



Original Paper

The investigation of Shah Nematollah vali Patteh by EDS, SEM, and FTIR systems analysis



Hakimeh Keyhkay Hejrati^{1*}, Mehrnaz Azadi Buyaghchi², Mohsen Mohammadi
Achachlooei²

¹ M.A in Conservation of Cultural and Historical Artifacts, Art University of Isfahan, IRAN

² Associate Professor, Department of Conservation of Cultural and Historical Artifacts, Art University of
Isfahan, IRAN

² Assistant Professor, Department of Conservation of Cultural and Historical Artifacts, Art University of
Isfahan, IRAN

Received: 12/06/2019

Accepted: 08/10/2019

Abstract

Patteh sewing is one of the most beautiful and most famous and oldest embroiders in Iran that has very history. It's one of the methods of decorating clothes that is combined closely to the tradition, climate, and attitude of people living in southeast of Iran. Patteh sewing is one of most significant and most brilliant embroiders of Kerman province, and is deeply rooted in the cultural history of Kerman, that is sew on the base of one cloth (Shal) with colorful strings (Ris). The art of Patteh sewing has received much attention from old ages, and there are rare works of this art in museums that it must be studied to be protected. Patteh is among traditional and old arts that protecting them against damaging factors is very important. Compared to other historical works, studying Patteh is performed less. Therefore, studying and protecting this kind of works increase because they are rare. The studied Patteh in this research belong to, Shah Nematollah Vali shrine. This Patteh is prepared on 1294 by 16 Kerman women during three years to cover this shrine. Since this work is the oldest embroider remained in Kerman and till now any protective action isn't performed on it, recognizing the damages to the fibers of this work is very important. The fibers in this work include field string (Shal), embroider string, decorative string on the margins of work, primer string and connective string that Shal and embroider string are woolen and decorative string is silk and primer string is linen and connective fiber is cotton. In this research to study the damages of fibers in above close up, the method of SEM was used. The results from this research indicate that in the cuticle and cortex area, the wool fibers in Patteh are damaged. Also these damages are probably created because of mechanical and physical pressures on the fibers. To study the percent of variations of humidity and temperature in three seasons of spring, summer and winter, on humidity meter device was used. The results showed that museum has humidity variations that can damage the objects. The most variation are happened in summer. Also a thick layer of pollutants is observed on the fibers. To identify these pollutants, EDS analysis was used, that consequently the elements of Silica, lead, Al and mg were identified. The dust on the fibers will gradually result in physical and chemical damages on studied fibers. The method of FTIR was used to study these damages. Based on this study, it became clear that damage process is happened on silk, wool, cotton and linen fibers. In the leaves of string (shal) and the embroider string and root decorative leaves in the edges of studied Patteh that are made of protein are observed in area Amid I and Amid II and Amid III that this decrease in leaves shows the process of

* Corresponding author: hakimeh.keykha1990@gmail.com

destroying in leaves. In the leaves of connective string and primer string that are made of cellulose, the decrease of C-O-C and C-O bonds in historical sample indicate hydrolysis of cellulose molecules, and in historical sample, increase in the C-H area indicate the increase of Crystallinity in leaves of connective string. The reason of this damage on studied fibers is photo damage and shortage of humidity and mechanical pressure's.

Keywords: Fabers harm, Wool, Silk, Flax, Cotton, Shah Nematollah Vali Patteh, SEM-EDS, FTIR



بررسی آسیب الیاف پته شاه نعمت‌الله ولی به روش آنالیز دستگاه

FTIR و SEM/EDS

حکیمه کیخای هجرتی^{۱*}، مهرناز آزادی بویاغچی^۲، محسن محمدی آچاچلویی^۳

۱. کارشناسی ارشد مرمت اشیای فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشیار، عضو هیئت علمی دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۳. استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲

چکیده

پته‌ی شاه نعمت‌الله ولی، در سال ۱۲۹۴ ه.ق، برای پوشش مقبره و توسط ۱۶ بانوی کرمانی در طی سه سال دوخته شده است. از آنجایی که این اثر قدیمی‌ترین سوزن‌دوزی باقی‌مانده در استان کرمان است، آسیب‌شناسی الیاف این اثر بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق برای بررسی آسیب‌های الیاف در بزرگنمایی بالا، از روش دستگاهی SEM استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که در ناحیه کوتیکول و کورتکس الیاف پشم موجود در پارچه زمینه و نخ‌های سوزن‌دوزی، آسیب‌دیدگی وجود دارد. همچنین در الیاف ابریشم (که در لبه پته کار شده است) و در الیاف آستر که از جنس کتان است، شکستگی اتفاق افتاده است. این آسیب احتمالاً بر اثر فشارهای فیزیکی و مکانیکی موجود بر روی الیاف ایجاد شده است. همچنین لایه ضخیمی از آلاینده‌ها بر روی سطح الیاف ابریشمی، نخ سوزن‌دوزی و نخ شال (پارچه زمینه) دیده می‌شود. برای شناسایی آلاینده‌های موجود بر روی الیاف از آنالیز EDS استفاده شد، که در نتیجه، عناصر سیلیس، سرب، آلومینیوم و منیزیم شناسایی گردید. غبار موجود بر روی الیاف، به‌مرور زمان باعث آسیب بر روی الیاف نمونه مورد مطالعه می‌گردد. برای مطالعات آسیب‌های ساختاری الیاف از روش دستگاهی FTIR استفاده گردید. که بر این اساس مشخص شد، در الیاف پشمی نخ سوزن‌دوزی و نخ شال (پارچه زمینه پته)، در نخ‌های ابریشمی ریشه تزئینی در لبه‌ی اثر، در نخ‌های پنبه‌ای و صالی و در نخ آستری که از جنس کتان است، فرآیند تخریب الیاف وجود دارد. دلیل این نوع شدت تخریب در الیاف مورد مطالعه احتمالاً تخریب نوری، کمبود رطوبت، سایش و فشارهای مکانیکی است.

واژگان کلیدی: آسیب الیاف، پشم، ابریشم، کتان، پنبه، پته شاه نعمت‌الله ولی، FTIR, SEM-EDS

*مسئول مکاتبات: ایران، کرمان - بم، خیابان فردوسی کوچه فردوسی^۹، کوچه بن‌بست شقایق، کد پستی: ۳۴۸۶۷-۷۶۶۱۶

پست الکترونیکی: hakimeh.keykha1990@gmail.com

© حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

۱. مقدمه

منسوجات تاریخی به دلیل قدمت و مفهوم فرهنگی و از لحاظ زیبایی و آداب و رسوم تاریخی دارای اهمیت فراوانی هستند. برای بررسی آسیب‌های وارده به آثار تاریخی می‌توان از روش‌های آنالیز دستگاهی استفاده کرد، تا شرایط مناسب‌تری برای نگهداری آن‌ها فراهم گردد. پته‌دوزی هم نوعی اثر تاریخی است، که به‌مرور زمان و در طی سال‌های متمادی در معرض نابودی قرار گرفته است. پته‌دوزی یکی از سوزن‌دوزی‌های اصیل و معروف استان کرمان است که تولید آن سابقه دیرینه‌ای دارد و برای آرایش وزینت بخشیدن به سطوح پارچه‌ای یا لباس استفاده می‌شود. این هنر، با اقلیم و نگرش معنوی مردمان نواحی جنوب شرق ایران پیوند خورده است. در پژوهش حاضر به بررسی پته شاه نعمت‌الله ولی پرداخته شده است. که از مجموعه پته‌های نادر مقبره شاه نعمت‌الله ولی در ماهان کرمان است. این پته به لحاظ زیبایی، ظرافت و همچنین قدمت، جزء نفیس‌ترین آثار سوزن‌دوزی ایران به حساب می‌آید [1]. پته مورد مطالعه، یکی از پرکارترین پته‌های تولیدشده در ایران است که متعلق به سال ۱۲۹۴ هجری قمری است که در نتیجه‌ی سه سال تلاش مداوم ۱۶ بانوی پته دوز کرمانی و بر پارچه‌ای با طول ۳۵۰ cm و عرض ۲۱۰ cm دوخته شده و نمونه بسیار برجسته‌ای از ذوق و هنر زنان کرمان به حساب می‌آید. اثر مورد مطالعه دارای آسیب‌های متعددی همچون آسیب‌های بیولوژیکی، پارگی، رنگ‌پریدگی و غیره است، و شرایط نگهداری مناسبی ندارد. از آنجایی که از این نوع سوزن‌دوزی تعداد کمی باقی مانده است و به دلیل این که پته شاه نعمت‌الله ولی قدیمی‌ترین پته ایران است و تا به امروز هیچ‌گونه کارهای مطالعاتی، حفاظتی و مرمتی در مورد آن صورت نگرفته، مطالعه‌ی این اثر حائز اهمیت است. این پژوهش بر آن است که آسیب‌های وارده به الیاف پته‌ی مقبره شاه نعمت‌الله ولی را با استفاده از روش‌های دستگاهی مورد بررسی قرار دهد.

