

■ مرکب آهن مازو: بررسی روش ساخت،
خوردگی و روش‌های درمان خوردگی

مهرناز آزادی بویاغچی | مریم افشارپور | محمد حدادی

■ چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر، آشنایی با مرکب آهن مازو، روش ساخت، خوردگی این مرکب و روش‌های درمان خوردگی آن، در آثار نگارش شده بر روی تکیه‌گاه (محمل) کاغذی می‌باشد. هدف دیگر، رفع و یا به حداقل رساندن آسیب ناشی از کاربرد روش‌های حفاظتی، با استفاده از انتخاب و به کارگیری روش درمان مناسب هنگام برخورد با آثار دارای خوردگی مرکب آهن مازو و کنترل خوردگی مرکب در آن‌ها است که البته این امر با داشتن آشنایی از روش‌های موجود میسر می‌گردد.

روش/رویکرد پژوهش: این پژوهش، پژوهشی بنیادی است که جمع‌آوری داده‌ها در آن بر پایه اطلاعات حاصل از مطالعات کتابخانه‌ای و پایگاه داده‌ها انجام شده است و تحلیل و بررسی‌ها بر اساس داده‌های به دست آمده از این مطالعات، صورت گرفته است. مطالعه و پژوهش در خصوص مرکب آهن مازو و روش‌های درمان خوردگی آن، به صورت پراکنده در تحقیقات انجام شده است. در این پژوهش، این مطالعات متمرکز و طبقه‌بندی شده و مزایا و معایب هر روش نیز ذکر شده است.

یافته‌ها و نتایج پژوهش: مرکب آهن مازو از چهار جزء اصلی زاج، مازو، صمغ عربی و آب تشکیل شده است. اکسیداسیون فلز کاتالیست و هیدرولیز اسیدی دو علت اصلی تخریب آثار نگارش شده با مرکب آهن مازو می‌باشند. دو روش فیزیکی و شیمیایی (آبی-غیرآبی) برای حفاظت آثار حاوی مرکب آهن مازو به کار رفته‌اند. هر کدام از روش‌های استفاده شده دارای معایب و مزایای خاص خود است و هیچ کدام به طور کامل، تضمین‌کننده حفاظت از مرکب در طولانی مدت نمی‌باشند.

کلیدواژه‌ها

مرکب، مرکب آهن مازو، خوردگی مرکب، درمان خوردگی

مطالعات آرشیوی

فصلنامه گنجینه اسناد: سال بیستم و ششم، دفتر دوم، (تابستان ۱۳۹۵)، ۱۵۹-۱۳۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۱۹ ■ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۶

مرکب آهن مازو^۱: بررسی روش ساخت، خوردگی و روش‌های درمان خوردگی

مهرناز آزادی بویاغچی^۲ | مریم افشارپور^۳ | محمد حدادی^۴

مقدمه

انسان از دیرباز برای نوشتن از مرکب استفاده می‌کرده است. قدمت استفاده از مرکب به تاریخ نگارش بازمی‌گردد. می‌توان گفت ساخت مرکب چهل قرن قبل یا پیشتر شروع شده است (Carvalho, 2001, p7). از قدیم مرکب و دیگر ابزارهای نوشتن در میان ایرانیان متنوع بوده است. دنیای اسلام، مرکب‌ساز، انواع مرکب (سیاهی)، ليقه (گونه‌ای از مرکب)، حبر، مداد و مرکب‌های رنگین را شناخته و امتحان کرده است (مایل هروی، ۱۳۷۲، ص ۱۸). در رساله‌های خوشنویسی برای ساخت مرکب مشکی روش‌های متعددی آمده است. این مرکب‌ها به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: ۱. مرکب‌های دوده‌ای ۲. مرکب‌های آهن-مازو (رسوبات سیاه مازو و زاج) و ۳. مرکب‌های مخلوط (دوده و آهن-مازو). به گفته عبدالله کوه‌دزی تا زمان ابن‌مقله همه خوشنویسان از مداد «آب مازو و زاج» استفاده می‌کردند. ابن‌مقله بود که مرکب دوده و صمغ را به آن‌ها اضافه کرد (پورتر، ۱۳۸۹، ص ۸۷). مرکب زغالی (دوده یا کربنی) از رنگ‌دانه‌های سیاه (مواد سوخته و زغال‌شده یا دوده) معلق در ماده‌ای واسطه تشکیل می‌شده است. مایعی که این رنگ‌دانه را با آن مخلوط می‌کردند می‌توانست از مایعات قندی مثل صمغ و عسل باشد یا مواد پروتئینی مثل ژلاتین، سریشم پوست یا سریشم ماهی و سفیده تخم‌مرغ یا ماده چربی چون روغن (لیه ناردی؛ وان دام، ۱۳۷۶، ص ۶۳). مرکب آهن‌مازو نوع دیگر مرکب سیاه است. نحوه تهیه مرکب آهن‌مازو در قرن سوم

1. Iron gall ink

۲. استادیار مرمت اشیای تاریخی

و فرهنگی دانشگاه هنر اصفهان

mehrnaz_azadi@yahoo.com

۳. استادیار شیمی معدنی پژوهشگاه

شیمی و مهندسی شیمی ایران

afsharpour@ccerci.ac.ir

۴. دانشجوی دکتری مرمت اشیای تاریخی

و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان

(نویسنده مسئول)

mohammad_hadadi2004@

yahoo.com



میلادی تشریح شده است. مشخص شده است که اسناد نوشته شده با مرکب آهن مازو با بسیاری از فرآیندهای مخرب در معرض خطر قرار می‌گیرد. این در مجموع به‌عنوان خوردگی مرکب تعریف شده است (Van Gulik and Pampiglione, 1994; Banik, 1977). شکی نیست که خوردگی در مرکب‌های آهن مازو، تهدیدی جدی برای میراث فرهنگی محسوب می‌گردد. این مشکل که در مجموعه‌های آرشیوی و موزه‌ای دیده می‌شود، نوع و میزان آسیب‌دیدگی متفاوتی دارد و نیازمند اعمال رویکردها و برخوردهای مختلفی است (Sellink, 1998). با توجه به وجود آثار بی‌شماری که با این مرکب نگارش شده‌اند و خطر از بین رفتن این آثار، اقدام لازم در زمینه حفاظت از این آثار و کنترل فرایند خوردگی مرکب آهن مازو در آن‌ها ضروری است. از سؤال‌های مهم در این پژوهش می‌توان به این موارد اشاره کرد:

در منابع یا رساله‌های خوشنویسی از چه موادی برای ساخت مرکب آهن مازو استفاده شده است و اختلاف هر کدام از دستورالعمل‌های ذکر شده در چیست؟
مهم‌ترین دلایل تخریب مرکب‌های آهن مازو چیست و چه عواملی در آن مؤثر است؟
چه روش‌هایی برای حفاظت از آثار کاغذی حاوی مرکب آهن مازو استفاده شده است و هر کدام دارای چه معایب و مزایایی هستند؟
در این راستا داشتن اطلاعات کافی در خصوص مرکب آهن مازو، روش ساخت، خوردگی این مرکب و روش‌های درمان خوردگی آن از اهمیت بالایی برخوردار است که به آن پرداخته می‌شود.

مرکب آهن مازو: روش ساخت

مرکب آهن مازو از مرکب‌های قدیمی به‌کاررفته در نگارش و طراحی است. این مرکب توسعه‌یافته‌تر از مرکب کربنی است (Bulska and Wagner, 2004, p757). مرکب کربنی دارای رنگ سیاه شدیدی است، این مرکب‌ها به دلیل آنکه ماهیتی خنثی دارند، از لحاظ شیمیایی بر کاغذ تأثیر نمی‌گذارند و پس از خشک شدن تحت تأثیر نور و دیگر عوامل رنگ زداینده واقع نمی‌شوند (لیه ناردی؛ وان دام، ۱۳۷۶، ص ۶۳) اما به‌آسانی پاک می‌شوند، حساس به رطوبت هستند و به‌راحتی با تماس با آب از بین می‌روند و این برای اسناد مهم که نیاز است برای مدت‌زمان طولانی ذخیره‌شوند، یک اشکال عمده محسوب می‌شود. به‌تدریج محلول سیاه آهن مازو جایگزین مرکب کربن شد (Banik et al., 1981, p72). پذیرش عمومی استفاده از مرکب آهن مازو مرتبط با اعتقاد راسخ کاربران آن و به دلیل ثبات رنگ مرکب، پس‌ازاینکه بر روی تکیه‌گاه کاغذ قرار می‌گیرد می‌باشد (Daniels, 2000; Neevel and Reissland, 1998). از طرفی،



علاوه بر ماندگاری و ثبات رنگی بالا، روش تهیه ارزان و آسان نیز به گسترش روزافزون آن کمک کرده است (Kanngieber et al, 2004; Eusman, 1998). مرکب‌های آهن مازو، از اسیدگالوتانیک در مجاورت آهن ساخته می‌شوند و چون املاح مرکب مازو را می‌توان از منابع گوناگون طبیعی به دست آورد، مرکب‌های حاصله نیز از نظر کیفیت متفاوت‌اند (پلندرلیت؛ ورنر، ۱۳۸۲، ص ۸۰). مرکب آهن مازو به شدت در ترکیب، متفاوت است و تصدیق آن، تعداد زیاد دستورالعمل‌های تاریخی برای ساخت این مرکب می‌باشد (Stijnman, 2006, p18). تعداد بسیاری از دستورالعمل‌های مختلف و تنوع ترکیبی از مواد اولیه طبیعی برای ساخت مرکب آهن مازو وجود دارد. در جدول ۱ تعدادی از دستورالعمل‌های ساخت مرکب آهن مازو، در منابع و رساله‌های خوشنویسی فارسی و عربی (مایل هروی، ۱۳۷۲؛ قلیچ خانی، ۱۳۷۳؛ پورتر، ۱۳۷۹) به همراه مقادیر مواد تشکیل دهنده آن‌ها نشان داده شده است:

