

■ شناسایی لکه‌های فاکسینگ در نسخه شاهنامه موسوم به مندرس

محمدعلی طاهری | کورس سامانیان

چکیده

هدف: لکه‌های قهوه‌ای‌رنگ متمایل به قرمز و زرد در شاهنامه موسوم به مندرس موضوع این پژوهش است. این نسخه در کاخ‌موزه سعدآباد تهران نگهداری می‌شود. هدف این پژوهش شناسایی نوع لکه قهوه‌ای‌رنگ روی کاغذهای شاهنامه مندرس و عوامل مسبب این آسیب است.

روش/ رویکرد پژوهش: در این تحقیق سعی شده است هدف پژوهش با رویکردی اثبات‌گرایانه (positivism) با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی بررسی شود. برای رسیدن به هدف پژوهش از منابع کتابخانه‌ای و آنالیزهای دستگاهی استفاده شده است.

یافته‌ها و نتایج: طیف‌سنجی FTIR-ATR وجود قارچ را در لکه‌ها تأیید کرد؛ همچنین Micro-XRF نیز عناصر آهن و مس را شناسایی کرد. دو عامل قارچ و وجود فلز از مشخصه‌های لکه‌های فاکسینگ هستند. آهار نشاسته و جوهر مازوی به کار رفته در این نسخه از شاهنامه می‌تواند دلیلی بر ایجاد و تسریع لکه‌های فاکسینگ باشد.

کلیدواژه‌ها

شاهنامه مندرس؛ فاکسینگ؛ FTIR-ATR؛ Micro-XRF

مطالعات آرشیوی

فصلنامه گنجینه اسناد: سال بیستم و هفتم، دفتر سوم، (پاییز ۱۳۹۶)، ۹۶-۱۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۲ ■ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۵

شناسایی لکه‌های فاکسینگ در نسخه شاهنامه موسوم به مندرس

محمدعلی طاهری^۱ | کورس سامانیان^۲

۱. مقدمه

کاغذ ساختاری پیچیده و بسیار آب دوستی دارد که دارای خواص موئینه‌ای غیر یکنواخت است. برحسب نوع و روش عمل‌آوری فیبرها و الیاف موجود در کاغذ، مقدار و کیفیت چسب‌ها و مواد کامل‌کننده کاغذ، روش ساخت و خشک کردن کاغذ، دما و محتوای رطوبتی کاغذ، درجات متفاوتی از حساسیت یا مقاومت در برابر حمله میکروارگانیسم‌ها^۳ در کاغذها وجود دارد (قهری، ۱۳۸۸، ص ۳۷). حمله میکروارگانیسم‌ها به کاغذ باعث پوسیدگی، سست شدن، و لکه دار شدن و دگرگونی زیبایی کاغذ می‌شود (قهری، ۱۳۸۸، ص ۱۹). لکه‌های کاغذ گوناگون هستند از جمله: لکه رنگ، لکه موم، لکه چسب، لکه مرکب، و...؛ ولی مهمترین لکه‌ها، لکه‌های قارچی و لکه‌های فاکسینگ لکه‌های قارچی و لکه‌های فاکسینگ^۴ هستند. نسخه خطی شاهنامه موسوم به مندرس - که به دلیل وضعیت آن به این اسم معروف است - ۵۱۲ برگ و ۵۱ نگاره دارد و با شماره ثبت ۲۳۲ در موزه هنرهای تزئینی نگهداری می‌شده و بعد از انحلال این موزه به کاخ موزه سعدآباد تهران منتقل شده است و در حال حاضر نیز در این مکان نگهداری می‌شود (شکل ۱). این نسخه احتمالاً مربوط به مکتب قزوین است (شریف‌زاده، ۱۳۷۵، ص ۱۴۸). در سطح برخی از برگ‌های آن لکه‌های قهوه‌ای متمایل به قرمز و زردی دیده می‌شود که احتمال می‌رود این لکه‌ها از نوع فاکسینگ باشند (شکل ۲). فاکسینگ پدیده‌ای کروماتیکی^۵ در مواد سلولزی است که ترکیبی پیچیده دارد (Bicchieri et al, 2002). لکه‌های فاکسینگ روی کاغذها رنگ قهوه‌ای یا قهوه‌ای متمایل به زرد (rusty stains)^۶ دارد و ظاهر و اندازه آن متغیر است. محققان از سال

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر تهران، رشته مرمت اشیای فرهنگی-تاریخی. (نویسنده مسئول)
mat.taheri9000@gmail.com
۲. استادیار گروه حفاظت و مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر تهران
samanian_k@yahoo.com
3. Microorganism
4. Foxing
5. Chromatic
۶. لکه‌های شبیه زنگ‌زدگی