۲. پیشینه پژوهش

محققان برای بررسی آسیب‌های وارده به الیاف یک

پارچه‌ی متعلق به چادر نشینان که در موزه تاریخی جوردنیان وجود دارد از روش آنالیز SEM و FTIR استفاده کرده‌اند. در بررسی الیاف توسط تصاویر میکروسکوپی SEM مشخص شد، جنس الیاف در نمونه مورد مطالعه پشم است. الیاف این اثر، در بعضی از نقاط دچار تفاوت در ضخامت و همچنین تغییراتی در مورفولوژی سطح شده‌اند. الیاف پشم به شدت آسیب دیده و در انتها دچار شکستگی شده‌اند، که احتمالاً نشانه‌ی قوی از اثرات تخریبی نور و رطوبت است [2]. بر روی پارچه‌ی ابریشمی موجود در موزه هنر اسلامی در کشور قاهره، مطالعاتی انجام شد که برای بررسی آسیب‌های الیاف آن از روش میکروسکوپی SEM استفاده گردید. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده بر روی الیاف ابریشم مشخص شد، که الیاف پارچه مورد مطالعه دچار آسیب، شکستگی و ترک خوردگی شده‌اند. احتمالاً دلیل این نوع از آسیب، نوسانات رطوبت و دما در محل موزه است [3]. حفاظت و استحکام پارچه‌های تاریخی که سست و شکننده‌اند همواره برای مرمتگران دارای اهمیت است. بر روی پارچه‌ی متعلق به دوره صفوی در موزه مقدم، آنالیز SEM انجام شده است. بر این اساس، در الیاف نمونه مورد مطالعه، تخریب شدید، له‌شدگی الیاف فلزی موجود در پارچه و حضور میکروارگانیسم‌ها قابل مشاهده است [4]. بر روی پارچه‌ی متعلق به دوره ساسانی، بررسی‌های میکروسکوپی انجام شد، که مشخص گردید نمونه مورد مطالعه از جنس کتان است. همچنین بر اساس بررسی‌های SEM، پوسیدگی و شکنندگی فوق العاده‌ای در الیاف این اثر مشاهده شد. از مهم‌ترین تأثیرات تخریب در این الیاف، می‌توان به کاهش وزن مولکولی، تغییر ظاهری، افزایش درجه اکسیداسیون، حلالیت، تغییر در میزان کریستالی بودن و کاهش استحکام اشاره کرد [5]. از یک لباس ابریشمی تاریخی، متعلق به پادشاه گوستاو دوم آدولف (گییا) دویل در آلمان، برای بررسی آسیب‌های الیاف، نمونه‌برداری انجام گرفت. از نمونه مورد مطالعه طیف FTIR گرفته شد که بر این اساس، مشخص گردید که گروه‌های اصلی در محدوده 1700 cm^{-1} – 1580 cm^{-1} آمید، در محدوده cm^{-1}

نمونه، الیاف آستر و نخ وصالی نمونه‌برداری شد. برای بررسی نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز از دستگاه FTIR (spectrometer مدل Nicolet Nexus 470 ساخت شرکت Thermo Nicolet آمریکا، متصل به نرم‌افزار OMNIC مجهز به PIKE miracle attenuated total reflectance (ATR) کریستال الماس موجود در دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان استفاده گردید.

برای انجام این آنالیز، مقداری از الیاف نمونه مورد مطالعه همراه با پودر KBR ساییده شد و از پودر ساییده شده تحت فشار پرس، یک قرص تهیه و از نمونه طیف FTIR گرفته شد. همچنین برای بررسی آسیب‌های الیاف در بزرگمایی بیشتر از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی FE-SEM ساخت شرکت TE-SCAN مدل MIRA3 موجود در آزمایشگاه بنیاد علوم کاربردی رازی استفاده گردید و از نمونه‌های مورد مطالعه عکس‌برداری شد. از آنالیز EDS نیز برای شناسایی آلایندگی‌های موجود بر روی الیاف نمونه استفاده شد.

۵. نتایج داده‌های حاصل از بررسی دما و

رطوبت در محیط موزه

دما و رطوبت موجود در محیط بر اساس استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج در محیط موزه EEUREA مدل ۸۹۰۷۷ ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. درصد رطوبت و دمای متوسط در سه فصل از یک سال اندازه‌گیری شده است. نوسانات رطوبت و دمای موجود در محیط موزه در نمودار زیر آورده شده است.

بر اساس داده‌ها آماری که در سه فصل از یک سال در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین نوسانات رطوبت و دما در فصل تابستان نشان می‌دهد. طبق استاندارد موجود در موزه‌ها باید دما ۱۸ تا ۲۲ °C و رطوبت ۵۵ تا ۴۵٪ باشد [9]. بر اساس داده‌های موجود در نمودار بالا در فصل تابستان دما ۵۰ درجه و رطوبت ۲۸٪ بوده است که بالاترین میزان رطوبت و دما در محیط موزه را نشان می‌دهد. کم‌ترین دما و رطوبت نیز مربوط به فصل زمستان است. این نوسانات دما و رطوبت برای شی مورد مطالعه می‌تواند آسیب‌رسان باشد.

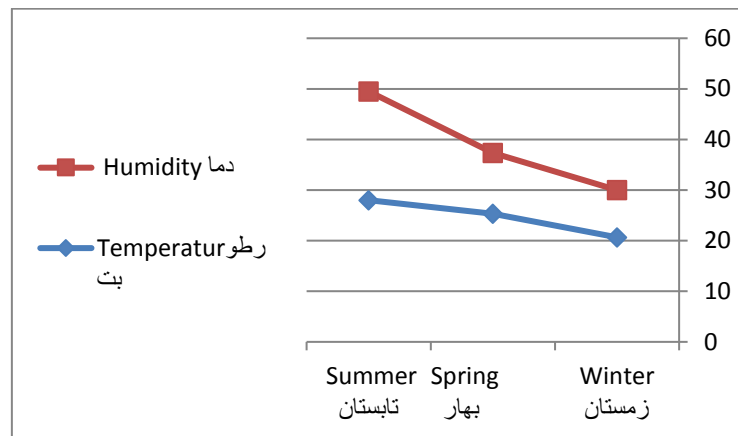
^۱ ۱۵۸۰-۱۴۸۰ cm⁻¹ آمید II و در محدوده ۱۳۰۰-۱۲۰۰ cm⁻¹ آمید III قرار گرفته‌اند و در محدوده ۱۱۷۵ cm⁻¹ پیوند C-H وجود دارد. همچنین ارتعاشات اصلی مربوط به زنجیره‌های پپتید Gly-Ala-Gly-Ala-Gly-X است، که این محدوده بیشتر در قسمت فیبروئین ابریشم مشاهده می‌گردد. کاهش این محدوده‌های ذکر شده در الیاف نمونه‌ی مورد مطالعه فرایند تخریب را نشان می‌دهد [6]. منسوجات تاریخی به دلیل قرار گرفتن در معرض محیط آسیب‌پذیر می‌شوند. برای بررسی آسیب‌های وارده به یک پارچه‌ی تاریخی در حال نمایش، که قدمت آن به دوره‌ی عثمانی برمی‌گردد و در موزه مصر نگهداری می‌شود، آنالیزهای EDS، FTIR، SEM انجام گرفت تا فرایند تخریب، در این اثر مورد بررسی قرار گیرد [7]. برای مطالعه‌ی پارچه‌های مربوط به تزئینات سقفی از غرقه امپریالی یک مسجد در استانبول (ترکیه) از آنالیز ATR-FTIR و آنالیز SEM استفاده شده است. با توجه به این بررسی‌ها مشخص شد که پارچه مورد مطالعه از جنس کتان است. همچنین بر اساس بررسی‌های آنالیز SEM، خردشدگی الیاف و قسمت‌های تعمیر شده‌ی پارچه‌ی تاریخی نیز قابل مشاهده است. با تجزیه و تحلیل طیف‌های FTIR میزان تخریب پارچه‌های تاریخی در قسمت کریستالی الیاف مشخص شد [8].

۳. روش پژوهش

روش تحقیق از نظر هدف، کاربردی است. در این پژوهش روش یافته‌اندوزی، کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی است. در بخش کتابخانه‌ای با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، پیشینه‌ی تحقیق نوشته شد و تحلیل و مقایسه داده‌ها انجام گرفت. در بخش آزمایشگاهی، برای بررسی‌های آسیب‌شناسانه از روش‌های SEM/EDS و FTIR استفاده شد، و به استناد داده‌های به‌دست آمده، تجزیه و تحلیل انجام گردید. روش تجزیه و تحلیل در این تحقیق، کمی است.

