

## مطالعه فنی و آسیب‌شناسی مرکب‌های مشکی مورد استفاده خوش‌نویسان امروزی

حمید فرهمند بروجنی\* عباس عابد اصفهانی\*\* زهرا سلطانی\*\*\*

### چکیده

۱۰۳

امروزه با وجود خطاطران توانمند، مرغوب‌نبودن مرکب‌های موجود در بازار، یکدست‌نبودن مواد مرکب‌ها، کشش نامناسب و مات‌شدن مرکب‌ها در اندک زمانی پس از خشک‌شدن که نشان از نداشتند کیفیت لازم آنهاست؛ موجب می‌شود آثار ارزشمند خوش‌نویسان پس از گذشت مدتی دچار آسیب‌هایی مثل ریختگی، تغییر رنگ و حتی تخریب کاغذ گردد. آسیب‌شناسی مرکب‌هایی که هنرمندان امروزی آنها را به کار می‌برند، گامی ضروری برای حفظ این آثار است که در آینده بخشی از تاریخ این سرزمین را شامل خواهند شد. آنچه در پژوهش حاضر کنکاش شده، بررسی فنی و آسیب‌شناسی مرکب‌های خوش‌نویسی مشکی است که بیشتر از دیگر مرکب‌ها در خوش‌نویسی کاربرد دارند. هدف تحقیق این بوده که با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی (شیمیایی و فیزیکی)، اجزا و عناصر تشکیل‌دهنده مرکب‌های مشکی مورد استفاده و همچنین آسیب‌هایی که با گذشت زمان در آنها پدیدار می‌شوند، مشخص گردد. در بررسی شیمیایی، روش‌های دستگاهی طیف‌سنجدی جذب اتمی، طیف‌سنجدی پراش پرتو X، طیف‌سنجدی تبدیل فوریه- مادون قرمز و روش کروماتوگرافی به کار رفت. در بررسی فیزیکی، برآقیت، پوشانندگی و کشش نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های گلاسیمتر، رفلکтомتر، فورکاپ اندازه‌گیری شدند. نتایج بررسی شیمیایی نشان داد مرکب‌ها، ترکیبی آلی- معدنی دارند؛ در نمونه‌ها از یک رنگدانه سیاه (دوده، جز در یک نمونه) به جای ماده رنگی همراه با یک ماده آلی (احتمالاً صمغ) استفاده شده است. در بررسی فیزیکی نمونه‌ها، مشخص شد بست زیاد موجب برآقیت بیشتر و آهن زیاد موجب پوشانندگی بهتر شده است. همچنین استفاده از ذرات ناهمگن، روش نامناسب مخلوط‌کردن مواد، تهیه و عمل آوری نادرست آنها موجب کشش نامناسب مرکب گردیده است. در بخش آسیب‌شناسی پس از پیرسازی‌های مختلف روی نمونه‌ها، مشخص شد استفاده از رنگدانه دوده مانع از رنگ پریدگی شدید مرکب می‌شود. ضمن‌اینکه، فزوئی یون‌های آهن و مس، اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد. میزان زیاد بست هم علاوه‌بر تسریع در رشد میکرووارگانیسم‌ها، باعث جمع‌شدن مرکب روی کاغذ و تشکیل توده‌هایی غلیظ بر کاغذ شده و درنهایت، ریزش لایه مرکب را به همراه دارد. از دیگر سو، میزان کم بست هم موجب ریزش زودهنگام مرکب از روی تکیه‌گاه می‌گردد.

**کلیدواژگان:** فن‌شناسی، آسیب‌شناسی، مرکب مشکی، خوش‌نویسان امروزی.

\* دانشجوی دکتری مرمت اشیای تاریخی- فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان.

\*\* دانشجوی دکتری مرمت اشیای تاریخی- فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان.

\*\*\* کارشناس ارشد مرمت اشیای تاریخی- فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان.

## مقدمه

آنالیزهای دستگاهی از قبیل طیف سنجی تبدیل فوریه- مادون قرمز<sup>۳</sup> را روی آنها انجام داده و تاریخچه‌ای از مرکب کربنی و آهن- مازو ارائه داده است. مرت<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) نیز، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود به شناسایی ساختار شیمیایی مرکب‌های نسخ قدیمی با استفاده از آنالیزهای دستگاهی مثل طیفسنجی تبدیل فوریه- مادون قرمز دست زده است. وی همچنین با نمونه‌سازی، تأثیر افزودنی زعفران را در جلوگیری از خوردگی کاغذ به‌وسیله مرکب آهن- مازو بررسی کرده است. کیومارتان<sup>۵</sup> و کلارک<sup>۶</sup> (۱۹۹۶) در مقاله‌ای به‌وسیله آنالیز میکرورامان<sup>۷</sup> روی رنگدانه‌های استفاده شده در دو نسخه خطی ایرانی دریافتند که مرکب مشکی به کاربرده شده در نسخه‌ها، دوده چراغ و دوده عاج بر پایه کربن بی نظم است. بورجیو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۸) نیز در شناسایی رنگدانه‌های به کار گرفته شده در پنج نسخه خطی ایرانی از طریق آنالیز میکرورامان به این نتیجه رسیدند که مرکب سیاه استفاده شده در نسخ، رنگدانه‌ای سیاه بر پایه کربن است که بیشتر شبیه به دوده چراغ است. خسروی بیژائم<sup>۹</sup> (۱۳۸۵) نیز، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود "فن شناسی و آسیب‌شناسی مرکب‌های سنگی و ارائه راهکارهای حفاظتی آن" با آنالیز نمونه‌های مرکب موردنظر مشخص نمود که دو نمونه مرکب سیاه در نسخ به کار رفته است؛ یک نمونه عمده‌اً از کربن (دوده) تشکیل شده و نوع دیگر، دارای عناصر میانی و سنگین است که در واقع این دسته از مرکب، همان مرکب مخصوص ایرانی است. همچنین ایشان در نهمنین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی (۱۳۸۸)، مقاله‌ای با عنوان «آسیب‌شناسی مرکب سیاه خوش‌نویسی و ارائه راهکارهای حفاظتی آن» ارائه کرده است. در این مقاله به این نتیجه رسیده است که در نمونه‌های آزمایش شده، هم مرکب کربنی موجود است و هم مرکب خاص خوش‌نویسان ایرانی (ترکیب کربنی و مازوی) در پژوهش وی، روی خوردگی به عنوان عمده‌ترین آسیب مرکب‌های حاوی ترکیبات آهن، دقت شده و چگونگی آسیدیدگی و آسیب‌رسانی آن و روش‌های مختلف حفاظتی برای موارد آسیدیده بررسی شده است. لامعی رشتی و همکاران (۱۳۷۹) هم در پژوهش "معرفی روش پیکسی<sup>۱۰</sup> خارجی در آنالیز مرکب و کاغذ قدیمی"، به این نتیجه رسیدند که مرکب‌های قدیمی، گوگرد و آهن کمتری نسبت به مرکب‌های جدید دارند. در مقابل، عناصر میانی مرکب‌های قدیمی بسیار بیشتر از مرکب‌های جدید است. همچنین در مقاله‌ای دیگر لامعی رشتی و همکاران (۱۳۸۶)، ترکیب عنصری چند نمونه مرکب دوره قاجار را با استفاده از روش پیکسی شناسایی و اندازه‌گیری، سپس تفاوت میان آنها را بررسی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که در نمونه‌هایی که آزمایش شد، یک نمونه مرکب

خطاطان و خوش‌نویسان، نگاهبانان راستین دانش و اندوخته‌های گران دیگر خردمندان بوده و هستند و با تکیه بر هنر والای خوبی، بینندگان آثارشنان را به حفظ و اشاعه علوم و آیات و روایات حکیمان و فرزانگان فرامی‌خوانده‌اند (موسوی جزایری، ۱۳۸۹: ۱۱). در این میان، مرکب بین کاتبان و خوش‌نویسان، از نظر خوش‌نویسی، تندنویسی و بقای خط، ارزشی بیش از اندازه داشته تا جایی که یک‌چهارم حسن خط را مربوط به مرکب خوب می‌دانسته و آن را مرکب خوش‌قلم می‌نامیده‌اند (مؤمن حسینی، ۱۳۷۶: ۶۰۲). در رسالت بیان شده که مرکب خوب، مرکبی است که سیاه و براق و روان باشد و اگر نوشته در آب بیفتد، تغییر نکند. از این‌رو، در تهیه اجزای مرکب‌ها و چگونگی ترکیب آنها با هم، دقت و تلاش ویژه‌ای می‌شده است. متأسفانه امروزه مرکب‌سازان از مواد مرغوب برای ساخت مرکب‌ها استفاده نمی‌کنند و در ساخت مرکب‌ها، دقت لازم را به کار نمی‌گیرند. ضمن اینکه، به‌دلیل سهولت در کار و ارزان بودن قیمت، گاه از رنگ‌های سنتزی نیز استفاده می‌کنند.

رنگ‌های شیمیایی که از ترکیب مواد اسیدی و بازی به دست می‌آیند، ثبات نوری خوبی ندارند و از نظر کیفیت، زیبایی و پایداری در مقابل تابش نور و مواردی از این دست، بسیار ضعیفتر از رنگ‌های طبیعی هستند.

استفاده فراوان مرکب‌سازان از مواد نامرغوبی همچون دوده صنعتی و صمع عربی نامناسب، همچنین نداشتن دقت لازم در فراوری مرکب‌ها، آثار ارزشمند خوش‌نویسان را که دیر یا زود جزء آثار موزه‌ای و ملی قرار می‌گیرد؛ در گذر زمان دچار آسیب‌هایی جدی می‌کند. به‌دلیل رازداری مرکب‌سازان امروزی (تعصب ایشان در محramانه نگهداشتن رموز کار)، انجام چنین پژوهش‌هایی ضروری است. در نتیجه، ابتدا این پرسش پیش می‌آید: اجزا و عناصر تشکیل‌دهنده مرکب‌های مشکی که باید مطالعه شوند، چیست. دیگر اینکه، با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده آنها، با گذشت زمان نمونه‌ها دچار چه آسیب‌هایی خواهد شد. با این هدف که شاید شناسایی ساختار این مرکب‌ها و آسیب‌شناسی آنها راه‌گشایی در این مسیر و در بحث حفاظت پیشگیرانه، مؤثر باشد.

## پیشینه پژوهش

بریه (۲۰۰۷)<sup>۱۱</sup> در کتاب "رنگدانه‌های هنرمندان: کتاب راهنمای درباره تاریخچه و ویژگی‌های آن"<sup>۱۲</sup> توضیحاتی در رابطه با انواع دوده (کربن؛ تاریخچه، منبع، چگونگی ساخت، خصوصیات و ساختار شیمیایی و مقایسه آنها با یکدیگر داده است. همچنین

با فشاری یکسان بر کاغذ گذاشته شوند تا مرکب به طور یکسان و یکنواخت روی کاغذ قرار گیرد و هیچ گونه انباشتگی از مرکب روی کاغذ به وجود نماید.