۱۹۳۰ تا به امروز مطالعات و تحقیقات زیادی روی لکه‌های فاکسینگ انجام داده‌اند. فاکسینگ به‌طور کلی به لکه‌های کوچک نسبتاً گرد قهوه‌ای مایل به قرمز یا زرد رنگ گفته می‌شود که در کاغذ یا دیگر مواد پایه سلولزی دیده می‌شود (Choi, 2007). محققان در مطالعاتی که انجام دادند، هنوز موفق نشده‌اند علت اصلی فاکسینگ را تعیین کنند و در واقع هیچ اصلی قطعی درباره علت ایجاد و نحوه پیشگیری از آن وجود ندارد (Ardelean, et al, 2013). به‌طور کلی این فرضیه درباره لکه‌های فاکسینگ مطرح است: واکنش‌های شیمیایی بین ناخالصی‌های آهن - مثل یون‌های آهن موجود در کاغذ- و اسیدهای آلی رها شده از قارچ علت احتمالی فاکسینگ است (Meynell, et al, 1978; Sylvia Rakotonirainy, et al, 2007). این لکه‌ها معمولاً روی بسترهای گوناگون کاغذ ایجاد می‌شود. درباره منشأ این لکه‌ها در بین محققان اختلاف نظر وجود دارد و هنوز منشأ این لکه‌ها به‌طور دقیق شناخته نشده است (Zotti et al, 2011; Meynell et al, 1978; Chopra, et al, 2013). طبق نظر بیشتر محققان، فلزات و میکروارگانیسم‌ها عوامل اصلی ایجاد فاکسینگ هستند (Choi, 2007). به عقیده بعضی از محققان از جمله میئل (Meynell) و نیوسام (Newsam) رابطه مستقیمی میان میکروارگانیسم‌ها و فاکسینگ وجود دارد (لیه‌ناردی و وان دم، ۱۳۷۹، صص ۱۰۳ و ۱۰۴). از طرفی Florian نیز در تحقیقات خود - در سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۸۲ میلادی - به این نتیجه رسیده است که قارچ‌های مونوفیلتیک عامل لکه‌های قارچی هستند (Florian and Manning, 2000). همچنین به عقیده بکویت (Bechwith) وجود ذرات آهن در ایجاد لکه‌های فاکسینگ نقش تعیین کننده دارد (Ardelean et al, 2013). در ژاپن به فاکسینگ Hoshi گفته می‌شود. تولید اسناد و کاغذ در ژاپن با روش‌های سنتی و متفاوت با غرب انجام می‌شود. آن‌ها نیز به این نتیجه رسیده‌اند که آهن تنها عامل ایجاد فاکسینگ نیست. در سال ۱۹۸۴ Hideo Arai از میکروسکوپ الکترونی روبشی برای شناسایی لکه‌های فاکسینگ استفاده کرد و قارچ‌های *Aspergillus Glaucus* و *Aspergillus Restrictus* را عامل لکه‌های فاکسینگ اعلام کرد (Ardelean et al, 2013). لکه‌های فاکسینگ بعد از دوره اصلی پیرشدن طبیعی روی کاغذ به وجود می‌آیند و مشکلی جدی محسوب می‌شوند؛ چون به‌مرور زمان به دیگر صفحات هم منتقل می‌شوند (Ardelean et al, 2013). بررسی لکه‌های فاکسینگ اهمیت دارد؛ چون این لکه‌ها ساختار کاغذ را هیدرولیز^۱ می‌کنند و طی آن دی‌پلیمریزاسیون^۲ الیاف سلولزی اتفاق می‌افتد (Piantanida, et al, 2006) و به‌مرور زمان این لکه‌ها افزایش می‌یابند و موجب آسیب به اسناد و آثار کاغذی می‌شوند.

با توجه به نظر محققان و آنچه درباره ظاهر لکه‌های فاکسینگ بیان شده است، به احتمال زیاد لکه‌های ایجاد شده روی شاهنامه مندرس لکه‌های فاکسینگ هستند؛ بنابراین لازم است تا آنالیزهایی برای شناسایی این لکه‌ها و عوامل ایجاد این آسیب انجام شود؛

1. Hydrolysis
2. Depolymerization



بنابراین هدف از این تحقیق شناسایی نوع لکه قهوه‌ای رنگ روی کاغذهای شاهنامه مندرس و عوامل ایجاد این آسیب است.

۲. مواد و روش‌ها

در این بخش از تحقیق شاهنامه مندرس به‌عنوان اثری هنری-تاریخی معرفی می‌شود، سپس برای نمونه چند لکه رنگی بررسی می‌شوند و در ادامه روش‌های شناسایی این لکه‌ها به‌طور دقیق معرفی می‌شوند.