۴. ابزار و روش‌های آزمون

برای بررسی آسیب‌های وارده به الیاف نمونه مورد مطالعه، از نخ‌های شال و سوزن‌دوزی، نخ‌های ریشه تزئینی در لبه

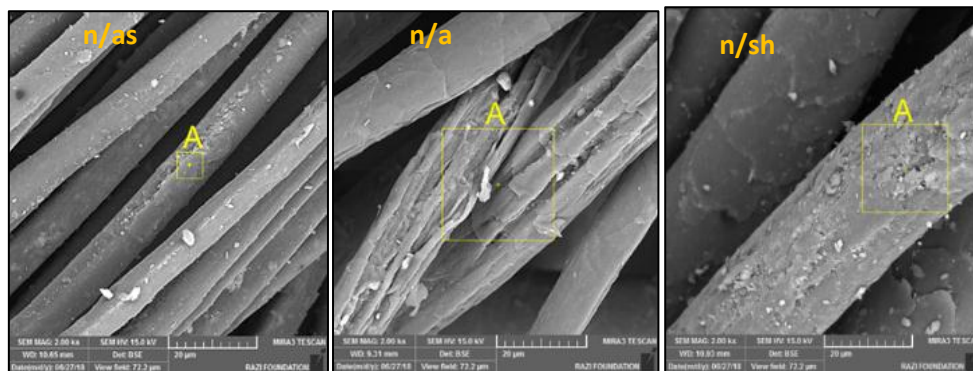


شکل ۱: تغییر رطوبت در محیط موزه در سال ۱۳۹۶

Fig. 1: Change of humidity in museum environment in Year 1396

پشمی نخ سوزن‌دوزی با کد n/sh و نخ آستر با کد n/as و نخ ابریشمی تزئینی با کد n/a آنالیز EDS گرفته شد، تا نوع و میزان آلاینده‌ها بر روی نمونه مورد مطالعه شناسایی گردد.

۶. نتایج داده‌های حاصل از شناسایی آلاینده‌های موجود بر روی پته شاه نعمت‌الله ولی
برای شناسایی آلاینده‌های موجود بر روی سطح نمونه‌ی مورد مطالعه از روش SEM-EDS استفاده شد. از الیاف



شکل ۲: آنالیز EDS از نمونه الیاف نخ شال پته شاه نعمت‌الله ولی از سمت راست تصویر n/sh الیاف نخ شال با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر، تصویر n/a نخ ابریشم با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر، تصویر n/as نخ آستر با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر

Fig. 2: EDS analysis of shale fibers of Patch Shah Nematollah Wali but right image n / sh, Shawl fibers with 2000x magnification, n / a image Silk thread with a magnification of 2000x, image n/as primer thread with a magnification of 2000x

جدول ۱: میزان درصد عناصر آلاینده بر روی پته مورد مطالعه
Table 1: Percentage of pollutants in the studied pate

نمونه Sample	C	Mg	Al	Si	S	Pb
نخ شال Shawl yarn	44.60	0.66	0.50	0.75	2.96	2.21
نخ آستر Liner yarn	56.52	0.73	0.73	1.06	4.60	3.37
نخ ابریشمی Silk yarn	40.22	0.006	0.58	0.82	0.44	1.03

طیف FTIR^۲ گرفته شد.

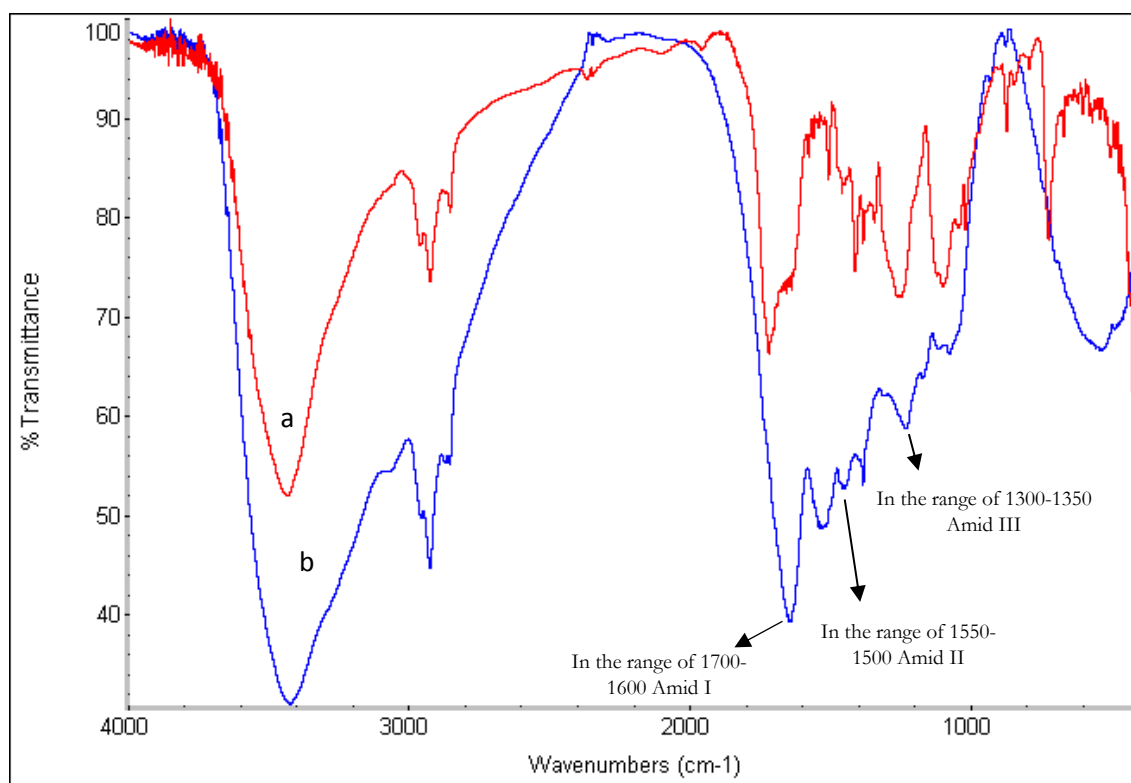
پشم یکی از مواد اولیه در صنایع نساجی محسوب می‌شود. الیاف حیوانی مانند پشم از واحدهای اسیدآمینه که به یکدیگر متصل می‌شوند تشکیل شده است [11]. شکل ۳ نمونه الیاف پشمی را نشان می‌دهد. طیف a، نخ سوزن‌دوزی پته‌ی مورد مطالعه و طیف b نمونه شاهد از الیاف پشم است، در این شکل گروه‌های عاملی مهم در ساختار پشم مشخص شد، که شامل گروه‌های آمید I، آمید II، آمید III است [12]. در طیف a، احتمالاً مربوط به باندهای جذبی آمید I در محدوده 1645 cm^{-1} ، آمید II در محدوده 1510 cm^{-1} و آمید III در محدوده 1280 cm^{-1} قرار دارد [13]. در محدوده 668 cm^{-1} پیوند C-H دیده می‌شود. رطوبت طیف جذبی در محدوده 3443 cm^{-1} است، در محدوده 1455 cm^{-1} پیوند خمشی متقارن CH_3 دیده می‌شود. در میان چربی‌های پشم، پیوند کششی نامتقارن CH_3 ، در محدوده 2925 cm^{-1} و پیوند کششی نامتقارن CH_2 در محدوده 2958 cm^{-1}

بر اساس میزان درصد عناصر حاصل از آنالیز EDS که در جدول ۱ آورده شده است بیشترین میزان آلاینده‌های موجود در نمونه مورد مطالعه به ترتیب کربن، منیزیم، آلومینیوم، سیلیس، گوگرد، سرب است که این آلاینده‌ها باعث ایجاد آسیب‌های فیزیکی و شیمیایی می‌شوند.