فن‌شناسی نمونه‌ها

الف. بررسی شیمیایی

از آنجاکه پس از گفتگوهای میدانی<sup>۱۴</sup> گمان می‌رفت در نمونه‌های مرکب امروزی، از تلفیق روش سنتی و صنعتی برای ساخت مرکب‌ها استفاده شده است؛ پیش‌بینی می‌شد که نمونه‌های موردنظر ترکیبی آلی-معدنی داشته باشند. پس از انجام پژوهش‌های لازم برای شناسایی اجزای نمونه‌ها، تصمیم گرفته شد از روش‌های جداسازی مانند کروماتوگرافی، برای شناسایی مواد آلی استفاده شود. برای اندازه‌گیری میزان یون آهن و مس موجود در نمونه‌ها، روش طیف‌سنجدی جذب اتمی به کاررفت. پس از آن، از بین نمونه‌ها روی یک نمونه که دارای میزان زیاد آهن بود، آنالیز طیف‌سنجدی پراش پرتوایکس برای شناسایی مواد معدنی، انجام شد. سرانجام، آنالیز طیف‌سنجدی تبدیل فوریه-مادون قرمز به عنوان روشی تکمیلی روی نمونه‌ها انجام گرفت.

آنالیز کروماتوگرافی

یکی از متدائل ترین و مهم ترین روش های جدادسازی مواد، کروماتوگرافی لایه نازک است که برای شناسایی تعداد اجزای نمونه های مرکب از آن استفاده شد. به این ترتیب که نمونه ها روی صفحاتی با تکیه گاه آلومینیومی کاشته و سپس در حلal مطلوب که ترکیبی از بوتانول نرمال، اتانول و آمونیاک ۲ مولار بود، به مدت ۱۰ دقیقه گذاشته شدند. با آزمایش روی نمونه های موردنظر، این نتایج به دست آمد (تصویر ۱): همان طور که در تصویر ۱ دیده می شود، نمونه ها همگی دارای یک جزء رنگی هستند. می توان گفت نمونه ها سنتزی نیستند و در واقع، از همان مواد سنتی ساخته شده اند. مرکب های مشکی سنتی قدیم از نظر عامل رنگ ساز و نه از نظر سایر افروزدنی ها همچون صمغ، یک جزئی هستند و تنوع زیادی هم از لحاظ عامل رنگ ساز مانند انواع مختلف دوده، گالیک اسید و زاج جدول ۱. شماره نمونه های مورد آزمایش

### جدول ۱. شماره نمونه‌های مورد آزمایش

$S_1$	مشکی شاهد
$S_2$	مشکی ممتاز
$S_3$	مشکی سیمین
$S_4$	مشکی رضایی زنجان

(نگارندگان)

مشکی است که اعمدتاً از عنصر کربن (دوده) تشکیل شده اما نوع دیگر دارای عناصر میانی و سنگین است. حاجیانی و عبدالخان گرجی (۱۳۸۷) در "آثار کاغذی: شناسایی رنگ‌های مورد استفاده در سه نسخه عقدنامه عصر قاجار"، پس از انجام آزمایش‌ها دریافتند مرکب مشکی به کاررفته در هر سه نسخه، بدون آهن و در ترتیج، از نوع مرکب کربنی است. آقایی گل و همکاران (۱۳۸۶) در "آنالیز عنصری رنگ‌ها و کاغذ نقشه قالی با روش میکروپیکسی و استفاده از آن در مرمت" در بررسی نقشهٔ یک قالی قدیمی به این نتیجه رسیدند که رنگ مشکی به کاررفته در طراحی این نقشه، از نوع کربنی است زیرا هیچ یک از عناصر که نشان‌دهندهٔ منشأ معدنی باشد با عناصر موجود در کاغذ تفاوت زیادی ندارد. با این حال، پژوهش‌های انجام‌شده همه در ارابطه با مرکب‌های قدیمی صورت گرفته‌اند و پژوهشی در زمینهٔ مرکب‌های امروزی که آسیب‌های شان در آینده بروز خواهد کرد و در حیطهٔ حفاظت پیشگیرانه می‌گنجد، انجام نیافرته است.

روش پژوهش

روش پژوهش توصیفی- تحلیلی و روش یافته‌اندوزی، کتابخانه‌ای، میدانی و آزمایشگاهی است. بدین ترتیب که ابتدا بررسی فیزیکی مرکب‌های مشکی امروزی از نظر شیمیایی و فیزیکی انجام شد و سپس، بررسی شیمیایی آنالیز کروماتوگرافی<sup>۱</sup>، طیف‌سنجدی جذب اتمی<sup>۱۱</sup>، طیف‌سنجدی پراش پرتو ایکس<sup>۱۲</sup>، طیف‌سنجدی تبدیل فوریه - مادون قرمز<sup>۱۳</sup> روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. در بررسی فیزیکی نیز برآقیت، پوشانندگی و کشش نمونه‌ها با دستگاه‌های گلاسیمتر، رفلکتومتر و فوردکاپ اندازه‌گیری شدند. در ادامه، با پیرسازی تسریعی؛ آزمون‌های نور، کپک، دما و رطوبت روی نمونه‌ها برطبق استاندارد انجام و آسیب‌های وارد بر آنها بررسی شد. در پیابان ۵ هم، نمونه‌ها با منابع و اطلاعات موجود تحلیل و نتیجه‌گیری شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای شناسایی اجزای مرکب‌های خوش‌نویسی معاصر چهار نوع مرکب مشکی، از پرمصرف‌ترین مرکب‌های موجود در بازار از طریق پرسش میدانی، مصاحبه با مرکب‌سازان و خوش‌نویسان، انتخاب و بهتفکیک، شماره‌گذاری شدند (جدول ۱).

از آنجاکه در هنر خوش نویسی، نقطه، واحد اندازه گیری و سنجش است برای آسیب شناسی نمونه ها، هر نمونه به صورت نقطه ای  $3 \times 3$  با استفاده از قلم کتیبه به عرض ۳ سانتی متر ایجاد شد. کاغذ تمام گلاسه که بیشتر موقع خوش نویسان معاصر از آن استفاده می کنند، به عنوان تکیه گاه برای مرکب های مورد آزمایش به کار رفته اند. هنگام گذاشت، نمونه ها روی کاغذ، سمع، شد نمونه ها

آهن ندارند. حتی مركب‌های مشکی امروزی که در مقیاس صنعتی تولید می‌شوند، از نظر عامل رنگ‌ساز معمولاً یک جزئی هستند.<sup>۱۵</sup> مركب‌های دیگر که برای نوشتن به کار می‌روند همچون مركب پرینترهای رنگی به رنگ‌های قهوه‌ای، سبز، آبی، قرمز و ...، همگی بیش از یک جزء دارند. چون موضوع بحث در این مقاله، مركب مشکی است، می‌توان گفت فرض یک جزئی بودن غیرمنطقی نیست.

پس از آن، روی نمونه‌ها به دقت اسید سولفوریک ریخته شد. ردی تیره (قهوه‌ای)، روی نمونه‌ها ظاهر شد که نشان از وجود ماده‌ای آلی است (تصویر ۲).

#### - طیفسنجی جذب اتمی AAS

طیفسنجی جذب اتمی، یکی از متداول‌ترین روش‌های تجزیه عنصری است (هادیان‌دهکردی، ۱۳۸۶: ۱۷۱). میزان آهن و مس موجود در نمونه‌ها با روش طیفسنجی جذب اتمی اندازه‌گیری شد.<sup>۱۶</sup> بدین‌ترتیب که میزان معینی از هر نمونه، وزن شد و سپس در آون با حرارت صد درجه سانتی‌گراد خشکانده و دوباره وزن شد. پس از آن، در کوره تا حرارت ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده، تبدیل به خاکستر گردید و روی هر کدام، آنالیز طیفسنجی جذب اتمی انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است.

نتایج جدول نشان می‌دهد نمونه  $S_2$ ، دارای بیشترین مقدار آهن و نمونه  $S_3$  دارای بیشترین مقدار مس است.

#### طیفسنجی پراش پرتو ایکس XRD

پس از اندازه‌گیری میزان آهن و مس نمونه‌ها، چون مقدار باقی‌مانده خشک نمونه  $S_2$  از همه کمتر و درصد خاکستر آن از همه بیشتر بود، چنین حدس زده شد که این مركب باحتمال بسیار، ترکیبی آلی - معدنی با چند فاز معدنی داشته باشد. برای مشخص نمودن فازهای معدنی آن، آنالیز XRD صورت گرفت که نتیجه  $Fe_3O_4$  بود. در تصویر ۳، نمودار XRD حاصل از نمونه را می‌توان مشاهده کرد.

اسید طبیعی سیاه آهن ( $Fe_3O_4$ )، از خرد و نرم کردن سنگ معدن مغنتیت به دست می‌آید، براساس خاصیت مغناطیسی طبقه‌بندی می‌شود و حدود ۹۲ الی ۹۵ درصد  $Fe_3O_4$  دارد (مازندرانی، ۱۳۷۵: ۱۰۳). میزان بسیار آهن در خاکستر نمونه  $S_2$  با پیک XRD آن مطابقت می‌کند. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر، از نمونه‌ها طیف FT-IR گرفته شد که در تصویرهای ۴-۷ دیده می‌شود.

طیف‌های به دست آمده از نمونه‌ها، در بردارنده باند جذبی در ناحیه  $1000-1050\text{ cm}^{-1}$  مربوط به اتصالات C-O $1580\text{ m}^{-1}$ ، مربوط به اتصالات C-C (احتمالاً در حلقه آروماتیک)،

$3600-2900\text{ cm}^{-1}$  مربوط به اتصالات C-H،  $2800-2900\text{ cm}^{-1}$  مربوط به اتصالات O-H هستند. طیف‌های گرفته شده از نمونه‌های آزمایشی به ترتیبی است که در تصویرهای یادشده دیده می‌شود.

باتوجه به طیف‌های FT-IR و دیگر آنالیزها (کروماتوگرافی، جذب اتمی و XRD)، این‌گونه می‌توان نتیجه گرفت که این مركب‌ها احتمالاً ترکیبی آلی - معدنی دارند؛ یک رنگدانه معدنی به احتمال زیاد دوده جز در یک نمونه و یک ماده آلی،<sup>۱۷</sup> احتمالاً صمغ، هستند.

#### ب. بررسی فیزیکی

از آنچاکه در خوش‌نویسی مؤلفه‌هایی مثل برآقیت، پوشانندگی و کشش مركب از جنبه هنری و بصری بسیار مهم‌اند و فراوان دیده شده که مركب‌ها علاوه‌بر نداشتن کشش لازم هنگام نوشتن، پس از خشک‌شدن نیز مات می‌شوند و جلوه بصری خوبی ندارند، از این دید نیز نمونه‌ها بررسی شدند.<sup>۱۸</sup> البته باید بیان کرد که مؤلفه‌های ذکر شده به‌دلیل حسی بودن فقط هنگام نوشتن هنرمند درک می‌شوند و با آنالیزهای دستگاهی چندان ملموس نیستند. لیکن به ن查چار برای روشن‌شدن موضوع از آنالیزهای دستگاهی در این زمینه نیز استفاده شد. برای نمونه، بیشتر مركب‌های موجود در بازار پس از خشک‌شدن مات می‌گردند و برآقیت لازم را ندارند در صورتی که ممکن است دستگاه عدد بالایی را نشان دهد و این، زمانی فهمیده می‌شود که به‌طور بصری دیده شوند.

