■ شناسایی لکه‌های فاکسینگ در نسخهٔ شاهنامهٔ موسوم به مندرس

محمدعلی طاهری | کورس سامانیان

## چکیده

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

**روش/ رویکرد پژوهش:** در این تحقیق سعی شده‌است 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 شده‌است.

**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 به‌کار رفته در این نسخه از شاهنامه می‌تواند دلیلی بر ایجاد و تسریع لکه‌های فاکسینگ‌باشد.

**کلیدواژه‌ها**

شاهنامهٔ مندرس؛ فاکسینگ؛ FTIR-ATR ;Micro-XRF

**مطالعات آرشیوی**

فصلنامهٔ *گنجینهٔ اسناد*: سال بیستم و هفتم، دفتر سوم، (پاییز ۱۳۹۶)، ۱۰۸-۹۶

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

www.SID.ir

# شناسایی لکه‌های فاکسینگ در نسخهٔ شاهنامهٔ موسوم به مندرس

محمدعلی طاهری[1] | کورس سامانیان[2]

## ۱. مقدمه

کاغذ ساختاری پیچیده و بسیار آب‌دوستی دارد که دارای خواص موئینه‌ای غیریکنواخت است. برحسب نوع و روش عمل‌آوری فیبرها و الیاف موجود در کاغذ، مقدار و کیفیت چسب‌ها و مواد کامل‌کنندهٔ کاغذ، روش ساخت و خشک‌کردن کاغذ، دما و محتوای رطوبتی کاغذ، درجات متفاوتی از حساسیت یا مقاومت دربرابر حملهٔ میکروارگانیسم‌ها[3] در کاغذها وجود دارد( قهری، ۱۳۸۸، ص۳۷). حملهٔ میکروارگانیسم‌ها به کاغذ باعث پوسیدگی، سست‌شدن، و لکه‌دارشدن و دگرگونی زیبایی کاغذ می‌شود(قهری، ۱۳۸۸، ص۱۹). لکه‌های کاغذ گوناگون هستند ازجمله: لکهٔ رنگ، لکهٔ موم، لکهٔ چسب، لکهٔ مرکب، و... ؛ ولی مهمترین لکه‌ها،لکه های قارچی و لکه های فاکسینگ لکه‌های قارچی و لکه‌های فاکسینگ[4] هستند. نسخهٔ خطی شاهنامهٔ موسوم به مندرس –که به‌دلیل وضعیت آن به این اسم معروف است– ۵۱۲ برگ و ۵۱ نگاره دارد و با شمارهٔ ثبت ۲۳۲ در موزهٔ هنرهای تزیینی نگهداری می‌شده و بعد از انحلال این موزه به کاخ‌موزهٔ سعدآباد تهران منتقل شده‌است و درحال‌حاضر نیز در این مکان نگهداری می‌شود (شکل ۱). این نسخه احتمالاً مربوط به مکتب قزوین است (شریف‌زاده، ۱۳۷۵، ص۱۴۸). در سطح برخی از برگه‌های آن لکه‌های قهوه‌ای متمایل به قرمز و زردی دیده می‌شود که احتمال می‌رود این لکه‌ها از نوع فاکسینگ باشند (شکل ۲). فاکسینگ پدیده‌ای کروماتیکی[5] 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)[6] دارد و ظاهر و اندازهٔ آن متغیر است. محققان از سال

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر تهران، رشتهٔ مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی. (نویسندهٔ‌مسئول)
mat.taheri9000@gmail.com
۲. استادیار گروه حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی دانشکدهٔ حفاظت و مرمت دانشگاه هنر تهران
samanian_k@yahoo.com
3. Microorganism
4. Foxing
5. Chromatic
۶. لکه‌های شبیه زنگ‌زدگی



