

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

حمید فرهمندبروجنی\* عباس عابد اصفهانی\*\* زهرا سلطانی\*\*\*

### چکیده

امروزه با وجود خطاطان توانمند، مرغوب نبودن مرکب‌های موجود در بازار، یکدست نبودن مواد مرکب‌ها، کسش نامناسب و مات شدن مرکب‌ها در اندک زمانی پس از خشک شدن که نشان از نداشتن 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 طیف‌سنجی جذب اتمی، طیف‌سنجی پراش پرتو X، طیف‌سنجی تبدیل فوریه - مادون قرمز و روش کروماتوگرافی به کار رفت. در بررسی فیزیکی، براقیت، پوشانندگی و کسش نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های گلاسیومتر، رفلکتومتر، فوردکاپ 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 براقیت بیشتر و آهن زیاد موجب پوشانندگی بهتر شده است. همچنین استفاده از ذرات ناهمگن، روش نامناسب مخلوط کردن مواد، تهیه و عمل‌آوری نادرست آنها موجب کسش نامناسب مرکب گردیده است. در بخش آسیب‌شناسی پس از پیرسازی‌های مختلف روی نمونه‌ها، مشخص شد استفاده از رنگدانه دوده مانع از رنگ‌پریدگی شدید مرکب می‌شود. ضمن اینکه، فزونی یون‌های آهن و مس، اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد. میزان زیاد بست هم علاوه بر تسریع در رشد میکروارگانیسم‌ها، باعث جمع شدن مرکب روی کاغذ و تشکیل توده‌هایی غلیظ بر کاغذ شده و در نهایت، ریزش لایه مرکب را به همراه دارد. از دیگرسو، 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

خطاطان و خوش‌نویسان، نگاهبانان راستین دانش و اندوخته‌های گران دیگر خردمندان بوده و هستند و با تکیه بر هنر والای خویش، بینندگان آثارشان را به حفظ و اشاعه علوم و آیات و روایات حکیمان و فرزنانگان 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 رسالات 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، به دلیل 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 صمغ 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. به دلیل رازداری مرکب‌سازان امروزی (تعصب ایشان در محرمانه 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 خواهند 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>۱</sup> در کتاب "رنگدانه‌های هنرمندان: کتاب راهنما درباره تاریخچه و ویژگی‌های آن"<sup>۲</sup> توضیحاتی در رابطه با انواع دوده (کربن)؛ تاریخچه، منبع، چگونگی ساخت، خصوصیات و ساختار شیمیایی و مقایسه آنها با یکدیگر داده است. همچنین

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 پایان‌نامه 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 به وسیله مرکب آهن-مازو بررسی کرده است. کیومرثان<sup>۵</sup> و کلارک<sup>۶</sup> (۱۹۹۶) در مقاله‌ای به وسیله آنالیز میکرورامان<sup>۷</sup> روی رنگدانه‌های استفاده‌شده در دو نسخه خطی ایرانی دریافتند که مرکب مشکی به کار برده‌شده در نسخه‌ها، دوده چراغ و دوده عاج بر پایه کربن بی‌نظم است. بورجیو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۸) نیز در شناسایی رنگدانه‌های به کار گرفته‌شده در پنج نسخه خطی ایرانی از طریق آنالیز میکرورامان به این نتیجه رسیدند که مرکب سیاه استفاده‌شده در نسخ، رنگدانه‌ای سیاه بر پایه کربن است که بیشتر شبیه به دوده چراغ است. خسروی بیژان<sup>۹</sup> (۱۳۸۵) نیز، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود "فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مرکب‌های سنتی و ارائه راهکارهای حفاظتی آن" با آنالیز نمونه‌های مرکب مورد نظر مشخص نمود که دو نمونه مرکب سیاه در نسخ به کار رفته است؛ یک نمونه عمدتاً 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 نهمین 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 آزمایش‌شده، هم مرکب کربنی موجود است و هم مرکب خاص خوش‌نویسان ایرانی (ترکیب کربنی و مازویی). در پژوهش وی، روی خوردگی به‌عنوان عمده‌ترین آسیب مرکب‌های حاوی ترکیبات آهن، دقت شده و چگونگی آسیب‌دیدگی و آسیب‌رسانی آن و روش‌های مختلف حفاظتی برای موارد آسیب‌دیده 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

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 نیاید.

### فن شناسی 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 طیف‌سنجی جذب اتمی به کار رفت. پس از آن، از بین نمونه‌ها روی یک نمونه که دارای میزان زیاد آهن بود، آنالیز طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس برای شناسایی مواد معدنی، انجام شد. سرانجام، آنالیز طیف‌سنجی تبدیل فوریه - مادون قرمز به عنوان روشی تکمیلی روی نمونه‌ها انجام گرفت.

#### - آنالیز کروماتوگرافی

یکی از متداول‌ترین و مهم‌ترین روش‌های جداسازی مواد، کروماتوگرافی لایه نازک است که برای شناسایی تعداد اجزای نمونه‌های مرکب از آن استفاده شد. به این ترتیب که نمونه‌ها روی صفحاتی با تکیه‌گاه آلومینیومی کاشته و سپس در حلال مطلوب که ترکیبی از بوتانول نرمال، اتانول و آمونیاک ۲ مولار بود، به مدت ۱۰ دقیقه گذاشته شدند. با آزمایش روی نمونه‌های موردنظر، این نتایج به دست آمد (تصویر ۱): همان‌طور که در تصویر ۱ دیده می‌شود، نمونه‌ها همگی دارای یک جزء رنگی هستند. می‌توان گفت نمونه‌ها سنتزی نیستند و در واقع، از همان مواد سنتی ساخته شده‌اند. مرکب‌های مشکی سنتی قدیم از نظر عامل رنگ‌ساز و نه از نظر سایر افزودنی‌ها همچون صمغ، یک جزئی هستند و تنوع زیادی هم از لحاظ عامل رنگ‌ساز مانند انواع مختلف دوده، گالیک اسید و زاج 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 عمدتاً از عنصر کربن (دوده) تشکیل شده اما نوع دیگر دارای عناصر میانی و سنگین است. حاجیانی و عبد... خان گرجی (۱۳۸۷) در "آثار کاغذی: شناسایی رنگ‌های مورد استفاده در سه نسخه عقدنامه عصر قاجار"، پس از انجام آزمایش‌ها دریافتند مرکب مشکی به کار رفته در هر سه نسخه، بدون آهن و در نتیجه، از نوع مرکب کربنی است. آقاعلی گل و همکاران (۱۳۸۶) در "آنالیز عنصری رنگ‌ها و کاغذ نقشه‌قالی با روش میکروپیکسی و استفاده از آن در مرمت" در بررسی نقشه‌ی یک قالی قدیمی به این نتیجه رسیدند که رنگ مشکی به کار رفته در طراحی این نقشه، از نوع کربنی است زیرا هیچ‌یک از عناصر که نشان‌دهنده منشأ معدنی باشد با عناصر موجود در کاغذ تفاوت زیادی ندارد. باین حال، پژوهش‌های انجام شده همه در رابطه با مرکب‌های قدیمی صورت گرفته‌اند و پژوهشی در زمینه مرکب‌های امروزی که آسیب‌هایشان در آینده بروز خواهد کرد و در حیطة حفاظت پیشگیرانه می‌گنجد، انجام نیافته است.

