grayson, 1982). عمل‌آوری الیاف پوستی گیاهانی همچون شاهدانه از ساقهٔ اصلی و از بخش زایلم ساقه، این مواد معدنی را همراه با سایر سلول‌هایی همچون آوندهای اسپیرال، آوندهای چوبی، پارانشیم و ... به خمیر کاغذ منتقل می‌کند و حضورشان بر الیاف پوستی گیاه شاهدانه دلالت می‌کند.

سایر عناصر مشترک میان دو کاغذ در جدول ۷ به مواد مورد استفاده در حین ساخت مربوط هستند. برای مثال حضور سدیم در کنار کلرید به نمک کلرید سدیم (هالید) اشاره می‌کند که در کاغذ ۳۴۵ مقدار بیشتری را به خود اختصاص داده است و منشأ آن خاک‌های شور یا آب‌های زیرزمینی است. گوگرد به غالب‌ترین کانی سولفاته در خاک که همان گچ است اشاره می‌کند و نیز اغلب به‌عنوان آلوده کننده از محیط اطراف یا مراحل ساخت کاغذها ناشی شده است (Abdel-Maksoud, 2011). علاوه بر عناصر مشترک فوق در کاغذ ۳۴۵، مواد معدنی دیگری همچون منیزیوم، سرب و فسفر به کار رفته است. منیزیوم در کنار عناصر کلسیم و کربنات به حضور گِل سفید دلالت می‌کند که به‌عنوان پرکننده استفاده شده است. این ماده معدنی با نام شیمیایی هانتیت و به فرمول ($Mg_3Ca(CO_3)_4$) به‌عنوان بتونه یا بستر زیرسازی رنگ‌دانه‌ها در مینیاتورهای نسخ خطی (کردوانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶۱) و یا بستر نقاشی‌های دیواری به کار رفته است. داشتن منابع غنی هانتیت در ایران و کاربرد راحت و آسان این ماده که در آب به سرعت نرم و روان شده و محلول کلوئیدی یکدستی را می‌دهد موجب کاربرد فراوان آن در طول دوره‌های مختلف تاریخی در مینیاتورهای نسخ خطی و نقاشی‌های دیواری بوده است (Holakooei & Karimy, 2015). پتاسیم نیز احتمالاً در ماسه و خاک رس زمینی که آهک از آن استخراج شده است همراه بودند. این عنصر در کنار سدیم، گوگرد، منیزیوم، کلر و آهن به کاربرد قلیاهای گیاهی همچون شُخار نیز مرتبط می‌شود (شاطری و حیدری، ۱۳۹۴: ۳۸). سرب و فسفر نیز ناخالصی‌هایی هستند که احتمالاً حین عملیات ساخت کاغذ (همراه مواد افزودنی) و یا پس از آن و به مرور زمان بر کاغذ وارد شدند. به‌طورکلی همه آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در خمیر دو کاغذ تاریخی فوق، به افزودنی‌هایی اشاره می‌کنند که یا گیاهی‌اند و یا همراه ماده معدنی اصلی بوده‌اند.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026



الف-A ب-B ج-C

شکل۱۲. کریستال‌های اگزالات کلسیم و آب آهک پخته: الف) و ب) در کاغذ ۳۴۵ به ترتیب با بزرگنمایی KX ۳ و بزرگنمایی X۴۰۰؛ ج) در کاغذ ۵۹۲۲ با بزرگنمایی KX ۱۰

Figure 12. Calcium oxalate crystals and lime water: A) in KX 3 magnification and B) in X400 magnification in D-345 paper and C) in T-5922 paper in KX 10 magnification

