Evaluation of Degradation and Stability of Carbon Black Ink Made Based on Ancient Texts Under Aging Conditions

Kowsar Karbalai Mirza Shahrbabaki *[1] , Mohsen Mohammadi Achacheloui [2]

1. Bachelor's student in Conservation and Restoration of Historical objects, Zabol University, Iran
2. Assistant Professor, Department of Restoration of Cultural and Historical Objects, Art University of Isfahan, Iran

Abstract

Evaluation of the degradation and stability of soot ink made based on ancient texts under aging conditions. Soot ink is one of the inks that has been widely used in written works. Some of which are currently in our custody, so it is necessary to examine their degradation in order to prevent their further degradation. In this regard, in the present study, the degradation rate and stability of soot ink were investigated. The question of this study is what level of degradation and stability do the manufactured inks have? The purpose of this study was to examine soot ink, which was used in paper works, using laboratory instruments, pH meter, FTIR, optical microscope, colorimeter, and tensile strength meter.

To prepare the samples, the immersion method was used to impregnate the paper with ink, and an incubator was used to age the samples. The results of the acidity test (pH measurement) of the ink-impregnated papers show that the accelerated moisture-thermal aging process, especially after a period of ۱۲ days, causes a decrease in pH compared to the samples before aging. The results of microscopic observations show that the aged sample has suffered from breakage in addition to the ink of the paper fibers. Analysis of the ATR-FTIR spectra in the carbon black sample indicates that cellulose undergoes structural changes during aging, but most of the changes are in the structure of the ink. According to the studies conducted, the results of this research indicate that the carbon black ink has relatively good stability during aging.

Knowledge and Conservation Restoration

Special Issue. Vol .1
No.4
March, 2018
Pages 13-21

https://journal.richt.ir/kcr

Corresponding Author

Kowsar Karbalai Mirza Shahrbabaki

Master of Art in Conservation of Historical Objects, Iran

Email
karbalain_1366@yahoo.com

Keywords: Soot ink, Deterioration assessment, tensile strength, pH, ATR – FTIR.

Copyright © 2017,Knowledge of Conservation and Restoration. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0. International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

ارزیابی تخریب و سنجش پایداری مرکب دوده‌ای ساخته شده بر اساس متون کهن تحت شرایط پیرسازی

کوثر کربلایی میرزا شهربابکی [*1]، محسن محمدی آچاچلویی [2]

۱. دانشجوی کارشناسی حفاظت و مرمت آثار تاریخی، دانشگاه زابل، ایران
۲. استادیار گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، ایران

چکیده

مرکب دوده‌ای از جمله مرکب‌هایی است که در آثار مکتوب بسیار مورد استفاده بوده است که برخی از آن‌ها در حال حاضر در وظیفه نگهداری آن‌ها با ما است؛ بنابراین ضروری است که تخریب آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان از تخریب بیشتر آن‌ها جلوگیری کرد. در این راستا در پژوهش حاضر که بررسی میزان تخریب و سنجش پایداری مرکب دوده‌ای انجام شد.

سؤال این پژوهش که مرکب‌های ساخته شده از چه میزان تخریب و پایداری برخوردار است؟ هدف از انجام این پژوهش بررسی مرکب دوده‌ای که در آثار کاغذی مورد استفاده قرار می‌گرفته است، از ابزارهای آزمایشگاهی، pH متر، FTIR، میکروسکوپ نوری، رنگ‌سنج، دستگاه مقاومت کششی بهره گرفته شد.

برای آماده‌سازی نمونه‌ها از روش غوطه‌وری برای آغشته کردن کاغذ به مرکب استفاده شد و برای پیرسازی نمونه¬ها برای پیرسازی نمونه‌ها از دستگاه انکوباتور استفاده شد. نتیجه آزمون اسیدیته (سنجش pH) کاغذهای آغشته به مرکب‌ها نشان می‌دهد که فرایند پیرسازی تسریعی رطوبتی – حرارتی، به‌ویژه پس از دورهٔ ۱۲ روزه باعث کاهش pH نسبت به نمونه‌های قبل از پیرسازی می‌شود. نتایج حاصل از مشاهدات میکروسکوپی نشان می‌دهد که نمونه پیرسازی شده علاوه بر مرکب الیاف کاغذ هم دچار گسست شده‌اند. تحلیل طیف‌های ATR – FTIR، در نمونه دوده‌ای نشان دهنده این است که سلولز در طول پیرسازی دچار تغییرات ساختاری شده ولی بیشتر تغییرات در ساختار مرکب است. نا بر بررسی‌های انجام شده نتیجه حاصل از این پژوهش، بیانگر این است که مرکب دوده¬ای طی پیرسازی از پایداری نسبتاً خوبی برخوردار است.

واژگان کلیدی: مرکب دوده‌ای، ارزیابی تخریب، مقاومت کششی، pH، ATR – FTIR

فصلنامه دانش حفاظت و مرمت

ویژه‌نامه: سال اول، شماره ۴
زمستان.۱۳۹۶
صفحات ۱۳-۲۱

https://journal.richt.ir/kcr

نویسنده مسئول
کوثر کربلایی میرزا شهربابکی
دانشجوی کارشناسی حفاظت و مرمت آثار تاریخی

رایانامه
karbalain_1366@yahoo.com

مقاله منتخب دهمین همایش دو سالانه حفاظت و مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی و تزئینات وابسته به معماری
دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیر تجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می‌شود.