### روش پژوهش

روش پژوهش توصیفی - تحلیلی و روش یافته‌اندوزی، کتابخانه‌ای، میدانی و آزمایشگاهی است. بدین ترتیب که ابتدا بررسی فنی مرکب‌های مشکی امروزی از نظر شیمیایی و فیزیکی انجام شد و سپس، بررسی شیمیایی آنالیز کروماتوگرافی<sup>۱۵</sup>، طیف‌سنجی جذب اتمی<sup>۱۱</sup>، طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس<sup>۱۲</sup>، طیف‌سنجی تبدیل فوریه - مادون قرمز<sup>۱۳</sup> روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. در بررسی فیزیکی نیز براقیت، پوشاندگی و کشش نمونه‌ها با دستگاه‌های گلاسیومتر، رفلکتومتر و فوردکاپ اندازه‌گیری شدند. در ادامه، با پی‌سازی تسریعی؛ آزمون‌های نور، کپک، دما و رطوبت روی نمونه‌ها بر طبق استاندارد انجام و آسیب‌های وارد بر آنها بررسی شد. در پایان 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 به تفکیک، شماره‌گذاری شدند (جدول ۱).

از آنجاکه در هنر خوش‌نویسی، نقطه، واحد اندازه‌گیری و سنجش است برای آسیب‌شناسی نمونه‌ها، هر نمونه به صورت نقطه‌ای ۳×۳، با استفاده از قلم کتیبه به عرض ۳ سانتی‌متر ایجاد شد. کاغذ تمام‌گلاسه که بیشتر مواقع خوش‌نویسان معاصر از آن استفاده می‌کنند، به عنوان تکیه‌گاه برای مرکب‌های مورد آزمایش به کار رفت. هنگام گذاشتن نمونه‌ها روی کاغذ، سعی شد نمونه‌ها

آهن ندارند. حتی مرکب‌های مشکی امروزی که در مقیاس صنعتی تولید می‌شوند، از نظر عامل رنگ‌ساز معمولاً یک جزئی هستند.<sup>۱۵</sup> مرکب‌های دیگر که برای نوشتن به کار می‌روند همچون مرکب پرینترهای رنگی به رنگ‌های قهوه‌ای، سبز، آبی، قرمز و ...، همگی بیش از یک جزء دارند. چون موضوع بحث در این مقاله، مرکب مشکی است، می‌توان گفت فرض یک جزئی بودن غیر منطقی 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 (هادیان دهکردی، ۱۳۸۶: ۱۷۱). میزان آهن و مس موجود در نمونه‌ها با روش طیف‌سنجی جذب اتمی اندازه‌گیری شد.<sup>۱۶</sup> بدین ترتیب 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<sub>2</sub>، دارای بیشترین مقدار آهن و نمونه S<sub>3</sub> دارای بیشترین مقدار مس است.

#### طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس XRD

پس از اندازه‌گیری میزان آهن و مس نمونه‌ها، چون مقدار باقی‌مانده خشک نمونه S<sub>2</sub> از همه کمتر و درصد خاکستر آن از همه بیشتر بود، چنین حدس زده شد که این مرکب به احتمال بسیار، ترکیبی آلی-معدنی با چند فاز معدنی داشته باشد. برای مشخص نمودن فازهای معدنی آن، آنالیز XRD صورت گرفت که نتیجه Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> بود. در تصویر ۳، نمودار XRD حاصل از نمونه را می‌توان مشاهده کرد.

اکسید طبیعی سیاه آهن (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)، از خورد و نرم کردن سنگ معدن مگنتیت به دست می‌آید، براساس خاصیت مغناطیسی طبقه‌بندی می‌شود و حدود ۹۲ الی ۹۵ درصد Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> دارد (مازندرانی، ۱۳۷۵: ۱۰۳). میزان بسیار آهن در خاکستر نمونه S<sub>2</sub> با پیک XRD آن مطابقت می‌کند. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر، از نمونه‌ها طیف FT-IR گرفته شد که در تصویرهای ۷-۴ دیده می‌شود.

طیف‌های به دست آمده از نمونه‌ها، در بردارنده باند جذبی در ناحیه ۱۰۵۰-۱۰۰۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به اتصالات C-O، ۱۵۸۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به اتصالات C-C (احتمالاً در حلقه آروماتیک)،

۲۹۰۰-۲۸۰۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به اتصالات C-H، ۳۶۰۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به اتصالات O-H هستند. طیف‌های FT-IR 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)، این گونه می‌توان نتیجه گرفت که این مرکب‌ها 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 آنجاکه در خوش‌نویسی مؤلفه‌هایی مثل براقیت، پوشاندگی و کشش مرکب از جنبه هنری و بصری بسیار مهم‌اند و فراوان دیده شده که مرکب‌ها علاوه بر نداشتن کشش لازم هنگام نوشتن، پس از خشک شدن 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 به دلیل حسی بودن فقط هنگام نوشتن هنرمند درک می‌شوند و با آنالیزهای دستگاهی چندان ملموس نیستند. لیکن به‌ناچار برای روشن شدن موضوع از آنالیزهای دستگاهی در این زمینه نیز استفاده شد. برای نمونه، بیشتر مرکب‌های موجود در بازار پس از خشک شدن مات می‌گردند و براقیت لازم را ندارند در صورتی که ممکن است دستگاه عدد بالایی را نشان دهد و این، زمانی فهمیده می‌شود که به‌طور بصری دیده شوند.

#### براقیت<sup>۱۹</sup>

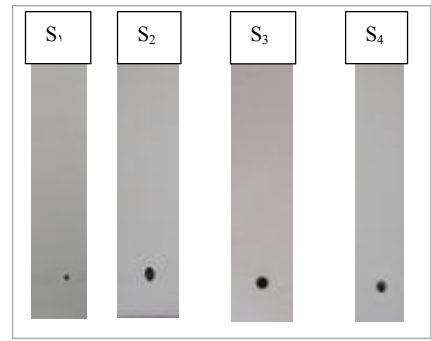
برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه مرکب را با رنگ‌کش روی شیشه‌ای در اندازه ۱۵ × ۱۰ سانتی‌متر کشیده و پس از خشک شدن، توسط دستگاه گلاسیمتر، براقیت هر نمونه اندازه‌گیری شد.<sup>۲۰</sup> شایان یادآوری است که مقادیر نهایی، حاصل میانگینی از پنج بار اندازه‌گیری است که نتایج آن در جدول ۳ گزارش شده است.

براساس نتایج، نمونه S<sub>1</sub> دارای بیشترین براقیت است و این، شاید به دلیل میزان بالای بست است. زمانی که بست به‌طور کامل فضاها را در لایه ذرات پر کند، انعکاس‌ها در سطح ذرات در یک فضای رنگدانه-بست بیشتر از فضای رنگدانه-هوا خواهد بود و پس از آنکه مرکب روی کاغذ قرار گرفت، فیلمی که شکل می‌گیرد متراکم‌تر (Winter, 2008: 94) و در نتیجه، بازتاب بیشتر و فیلم براق‌تر به نظر می‌رسد.