٤. نتیجه‌گیری

بررسی ظاهری کاغذهای تاریخی دو نسخه‌خطی ۳۴۵ و ۵۹۲۲ متعلق به قرون ۵ ه.ق نشان می‌دهند که کاغذهای هر دو نسخه با قالب‌های کاغذسازی اولیه ساخته شدند که فاقد خطوط زنجیره‌ای‌اند و خطوط خوابیده (موازی) نیز از راستای مستقیم خود منحرف شدند. این کاغذها، خمیر یکنواخت و یکدستی ندارند و تراکم خمیر در برخی مناطق کاغذ بیشتر و برخی نقاط کمتر است؛ بنابراین در پاسخ به سؤال اول این پژوهش چنین نتیجه حاصل شد که به لحاظ ظاهری و بصری؛ اگرچه کاغذهای هر دو نسخه به لحاظ ساخت دارای الگوی قالب‌های همسان اولیه هستند اما کاغذهای نسخه‌خطی ۵۹۲۲ نسبت به کاغذهای ۳۴۵ از ضخامت، تیرگی، زردی و قرمزی بیشتری برخوردارند. کاغذهای هر دو نسخه دارای آهار نشاسته هستند که کاغذهای نسخه ۳۴۵ از آهار نشاسته گندم با گرانول‌های کوچک و بزرگ و پوشش سطحی بیشتری در سطح و لبه کاغذ برخوردار است و مقدار این پوشش در حدود ۱۱.۸ درصد از حجم کلی سطح کاغذ است. در حالی‌که کاغذهای ۵۹۲۲ دارای آهار نشاسته برنج با گرانول‌های کوچک و پوشش بسیار کمی از آهار در سطح و لبه‌های کاغذ است که این مقدار آهار با محاسبات نرم افزار Image J درحدود ۲/۶ درصد از حجم سطح کاغذ در بزرگنمایی ۴۴۴ برابر از تصاویر میکروسکوپ الکترونی است. به لحاظ ساختاری نیز که پرسش دوم این پژوهش است؛ کاغذهای هر دو نسخه‌خطی از الیاف گیاهی غیرچوبی تهیه شدند، گیاهانی که دارای لیگنین کم و سلولزی مشابه الیاف چوبی هستند. حضور سلول‌های همراه همچون؛ آوندها، پارانشیم‌ها در کنار الیاف پوستی این گیاهان غیرچوبی، تهیه شدن خمیر این کاغذها را مستقیماً از خود گیاهان تائید می‌کند. مواد آلی و اصلی مورد استفاده در خمیر کاغذهای ۳۴۵ الیاف شاهدانه و کاغذهای ۵۹۲۲ الیاف کتان و شاهدانه هستند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی و آنالیز عنصری در خمیر کاغذهای این دو نسخه‌خطی حضور آهک را به‌عنوان مادهٔ معدنی که نقش اصلی در فرآوری الیاف پوستی از ساقهٔ گیاهان شاهدانه و کتان را داشته است تائید می‌کند. این ماده معدنی کریستال‌هایی متفاوت از شکل کریستال‌های ستاره‌ای و خوشه مانند اگزالات کلسیم گیاه شاهدانه را در تصاویر SEM نشان می‌دهند. علاوه بر کلسیم کربنات، نمک سدیم کلرید مادهٔ معدنی دیگری است که احتمالاً در آب‌های زیرزمینی یا خاک‌های شور در حین فرآیندهای ساخت وارد شده است. همانند سولفور که در هر دو کاغذ مشابه است و سایر ناخالصی‌های معدنی مانند؛ منیزیوم، سرب و فسفر تنها در کاغذهای نسخه ۳۴۵ وجود دارند که احتمالاً به ماده قلیایی شخار یا به گلِ سفید مربوط هستند؛ بنابراین نتایج یافته‌ها نشان می‌دهند که اگرچه دو نسخه‌خطی متعلق به قرن ۵ ه.ق هستند اما به لحاظ ظاهری و ساختاری از هم متفاوت‌اند که این تفاوت ناشی از نوع مواد آلی گیاهی و معدنی موجود در ساختارشان است که وابسته به هر منطقه جغرافیایی و مکتب هنری متفاوت بوده است.

سپاسگزاری: 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 می باشد. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از زحمات بخش آنالیز دستگاهی SEM_EDX پژوهشکده شیمی و مهندسی شیمی ایران و بخش آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران-کرج صمیمانه تشکر نمایند. بدیهی است همکاری و مساعدت موسسه کتابخانه و موزه ملی ملک که همواره یاری‌رسان و مشوق محققان و پژوهشگران بوده است نیز نقش بسزایی در یافته‌های این پژوهش داشته و صمیمانه از آنان قدردانی می‌شود.