۱. درم: واحد وزنی معادل یک پنجم سیر و مساوی ۱۵ گرم یا ۶ دانگ.
۲. رطل: واحد وزنی معادل ۸۴ مثقال و یا واحد وزنی معادل ۱۲ اوقیه.
۳. ستیر: واحد وزنی معادل ۶/۵ درم، حدود ۹۷/۵ گرم.
۴. در مواردی که ماده مورد نظر در دستورالعمل وجود نداشته از علامت - و در مواردی که وجود داشته اما اندازه یا میزان آن ذکر نشده از علامت + استفاده شده است.
۵. سیر: واحد وزنی برابر با ۵ درم و معادل ۷۵ گرم

| * | نام رساله | نام مرکب | مازو | زاج | صمغ عربی | آب |
|----|------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|
| ۱ | بیان‌الصناعات (حبیش تفلیسی) | مرکب مشکی | مازوی سفید | زاج سرخ | سه درم ^۱ | سه رطل ^۲ |
| ۲ | بیان‌الصناعات (حبیش تفلیسی) | مرکب مشکی | اندازه داخواه | زاج سرخ یا زرد | کمی صمغ عربی | هشت برابر وزن مازو |
| ۳ | بیان‌الصناعات (حبیش تفلیسی) | حبر ساعتی (مشکی) | پنج ستیر ^۳ | پنج درم زاج سرخ | - | یک رطل آب گرم |
| ۴ | رساله جوهریه (سیمینیشابوری) | مشکی | مقداری | زاج بدون گوگرد | - | آب |
| ۵ | حلیه‌الکتاب (نویسنده ناشناس) | مرکب مشکی | یک من مازوی سبز | زاج ترکی | - | دو من |
| ۶ | حلیه‌الکتاب (نویسنده ناشناس) | مشکی | سی عدد مازوی سپید | زاج سرخ | یک درم به ازای هر یک سیر و نیم آب | سه رطل |
| ۷ | حلیه‌الکتاب (نویسنده ناشناس) | مشکی | پنج سیر ^۴ | پنج درم | - | یک رطل |
| ۸ | حلیه‌الکتاب (نویسنده ناشناس) | مشکی | یک چارک | زاج سرخ | ۰٫۵ سنگ | آب |
| ۹ | عمده‌الکتاب (ابن بادیس) | حبر خورشیدی (مشکی) | شش درم مازوی سبز سوراخ نشده | چهار درم زاج قبرسی | ۵۵ درم | ۵۵ درم |
| ۱۰ | عمده‌الکتاب (ابن بادیس) | حبر ساعتی (مشکی) | مقداری | یک مثقال زاج رومی | یک مثقال | آب نمک |
| ۱۱ | عمده‌الکتاب (ابن بادیس) | حبر عامه (مشکی) | مازو | زاج سبز | صمغ عربی | آب |
| ۱۲ | عمده‌الکتاب (ابن بادیس) | حبر مصاحف (مشکی) | مازو | زاج | صمغ عربی | آب |

جدول ۱

مواد موجود در دستورالعمل‌های ساخت مرکب آهن مازو در رساله‌های فارسی و عربی



| * نام رساله | نام مرکب | مازو | زاج | صمغ عربی | آب |
|---|------------------|-------------------------|---|------------------|-----------------------|
| ۱۳ عمدة الكتاب (ابن بادیس) | حبر یابس (مشکی) | مقداری مازو | زاج سبز به اندازه نصف صمغ | صمغ عربی | آب |
| ۱۴ صبح الاعشى (قلقشندی) | حبر الراس (مشکی) | یک رطل آب مازوی شلمی | یک اوقیه زاج | سه اوقیه | سه رطل |
| ۱۵ صبح الاعشى (قلقشندی) | مرکب سفری (مشکی) | یک اوقیه | یک درم | یک درم | مقداری آب |
| ۱۶ رساله در بیان کاغذ مرکب و حل الوان | مشکی | مازو | ویتریول | - | آب |
| ۱۷ رساله در بیان ساخت مرکب الوان و کاغذ الوان | مرکب مشکی | مازوی سبز تازه | زاج سوخته | - | آب |
| ۱۸ مرکب سازی و جلد سازی/ علی حسینی | مرکب مشکی | یک رطل مازوی جوکوب | سوم حصه آب (؟) «سولفت اف ایرن» «سولفات آهن» | سه اونس | ده رطل آب بسیار گرم |
| ۱۹ مرکب سازی و جلد سازی علی حسینی | مرکب مشکی | دوازده اونس مازوی جوکوب | شش اونس سولفات آهن | شش اونس صمغ عربی | پانصد توله (؟) آب سرد |

ادامه جدول ۱

مواد موجود در دستورالعمل های ساخت مرکب آهن مازو در رساله های فارسی و عربی

علاوه بر دستورالعمل های موجود در جدول ۱، دستورالعمل های متعدد دیگری در تحقیقات انجام شده غیر فارسی نیز وجود دارد که نمونه هایی از آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

| منبع | مازو | زاج | صمغ عربی | آب | دیگر مواد |
|-----------------------------------|-----------|-----------|--------------|----------------|---|
| ۱ (Potthast et al., 2008) | ۱,۲۳ گرم | ۱,۰۵ گرم | ۱۰ میلی لیتر | ۲۵ میلی لیتر | سولفات مس (II) |
| ۲ (Senvaietiene et al., 2005) | ۱ گرم | ۰,۵۳ گرم | ۰,۵۳ گرم | ۱۶ میلی لیتر | ۱ میلی لیتر اسید استیک ۱۰ درصد |
| ۳ (Senvaietiene et al., 2005) | ۷,۶۸۸ گرم | ۲,۵۲۸ گرم | - | ۶۶,۸ میلی لیتر | ۰,۲ گرم سدیم کلراید - ۲ میلی لیتر اسید استیک ۱۰ درصد و ۰,۳۱۸ گرم آوم |
| ۴ (Senvaietiene et al., 2005) | ۴ گرم | ۱ گرم | ۱ گرم | ۵۰ میلی لیتر | - |
| ۵ (Messner et al., 1998) | ۹ گرم | ۶ گرم | ۳ گرم | ۹۰ میلی لیتر | - |
| ۶ (Messner et al., 1998) | ۱۰ گرم | ۱۰ گرم | ۱۰ گرم | ۲۵۰ میلی لیتر | کرینات سدیم ۵۰ گرم آمونیاک ۱۰ میلی لیتر اسید استیک ۵ درصد ۱۰۰ میلی لیتر |
| ۷ (Stefanis and Panayiotou, 2010) | ۱,۲۳ گرم | ۱,۰۵ گرم | ۰,۷۸۷ گرم | + | - |
| ۸ (Poggi et al., 2010) | ۴,۸ گرم | ۴,۸ گرم | ۴,۸ گرم | ۱۳۲ میلی لیتر | اتیل الکل ۱۸ میلی لیتر اسید استیک ۱۷,۴ میلی لیتر |

۱. اوقیه: وزنی معادل هفت مثقال است.
۲. اونس: واحد وزن معادل ۳۵/۲۵ گرم است.
۳. توله: واحد وزن معادل ۲/۵ مثقال است.

جدول ۲

مواد موجود در دستورالعمل های ساخت مرکب آهن مازو در منابع غیر فارسی



ادامه جدول ۲

مواد موجود در دستورالعمل‌های
ساخت مرکب آهن مازو در منابع
غیر فارسی

| منبع | مازو | زاج | صمغ عربی | آب | دیگر مواد |
|--------------------------|-----------|---------------|-------------|----------------|--|
| Reifland and Groot, 1999 | ۴٫۹۲ گرم | ۴٫۲ گرم | ۳٫۱۴ گرم | + | - |
| Bulcka et al., 2001 | ۴٫۸۶ گرم | ۴٫۲۰ گرم | ۳٫۱۴ گرم | + | - |
| Bicchieri et al., 2013 | ۰٫۷۸ گرم | ۰٫۴۷ گرم | ۰٫۳۱ گرم | ۵۰ میلی‌لیتر | - |
| Lee et al., 2006 | ۱٫۲۲ گرم | ۲ گرم | - | ۱۵۰ میلی‌لیتر | - |
| Lee et al., 2006 | ۳٫۲۰ گرم | ۲٫۸۰ گرم | - | ۱۵۰ میلی‌لیتر | - |
| Senvaitiene et al., 2005 | ۱ گرم | ۰٫۵۳ گرم | ۰٫۵۳ گرم | ۱۶ میلی‌لیتر | ۱ میلی‌لیتر اسیداستیک ۱۰ درصد |
| Senvaitiene et al., 2005 | ۴ گرم | ۱ گرم | ۱ گرم | ۵۰ میلی‌لیتر | - |
| Kolar et al., 2007 | ۹٫۸۴ گرم | ۸٫۳۴ گرم | ۳٫۱۴ گرم | ۰٫۱ لیتر | - |
| Neevel et al., 1999 | ۱٫۲۳۰ گرم | ۱٫۰۵۰ گرم | ۰٫۷۸۵ گرم | ۲۵ میلی‌لیتر | - |
| Messner et al., 1998 | ۱ قسمت | ۲ قسمت | ۱ قسمت | ۳۰ قسمت | - |
| Chiavari et al., 2007 | ۲۵٫۱ گرم | + | - | + | سرکه |
| Chiavari et al., 2007 | یک قسمت | یک چهارم قسمت | یک دوم | - | ۸ قسمت شراب سفید |
| Chiavari et al., 2007 | یک قسمت | - | یک دوم | - | ۸ قسمت شراب سفید - یک چهارم قسمت سولفات مس |
| Chiavari et al., 2007 | - | ۳۰۴ گرم | ۷۶ گرم | ۱۱۴۰ میلی‌لیتر | ۳۰۴ گرم چوب صندل - ۱۱۴۰ میلی‌لیتر سرکه غلیظ ۳۸- آلوم-۱۹ گرم پوست انار-۱۹ گرم نیل-۱۹- گرم میخک |

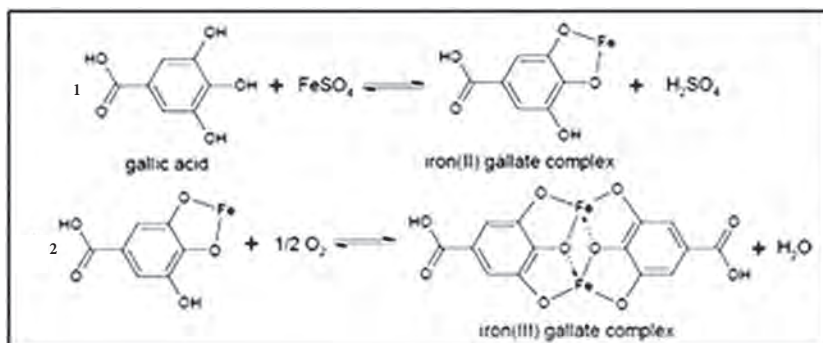
۱. مازو بار درختی است و بدان پوست را
دباغت کنند و یک جزو از اجزای مرکب
هم هست؛ نمو غیرطبیعی که در روی
برگ‌های بعضی اشجار پدید می‌آید، بیشتر
درخت بلوط؛ برجستگی‌های کروی شکل
به قطر ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر که تحت اثر
گزش حشره مخصوصی روی جوانه‌های
درخت بلوط مازو ایجاد می‌شود؛ ...
در ترکیب مازو ۶۰-۷۰ درصد تانن
(اسیدگالتانیک) وجود دارد و نیز کمی
اسیدگالیک و اسیدلازیک به علاوه مواد
گلوئیدی و آمیدی. در صنعت از مازو
جهت تهیه مرکب سیاه استفاده می‌کنند،
مازوها اجسامی کلونیدی هستند و
چون املاح آهنی به آن‌ها برسد رنگشان
سیاه می‌شود و رسوب می‌کنند (دهخدا،
۱۳۷۷، ص ۱۹۹۵).