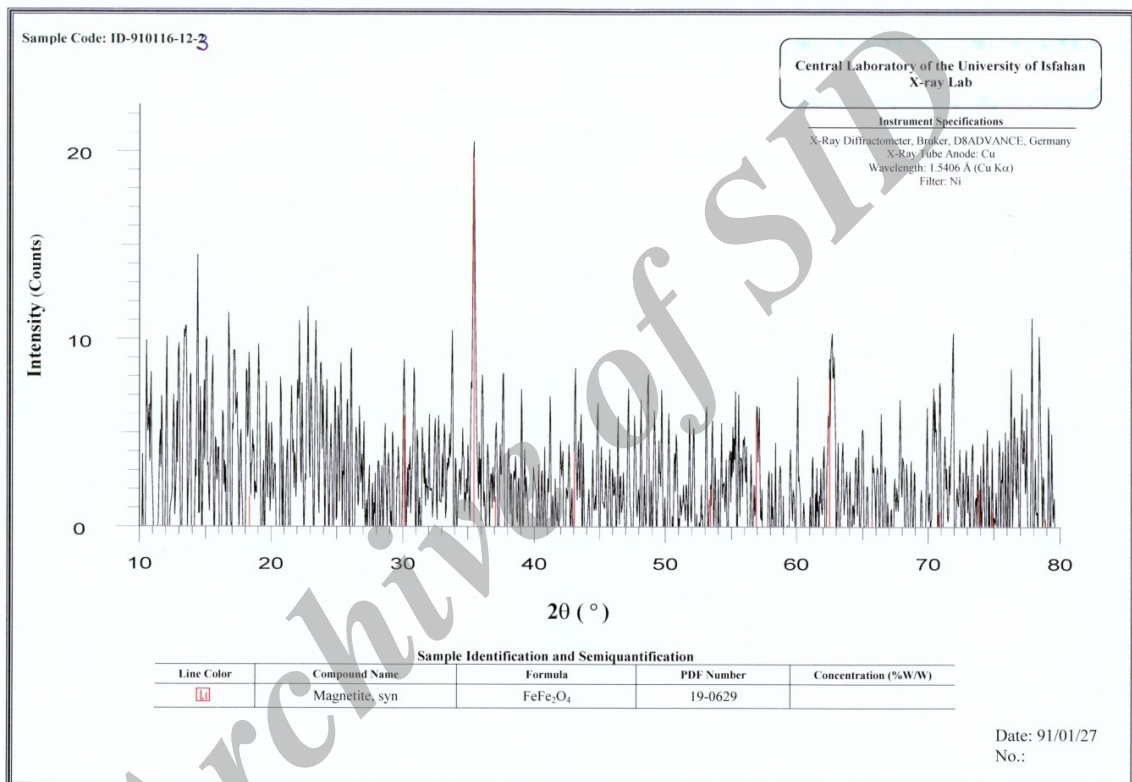
در ادامه، بیان خواهد شد که میزان زیاد بست موجب آسیب به مرکب خواهد شد. نمونه S<sub>4</sub>، دارای کمترین براقیت است و به احتمال بسیار دارای کمترین میزان بست در میان نمونه‌های مورد آزمایش است. در رساله خوش‌نویسی روشی برای آزمایش



تصویر ۲. تأثیر اسید سولفوریک روی نمونه S<sub>1</sub>، (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<sub>2</sub>، (نگارندگان)

جدول ۲. میزان درصد آهن و مس موجود در نمونه‌ها

نمونه	رطوبت	باقی‌مانده خشک	خاکستر	مس	آهن
S <sub>1</sub>	۷۷,۲۵	۲۲,۷۴	۳,۱۴	۰,۰۲	۰,۱۷
S <sub>2</sub>	۹۲,۶۹	۷,۳۱	۴,۱۷	۰,۰۶۲	۵۴,۳
S <sub>3</sub>	۸۸,۹۶	۱۱,۰۴	۰,۶۷	۰,۲۴	۲۸,۵
S <sub>4</sub>	۷۴,۵۵	۲۵,۴۵	۰,۴	۰,۰۰۸	۲,۴۳

(نگارندگان)

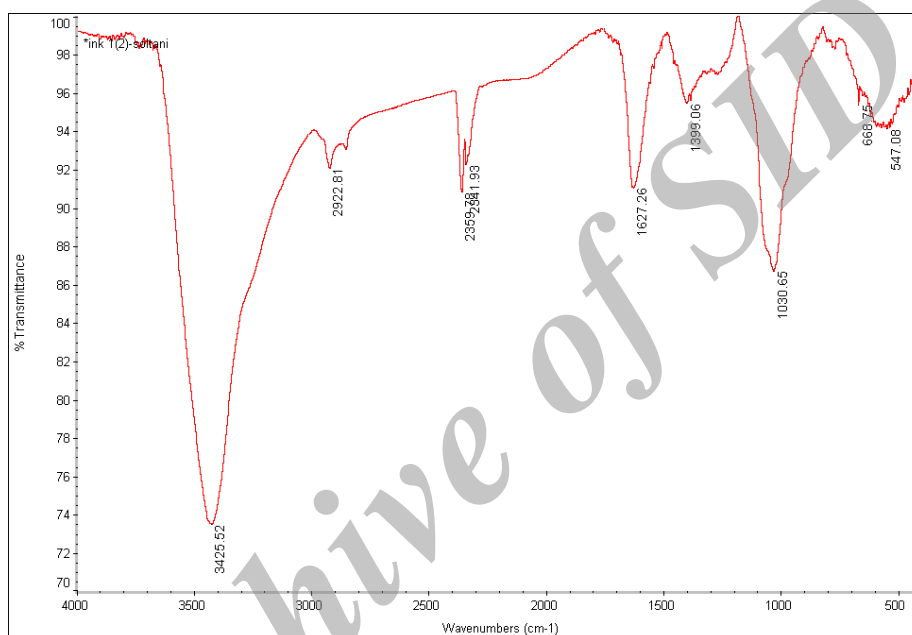
رنگ‌ها و مرکب‌ها بیان شده تا مشخص شود که آیا صمغ کافی دارند یا خیر: «زمانی که رنگ، پهن و خشک شد با تکه‌ای پارچه سائیده می‌شود؛ اگر رنگ جدا شد بدین معناست که صمغ کافی ندارد» (پورتر، ۱۳۸۹: ۱۲۲).