۲.۱. معرفی نسخه شاهنامه موسوم به مندرس

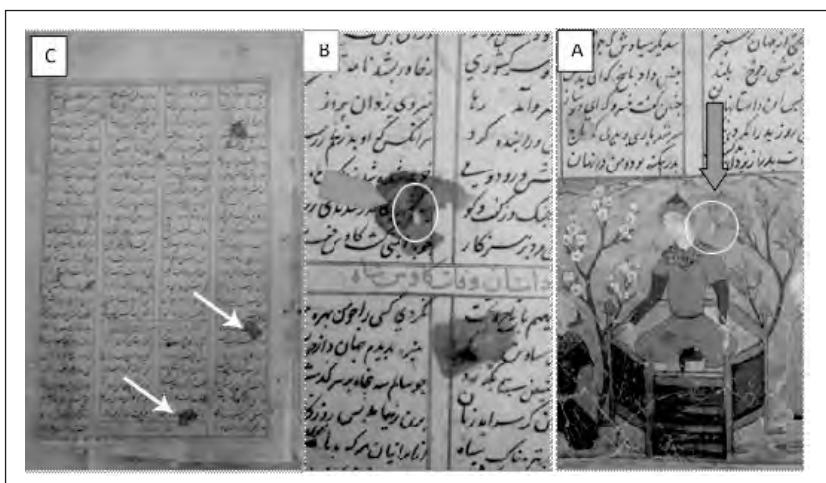
نسخه خطی شاهنامه موسوم به مندرس - که به دلیل وضعیت آن به این اسم معروف است - بدون شناسنامه است. این نسخه ۵۱۲ برگ و ۵۱ نگاره دارد و با شماره ثبت ۲۳۲ در موزه هنرهای تزئینی نگهداری می‌شده و بعد از انحلال این موزه به کاخ موزه سعدآباد تهران منتقل شده است و در حال حاضر نیز در این مکان نگهداری می‌شود. این نسخه به احتمال زیاد مربوط به مکتب قزوین است چون در کتاب تاریخ هنرنگارگری عبدالمجید شریف‌زاده از این نسخه نام برده شده است (شریف‌زاده، ۱۳۷۵، ص ۱۴۷). آسیب‌های زیادی همچون زردشدگی کاغذ، پخش شدگی جوهر، کپک‌زدگی، پارگی، مرمت‌های نادرست، پودرشدگی و کدرشدن رنگ‌ها در این نسخه وجود دارد. همچنین لکه‌های قهوه‌ای متمایل به قرمز و زردرنگی در سطح برخی از برگ‌های آن دیده می‌شود که احتمال می‌رود از نوع فاکسینگ باشند (شکل ۲).



شکل ۱

نسخه شاهنامه موسوم به مندرس
موجود در کاخ موزه سعدآباد





شکل ۲

A: سوراخ شدن نگاره B: سوراخ شدن کاغذ
C: لکه های قهوه ای رنگ بررسی شده

۲.۲. روش های آنالیزی استفاده شده

طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه مجهز به انعکاس کل تضعیف شده (FTIR-ATR) برای تشخیص نوع کاغذ و همچنین شناسایی عوامل قارچی از دستگاه طیف سنج زیر قرمز تبدیل فوریه مجهز به انعکاس کل تضعیف شده (FTIR-ATR) استفاده شد. دستگاه استفاده شده Nicolet مدل NEXUS 670 ساخت کشور آمریکا بود. این آنالیز در آزمایشگاه نساجی دانشگاه امیرکبیر تهران انجام شد. همچنین برای شناسایی نوع آهار به کاررفته در ساختار کاغذ از دستگاه طیف سنج زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) استفاده شد. دستگاه استفاده شده Bruker مدل Tensor 27 ساخت آلمان متعلق به دانشگاه هنر تهران بود. برای آماده سازی نمونه ها، چند میلی گرم از نمونه با حدود ۲۰ برابر نمک برمید پتاسیم (KBr) در یک هاون عقیق ساییده شد و سپس در محیط خلأ تبدیل به قرص شفاف با ضخامت یک میلی متر شد. طیف ها در ناحیه $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ ، با 32 بار اسکن و قدرت تفکیک 4 cm^{-1} در دما و رطوبت اتاق ثبت شدند.

آنالیز فلورسانس پرتوی ایکس^۳ (Micro-XRF)

برای شناسایی عنصری نمونه ها از Micro-XRF غیر تخریبی S1 Tracer مدل Bruker ساخت آلمان استفاده شد. از این آنالیز برای تجزیه عنصری کاغذ با/و بدون لکه های قهوه ای رنگ استفاده شد. در این روش هیچ گونه نمونه برداری ای انجام نمی شود.