۷. بررسی آسیب الیاف پته شاه نعمت‌الله ولی

به روش آنالیز دستگاهی FTIR

طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)، روش مفیدی برای شناسایی الیاف طبیعی و مصنوعی است. طیف مادون قرمز الیاف طبیعی در منسوجات، باندهای پروتئینی خاصی را نشان می‌دهد، اگرچه ممکن است در نمونه‌های مختلف طیف مادون قرمز مشابه باشد، ولی این، بسته به نوع پروتئین متفاوت است [10]. برای شناسایی آسیب‌های موجود در الیاف نمونه‌ی مورد مطالعه، از الیاف نخ سوزن‌دوزی، نخ شال، نخ ریشه تزیینی لبه، نخ وصالی و نخ آستر نمونه‌برداری و از آن‌ها



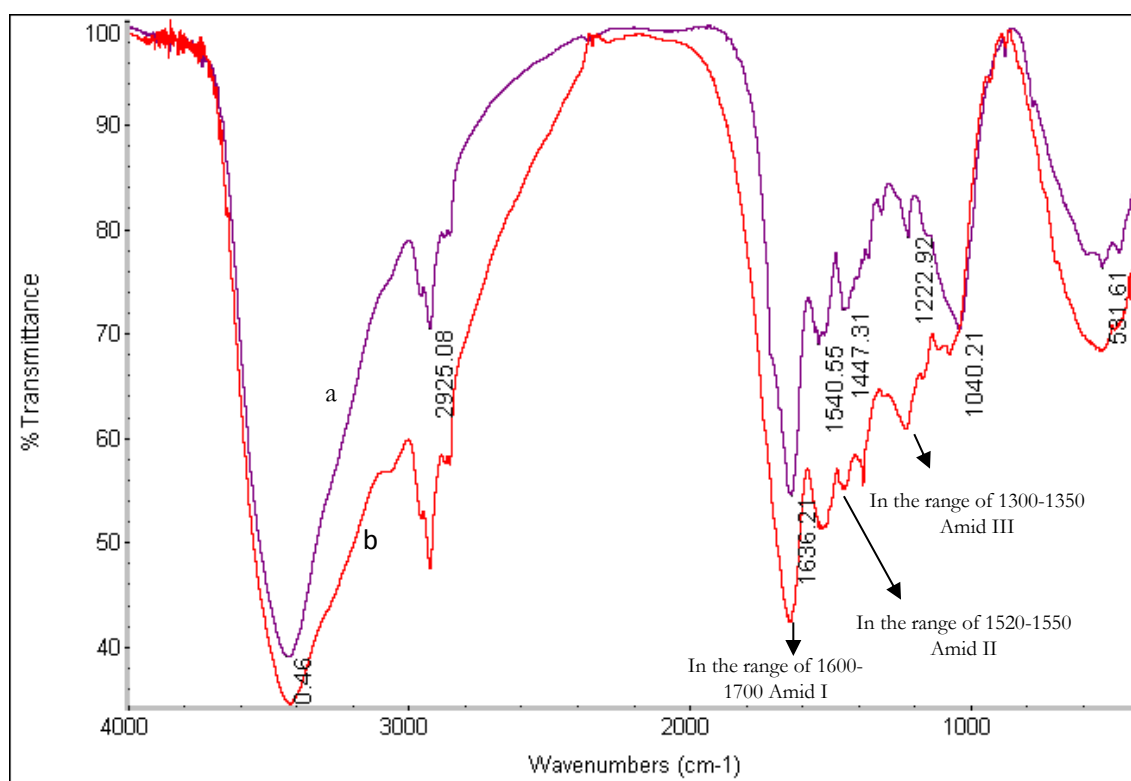
شکل ۳: طیف الیاف پشم a نخ سوزن‌دوزی پته شاه نعمت‌الله ولی و طیف b نخ شاهد الیاف پشم

Fig. 3: Spectrum of wool fibers of a needle needle thread of Patch Shah Nematollah Vali And the whole spectrum b of wool fibers

3432 cm^{-1} رطوبت است. نمونه تاریخی الیاف شال پته شاه نعمت‌الله ولی در قسمت آمیدهای نوع اول و دوم ضعف بیشتری نسبت به نمونه شاهد از الیاف پشم دارد. همچنین کاهش چربی‌ها CH_2 و CH_3 قابل‌شناسایی است. در محدوده گروه خمشی N-H و در محدوده اسیدآمین‌ها گروه خمشی CH_2 کاهش دیده می‌شود و همین‌طور شاهد کاهش در محدوده C-N-H و در باند کششی C=O نیز هستیم که این کاهش آمید در نوع I و آمید نوع II و کاهش چربی در نمونه تاریخی نشان از فرآیند تخریب در شال (پارچه زمینه پته) است.

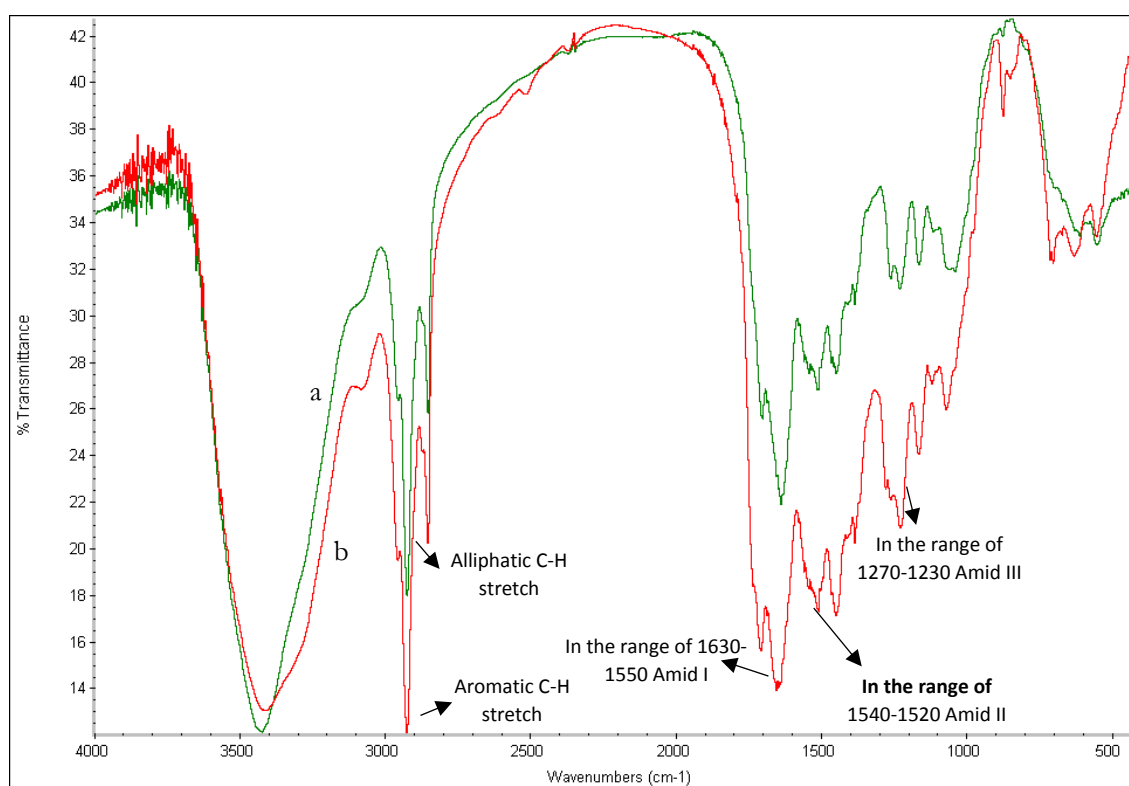
ابریشم دارای دو قسمت فیلامنت و سیرپسین است. مواد تشکیل‌دهنده ابریشم، پروتئین‌های فیبروئین و سیرپسین، چربی و واکس و مواد معدنی هستند که حدوداً ۹۸٪ وزن الیاف ابریشم را پروتئین تشکیل می‌دهند [17]. در شکل ۵، طیف a، الیاف ریشه‌های تزئینی لبه پته شاه نعمت‌الله ولی، که از جنس ابریشم^۳ است و طیف b نمونه شاهد ابریشم را نشان می‌دهد.

در شکل ۴، طیف a (نمونه‌ی نخ شال پته شاه نعمت‌الله ولی) و طیف b (نمونه شاهد الیاف پشم^۴) دیده می‌شود. در طیف نمونه‌ی شاهد، احتمالاً مربوط به باندهای جذبی آمید نوع I در محدوده 1700 cm^{-1} ، آمید نوع II در محدوده 1636 cm^{-1} ، آمید نوع III در محدوده 1540 cm^{-1} است. چربی‌های پشم پیوند کششی نامتقارن CH_3 در محدوده 2924 cm^{-1} ، پیوند کششی نامتقارن CH_2 در محدوده 2853 cm^{-1} مشخص است [14]. در محدوده 725 cm^{-1} گروه خمشی N-H جز ساختار آمیدی پتیدها است. در محدوده 1415 cm^{-1} پیوند کششی متقارن CH_2 وجود دارد. در محدوده 1375 cm^{-1} پیک اسیدآمین پیوند خمشی متقارن CH_3 دیده می‌شود. در محدوده 1465 cm^{-1} طیف اسیدآمین گروه خمشی CH_2 وجود دارد [15]. در محدوده 1060 cm^{-1} گروه کششی C-O و در محدوده 2900 cm^{-1} پیوند کششی O-H مشخص است [16]. در محدوده 1520 cm^{-1} باند خمشی C=O مشاهده می‌گردد. طیف جذبی در محدوده



شکل ۴: طیف الیاف پشم طیف a نخ شال (پارچه زمینه) پته شاه نعمت‌الله ولی و طیف b نمونه شاهد الیاف پشم

Fig. 4: Spectrum of wool fibers of a whole shawl (background fabric) Pateh Shah Nematollah Wali And spectrum b of samplespecimens of wool fibers