۲. زاج: زاک، زاگ، ... و لکن زاج حقیقی
اکسید اول آهن است که از ترکیب آن با
صمغ و آب، مرکب سیاه تهیه می‌شود
و از تک‌هایی است که به‌طور آزاد نیز
در طبیعت به دست می‌آید. هنگامی که
خشک است سفید و چون تبلور یافت
سبز متمایل به کبود می‌گردد و به‌صورت
ورقه‌های مختلف‌الاضلاع شفاف و
خوش‌رنگ دیده می‌شود. بدون بو و مزه
و دارای خاصیت قبض شدید می‌باشد.
ترکیبات زاج ۲۹/۰۱٪ اسیدسولفوریک،
۲۵/۴۳٪ اکسید اول آهن و ۴۵/۵۶٪
آب است. (دهخدا، ۱۳۷۸، ص ۱۲۵۱۶).
زاج سبز (سولفات فرو، سولفات آهن)
جسم متبلور سبزرنگ، به فرمول
FeSO₄.7H₂O به‌طور طبیعی به‌صورت
کانی ملاتریت یافت می‌شود (اوروف و
آیزاکس، ۱۳۷۲، ص ۲۳۷).

همان‌گونه که در ترکیب تشکیل دهنده این مرکب، در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده
است، مازو^۱، زاج^۲ و صمغ عربی سه جزء اصلی تشکیل دهنده مرکب آهن مازو می‌باشند اما
میزان آن‌ها در هر یک از دستورالعمل‌ها متفاوت است. هیچ فرمول دقیقی برای آماده‌سازی
این مرکب وجود نداشته است. با این حال، سه مؤلفه عصاره مازو، نمک آهن و صمغ
عربی همیشه حضور داشته‌اند (Daniels, 2000; Dorning, 2000; Crystal Maitland Queen's
University, 2007; Krekel, 1999; Rouchon, 2011; Stijnman, 2006). البته آب نیز به‌عنوان
یک حامل همیشه وجود داشته است و در برخی موارد به‌جای آن از شراب نیز استفاده
کرده‌اند (Junior and Reifland, 2003; Reifland and Hofenk De Graaff, 2001). تشکیل
رنگ مرکب (شکل ۱) یک فرایند شیمیایی و شامل دو مرحله است: در مرحله اول، سولفات
آهن (II) (گرفته‌شده از زاج سبز) با اسیدگالیک (که از هیدرولیز تانن‌های استخراج شده



از دانه‌های گال یا مازو به دست می‌آید) برای تولید کمپلکس گالات آهن(II) محلول و بی‌رنگ، واکنش می‌دهد. مرحله دوم، اکسیداسیون است که با اکسیژن هوا واکنش داده و تشکیل کمپلکس گالات آهن(III) می‌دهد که بنفش مایل به سیاه و نامحلول در آب است (Carne et al., 1999, p56; Krekel, 1999, p57; Neevel et al., 1999, p539).



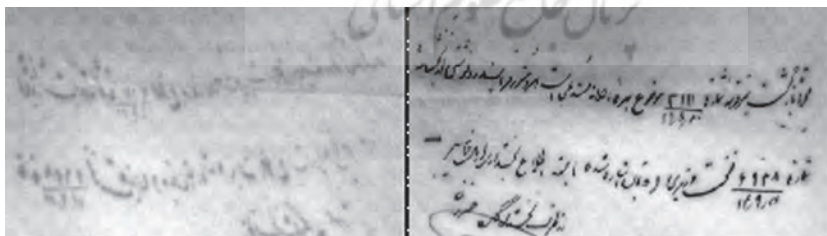
شکل ۱

تشکیل کمپلکس سیاه گالات آهن
(III) از کمپلکس بی‌رنگ گالات آهن
(II) Krekel, 1999, p56

مرکب آهن مازو: خوردگی

به‌طور عمده مرکب آهن مازو می‌تواند باعث تخریب مواد کاغذ یا پوستی که بر روی آن‌ها اعمال شده بشود. روند تخریب پیچیده است که معمولاً خوردگی مرکب یا سوختگی مرکب نامیده می‌شود (Junior and Reibland, 2003, p206). خوردگی مرکب، تکیه‌گاه (محمل) نوشته/طراحی را تضعیف می‌کند و می‌تواند آسیب‌هایی به‌صورت سوراخ و ترک در تکیه‌گاه ایجاد کند. تشکیل لکه‌های قهوه‌ای در زیر و اطراف خطوط مرکب معمول‌ترین اثری است که در ارتباط با خوردگی مرکب مشاهده است (شکل ۲ و ۳)

(Banik, 1977, pp 21-26; Sequira et al., 2006)

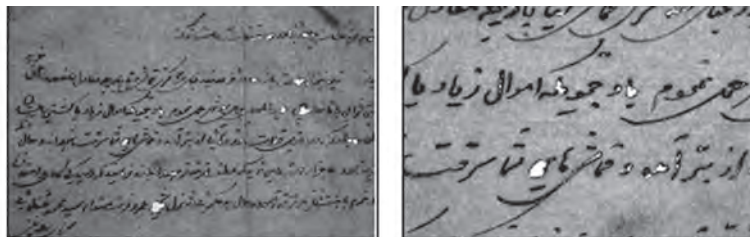


شکل ۲

تشکیل هاله‌های قهوه‌ای در اطراف خطوط و
پشت سند (منبع: سازمان اسناد و کتابخانه ملی،
شماره ثبت: ۵۱۰۲)

شکل ۳

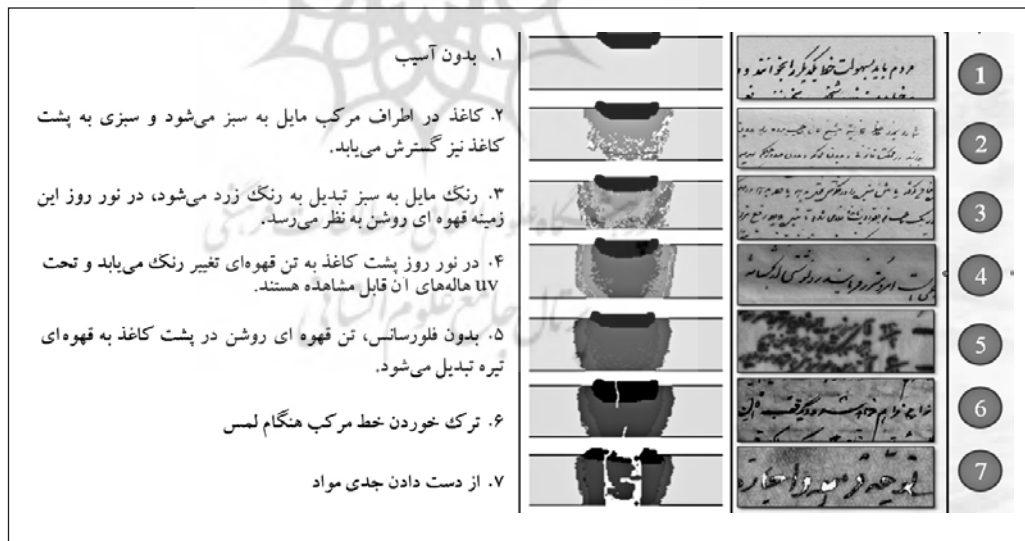
ایجاد ترک و سوراخ در سند (منبع:
سازمان اسناد و کتابخانه ملی،
شماره ثبت: ۵۱۰۲)



وقوع (یا عدم وقوع) خوردگی مرکب به ترکیب شیمیایی مرکب، مقدار مرکبی که اعمال می‌شود، ضخامت و میزان آهار در کاغذ تکیه گاه بستگی دارد (Reißland and Hofenk, 2001; De Graaff, 2001). علاوه بر آن، شرایط محیطی (نظیر دما، رطوبت، نور و آلاینده‌های جوی) که مربوط به مکان ذخیره‌سازی و نگهداری اشیاء هستند در سرعت خوردگی مرکب مؤثر است (Sivakova et al., 2008; Camuffo et al., 2010). تحقیقات نشان داده است که پیشرفت قابل مشاهده از خوردگی مرکب، برای تمام کاغذهای مورد بررسی مشابه است. به منظور نشان دادن این فرایند، یک مدل، توسعه داده شده است که مقطع عرضی کاغذ حاوی مرکب آهن مازو را در طول روند پیرسازی نشان می‌دهد، این روند توسط (Reißland and Hofenk De Graaff, 2001, p3) ارائه شده است (شکل ۴). همچنین برای درک بهتر، نمونه‌هایی از آثار دارای خوردگی در کنار آن نمایش داده شده است.

شکل ۴

فرایند خوردگی کاغذ حاوی
مرکب آهن مازو در طول پیرسازی
(Reißland and Hofenk De
Graaff, 2001, p3)



دلایل خوردگی مرکب آهن مازو

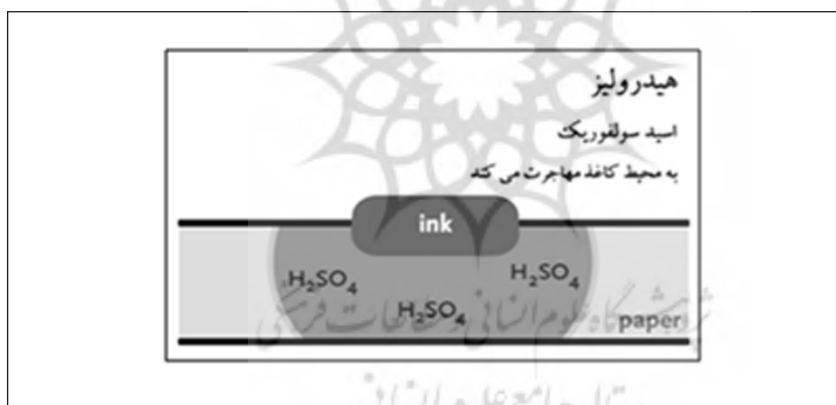
روند طبیعی پیری کاغذ، توسط اجزای مرکب آهن مازو سرعت می‌یابد. با توجه به مطالعات، خوردگی مرکب را می‌توان به دو دلیل اصلی نسبت داد: یا حضور اسیدسولفوریک، که می‌تواند عامل هیدرولیز اسیدی سلولز شود و یا میزان زیاد یون‌های آهن، که ممکن است تخریب اکسیداتیو سلولز را تسریع کند. هر دوی این عوامل می‌تواند به‌طور هم‌زمان و یا به‌طور مستقل از یکدیگر رخ دهد (Kolar and strlic, 2006; Banik, 1997; Lojewska et al., 2005).