مشارکت نویسندگان: از آنجا که این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول است، همه نویسندگان اعم از اساتید بزرگوار راهنما و مشاور سهم یکسانی در به ثمر رساندن این پژوهش داشته‌اند.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

تامین مالی: این پژوهش از هیچ سازمان یا نهاد دولتی و خصوصی حمایت مالی دریافت نکرده است.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی کنند.

دسترسی به داده‌ها و مواد: تمامی داده‌های تولید شده یا تحلیل شده در طول این پژوهش در مقاله گنجانده شده است. چنانچه محققان به اطلاعات بیشتری در این خصوص نیازمند باشند از طریق رساله دکتری در کتابخانه دانشگاه هنر اصفهان در دسترس آنان قرار خواهد گرفت. همچنین اطلاعات از طریق درخواست منطقی از نویسنده مسئول قابل دسترسی هستند.

References

منابع

Abdel-Maksoud, G. (2011). Analytical techniques used for the evaluation of a 19th century quranic manuscript conditions. *journal of Measurement*, 44, 1606-1617.https://doi.org/10.1016/j.measurement.2011.06.017

Afshar, I., Daneshpajoh, M. T., Hojjati, B., & Manzovi, A. (1992). List of manuscripts of Malek National Library (9th volume, Collections and Jongs). First edition, Mashhad: Astan Quds Razavi Publishing House. [In Persian]

Baharulumi, F. (2013). Papers studies. *The Month Book of Generalities*. 16(192), 88-94. [In Persian]

Benetti, F., Marchettini, N., & Atrei, A. (2011). ToF-SIMS and XPS study of ancient papersfrom Tuscany (Italy). Applied Surface Science. 257(6), 2142-2147.https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.09.063

Bergfjord, C., & Holst, B. (2010). A procedure for identifying textile bast fibres using microscopy: Flax, Nettle/Ramie, Hemp and Jute. *Institute sor physics and technology of Bergen University*. 110, 1192-1197.http://dx.doi.org/10.1016/j.ultramic.2010.04.014

Birjundi, A. A. (2008). Knowledge of farming (twelve chapters on agriculture). Through the efforts of Iraj Afshar. Tehran: Written Heritage Research Center. [In Persian].

Boyle, R., D., & Hiary, H. (2009). Watermark location via back-lighting and recto removal. *International Journal of Document Analysis and Recognition*.12, 33-46 http://dx.doi.org/10.1007/s10032-009-0080-1

Catling, M., D., Grayson, E., J. (1982). Identification of Vegetable Fibers. London https://doi.org/10.2307/1505970

Cocca, M., D.,' Arienzo, L., & D,' Orazio, L. (2011). Effects of different artificial aging on structure and properties of Whatman paper samples. *International Scholarly Research Network ISRN Materials Science*. 1-7.https://doi.org/10.5402/2011/863083

Doğu, A. D, & Grabner, M (2010). A staining method for determining severity of tension wood. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry 34* (5): 381-392. https://doi.org/10.3906/tar-0906-209

Dorkin, Meisterenst, D., Friedrich, M., Hahn, O., H., Wazny, A., Noller, R., R., & Simone, C. (2015). Scientific methods for philological scholarship: Pigment and paper analyses in the field of manuscriptology. *Journal of cultural heritage*. (17),7-17.https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.06.004

Droche, F., & Richard, F. (2000). From parchment to paper, notes on several manuscripts in the Middle East. Jamila Dabeiri. *Baharestan Letter*. 1(2), 37-46. [In Persian]

Faheed, F, Mazen, A, & Elmohsen, S. A (2013). Physiological and ultrastructural studies on calcium oxalate crystal formation in some plants. *Turkish Journal of Botany 37* (1): 139-152. https://doi.org/10.3906/bot-1112-19

Farhamandfar, R., Mortazavi, S., A., Kodkhodaei, R., T., Yazdi, F., Kokhki, A., & Hosseini, M. (2012). Evaluation of the effect of ultrasound and temperature on the crystalline and microscopic characteristics of rice starch granules suspended in water using the response surface method (RSM). *Journal of Agricultural Engineering Research*. 14 (4), 13-24. [In Persian].https://doi.org/10.22092/aridse.2014.102093

Ferrer, N., M., & Carme, S. (2007). FTIR technique use to study acidic paper manuscripts dating from the Thirteenth to the Sixteenth century from the Archive of the Crown of Aragon. *The book and paper group annual*. 26, 21-25, https://www.semanticscholar.org/paper/FTIR-Technique-Used-to-Study-Acidic-Paper-Dating-to-Ferrer.