#### – قدرت پوشاندگی<sup>۲۱</sup>

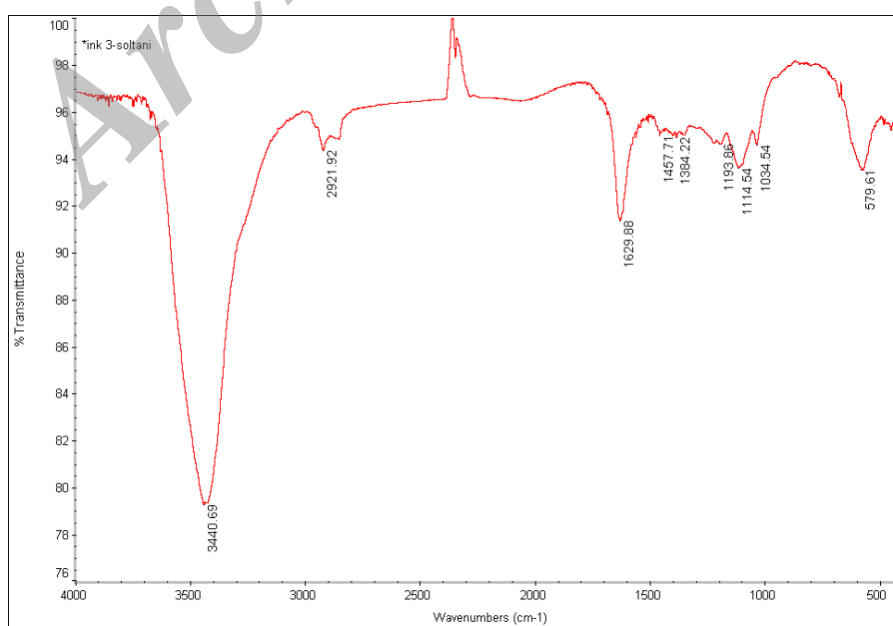
برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه مرکب با رنگ‌کش روی کارت سیاه و سفید<sup>۲۲</sup> کشیده شد به طوری که نیمی از مرکب در قسمت سیاه و نیمی دیگر در قسمت سفید قرار بگیرد. پس از خشک شدن مرکب، بازتاب آن اندازه‌گیری گردید.

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

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



تصویر ۴. طیف FT-IR مربوط به نمونه S<sub>1</sub>، (نگارندگان)



تصویر ۵. طیف FT-IR مربوط به نمونه S<sub>2</sub>، (نگارندگان)

جدول ۳. میزان براقیت نمونه‌ها بر حسب درصد

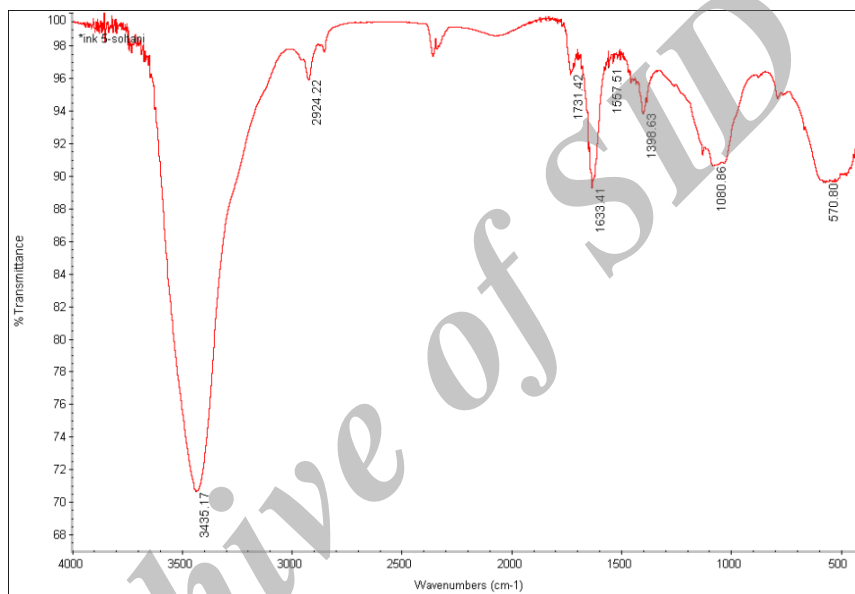
نمونه	براقیت (%)
S <sub>1</sub>	۷۸
S <sub>2</sub>	۷۴
S <sub>3</sub>	۷۱
S <sub>4</sub>	۶۵

(نگارندگان)

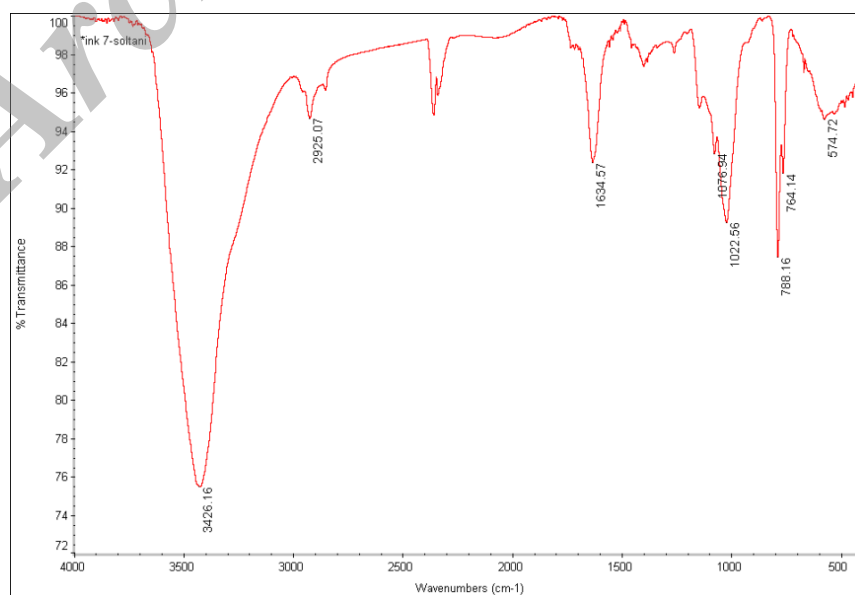
قدرت پوشاندگی آن نیز، بیشتر خواهد بود (مازندرانی، ۱۳۷۵: ۳۹).

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، همگن بودن ذرات است و این، شاید یکی از دلایل پوشش‌دهندگی بالای این نمونه است. علاوه بر 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 پوشش‌دهندگی بهتر شده است. نمونه  $S_1$  کمترین پوشش‌دهندگی را دارد. البته باید بیان کرد که هیچ‌کدام از نمونه‌ها، پوشاندگی خوبی از لحاظ بصری نداشتند و در برخی از آنها، پس از نوشتن سطح زمینه مشخص بود.

#### - کشش

کشش (روانی) مرکب، یکی عوامل اصلی در مرکب خوب است. از آنجاکه برای اندازه‌گیری کشش موردنظر، در خوش‌نویسی استاندارد مشخصی وجود ندارد و در واقع برای اندازه‌گیری آن باید زمان جاری شدن<sup>۲۵</sup> و روانی مرکب را در نظر گرفت؛ نزدیک‌ترین راه برای رسیدن به هدف، اندازه‌گیری ویسکوزیته<sup>۲۶</sup> نمونه‌ها است. گرانیوی یا ویسکوزیته به مقاومت لایه‌های داخلی یک مایع اطلاق می‌گردد. هر اندازه ویسکوزیته بیشتر باشد، جریان باز شدن رنگ پس از استعمال کمتر خواهد بود (فرزان، ۱۳۷۲: ۹۴). برای اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌ها،<sup>۲۷</sup> نظر به اینکه، درجه حرارت مرکب در اندازه‌گیری غلظت یا ویسکوزیته یکی از فاکتورهای مهم اندازه‌گیری به‌شمار می‌آید، ابتدا نمونه مرکب موردنظر را به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رسانده سپس داخل کاپ ریخته و زمان عبور مرکب از کاپ برحسب ثانیه اندازه‌گیری شد.<sup>۲۸</sup> شایان یادآوری است، هرچه زمان جاری شدن مرکب از داخل کاپ کمتر باشد ویسکوزیته مرکب کمتر و در نتیجه، مرکب روان‌تر است. نتایج این اندازه‌گیری در جدول ۵ آورده شده است.