هیدرولیز اسیدی سلولز

اسیدسولفوریک موجود در مرکب، بر خلاف اسیدهای آلی فرار، در طول زمان از تکیه‌گاه کاغذی تبخیر نمی‌شود. این ویژگی منجر به تسریع هیدرولیز اسیدی سلولز، و در نتیجه شکست زنجیره پلیمری آن می‌شود (شکل ۵). این فرایند در طول قرن‌ها ادامه می‌یابد، مگر اینکه اسید با مواد افزودنی به کاغذ یا با درمان‌های حفاظتی خنثی شود

(Margutti et al., 2001; Reißland and Hofenk De Graaff, 2001; Kolar and Strlic)

(2006; Arney and Chapdelaine, 1981).



شکل ۵

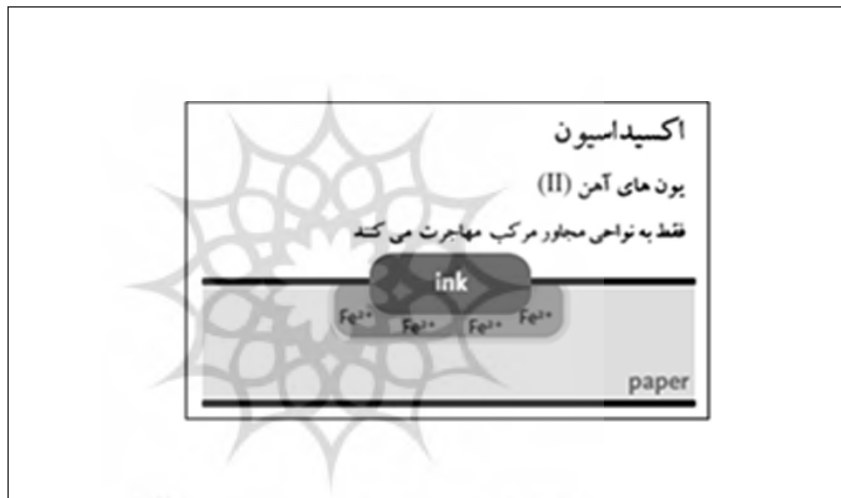
مقطع عرضی از کاغذ با مرکب آهن مازو- هیدرولیز اسیدی
Reißland and Hofenk De
(Graaff, 2001, p1)

در سطح مولکولی، هیدرولیز سلولز منجر به کاهش طول زنجیره و در نتیجه، باعث از دست دادن مقاومت مکانیکی در مقیاس میکروسکوپی می‌شود (Poggi et al., 2011, p274). پس از شکل‌گیری کمپلکس مرکب آهن مازو، اسیدسولفوریک منتشر شده، که این احتمالاً مهم‌ترین منبع اسیدیته مربوط به مرکب آهن مازوست. اجزای دیگر، که گاهی اوقات برای تغییر خواص مرکب اضافه شده است، مانند سرکه و ادرار، همچنین می‌توانند pH مرکب را تحت تأثیر قرار دهد. pH در کاغذهای تاریخی حاوی مرکب آهن مازو به‌طور قابل توجهی

از ۲,۹ تا ۷,۱ متفاوت است (Kolar and Strlic, 2006 p182; Rouchon et al., 2011, p2591).

اکسیداسیون کاتالیستی سلولز

فلزات واسطه، مانند آهن یا مس می‌توانند اکسیداسیون سلولز را کاتالیز کنند که این باعث شکست زنجیره پلیمری سلولز می‌شود و در نتیجه تغییر رنگ، شکنندگی و کاهش مقاومت فیزیکی در کاغذ دیده می‌شود (شکل ۶). یون‌های آهن خورنده در مرکب آهن مازو، منجر به افزایش تخریب کاغذ و باعث افزایش از دست دادن درجه پلیمریزاسیون آن می‌شوند (Csefalvayova et al., 2007, p130; Henniges et al., 2008, p862; Potthast et al., 2008, p851) و بر خواص مکانیکی تأثیر می‌گذارند (Zervos, 2010, p3).



شکل ۶

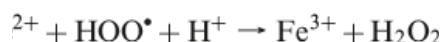
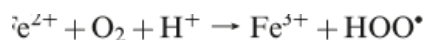
مقطع عرضی از کاغذ با مرکب آهن مازو-اکسیداسیون
Reißland and Hofenk De)
(Graaff, 2001, p1

مرکب آهن مازوی تاریخی، علاوه بر آهن معمولاً حاوی یون‌های فلزی دیگری نیز می‌باشد (Kolar and Strlic, 2006, p182; Kolar et al., 2003, p763). تحقیق پیرامون دستورالعمل‌های تهیه مرکب در قرون وسطی نشان می‌دهد که اکثریت مرکب‌های قدیمی، حاوی مقادیر زیادی سولفات آهن بوده‌اند (Jancovicova et al., 2007, p391; Neevel, 1995, p145). مازاد سولفات آهن به این معناست که مازاد یون‌های Fe^{2+} وجود دارد. این‌ها مضر می‌باشند زیرا به‌عنوان کاتالیست، برای زوال اکسیداتیو سلولز عمل می‌کنند (Margutti et al., 2001, p68; Williams et al., 1997, p39). یون‌های انتقال فلزی معمولاً اکسیداسیون سلولز را از طریق یک مکانیسم رادیکال آزاد شناخته شده به‌عنوان واکنش فنتون^۱ کاتالیز می‌کند (Eusman and) Mensch, 2000, p117; Poggi et al., 2010). فنتون^۱ کاتالیز می‌کند (Poggi et al., 2010, p68) که شامل یون‌های آهن (در

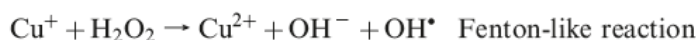
1. Fenton

حضور مس، واکنش، واکنش شبه فنتون^۱ نامیده می شود) و پراکسید هیدروژن تشکیل شده در محل، طبق روابط زیر است:

(۱) تشکیل پراکسیدها در محیط اسیدی



(۲) تجزیه پراکسیدها توسط یونهای انتقال فلزی



این فرایندها می توانند فرسایش شدید کاغذ، مانند سوراخ شدن مناطق حاوی مرکب یا از دست رفتن کلی خواص مکانیکی معمول کاغذ (یعنی الاستیسیته و مقاومت کششی) را سبب شوند (Poggi et al., 2010, p19084).

مرکب آهن مازو: روش های درمان خوردگی

حضور اسیدسولفوریک در مرکب، منجر به هیدرولیز اسیدی سلولز کاغذ و شکست زنجیره پلیمری می شود. بر اساس این فرضیه، درمان و حفاظت برای اولین بار بر اسیدزدایی از اشیای آسیب دیده تکیه می کرد (Sistach, 1996; Barry and Fields, 2000). با این حال، این کار برای کاهش فرایندهای خوردگی کافی نیست. در بسیاری از اسناد مشاهده شده که حتی پس از اسیدزدایی، کاغذ قهوه ای و شکننده شده است و این به عنوان یک نتیجه از خوردگی مرکب می باشد؛ پس از آن شکنندگی کاغذ افزایش می یابد و منجر به تخریب کامل کاغذ تکیه گاه در پایان فرایند می شود. هنگامی که دانشمندان کشف کردند هیدرولیز اسیدی سلولز، نمی تواند تنها دلیل برای تخریب کاغذ باشد، نقش فلزات واسطه بررسی شد. پس از کشف نقش آهن در فرایندهای خوردگی مرکب، مشخص شد که درمان حفاظت مؤثر، نباید تنها شامل مرحله اسیدزدایی باشد بلکه همچنین باید شامل غیرفعال کردن یونهای آهن پیوند داده نشده باشد (Bulska and Wagner, 2004). چند امکان مختلف برای دستیابی به این منظور توسط (Neevel and Reissland, 1997a, 1997b) پیشنهاد شد. یونهای آهن یا می تواند ۱. به کمپلکس بسیار پایدار توسط عوامل کی لیت خاص تبدیل شود، که قادر به

1.Fenton-like



جلوگیری از فعالیت کاتالیزوری یون‌های آهن خواهد شد و یا ۲. یکی دیگر از درمان‌های ممکن استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها، مانند لیگنین^۱ است که سریع‌تر از سلولز با رادیکال واکنش می‌دهد. روش‌های به‌کاربرده شده برای حفاظت آثار حاوی مرکب آهن مازو، شامل دو روش فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. روش‌های درمان شیمیایی نیز خود شامل دو روش آبی و غیرآبی می‌باشند. در گذشته، تأکید روش‌های درمان، روی تثبیت فیزیکی آثار بود، در حالی که روش‌های جاری قصد دارند به‌صورت شیمیایی آثار را تثبیت کنند.

روش‌های درمان خوردگی: روش‌های تثبیت فیزیکی

اشباع کردن به‌وسیله زاپون^۲، پرکردن کمبودها با ژلاتین^۳ و فرمالین^۴، فرایند کلودیون آمونیاکی^۵، آسترگیری^۶ و لمینت کردن^۷ به‌وسیله یک لایه استات یا P.V.C و تثبیت به‌وسیله توری ابریشمی^۸ از جمله روش‌هایی است که Reissland تحت عنوان روش‌های اولیه (قدیمی) به آن‌ها اشاره کرده است.

زاپون در استن قابل حل است و یک مایع بی‌رنگ تشکیل می‌دهد که گرانیروی^۹ آن با اضافه کردن حلال (استن) قابل تغییر است. این محلول برای کاغذهای فرسوده، با غوطه‌ورکردن کاغذ در آن، اسپری کردن یا با کشیدن قلم‌مو روی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. قبل از سال ۱۹۰۹ میلادی، موسسه‌ای در برلین در مورد خاصیت شعله‌وری بالای کاغذهایی که به این روش درمان می‌شوند هشدار داد. از این گذشته، به‌کاربردن زاپون روی تکیه‌گاه کاغذی اثرگذار است و موجب گسترش زردشدگی کاغذ می‌شود (Reissland, 1997).

پرکردن کمبودها با ژلاتین و فرمالین، در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم میلادی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش که روش وقت‌گیری است، ابتدا یک کاغذ به‌عنوان تکیه‌گاه به پشت اثر چسبانده می‌شود، سپس نقاط کمبود با لایه نازکی از ژلاتین پر می‌شود تا وقتی که هم‌سطح ضخامت اثر شود. ایراد وارده بر این روش آن است که پرکننده‌های ژلاتینی^{۱۰} در مقابل رطوبت حساس‌اند و در اثر تماس طولانی‌مدت با برگ‌های مجاور، به هم می‌چسبند (Reissland, 1997).