Gettens, R. (2010). Preliminary technical tests on the colors used in the manuscript of the Endreznameh [Kapusnameh]. Tehran: Library, Museum and Documentation Center of the Islamic Council. 11(17): 181-190. [In Persian]https://www.sid.ir/paper/477311/fa

Godarzi, V., & Abdullahzadeh, Tohhid. (2019). Starch-based biodegradable biopolymer films: approaches and challenges. The 4th Masterbatch and Polymer Composites Conference of Iran-Tehran. [In Persian].

Graber, O. (2011). A review of Iranian painting. Mehrdad Vahdati Daneshmand. Tehran: Institute of Authoring, Translation and Publishing of Museum Works (Matn). [In Persian]

Guggiari, M., Bloque, R., Aragno, M., Verrecchia, E., Job, D., & Junier, P. (2011). Experimental calcium-oxalate crystal production and dissolution by selected wood-rot fungi. *Journal of International Biodeterioration & Biodegradation*. 65, 803-809.https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.02.012

Hajji, L., Boukir, A., Assouik, J., Lakhiari, H., Kerbal. A., Doumenq, P., Mille. G., L., & De, Cavalho, M. (2015). Conservation of moroccan manuscript paper aded 150,200 and 800 years.Analysis by infrared spectroscopy (ATR-FTIR), x-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry (SEM-ED). *Spectrochimica Acta part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 1038-1046 https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.09.127

Haung, E., & Holts, B. (2014). Flax look-alikes: pitfalls of ancient plant fiber identification, Archaeometry. 56, 951-960 https://doi.org/10.1111/arcm.12054

Holakooei, P., & Karimy, A., H. (2015). Micro-Raman spectroscopy and X-ray fluorescence spectrometry on the

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

characterization of the Persian pigments used in the pre-seventeenth century wall paintings of Masjid-i Jāme of Abarqū, central Iran. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 134: 427-419.https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.06.123

Hosseini Someah M., Boyaghchi, A., M., & Portahmasi, K. (2017). A review of the properties of fibers of the Seljuk and Timurid Papers and using instrumental techniques for identifying their fibers. *Journal of fine arts and visual arts* .22 (2), 67-76. [In Persian]https://doi.org/10.22059/jfava.2017.62402

Hosseini, S., Z. (2000). Morphology of fibers in wood and paper pulp. Gorgan: University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publication. [In Persian].

Ilvessalo-Pfäffli S. M. (1995). Fiber Atlas Identification of Papermaking Fibers. College of Environmental Science and Forestry Syracuse. New York.

Ion, R., M., Ion, M., L., Niculescu, V., I., R., Dumitriu, I., Fierascu, R., C., Florea, G., Bercu, C., & Serban, S. (2008). Spectral analysis of original and desaturated ancient paper from Romanian Gospel. *Journal of Physics*. 53 (5-6), 781-791, https://rjp.nipne.ro/2008_53_5-6/0781_0792.pdf.

Iran Standard (8981): Paper, cardboard and paper pulp - identification of non-wood plants with the help of their fibers - test method (2006). First Edition. Iran Standard and Industrial Research Institute. [In Persian]

Karabacek, J., V. (1991). Arab paper. London.

Karimian, A., & MirzaiePari, Z. (2009). At the bottom of Iran's archival documents. Tehran: Organization of Records and National Library of the Islamic Republic of Iran. [In Persian]

Kordwani, L., Bahadri, R., & Bahrululoomi, F. (2017). Introduction and scientific review of the unique manuscript of five military treasures preserved in the Central Library and Document Center of Tehran University. Library research and university information. 52(2): 149-173. [In Persian].https://doi.org/10.22059/jlib.2019.237278.1232

Kostadinovska, M. (2015). Implementation of methods for examination on paper- based library materials. Vjesnik bibliotekara Hrvatske.58 (3-4),119-133.https://hrcak.srce.hr/156684

Loveday, H. (2001). Islamic paper: A Study of the Ancient Craft. London.