مقدمه

مرکب در نزد کاتبان و خوشنویسان، به لحاظ خوشنویسی و بقای خط ارزشی فوق‌العاده داشته، تا جایی که یک‌چهارم حسن خط را مربوط به مرکب خوب دانسته و آن را مرکب خوش‌قلم نامیده‌اند. باتوجه‌به این حقیقت تاریخی که تا پیش از ظهور صنعت چاپ، همه ملت‌های متمدن کتاب‌ها و نوشته‌های دست‌نویس داشته‌اند و امروزه این‌ها به دست ما رسیده‌اند و وظیفه حفظ و نگهداری از آن‌ها بر عهده نسل حاضر است. برای نگهداری صحیح از این آثار، نیاز زیادی به شناخت کافی در مورد مرکب‌های سنتی وجود دارد. به‌منظور صیانت از میراث مکتوب، نخست باید به خطراتی که این آثار را تهدید می‌کنند، اشراف یافت و قبل از هر چیز ماهیت و ترکیبات شیء را باید شناخت (ناردی، ۱۳۸۲) یکی از مهم‌ترین این مواد مرکب است. مرکب دوده‌ای از جمله مرکب¬هایی است که در آثار گذشتگان مورد استفاده قرار گرفته است که تاکنون تحقیقات جدی و مدون در مورد مرکب ایرانی صورت نگرفته است. به همین دلیل در این پژوهش به بررسی این نوع مرکب پرداخته شده است.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های انجام شده در مورد مرکب بیشتر به مبحث خوردگی کاغذ تحت‌تأثیر مرکب آهن – مازو می‌پردازد. کاروالیو[1] در کتاب چهل قرن مرکب مؤلف به جمع‌آوری مطالبی درباره مرکب پرداخته است. نویسنده مجموعه‌ای غنی از اطلاعات، از جمله جنبه‌های عملی ساخت جوهر، حکایت‌های تاریخی، و بحث‌هایی در مورد خواص شیمیایی جوهرهای مختلف مورد استفاده در طول تاریخ ارائه می‌دهد. (Carvalho, 2007). یک کار تحقیقی بر روی مرکب آب‌پایه توسط لیختنبرگر[2] انجام شده، ایشان به فرمولاسیون مرکب و دسته‌بندی مرکب‌ها و کاربرد مرکب آب‌پایه پرداخته‌اند، تحقیق ایشان در مورد مرکب¬های چاپی است و عنوان مقاله ایشان "کیفیت چاپ و سلامتی با فرمولاسیون و ویژگی‌های مرکب‌های آب‌پایه" است (Lichtenberger, 2004). در ایران نیز آقای خسروی بیژانم رساله کارشناسی‌ارشد خود را با عنوان "فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مرکب‌های سنتی و ارائه راهکارهای حفاظتی آن" در دانشگاه هنر اصفهان ارائه کرده است؛ در این رساله از آنالیز نمونه‌های مرکب مورد نظر مشخص شده و نوع دیگر، دارای عناصر میانی و سنگین است که در واقع این دسته از مرکب، همان مرکب مخصوص ایران است (خسروی بیژانم، ۱۳۸۵). خانم زهرا سلطانی اشیانی رساله کارشناسی‌ارشد خود را با عنوان "فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مرکب مشکی و قهوه‌ای در آثار خوشنویسان معاصر و بررسی تأثیر افزونی عسل بر ویژگی‌های بصری مرکب" در دانشگاه هنر اصفهان ارائه کرده است؛ در این رساله چهار نمونه مرکب معاصر را با هم مقایسه کرده، و به بررسی فیزیکی و شیمیایی آن‌ها پرداخته است و هدف ایشان بررسی کیفیت مرکب معاصر بوده است و با افزودن عسل و... کیفیت را افزایش داده‌اند (سلطانی، ۱۳۹۱). آقای محمدعلی اسلامی ندوشن در مقاله‌ای به بررسی علل تخریب، تثبیت و ترمیم و ریختگی مرکب‌ها پرداخته است. ایشان به این نتیجه رسیده است که اگر مرکبی مشابه مرکب مورد استفاده در نسخه خطی ساخته شود می‌توان به ترمیم مرکب پرداخت. آقای لامعی رشتی و خانم شکوهی و اولیایی هم در مقاله "معرفی روش پیکسی خارجی در آنالیز مرکب‌ها" به مطالعه مرکب پرداخته‌اند؛ به این نتیجه رسیدند که مرکب‌های قدیمی حاوی مقدار گوگرد و آهن کمتری نسبت به مرکب‌های جدید هستند؛ در مقابل عناصر میانی مرکب‌های قدیمی بسیار و بیشتر از مرکب‌های جدید است. خانم شیوا بهلولی‌ریزی در مقاله "خوردگی ناشی از آهن مازو: مطالعه اثر یک ترکیب" ایشان مرکب مازویی آهن‌دار را با ۱۲ غلظت مختلف ساخته و به بررسی آن‌ها پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که حضور سولفات آهن (II) نقش اصلی را در خوردگی ناشی از مرکب آهن مازو به عهده دارد، درحالی‌که جوهر مازو و صمغ عربی بر خلاف آن رفتار می‌کنند و بنابراین فرایند تخریب را کاهش می‌دهند. خانم یاسمن رومینا مقاله‌ای در مورد شیوه‌های ساخت مرکب برگرفته از کتاب رسالاتی در خوشنویسی دارد. آقای محمدجواد شمس مقاله‌ای در مورد چگونگی ساخت مرکب‌های سنتی و مواد تشکیل‌دهنده مرکب‌ها ارائه داده است (شمس، ۱۳۹۰). پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد شیوه‌های مختلف مرکب به انجام رسیده؛ اما تابه‌حال پژوهشی در مورد ساخت و بررسی آن‌ها در حیطه مرمت آثار تاریخی صورت نگرفته است. در پژوهش حاضر سعی شده است به بررسی میزان تخریب و پایداری مرکب دوده‌ای پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از یک نمونه مرکب دوده‌ای استفاده شد. در این نمونه از روغن کتان، زاج، صمغ عربی و مازو استفاده شده است. برای سنجش میزان اسیدیته از دستگاه pH متر دیجیتالی TESTO ۲۰۶ ساخت شرکت آلمانی با شماره سریال ۰۱۴۶۶۰۳۱/۱۰۹ با گستره قابل‌اندازه‌گیری ۱۴ – ۰ با قدرت تفکیک ۰.۰۱ استفاده شد. لازم به ذکر است که ارزیابی اسیدی بودن نمونه‌ها بعد از سه بار سنجش و برآورد میانگین از آنان،