#### - برآقیت<sup>۱۹</sup>

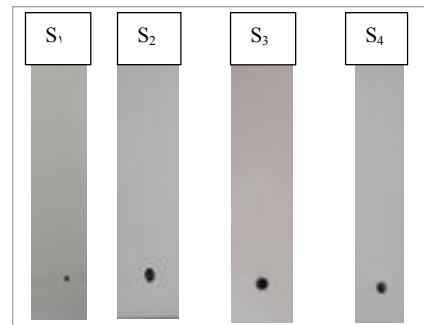
برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه مركب را با رنگ‌کش روی شیشه‌ای در اندازه  $15 \times 10 \times 10$  سانتی‌متر کشیده و پس از خشک‌شدن، توسط دستگاه گلاسیمتر، برآقیت هر نمونه اندازه‌گیری شد. شایان یادآوری است که مقادیر نهایی، حاصل میانگینی از پنج بار اندازه‌گیری است که نتایج آن در جدول ۳ گزارش شده است.

براساس نتایج، نمونه  $S_1$  دارای بیشترین برآقیت است و این، شاید به‌دلیل میزان بالای بست است. زمانی که بست به‌طور کامل، فضاهای خالی را در لایه ذرات پر کند، انعکاس‌ها در سطح ذرات در یک فضای رنگدانه-بست بیشتر از فضای رنگدانه- هوای خواهد بود و پس از آنکه مركب روی کاغذ قرار گرفت، فیلمی که شکل می‌گیرد متراکم‌تر (Winter, 2008: 94) و درنتیجه، بازتاب بیشتر و فیلم برآق تر به‌نظر می‌رسد.

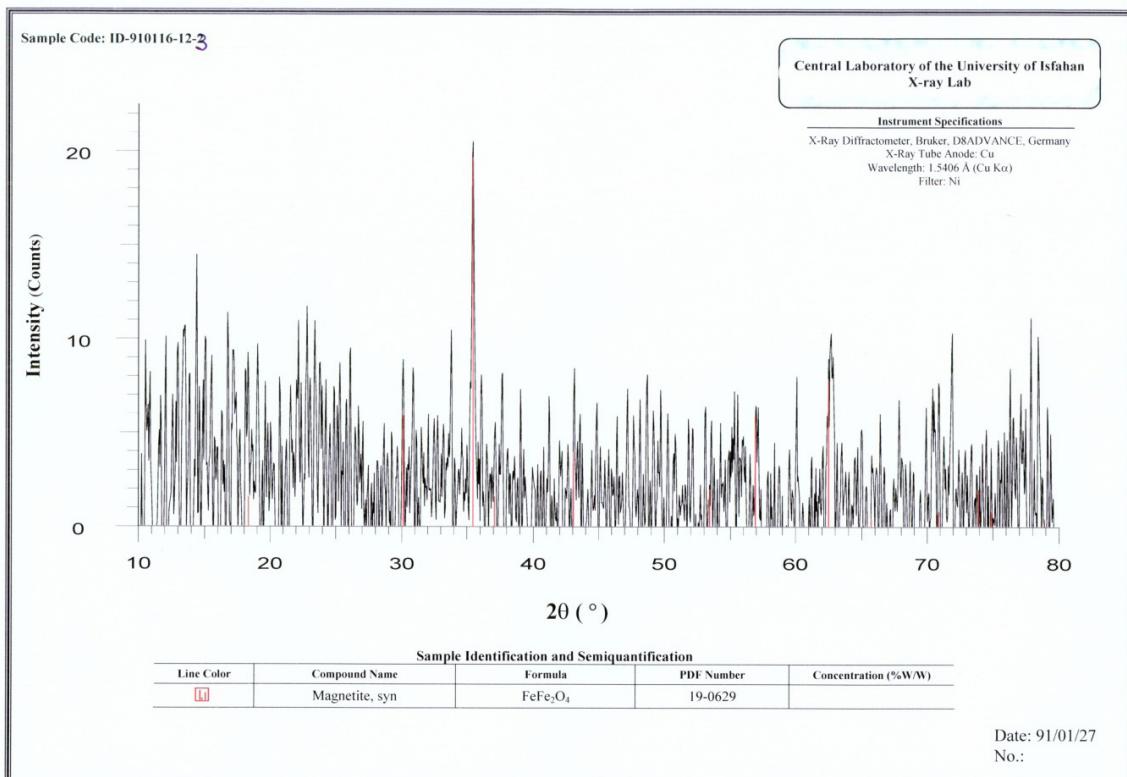
درادامه، بیان خواهد شد که میزان زیاد بست موجب آسیب به مركب خواهد شد. نمونه  $S_4$ ، دارای کمترین برآقیت است و به‌احتمال بسیار دارای کمترین میزان بست در میان نمونه‌های مورد آزمایش است. در رساله خوش‌نویسی روشنی برای آزمایش



تصویر ۲. تأثیر اسید سولفوریک روی نمونه  $S_1$  (نگارندگان)



تصویر ۱. نتایج کروماتوگرافی نمونه‌ها (نگارندگان)



#### Sample Identification and Semiquantification

Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number	Concentration (%W/W)
■	Magnetite, syn	FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	19-0629	

تصویر ۳. نمودار XRD مربوط به نمونه  $S_2$  (نگارندگان)

جدول ۲. میزان درصد آهن و مس موجود در نمونه‌ها

نمونه	رطوبت	باقی‌مانده خشک	خاکستر	مس	آهن
$S_1$	۷۷,۷۵	۲۲,۷۴	۳,۱۴	۰,۰۲	۰,۱۷
$S_2$	۹۲,۶۹	۷,۳۱	۴,۱۷	۰,۰۶۲	۵۴,۳
$S_3$	۸۸,۹۶	۱۱,۰۴	۰,۶۷	۰,۲۴	۲۸,۵
$S_4$	۷۴,۵۵	۲۵,۴۵	۰,۴	۰,۰۰۸	۲,۴۳

(نگارندگان)

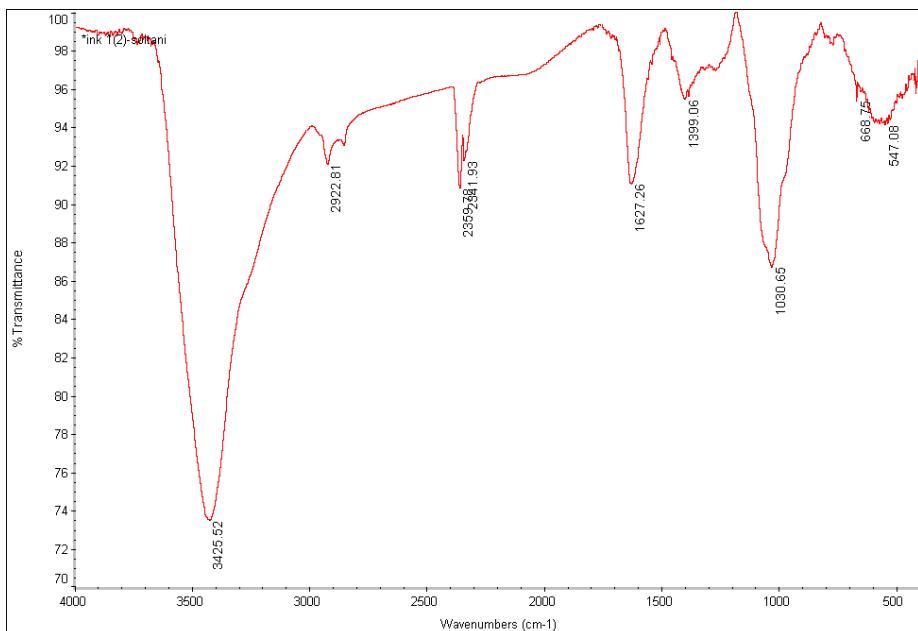
به این ترتیب که پنج نقطه در نیمة سیاه رنگ و پنج نقطه در نیمة سفیدرنگ اندازه‌گیری شده سپس، میانگین سیاه به سفید محاسبه شد<sup>۲۳</sup> که به آن نسبت تباينی<sup>۲۴</sup> گفته می‌شود. قدرت پوشش رنگ بر حسب مساحت پوشیده شده با واحد فوت مربع توسط هر یک گالن رنگ برای ایجاد پوشش کامل محاسبه می‌شود (ترنر، ۱۳۷۴: ۱۵۰).

قدرت پوشانندگی، تابعی از ضریب انكسار و اندازه و شکل ذرات رنگدانه در بست است که هرچه ذرات ریزتر باشند تعداد آنان در واحد حجمی بیشتر و درنتیجه، قدرت پوشش بیشتر می‌گردد. همچنین، هرچه ضریب شکست پودر بیشتر باشد

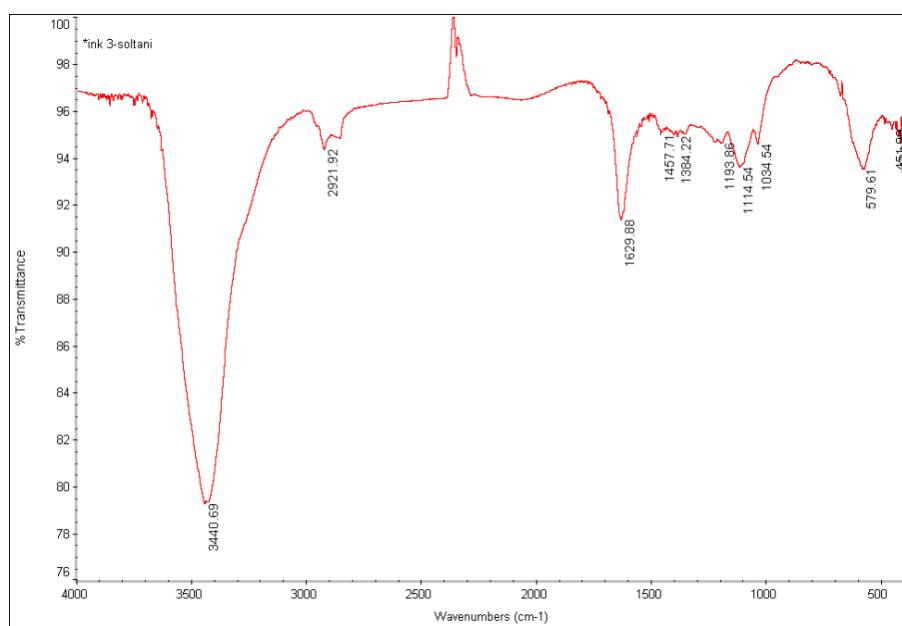
رنگ‌ها و مرکب‌ها بیان شده تا مشخص شود که آیا صمع کافی دارد یا خیر: «زمانی که رنگ، پهن و خشک شد با تکه‌ای پارچه سائیده می‌شود؛ اگر رنگ جدا شد بدین معناست که صمع کافی ندارد» (پورتر، ۱۳۸۹: ۱۲۲).

#### - قدرت پوشانندگی<sup>۲۱</sup>

برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه مرکب با رنگ کش روی کارت سیاه و سفید<sup>۲۲</sup> کشیده شد به طوری که نیمی از مرکب در قسمت سیاه و نیمی دیگر در قسمت سفید قرار بگیرد. پس از خشک شدن مرکب، بازتاب آن اندازه‌گیری گردید.