Archive of SID
www.SID.ir

۱۹۳۰ تا به امروز مطالعات و تحقیقات زیادی روی لکه‌های فاکسینگ انجام داده‌اند. فاکسینگ به‌طورکلی به لکه‌های کوچک نسبتاً گرد قهوه‌ای مایل به قرمز یا زردرنگ گفته می‌شود که در کاغذ یا دیگر مواد پایهٔ سلولزی دیده می‌شود (Choi, 2007). محققان در مطالعاتی که انجام دادند، هنوز موفق نشده‌اند علت اصلی فاکسینگ را تعیین کنند و درواقع هیچ اصلی قطعی دربارهٔ علت ایجاد و نحوهٔ پیشگیری از آن وجود ندارد (Ardelean, et al, 2013). به‌طورکلی این فرضیه دربارهٔ لکه‌های فاکسینگ مطرح است: واکنش‌های شیمیایی بین ناخالصی‌های آهن –مثل یون‌های آهن موجود در کاغذ– و اسیدهای آلی رهاشده از قارچ علت احتمالی فاکسینگ است (Meynell, et al, 1978; Sylvia Rakotonirainy, et al, 2007). این لکه‌ها معمولاً روی بسترهای گوناگون کاغذ ایجاد می‌شود. دربارهٔ منشأ این لکه‌ها در بین محققان اختلاف‌نظر وجود دارد و هنوز منشأ این لکه‌ها به‌طور دقیق شناخته نشده‌است (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 عقیدهٔ بعضی از محققان از جمله مِینُل (Meynell) و نیوسام (Newsam) رابطهٔ مستقیمی میان میکروارگانیسم‌ها و فاکسینگ وجود دارد (لیه‌ناردی و وان دم، ۱۳۷۹، صص ۱۰۳و۱۰۴). ازطرفی Florian نیز در تحقیقات خود –در سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۸۲ میلادی– به این نتیجه رسیده‌است که قارچ‌های مونوفیلتیک عامل لکه‌های قارچی هستند (Florian and Manning, 2000). همچنین به عقیدهٔ بکویت (Bechwith) وجود ذرات آهن در ایجاد لکه‌های فاکسینگ نقش تعیین‌کننده 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 دورهٔ اصلی پیرشدن طبیعی روی کاغذ به وجود می‌آیند و مشکلی جدی محسوب می‌شوند؛ چون به‌مرورِزمان به دیگر صفحات هم منتقل می‌شوند (Ardelean et al, 2013). بررسی لکه‌های فاکسینگ اهمیت دارد؛ چون این لکه‌ها ساختار کاغذ را هیدرولیز[1] می‌کنند و طی آن دی‌پلیمریزاسیون[2] الیاف سلولزی اتفاق می‌افتد (Piantanida, et al, 2006) و به‌مرورِزمان این لکه‌ها افزایش می‌یابند و موجب آسیب به اسناد و آثار کاغذی می‌شوند.

با توجه به نظر محققان و آنچه دربارهٔ ظاهر لکه‌های فاکسینگ بیان شده‌است، به‌احتمال‌زیاد لکه‌های ایجادشده روی شاهنامهٔ مندرس لکه‌های فاکسینگ هستند؛ بنابراین لازم است تا آنالیزهایی برای شناسایی این لکه‌ها و عوامل ایجاد این آسیب انجام شود؛