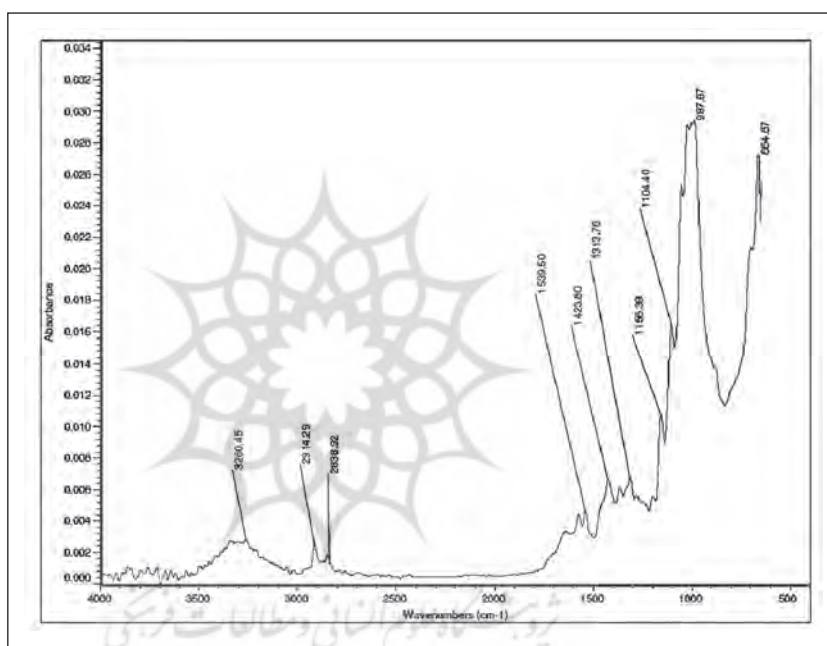
1. Fourier transform infrared-Attenuated total reflection
2. Fourier transform infrared spectroscopy
3. Micro X-ray Fluorescence

۳. نتایج و بحث



تحلیل طیف FTIR-ATR مربوط به کاغذ

نمونه بررسی شده در حدود 3260 cm^{-1} نوار پهنی نشان می‌دهد که مربوط به کششی O-H در گروه عاملی هیدروکسید^۱ است و می‌تواند به دلیل جذب آب باشد. همچنین نوار جذبی در 2914 cm^{-1} مربوط به نوار کششی پیوند کربن و هیدروژن در سلولز^۲ است. از طرفی وجود نوار جذبی در 1423 cm^{-1} می‌تواند مربوط به کربنات کلسیم باشد که به عنوان پرکننده به کاغذ اضافه شده است. همچنین نوار جذبی در 1156 cm^{-1} مربوط به کششی C-O و 664 cm^{-1} مربوط به C-OH خمشی سلولز است (شکل ۳).



شکل ۳

طیف FTIR-ATR مربوط به کاغذ

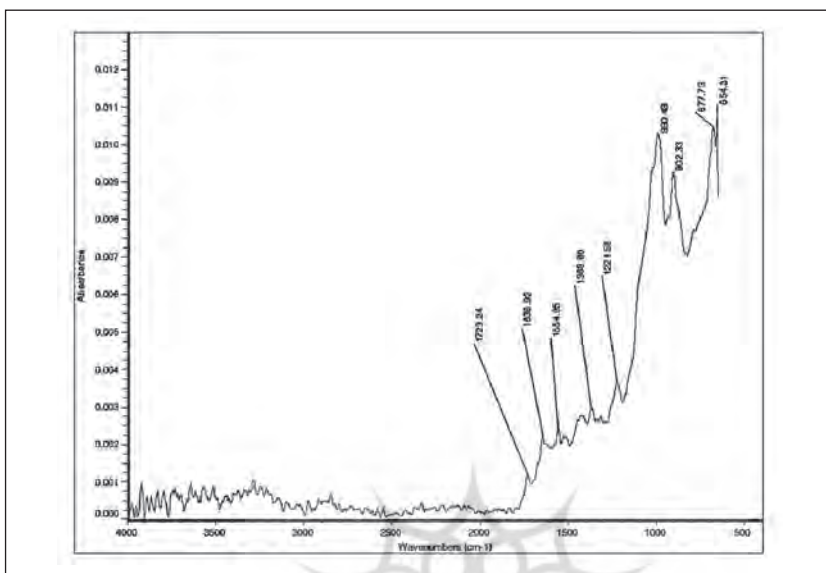
تحلیل طیف FTIR-ATR مربوط به لکه قهوه‌ای کاغذ

نوار جذبی در 1638 cm^{-1} مربوط به آمید (Amide I) و 1554 cm^{-1} مربوط به آمید (Amide II) در ساختار پروتئینی قارچ است (Dukor et al, 2001; Szeghalmi et al, 2007). همچنین نوار کششی P-O در 1221 cm^{-1} مربوط به اسیدهای نوکلئیک^۳ است (Malalanirina et al, 2015). بیک در 1723 cm^{-1} مربوط به پیوند C=O اشاره به ساختارهای چربی دارد. نوار در 902 cm^{-1} و 990 cm^{-1} مربوط به ریوز، گلیکوژن^۴ و اسیدهای نوکلئیک است؛ بنابراین وجود قارچ در این لکه‌ها تأیید می‌شود. اسیدهای آلی ترشح شده از میکروارگانیسم‌ها در فرآیند متابولیسمی شان، با ذرات آهن موجود در کاغذ ترکیب می‌شوند و املاحی را تشکیل می‌دهند که به اکسید و هیدروکسید آهن

1. Hydroxide
2. Cellulose
3. Nucleic Acids
4. Glycogen



تجزیه می شوند و رنگ قهوه‌ای زنگاری ایجاد می کنند.