تصویر ۴. طیف FT-IR مربوط به نمونه<sub>۱</sub> S<sub>۱</sub> (تگارندگان)



تصویر ۵. طیف FT-IR مربوط به نمونه<sub>۲</sub> S<sub>۲</sub> (نگارندگان)

جدول ۳. میزان برآقیت نمونه‌ها بر حسب درصد

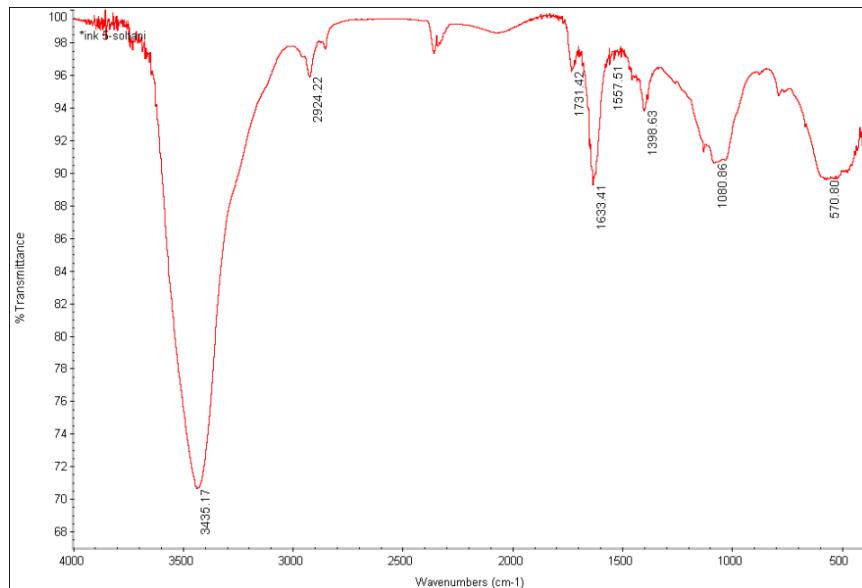
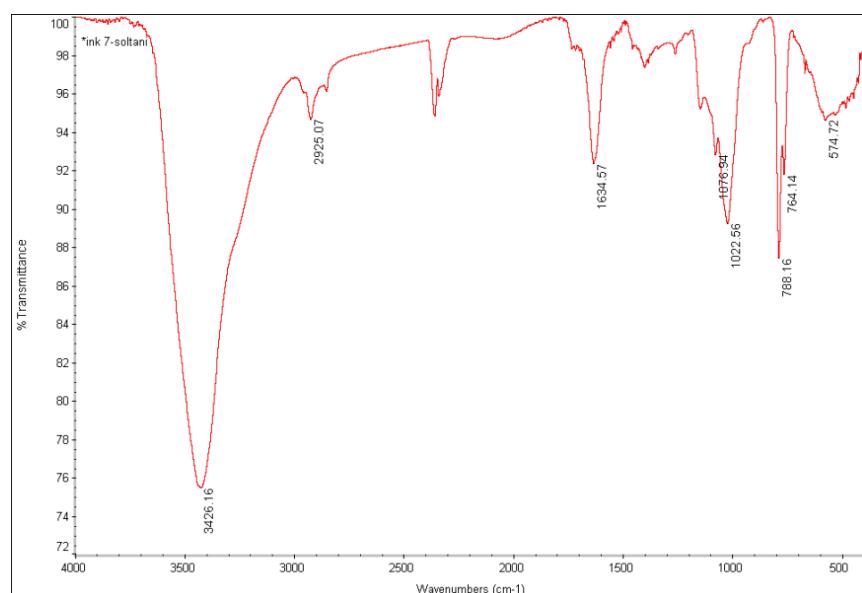
نمونه	برآقیت (%)
S <sub>1</sub>	۷۸
S <sub>2</sub>	۷۴
S <sub>3</sub>	۷۱
S <sub>4</sub>	۶۵

(نگارندگان)

قدرت پوشانندگی آن نیز، بیشتر خواهد بود (مازندرانی، ۱۳۷۵: ۳۹).

نتایج این بررسی بر حسب مترمربع بر لیتر، در جدول ۴ گزارش شده است.

مسلم این است که در میان رنگ‌ها، مشکی بالاترین پوشش‌دهندگی را دارد. نمونه S<sub>2</sub> در بین نمونه‌ها، دارای بیشترین پوشش‌دهندگی است. همان‌طور که بیان شد، از جمله عواملی که باعث پوشش‌دهندگی بهتر می‌شود، همگن‌بودن ذرات است و این، شاید یکی از دلایل پوشش‌دهندگی بالای این نمونه است. علاوه‌بر این، میزان بالای آهن این نمونه

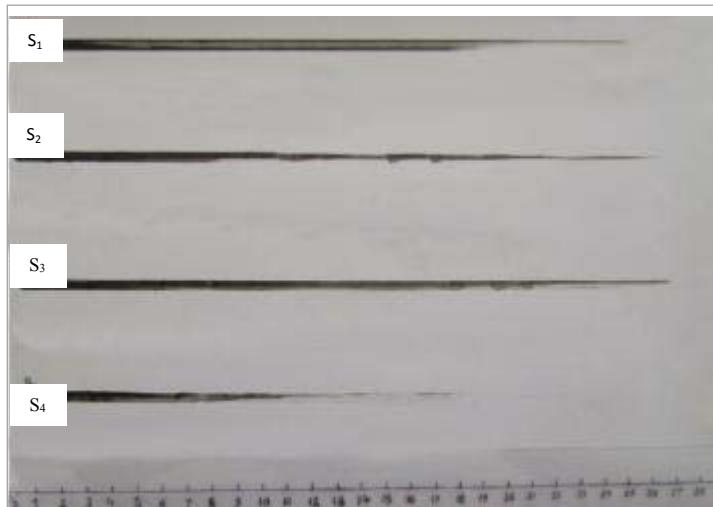

 تصویر ۶. طیف FT-IR مربوط به نمونه S<sub>3</sub> (نگارندگان)

 تصویر ۷. طیف FT-IR مربوط به نمونه S<sub>4</sub> (نگارندگان)

باعث پوشش دهنده‌گی بهتر شده است. نمونه  $S_1$  کمترین پوشش دهنده‌گی را دارد. البته باید بیان کرد که هیچ کدام از نمونه‌ها، پوشانندگی خوبی از لحاظ بصری نداشتند و در برخی از آنها، پس از نوشتن سطح زمینه مشخص بود.

#### - کشش

کشش (روانی) مركب، يك عوامل اصلی در مركب خوب است. ازانجاكه برای اندازه‌گيری کشش موردنظر، در خوش‌نويسی استاندارد مشخصی وجود ندارد و در الواقع برای اندازه‌گيری آن باید زمان جاري شدن<sup>۲۵</sup> و روانی مركب را درنظر گرفت؛ نزدیک‌ترین راه برای رسیدن به هدف، اندازه‌گيری ويسکوزيته<sup>۲۶</sup> نمونه‌ها است. گرانروي يا ويسکوزيته به مقاومت لایه‌های داخلی يك مابع اطلاق می‌گردد. هر اندازه ويسکوزيته بيشتر باشد، جريان بازشدن رنگ پس از استعمال کمتر خواهد بود (فرزان، ۱۳۷۲: ۹۴). برای اندازه‌گيری ويسکوزيتة نمونه‌ها،<sup>۲۷</sup> نظر به اينكه، درجه حرارت مركب در اندازه‌گيری غلظت يا ويسکوزيته يكى از فاكتورهای مهم اندازه‌گيری بهشمار می‌آيد، ابتدا نمونه مركب مورد نظر را به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رسانده سپس داخل كاپ ريخته و زمان عبور مركب از كاپ بحسب ثانيه اندازه‌گيری شد.<sup>۲۸</sup> شاييان يادآوری است، هرچه زمان جاري شدن مركب از داخل كاپ کمتر باشد ويسکوزيتة مركب كمتر و درنتيجه، مركب روان تر است. نتائج اين اندازه‌گيری در جدول ۵ آورده شده است.

مشاهده می‌شود که نمونه  $S_3$  در بين نمونه‌ها، پائين‌ترین عدد را دارد که نشان از ويسکوزيتة کمتر آن است. برای تكميل اين آزمون تصميم گرفته شد، کشش هر مركب به وسیله قلم‌ني نيز امتحان شود. بدین ترتيب که، با يك قلم مشق از هر نمونه به مقدار تقریباً مساوی مركب برداشته، قلم را روی کاغذ گذاشته و با فشار تقریباً يكسان كشیده شد و تا هر کجا قلم كشیده



تصویر ۸. میزان کشش نمونه‌ها روی کاغذ (نگارندگان)

مي‌شد و مركب قابلیت کشش داشت، روی کاغذ ادامه داده شد. نتایج اين آزمون در تصویر ۸ دیده می‌شود. خط حاصل از کشش نمونه  $S_1$ ، دارای بيشترین طول است که نشان از کشش بيشتر اين نمونه در میان سایر نمونه‌هاست. البته هنرمندان خوش‌نويس از مواد همچون گلیسيرين، الكل و سركه برای کشش بهتر مركب استفاده می‌کنند<sup>۲۹</sup> که اين مواد با گذشت زمان تخريب‌های را در بی خواهد داشت. گلیسيرين، از مواد انعطاف‌دهنده است که مقدار کم آن باعث انعطاف رنگ يا مركب می‌شود در عین حال، ميزان زياد آن باعث ديرتر خشک شدن رنگ يا مركب می‌گردد (جوکار، ۱۳۸۵: ۱۱۹).

#### پيرسازی نمونه‌ها

مهم‌ترین عوامل آسيبرسان به آثار تاریخي؛ دما، رطوبت و نور است. تخریب مواد رنگی به دليل ناپایداری شیمیایی رنگ، آلاینده‌های جوي، نور يا تخریب بست يا مادة واسط که گاهی با مادة رنگی برای تولید يك رنگ مخلوط می‌شوند، صورت می‌گيرد (بهادری، ۱۳۸۵: ۱۹۴ و ۱۹۵). برای بررسی عوامل آسيبرسان، پيرسازی تسریعی روی نمونه‌ها بدین شرح انجام شد:

- برای بررسی تأثيرات نور فرابينفس روی نمونه‌ها (بررسی ميزان رنگ‌پريديگي هريک از نمونه‌ها)، پيرسازی تسریعی طبق استاندارد ISO 1221 1971، به مدت ۱۱ روز و با فاصله ۲۵ سانتي‌متر از نمونه‌ها توسط لامپ بلک‌لايت آبي فلورسن特، ۱۸ وات با طول موج 356nm انجام شد.
- برای آزمون كپك روی نمونه‌ها (بررسی زمان رشد كپك روی هريک از نمونه‌ها)، پيرسازی تسریعی طبق استاندارد ASTM-D 5098-94 در محفظه‌اي با رطوبت نسبی ۹۵-۹۸ درصد و دمای  $32.5 \pm 1$  درجه سانتي‌گراد

عوارض ناشی از ساختار کاغذی که روی آن قرار گرفته‌اند باشد، خواه ناشی از نوع و شرایط قلمی که استفاده‌ده می‌شده یا مهم‌تر از همه آنها، عناصر مركب باشد (Carvalho, 2001: 79).