1. Hydrolysis
2. Depolymerization



Archive of SID
www.SID.ir

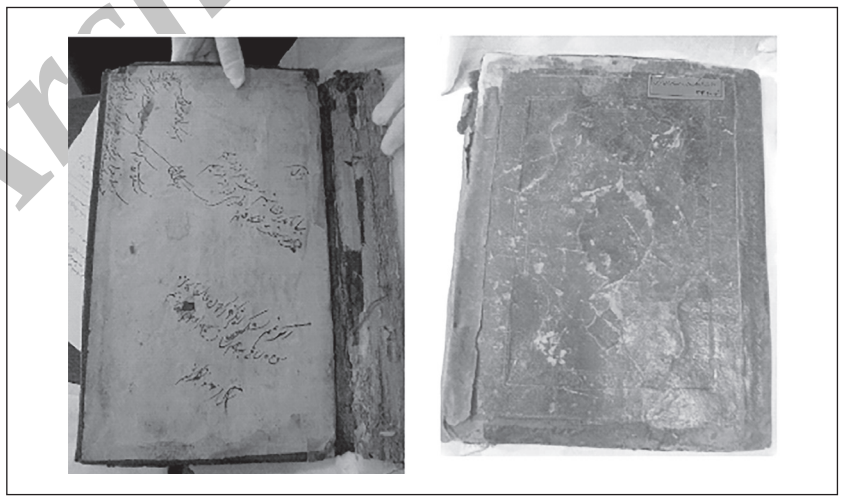
بنابراین هدف از این تحقیق شناسایی نوع لکهٔ قهوه‌ای‌رنگ روی کاغذهای شاهنامهٔ مندرس و عوامل ایجاد این آسیب است.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این بخش از تحقیق شاهنامهٔ مندرس به‌عنوان اثری هنری-تاریخی معرفی می‌شود، سپس برای نمونه چند لکهٔ رنگی بررسی می‌شوند و در ادامه روش‌های شناسایی این لکه‌ها به‌طوردقیق معرفی می‌شوند.

### ۲.۱. معرفی نسخهٔ شاهنامهٔ موسوم به مندرس

نسخهٔ خطی شاهنامهٔ موسوم به مندرس -که به‌دلیل وضعیت آن به این اسم معروف است- بدون شناسنامه است. این نسخه ۵۱۲ برگ و ۵۱ نگاره دارد و با شمارهٔ ثبت ۲۳۲ در موزهٔ هنرهای تزیینی نگهداری می‌شده و بعد از انحلال این موزه به کاخ‌موزهٔ سعدآباد تهران منتقل شده‌است و درحال‌حاضر نیز در این مکان نگهداری می‌شود. این نسخه به‌احتمال‌زیاد مربوط به مکتب قزوین است چون در کتاب *تاریخ هنر نگارگری* عبدالمجید شریف‌زاده از این نسخه نام برده شده‌است (شریف‌زاده، ۱۳۷۵، ص۱۴۷). آسیب‌های زیادی همچون زردشدگی کاغذ، پخش‌شدگی 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 برگه‌های آن دیده می‌شود که احتمال می‌رود از نوع فاکسینگ باشند (شکل ۲).