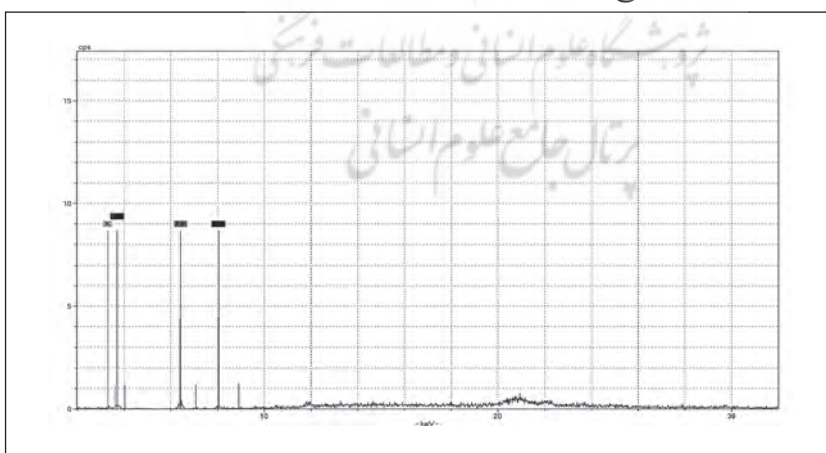


شکل ۴

طیف FTIR-ATR مربوط به لکه‌های قهوه‌ای رنگ کاغذ

نتایج تجزیه عنصری

همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد، بیشتر محققان در این موضوع اتفاق نظر دارند که فلزات یکی از عوامل ایجاد فاکسینگ در مواد پایه سلولزی هستند. برای شناسایی این لکه‌ها آنالیز عنصری در کاغذ بدون لکه (شاهد) و همچنین در کاغذ لکه‌دار به وسیله فلورسانس پرتوی ایکس انجام شد و از آنجایی که تفاوت چندانی در نوع عناصر دیده نشد، تنها یک تصویر از نتایج این آنالیز آن در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵

طیف Micro-XRF مربوط به لکه‌های قهوه‌ای رنگ

با توجه به شکل ۵ عناصر پتاسیم، کلسیم، آهن و مس در ترکیب نمونه شناسایی شده‌است که حضور کلسیم به احتمال زیاد مربوط به پرکننده در ساختار کاغذ است. وجود عناصر آهن و مس نیز از عواملی است که موجب تشکیل فاکسینگ در مواد پایه سلولزی می‌شود. فلزات یکی از دلایل اصلی فاکسینگ هستند. آلودگی کاغذ به فلزات ممکن است در هنگام ساخت کاغذ ایجاد شود یا ناشی از گردوغبار موجود در هوا باشد (Choi, 2007). در موارد متعدد، آلودگی کاغذ به فلزاتی همچون آهن، مس، مس-جیوه یا مس-روی گزارش شده‌است. در این تحقیق‌ها فلزات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به پاشنده انرژی پرتوی ایکس (SEM-EDX) یا فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) شناسایی شده‌اند (Choi, 2007; Tang, 1978). انتقال یون‌های فلزی همچون آهن (۲) و مس (۱) نقش کاتالیزور^۳ را برای اکسیداسیون رادیکال آزاد سلولز دارد (Choi, 2007).

عوامل متعددی در رابطه با فاکسینگ وجود دارد؛ یکی از این موارد آهار و نوع کاغذ است. معمولاً لکه‌های تیره فاکسینگ نشانه کیفیت بالای کاغذ است (Rebrikova, and Manturovskaya, 2000). نادری در تحقیقی اشاره می‌کند که تولید اسید در کاغذهای با آهار نشاسته در محیط‌های کشت کازئین بیشتر از آهارهای دیگر است. از طرفی آهار روزین جلوی رشد عوامل قارچی را می‌گیرد و تولید اسید را متوقف می‌کند. روزین و زاج سفید خاصیت بازدارندگی دارند و روند توسعه فاکسینگ در کاغذ دارای این آهارها کمتر دیده می‌شود (نادری، ۱۳۹۱). پس نیاز است تا نوع آهار در نمونه بررسی شده شناسایی شود.