یکی از راه‌هایی که یک سیستم از اتم‌ها می‌تواند انرژی کافی برای انجام واکنش‌های شیمیایی به دست آورد؛ جذب تشعشع الکترومغناطیس<sup>۳۲</sup> است که معمولاً با عنوان نور مرئی<sup>۳۳</sup> و بعضی اوقات تشعشع فرابنفش<sup>۳۴</sup> خوانده می‌شود (Winter, 2008: 143). رنگدانه‌های بسیاری در اثر نور، کمرنگ، تیرنگ رنگ یا بدجور، رنگ به رنگ می‌شوند. به این دلیل که اشعه‌های فرابنفش در نور خورشید انرژی کافی را برای شکستن برخی پیوندهای شیمیایی و درنتیجه، تغییر مولکول‌ها دارند. تغییر در ساختار شیمیایی به معنای تغییر در قدرت جذب نور در ناحیه مرئی طیف و درنتیجه، از دستدادن رنگ یا تغییر فام است (ترنر، ۱۳۷۴: ۱۲۴). با تجزیه مولکول‌ها، رنگ، کمرنگ یا محو می‌گردد. مولکول‌های رنگ توانایی جذب نور در یک ناحیه طول موج خاص و تبدیل کردن این انرژی به گرما را به‌آرامی، از دست می‌دهند (Gerritsen, 1975: 42).

از دیگر واکنش‌های شیمیایی که به وسیله حضور میکرووارگانیسم‌ها تولید می‌شوند، واکنش‌های بیوشیمیایی هستند. آنزیم‌ها توسط یک ارگانیسم ترشح می‌شوند و ممکن است به واکنش‌های مواد تشکیل‌دهنده مرکب سرعت بخشد. برای نمونه، باعث تغییر رنگ یا تخریب کاغذ شوند. تحول تولیدشده توسط یک ارگانیسم که گاهی در ساختار مرکب به نظر می‌آیند عبارت است از: لکه همراه با تغییرات رنگی. این نوع واکنش‌های آنزیمی بهشدت تحت تأثیر رطوبت هستند، رطوبتی که معمولاً بالاتر از شرایط نرمال محیط است (Winter, 2008: 144). بسیاری از نسخ خطی دراثر واکنش با رطوبت، خواه کاغذ دریافت کننده رطوبت باشد خواه اجزای مرکب، دچار تخریب از جانب میکرووارگانیسم‌ها می‌گردند (تصویر ۹).

روطوبت نسبی زیاد، به ذرات تشکیل دهنده مرکب واکنش نشان داده و باعث رشد و نمو انواع قارچ‌ها و کپک‌ها می‌شود.

## جدول ۵. زمان جاری شدن نمونه‌ها بر حسب ثانیه

نمونه	زمان جاری شدن (s)
S <sub>1</sub>	۲۲
S <sub>2</sub>	۲۲
S <sub>3</sub>	۲۱
S <sub>4</sub>	۲۴

(نگارندگان)

برای مشاهده تأثیرات طولانی مدت مرکب روی کاغذ (بررسی میزان خوردگی کاغذ بهوسیله هریک از نمونه‌ها)، پیرسازی تسریعی توسط دمای بالا انجام شد. تغییراتی که ممکن است سال‌ها طول بکشد تا در شرایط نرمال رخ دهد. طبق استاندارد ISO 5630-1 TS 4839 نمونه‌ها به مدت ۲۴ روز در دمای  $2 \pm 0.5$  درجه سانتی‌گراد در گرمای خشک آون گذاشته شدند. به منظور بررسی تأثیرات رطوبت و برای انجام آزمون ریختگی روی نمونه‌ها (بررسی زمان ریختگی هریک از نمونه‌ها)، پیرسازی تسریعی طبق استاندارد ASTM-D 2247 در محفظه‌ای با رطوبت نسبی ۹۵-۱۰۰ درصد و دمای ۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

به منظور فهمیدن اثرات پیرسازی روی مرکب‌های زمايش شده، نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی، pH سنجی شدند. همچنین، برای بررسی تغییرات رنگی نمونه‌ها از رنگ‌سنج مدل Color Tector Alpha® استفاده شد. تغییرات رنگی می‌توانند بهوسیله سیستم CIE<sup>۳</sup> محاسبه شوند. در این سیستم درخشش،  $*L^*$  کمیتی است که مقدار مجموع نعکاس طیفی خورشیدی را نسبت به سطح سفید خالص ندازه‌گیری می‌کند؛  $*a^*$  یک مقیاس از مقدار قرمز-سبز است و  $*b^*$  مقدار زرد-آبی را مشخص می‌کند. اختلاف مجموع رنگ،  $\Delta E$  طبق معادله زیر محاسبه شده است که در آن  $\Delta L^* = L_2 - L_1$ ،  $\Delta a^* = a_2 - a_1$ ،  $\Delta b^* = b_2 - b_1$ ، تفاضل محاسبه شده برای نمونه‌های پیرسازی شده (۲) و نمونه‌های نبل از پیرسازی (۱) است (Mert, 2008: 43).

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$$

آسیب‌شناسی نمونه‌ها

زمانی که مرکب مایع روی کاغذ قرار می‌گیرد، با تبخیر تدریجی، تغییراتی نه تنها در رنگ بلکه در آهن و مازوی موجود در مرکب ایجاد می‌شود. ساختمان شیمیایی مرکب‌ها به گونه‌ای است که از محیط اطرافشان فوری تأثیر می‌گیرد؛ خواه این جدول ۴. میزان پوشش دهنده‌ها بر حسب متر مربع بر لیتر

نمونه	(m <sup>v</sup> /lit) پوشش
S <sub>1</sub>	۱۰
S <sub>2</sub>	۱۴
S <sub>3</sub>	۱۲
S <sub>4</sub>	۱۲

(نگارندگان)

## آزمون‌ها و نتایج

### - نور فرابینفس

برای بررسی تأثیر نور فرابینفس روی نمونه‌ها و مشخص نمودن تغییر در اسیدیته هریک پس از پیرسازی، pH هر نمونه اندازه‌گیری شد. ضمناً اینکه، pH کاغذ ۷،۶۵ بود. همچنین، تغییرات pH هر نمونه محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۶ گزارش شده است. شایان یادآوری است که مقادیر نهایی، حاصل میانگینی از سه بار اندازه‌گیری است. در این آزمون مشاهده شد، pH نمونه  $S_4$  بالاترین مقدار را در میان نمونه‌ها دارد که نشان‌دهنده اسیدی شدن بیشتر است. در ادامه نیز چنین به دست آمد که این نمونه نسبت به نمونه‌های دیگر دچار رنگ‌پریدگی بیشتری گردیده است.

پس از اندازه‌گیری مقدار pH هر کدام از نمونه‌ها، برای بررسی میزان تغییر رنگ نمونه‌ها بعد از پیرسازی نوری، از دستگاه رنگ‌سنجد استفاده شد. بدین ترتیب که قبل و بعد از پیرسازی، شش نقطه از هر نمونه رنگ‌سنجدی شد. باید بیان کرد که مقادیر نهایی، حاصل میانگینی از شش بار اندازه‌گیری است که نتایج آن در جدول ۷ گزارش شده است. در این میان، مشاهده شد که میزان رنگ‌پریدگی نمونه‌ها به دلیل استفاده از دوده جز در یک مورد، آنچنان محسوس نیست.

### - کپک

پس از قراردادن نمونه‌های آزمایش شده در شرایط مستعد رشد قارچ و کپک، زمان تشکیل کلندی‌های کپک روی نمونه‌های موردنظر بررسی شد که نتایج آن در جدول ۸ دیده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نمونه  $S_1$  زودتر از همه دچار کپک و آلودگی شده است. شاید بتوان گفت به دلیل میزان

از آنجاکه ذرات تشکیل دهنده مرکب‌ها متفاوت‌اند، زمان تشکیل کلندی قارچ و کپک و رشد میکروارگانیسم‌ها نیز روی آنها متفاوت خواهد بود.

تنوع بسیار دستورالعمل‌های مختلف و تنوع ترکیبات مواد طبیعی خام نیز منجر به تخریب قابل تشخیص اجزای گوناگون مرکب می‌شود. اجزایی که باعث تغییر رنگ اولیه مرکب یا خورده‌گی کاغذ در تماس با مرکب آهن-مازو در دراز مدت می‌گردد (Mert, 2008: 22). در حقیقت، رنگ مرکب‌های آهن-مازو ممکن است به سرعت از سیاه به قهوه‌ای زنگزده تغییر کند به خصوص وقتی که در معرض نور و رطوبت قرار می‌گیرد. اجزا همچنین به بافت‌های کاغذ نیز صدمه می‌زنند (Stratis & Salvesen, 2002: 112).

**سولفات آهن (II)** به عنوان منبع آهن بارها استفاده شده است به گونه‌ای که، وقتی پلی فنل به آهن واکنش می‌دهد، اسید سولفوریک تولید می‌کند (Ibid: 120). اسیدها به هیدرولیز سلولز سرعت می‌بخشند. در بعضی مواقع ممکن است اکسیداسیون و هیدرولیز اسیدی تسريع شده هم‌زمان روی کاغذ رخ دهد (Ibid: 117).

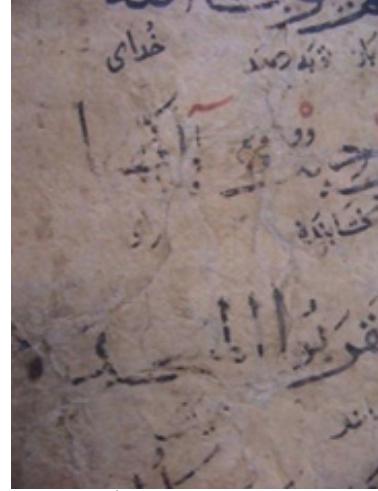
آسیب‌هایی مثل اعوجاج، چروک، ترک، سائیدگی و شکاف که ممکن است حین خشکشدن یا پس از خشکشدن مرکب رخ دهد، از جمله تخریب‌های مکانیکی است. حتی ممکن است این تغییرات، زمانی رخ دهد که تخریب مولکولی به طور چشم‌گیری پیشرفت کرده است. دو مورد محيطی تأثیرگذار، دما و رطوبت هستند. اگرچه رطوبت مهم‌تر است اما هر دو بهم وابسته‌اند. تغییرات در رطوبت نسبی، مهم‌ترین عامل برای ایجاد تغییرات در ویژگی‌های مکانیکی است (Winter, 2008: 167).