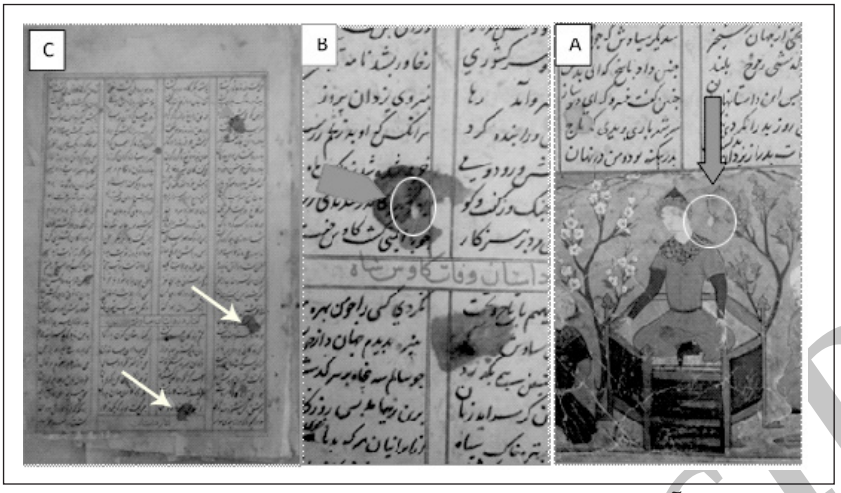


**شکل ۱**

نسخهٔ شاهنامهٔ موسوم به مندرس
موجود در کاخ موزهٔ سعدآباد



Archive of SID
www.SID.ir




**شکل ۲**

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

## ۲.۲. روش‌های آنالیزی استفاده‌شده

### طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه مجهز به انعکاس کل تضعیف‌شده (FTIR-ATR)

برای تشخیص نوع کاغذ و همچنین شناسایی عوامل قارچی از دستگاه طیف‌سنج زیرقرمز تبدیل فوریه مجهز به انعکاس کل تضعیف‌شده (FTIR-ATR)[1] استفاده شد. دستگاه استفاده‌شده Nicolet مدل NEXUS 670 ساخت کشور آمریکا بود. این آنالیز در آزمایشگاه نساجی دانشگاه امیرکبیر تهران انجام شد. همچنین برای شناسایی نوع آهار به‌کاررفته در ساختار کاغذ از دستگاه طیف‌سنج زیرقرمز تبدیل فوریه (FTIR)[2] استفاده شد. دستگاه استفاده‌شده Brucker مدل Tensor 27 ساخت آلمان متعلق به دانشگاه هنر تهران بود. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، چند میلی‌گرم 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 میلی‌متر شد. طیف‌ها در ناحیهٔ 4000-400 cm-1 ، با ۳۲ بار اسکن و قدرت تفکیک 4 cm-1 در دما و رطوبت اتاق ثبت شدند.

### آنالیز فلورسانس پرتوی ایکس[3] (Micro-XRF)

برای شناسایی عنصری نمونه‌ها از Micro-XRF غیرتخریبی S1 Tracer مدل Bruker ساخت آلمان استفاده شد. از این آنالیز برای تجزیهٔ عنصری کاغذ با/و بدون لکه‌های قهوه‌ای‌رنگ استفاده شد. در این روش هیچ‌گونه نمونه‌برداری‌ای انجام نمی‌شود.

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

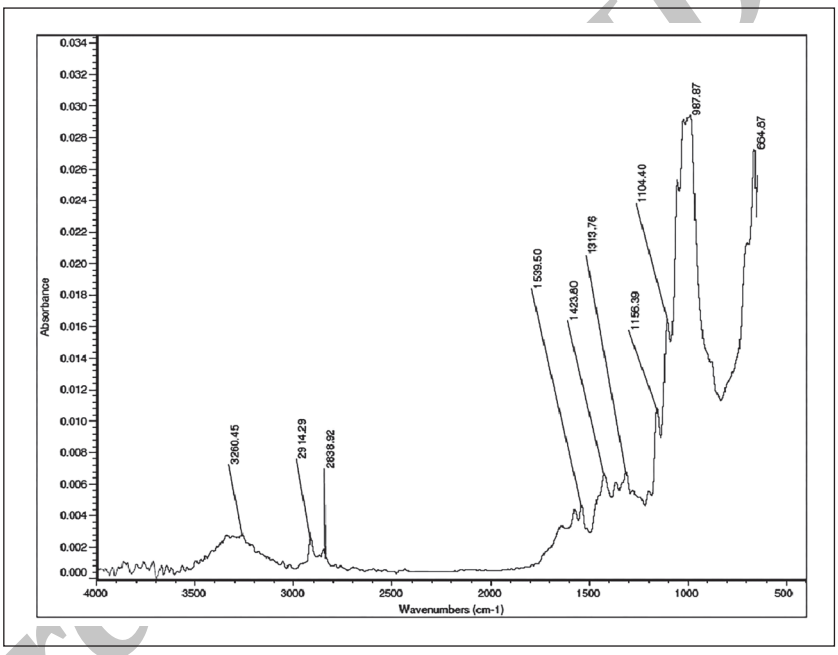
## ۳. نتایج و بحث



Archive of SID
www.SID.ir

### تحلیل طیف FTIR- ATR مربوط به کاغذ

نمونهٔ بررسی‌شده در حدود $3260\,cm^{-1}$ نوار پهنی نشان می‌دهد که مربوط به O-H کششی در گروه عاملی هیدروکسید[1] است و می‌تواند به‌دلیل جذب آب باشد. همچنین نوار جذبی در $2914\,cm^{-1}$ مربوط به نوار کششی پیوند کربن و هیدروژن در سلولز[2] است. ازطرفی وجود نوار جذبی در $1423\,cm^{-1}$ می‌تواند مربوط به کربنات کلسیم باشد که به‌عنوان پرکننده به کاغذ اضافه شده‌است. همچنین نوار جذبی در $1156\,cm^{-1}$ مربوط به C-O کششی 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 لکهٔ قهوه‌ای کاغذ