ارائه شد. جهت بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی از میکروسکوپ نوری OLYMPUS مدل BH2 استفاده شد. برای سنجش تغییرات رنگی در نمونه‌های مورد مطالعه از دستگاه رنگ‌سنج و سامانه رنگی CIE استفاده شد. رنگ‌سنجی در هر نمونه دو بار تکرار شد. تغییرات رنگی ایجاد شده در نمونه‌های مختلف نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$1)\quad \Delta L = L_2 - L_1 \quad 2)\ \Delta b = b_2 - b_1 \quad 3)\ \Delta a = a_2 - a_1 \quad 4)\ \Delta E = (\Delta L^2 + \Delta b^2 + \Delta a^2)^{1/2}$$

در این سیستم، درخشش، L^* کمیتی است که مقدار مجموع انعکاس طیفی خورشیدی را نسبت به سطح سفید خالص اندازه‌گیری می‌کند. a^* یک مقیاس از مقدار قرمز –سبز است، b^* مقدار زرد – آبی را مشخص می‌کند. اختلاف مجموع رنگ، ΔE^* نیز محاسبه شده است (طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FTIR) جهت مطالعه ساختاری، با استفاده از دستگاه FTIR ساخت شرکت Bruker آلمان مدل Tensor27 با محدوده طول‌موج $۴۰۰cm^{-1}$ - $۴۰۰۰cm^{-1}$ که مجهز به ابزار ثبت انعکاسی است انجام گردید. طیف نمونه‌های مورد مطالعه با پیمایش ۳۲ و تفکیک‌پذیری $4\ cm^{-1}$ ثبت شدند. پیش از هر آنالیز، دستگاه با طیف هوا به‌عنوان زمینه، کالیبره گردید. آزمون مقاومت کششی با استفاده از دستگاهی است که نیروی کشش را با سرعت مشخص و ثابت اعمال می‌کند. این آزمایش بر اساس استاندارد شماره ۳ – ۱۴۴۷۱ سازمان استاندارد ملی ایران انجام شد. نمونه‌های آماده شده در ابعاد ۱.۵ × ۱۲ سانتی‌متر برش داده شده و با سرعت ثابت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه بین دو فک دستگاه مقاومت کششی مدل Instin5566 با دقت کافی و رعایت اصول گفته شده در استاندارد، کشیده شدند. در نهایت، میزان مقاومت کششی کاغذ اندازه‌گیری و نتایج حاصل شده بعد از اتمام آزمون ثبت و مقایسه شدند. لازم به ذکر است که در این آزمایش تعداد آزمونه‌ها برای هر یک از نمونه‌ها، ۲ آزمونه بود که برای حداقل رساندن میزان خطا در نتایج میانگین آن‌ها محاسبه شد. در انجام محاسبات مربوط به آزمون مقاومت کششی، ابتدا میانگین حداکثر نیروی کششی نمونه‌ها بر حسب نیوتن محاسبه شد و سپس بر اساس فرمول زیر که در استاندارد شماره ۳ – ۳۱۴۴۷۱ سازمان استاندارد ملی ایران ارائه شده است، میزان مقاومت کششی نمونه‌ها به دست آمد.

F T میانگین نیروی کششی حداکثر (بر حسب نیوتن) b – عرض آزمونه –σ bT مقاومت کششی (کیلونیوتن بر متر)

$$5)\quad \sigma^{b}_{T} = \frac{F_T}{b}$$

پیرسازی نمونه‌ها بر اساس استاندارد ۴۷۰۶ سازمان ملی ایران، میزان حرارت ۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد در نظر گرفته شد. مدت زمان پیرسازی نمونه¬ها نیز در دو دوره ۶ و ۱۲ روزه انجام شد و در طول این دو دوره زمانی با نمونه¬های پیرسازی نشده مقایسه گردید. مراحل ساخت مرکب دوده¬ای: برای ساخت مرکب دوده¬ای، از روش سلطان علی مشهدی که در کتاب، کتاب‌آرایی در تمدن اسلامی آمده است، استفاده شده است. ایشان فرموده¬اند:

"به طلب دوده تمام عیار — دوده یک سیر و صمغ خوب چهار
زاگ و مازو بجو چه زود و چه دیر — گیر یک سیر از این و زان دو سه سیر
صمغ در آن ریز پاک ز خاک — تا چو ماء¬العسل گداز پاک
یک دو روزش به صمغ محکم کوب — خانه را از غبار پاک بروب
تا به صد ساعتش صلایه بکن — یادگیر از من این ستوده سخن" (بیانی؛ سنگلاخ، ۱۳۶۸).