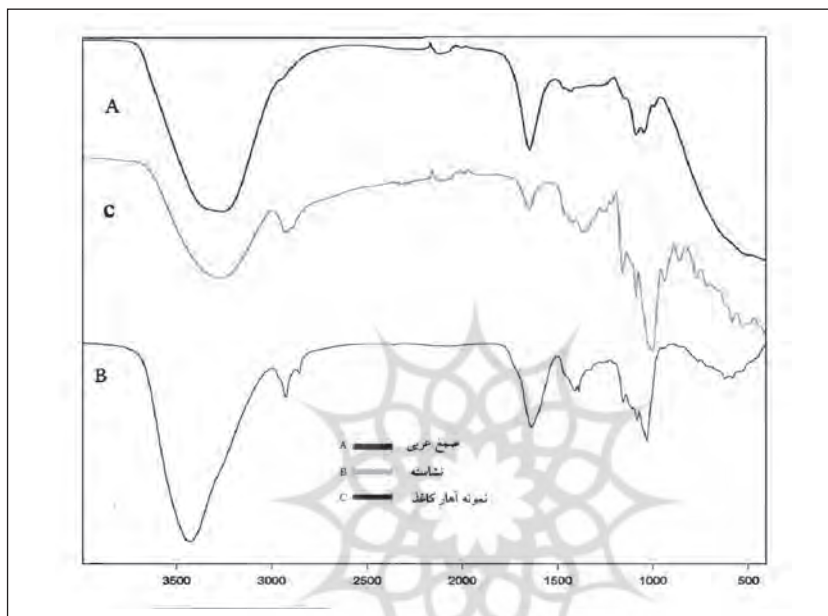
شناسایی آهار کاغذ

پس از استخراج آهار از ساختار کاغذ و مطالعه نوع آن، پیک‌های حاضر نیز مشخصات مربوط به پلی‌ساکاریدها^۴ از خانواده ترکیبات کربوهیدراتی^۵ (با فرمول عمومی $[C_n(H_2O)_n]$) را نشان دادند. این پیک‌ها شامل نوار جذبی در 3442 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل O-H و نوار جذبی 2928 و 2893 cm^{-1} ناشی از ارتعاش کششی پیوند C-H است. موقعیت جذب در 1636 cm^{-1} متعلق به ارتعاش خمشی پیوند O-H از مولکول‌های آب موجود در ساختار بین‌مولکولی سلولز است. ارتعاش خمشی پیوند C-H در ناحیه 1361 cm^{-1} و نوار کششی پیوند C-O در 1148 و 993 cm^{-1} ظاهر شده‌است (Derrick et al, 1999; Stuart, 2007). این مشخصات به صورت مشترک برای کربوهیدرات‌ها قابل تعریف و تشخیص هستند؛ بنابراین تشخیص نوع ماده کربوهیدراتی دشوار خواهد بود. برای بررسی نوع ماده، از روش مقایسه‌ای استفاده شد. با توجه به اشتراکات و شباهت‌های ظاهری بین پیک‌ها به خصوص در نواحی اثرانگشت (حدود $1500-500\text{ cm}^{-1}$) نمونه آهار با مرجع‌های نشاسته و صمغ عربی (محتمل‌ترین

1. Scanning electron microscope- Energy Dispersive X-Ray
2. X-ray Fluorescence
3. Catalyst
4. Polysaccharide
5. Carbohydrate



مواد کربوهیدراتی برای آहार کاغذ)، نوع ماده آहार احتمالاً از نوع نشاسته (با فرمول عمومی $[C_6H_{10}O_5]_n$) است (شکل ۶). نشاسته می تواند منبع تغذیه ای برای رشد میکروارگانیسم ها باشد. قارچ ها برای رشد، محیط اسیدی و باکتری ها محیط خنثی و یا مختصری قلیایی را ترجیح می دهند (قهری، ۱۳۹۱، ص ۳۷) و این موضوع می تواند دلیلی بر تسریع ایجاد لکه های فاکسینگ باشد.