مشاهده می‌شود که نمونه  $S_3$  در بین نمونه‌ها، پائین‌ترین عدد را دارد که نشان از ویسکوزیته کمتر آن است. برای تکمیل این آزمون تصمیم گرفته شد، کشش هر مرکب به وسیله قلم‌نی نیز امتحان شود. بدین ترتیب که، با یک قلم مشق از هر نمونه به مقدار تقریباً مساوی مرکب برداشته، قلم را روی کاغذ گذاشته و با فشار تقریباً یکسان کشیده شد و تا هر کجا قلم کشیده

می‌شد و مرکب قابلیت کشش داشت، روی کاغذ ادامه داده شد. نتایج این آزمون در تصویر ۸ دیده می‌شود. خط حاصل از کشش نمونه  $S_3$ ، دارای بیشترین طول است که نشان از کشش بیشتر این نمونه در میان سایر نمونه‌هاست. البته هنرمندان خوش‌نویس از موادی همچون گلیسیرین، الکل و سرکه برای کشش بهتر مرکب استفاده می‌کنند<sup>۲۹</sup> که این مواد با گذشت زمان تخریب‌هایی را در پی خواهد داشت. گلیسیرین، از مواد انعطاف‌دهنده است که مقدار کم آن باعث انعطاف رنگ یا مرکب می‌شود در عین حال، میزان زیاد آن باعث دیرتر خشک شدن رنگ یا مرکب می‌گردد (جوکار، ۱۳۸۵: ۱۱۹).

#### پیرسازی نمونه‌ها

مهم‌ترین عوامل آسیب‌رسان به آثار تاریخی؛ دما، رطوبت و نور است. تخریب مواد رنگی به دلیل ناپایداری شیمیایی رنگ، آلاینده‌های جوی، نور یا تخریب بست یا ماده واسط که گاهی با ماده رنگی برای تولید یک رنگ مخلوط می‌شوند، صورت می‌گیرد (بهادری، ۱۳۸۵: ۱۹۴ و ۱۹۵). برای بررسی عوامل آسیب‌رسان، پیرسازی تسریعی روی نمونه‌ها بدین شرح انجام شد:

- برای بررسی تأثیرات نور فرابنفش روی نمونه‌ها (بررسی میزان رنگ‌پریدگی هر یک از نمونه‌ها)؛ پیرسازی تسریعی طبق استاندارد ISO 1221 1971، به مدت ۱۱ روز و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از نمونه‌ها توسط لامپ بلک‌لایت آبی فلورسنت، ۱۸ وات با طول موج 356nm انجام شد.
- برای آزمون کپک روی نمونه‌ها (بررسی زمان رشد کپک روی هر یک از نمونه‌ها)؛ پیرسازی تسریعی طبق استاندارد ASTM-D 5098-94 در محفظه‌ای با رطوبت نسبی ۹۵-۹۸ درصد و دمای  $1 \pm 32.5$  درجه سانتی‌گراد



تصویر ۸. میزان کشش نمونه‌ها روی کاغذ (نگارندگان)



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

یکی از راه‌هایی که یک سیستم از آنها می‌تواند انرژی کافی برای انجام واکنش‌های شیمیایی به‌دست آورد؛ جذب تشعشع الکترومغناطیس<sup>۳۱</sup> است که معمولاً با عنوان نور مرئی<sup>۳۲</sup> و بعضی اوقات تشعشع فرابنفش<sup>۳۳</sup> خوانده می‌شود (Winter, 2008: 143). رنگدانه‌های بسیاری در اثر نور، کم‌رنگ، تیره‌رنگ یا بدجور، رنگ‌به‌رنگ می‌شوند. به این دلیل که اشعه‌های فرابنفش در نور خورشید انرژی کافی را برای شکستن برخی پیوندهای شیمیایی و در نتیجه، تغییر مولکول‌ها دارند. تغییر در ساختار شیمیایی به‌معنای تغییر در قدرت جذب نور در ناحیه مرئی طیف و در نتیجه، از دست دادن 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 به‌وسیله حضور میکروارگانیزم‌ها تولید می‌شوند، واکنش‌های بیوشیمیایی هستند. آنزیم‌ها توسط یک ارگانیزم ترشح می‌شوند و ممکن است به واکنش‌های مواد تشکیل‌دهنده مرکب سرعت بخشند. برای نمونه، باعث تغییر رنگ یا تخریب کاغذ شوند. تحول تولیدشده توسط یک ارگانیزم که گاهی در ساختار مرکب به‌نظر 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 در اثر واکنش با رطوبت، خواه کاغذ دریافت‌کننده رطوبت باشد خواه اجزای مرکب، دچار تخریب از جانب میکروارگانیزم‌ها می‌گردند (تصویر ۹).

رطوبت نسبی زیاد، به ذرات تشکیل‌دهنده 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)

صورت پذیرفت.

- برای مشاهده تأثیرات طولانی‌مدت 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 TS 4839 ISO 5630-1، نمونه‌ها به مدت ۲۴ روز در دمای  $2 \pm 10.5$  درجه سانتی‌گراد در گرمای خشک آون گذاشته شدند.

- به‌منظور بررسی تأثیرات رطوبت و برای انجام آزمون ریختگی روی نمونه‌ها (بررسی زمان ریختگی هریک از نمونه‌ها)؛ پیرسازی تسریعی طبق استاندارد ASTM-D2247 در محفظه‌ای با رطوبت نسبی ۱۰۰-۹۵ درصد و دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

به‌منظور فهمیدن اثرات پیرسازی روی مرکب‌های آزمایش‌شده، 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>۳۰</sup> محاسبه شوند. در این سیستم درخشش، \*L کمیته است که مقدار مجموع انعکاس طیفی خورشیدی را نسبت به سطح سفید خالص اندازه‌گیری 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 محاسبه‌شده برای نمونه‌های پیرسازی‌شده (۲) و نمونه‌های قبل 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 نه‌تنها در رنگ بلکه در آهن و مازوی موجود در مرکب ایجاد می‌شود. ساختمان شیمیایی مرکب‌ها به‌گونه‌ای است که از محیط اطرافشان فوری تأثیر می‌گیرد؛ خواه این جدول ۴. میزان پوشش‌دهندگی نمونه‌ها بر حسب متر مربع بر لیتر

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

(نگارندگان)

از آنجا که ذرات تشکیل‌دهنده مرکب‌ها متفاوت‌اند، زمان تشکیل کلنی 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 خوردگی کاغذ در تماس با مرکب آهن-مازو در دراز مدت می‌گردد (Mert, 2008: 22). درحقیقت، 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)، (تصویر ۱۰).

سولفات آهن (II) به عنوان منبع آهن بارها استفاده شده است به گونه‌ای که، وقتی پلی‌فنل 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 تسریع 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 به‌طور چشم‌گیری پیشرفت کرده است. دو مورد محیطی تأثیرگذار، دما و رطوبت هستند. اگرچه رطوبت مهم‌تر است اما هر دو به هم وابسته‌اند. تغییرات در رطوبت نسبی، مهم‌ترین عامل برای ایجاد تغییرات در ویژگی‌های مکانیکی است (Winter, 2008: 167)، (تصویر ۱۱).