به دلیل موجود بودن مواد بکار رفته و مشخص‌بودن مقدار مواد و غیره این روش انتخاب شد. به جهت سنگین بودن بار لغتی شعر را به نثر فارسی برگردانده شد. مواد مورد نیاز برای ساخت مرکب: (همه مواد تبدیل به یک صدم شدند.)، دوده یک سیر معادل ۷۵ گرم، یک صدم: ۷۵/. گرم – صمغ چهار سیر معادل ۳۰۰ گرم، یک صدم: ۳ گرم، مازو دو سیر معادل ۱۵۰ گرم، یک صدم: ۱۵/. گرم – زاج یک سیر معال ۷۵ گرم، یک صدم: ۷۵/. گرم.

روش کار

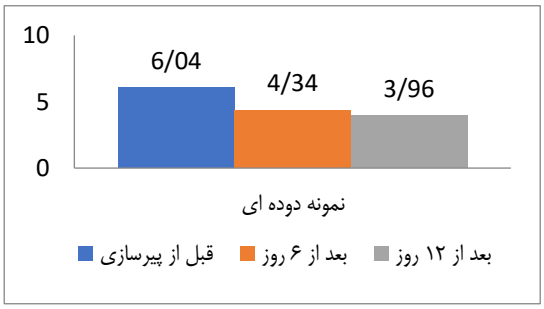
دوده سازی، ابتدا مواد لازم جهت ساخت دوده تهیه شد، در مرکب‌سازی اولین چیزی که مورد نیاز است دوده است. میرعلی هروی شیوه دوده‌سازی را در کتاب کتاب‌آرایی در تمدن اسلامی چنین بیان می‌کند: "اول قدری روغن بذر کتان اگر نباشد روغن کنجد خالص بستاند و از پنبه آب ندیده فتیله‌ای سازد و تاب کم دهد و در چراغ نهد و روشن کند و در گوشه‌ای که باد در او تصرف نکند سبو یا کوزه آب ندیده بر سر آن چراغ نهند تا دوده بر آن جمع گردد و چون دوده فراهم شود او را از سفال با پر مرغ جمع‌آوری نماید و اگر دوده خاک‌آلود باشد قدری آب در کاسه کند و دوده بر سر آب بماند. پس با پر مرغ دوده را از روی آب بردارند و در کیسه کرباس آب ندیده کند و در خمیر بگیرد و در تنور تافته که زیاده از حد نسوخته بر سر خشتی نهد تا خمیر پخته گردد و آن چربی که در اصل طبیعت دوده است به‌شدت حرارت بر طرف شود (مایل هروی، ۱۳۷۲).

از روغن بذر کتان برای ساخت دوده استفاده شد، به دلیل اینکه اکثریت مرکب‌سازان موافق‌اند که روغن کتان برای ساخت دوده مناسب است. در ابتدا مقداری روغن بذر کتان (ابتدا روغن در چراغ ریخته شد و با آن کار دوده‌سازی انجام شد؛ اما میزان دوده حاصله خیلی کم بود پس از ظرف سفالی برای دوده‌سازی استفاده شد). در ظرف کوچک سفالی ریخته شد و به‌وسیله پنبه فتیله‌ای ساخته شد و آن را آغشته به روغن داخل ظرف کرده و سپس به صورتی که سر فتیله بیرون باشد در ظرف کوچک سفالی قرار داده شد دو طرف ظرف آجری قرار داده شد و بشقابی سفالی روی آن قرار گرفت و روی آن با پارچه پوشانده شد میان آجرها سوراخ داشت و آتش خاموش نشد. دوده بر روی ظرف سفالی جمع شد. سپس به‌وسیله قلم‌مو دوده حاصله روی کاغذ ریخته شد و جمع‌آوری گردید. دوده و صمغ و مازو و زاج توزین شد. همه مقیاس‌ها به یک صدم تبدیل شد. سپس دوده درون کیسه پارچه¬ای کرباس آب ندیده ریخته شد. درون فر تا حدی که نسوزد پخته شد، روغن دوده گرفته شد. حال صمغ در هاون کمی کوبیده شد، سپس در آسیاب ریخته شد، پودر گردید. حال صمغ به بشر حاوی ۶۰ سی‌سی آب مقطر و یک مگنت افزوده شد، بشر روی همزن برقی به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و صمغ در آب مقطر حل شد و به شفافیت عسل رسید. مازو و زاج همانند صمغ پودر شد. مازو در بشر حاوی ۴۰ سی‌سی آب مقطر ریخته شد، روی هیتر قرار داده شد و محلول حاصله جوشانده شد، به غلظت رسید. از صافی عبور داده شد و به بشر دیگری انتقال یافت و بشر روی هیتر قرار گرفت، زمانی که مازو در حال جوشیدن بود، زاج اضافه شد. دوده به بشر حاوی آب مقطر و یک مگنت اضافه شد، روی همزن برقی قرار گرفت و دوده با آب مقطر مخلوط شد. مخلوط حاصله به بشر حاوی صمغ افزوده شد، روی همزن قرار گرفت و مخلوط شد. مازو حاوی زاج به ترکیب حاوی صمغ و دوده افزوده شد. مرکب حاصله، درون شیشه ریخته شد و نگهداری گردید. کاتب هنگام استفاده از مرکب می‌تواند با افزودن گلاب مرکب را به غلظت مورد نظرش درآورده و از آن استفاده کند.

آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایش‌ها: از روش غوطه‌وری برای آغشتن مرکب به کاغذ استفاده شد، اندازه نمونه‌ها ۳Cm×۲۵Cm است. کاغذ مورد استفاده، کاغذ تیشو گرم بالا است.

پیرسازی نمونه‌ها: برای پیرسازی نمونه‌ها از دستگاه انکوباتور استفاده شد. ابتدا تعدادی سیم برای قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه قرار داده شد. حرارت دستگاه به ۸۰ درجه سلسیوس رسانده شد و ظرف آب در دستگاه قرار داده شدو رطوبت به ۶۵ درصد رسانده شد و سپس نمونه‌ها در دستگاه قرار داده شد و بعد از گذشت ۶ روز نیمی از نمونه¬ها برداشته شد و بقیه نمونه‌ها بعد از ۱۲ روز برداشته شدند.

نتیجه آزمون اسیدیته (سنجش pH) کاغذهای آغشته به مرکب‌ها: نتایج حاصل از pH سنجی نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار یک نشان‌داده‌شده است (شکل ۱) در نمونه‌های پیر شده، پس از فرایند پیرسازی تسریعی رطوبتی – حرارتی، به ویژه دورهٔ ۱۲ روزه کاهش pH نسبت به نمونه‌های قبل از پیرسازی مشاهده شد.

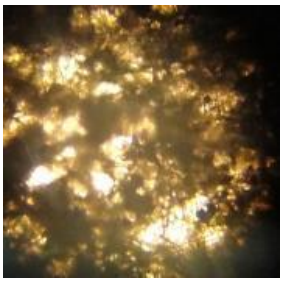
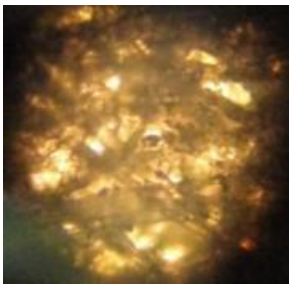
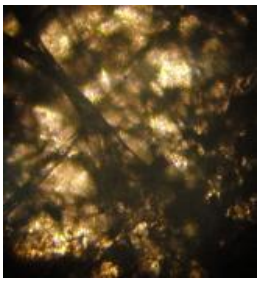


شکل ۱. مقدار pH نمونه‌ها

نتایج حاصل از مشاهدات میکروسکوپی

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، در نمونه پیرسازی ۶ روزه مرکب دوده‌ای مقداری از رنگ خود را از دست داده است، نمونه پیرسازی ۱۲ روزه علاوه بر مرکب الیاف کاغذ هم دچار گسست شده‌اند.

جدول ۱. ریخت‌شناسی نمونه دوده‌ای

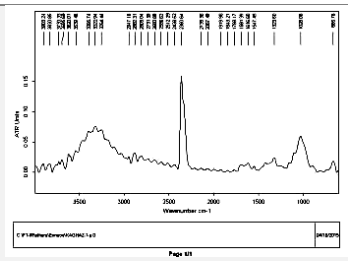
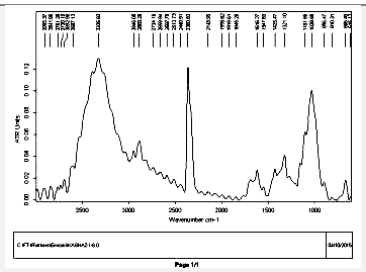
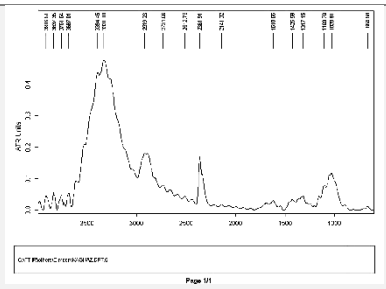
پیرسازی ۱۲ روزه	پیرسازی ۶ روزه	قبل از پیرسازی
		