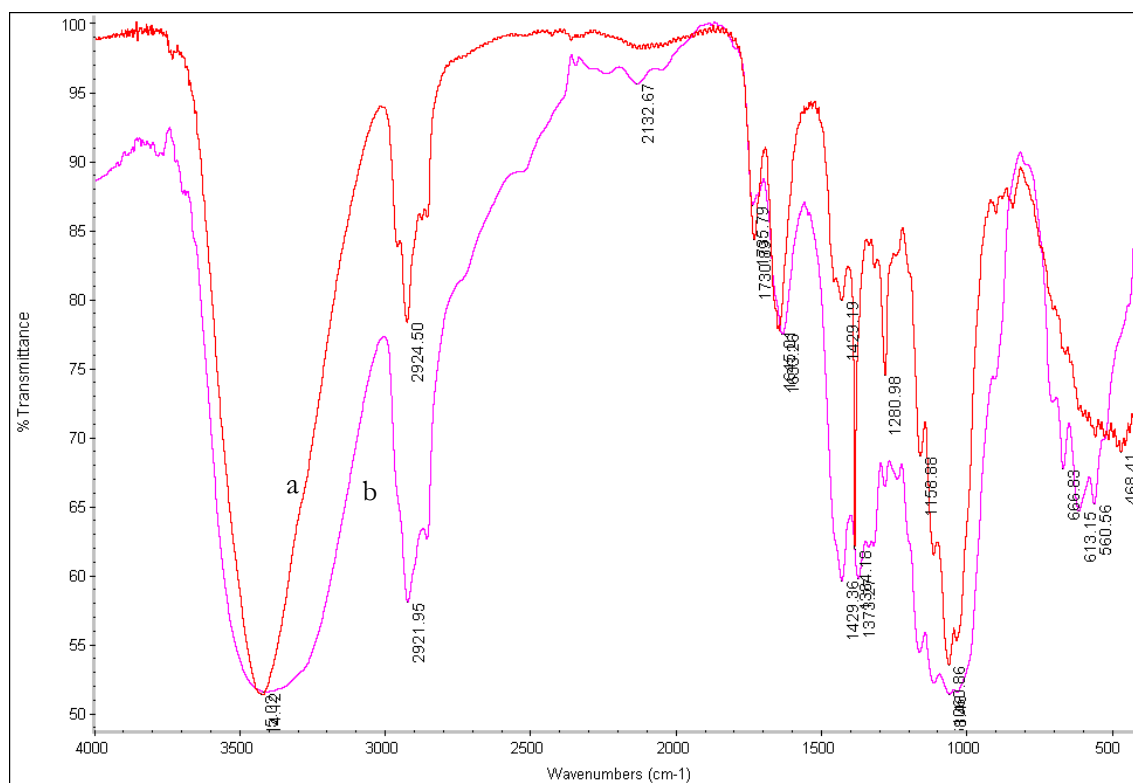


شکل ۵: الیاف ابریشم طیف a الیاف نخ تزینی لبه پته شاه نعمت‌الله ولی و طیف b الیاف شاهد ابریشم
Fig. 5: Spectrum silk fibersa. Patch Shah Nematollah vali And the spectrum b of silk samplefibers

می‌شود. یعنی قسمت اعظم ساختمان آن (دیواره ثانویه) از سلولز تشکیل شده است [20]. در الیاف سلولزی پنبه دو ناحیه‌ی «آمورف» و «بلوری» وجود دارد. در محدوده آمورف، زنجیره‌های مولکولی به علت داشتن فاصله بیشتر با پیوندهای محدودی به یکدیگر وصل می‌شوند، در صورتی که در محدوده بلوری، زنجیره‌ها با فاصله بسیار کمی از یکدیگر قرار می‌گیرند. پیوندهای بین زنجیره‌ها در این مناطق در تعیین خواص مکانیکی نقش مهمی را به عهده دارند [21]. در طیف a در محدوده 666 cm^{-1} پیوند C-O-C وجود دارد که زنجیره سلولزی و یکی از ناحیه‌ی مهم در سلولز است. در محدوده 1162 cm^{-1} پیوند C-O-C دیده می‌شود [22]. در محدوده 1035 cm^{-1} پیوند C-O و در محدوده 1127 cm^{-1} پیوند C-O، در محدوده 1650 cm^{-1} گروه کربوکسیلات و گروه پیوند کششی کربونیل C=O در محدوده 1644 cm^{-1} وجود دارد [23]. پیوند CH در محدوده 1325 cm^{-1} محدوده بلورین است. در محدوده 1058 cm^{-1} پیوند کششی C-O و در محدوده 1200 cm^{-1} - 1500 cm^{-1} محدوده

پیک‌های شاخص ابریشم شامل گروه‌های آمید نوع I در محدوده 1646 cm^{-1} ، آمید نوع II در محدوده 1580 cm^{-1} ، آمید نوع III در محدوده 1280 cm^{-1} ، پیوند کششی نامتقارن CO_2^- در محدوده 1560 cm^{-1} ، در ناحیه جذب آمید نوع I است [18]. محدوده 1175 cm^{-1} پیوند C-H [19] و محدوده 976 cm^{-1} - 1013 cm^{-1} به ترتیب مربوط به گلايسين-گلايسين و پیوند آلانين-آلانين است که این محدوده مربوط به فیبروئین ابریشم است [6]. پیوند کششی متقارن C-H در محدوده 2853 cm^{-1} ، پیوند کششی C-H نامتقارن در محدوده 2956 cm^{-1} و رطوبت در محدوده 3414 cm^{-1} شناسایی شد. بررسی و مقایسه بین دو طیف نمونه‌ی مورد مطالعه و نمونه شاهد، بیان‌کننده‌ی کاهش در اسیدهای چرب پیوند کششی C-H است. کاهش آمید نوع I و II و III در طیف a، نشان‌دهنده‌ی تخریب الیاف در نمونه مورد مطالعه است.

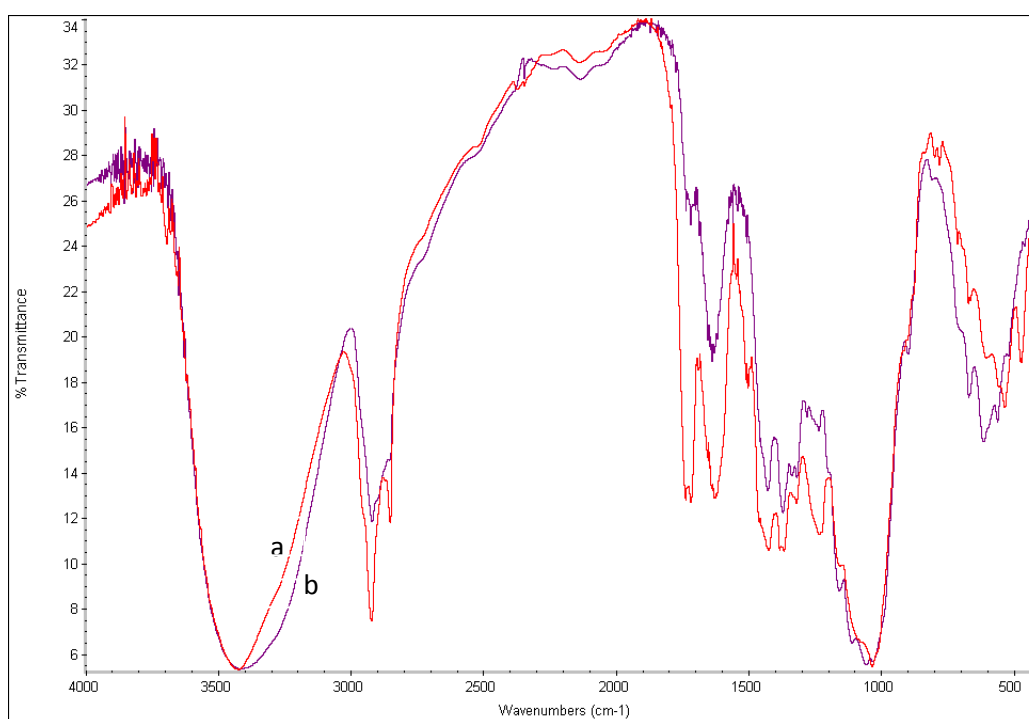
شکل ۶: طیف جذبی a (نمونه‌ی نخ وصالی) و طیف جذبی b (نمونه‌ی شاهد) را نشان می‌دهد که هر دو از جنس پنبه هستند. پنبه^۵ جزء الیاف سلولزی محسوب



شکل ۶: طیف a الیاف نخ وصالی از جنس پنبه در پته شاه نعمت‌الله ولی و طیف b نمونه شاهد پنبه
Fig. 6: Spectrum a of cotton fiber yarn in Pate Shah Nematollah Vali and Spectrum b of cotton control sample

آن است [24]. شکل ۷ الیاف کتان آستر پته شاه نعمت‌الله ولی b و استاندارد الیاف کتان a را نشان می‌دهد. در نمونه‌ی الیاف آستر پته شاه نعمت‌الله ولی گروه‌های کربونیل در محدوده C=O و همی سلولز در محدوده 1644 cm^{-1} شناسایی گردید [25]. CH در محدوده‌ی 1452 cm^{-1} جزء گروه‌های کربوکسیلات است و محدوده پیوند C-O-C در محدوده 1155 cm^{-1} در زنجیره سلولزی قرار دارد. در محدوده 2850 cm^{-1} پیوند CH_2 (واکس) و در محدوده 2850 cm^{-1} پیوند C=O وجود دارد. در محدوده 1050 cm^{-1} پیوند C-O و در محدوده 1020 cm^{-1} پیوند C-C مشاهده می‌شود. در محدوده 2900 cm^{-1} پیوند C-H و در محدوده 1654 cm^{-1} C=O وجود دارد [26]. بر اساس مقایسه بین طیف نمونه‌ی تاریخی و طیف نمونه شاهد، کاهش سلولز در الیاف کتان می‌شود. فرایند تخریب در الیاف آستر مشاهده می‌گردد.