## آزمون‌ها و نتایج

### - نور فرابنفش

برای بررسی تأثیر نور فرابنفش روی نمونه‌ها و مشخص نمودن تغییر در اسیدیت هریک پس از پیرسازی، pH هر نمونه اندازه‌گیری شد. ضمن 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<sub>4</sub> 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 رنگ‌سنج استفاده شد. بدین ترتیب که قبل و بعد از پیرسازی، شش نقطه از هر نمونه رنگ‌سنجی 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

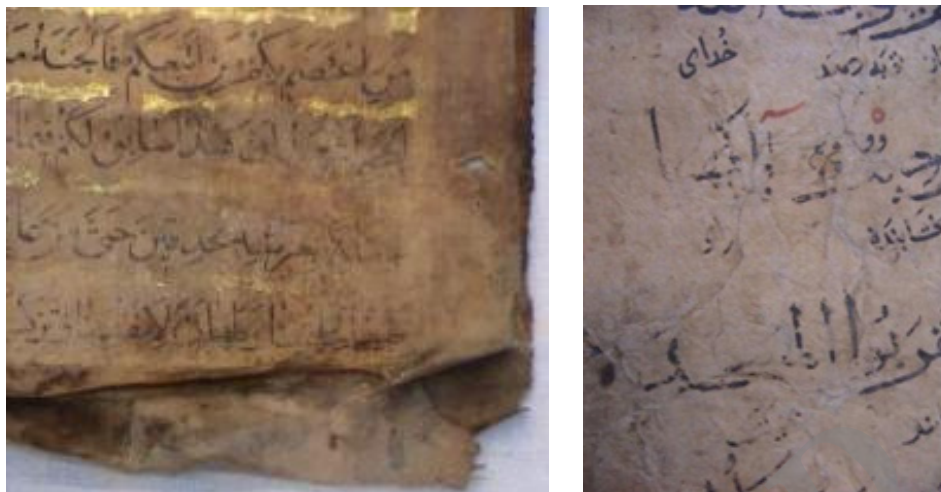
پس از قراردادن نمونه‌های آزمایش‌شده در شرایط مستعد رشد قارچ و کپک، زمان تشکیل کلنی‌های کپک روی نمونه‌های مورد نظر بررسی شد که نتایج آن در جدول ۸ دیده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نمونه S<sub>1</sub> زودتر از همه دچار کپک و آلودگی شده است. شاید بتوان گفت به دلیل میزان



تصویر ۱۰. خوردگی 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 (موزه آستان قدس رضوی)

جدول ۶.  $\Delta pH$  نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی نوری

نمونه	$pH^*$	$pH_1$	$pH_2$	$\Delta pH$
$S_1$	۳,۵۸	۶,۱۵	۵,۷۵	۰,۳۱
$S_2$	۷,۴۵	۷,۸۰	۷,۱۵	۰,۴۴
$S_3$	۲,۸۵	۵,۷۵	۵,۳۱	۰,۴۴
$S_4$	۴,۵۱	۵,۸۲	۵,۳۱	۰,۵۱

$pH^*$ : pH مرکب مایع،  $pH_1$ : pH مرکب قبل از پیرسازی،  $pH_2$ : pH مرکب بعد از پیرسازی،  $\Delta pH$ : اختلاف  $pH_1$  و  $pH_2$  (نگارندگان)

جدول ۷. نتایج مقادیر  $L^*a^*b^*$  نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی نوری

نمونه	$L_1^*$	$a_1^*$	$B_1^*$	$L_2^*$	$a_2^*$	$B_2^*$	$\Delta E$
$S_1$	۳۰,۰۱	-۰,۶۸	۳,۵۱	۳۲,۳۳	۰,۱۸	۳,۷۵	۲,۴۸
$S_2$	۱۹,۸۳	-۱,۱۶	۱,۱۶	۲۱,۰۱	-۱,۵	۱,۳۶	۱,۲۴
$S_3$	۲۲,۱۸	-۱,۷	۰,۴۱	۲۴,۰۵	-۱,۱۱	۰,۹۸	۲,۰۴
$S_4$	۲۴,۲۱	-۱,۱۵	۳,۶۱	۲۶,۶۱	-۰,۴۸	۲,۷۶	۲,۶۳

$L_1^*$ : مقدار روشنایی قبل از پیرسازی،  $a_1^*$ : مقدار محور قرمز-سبز قبل از پیرسازی،  $b_1^*$ : مقدار محور زرد-آبی قبل از پیرسازی،  $L_2^*$ : مقدار روشنایی بعد از پیرسازی،  $a_2^*$ : مقدار محور قرمز-سبز بعد از پیرسازی،  $b_2^*$ : مقدار محور زرد-آبی بعد از پیرسازی،  $\Delta E$ : جمع کلی تغییرات بعد از پیرسازی (نگارندگان)

جدول ۸. بررسی زمان رشد کپک روی نمونه‌ها

نمونه	روز
$S_1$	۲
$S_2$	۱۲
$S_3$	۸
$S_4$	۸

(نگارندگان)

زیاد بست است که علاوه بر تسریع در رشد میکروارگانیسم‌ها باعث جمع شدن مرکب روی کاغذ و تشکیل توده‌هایی غلیظ روی کاغذ شده و تخریب‌های بعدی را در پی 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،

حاصل میانگینی از سه بار اندازه‌گیری 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 سرعت بخشد و سبب دپلمریزاسیون<sup>۳۴</sup> وسیع حلقه سلولز گردد (Mert, 2008: 43). در pH پائین، سرعت احیا<sup>۳۵</sup>  $Fe^{2+}$  به  $Fe^{3+}$  افزایش می‌یابد (Ibid: 66). همان‌گونه که دیده می‌شود، بیشترین میزان pH متعلق به نمونه  $S_2$  است که قبلاً بیان شد بیشترین مقدار آهن را دارد. در ادامه، بیان خواهد شد که فزونی یون‌های اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد.

پس از اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری 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 پروکالین<sup>۳۵</sup>‌ها و الاجیک اسید<sup>۳۶</sup> باشد؛ آنچه وقتی اسید سولفوریک و دیگر اسیدهای موجود در مرکب، سلولز و رنگ مرکب را تجزیه کردند، شکل می‌گیرد. قهوه‌ای شدن مرکب می‌تواند توسط 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 به‌طور درخور توجهی تخریب شده است به‌ویژه در حضور فرسولفات، تخریب شدیدتر می‌گردد. تعدادی از محصولات تخریب می‌توانند گالاکتونیک اسید،<sup>۳۷</sup> لاکتون آرابینونیک اسید<sup>۳۸</sup> و لاکتون<sup>۳۹</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 در نتیجه تجزیه ترکیب آهن-مازوی، آبی- خاکستری به محصولات زرد- قهوه‌ای است.

فزونی اسید گالیک و فزونی یون‌های  $Fe^{2+}$ ، اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد.