نتایج آنالیز دستگاهی FTIR و تحلیل آن‌ها

طیف‌های مادون‌قرمز مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه حاوی نوارهای جذبی متعددی هستند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که محدوده cm^{-1} ۴۰۰–۱۸۰۰ به‌عنوان محدوده اثر انگشت در طیف‌های مورد به کاغذ به شمار می‌رود و تغییرات ساختاری کاغذ بیشتر در مهم‌ترین نوارهای جذبی این محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است (Proniewicz et al, 2002). به طور کلی نوار پهن در cm^{-1} ۳۳۰۰ مربوط به گروه O- H و نشانگر حضور آب است (Chang et al, 2002). همچنین نوارهای محدوده ۲۸۸۰ و ۲۹۴۵ مربوط به گروه‌های متیل و متیلن است (Colom et al, 2003). نوارهای جذبی -cm۱ ۱۶۰۰–۱۷۵۰ از حضور آب در بین الیاف ناشی می‌شود که با پیوندهای هیدروژنی در بین الیاف سلولزی قرار گرفته‌اند (REMAZEILLES et al, 2011). نوار جذبی cm^{-1} ۶۶۵ مربوط به ارتعاشات خمشی خارج از صفحه‌ای C-H در سلولز (Chang et al, 2002) همچنین جذب‌های cm^{-1} ۱۴۲۵ ناشی از ارتعاش تغییر شکل C-H درون صفحه‌ای سلولز (Colom et al, 2003)، cm^{-1} ۶۸۹ در اثر ارتعاش خمشی (Ncube and Meincken, 2010) و ارتعاش کششی نامتقارن سلولز (Hon, 1983)، cm^{-1} ۱۱۵۸ مربوط به ارتعاش کششی پل C-O-C در سلولز و همی‌سلولزها (Rosu et al, 2010) و cm^{-1} ۱۰۲۹ ناشی از ارتعاش کششی C-O در سلولز و همی‌سلولزها (Chang et al, 2002) شانه پیک در cm^{-1} ۱۱۰۰ ناشی از باندهای مشترک O-H و C-O در سلولز و همی‌سلولزها (Chang et al, 2002) و cm^{-1} ۱۳۳۰ مربوط به ارتعاش خمشی C-H در پلی‌ساکاریدها است. در واقع تخریب سلولز موجب شکست زنجیر و تشکیل ساختارهای با وزن مولکولی پایین‌تر می‌شود. این شکست ساختاری موجب افزایش باندهای O-H و C-O می‌شود که افزایش جذب آن‌ها را در پی دارد.

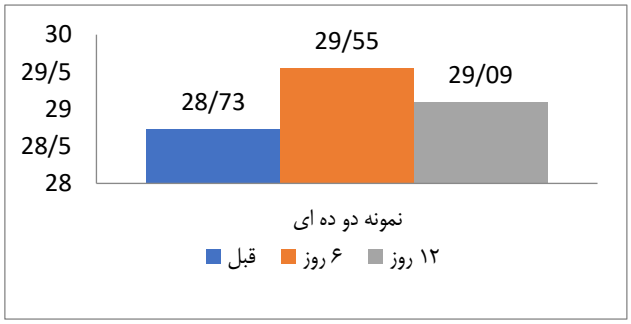
همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌کنید، در نمونه حاوی مرکب دوده قبل از پیرسازی، نشست مرکب در سطح الیاف از جذب بالای سلولز جلوگیری می‌کند و به همین دلیل نوارهای جذبی شاخص سلولز با شدت زیادی در طیف دیده نمی‌شوند. به عنوان نمونه جذب C-O-C در ۱۱۵۸ به شکل ضعیفی دیده می‌شود. ولی در طول پیرسازی مشاهده می‌شود که جذب در این ناحیه رشد داشته است، زیرا پس از پیرسازی مرکب در سطح الیاف، سلولز جذب بیشتری داشته است. افزایش شدت جذب در محدوده ۱۷۰۰–۱۶۰۰ نیز می‌تواند ناشی از این امر باشد. چیزی که در نوارهای جذبی ۸۹۶ و ۱۴۲۵ نیز مشهود است. هرچند سلولز نیز در طول پیرسازی دچار تغییرات ساختاری می‌گردد ولی در طیف‌های مربوط به مرکب دوده مشاهده می‌شود که بیشتر تغییرات در ساختار مرکب رخ داده و به همین دلیل افزایش جذب در نوارهای مربوط به سلولز کاغذ دیده می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲. دیاگرام‌های ATR-FTIR نمونه دوده‌ای

قبل از پیرسازی	بعد از ۶ روز	بعد از ۱۲ روز
		

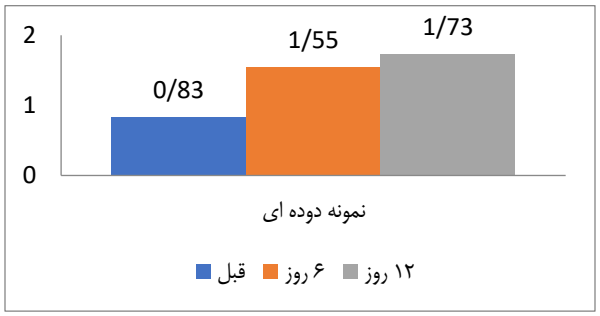
نتایج حاصل از رنگ‌سنجی کاغذ آغشته به مرکب

برای بررسی میزان تغییرات رنگی نمونه‌ها قبل و پس از پیرسازی، میانگین فاکتورهای L* a* b* هر نمونه در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه گردید. در شکل ۲ تغییرات L (روشنایی – تاریکی) نمونه‌ها نشان داده شده است. در نمونه دوده‌ای پس از ۶ و ۱۲ روز پیرسازی و در هر دو مرحله نسبت به قبل از پیرسازی افزایش روشنی دیده می‌شود. این امر نشانگر رنگ‌باختگی مرکب پس از پیرسازی است. البته لازم به ذکر است که پس از ۶ روز پیرسازی روشنایی افزایش یافته ولی در مرحله دوم (۱۲ روز)، کمی کاهش یافته است. یعنی ابتدا تیرگی کاهش پیدا کرده ولی در ادامه کمی بیشتر شده است. در واقع به دلیل پایداری کم مرکب‌های دوده‌ای در سطح کاغذ، رنگ‌باختگی[۳] رخ داده است؛ ولی در ادامه به نظر می‌رسد فرایندهای اکسیداسیون در طول پیرسازی و ایجاد عوامل رنگزا موجب شده که تیرگی کمی افزایش پیدا کند (شکل ۲).