Maeal Hervey, N. (2001). History of manuscription and critical correction of manuscripts. Tehran: Ministry of Guidance and Islamic Culture.

Matsushimaa, U., Hilgerb, A., G., Wolfgang, E., Zablerd, S., Mankeb, I., Dawsonf, M., Choinkab, G., B. & Herppichc, W. (2010). Calcium oxalate crystal distribution in rose peduncles: Non-invasive analysis by synchrotron X-ray micro-tomography. Journal of Postharvest Biology and Technology. 2012; 72: 27–34, https://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=mj866.

Moqbel Isfahani, A. (2001). Knowing and making handmade papers. First Edition. Mashhad: Organization of Libraries, Museums and Documents Center of Astan Quds Razavi. [In Persian]

Odegaard, N., Scott, C., & Werner, S., Z. (2005). Material characterization tests for objects of art and archaeology. London: Archetype Publications, https://collections.britishart.yale.edu/catalog/orbis:16231353.

Porter Y. Painters, paintings and book: an essay on Idno- Persian technical literature, 12-19th Centuries. Tr. Rajabi Z. Matn publication. [in Persian].

Qandehari, Alavija, S., Alami, M., Maqsoodlou, Y., & Sadeqi, Mahonak, A. (2021). Investigating the effect of ultrasonic pre-processing and alpha-amylase enzyme on the production of porous starch from wheat and corn starches and investigating the ability to absorb iron ions. *Journal of Iran Food Science and Industry Research*.17(2): 329-338. [In Persian].https://doi.org/10.22067/ifstrj.2020.39269

Shatari, M., & Heydari, Z. (2016). Pottery type of underglaze painting based on the book Arais al-Jawahir and Nafais al-Ataib. Quarterly Journal of Islamic Art. 7(8), 30-41. [In Persian].https://doi.org/10.22077/nia.2015.646

Shi, J., l., & Li, T. (2013). Technical investigation of 15th and 19th century Chinese paper currencies: Fiber use and pigment identification. *Journal of Raman spectroscopy*. 892- 898.https://doi.org/10.1002/jrs.4297

Stuart, B., H. (2007). Analytical Techniques in Materials Conservation, https://doi.org/10.1002/9780470060520.

Van Schaik, S., Wazny, A., & Noller, R.(2015). Writing,painting and sketching at Dunhuang: assessing the materiality and function of early Tibetan manuscripts and ritual itams. *Journal of Archaeological Science*. 53, 110-132 https://doi.org/10.1016/J.JAS.2014.09.018.

Yum. H. (2008). Traditional Korean papermaking: history, techniques and materials (Unpublished doctoral thesis). University of North Umbria, https://library.northumbria.ac.uk/open-access/repositories.

استاندارد ملی ایران ۸۹۸۱. (۱۳۸۵). کاغذ، مقوا و خمیر کاغذ– شناسایی گیاهان غیرچوبی با کمک الیاف آن‌ها– روش آزمون موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

افشار، ا.، دانش پژوه، م. ت.، حجتی، ب.، و منزوی، ا. (۱۳۷۱). فهرست نسخه‌های خطی کتابخانه و موزه ملی ملک (جلد نهم، مجموعه‌ها و جنگ‌ها). انتشارات آستان قدس رضوی.

بحرالعلومی، ف. (۱۳۹۲). مطالعات کاغذ شناسی. کتاب ماه کلیات، ۱۶(۱۹۲)، ۸۸–۹۴.

بیرجندی، ع. (۱۳۸۷). معرفت فلاحت (دوازده باب کشاورزی) (ا. افشار، کوششگر). مرکز پژوهشی میراث مکتوب.