با بررسی تغییرات نوری نمونه‌های مرکب پس از پیرسازی، علاوه بر مقدار  $L^*$ ، مقدار  $a^*$  و  $b^*$  نیز تغییر کرده‌اند. افزایش در اجزای مختصات رنگی می‌تواند ناشی از واکنش تشکیل اسید گالیک و اکسیداسیون سلولز توسط یون‌های فلزی  $(Cu^{2+}, Fe^{2+})$  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، کروموفرهایی 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، برحسب زمان پوسته‌پوسته شدن و ریزش هر نمونه، در جدول ۱۱ تنظیم شده است. در ادامه، 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، جذب‌کننده 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؛ در نتیجه اتصال بین آن دو ضعیف می‌شود. نبود نیروی واسط چسباننده منتج به پوسته شدن مرکب می‌گردد (Agrawal, 1984: 47). همچنین، بیشتر اوقات منجر به تنش در تکیه‌گاه کاغذی می‌شود که آسیب فیزیکی شدیدی مانند ترک‌های عمیق و پوسته شدن لایه مرکب را در پی دارد (Stratis & Salvesen, 2002: 209). جداسدن لایه مرکب از تکیه‌گاه با گذشت زمان، به عوامل مختلف بستگی دارد: نوع و میزان مواد اولیه، نوع و میزان بست، چگونگی عمل‌آوری مرکب، ضخامت لایه مرکب، تنش‌های وارد بر تکیه‌گاه، سائیدگی، فعالیت میکروارگانیزم‌ها، اسیدی شدن تکیه‌گاه و ... در بررسی مرکب روی کاغذ، دو پارامتر دارای اهمیت است: ضخامت مرکب استفاده شده روی تکیه‌گاه و درجه نفوذ آن در تکیه‌گاه. دومی تاحدی تابع نفوذپذیری

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

نمونه	$pH^*$	$pH_1$	$pH_2$	$\Delta pH$
$S_1$	۳,۶۲	۶,۰۶	۵,۸۳	۰,۲۳
$S_2$	۶,۹۲	۷,۴۰	۶,۹۵	۰,۴۵
$S_3$	۲,۷۳	۵,۷۵	۵,۳۵	۰,۴۰
$S_4$	۵,۲۸	۶,۳۷	۶,۱۲	۰,۲۵

$pH^*$ : pH مرکب مایع،  $pH_1$ : pH مرکب قبل از پیرسازی،  $pH_2$ : pH مرکب بعد از پیرسازی،  $\Delta pH$ : اختلاف  $pH_1$  و  $pH_2$  (نگارندگان)

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

نمونه	$L_1^*$	$a_1^*$	$b_1^*$	$L_2^*$	$a_2^*$	$b_2^*$	$\Delta E$
$S_1$	۲۱,۹۵	-۱	۲,۳	۲۵,۶	-۰,۵۶	۵,۱۸	۴,۶۶
$S_2$	۱۸,۷۶	-۵,۱۳	۱,۷۶	۲۶,۵۸	-۰,۳۸	۷,۱۵	۱۰,۶۱
$S_3$	۲۲,۳۱	-۳,۶۱	۱,۳۵	۲۶,۱۵	-۰,۱۶	۳,۴۵	۵,۵۷
$S_4$	۲۴,۷۱	-۱,۲۸	۱,۷۸	۲۵,۴۶	-۰,۸۵	۲,۸۸	۱,۳۹

$L_1^*$ : مقدار روشنایی قبل از پیرسازی،  $a_1^*$ : مقدار محور قرمز-سبز قبل از پیرسازی،  $b_1^*$ : مقدار محور زرد-آبی قبل از پیرسازی،  $L_2^*$ : مقدار روشنایی بعد از پیرسازی،  $a_2^*$ : مقدار محور قرمز-سبز بعد از پیرسازی،  $b_2^*$ : مقدار محور زرد-آبی بعد از پیرسازی،  $\Delta E$ : جمع کلی تغییرات بعد از پیرسازی (نگارندگان)

جدول ۱۱. بررسی زمان ریختگی نمونه‌ها تحت تأثیر رطوبت

نمونه	زمان ریختگی
$S_1$	$S_1$
$S_2$	$S_4$
$S_3$	$S_3$
$S_4$	$S_2$

(نگارندگان)

اجزای تکیه‌گاه و تاحدی ویژگی‌های اجزای مرکب، مانند اندازه ذرات رنگ است (Winter, 2008: 109).

به‌طور آشکار، مقدار رنگی که در ساختار کاغذ نفوذ می‌کند، بستگی به اندازه ذرات رنگدانه دارد. اگر کاغذ به‌آسانی 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 به‌کار 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 مصداق عینی این فرایند را به‌خوبی مشاهده کرد. وقتی ذره‌ها به‌صورت 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).

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 انباشتگی غیر یکنواخت مرکب به‌صورت 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 خشک شدن می‌شود. این را ترک خوردگی زودرس می‌نامند. معمولاً ترک‌های مؤثر در تمام ضخامت لایه رنگ ادامه ندارند و تشکیل آنها، تابع نوع بست است. پهنای این ترک‌ها متفاوت است حتی گاهی به‌صورت شکاف ظاهر می‌شوند (کلایتر، 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 به‌طور موضعی پوسته‌پوسته می‌شوند (Stratis & Salvesen, 2002: 156). همچنین زمانی که لایه مرکب ضربه می‌خورد، به‌طور پیوسته از لایه پائین‌تر یا

باعث شکنندگی بیشتر و برجسته‌نمودن چروک خوردگی‌اش می‌شود. روی هم‌رفته، یک فاصله کوچک بین لبه و بخش مرکزی رخ می‌دهد که نتیجه یک تمایل برای ایجاد ترک است (Ibid: 164)، (تصویر ۱۶).

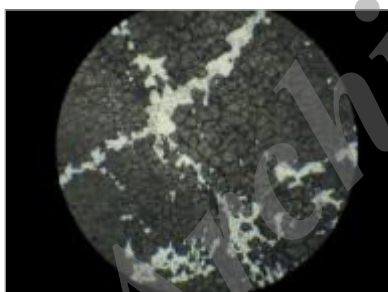
تمامی لایه‌ها باهم، از روی تکیه‌گاه ورقه ورقه می‌گردند و زمانی که چسب منقبض می‌شود هر دو، پوسته‌پوسته خواهند شد (Keck, 1965: 31)، (تصویر ۱۵).  
می‌توان گفت جدایی ذرات مرکب از کنار ذرات آهار مهم است. این سازوکاری است که روی تبخیر ترجیحی آب از لبه‌های مرکب به کار گرفته‌شده، بنیاد گذاشته شده است و منجر 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 رنگ‌شده مشاهده می‌شود و ذرات کوچک تنها درون لبه انباشته می‌گردند. توده مرکزی خالی و این،



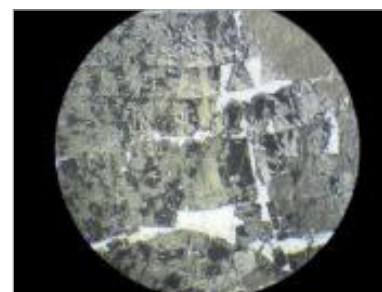
تصویر ۱۳. انباشتی مرکب به صورت توده‌های ضخیم روی کاغذ، نمونه S<sub>1</sub>، با بزرگ‌نمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