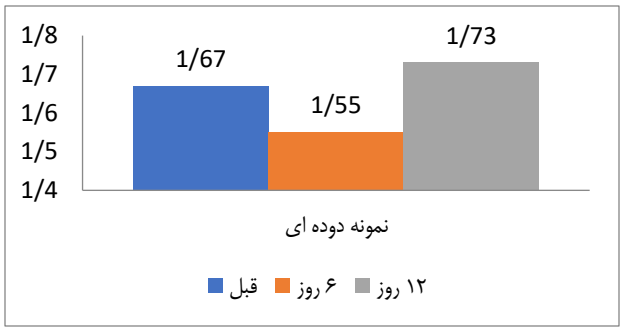
شکل ۲. نمودار تغییرات L* (روشنایی – تاریکی) در نمونه‌ها

دیگر فاکتور مورد بررسی در تغییرات رنگی، فاکتور a* است که میزان تغییرات رنگی از سبز به قرمز را نشان می‌دهد. در شکل ۳، تغییرات a* (سبز تاقرمز) نمونه‌ها ارائه گردیده است. در نمونه دوده‌ای در هر دو مرحله پیرسازی قرمزی نمونه‌ها بیشتر شده است (شکل ۳).



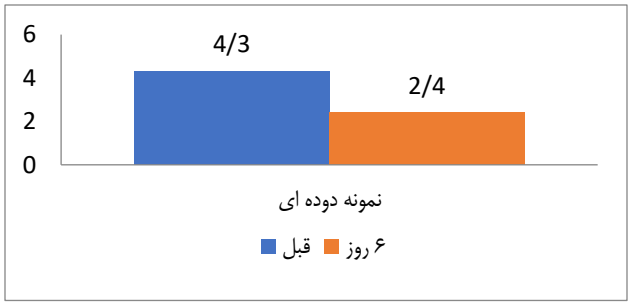
شکل ۳. نمودار تغییرات a* (سبز تا قرمز) در نمونه¬ها

آنچه در بررسی تغییرات رنگی ایجاد شده، در نمونه‌ها بسیار واجد اهمیت است، تغییرات به وجود آمده، در فاکتور b* از زرد تا آبی است. در نمونه دوده‌ای در هر دو مرحله پیرسازی افزایش زردی به‌خوبی مشهود است. در واقع پیرسازی موجب فرایندهای اکسیداسیون و احیا در گروه‌های عاملی مختلف می‌شود و باتوجه‌به آنکه کدام فرایند در گروه‌های متفاوت به میزان بیشتری رخ دهد، تغییرات متفاوتی در نمونه‌ها رخ می‌دهد (شکل ۴).



شکل ۴. نمودار تغییرات b* (زرد تا آبی) در نمونه‌ها

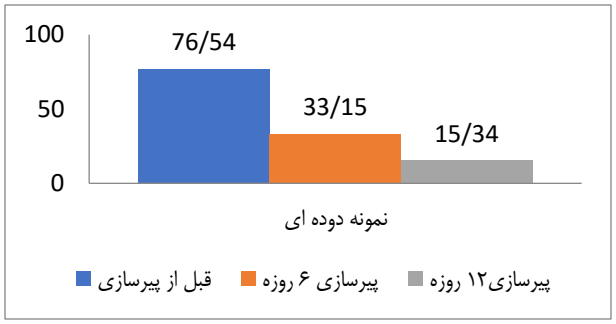
علاوه بر تحلیل و بررسی جداگانه هر یک از فاکتورهای L* a* b* در نمونه‌ها، تغییرات کلی رنگ (ΔE) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، نمونه‌های قبل از پیرسازی با نمونه‌های پیرسازی ۶ روزه و ۱۲ روزه مقایسه شدند تا تغییرات کلی رنگ مشخص شود (شکل ۵).



شکل ۵. نمودار تغییرات کلی رنگ (ΔE) در مقایسه نمونه‌های پیرسازی شده ۶ روزه و ۱۲ روزه

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، داده است. در نمونه دوده‌ای پس از ۱۲ روز پیرسازی تغییرات بصری کلی که نسبت به قبل از پیرسازی در مرحله اول رخ داده‌اند در مرحله دوم کمتر شده‌اند. EΔ نمی‌تواند معیار کاملاً دقیقی برای سنجش میزان تغییرات بصری رخ داده در طول فرایند پیرسازی باشد بلکه معیاری برای سنجش تفاوت بصری نهایی است. به همین دلیل سنجش جداگانه مؤلفه‌های رنگ‌سنجی درک بهتری از تغییرات بصری رخ داده در طول پیرسازی به دست می‌دهد. در این راستا مشاهده می‌شود که در هر سه مؤلفه رنگ‌سنجی تغییرات کمی در نمونه دوده‌ای رخ داده است. در نتیجه می‌توان گفت که مرکب دوده‌ای بیشترین ثبات بصری را در طول پیرسازی داشته است.

نتایج آزمون مقاومت کششی کاغذ آغشته به مرکب: آنچه در انجام این آزمون در این پروژه مدنظر بوده است، بررسی تأثیر مرکب بر روی مقاومت کششی کاغذ است. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، در نمونه دوده‌ای مقاومت کاغذ پس از هر مرحله پیرسازی نسبت به پیش از آن‌ها کمتر است (شکل ۶).