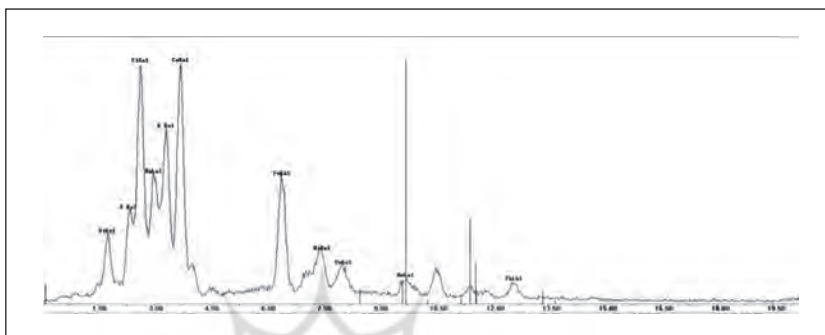
شکل ۶

طیف مربوط به آहार کاغذ در مقایسه با صمغ عربی و نشاسته

بربریکا و منتوروسکا مستقیم به تأثیر کاتالیزوری انتقال فلزات در ایجاد نقاط فاکسینگ توجه کرده اند. فرض آن ها بر این بوده است که پیری و تخریب در نواحی فاکسینگی به دلیل فعالیت کاتالیزوری انتقال فلزات در بین تشکیل رادیکال آزاد شدت می گیرد. آن ها به تحقیق های اخیر درباره جوهر مازو (Reissland, 1999; Reissland and de Groot, 1999) مراجعه کرده اند و تشابهاتی بین تشکیل فاکسینگ و خوردگی جوهر مازو پیدا کرده اند (Rebrikova and Manturovskaya, 2000). مانند تحقیق های دیگری که به دو عامل وجود فلزات و آلودگی قارچی در تشکیل فاکسینگ اشاره کرده اند در تحقیق حاضر نیز این دو عامل شناسایی شده اند. حال باید در پی این موضوع بود که منشأ این عوامل چه چیزی می تواند باشد؛ بنابراین برای شناسایی منشأ این عوامل لازم است تا نوع جوهر به کاررفته در این نسخه بررسی شود

شناسایی مرکب مشکی با Micro-XFR

آنالیز Micro-XFR برای یافتن ترکیب مرکب‌ها به خصوص مرکب آهن‌دار بسیار کارا است و موادی مثل مس، کلسیم، و آهن را در مرکب‌ها به خوبی تشخیص می‌دهد (Stuart, 2007). مرکب مشکی به‌طور عمده از عناصر آهن، سرب و گوگرد تشکیل شده است (لامعی رشتی و دیگران، ۱۳۸۶). با توجه به وجود پیک شاخص عنصر آهن و گوگرد به احتمال زیاد مرکب استفاده شده در نمونه بررسی شده از نوع مازویی است.



شکل ۷

طیف Micro-XFR مربوط
به شناسایی نوع جوهر

بنا بر آنچه گفته شد و با توجه به نتایج حاصل از آنالیزها، مشخص می‌شود که وجود آهن در جوهر، توأم با عوامل قارچی شناسایی شده قبلی می‌تواند دلیلی بر ایجاد لکه‌های فاکسینگ باشد.

یکی دیگر از مواردی که در بررسی ظاهر لکه‌ها به چشم می‌خورد تیره‌بودن نواحی اطراف لکه‌هاست. از طرفی عنصر مس نیز در این تحقیق شناسایی شد. در تحقیقی توسط دنیل و میک به این موضوع اشاره شده است که حضور مس به همراه کلرید موجب مهاجرت خوردگی به مناطق اطراف لکه می‌شود و در نهایت با حضور سولفید هیدروژن - که احتمالاً ناشی از آلودگی هوا باشد- باعث تشکیل سولفید مس سیاه‌رنگ در اطراف نقاط می‌شود (Daniels and Meeks, 1994).

نتیجه‌گیری

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد بیشتر محققان بر این نکته اشتراک نظر دارند که دو عامل وجود قارچ‌ها و فلزات می‌تواند دلیلی بر فاکسینگ باشد. با توجه به اینکه در آنالیز FTIR-ATR که روی لکه‌های قهوه‌ای‌رنگ انجام شد، وجود آمیدها و به‌طور کلی وجود قارچ در این لکه‌ها تأیید شد و از طرفی در تجزیه عنصری نیز دو عنصر فلزی مس و آهن شناسایی شدند، می‌توان نتیجه گرفت که لکه‌های بررسی شده از نوع فاکسینگ هستند.

عواملی همچون رطوبت محیط، نوع جوهر، و آهار استفاده شده در ساخت کاغذ می توانند در ایجاد و تسریع لکه‌های فاکسینگ موثر باشند. در نسخه شاهنامه موسوم به مندرس، آهار از نوع نشاسته و جوهر از نوع مازویی تشخیص داده شد. تولید اسید در کاغذهای با آهار نشاسته در مقایسه با دیگر محیطها بیشتر است. قارچها برای رشد محیط اسیدی را ترجیح می دهند و نشاسته می تواند یکی از عوامل موثر و منبع تغذیه ای برای رشد میکروارگانیسمها باشد و این موضوع می تواند دلیلی بر تسریع ایجاد لکه‌های فاکسینگ باشد. از طرفی درباره تیره بودن نواحی اطراف لکه‌ها نیز می توان گفت که حضور مس به همراه کلرید موجب مهاجرت خوردگی به مناطق اطراف لکه شده است و در نهایت با حضور سولفید هیدروژن - که احتمالاً ناشی از آلودگی هوا بوده است - باعث تشکیل سولفید مس سیاه رنگ در اطراف نقاط شده است.

منبع

کتاب

شریف زاده، عبدالمجید. (۱۳۷۵). *تاریخ نگارگری در ایران*. تهران: سازمان تبلیغات اسلامی، حوزه هنری.
قهری، محمد. (۱۳۹۱). *عوامل میکروبی آسیب رسان به مواد آرشویی و کتابخانه‌ای*. تهران: سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران.
لیه ناردی، آن؛ وان دم، فیلیپ. (۱۳۷۹). *راهنمای حفاظت، نگهداری و مرمت کاغذ*. (ابوالحسن سروقد مقدم، مترجم). مشهد: آستان قدس، بنیاد پژوهش های اسلامی.