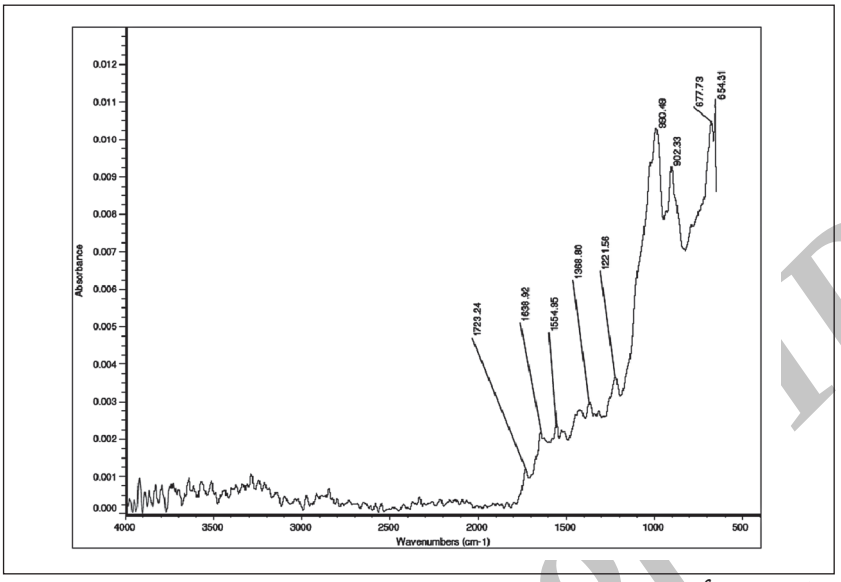
نوار جذبی در $1638\,cm^{-1}$ مربوط به آمید (Amide I) و $1554\,cm^{-1}$ مربوط به آمید (Amide II) در ساختار پروتئینی قارچ است (Dukor et al, 2001; Szeghalmi et al, 2007). همچنین نوار کششی P-O در $1221\,cm^{-1}$ مربوط به اسیدهای نوکلئیک[3] (Malalanirina et al, 2015) است. پیک در $1723\,cm^{-1}$ مربوط به پیوند C=O اشاره به ساختارهای چربی قارچ دارد. نوار در $902\,cm^{-1}$ و 990 مربوط به ریبوز، گلیکوژن[4] و اسیدهای نوکلئیک است؛ بنابراین وجود قارچ در این لکه‌ها تأیید می‌شود. اسیدهای آلی ترشح‌شده از میکروارگانیسم‌ها در فرآیند متابولیکی‌شان، 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



www.SID.ir

تجزیه می‌شوند و رنگ قهوه‌ای زنگاری ایجاد می‌کنند.