فرایند کلودیون آمونیاکی نیز در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم میلادی به‌کاررفته است و برای اولین بار جهت اسیدزدایی، به‌صورت بخار آمونیاک، قبل از تثبیت مکانیکی آثاری که دچار خوردگی مرکب شده بودند، پیشنهاد شد. سپس این روش به‌منظور تثبیت مکانیکی به‌وسیله کلودیون (نیترا سلولز) به کار رفت. اشکال این روش انقباض شدید و چروک شدن کاغذ بود. استفاده از این روش شباهت زیادی به روش استفاده از

1. Lignin
2. Zapon
3. Gelatine
4. Formalin, Formol
5. Ammonia collodion process
6. Lining
7. Lamination
8. Stabilisation using chiffon silk
9. Viscosity
10. Gelatine-infills



زاپون دارد و از آنجا که کلودیون و زاپون هردو نیترات سلولز هستند، قابلیت اشتعال در این مورد نیز بسیار بالاست. علاوه بر این، اسیدزدایی با آمونیاک اثر پایدار و طولانی مدت ندارد (Reissland, 1997).

تثبیت به وسیله توری ابریشمی روشی است که از سال ۱۹۲۰ میلادی تا ۱۹۶۰ میلادی کاربرد داشته است. اشیایی که به این روش درمان می‌شوند به وسیله الیاف نخی که بیرون از لبه‌ها چسبیده شده، قابل تشخیص هستند. آثاری که به این وسیله درمان شده‌اند به شدت آسیب دیده‌اند، زیرا توری ابریشمی، کاغذ و چسب در تماس شدید هستند و نمی‌توان آثار را بدون جدا شدن قسمتی از اثر، از یکدیگر جدا کرد. به علاوه، بر اثر استفاده از چسب‌های آبی مثل نشاسته برنج یا گندم، آسیب در تمام صفحه گسترش پیدا می‌کند؛ چون یون‌های محلول آهن (II) انتقال پیدا می‌کنند (مهاجرت می‌کنند) و به الیاف توری ابریشمی می‌چسبند (Reissland, 1997). اثرات جانبی منفی این درمان‌ها به شکل رنگ‌رفتگی (تغییر رنگ)، شکنندگی و چین و چروک خود را نشان داده‌اند (Schonbhm et al, 2004).

روش لمینت کردن به وسیله یک لایه استات P.V.C بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ میلادی مورد استفاده بوده است. این روش باید فقط در موارد استثنایی به کار رود، چون روشی است که برگشت‌پذیری^۱ ندارد. اشیایی که تحت این روش درمان شده‌اند امروزه به شدت زرد شده و آسیب دیده‌اند. دلیل زردشدگی این است که اسید استیک یا هیدروکلریک، از مواد به کار رفته در آن خارج شده یا اینکه مواد نرم‌کننده آن جابه‌جا شده‌اند (Reissland, 1997).

درمان نسخ خطی به وسیله شکافتن کاغذ و قراردادن یک لایه محکم و باثبات بین دو لایه کاغذ، تکنیکی است که در آلمان شروع شد و بسیار مورد استفاده قرار گرفت. این روش یکی از معدود درمان‌هایی است که علاوه بر خارج کردن مقادری آهن و اسید، کاغذهای شکننده و ترد آسیب‌دیده توسط مرکب را به طور مؤثر تقویت می‌کند. این روش قابلیت آن را دارد که به صورت کاملاً ماشینی انجام شود (Van Gulik, 1997). البته لازم به ذکر می‌باشد که Van Gulik در مطالعات خود (۱۹۹۷) روش شکافتن کاغذ را جزء روش‌های جاری محسوب کرده است و آن را در گروه روش‌های شیمیایی قرار می‌دهد اما Junior و Reifland در مطالعات خود (۲۰۰۳) این روش را به عنوان تثبیت فیزیکی محسوب می‌کنند.

1. Reversibility
2. Splitting

روش‌های درمان خوردگی: روش‌های تثبیت شیمیایی آبی

موارد به‌کاررفته در درمان خوردگی مرکب آهن مازو به روش شیمیایی آبی، شامل اسیدزدایی، استفاده از آب جوش و استفاده از مواد آنتی‌اکسیدان و کی‌لیت‌کننده می‌باشد. در بسیاری موارد، برای جلوگیری از خوردگی مرکب از روش‌های اسیدزدایی استفاده می‌شود. (Sistach, 1990) هیدروکسید کلسیم، بی‌کربنات کلسیم و بی‌کربنات منیزیم جزء عوامل اسیدزدایی آبی به‌شمار می‌روند. هنگامی که یک شیء کاغذی خورده‌شده توسط مرکب آهن مازو، در محلول اسیدزدایی آبی غوطه‌ور شود، دچار تنش می‌شود و این تنش منجر به ترک خوردگی و از دست دادن بخش‌هایی از مرکب می‌شود. این پدیده به علت این واقعیت است که در ناحیه مرکب، تخریب اکسیداتیو سلولز، غالب و باعث آب‌گریزی کاغذ می‌شود و در مناطق هم‌جوار (بدون مرکب)، که در آن تخریب هیدرولیتیک غالب است، کاغذ آب‌دوست‌تر می‌شود. جذب آب توسط کاغذ در درمان آبی اسیدزدایی، باعث می‌شود که مناطق آب‌دوست متورم شود در حالی که مناطق آب‌گریز به‌راحتی آب جذب نمی‌کند و متورم نمی‌شود. این باعث به وجود آمدن استرس مکانیکی می‌شود و ممکن است به پارگی کاغذ منجر شود (Stefanis and Panayiotou, 2010). تحقیقات نشان داده است که ترکیبات منیزیم‌دار باعث زردشدن کاغذ و قهوه‌ای شدن مرکب می‌شود و این می‌تواند به دلیل بالا رفتن pH تحت تأثیر ترکیبات منیزیم باشد (Van Gulik, 1997).

نسخ خطی آسیب‌دیده به‌وسیله مرکب آهن مازو، می‌تواند به‌صورت حفاظت‌شده در یک حفاظ هالیتکس^۱ در آب جوش غوطه‌ور شود (Biggs, 1997). طی این فرآیند میزان زیادی (۵۰-۱۰۰ درصد) از یون‌های مخرب و اسیدها از روی کاغذ برداشته می‌شود (Eusman, 2000 and 2002; Van, Gulik 1997). کاغذهای کهنه بعد از درمان خیلی قوی‌تر و انعطاف‌پذیرتر می‌شوند (Reißland and de Groot 1999; Biggs, 1997)، هرچند ممکن است برخی از کاغذها در حین درمان چروک شوند که احتمالاً به نوع کاغذ و روش خشک کردن آن مربوط است. در بین بسیاری از درمان‌های سنتی کاغذ، آب جوش به‌عنوان درمانی برای اسناد حاوی مرکب آهن مازوی خورده‌شده، برای بیش از ۳۰ سال استفاده شده است (Tse et al., 2005).

در طول سال‌های گذشته تحقیقات بسیاری بر روی پایدارسازی مرکب آهن مازو با استفاده از مواد آنتی‌اکسیدان و کی‌لیت‌کننده صورت گرفته است که به آن‌ها اشاره می‌شود: - فیتات کلسیم: مؤثرترین روش ثابت تا به امروز، درمان فیتات کلسیم است و شامل ثابت مرکب به وسیله محلول آبی از عامل کمپلکس آهن - فیتات (myo-inositol hexaphosphate) و پس از آن افزودن مواد قلیایی با استفاده از محلول آبی بی‌کربنات کلسیم

1. Hollytex



است (Neevel, 1995, p143). این ترکیب یک بازدارندهٔ اکسیداسیون است که یون‌های فلزی را جذب می‌کند. بنابراین، قدرت اسیدی به‌وسیلهٔ بی‌کربنات کلسیم که یک بافر قلیایی می‌سازد، خنثی می‌شود. کلسیم فیتات بر روی یون‌های محلول در آب آهن (II) و یون آهن (III) نامحلول در آب تأثیر می‌گذارد و با آن کمپلکس می‌دهد (Neevel, 1995).

- محلول‌های آبی بی‌کربنات کلسیم، فیتات کلسیم و آمونیاک و تری‌هالوز: بی‌کربنات کلسیم یک عامل اسیدزدایی می‌باشد و فیتات آمونیاک و کلسیم به‌عنوان عوامل کی‌لیت روی یون‌های Fe^{2+} عمل می‌کند درحالی‌که تری‌هالوز به‌عنوان یک تثبیت‌کننده یا یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند (Zappalà et al, 2001). ترکیب این درمان‌های مختلف می‌تواند مسئلهٔ هیدرولیز اسید و اکسیداسیون سلولز را حل کند. همچنین بیان‌شده است که این نوع درمان نیازمند تحقیقات بیشتری به‌خصوص بر روی دست‌نوشته‌های تاریخی می‌باشد (Zappala and Stefani, 2005).

- فیتات منیزیم: فیتات منیزیم هم روشی مؤثر در خوردگی مرکب است درحالی‌که مزایای دیگری نسبت به فیتات کلسیم دارد. از آنجایی‌که فیتات منیزیم در مقایسه با فیتات کلسیم قدرت حل‌شدن بیشتری دارد، نیاز به اضافه‌کردن محلول آبی آمونیاک نیست. هم‌چنین به‌منظور تأثیرپذیری بیشتر این روش، نیاز است تا pH، در حدود ۵٫۸-۶٫۰ تنظیم شود (Kolar et al, 2007).

- فیتات کلسیم / کربنات هیدروژن آ و آهار ژلاتین: درمان فیتات، در برقراری ثبات در مرکب‌های نامتعادل (شامل یون‌های آهن و مس) بسیار مؤثر است. درمان فیتات باعث ثبات بسیار زیاد سلولز می‌شود (Potthast et al, 2008) و آهار با ژلاتین، نه‌تنها منجر به تثبیت مکانیکی می‌شود، بلکه ممکن است باعث تثبیت شیمیایی کاغذهای نوشته‌شده با مرکب آهن‌مازو بشود. ژلاتین دارای ظرفیت قابل‌توجهی جهت اصلاح یون‌های آهن موجود در مرکب آهن‌مازوی غیرمتوازن می‌باشد، لذا آن‌ها را غیرفعال می‌سازد (Kolbe, 2004).

گزارش شده است که پروتئین‌ها دارای ظرفیت اتصال کاتیون هستند که ظاهراً باید به بی‌حرکت کردن یون‌های فلزی و حفظ آن‌ها در برابر واکنش کمک کند (Barrett and Mosier, 1995; Kolbe, 2004). سایر عوامل آهار مورد استفاده در حفظ و نگهداری کاغذ، نظیر اترهای سلولز یا خمیر نشاسته دارای خواصی این‌چنینی نمی‌باشند، لذا عامل آهار سنتی یعنی چسب حیوانی یا ژلاتین به‌عنوان عامل آهار مجدد، برای دست‌نوشته‌های مرکب آهن‌مازوی توصیه می‌شود (Kolbe, 2004).