تصویر ۱۰. خورده‌گی کاغذ تحت تأثیر مرکب آهن-مازو (Mert, 2008: 29)



تصویر ۹. قرآن خطی که دچار تخریب بیولوژیکی شده است (موزه آستان قدس رضوی)



تصویر ۱۱. ریختگی مرکب احتمالاً تحت تأثیر سایش یا عوامل رطوبتی (موзе آستان قدس رضوی)

جدول ۶. نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی نوری

۱۱۳

نمونه	pH*	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	ΔpH
S <sub>1</sub>	۳,۵۸	۶,۱۵	۵,۷۵	۰,۳۱
S <sub>2</sub>	۷,۴۵	۷,۸۰	۷,۱۵	۰,۴۴
S <sub>3</sub>	۲,۸۵	۵,۷۵	۵,۳۱	۰,۴۴
S <sub>4</sub>	۴,۵۱	۵,۸۲	۵,۳۱	۰,۵۱

مرکب مایع، pH<sub>1</sub>: pH<sub>2</sub> مرکب قبل از پیرسازی، pH<sub>2</sub>: pH<sub>1</sub> مرکب بعد از پیرسازی، ΔpH: اختلاف pH<sub>2</sub> و pH<sub>1</sub> (نگارندگان)

جدول ۷. نتایج مقادیر L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی نوری

نمونه	L <sub>1</sub> *	a <sub>1</sub> *	B <sub>1</sub> *	L <sub>2</sub> *	a <sub>2</sub> *	B <sub>2</sub> *	ΔE
S <sub>1</sub>	۳۰,۰۱	-۰,۶۸	۳,۵۱	۳۲,۳۳	۰,۱۸	۳,۷۵	۲,۴۸
S <sub>2</sub>	۱۹,۸۳	-۱,۱۶	۱,۱۶	۲۱,۰۱	-۱,۵	۱,۳۶	۱,۲۴
S <sub>3</sub>	۲۲,۱۸	-۱,۷	۰,۴۱	۲۴,۰۵	-۱,۱۱	۰,۹۸	۲,۰۴
S <sub>4</sub>	۲۴,۲۱	-۱,۱۵	۳,۶۱	۲۶,۶۱	-۰,۴۸	۲,۷۶	۲,۶۳

\*<sub>1</sub>: مقدار روشنایی قبل از پیرسازی، \*<sub>2</sub>: مقدار محور قرمز- سبز قبل از پیرسازی، \*<sub>3</sub>: مقدار محور زرد- آبی قبل از پیرسازی، L\*: مقدار روشنایی بعد از پیرسازی، a<sub>2</sub>: مقدار محور قرمز- سبز بعد از پیرسازی، b<sub>2</sub>: مقدار محور زرد- آبی بعد از پیرسازی، ΔE: جمع کلی تغییرات بعد از پیرسازی (نگارندگان)

جدول ۸. بررسی زمان رشد کپک روی نمونه‌ها

نمونه	روز
S <sub>1</sub>	۲
S <sub>2</sub>	۱۲
S <sub>3</sub>	۸
S <sub>4</sub>	۸

(نگارندگان)

زیاد بست است که علاوه بر تسریع در رشد میکرووارگانیسم‌ها باعث جمع شدن مرکب روی کاغذ و تشکیل توده‌هایی غلیظ روی کاغذ شده و تخریب‌های بعدی را در بی خواهد داشت.

- دما

پس از پیرسازی حرارتی روی نمونه‌ها، به منظور فهمیدن اثرات پیرسازی بر مرکب‌ها، pH هر نمونه اندازه‌گیری شد. تغییرات pH هر نمونه نیز محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۹ گزارش شده است. شایان یادآوری است که مقادیر نهایی،

فزوئی اسید گالیک و فزوئی یون‌های  $\text{Fe}^{2+}$ ، اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد. با بررسی تغییرات نوری نمونه‌های مرکب پس از پیرسازی، علاوه‌بر مقدار  $L^*$ ، مقدار  $a^*$  و  $b^*$ <sup>۳</sup> نیز تغییر کرده‌اند. افزایش در اجزای مختصات رنگی می‌تواند ناشی از واکنش تشکیل اسید گالیک و اکسیداسیون سلولز توسط یون‌های فلزی  $(\text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{2+})$  حاضر در مرکب باشد. در اکسیداسیون سلولز، اکسیژن در محل معینی از مولکول سلولز جذب شده و سبب افزایش گروه‌های حاوی اکسیژن مانند کربونیل‌ها و کربوکسیلیک اسیدها می‌گردد. گروه‌های کربونیل که در واکنش‌های اکسیداسیون سلولز شکل گرفتند، کروموفرهاست، هستند که سبب تغییر در رنگ پلیمر از کمرنگ به زرد و حتی قهوه‌ای می‌شوند (Ibid: 67).

#### - رطوبت

پس از بررسی تأثیر دما و نور، تأثیرات رطوبت روی نمونه‌ها ملاحظه شد. این تغییرات که پوسته‌پوسته شدن و ریختگی هر نمونه را نشان می‌دهد، بحسب زمان پوسته‌پوسته شدن و ریزش هر نمونه، در جدول ۱۱ تنظیم شده است. درادامه، تأثیرات رطوبت روی هریک از نمونه‌ها بررسی می‌شود.

کاغذ، ماده‌ای سلولزی است و اصولاً ماده اولیه هر نوع کاغذ را سلولز تشکیل می‌دهد. ماده اولیه کاغذ و نحوه ساخته شدن آن، نقش عمده و مهمی در چگونگی پایداری آن دارد (ثابت جازاری، ۱۳۷۶: ۲۲۰). از مشخصات کاغذ این است که رطوبت را جذب می‌کند و نرم می‌شود به همین دلیل، جذب کننده رطوبت است (همان: ۲۲۰).

تغییرات در دما و رطوبت نسبی (RH) بیشتر باعث انبساط و انقباض کاغذ شده و لایه مرکب نمی‌تواند خود را با تغییرات ابعادی تکیه‌گاه هماهنگ کند؛ درنتیجه، اتصال بین آن دو ضعیف می‌شود. نبود نیروی واسط چسباننده منتج به پوسته شدن مرکب می‌گردد (Agrawal, 1984: 47). همچنان، بیشتر اوقات منجر به تنش در تکیه‌گاه کاغذی می‌شود که آسیب فیزیکی شدیدی مانند ترک‌های عمیق و پوسته شدن لایه مرکب را درپی دارد (Stratis & Salvesen, 2002: 209).

جداشدن لایه مرکب از تکیه‌گاه با گذشت زمان، به عوامل مختلف بستگی دارد: نوع و میزان مواد اولیه، نوع و میزان بست، چگونگی عمل آوری مرکب، ضخامت لایه مرکب، تنش‌های وارد بر تکیه‌گاه، سائیدگی، فعالیت میکرووارگانیسم‌ها، اسیدی شدن تکیه‌گاه و ... در بررسی مرکب روى کاغذ، دو پارامتر دارای اهمیت است: ضخامت مرکب استفاده شده روی تکیه‌گاه و درجه نفوذ آن در تکیه‌گاه. دومی تاحدی تابع نفوذ پذیری

حاصل میانگینی از سه بار اندازه گیری است.

مقدار pH بهخصوص برای یون‌های مس مهم است چراکه فعل و انفعال یون‌های مس با سلولز در هر دو شرایط اسیدی و قلیایی اتفاق می‌افتد. مس مستعد است به اکسیداسیون سلولز در یک درجه pH وسیع حلقه سلولز گردد (Mert, 2008: 43).

در pH پائین، سرعت احیا به  $\text{Fe}^{3+}$  افزایش می‌یابد (Ibid: 66). همان‌گونه که دیده می‌شود، بیشترین میزان pH متعلق به نمونه  $S_2$  است که قبل از بیشترین مقدار آهن را دارد. درادامه، بیان خواهد شد که فزوئی یون‌ها اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد.

پس از اندازه گیری میزان pH هر کدام از نمونه‌ها، برای بررسی تأثیر اجزای مرکب روی کاغذ از دستگاه رنگ‌سنج استفاده شد. به این ترتیب که قبل و بعد از پیرسازی شش نقطه از هر نمونه رنگ‌سنجی شدند. شایان یادآوری است که مقادیر نهایی، حاصل میانگینی از شش بار اندازه گیری است که نتایج آن در جدول ۱۰ گزارش شده است.

ملاحظه می‌شود که بعد از پیرسازی، تغییراتی در نمونه‌ها ظاهر می‌گردد. این تغییرات ممکن است نشان‌دهنده افزایش گروه‌های حاوی اکسیژن، مانند کربونیل‌ها و کربوکسیلیک اسید ناشی از تخریب سلولز باشد. این گروه‌ها کروموفرها هستند که سبب تغییرات در رنگ پلیمر از بی‌رنگ به زرد و حتی قهوه‌ای می‌شوند (Ibid: 49).

از جمله این تغییرات، تغییر در درخشش نمونه‌هاست. تیرگی می‌تواند ناشی از تخریب ساختمان مرکب؛ محصولاتی مانند پرپروگالین<sup>۴</sup> ها و الاجیک اسید<sup>۵</sup> باشد؛ آنچه وقتی اسید سولفوریک و دیگر اسیدهای موجود در مرکب، سلولز و رنگ مرکب را تجزیه کردن، شکل می‌گیرد. قهوه‌ای شدن مرکب می‌تواند توسعه واکنش اکسیداسیون اسید گالیک ایجاد شود. حضور صمغ عربی باعث کمتر شدن درخشش می‌شود (Ibid: 72). تیرگی سلولز ممکن است نشان‌دهنده تجزیه صمغ عربی باشد. در یک بررسی در سال ۲۰۰۳ مشاهده شد که صمغ عربی در طول پیرسازی به طور درخور توجهی تخریب شده است بهویشه در حضور فروسوفلات، تخریب شدیدتر می‌گردد. تعدادی از محصولات تخریب می‌توانند گالاکتونیک اسید،<sup>۶</sup> لاکتون آرابینونیک اسید<sup>۷</sup> و لاکتون<sup>۸</sup> صمغ عربی باشند (Ibid: 43).

همان‌طور که در جدول ۱۱ دیده می‌شود، بیشترین میزان تخریب متعلق به نمونه  $S_2$  است. پس از پیرسازی، در مقدار b نمونه‌ها افزایشی مشاهده می‌شود که با افزایش زردی رابطه دارد. تغییر در این مختصات درنتیجه تجزیه ترکیب آهن-مازوی، آبی- خاکستری به محصولات زرد- قهوه‌ای است.

جدول ۹.  $\Delta pH$  نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی حرارتی

نمونه	pH*	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	ΔpH
S <sub>1</sub>	۳,۶۲	۶,۰۶	۵,۸۳	۰,۲۳
S <sub>2</sub>	۶,۹۲	۷,۴۰	۶,۹۵	۰,۴۵
S <sub>3</sub>	۲,۷۳	۵,۷۵	۵,۳۵	۰,۴۰
S <sub>4</sub>	۵,۲۸	۶,۳۷	۶,۱۲	۰,۲۵

(نگارندگان) pH<sub>1</sub>: pH مرکب قبل از پیرسازی، pH<sub>2</sub>: pH مرکب بعد از پیرسازی، ΔpH: اختلاف pH<sub>1</sub> و pH<sub>2</sub>.

جدول ۱۰. نتایج مقادیر  $L^*a^*b^*$  نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی حرارتی

نمونه	L <sub>1</sub> *	a <sub>1</sub> *	b <sub>1</sub> *	L <sub>2</sub> *	a <sub>2</sub> *	b <sub>2</sub> *	ΔE
S <sub>1</sub>	۲۱,۹۵	-۱	۲,۳	۲۵,۶	-۰,۵۶	۵,۱۸	۴,۶۶
S <sub>2</sub>	۱۸,۷۶	-۵,۱۳	۱,۷۶	۲۶,۵۸	-۰,۳۸	۷,۱۵	۱۰,۶۱
S <sub>3</sub>	۲۲,۳۱	-۳,۶۱	۱,۳۵	۲۶,۱۵	-۰,۱۶	۳,۴۵	۵,۵۷
S <sub>4</sub>	۲۴,۷۱	-۱,۲۸	۱,۷۸	۲۵,۴۶	-۰,۸۵	۲,۸۸	۱,۳۹

\*<sub>1</sub>: مقدار روشنایی قبل از پیرسازی، \*<sub>2</sub>: مقدار محور قرمز- سبز قبل از پیرسازی، \*<sub>3</sub>: مقدار محور زرد- آبی قبل از پیرسازی، \*<sub>4</sub>: مقدار روشنایی بعد از پیرسازی، \*<sub>5</sub>: مقدار محور قرمز- سبز بعد از پیرسازی، \*<sub>6</sub>: مقدار محور زرد- آبی بعد از پیرسازی، ΔE: جمع کلی تغییرات بعد از پیرسازی (نگارندگان)

همچنین، میزان چسبناکی زیاد اغلب می‌تواند سبب تخریب گردد (Wehlte, 1975: 177). در تصویر ۱۳، مشاهده می‌شود که میزان بست زیاد مانع از نفوذ یکنواخت مرکب در کاغذ و موجب انبساطگی غیریکنواخت مرکب به صورت توده‌هایی ضخیم بر کاغذ شده است. این حالت، موجب ترک خوردن و پوسته شدن مرکب خواهد شد.