پورتر، ا. (۱۳۸۹). آداب و فنون نقاشی و کتاب‌آرایی (ز. رجبی، مترجم). نشر آثار هنری متن.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.408]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 14:47 +0330 on Thursday September 10th 2026

حسینی صومعه، م.، آزادی بویاغچی، م.، و پورطهماسی، ک. (۱۳۹۶). مروری بر توصیف ویژگی الیاف کاغذهای دوره سلجوقی و تیموری و بهره‌گیری از روش‌ها و ابزارهای دستگاهی در شناسایی الیاف آنان. نشریه علمی-پژوهشی هنرهای زیبا-هنرهای تجسمی، ۲۲(۲)، ۶۷-۷۶. https://doi.org/10.22059/jfava.2017.62402

حسینی، س. ض. ا. (۱۳۷۹). مرفولوژی الیاف در چوب و خمیر کاغذ. گرگان : دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

دروش، ف.، و ریشار، ف. (۱۳۷۹). از پوست تا کاغذ نکاتی در مورد چند نسخه خطی در خاورمیانه (ج. دبیری، تدوین). نامه بهارستان، ۱(۲)، ۳۷-۴۶.

شاطری، م.، و حیدری، ز. (۱۳۹۶). سفال گونه نقاشی زیر لعاب با استناد به کتاب عرایس الجواهر و نفایس الاطایب. فصلنامه نگارینه هنراسلامی، ۷(۸)، ۳۰-۴۱. https://doi.org/10.22077/nia.2015.646

فرهمندفر، ر.، مرتضوی، س. ع.، کدخدایی، ر.، طباطبایی یزدی، ف.، کوچکی، آ.، و حسینی، م. (۱۳۹۲). ارزیابی اثر فراصوت و دما بر ویژگی‌های کریستالی و میکروسکوپی گرانول‌های نشاسته برنج معلق در آب به روش سطح پاسخ (RSM). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۴(۴)، ۱۳-۲۴. https://doi.org/10.22092/aridse.2014.102093

قندهاری علویجه، س.، اعلمی، م.، مقصودلو، ی.، و صادقی ماهونک، ع. (۱۴۰۰). بررسی اثر پیش فرآوری فراصوت و آنزیم آلفا-آمیلاز بر تولید نشاسته متخلخل از نشاسته‌های گندم و ذرت و بررسی میزان توانایی جذب یون آهن. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۷(۲)، ۳۲۹-۳۳۸. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2020.39269

کردوانی، ل.، بهادری، ر.، و بحرالعلومی، ف. (۱۳۹۷). معرفی و بررسی علمی نسخه‌خطی منحصر به‌فرد پنج گنج نظامی محفوظ در کتابخانه مرکزی و مرکز اسناد دانشگاه تهران. تحقیقات کتابداری و اطلاع رسانی دانشگاه، ۵۲(۲)، ۱۴۹-۱۷۳. https://doi.org/10.22059/jlib.2019.237278.1232

کریمیان، ع.، و میرزایی پری، ز. (۱۳۸۸). ته نقش‌های اسناد آرشیوی ایران. سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران.

گِتِنز، ر. (۱۳۸۹). آزمایش های فنی اولیه بر روی رنگ های به کار رفته در نسخه خطی اندرزنامه [کاپوسنامه]. کتابخانه، موزه و مرکز اسناد مجلس شورای اسلامی، ۱۱(۱۷)، ۱۸۱-۱۹۰.

گرابر، ا. (۱۳۹۰). مروری بر نگارگری ایران (م. وحدتی دانشمند، مترجم). موسسه تالیف، ترجمه و نشر آثار موزه ای.

گودرزی، و.، و عبداله زاده، ت. (۲۰۱۹). فیلم‌های بیوپلیمری زیست تخریب پذیر بر پایه نشاسته: رویکردها و چالش‌ها. چهارمین کنفرانس مستربچ و ترکیبات پلیمر ایران. تهران.

مایل هروی، ن. (۱۳۸۰). تاریخ نسخه پردازی و تصحیح انتقادی نسخه های خطی. وزارت ارشاد و فرهنگ اسلامی.

مقبل اصفهانی، ا. (۱۳۸۰). شناخت و ساخت کاغذهای دست‌ساز (چاپ اول). سازمان کتابخانه‌ها، موزه‌ها و مرکز اسناد آستان قدس رضوی.