کریستالین وجود دارد، به‌طور کلی محدوده 600 cm^{-1} تا 1800 cm^{-1} اثر انگشت الیاف پنبه به حساب می‌آید [23]. در محدوده 2921 cm^{-1} پیوند کششی C-H و در محدوده 1000 cm^{-1} تا 1050 cm^{-1} محدوده آمورف مشاهده می‌گردد. در محدوده 1162 cm^{-1} پیوند C-C وجود دارد. در محدوده 2921 cm^{-1} باند کششی C-H ، در محدوده 1700 cm^{-1} باند کششی C=O و در محدوده 1500 cm^{-1} پیوند C-H دیده می‌شود [23]. محدوده 1380 cm^{-1} نیز پیوند C-O-H را نشان می‌دهد. بر اساس مقایسه بین طیف‌های نمونه‌ی تاریخی و نمونه‌ی شاهد، کاهش پیوندهای C-O-C ، C-O و در نتیجه هیدرولیز مولکول‌های سلولز مشاهده می‌گردد و در نمونه تاریخی در ناحیه C-H افزایش جذب دیده می‌شود که این افزایش در طیف C-H نشانه افزایش بلورینگی است. کتان احتمالاً اولین لیف ساقه‌ای است که در صنعت نساجی از آن استفاده شده است. ناخالصی‌های موجود در کتان عبارتند از: همی سلولز، چربی و مواد رنگی و مانند



شکل ۷: طیف a نمونه از آستر پته شاه نعمت‌الله ولی و طیف b نمونه شاهد

Fig. 7: Spectrum a of the sample of Pate Shah Nematollah Vali and spectrum b Control sample

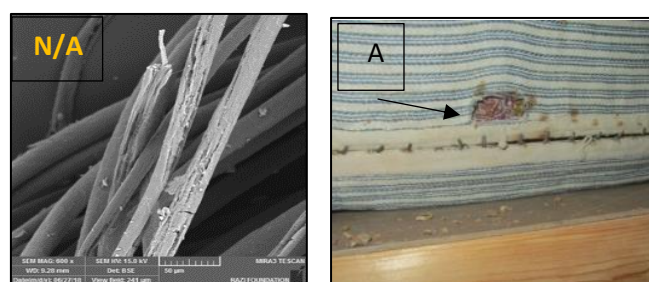
است. تا میزان آسیب‌دیدگی الیاف با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گیرد.

در شکل ۸ با توجه به تصویر A محل نمونه‌برداری از الیاف آستر که در پشت پته قرار دارد نشان داده شده است. در تصویر N/V آسیب‌های الیاف آستر به روش SEM مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی نشان می‌دهد که الیاف آستر، سست و شکننده شده‌اند. این آسیب‌های وارده به الیاف به مرور زمان باعث کاهش انعطاف‌پذیری و کاهش مقاومت در برابر شرایط محیطی،

۸. بررسی آسیب‌های میکروسکوپی الیاف

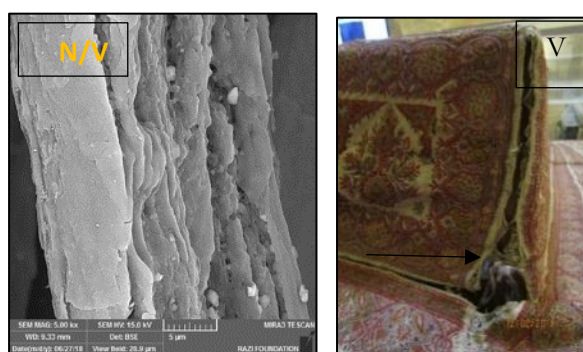
نمونه مورد مطالعه به روش SEM

روش آنالیز SEM می‌تواند برای آزمایش الیاف پارچه‌های تاریخی و نیز برای بررسی آسیب‌ها و تخریب‌های ایجاد شده، به کار رود. این روش، برای آزمایش تأثیرات آبرو خاک در نمونه پارچه‌های ساخته شده از پنبه، ابریشم و پشم به کار گرفته می‌شود [10]. برای شناسایی آسیب‌های وارده به الیاف پته مورد مطالعه از روش آنالیز دستگاه SEM^۱ استفاده شده



شکل ۸: تصویر سمت راست محل نمونه‌برداری از آستر و تصویر سمت چپ نمونه SEM از الیاف آستر نمونه مورد مطالعه با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر

Fig. 8: The image to the right of the sample location on the liner and Left image of the SEM sample of the studied liner fibers with a magnification of 1000x



تصویر ۹: تصویر سمت راست محل نمونه‌برداری از نخ وصالی و تصویر سمت راست تصویر SEM از نمونه نخ وصالی با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر

Fig. 9: The picture to the right of the sampler at the joint and TheN/V image of the SEM image of a 5000x magnifying

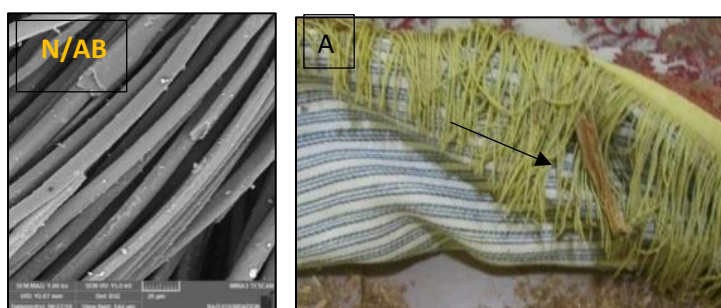
انجام‌شده بر روی الیاف تزئینی لبه نمونه مورد مطالعه، همان‌طور که در تصویر N/AB نشان داده شده در بعضی از الیاف ریشه‌های ابریشم، شکستگی وجود دارد که این آسیب احتمالاً می‌تواند ناشی از فشارهای فیزیکی و مکانیکی بر روی الیاف ابریشمی باشد. همچنین لایه ضخیمی از آلاینده‌ها بر روی سطح الیاف ابریشمی دیده می‌شود. غبار موجود بر روی الیاف، به‌مرور زمان باعث سایش بر روی قسمت ریشه‌های ابریشمی و به وجود آمدن آسیب می‌گردد.

در شکل ۱۱ تصویر S محل نمونه‌برداری از نمونه نخ سوزن‌دوزی پته مورد مطالعه است و تصویر N/S، تصویر SEM نخ سوزن‌دوزی را نشان می‌دهد، که مشخص می‌کند جنس الیاف نمونه مورد مطالعه از پشم است. این تصویر میزان تخریب را در الیاف نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که فلس‌های موجود بر روی لیف پشم کاملاً از بین رفته است. در تصویر SH محل نمونه‌برداری از

فشار مکانیکی و فیزیکی می‌شود. دلیل این نوع تخریب در الیاف مورد مطالعه احتمالاً تخریب نوری، کمبود رطوبت، سایش و فشارهای مکانیکی است. تصویر N/A همچنین وجود آلاینده‌ها بر روی الیاف کتان را نشان می‌دهد، که این عامل، به‌مرور زمان باعث ایجاد سایش و لکه بر روی الیاف مورد مطالعه شده است.

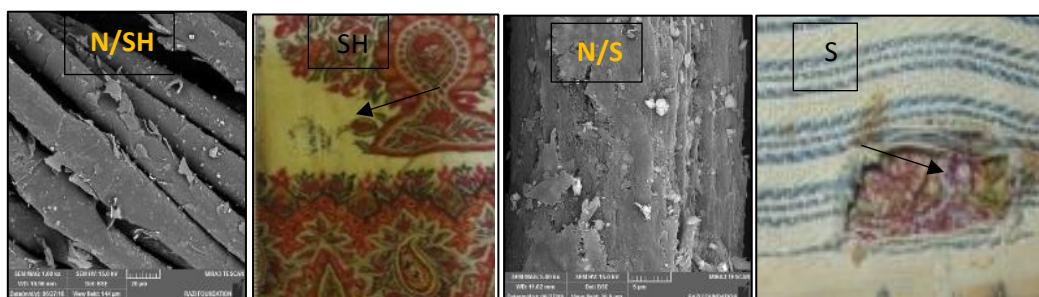
در شکل ۹ با توجه به تصویر V محل نمونه‌برداری از الیاف نخ وصالی نشان داده شده است. در تصویر N/V آسیب‌دیدگی در الیاف پنبه، خورد شدگی و شکستگی قابل مشاهده است. همچنین وجود ذرات آلاینده بر روی لیف نمونه مورد مطالعه باعث آسیب بیشتر در نمونه می‌شود.