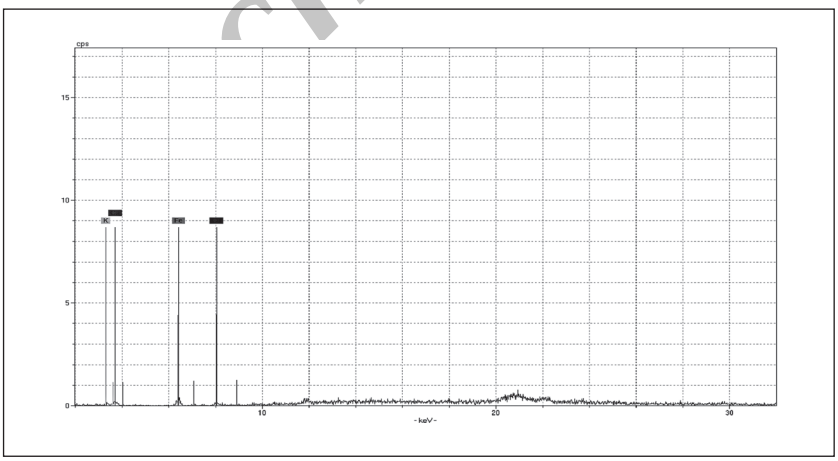



**شکل ۴**

طیف FTIR-ATR مربوط به
لکه‌های قهوه‌ای رنگ کاغذ

## نتایج تجزیهٔ عنصری

همان‌طورکه در بخش مقدمه اشاره شد، بیشتر محققان در این موضوع اتفاق‌نظر دارند که فلزات یکی از عوامل ایجاد فاکسینگ در مواد پایهٔ سلولزی هستند. برای شناسایی این لکه‌ها آنالیز عنصری در کاغذ بدون لکه (شاهد) و همچنین در کاغذ لکه‌دار به‌وسیلهٔ فلورسانس پرتوی ایکس انجام شد و ازآنجایی‌که تفاوت چندانی در نوع عناصر دیده نشد، تنها یک تصویر از نتایج این آنالیز آن در شکل ۵ آمده‌است.




**شکل ۵**

طیف Micro-XRF مربوط به
لکه‌های قهوه‌ای رنگ



www.SID.ir

با توجه به شکل ۵ عناصر پتاسیم، کلسیم، آهن و مس در ترکیب نمونه شناسایی شده‌است که حضور کلسیم به‌احتمال‌زیاد مربوط به پرکننده در ساختار کاغذ است. وجود عناصر آهن و مس نیز از عواملی است که موجب تشکیل فاکسینگ در مواد پایهٔ 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 پاشندهٔ انرژی پرتوی ایکس (SEM-EDX)[1] یا فلورسانس پرتوی ایکس (XRF)[2] شناسایی شده‌اند (Choi, 2007; Tang, 1978). انتقال یون‌های فلزی همچون آهن (۲) و مس (۱) نقش کاتالیزور[3] 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 تیرهٔ فاکسینگ نشانهٔ 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. ازطرفی آهار روزین جلوی رشد عوامل قارچی را می‌گیرد و تولید اسید را متوقف می‌کند. روزین و زاج سفید خاصیت بازدارندگی دارند و روند توسعهٔ فاکسینگ در کاغذ دارای این آهارها کمتر دیده می‌شود (نادری، ۱۳۹۱). پس نیاز است تا نوع آهار در نمونهٔ بررسی‌شده شناسایی شود.

## شناسایی آهار کاغذ

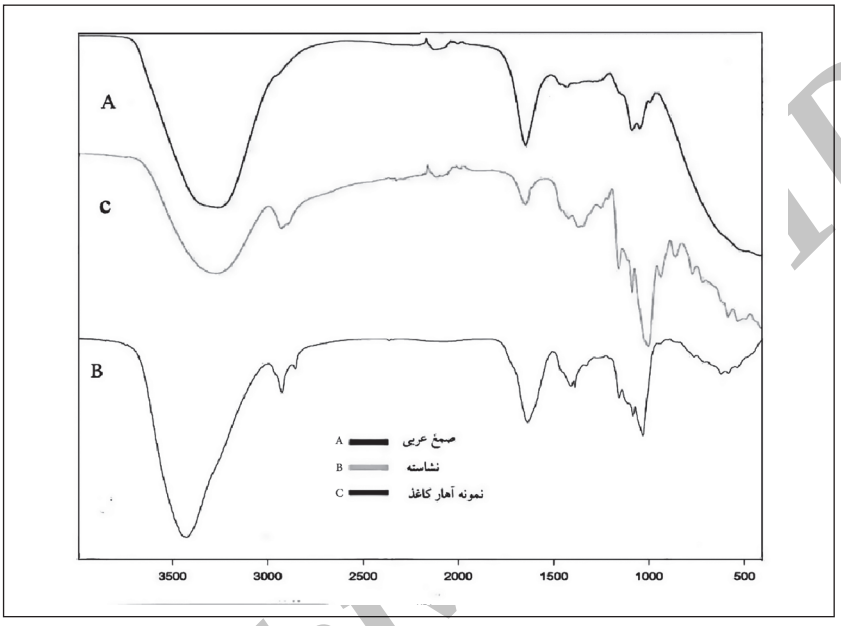
پس از استخراج آهار از ساختار کاغذ و مطالعهٔ نوع آن، پیک‌های حاضر نیز مشخصات مربوط به پلی‌ساکاریدها[4] از خانوادهٔ ترکیبات کربوهیدراتی[5] (با فرمول عمومی $[C_n(H_2O)_n]$) را نشان دادند. این پیک‌ها شامل نوار جذبی در $3442\ cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل O-H و نوار جذبی $2928$ و $2893\ cm^{-1}$ 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 ناحیهٔ $1361\ cm^{-1}$ و نوار کششی پیوند C-O در $1148\ cm^{-1}$ و $993$ ظاهر شده‌است (Derrick et al, 1999; Stuart, 2007). این مشخصات به‌صورت مشترک برای کربوهیدرات‌ها قابل تعریف و تشخیص هستند؛ بنابراین تشخیص نوع مادهٔ کربوهیدراتی دشوار خواهد بود. برای بررسی نوع ماده، از روش مقایسه‌ای استفاده شد. با توجه به اشتراکات و شباهت‌های ظاهری بین پیک‌ها به‌خصوص در نواحی اثرانگشتِ (حدود $1500\text{-}500\ cm^{-1}$) نمونهٔ 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