- TPEN: پتانسیل استفاده از کی‌لیت‌کنندهٔ TPEN برای جلوگیری از خوردگی کاغذ، ناشی از استفاده از (کاربرد) مرکب آهن‌مازو، موردبررسی قرار گرفته است. TPEN ایجاد

1. trehalose
2. calcium phytate/hydrogen carbonate
3. N,N,N',N'-Tetrakis(2-pyridylmethyl)ethylenediamine



محلول کهربایی رنگ در آب می‌کند و هنگامی که نمونه کاغذ مرکبی در آن غوطه‌ور شود، تغییر رنگ می‌دهد، اما ثابت شده است که کمپلکس آب-محلول فروس-TPEN می‌تواند به آسانی شسته و از کاغذ خارج شود. درمان با TPEN، با اسیدزدا یا بدون آن، نتایجی معادل فیتات کلسیم و اسیدزدا نسبت به خواص بصری و مقاومت مکانیکی تولید می‌کند. (Cude, 2010)

- آنتی‌اکسیدان‌های EDTA^۱، DTPA^۲، desferal^۳ و citrate:

Strlic و همکارانش (۲۰۰۱) به بررسی تأثیر آنتی‌اکسیدانی EDTA، DTPA، desferal و citrate پرداخته و بیان داشته‌اند که ترکیبات کی‌لیت‌کننده موردنظر دارای یک تأثیر آنتی‌اکسیدانی در ۲۰ درجه سانتی‌گراد، در سیستم‌های آبی و در pH مطالعه‌شده (8-6.5 pH) هستند و DTPA و desferal به منظور افزایش تأثیر، مثبت می‌باشند؛ در حالی که EDTA دارای یک تأثیر منفی بر ثبات کاغذ می‌باشد (Porck and Castelijns, 1991). تحقیقات نشان داده است که DTPA، احتمالاً مانع از زوال کاغذ حاوی مرکب آهن مازو می‌شود (Wagner and Bul- ska, 2001; Bulska et al., 2003). این ماده دارای خواص آنتی‌اکسیداتیو در محلول‌های آبی و در دمای اتاق می‌باشد که البته تأثیر تثبیت آن، ممکن است منجر به حذف جزئی فلزات واسطه خورنده، از کاغذ شود (Strlic, et al., 2001).

روش‌های درمان خوردگی: روش‌های تثبیت شیمیایی غیرآبی

روش‌های به‌کاررفته شیمیایی غیرآبی، در درمان خوردگی مرکب آهن مازو، شامل اسیدزدایی و استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد. اسیدزدایی از جمله روش‌هایی است که هم به صورت آبی و هم غیرآبی کاربرد داشته است. از جمله روش‌های اسیدزدایی غیرآبی می‌توان از هیدروکسید باریوم در متانول، اکسید منیزیم (Bookkeeper)، اتوکسید منیزیم تیتانیوم (Battelle)^۴، متوکسی منیزیم متیل کربنات^۵، اتوکسی منیزیم اتیل کربنات^۶، منیزیم متیل کربنات^۷ و منیزیم اتیل کربنات^۸ (Wei T^۳O) نام برد (Van Gulik, 1997). فناوری اسیدزدایی غیرآبی Bookkeeper در سال ۱۹۹۵ در کتابخانه کنگره معرفی شد و از سال ۱۹۹۷ برای نسخه‌های خطی مرکب آهن مازویی انتخابی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش ذرات اکسید منیزیم در اندازه میکرو و زیر میکرو در حلال‌های فلئوئوردار پراکنده‌اند. هرچند که روش Bookkeeper به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود، دارای برخی از اشکالاتی است که نیاز است تأکید شود: استفاده از Bookkeeper ممکن است هنگامی که تخلخل کاغذ کم است یک نور سفید در سطح سند تولید کند، ذرات MgO، گاهی اوقات،

1. Diethylene triamine pentaacetate
2. Ethylene
3. desferrioxamine methanesulphonate diamine tetraacetate
4. magnesium titanium ethoxide
5. Methoxy magnesium methyl carbonate
6. Ethoxy magnesium ethyl carbonate
7. Magnesium methyl carbonate
8. Magnesium ethyl carbonate



به اندازه کافی کوچک نیستند که به طور کامل در داخل کاغذ نفوذ کنند (Buchanan et al., 1994; Wagner et al., 2008)؛ علاوه بر این، اثرات درازمدت سورفاکتانت‌های فلئوئوردار مورد استفاده برای تثبیت پراکندگی اکسید منیزیم، هنوز شناخته نشده‌اند (Zumbuhl et al., 2001). با وجود این موانع، Bookkeeper احتمالاً یکی از بهترین درمان‌های اسیدزدایی غیرآبی در دسترس است (Morenus, 2003).

در چند سال گذشته، نتایج بسیار خوبی در خنثی کردن اسیدیته و ایجاد ذخیره قلیایی در مواد سلولزی، با استفاده از نانوذرات هیدروکسید منیزیم و کلسیم به دست آمده است. این روش‌ها با موفقیت برای چوب و کاغذ استفاده شده‌اند، به عنوان مثال، کشتی جنگی (Vasa Giorgi, Chelazzi et al., 2005)، ارگ کلیسا (Giorgi et al., 2009) و برای کاغذ و بوم (Giorgi, Bozzi et al., 2005). مطالعات انجام شده (Sequeira et al., 2006; Stefanis et al., 2008; Stefanis et al., 2007) تأیید کرد که دیسپرسیون الکلی نانو ذرات هیدروکسید کلسیم و منیزیم می‌تواند با موفقیت برای کاغذ و بوم استفاده شود.

استفاده از مواد دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی نیز از جمله مواردی می‌باشد که در روش‌های درمانی شیمیایی غیرآبی کاربرد داشته‌اند. از جمله آنتی‌اکسیدان‌های به کار رفته در روش‌های درمان غیرآبی شیمیایی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

برومید سدیم: زوال اکسیداتیو کاغذ زمانی کاهش می‌یابد که آنتی‌اکسیدان برومید سدیم که می‌تواند در حلال آلی حل شود، اعمال گردد. برومید سدیم به عنوان آنتی‌اکسیدان با پروکساید محصول زوال کاغذ واکنش نشان می‌دهد، لذا مانع از تولید رادیکال‌های به شدت تهاجمی و تثبیت زوال کاتالیز شده به وسیله فلز واسطه موجود در مرکب می‌شود (Kolar and Strlic, 2003).

دید پتاسیم: دید به عنوان بازدارنده اکسیداسیون سلولز شناخته می‌شود (Kolar, 1997). نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که سیستم تثبیت APTES/KI دارای تأثیری مثبت برای کاغذ پنبه‌ای غیر مرکبی و کاغذ اوکالپتوس در رویه حفظ و نگهداری می‌باشد، اما در مورد کاغذهای مرکبی این نتیجه حاصل نشده است (Sivakova et al., 2009).

TBAB^۲: درمان با TBAB که روشی غیرآبی است در حفاظت از مرکب‌های آهن‌مازو مؤثر و بهترین نتیجه برای درمان‌های غیرآبی است. TBAB عملکرد مناسبی برای مرکب‌های حاوی آهن دارد و علاوه بر آن، برای مرکب‌های فلزی مخلوط (دارای عناصر فلزی دیگر) نیز مؤثر می‌باشد (Crystal Maitland Queen's University, 2007). این بسیار مهم است که آنتی‌اکسیدانی که برای تثبیت مرکب آهن‌مازو استفاده می‌شوند، دارای یک واکنش تثبیت قوی در حضور هر دو یون آهن و مس باشند، که برای TBAB ثابت شده است (Malesic et al. 2005, 2006).

1. KI
2. aminopropyltriethoxysilane
3. tetra-butyl ammonium bromide

BHT: روش اسیدزدایی با متوکسی‌مینیزیم‌متیل‌کربنات و همچنین استفاده از آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT برای تثبیت نمونه‌های کاغذی حاوی مرکب آهن مازو استفاده شده است و این نتیجه به دست آمده است که نمونه‌های اسیدزدایی شده، ثبات بهتری نسبت به نمونه‌های شاهد (اسیدزدایی نشده) داشته‌اند و نمونه‌هایی که در درمان آن‌ها هم از آنتی‌اکسیدان استفاده شده و هم اسیدزدایی شده است، ثبات بهتری را نشان می‌دهند (Hav- linova et al., 2010).

از دیگر روش‌های درمانی مؤثر در حفاظت آثار کاغذی حاوی مرکب آهن مازو، interleaving (میان برگ گذاری) می‌باشد. تکنیک Interleaving شامل قراردادن سند در تماس با کاغذ آغشته با ترکیبات فعال می‌باشد. آن‌ها (این گروه) سپس فشرده و در رطوبت نسبی بالا، برای چند روز نگهداری می‌شوند. این میزان از رطوبت مهاجرت ترکیبات فعال Interleaves به سند را افزایش می‌دهد، در نتیجه به درمان کاغذ دست می‌یابیم (Rouchon et al., 2013). رطوبت نسبی به کاررفته در این روند باید حداقل ۷۵٪ و فشار اعمال شده حداقل ۰٫۱ psi باشد، در حالی که بهترین نتایج با رطوبت نسبی ۹۷٪ و فشار بالای ۰٫۵ psi به دست می‌آید. این روش ابتدا برای اسیدزدایی اسناد چاپی پیشنهاد شد (Page et al., 1995). از جمله ترکیبات فعال به کاررفته در این روش می‌توان به ترکیبی از CaCO_3 و TBAB (Vinter Hansen, 2005) و CaCO_3 (Malesic et al., 2005, 2006) اشاره نمود.

نتیجه

مرکب آهن مازو از مرکب‌های به کاررفته در گذشته می‌باشد و آثار بسیاری با این مرکب نگارش یا طراحی شده‌اند. مازو، زاج، صمغ عربی و آب چهار مؤلفه اصلی در شکل‌گیری این مرکب هستند که میزان هر کدام از آن‌ها در دستورالعمل‌های مختلف ساخت مرکب با یکدیگر متفاوت می‌باشند. خوردگی مرکب آهن مازو یکی از معضلات بزرگ ایجاد شده در آثار نگارش شده با آن می‌باشد و چالش مهمی را پیش روی حفاظت‌گران کاغذ قرار داده است. اکسیداسیون فلز کاتالیست و هیدرولیز اسیدی دو علت اصلی تخریب آثار نگارش شده با مرکب آهن مازو می‌باشند که می‌تواند به طور هم‌زمان و یا به طور مستقل از یکدیگر رخ دهد. کنترل و یا توقف فرایند خوردگی آثار نگارش شده با این مرکب، امری مهم در حفاظت آن‌ها می‌باشد. بررسی شیوه‌های حفاظتی گذشته و تمرکز روی آن‌ها، راهی است که مرمترگان می‌توانند آسیب‌های ناشی از اقدامات حفاظتی قبلی را مشخص کنند و در جهت انتخاب روش مناسب گام بردارند. دو روش فیزیکی و شیمیایی برای حفاظت آثار حاوی مرکب آهن مازو به کاررفته‌اند. روش‌های فیزیکی، ثبات فیزیکی اثر را

در جهت بهبود ظاهر کلی آن ارتقا می دهند و تأثیری در توقف یا کنترل خوردگی ندارند ولی روش های شیمیایی، با کنترل عوامل مؤثر در خوردگی مرکب، حفاظت طولانی مدت آثار را در حین عملیات درمان مدنظر قرار می دهد. هرکدام از روش های استفاده شده دارای مزایای و معایب خاص خود است و هیچ کدام به طور کامل، تضمین کننده حفاظت از مرکب در طولانی مدت نمی باشد.