در شکل ۱۰ با توجه به تصویر A محل نمونه‌برداری از نمونه مورد مطالعه نشان داده شده است. در تصویر N/AB نمونه SEM از الیاف ابریشم نمونه مورد مطالعه گرفته شده است. بر اساس بررسی‌های



شکل ۱۰: تصویر A محل نمونه‌برداری از الیاف و تصویر SEM N/AB از الیاف ابریشم با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر

Fig. 10: Figure A fiber sampling site and S / N image of silk fibers with 1000x magnification



شکل ۱۱: در تصویر S محل نمونه‌برداری از الیاف نخ سوزن‌دوزی و تصویر N/S، تصویر SEM از نمونه نخ سوزن‌دوزی نمونه مورد مطالعه با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر، تصویر SH محل نمونه‌برداری از الیاف شال و تصویر N/SH تصویر SEM الیاف شال نمونه مورد مطالعه با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر

Fig. 11: In the image s of the needle thread fibers sampling And the N/S image of the SEM image of the embroidered needle thread sample with a magnification of 5000x SH image Shaw fibers sampling And N/SH image of SEM image of the studied shawl fibers with 1000x magnification

کمی از آن‌ها باقی مانده است. یکی از این سوزن‌دوزی‌های تاریخی، پته‌ی شاه نعمت‌الله ولی است که یکی از قدیمی‌ترین سوزن‌دوزی استان کرمان و مربوط به دوره قاجار است. بررسی‌های انجام شده بر روی الیاف پته شاه نعمت‌الله ولی، نشان می‌دهد که الیاف مورد استفاده در این پته چهار نوع هستند: الیاف پارچه زمینه (شال) و نخ سوزن‌دوزی از جنس پشم، نخ آستر از جنس کتان، جنس نخ وصالی که توسط آن قطعه‌های پارچه شال به هم متصل شده از پنبه و جنس ریشه‌های تزئینی در لبه نمونه مورد مطالعه نیز از ابریشم است. از الیاف پته مورد مطالعه، نمونه‌برداری به عمل آمد، تا روند تخریب در این الیاف مورد بررسی قرار داده شود. برای بررسی آسیب‌های وارده به الیاف پته مورد مطالعه از روش طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز FTIR استفاده شد. بر این اساس مشخص گردید که در نخ سوزن‌دوزی، نخ وصالی، نخ شال، نخ ریشه تزئینی و نخ آستر، تخریب و آسیب‌دیدگی وجود دارد. برای اطمینان بیشتر از روند تخریب الیاف از روش میکروسکوپی SEM/EDS استفاده گردید. بر طبق این روش مشاهده شد که الیاف پشم بیشترین تخریب را داشته‌اند. همچنین آلاینده‌هایی بر روی الیاف مشاهده شد که به مرور زمان باعث تخریب بیشتر بر روی نمونه مورد مطالعه شده بودند.

۱۰. نتیجه‌گیری

طبق طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز انجام شده بر

الیاف شال که از جنس پشم است نشان داده شده است. در تصویر N/SH آسیب‌دیدگی الیاف و جدا شدن فلس‌ها از روی الیاف پشم قابل مشاهده است. آسیب‌دیدگی در الیاف نخ شال تا ناحیه کوتیکول (فلس‌های موجود بر روی الیاف پشم) که وظیفه‌ی حفاظت از الیاف را نسبت به عوامل خارجی بر عهده دارد، پیش رفته و در تصویر N/S این آسیب‌دیدگی تا ناحیه کورتکس نیز دیده می‌شود [27]. کورتکس استحکام و حالت ارتجاعی و همچنین انعطاف‌پذیری الیاف پشم را به عهده دارد. با ایجاد این آسیب‌دیدگی‌ها در الیاف مورد مطالعه، به مرور زمان انعطاف‌پذیری الیاف نسبت به فشار فیزیکی و مکانیکی کاهش پیدا می‌کند. دلیل این نوع از آسیب در الیاف مورد مطالعه احتمالاً تخریب نوری، کمبود رطوبت در محیط و فشارها و تنش‌های فیزیکی وارد شده به الیاف است. تصویر N/SH نخ‌های سوزن‌دوزی پته مورد مطالعه را نشان می‌دهد که مشخص می‌گردد آسیب‌دیدگی تا ناحیه کوتیکول ادامه پیدا کرده و باعث از بین رفتن فلس‌های روی الیاف نخ سوزن‌دوزی گردیده است. همچنین وجود گردوغبار بر روی الیاف باعث سایش و جذب میکرو اورگانیزم‌ها شده است.

۹. بحث در نتایج و یافته‌ها

سوزن‌دوزی‌های بالارزشی از گذشته به جای مانده، که این آثار بالارزش در موزه‌ها و آرشیوها موجود است. از آنجایی که این آثار نسبت به شرایط محیطی آسیب‌پذیر بوده‌اند، تعداد

رطوبت در محل نگه‌داری پته مورد مطالعه دانست. در نتیجه از روش‌های آنالیز ذکر شده می‌توان برای بررسی آسیب‌های وارده و روند تخریب در الیاف منسوجات تاریخی استفاده کرد، تا بتوان در ادامه روش‌های مناسبی برای نگهداری این‌گونه آثار ارائه داد. برای دستیابی به تعمیم‌پذیری بیشتر نتایج، بایستی نمونه‌های بیشتری از منسوجات تاریخی مورد مطالعه و آنالیز قرار گرفته شود، تا بتوان نتایج مطلوب‌تری در رابطه با آسیب‌های میکروسکوپی در الیاف منسوجات تاریخی به دست آورد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد حکیمه کیخای هجرتی تحت عنوان «فن‌شناسی و آسیب‌شناسی پته پوشش مقبره شاه نعمت‌الله ولی ماهان در استان کرمان و ارائه راهکار حفاظتی» نوشته شده است. بدین‌وسیله نگارنده بر خود لازم می‌داند که از راهنمایی‌هایی خانم دکتر مهرناز آزادی بویاغچی عضو محترم هیئت علمی دانشگاه هنر اصفهان و آقای دکتر محسن محمدی آچالویی عضو هیئت علمی محترم دانشگاه هنر اصفهان و سرکار خانم مهسا شاهسون مارکده و همچنین آقای خالقی و آقای میرزایی و سازمان اوقاف استان کرمان به خاطر همکاری و همراهی تشکر و قدردانی کنم.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Scanning electron Microscopy
- 2- Fourier Transform Infrared
- 3- Silk
- 4- Wool
- 5- Catton
- 6- Flax

References

- [1] Sayed Sadr A. Textile encyclopedia and related words. Tehran: Simay Dansh, 2014, 60. [in Persian]
- [سیدصدر ابوالقاسم. دایره المعارف نساجی و حرف‌های مربوط به آن. تهران: انتشارات سیمای دانش، ۱۳۹۳،

روی الیاف پته شاه نعمت‌الله ولی، در الیاف نخ ابریشمی تزئینی، نخ شال و نخ سوزن‌دوزی، کاهش آمید I، آمید II و همچنین کاهش در پیوند کششی اسیدهای چرب CH_2 و CH_3 دیده می‌شود، که کاهش چربی در الیاف پروتئینی باعث سستی و شکنندگی الیاف نخ شال، نخ سوزن‌دوزی و نخ ریشه‌های تزئینی که دارای ساختمان پروتئینی هستند شده است. بررسی‌های انجام گرفته بر روی الیاف پته مورد مطالعه نشان می‌دهد که الیاف نخ آستر و نخ وصالی که دارای ساختمان سلولزی هستند، کاهش محدوده‌ی سلولزی و افزایش محدوده بلورینگی داشته‌اند که نشان‌دهنده‌ی فرایند هیدرولیز است. بر اساس آزمایش‌های SEM انجام گرفته بر روی الیاف نمونه‌ی مورد مطالعه، مشاهده شد که بر روی الیاف آسیب‌هایی از جمله شکستگی و خردشدگی وجود دارد. در الیاف پشم این تخریب تا ناحیه کوتیکول و ناحیه کورتکس ادامه داشته است. این آسیب‌دیدگی در الیاف مورد مطالعه باعث شده به مرور زمان، انعطاف‌پذیری الیاف نسبت به فشار فیزیکی و مکانیکی کاهش پیدا می‌کند. در الیاف ابریشمی که به‌صورت تزئینی در لبه پته شاه نعمت‌الله ولی کار شده است شکستگی در الیاف دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های انجام شده بر روی الیاف مورد مطالعه، دلیل این نوع از آسیب‌ها احتمالاً فشارهای مکانیکی، فیزیکی، نوسانات رطوبتی و دمایی در محل نمایش موزه است. با استفاده از آنالیز دستگاهی EDS، بر روی الیاف پته‌ی مورد مطالعه، آلاینده‌هایی نظیر سیلیس، سرب، منیزیم و آلومینیوم شناسایی گردید. این آلاینده‌ها به مرور زمان باعث فرسایش و ایجاد لکه و تجمع میکرواورگانیزم‌ها بر روی سطح الیاف پته می‌شوند. همچنین با بررسی نوسانات رطوبت و دما در محیط موزه، که نمونه‌ی مورد مطالعه در آن وجود دارد می‌توان آسیب‌های وارده به شیء را تا حدودی نوسانات

۶۰.