تصویر ۱۴، ریزش مرکب را از روی کاغذ، جایی که پوسته شده و ترک خورده و اصولاً پیوستگی بین رنگ و تکیه‌گاه وجود ندارد، نشان می‌دهد. در این موارد، نواحی اتصال بین رنگ و تکیه‌گاه برای یک ناحیه معلوم از پوشش، حداقل است. چسبندگی لایه فیلم به تکیه‌گاه و ضخامت بسیار زیاد لایه رنگ، موجب ترک خوردن لایه رنگ حین خشکشدن می‌شود. این را ترک خوردنی زودرس می‌نامند. معمولاً ترک‌های موئین در تمام ضخامت لایه رنگ ادامه ندارند و تشکیل آنها، تابع نوع بست است. پهنه‌ای این ترک‌ها متفاوت است حتی گاهی به صورت شکاف ظاهر می‌شوند (کلاینر، ۱۳۸۸: ۲۰ و ۲۱).

وقتی در قسمتی لایه مرکب ضخیم باشد احتمالاً منجر به مشکلات چسبندگی میان مرکب و کاغذ و همچنین بین لایه‌های مرکب که روی هم قرار گرفته‌اند، می‌شود. لایه‌های بالایی که ضخیم هستند شروع به ترک خوردن می‌کنند و به دیگر لایه‌ها انتقال پیدا می‌کنند و به طور موضعی پوسته پوشش می‌شوند (Stratis & Salvesen, 2002: 156).

لایه مرکب ضربه می‌خورد، به طور پیوسته از لایه پائین تر با

جدول ۱۱. بررسی زمان ریختگی نمونه‌ها تحت تأثیر رطوبت

زمان ریختگی	نمونه
S <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>
S <sub>2</sub>	S <sub>4</sub>
S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>
S <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>

(نگارندگان)

اجزای تکیه‌گاه و تاحدی ویژگی‌های اجزای مرکب، مانند اندازه ذرات رنگ است (Winter, 2008: 109). به طور آشکار، مقدار رنگی که در ساختار کاغذ نفوذ می‌کند، بستگی به اندازه ذرات رنگدانه دارد. اگر کاغذ به آسانی نفوذپذیر باشد (داشتن فضای بیشتر بین الیاف)، مرکب داخل ساختار کاغذ خواهد شد و سطح اجزای کاغذ را می‌پوشاند. وقتی ذرات کوچک رنگ به مقدار زیاد روی کاغذ نفوذپذیر به کار گرفته می‌شوند، مرکب حتی سوراخ‌های ریز پوشیده‌ای را هم که در عمق وجود دارد، پر می‌کند. رنگ اضافی یک لایه روی سطح شکل می‌دهد؛ لایه اضافی که روی لایه نازک شکل می‌گیرد، به شکل لایه‌ای ضخیم دیده می‌شود (Ibid: 125).

در تصویر ۱۲، می‌توان مصادق عینی این فرایند را به خوبی مشاهده کرد. وقتی ذره‌ها به صورت توده روی همدیگر قرار می‌گیرند، استحکام کافی در چسبانندگی بست وجود ندارد تا یک لایه را همراه با لایه زیری نگه دارد (Keck, 1965: 31).

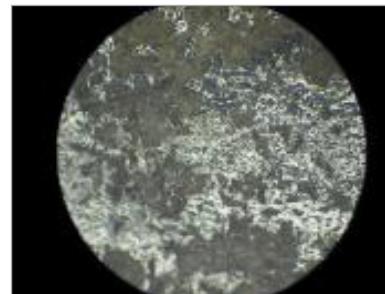
تمامی لایه‌ها باهم، از روی تکیه‌گاه ورقه می‌گردند و زمانی که چسب منقبض می‌شود هردو، پوسته‌پوسته خواهند شد (Keck, 1965: 31).

می‌توان گفت جدایی ذرات مرکب از کنار ذرات آهار مهم است. این سازوکاری است که روی تغییر ترجیحی آب از لبه‌های مرکب به کار گرفته شده، بنیاد گذاشته شده است و منجر به مهاجرت چسب بست و ذرات ریز رنگدانه که از توده مرکزی رنگ دور هستند، می‌شود (Winter, 2008: 163).

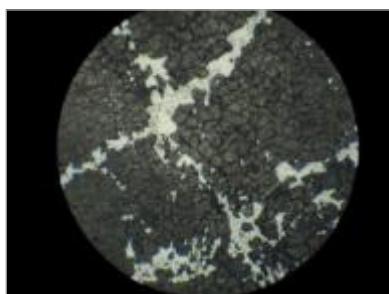
لبه به دست آمده از بست، پس از خشک شدن فقط در خارج از لبه ناحیه رنگ شده مشاهده می‌شود و ذرات کوچک تنها درون لبه انباسته می‌گردند. توده مرکزی خالی و این،



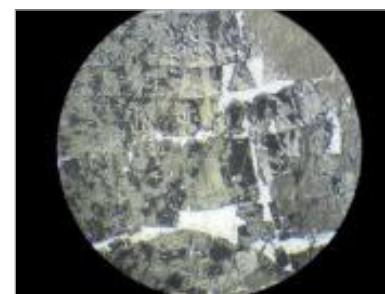
تصویر ۱۳. انباستگی مرکب به صورت توده‌های ضخیم روی کاغذ، نمونه  $S_1$ ، با بزرگنمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



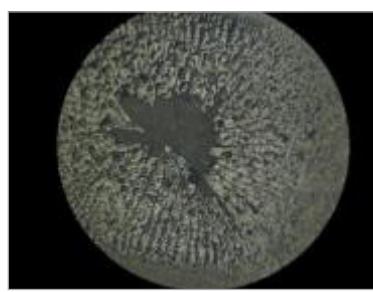
تصویر ۱۲. لایه ضخیم مرکب روی کاغذ، نمونه  $S_2$ ، با بزرگنمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



تصویر ۱۵. پوسته‌پوسته شدن لایه ضخیم مرکب از روی کاغذ، نمونه  $S_4$ ، با بزرگنمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



تصویر ۱۴. پوسته‌پوسته شدن مرکب از روی تکیه‌گاه، نمونه  $S_1$ ، با بزرگنمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



تصویر ۱۶. نبود بخش مرکزی لایه ضخیم مرکب، نمونه  $S_3$ ، با بزرگنمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)

نتیجہ گیری

در مبحث فن شناسی، آنچه از بررسی شیمیایی نمونه‌ها (کروماتوگرافی، جذب اتمی و XRD، FT-IR) به دست آمد، این بود که: این مركب‌ها ترکیبی آلی-معدنی دارند؛ در نمونه‌ها از یک رنگدانه سیاه (دوده، جز در یک مورد) به جای ماده رنگی همراه با یک ماده آلی (احتمالاً صمغ) استفاده شده است. در بررسی فیزیکی نمونه‌ها مشخص شد که بست زیاد موجب برآقیت بیشتر و آهن زیاد موجب پوشانندگی بهتر می‌شود. همچنین استفاده از ذرات ناهمگن، روش نامناسب مخلوط کردن مواد، تهیه و عمل آوری نادرست آن‌ها سبب کشش نامناسب مركب می‌گردد.

در بخش آسیب‌شناسی پس از پیرسازی‌های مختلف روحی نمونه‌ها، مشخص شد که استفاده از رنگدانه دوده مانع از رنگ‌پریدگی شدید مرکب می‌شود. البته باید بیان کرد که دوده صنعتی نسبت به دوده‌ای که به روش سنتی تهیه می‌شود، کیفیت پائین‌تری دارد. همچنین، فروزنی یون‌های آهن و مس، اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد. میزان زیاد بست، علاوه بر تسریع در رشد میکرووارگانیسم‌ها، باعث جمع‌شدن مرکب روی کاغذ و تشکیل توده‌هایی غلیظ بر کاغذ شده و در Nehایت، ریزش لایه مرکب را به همراه دارد. از طرفی، میزان کم بست هم موجب ریزش زودهنگام مرکب از روی تکیه‌گاه می‌گردد. البته ریزش لایه مرکب از تکیه‌گاه علاوه بر نوع و میزان بست، به عوامل مختلفی مثل نوع و میزان مواد اولیه، چگونگی عمل آوری مرکب، ضخامت لایه مرکب، تنش‌های وارد بر تکیه‌گاه و سایدینگ، بستگه، دارد.

درمجموع می‌توان گفت میزان نامناسب بست، میزان زیاد یون‌های آهن و مس در مرکب، همچنین تهیه و عمل آوری نادرست مرکب‌ها و ... براثر گذشت زمان، تخریب مرکب و تکیه‌گاه را به دنبال خواهد داشت. آنچه از نتایج آنالیز مرکب‌های مشکی مطالعه شده به دست آمد این بود که در ساخت آنها از مواد نامطلوبی همچون دوده صنعتی، بست نامرغوب و مواردی از این دست استفاده می‌شود که آثار خوش‌نویسان را با گذر زمان دچار آسیب و درنهایت تخریب می‌کند. افزون بر اینها، کاربرد مرکب‌های نامناسب در خصوصیات بصری و زیباشناختی آثار خوش‌نویسان نیز بی‌تأثیر نیست. براق‌نبودن و مات‌شدن مرکب‌ها بلا فاصله پس از خشک‌شدن، در جلوه بصری آثار هنرمندان خوش‌نویس تأثیری ناپسند دارد. از طرف دیگر، کشش نامناسب این مرکب‌ها به دلیل استفاده از ذرات ناهمگن و روش نامناسب مخلوط کردن مواد، در کار خوش‌نویسی به خصوص در شیوه کتابت نه تنها موجب کسالت و خستگی هنرمند هنگام نوشتن می‌شود بلکه از هنرمنایی وی نیز جلوگیری می‌کند. شایان یادآوری است که با انتخاب صحیح رنگدانه، دوده‌ای که به روش سنتی تهیه شود، می‌توان از رنگ‌پریدگی مرکب جلوگیری کرد. همچنین، با تغییر (تنظیم) میزان بست مرکب و افزودنی عسل می‌توان مشکل کشش، پوشانندگی نامناسب و مات‌شدن مرکب پس از خشک‌شدن را مرفوع کرد حتی دوام مرکب را در برابر نور و رطوبت افزایش داد و از خوردگی کاغذ به وسیله مرکب آهن- مازو جلوگیری کرد.