مقاله

لامعی رشتی، محمد؛ اولیایی، فرهاد؛ باقی زاده، پروین؛ شکوهی، علی. (۱۳۸۶). «آنالیز عنصری چند نمونه از مرکب و کاغذ دوره قاجار با میکروسکوپ روبشی پرتون». تهران: *نامه بهارستان*، ۷.

پایان نامه

نادری زنوز، سارا. (۱۳۹۱). «بررسی عوامل پدیدآورنده فاکسینگ در پنج نمونه از کتابهای دوره قاجار کتابخانه مرکزی تبریز»، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی، دانشگاه آزاد تهران مرکزی، دانشکده هنر و معماری.



منابع لاتین
کتاب

- Derrick, M.; Dusan, S.; James M, L. (1999). *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Dukor, R. K.; Chalmers, J. M. & Griffiths, P. R. (2001). *Handbook of Vibrational Spectroscopy*. Vibrational Spectroscopy in the Detection of Cancer, John Wiley and Sons, New York.
- Stuart, B. H. (2007). *Analytical techniques in materials conservation*. John Wiley & Sons.

مقاله

- Ardelean, E. & Melniciuc-Puică, N. (2013). "Conservation of paper documents damaged by foxing". *Eur J Sci Theol*, 9(2), pp117-124.
- Bicchieri, M.; Ronconi, S.; Romano, F. P.; Pappalardo, L.; Corsi, M.; Cristoforetti, G. & Tognoni, E. (2002). "Study of foxing stains on paper by chemical methods, infrared spectroscopy, micro-X-ray fluorescence spectrometry and laser induced breakdown spectroscopy". *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 57(7), pp1235-1249.
- Choi, S. (2007). "Foxing on paper: a literature review". *Journal of the American Institute for Conservation*, 46(2), pp137-152.
- Chopra, A.; Kaur, A. & Arora, S. (2013). "A Simplest Approach to Reduce the Yellowness and Foxing in Antique Book Pages". *International Journal of Computer Applications*, 65(24).
- Florian, M. L. & Manning, L. (2000). "SEM analysis of irregular fungal fox spots in an 1854 book: population dynamics and species identification". *International biodegradation & biodegradation*, 46(3), pp205-220.
- Malalanirina S. Rakotonirainy; Olivier, Benaud, Leon-Bavi, Vilmont. (2015). "Contribution to the characterization of foxing stains on printed books using infrared spectroscopy and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry". *International Biodeterioration & Biodegradation*, V 101, pp1-7.
- Meynell, G. G. & Newsam, R. J. (1978). "Foxing, a fungal infection of paper". *Nature*, 274(5670), pp466-468.
- Rebrikova, N. L. & Manturovskaya, N. V. (2000). "Foxing-A new approach to an old



- problem”. *Restaurator*, 21(2), pp85-100.
- Reissland, B. (1999). “Ink Corrosion. Aqueous and non-aqueous treatment of paper objects—state of the art”. *Restaurator*, 20(3-4), pp167-180.
- Sylvia Rakotonirainy, M.; Heude, E.; Lave´drine, B. (2007). “Isolation and attempts of biomolecular characterization of fungal strains associated to foxing on a 19th century book”. Elsevier.
- Szeghalmi, A.; Kaminskyj, S. & Gough, K. M. (2007). “A synchrotron FTIR microspectroscopy investigation of fungal hyphae grown under optimal and stressed conditions”. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 387(5), pp1779-1789.
- Tang, L. C. (1978). “Determination of iron and copper in 18th and 19th century books by flameless atomic absorption spectroscopy”. *Journal of the American Institute for Conservation*, 17(2), pp19-32.
- Zotti, M.; Ferroni, A. & Calvini, P. (2011). “Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates”. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(4), pp569-578.

مجموعه مقاله

- Daniels, V. & Meeks, N. D. (1994). “Foxing caused by copper alloy inclusions in paper”. *In Conservation of historic and artistic works on paper: proceedings of a conference, Ottawa, Canada, October 3 to 7, 1988= Conservation des oeuvres historiques sur papier: les actes de la conf rence, Ottawa, Canada, 3 au 7 octobre 1988* (pp229-233). Canadian Conservation Institute.
- Piantanida, G.; Pinzari, F.; Montanari, M.; Bicchieri, M. & Coluzza, C. (2006, April). “Atomic force microscopy applied to the study of Whatman paper surface deteriorated by a cellulolytic filamentous fungus”. In *Macromolecular symposia*, (Vol. 238, No. 1, pp92-97). Wiley-Blackwell, 111 River Street Hoboken NJ 07030-5774 USA.
- Reissland, B. & de Groot, S. (1999, August). “Ink corrosion: comparison of currently used aqueous treatments for paper objects”. In *Preprints of the 9th IADA Congress*, (pp16-21).