- [2] Abdel-Kareem O, Alfaisal R. Treatment, conservation and restoration of the Bedouin dyed textiles in the museum of Jordanian heritage. Mediterr Archaeol Archaeom 2010; 10: 25–36.

- [doi.org/10.1016/j.culher.2011.02.004]
- [3] Ahmed HE, Ziddan YE. A new approach for conservation treatment of a silk textile in Islamic Art Museum, Cairo. *J Cult Herit* 2011; 12: 412–419.
- [4] Majidi Najaf Abdi R, Zarineh H. Study and study of appropriate method for strengthening, protecting and displaying the effects of loose and fragile fabrics. In: *First Conference on Material Science and Preservation of Cultural, Historical Monuments*. 2018, pp. 1–10. [in Persian]
- [مجیدی نجف‌آبادی رضا، زرینه هاله. مطالعه و بررسی روش مناسب جهت استحکام‌بخشی، حفاظت و نمایش آثار پارچه‌ای سست و شکننده. نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی، تاریخی، ۱۳۹۷، ص. ۱–۱۰.]
- [5] Saghaifi M, Deh pahlavan M, Zarineh H. A comparative and in vitro study of the Parthian-Sassanian cloth. *J Fine Arts - Visual Arts* 2012; 45: 43–45. [in Persian]
- [تقفی محمدجواد، ده‌پهلوان مصطفی، زرینه هاله. مطالعه تطبیقی و آزمایشگاهی تکه پارچه اشکانی-ساسانی. نشریه هنرهای زیبا-هنرهای تجسمی ۱۳۹۰؛ ۴۵: ۴۳–۴۵.]
- [6] Vilaplana F, Nilsson J, Sommer DVP, et al. Analytical markers for silk degradation: comparing historic silk and silk artificially aged in different environments. *Anal Bioanal Chem* 2015; 407: 1433–1449. [doi.org/10.1007/s00216-014-8361-z]
- [7] Ahmed H, Yahia D, Zidan Y. Restoration and Storage Procedures of a Rare Historical Textile in The Museum of the Faculty of Applied Arts of Helwan University, Egypt. *Egypt J Archaeol Restor Stud* 2018; 8: 35–43. [doi.org/10.21608/ejars.2018.13905]
- [8] Akyuz T, Akyuz S, Balci K, et al. Investigations of historical textiles from the Imperial Pavilion (Hunkar Kasrı) of the new mosque Eminonu-Istanbul (Turkey) by multiple analytical techniques. *J Cult Herit* 2017; 25: 180–184. [doi.org/10.1016/j.culher.2016.12.009]
- [9] Khan Georgia A, Amin Shirazi S, Sodagar, et al. Instructions: Keep movable historical-cultural objects in museums and tanks. Tehran: Department of Cultural Heritage, Crafts and Tourism Deputy Director of Cultural Heritage Directorate of Museums and Historical Movable Property, 2014, 44–45. [in Persian]
- [خان گرجی عبدالله، امین شیرازی، سوداگر، زندی، آقایی حاجی آقا، علی‌آبادی، میرابی. دستورالعمل: نگهداری اشیای تاریخی-فرهنگی منقول در موزه‌ها و مخازن. سازمان میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری معاونت میراث فرهنگی اداره کل موزه‌ها و اموال منقول تاریخی، ۱۳۹۲؛ ۴۴–۴۵.]
- [10] Stuart BH. Analytical techniques in materials conservation. (Translated by Bagherzadeh Kasiri M.), Tabriz: Tabriz Islamic Art University Pres, 2007; 182–185.
- [استوارت باربارا. روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی. ترجمه: باقرزاده کثیری مسعود، تبریز: انتشارات دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۹۳؛ ۱۸۵–۱۸۲]
- [11] Landi S. Textile conservator's manual. Routledge, 2012. [doi.org/10.4324/9780080518749]
- [12] Xue Y, Jao D, Hu W, et al. Silk-silk blend materials. *J Therm Anal Calorim* 2017; 127: 915–921. [doi.org/10.1007/s10973-016-5699-9]
- [13] Tonin C, Zoccola M, Aluigi A, et al. Study on the conversion of wool keratin by steam explosion. *Biomacromolecules* 2006; 7: 3499–3504. [doi.org/10.1021/bm060597w]
- [14] Yao J, Liu Y, Yang S, et al. Characterization of secondary structure transformation of stretched and slenderized wool fibers with FTIR spectra. *J Eng Fiber Fabr* 2008; 3: 155892500800300200. [doi.org/10.1177/155892500800300205]
- [15] Shahidi S, Ghoranneviss M, Moazzenchi B, et al. Study of Surface Modification of wool Farcié Using Low Temperature plasma. Tehran Islamic Azad University.
- [16] Silver Ashtein M., Webster F. Identification of Organic Compounds by Spectroscopy. (Translated by Mir-Mohamad Sadeghi M, & Saeidi M.), Esfahan: Isfahan University Pres, 1380, 119. [in Persian]
- [سیلور اشتاین م. ر، وبستر اف ایکس. شناسایی ترکیبات آلی به روش طیف‌سنجی. ترجمه: میر

- محمدصادقی مجید و سعیدی محمدرضا، اصفهان، ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۳۸۰: ۱۱۹].
- [17] Hosseini Shirazi F, Farhadi A, Vakili zahir N. An Overview of Infrared Spectroscopy and its Applications in Medical Sciences. *J Fac Med* 2005; 4(29): 379–386. [in Persian]
- [حسینی شیرازی فرشاد، فرهادی انیسه، وکیلی ظهیرنیک. مروری بر طیف‌سنجی مادون‌قرمز و کاربردهای آن در علوم پزشکی. مجله پژوهشی دانشکده پزشکی، ۱۳۸۴؛ ۴ (۲۹): ۳۷۹–۳۸۶].
- [18] Aluigi A, Zoccola M, Vineis C, et al. Study on the structure and properties of wool keratin regenerated from formic acid. *Int J Biol Macromol* 2007; 41: 266–273. [doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2007.03.002]
- [19] OSMAN E, ZIDAN Y, KAMAL N. Using the Microscopic and Spectroscopic Techniques to Identify and Characterize Archeological Artifacts. *Int J Conserv Sci*; 5.
- [20] Hashemi M. Fabrication and characterization of silk fibers/polyurethane fiber membranes. *Today's Text Mag* 2015; 57: 61–68. [in Persian]
- [هاشمی مسعود. ساخت و بررسی خصوصیات غشای الیافی پودر فیبروئین ابریشم/ پلی اورتان. مجله نساجی امروز، ۱۳۹۴؛ ۵۷: ۶۱–۶۸].
- [21] Ebrahim Beekey Chima A. *Fiber ology*. Tehran: Aban Book Publishing, 2015: 23–35. [in Persian]
- [ابراهیم بیکی چیمه اکرم. الیاف شناسی. تهران: انتشارات کتاب آبان، ۱۳۹۵: ۲۳–۳۵].
- [22] Tavanai H. *Fiber Physics*. Esfahan: Publishers Arkan, 2003: [in Persian]
- [توانایی حسین. فیزیک الیاف. اصفهان: انتشارات ارکان، ۱۳۸۱: ۱۴].
- [23] Liu Y. Recent progress in fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy study of compositional, structural and physical attributes of developmental cotton fibers. *Materials (Basel)* 2013; 6: 299–313. [doi.org/10.3390/ma6010299]
- [24] Garside P, Wyeth P. Identification of cellulosic fibres by FTIR spectroscopy-thread and single fibre analysis by attenuated total reflectance. *Stud Conserv* 2003; 48: 269–275. [doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.269]
- [25] Leene JE. *Textile conservation*. 1972.
- [26] Cao Y, Chan F, Chui Y-H, et al. Characterization of flax fibres modified by alkaline, enzyme, and steam-heat treatments. *BioResources* 2012; 7: 4109–4121.
- [27] Titok V, Leontiev V, Yurenkova S, et al. Infrared spectroscopy of fiber flax. *J Nat fibers* 2010; 7: 61–69. [doi.org/10.1080/15440470903579275]