شکل ۶. نمودار میزان مقاومت کششی بر حسب کیلو نیوتن بر متر نمونه‌ها

نتیجه‌گیری

تحقیقاتی در زمینه شیوه‌های ساخت مرکب‌های سنتی، در جهت رسیدن به اهداف اساسی در پژوهش حاضر که بررسی میزان تخریب و سنجش پایداری مرکب دوده‌ای است، صورت‌گرفته است. از ابزارهای آزمایشگاهی، pH متر، FTIR، میکروسکوپ نوری، رنگ‌سنج، مقاومت سنج بهره گرفته شد. در پی رسیدن به سؤال این پژوهش که مرکب‌های ساخته شده از چه میزان تخریب و پایداری برخوردار است؟ روش ساخت مرکب دوده‌ای و اینکه چه آزمایشاتی برای رسیدن به این منظور لازم است، بررسی شد. در ابتدا مرکب دوده‌ای بر اساس رساله صراط‌السطور سلطان‌علی مشهدی، ساخته شد و طبق استاندارد ۴۷۰۶ ایران، پیرسازی تسریعی – حرارتی نمونه‌ها انجام شد، و آزمون‌ها بر روی نمونه‌های قبل از پیرسازی و پس از پیرسازی در دو دوره ۶ و ۱۲ روزه انجام شد و با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. در بررسی pH نمونه‌ها، نمونه‌ها بعد از پیرسازی ۱۲ روزه، کاهش pH نسبت به نمونه‌های قبل از پیرسازی مشاهده می‌شود. در بررسی سطح نمونه‌ها، نمونه دوده‌ای نشان‌دهنده ازدست‌رفتن رنگ در دوره ۶ روزه و گسست الیاف در پیرسازی ۱۲ روزه است. بررسی فاکتور *L در آزمون رنگ‌سنجی نمونه دوده‌ای پس از پیرسازی ۶ و ۱۲ روزه افزایش روشنایی دیده می‌شود. نتیجه حاصل از فاکتور *b نشان‌دهنده افزایش زردی در نمونه‌های دوده‌ای، در هر دو مرحله پیرسازی است. بررسی فاکتور*a نشان‌دهنده این است که در تمامی نمونه‌های پیرسازی شده افزایش قرمزی وجود دارد. تحلیل طیف‌های حاصل از آنالیز دستگاهی ATR – FTIR، در نمونه دوده‌ای نشان‌دهنده این است که سلولز در طول پیرسازی دچار تغییرات ساختاری شده ولی بیشتر تغییرات در ساختار مرکب است. نتایج حاصل از آزمون مقاومت کششی، در نمونه دوده‌ای مقاومت کاغذ پس از هر مرحله پیرسازی نسبت به‌پیش از آن‌ها کمتر است. طی بررسی‌های انجام شده به این نتیجه رسیدیم که مرکب دوده‌ای از پایداری نسبتاً خوبی برخوردار است.

پی‌نوشت‌ها

[1] David Nunes Carvalho
2 Matt Lichtenberger
[3] Fading

منابع

بیانی، م. و سنگلاخ، م.ع. (۱۳۶۸). مرقع گلشن. تهران: فرهنگسرا.
خسروی بیژانم، ف. (۱۳۸۵). فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مرکب‌های سنتی و ارائه راه‌کارهای حفاظتی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر، اصفهان.
سلطانی اشیانی، ف. و فرهمند بروجنی، ح. و عابد اصفهانی، ع. (۱۳۹۱). فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مرکب مشکی و قهوه‌ای در آثار خوشنویسان معاصر و بررسی تأثیر افزودنی عسل بر ویژگی‌های بصری مرکب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر، اصفهان.
مایل هروی، ن. (۱۳۷۲). کتاب آرایی در تمدن اسلامی. تهران: بنیاد پژوهش‌های اسلامی، آستان قدس رضوی.
شمس، م.ج. (۱۳۹۰). مجموعه مقالات کنگره استاد میرزا احمد نی‌ریزی. شیراز.
ناردی، آن. ل. و وان دم، ف. (۱۳۸۲). راهنمای حفاظت و نگهداری مرمت کاغذ. (سرو مقدم، أ. ترجمه). مشهد:آستان قدس رضوی.

Chang, H. T., Yeh, T. F., & Chang, S. T. (2002). Comparisons of chemical characteristic variations for photodegraded softwood and hardwood with/without polyurethane clear coatings. Polymer Degradation and Stability, 77(1), 129-135.
Colom, X., Carrillo, F., Nogués, F., & Garriga, P. (2003). Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. Polymer degradation and stability, 80(3), 543-549.
Hon, D. N. (1983). Weathering reactions and protection of wood surfaces. J Appl. Polymer Sci., 37(1), 845–864.
Lichtenberger, M. (2004). Inks–Water-Based. Retrieved Februari, 26, 2019.
Ncube, E., & Meincken, M. (2010). Surface characteristics of coated soft-and hardwoods due to UV-B ageing. Applied surface science, 256(24), 7504-7509.
Remazeilles, C., Quillet, V., & Bernard, J. (2000, October). FTIR techniques applied to iron gall inked damaged paper. In proceedings of the 15th world conference on non-destructive testing.
Rosu, D., Teaca, C. A., Bodirlau, R., & Rosu, L. (2010). FTIR and color change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 99(3), 144-149.