سیاست، گزاری

در پایان، به رسم ادب از استاد سید شمس الدین ابوالوفا حسینی، دکتر اسماعیل شمس، دکتر جلیل جوکار، دکتر رسول محمدی خواه، مهندس عقیلی و خانم مرضیه شجاعی بهدلیل کمک‌های بی‌دریغشان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

پی نوشت

1. Berrie
  2. Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics
  3. طیف‌سنجی تبدیل فوریه - مادون قرمز یکی از روش‌های آنالیز است که بیشتر برای شناسایی کیفی مواد آلی و برخی از مواد معدنی به کار می‌رود. اساس کار آن، بررسی نتیجه برخورد امواج مادون قرمز روی مواد است (هادیان دهکردی، ۱۳۸۶: ۱۸۵ و ۱۸۶).
  4. Mert
  5. Ciomartan
  6. Clark

۷. میکرورامان یک تکنیک تجزیه‌ای غیرتخریبی است که از حساسیت بالا و دقت فضایی بسیاری برخوردار است. امروزه هم برای آنالیز و شناسایی رنگدانه‌های آثار هنری گوناگون استفاده می‌شود (Ciomartan et al, 1996: 395).
8. Lucia Burgio
۹. آنالیز عنصری به روش پیکسی یا «میکروسکوپ روبشی پروتون» یکی از روش‌های متداول در آنالیز عنصری مواد است که در پژوهش‌های باستان‌شناسی و آنالیز استناد و مدارک قدیمی کاربرد دارد (لامعی رشتی و دیگران، ۱۳۸۶).
10. Chromatography
11. Atomic Absorption Spectroscopy
12. X-Ray Diffraction
13. FT-IR
۱۴. این مصاحبه‌ها با آقایان محمدتقی الموتی؛ ۱۳۹۱/۳/۲۳، ناصر کمیلی؛ ۱۳۹۰/۶/۲، مهدی عطیریان؛ ۱۳۹۱/۳/۲۵ و رسول محمدی خواه؛ ۱۳۹۰/۶/۲۵ صورت گرفت.
۱۵. بیش از ۹۰ درصد ترکیب مرکب‌ها، از اکسید آهن تشکیل شده است.
۱۶. این آنالیز بهوسیله دستگاه طیفسنجی جذب اتمی مدل ۲۳۸۰ Perkin-Elmer در آزمایشگاه دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان انجام شد.
۱۷. نتیجه‌های که پس از صحبت و مصاحبه با سازندگان مرکب‌ها گرفته شد، این بود که آنها از صمعه عربی بهجای بست در مرکب‌ها استفاده کرده‌اند.
۱۸. این آزمایش‌ها در مرکز فنی-مهندسی شرکت نفت اصفهان انجام شد.
۱۹. این آزمون بهوسیله دستگاه Glassymeter، مدل ۱۶۰ sheen انگلیس طبق استاندارد ASTM-D523 انجام شد.
۲۰. شایان یادآوری است که بیشترین میزان برآقت ۱۰۰ درصد است.
۲۱. این آزمون بهوسیله دستگاه Reflectometer مدل ۳۱۰ sheen انگلیس طبق استاندارد ASTM-D2805 انجام شد.
۲۲. ورقه‌ای به اندازه کاغذ A<sub>4</sub> و براق که نیمی از آن سیاه و نیمی دیگر سفید است.
۲۳. می‌توان ذکر کرد که بیشترین میزان پوشانندگی (۳۵m<sup>2</sup>/lit) است.
24. Contrast ratio
25. Flow
26. Viscosity
۲۷. این آزمون با دستگاه Ford cup مدل TQC DR12، طبق استاندارد ASTM-D1200 انجام شد.
۲۸. می‌توان ذکر کرد که مبنای آزمایش، زمان جاری شدن آب از داخل کاپ درنظر گرفته شده است.
۲۹. این مصاحبه با آقای محمدتقی الموتی در تاریخ ۱۳۹۱/۳/۲۳ صورت گرفت.
30. Commission Internationale d'Eclairage
31. Electromagnetic
32. Visible light
33. Ultraviolet
34. depolymerization
35. purpurogallin
36. Ellagic acid
37. Galactonic acid
38. Lactone of Arabinonic acid
39. Lactone

## منابع و مأخذ

- آقاعلی گل، داود؛ باقیزاده، علی؛ اولایی، پروین؛ شکوهی، فرج؛ لامعی رشتی، محمد و نجفیان، محمدجواد (۱۳۸۶).
- آنالیز عنصری رنگ‌ها و کاغذ نقشه قالی با روش میکروپیکسی و استفاده از آن در مرمت. مرمت و پژوهش، بهار و تابستان، (۲)، (۲)، ۶۲-۵۷.
- بهادری، رویا (۱۳۸۵). شیمی آلی: مبانی و کاربرد در حفاظت و مرمت آثار تاریخی. تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، رسانه‌پرداز.
- پورتر، ایو (۱۳۸۹). آداب و فنون نقاشی و کتاب‌آرایی. ترجمه زینب رجبی، تهران: متن.
- ترنر، G.P.A (۱۳۷۴). شیمی رنگ (اصول تکنولوژی رنگ). ترجمه گریگور ترپوگوسیان و حمیرا آگاه، تهران: آروین.
- ثابت جازاری، علی‌اصغر (۱۳۷۶). مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت آثار تاریخی-فرهنگی چهارم تا هشتم اسفندماه ۱۳۷۵. تهران: دانشگاه هنر، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی.

- جوکار، جلیل (۱۳۸۵). *شیوه‌های رنگ‌سازی در قلمرو هنر و نقاشی*. تهران: فرهنگستان هنر.
- حاجیانی، شیوا و عبدالخان گرجی، مهناز (۱۳۸۷). آثار کاغذی: شناسایی رنگ‌های مورد استفاده در سه نسخه عقدنامه عصر قاجار، مرمت و پژوهش. بهار و تابستان، (۴)، ۱۳۰-۱۱۹.
- خسروی بیژائی، فرهاد (۱۳۸۵). *فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مرکب‌های سنتی و ارائه راهکارهای حفاظتی آن*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اصفهان: دانشگاه هنر.
- تزئینات وابسته به معماری. ساری: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان مازندران.
- فرزان، ناصر (۱۳۷۲). *شمیمی کاربردی و تجربی چسب و رنگ*. خرمشهر: افشار.
- کلاینر، لیلیان ماسیلین (۱۳۸۸). *خواص مواد برای هنرمندان: چسب‌ها و جلاهای طبیعی*. ترجمه حمید فرهمند بروجنی، اصفهان: گلدسته.
- لامعی رشتی، محمد؛ آقاعلی گل، داود؛ خسروی، فرهاد؛ اولیایی، پروین؛ باقی‌زاده، علی و شکوهی، فرح (۱۳۸۶). پژوهش‌های فنی: آنالیز عنصری چند نمونه از مرکب و کاغذ دوره قاجار با میکروسکوپ روشنی پروتون، نامه بهارستان. فروردین، (۱۲ و ۱۱)، ۲۶۴-۲۶۱.
- لامعی رشتی، محمد؛ شکوهی، فرح و اولیایی، پروین (۱۳۷۹). معرفی روش پیکسی خارجی در آنالیز مرکب و کاغذ قدیمی، نامه بهارستان. پائیز و زمستان، (۲)، ۴۳۶-۴۳۱.
- مازندرانی، محمدعلی (۱۳۷۵). *تکنولوژی رنگ و رزین*. تهران: پیشرو.
- موسوی جزایری، سیدمحمدوحید (۱۳۸۹). *خط و خوش‌نویسی: مجموعه مقالاتی پیرامون خطوط کوفی*. نسخ، ثلث و تایپوگرافی. تهران: جامع هنر.
- مؤمن‌حسینی، محمد (۱۳۷۶). *تحفه حکیم مؤمن*. تهران: محمودی.
- هادیان دهکردی، منیزه (۱۳۸۶). *کاربری پژوهش‌های آزمایشگاهی در حفاظت و مرمت بنای‌های تاریخی (مواد و مصالح)*. تهران: دانشگاه تهران، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی.

- Agrawal, O. P. (1984). *Conservation of Manuscripts and Paintings of South-East Asia*. London: Butterworth & Co. Ltd.
- Berrie, B. H. (2007). *Artists' Pigments: A Handbook of their History and Characteristics*. London: Archetype Publications Ltd.
- Burgio, L.; Clark, R. J. H.; Muralha, V. S. F. & Stanley, T. (2008). Pigment Analysis by Raman Microscopy of the Non-Figurative Illumination in 16th–18th Century Islamic Manuscripts, <http://www.interScience.Wiley.com> (access date: 9/10/2014).
- Carvalho, D. N. (2007). *Forty Centuries of Ink*. Echo library Available: <http://www.manybooks.net> (access date: 2/10/2011).
- Ciomartan, D. A. & Clark, R. J. H. (1996). Raman Microscopy Applied to the Analysis of the Pigments Used in Two Persian Manuscripts. <http://www.google scholar.com>(access date: 9/10/2014).
- Gerritsen, F. (1975). *Theory and Practice of Color*. London: Studio Vista Publishers.
- Keck, C. K. (1965). *A Handbook on the Care of Paintings*. Nashville: American Association for State and Local History.
- Mert, E. (2008). *A Comparative Study on Chemical Characterization of Different Ink Ingredients Used in Ancient Ornamented Manuscripts*. MSc Thesis: Middle East Technical University.
- Stratis, H. K. & Salvesen, T. (2002). *The Brood Spectrum: Studies in The Materials, Techniques, and Conservation of Color on Paper*. London: Archetype Publications Ltd.
- Wehlte, K. (1975). *The Materials and Techniques of Painting*. (Translated by Ursus Dix). New York: Van Nostrand Reinhold Company Ltd.
- Winter, J. (2008). *East Asian Paintings: Materials, Structures and Deterioration Mechanisms*. London: Archetype Publications Ltd.

Received: 2013/11/15

Accepted: 2015/01/17



## The Technical and Pathological Study of Black Inks Used by Modern Calligraphers

**Hamid Farahmand Boroujeni\*** **Abbas Abed Isfahani\*\*** **Zahra Soltani\*\*\***

### Abstract

Today, despite skilled calligraphers, low-quality inks in the market, heterogeneous ink materials, inappropriate viscosity and inks becoming matte shortly after drying, which indicates the lack of required quality, will cause damages such as distortion, discoloration and even destruction of paper to the valuable works of calligraphers. The pathological study of inks which are used today is an essential step to protect such works that are going to be a part of the future history of this land. What is investigated in this study is the technical and pathological evaluation of black ink, which is frequently used in calligraphy. The aim of this research is to determine the elements and components of black inks and the damages that will appear through time via laboratory studies (chemical and physical). The methods used in the chemical examination include: Atomic absorption spectroscopy methods, X-Ray diffraction spectroscopy, Fourier transform infrared spectroscopy and Chromatography methods. Physical examinations measure glossiness, coverage and viscosity of samples using "Glassymeter", "Reflectometer" and "Ford Cup". Chemical examinations indicate that inks are composed of organic and inorganic compounds; for the samples, instead of colorful material, a black pigment (Carbon black, except in one sample) along with an organic material (probably gum) is used.

Physical examination of samples shows that more binding will result in more glossiness and more iron will lead to better coverage. Moreover, using heterogeneous particles, inappropriate mixing methods, incorrect preparation and processing of them lead to inappropriate viscosity of ink. In pathological sector, different aging processes on samples show that carbon black pigments prevent ink pallor. In addition, excess of iron and copper ions increases oxidation of cellulose. High levels of binder will accelerate the growth of microorganism and will also lead to an accumulation of ink on the paper and the formation of dense masses on paper, and finally the ink may bleed. On the other hand, low levels of binder will also lead to early bleeding of ink from its base.

**Keywords:** technology, pathology, black ink, modern calligraphers

\* PhD Candidate, Conservation of works of Art, Art University of Isfahan

\*\* PhD Candidate, Conservation of works of Art, Art University of Isfahan

\*\*\* MA, Conservation of works of Art, Art University of Isfahan