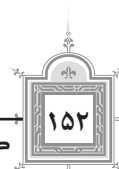
منبع

کتاب ها و مقاله ها

- اوروف، ئی بی؛ آیزاکس، آلن (۱۳۷۲). *فرهنگ علم*. (ابوالقاسم علم سیاه، احمد بیرشک، قاسم خدادادی و محمود بهزاد، مترجمان). تهران: مازیار.
- پلندرلیت، هارولد. ج؛ ورنر ای. (۱۳۸۲). *حفاظت، نگهداری و مرمت آثار هنری و تاریخی: درمان، بازسازی و مرمت*. (رسول وطن دوست، مترجم). تهران: دانشگاه هنر.
- پورتر، ایو (۱۳۷۹). «ترجمه فارسی رساله عمده الکتاب» ابن بادیس صنهاجی». (ع روح بخشیان، مترجم). *نامه بهارستان*، (۲)، صص ۱۹-۳۰.
- پورتر، ایو (۱۳۸۹). *آداب و فنون نقاشی و کتاب آرایی*. (زینب رجیبی، مترجم). تهران: متن.
- دهخدا، علی اکبر (۱۳۷۷). *لغت نامه* (جلد ۱۳) (ج ۲). تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- فلور، ویلم ام. (۱۳۹۱). *اوزان و مقیاس ها در عصر قاجار*. (مصطفی نامداری منفرد، مترجم) تهران: آبادبوم.
- قلیچ خانی، حمیدرضا (۱۳۷۳). *رسالاتی در خوشنویسی و هنرهای وابسته*. تهران: روزنه.
- لیه ناردی، آن؛ وان دام، فیلیپ (۱۳۷۶). *راهنمای حفاظت نگهداری و مرمت کاغذ*. (ابوالحسن سروقد مقدم، مترجم). مشهد: بنیاد پژوهش های اسلامی.
- مایل هروی، نجیب (۱۳۷۲). *کتاب آرایی در تمدن اسلامی: مجموعه رسائل در زمینه خوشنویسی، مرکب سازی، کاغذگری، تذهیب و تجلید*. بانضمام فرهنگ وازگان نظام کتاب آرایی. مشهد: آستان قدس رضوی، بنیاد پژوهش های اسلامی.

منابع لاتین

- Arney, J. S.; Chapdelaine, A. H. (1981). *A kinetic study of the influence of acidity on the accelerated aging of paper*. Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value 2, ed. J. C. William.
- Advances in Chemistry Series 193. *Washington: American Chemical Society* 1981: pp 189-204.
- Banik, G. (1997). *Decay caused by iron-gall inks*. European Workshop on Iron-gall Ink



- Corrosion, ed. H. van der Windt. Rotterdam 1997: 21–26.
- Banik, G., Mairinger, F & Stachelberger, H. (1981) *Restaurator*, 1-2 :pp71-93.
- Barrett, T., & Mosier, C. (1995). The role of gelatine in paper permanence. *JAIC*, 34(3),173- 186.
- Barry, C.; Fields, J.(2000). in: A.J.E. Brown (Ed.), “The Iron Gall Ink Meeting”. *Post-prints*, Newcastle, 4-5 September, 2000, 83-88.
- Bicchieri, M., MontiM M., Piantanida, G., & Sodo, A.(2013). “Non destructive spectroscopic investigation on historic Yemenite scriptorial fragments: evidence of different degradation and recipes for iron tannic inks”. *Anal Bioanal Chem*, 405, pp 2713–2721.
- Biggs, J.L.(1997). “Controversial Treatment Options applied to the Conservation of a Sketchbook in Iron Gall Ink by George Romney”. The Institute of Paperconservation; Fourth International Conference, London.
- Buchanan, S., Bennett, W., Domach, M. M., Melnick, S. M., Tancin, C., Whitmore, P. M., Harris, K. E., & Shanani, C.(1994). “An evaluation of the Bookkeeper mass deacidification process: Technical evaluation team report for the Preservation Directorate”. Library of Congress.
Retrieved:September,05,2013 from: <http://www.loc.gov/preserv/deacid/bkkphome.html>.
- Bulska, E., Wagner, B.(2004). “A study of ancient manuscripts exposed to iron-gall ink corrosion”. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 42, pp 755788.
- Bulska, E., Wagner, B., & Sawicki, M.G.(2001). “Investigation of Complexation and Solid+liquid Extraction of Iron from Paper by UV/VIS and Atomic Absorption Spectrometry”. *Mikrochim. Acta*,136, pp 61-66.
- Carne, S.M., Gibert, J.M., & Areal, R.(1999). “Ageing of Laboratory Irongall Inks Studied by Reflectance Spectrometry”. *Restaurator*, 20, pp151-166.
- Carvalho, D. (2007). Forty Centuries of Ink, Echo library. Retrieved March 05, 2014 from <http://manybooks.net/titles/carvalhoetext9840cnk10.html>
- Camuffo, D., Fassina, V., & Havermans, J. (Eds.) (2010). Basic environmental mechanisms affecting cultural heritage: Understanding deterioration mechanisms for conservation purposes. Firenze, Italy: Nardini Editore.
- Chiavari, G., Montalbani, S., Prati, S., Keheyani, Y., Baroni, S.(2007). “Application of



- analytical pyrolysis for the characterisation of old inks. J. Anal. *Appl. Pyrolysis*, 80, pp 400–405.
- Crystal Maitland Queen's University.(2007). "Where Archival and Fine Art Conservation Meet: Applying Iron Gall Ink Antioxidant and Deacidification Treatments to Corrosive Copper Watercolours". Retrieved October,20,2014 from http://cool.conservation-us.org/anagpic/2007pdf/2007ANAGPIC_Maitland.pdf.
- Csefalvayova, L., Havlinova, B., Ceppan, M., & Jakubikova, Z. (2007). The Influence of Iron Gall Ink on Paper Ageing. *Restaurator*, 28: 129-139.
- Cude, A.(2010). TPEN: A Treatment for Iron Gall Ink. Art History and Art Conservation Queen's. Retrieved August 01, 2015 from <http://www.queensu.ca/art/artconservation/research/projectsMAC/AlisonCude.pdf>
- Daniels, V.(2000). The chemistry of iron gall ink. in: A.J.E. Brown (Ed.), The Iron Gall Ink Meeting, Newcastle, United Kingdom 4-5 September, 31-35.
- Dorning, D.(2000). Iron Gall inks: variations on a theme that can be both ironic and galling. in: A.J.E. Brown (Ed.), The Iron Gall Ink Meeting. Postprints, Newcastle, 4-5 September, The University of Northumbria, 7-11.
- Eusman, E.(1998). "Iron gall ink – History". Retrieved January 11, 2014 from http://irongallink.org/igi_index8a92.html
- Eusman, E. (2002) Aqueous Treatment Effects on Iron Gall Ink: the Significance of Iron Migration," in: The Broad,Spectrum: Studies in the Materials, Techniques and Conservation of Color on Paper, edited by Harriet K. Stratis and Britt Salvesen (London: Archetype Publications. 122-127.
- Eusman, E. (2000). Ink on the Run - Measuring Migration of Iron in Iron Gall Ink. in: The Postprints of the Iron Gall Ink Meeting, First Triennial Conservation Conference.
- Giorgi, R., Bozzi, C., Dei, L., Gabbiani, C., Ninham, B. W., & Baglioni, P.(2005). " Nanoparticles of Mg(OH)₂: Synthesis and application to paper conservation". *Langmuir*, 21, pp 8495–8501.
- Giorgi, R., Chelazzi, D., & Baglioni, P.(2005). "Nanoparticles of calcium hydroxide for wood conservation. The deacidification of the Vasa warship". *Langmuir*, 21, pp 10743–10748.
- Giorgi, R., Chelazzi, D., Fratini, E., Langer, S., Niklasson, A., Rademar, M., Svesson,

- J.-E., & Baglioni, P.(2009). "Nanoparticles of calcium hydroxide for wood deacidification: Decreasing the emissions of organic acid vapors in church organ environments". *Journal of Cultural Heritage*, 10, pp 206-213.
- Havlinova, B., Jancovicova, V., Paulusova, H & Durovic, M.(2010). "Influence of anti-oxidant and neutralization on stability of historical document models with iron-gall inks". *Acta Chimica Slovaca*, Vol.3, No.2, pp 93-109.
- Henniges, U., & Potthast, A.(2008). "Phytate treatment of metallo-gallate inks: Investigation of its effectiveness on model and historic paper samples". *Restaurator*, 29, pp 219-234.
- Jancovicova, V., Ceppan, M., Havlinova, B., Rehakova, M., & Jakubikova, Z.(2007). "Interactions in Iron Gall Inks". *Chem. Pap*, 61 (5), pp 391-397.
- Junior, G.P., & Reißland, B.(2003). "A tool to compare alternative courses of action for the conservation of iron-gall ink containing objects". *Restaurator*, (24)3, pp 205-226.
- Kanngieber, B., Hahn, O., Wilke, M., Nekat, B., Malzer, W., & Erko A.(2004). "Investigation Of Oxidation and Migration Processes of Inorganic Compounds In Ink-Corroded Manuscripts". *Spectrochimica acta. Part B: Atomic spectroscopy*, (59) 10-11, pp 1511-1516.
- Kolar, J.(1997). "Mechanism of Autoxidative Degradation of Cellulose". *Restaurator*, 18, pp 163-176.
- Kolar, J., Mozir, A., Strlic, M., de Bruin, G., Pihlar, B., & Steemers, T. (2007). "Stabilisation of Iron Gall Ink: Aqueous Treatment With Magnesium Phytate". *e-PS*, 4, pp 19-24.
- Kolar, J., Strlic, M., Budnar, M., Malesic, J., Selih, V.S., & Simcic, J.(2003). "Stabilisation of corrosive iron gall inks". *Acta Chim Slov*, 50, pp 763-770.
- Kolar, J. & Strlic, M.(2003). Stabilisation of alkaline cellulose with halides and pseudo-halides. In: *WPP Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper*, ed. G. Baudin & al. Bratislava: Slovak University of Technology 2003: 422-423.
- Kolar, J., Strlic, M.(2006). "Ageing and stabilisation of paper containing iron gall ink. In: Kolar J, Strlic M(ed) Iron gall inks: on manufacture, characterisation, degradation and stabilization". National and university library, Ljubljana, pp181-194.
- Kolbe, G.(2004). "Gelatin in Historical Paper Production and as Inhibiting Agent for