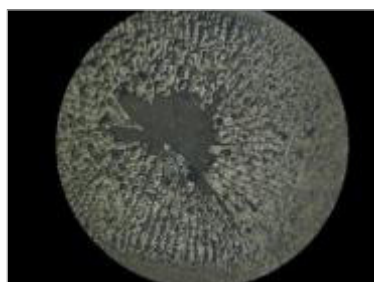
تصویر ۱۲. لایه ضخیم مرکب روی کاغذ، نمونه S<sub>2</sub>، با بزرگ‌نمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



تصویر ۱۵. پوسته‌پوسته شدن لایه ضخیم مرکب از روی کاغذ، نمونه S<sub>4</sub>، با بزرگ‌نمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



تصویر ۱۴. پوسته‌پوسته شدن مرکب از روی تکیه‌گاه، نمونه S<sub>1</sub>، با بزرگ‌نمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)



تصویر ۱۶. نبود بخش مرکزی لایه ضخیم مرکب، نمونه S<sub>3</sub>، با بزرگ‌نمایی ۳۰ برابر (نگارندگان)

## نتیجه گیری

در مبحث فن شناسی، آنچه از بررسی شیمیایی نمونه‌ها (کروماتوگرافی، جذب اتمی و FT-IR، XRD) به دست آمد، این بود که: این مرکب‌ها 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 پراقت بیشتر و آهن زیاد موجب پوشاندگی بهتر می‌شود. همچنین استفاده از ذرات ناهمگن، روش نامناسب مخلوط کردن مواد، تهیه و عمل‌آوری نادرست آن‌ها سبب کشش نامناسب مرکب می‌گردد. در بخش آسیب‌شناسی پس از پیرسازی‌های مختلف روی 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، فزونی یون‌های آهن و مس، اکسیداسیون سلولز را افزایش می‌دهد. میزان زیاد بست، علاوه بر تسریع در رشد میکروارگانیسم‌ها، باعث جمع‌شدن مرکب روی کاغذ و تشکیل توده‌هایی غلیظ بر کاغذ شده و در نهایت، 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 عمل‌آوری مرکب، ضخامت لایه مرکب، تنش‌های وارد بر تکیه‌گاه و سائیدگی بستگی دارد.

در مجموع می‌توان گفت میزان نامناسب بست، میزان زیاد یون‌های آهن و مس در مرکب، همچنین تهیه و عمل‌آوری نادرست مرکب‌ها و ... بر اثر گذشت زمان، تخریب مرکب و تکیه‌گاه را به دنبال خواهد داشت. آنچه از نتایج آنالیز مرکب‌های مشکلی 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 در نهایت تخریب می‌کند. افزون بر اینها، کاربرد مرکب‌های نامناسب در خصوصیات بصری و زیباشناختی آثار خوش‌نویسان نیز بی‌تأثیر نیست. براق نبودن و مات شدن مرکب‌ها بلافاصله پس از خشک شدن، 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 هنر‌نمایی 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 افزودنی‌های عسل می‌توان مشکل کشش، پوشاندگی نامناسب و مات شدن مرکب پس از خشک شدن را مرتفع کرد حتی دوام مرکب را در برابر نور و رطوبت افزایش داد و از خوردگی کاغذ به وسیله مرکب آهن - مازو جلوگیری کرد.

## سپاس‌گزاری

در پایان، به رسم ادب از استاد سیدشمس‌الدین ابوالوفا حسینی، دکتر اسماعیل شمس، دکتر جلیل جوکار، دکتر رسول محمدی‌خواه، مهندس عقیلی و خانم مرضیه شجاعی به دلیل کمک‌های بی‌دریغشان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## پی‌نوشت

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 غیر تخریبی 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 اسناد 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 عطریان؛ ۱۳۹۱/۳/۲۵ و رسول محمدی‌خواه؛ ۱۳۹۰/۶/۲۵ صورت گرفت.
۱۵. بیش از ۹۰ درصد ترکیب مرکب‌ها، از اکسید آهن تشکیل شده است.
۱۶. این آنالیز به وسیله دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی مدل ۲۳۸۰ Perkin-Elmer در آزمایشگاه دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان انجام شد.
۱۷. نتیجه‌ای که پس از صحبت و مصاحبه با سازندگان مرکب‌ها گرفته شد، این بود که آنها از صمغ عربی به جای بست در مرکب‌ها استفاده کرده‌اند.
۱۸. این آزمایش‌ها در مرکز فنی-مهندسی شرکت نفت اصفهان انجام شد.
۱۹. این آزمون به وسیله دستگاه Glassymeter، مدل ۱۶۰ sheen انگلیس طبق استاندارد ASTM-D523 انجام شد.
۲۰. شایان یادآوری است که بیشترین میزان براقیت ۱۰۰ درصد است.
۲۱. این آزمون به وسیله دستگاه Reflectometer مدل ۳۱۰ sheen انگلیس طبق استاندارد ASTM-D2805 انجام شد.
۲۲. ورقه‌ای به اندازه کاغذ A<sub>۴</sub> و براق که نیمی از آن سیاه و نیمی دیگر سفید است.
۲۳. می‌توان ذکر کرد که بیشترین میزان پوشانندگی ۳۵ (m<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 در نظر 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. purpurogalin
36. Ellagic acid
37. Galactonic acid
38. Lactone of Arabinonic acid
39. Lactone

## منابع و مآخذ

- آقاعلی گل، داوود؛ باقی‌زاده، علی؛ اولیایی، پروین؛ شکوهی، فرح؛ لامعی رشتی، محمد و نجفیان، محمدجواد (۱۳۸۶). آنالیز عنصری رنگ‌ها و کاغذ نقشه‌قالی با روش میکروپیکسی و استفاده از آن در مرمت. مرمت و پژوهش، بهار و تابستان، (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، رسانه پرداز.
- 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، علی اصغر (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 عبدا... خان 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 بیژانم، فرهاد (۱۳۸۵). فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مرکب‌های سنتی و ارائه راهکارهای حفاظتی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اصفهان: دانشگاه هنر.
- \_\_\_\_\_ (۱۳۸۸). خلاصه مقالات نهمین همایش دوسالانه حفاظت و مرمت اشیای تاریخی - فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری. ساری: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان مازندران.
- فرزاد، ناصر (۱۳۷۲). شیمی کاربردی و تجربی چسب و رنگ. خرمشهر: افشار.
- کلانیر، لیلیان ماسشلین (۱۳۸۸). خواص مواد برای هنرمندان: چسب‌ها و جلاهای طبیعی. ترجمه حمید فرهمند بروجنی، اصفهان: گلدسته.
- لامعی رشتی، محمد؛ آقاعلی گل، داوود؛ خسروی، فرهاد؛ اولیایی، پروین؛ باقی‌زاده، علی و شکوهی، فرح (۱۳۸۶). پژوهش‌های فنی: آنالیز عنصری چند نمونه از مرکب و کاغذ دوره قاجار با میکروسکوپ روبشی پرتون، نامه بهارستان. فروردین، (۱۱ و ۱۲)، 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 تاییوگرافی. تهران: جامع هنر.
- مؤمن حسینی، محمد (۱۳۷۶). تحفه حکیم مؤمن. تهران: محمودی.
- هادیان دهکردی، منیژه (۱۳۸۶). کاربری پژوهش‌های آزمایشگاهی در حفاظت و مرمت بناهای 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 Broad 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