- Iron Gall Ink Corrosion on Paper”. *Restaurator*, 25, pp 26-39.
- Krekel, C.(1999). “Chemistry of Historical Iron all Inks: Understanding the Chemistry of Writing Inks Used to Prepare Historical Documents”. *International Journal of Forensic Document Examiners*, 5, pp 54-58.
- Lee, A., Mahon, P.G., & Creagh, D.C.(2006). “Raman analysis of iron gall inks on parchment”. *Vibrational Spectroscopy*, 41, pp 170-175.
- Lojewska, J., Miskowiec, P., Lojewski, T., & Proniewicz, L.M.(2005). “Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach. J”. *Polymer Degradation and Stability*, 88, pp 512-520.
- Malesic, J., Kolar, J., Strlic, M. & Polanc, S.(2005). “The use of halids for stabilization of iron gall ink contaning paper- the pronounced effect of Cation”. *e-Preserv. Sci*. 2005, 2, pp 13-18.
- Malesic, J., Strlic, M., Kolar, J., & Polanc, S.(2006). “The influence of halide and pseudo halide antioxidants in Fenton-like reaction systems”. *Acta Chim Slov*, 53, pp 450-456.
- Margutti, S., Conio, G., Calvini, P., & Pedemonte, E.(2001). “Hydrolytic and oxidative degradation of paper”. *Restaurator*, 22, pp 67-83.
- Mert, E.(2008). “A *Compractiv Study on Chemical Characterization of Different Ink Ingredients Used in Ancient Ornamented Manuscripts*. Master’s thesis”. Middleeast Technical University Science.
- Messner, K., Alberighi, L., Banik, G., Srebotnik, E., & Mairinger, A. (1998). “Comparison of Possible Chemical and Microbial Factors Influencing Paper Decay by Iron-Gall Inks”. Retrieved May 20, 2014 from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-1363-9_60.
- Morenus, L.S.(2003). “In Search of a Remedy: History of Treating Iron-Gall Ink at the Library of Congress”. *The Book and Paper Group Annual*, 22, pp 119-125. Retrieved May 20, 2014 from <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v22/bp22-23.pdf>.
- Neevel, J. G.(1995). Phytate: “A potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron gall Inks”. *Restaurator*, 16, pp 143-160.
- Neevel, J. G., & Reissland, B.(1997a). Iron-Gall Ink Corrosion. Proceedings European Workshop on Iron-Gall Ink Corrosion, Rotterdam, 16-17 June, 1997, 37-46.

- Neevel, J. G., & Reissland, B.(1998). "The Ink Corrosion Project at the Netherlands Institute for Cultural Heritage". *Paper Conservation News*, 85, pp 3-10.
- Neevel, J.G., & Reissland, B.(1997^b). "The Ink Corrosion Project at the Netherlands Institut for Cultural Heritage". in: *Abbey Newsletter*, 21, pp 8993-.
- Page, D,H., Scallan, M.A., Middleton, S.R., & Zou, X. (1995). Method for the deacidification of papers and books. Patent US (ed) Pulp and Paper Research Institute of Canada. Retrieved May 01, 2015 from <http://www.google.tl/patents/US5433827>
- Poggi, G., Giorgi, R., Toccafondi, N., Katur,V., & Baglioni, P.(2010). "Hydroxide Nanoparticles for Deacidification and Concomitant Inhibition of Iron-Gall Ink Corrosion of Paper". *Langmuir*, 26(24), pp 19084-19090
- Poggi, G., Baglioni, P., & Giorgi, R.(2011). "Alkaline Earth Hydroxide Nanoparticles for the Inhibition of Metal Gall Ink Corrosion". *Restaurator*, 32, pp 247-273.
- Potthast, A., Henniges, U., & Banik, G.(2008). "Iron gall ink-induced corrosion of cellulose: aging, degradation and stabilization. Part 1: model paper studies". *Cellulose*, 15(6), pp 849-859.
- Reissland, B.(1997). "Conservation - Early methods 1890-1960". Retrieved May 01, 2014 from http://irongallink.org/igi_indexa86c.html.
- Reißland, B., & de Groot, S.(1999). Ink corrosion: comparison of currently used aqueous treatments for paper objects. Preprint from the 9 th International Congress of IADA, Copenhagen,121-130.
- Reißland, B., & Hofenk de Graaff, J.(2001). Condition Rating of Paper Object With Iron-gallink. Instituut Collectie Nederland, ICN-information No 1, Amsterdam, 1-4.
- Remazeilles, C., Rouchon-Quillet, V., & Bernard, J.(2004). "Influence of Gum Arabic on Iron Gall Ink Corrosion". *Restaurator*, 25, pp 220- 232.
- Rouchon, V., Duranton, M., Burgaud, C., Pellizzi, E., Lave drine, B., Janssens, K., de Nolf, W., Nuyts, G., Vanmeert, F., & Hellemans, K.(2011). "Room-temperature study of iron gall ink impregnated paper degradation under various oxygen and humidity conditions: time dependent monitoring by viscosity and X-ray absorption near-edge spectrometry measurements". *Anal Chem*, 83, pp 2589-2597.
- Rouchon, V., Duranton, M., Belhadj, O., Bastier-Deroches, M., Duplat, V., Walbert, C., & Vinther Hansen B (2013) The use of halide charged interleaves for treatment of

- iron gall ink damaged papers. *Polym Degrad Stab* 89,1339–1347.
- Schonbhm, D., Bluher, A., Banik, G.(2004). “Enzymes in Solvent Conditioned Poultices for the Removal of Starch-based Adhesives from Iron Gall Ink Corroded Manuscripts”. *Restaurator*, 25, pp 267–281.
- Sellink, M. (1998). “Iron gall ink corrosion - the role of collection keepers”. Retrieved May 01, 2014. From: http://irongallink.org/igi_index8601.html.
- Senvaitiene, J., Beganskiene A., & Kareiva, A.(2005). “Spectroscopic evaluation and characterization of different historical writing inks”. *Vibrational Spectroscopy*, 37, pp 61–67.
- Sequeira, S., Casanova, C., & Cabrita, E.(2006). “Deacidification of paper using dispersions of Ca(OH)₂ nanoparticles in isopropanol. Study of efficiency”. *Journal of Cultural Heritage*, 7, pp 264–272.
- Sistach, M.C.(1996). “Structure of Paper Fibres in Ancient Manuscripts: Acidic Decomposition and Deacidification”. *Restaurator*,17, pp 117-129.
- Sistach, M.C.(1990). Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Microanalysis applied to Metallogallic Inks, ICOM Congress, Dresden
- Sivakova, B., Beganskiene, A., & Kareiva, A. (2008). Investigation of damaged paper by ink corrosion. *Materials Science*, 14, 51-54.
- Stefanis, E., & Panayiotou, C.(2010). “Deacidification of Documents Containing Iron Gall Ink with Dispersions of Ca(OH)₂ and Mg(OH)₂ Nanoparticles”. *Restaurator*, 31, pp 19–40.
- Stefanis, E.& Panayiotou, C. (2007). Protection of lignocellulosic and cellulosic paper by deacidification with dispersions of micro- and nano-particles of Ca(OH)₂ and Mg(OH)₂ in alcohols. *Restaurator*,28, 185–200.
- Stefanis, E., & Panayiotou, C. (2008). Study of the photochemical stability of paper deacidified with dispersions of Ca(OH)₂ and Mg(OH)₂ nanoparticles in alcohols. *Restaurator*, 29 ,125-138.
- Stijnman, A.(2006). In: Kolar, J., & Strlic., M, editors. Iron gall inks: on manufacture,characterisation, degradation and stabilisation. National and University Library, 4-20.
- Stratis, H. k., & Salvesen, T.(2002). *The BroadSpectrum: Studies in The Materials, Techniques, and Conservation of Color on Paper*. London: Archetype Publications ltd.

- Tse, S., Hendry, H., Begin, P., Sirois, P.J., & Bedyński, M.(2005). "The Effect of Simmering on the Chemical and Mechanical Properties of Paper". *Restaurator*, 26, pp 14-35.
- van Gulik, R.(1997). "Conservation - Current methods". Retrieved May 01, 2014 from: http://irongallink.org/igi_index55b5.html.
- Van Gulik, R., & Pampiglione, N.E.(1994). "A Closer Look at Iron Gall Ink Burn". *Restaurator*, (15)3, pp 173-187.
- Vinter Hansen, B.(2005). "Improving ageing properties of paper with iron-gall ink by interleaving with papers impregnated with alkaline buffer and antioxidant". *Restaurator*, 26, pp 190-202.
- Wagner, B., Bulska, E., & Sobucki, W.(2008). "Magnesium distribution in paper subjected to deacidification investigated by means of laser ablation inductively coupled plasma mass spectroscopy". *Journal of Cultural Heritage*, 9, pp 60-65.
- Wagner, B., & Bulska, E. (2003). Towards a new conservation method for ancient manuscripts by inactivation of iron via complexation and extraction. *Bioanal. Chem*, 375, 1148-1153.
- Williams, J. C., Fowler C. S., Lyon, M.C., & Merril, T. L.(1977). "Metallic catalysts to the oxidative degradation of paper. Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value, ed. J. C. Williams. Advances in Chemistry Series 164". Washington: *American Chemical Society*, 1977, pp 37-61.
- Zappala, A., Cantoni, C., Palazzi, D., Vitrano, E. & Cordone, L. (2001). Effect of Trehalose Treatment on Paper Stability. Preliminary Experiments. *Restaurator*, 22, 41-50.
- Zappala, A., & Stefani, C.(2005). "Evaluation of the Effectiveness of Stabilization Methods Treatments by Deacidification, Trehalose, Phytates on Iron Gall Inks". *Restaurator*, 26, pp 36-43.
- Zervos, S.(2010). Natural and accelerated ageing of cellulose and paper: A literature review. In: Lejeune, A. and Deprez, T. (eds.) Cellulose: Structure and Properties, Derivatives and Industrial Uses. New York. Nova Publishing.
- Zumbuhl, S., & Wulfert, S.(2001). "Chemical aspects of the Bookkeeper deacidification of cellulosic materials: the influence of surfactants". *Studies in Conservation*, 46, pp 169-180.