Archive of SID
www.SID.ir

مواد کربوهیدراتی برای آهار کاغذ)، نوع مادهٔ آهار احتمالاً از نوع نشاسته (با فرمول عمومی [(C6H10O5)n]) است (شکل ۶). نشاسته می‌تواند منبع تغذیه‌ای برای رشد میکروارگانیسم‌ها باشد. قارچ‌ها برای رشد، محیط اسیدی و باکتری‌ها محیط خنثی و یا مختصری قلیایی را ترجیح می‌دهند (قهری، ۱۳۹۱، ص۳۷) و این موضوع می‌تواند دلیلی بر تسریع ایجاد لکه‌های فاکسینگ باشد.




**شکل ۶**

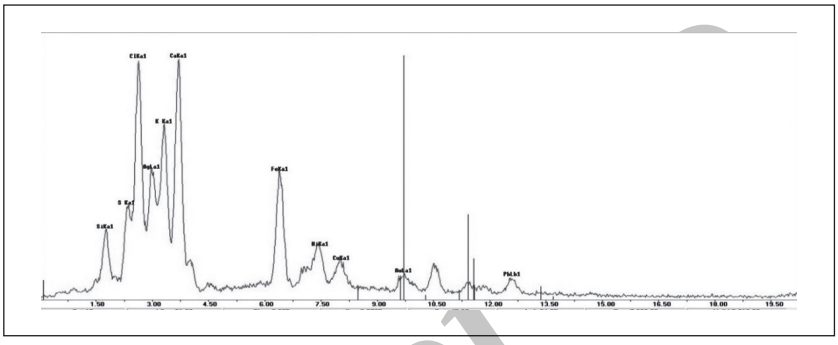
طیف مربوط به آهار کاغذ در مقایسه با صمغ عربی و نشاسته

ربریکا و منتوروسکا مستقیم به تأثیر کاتالیزوری انتقال فلزات در ایجاد نقاط فاکسینگ توجه کرده‌اند. فرض آن‌ها بر این بوده‌است که پیری و تخریب در نواحی فاکسینگی به‌دلیل فعالیت کاتالیزوری انتقال فلزات در بین تشکیل رادیکال آزاد شدت می‌گیرد. آن‌ها به تحقیق‌های اخیر دربارهٔ جوهر مازو (Reissland, 1999; Reissland and de Groot, 1999) مراجعه کرده‌اند و تشابهاتی بین تشکیل فاکسینگ و خوردگی جوهر مازو پیدا کرده‌اند (Rebrikova and Manturovskaya, 2000). مانند تحقیق‌های دیگری که به دو عامل وجود فلزات و آلودگی قارچی در تشکیل فاکسینگ اشاره کرده‌اند در تحقیق حاضر نیز این دو عامل شناسایی شده‌اند. حال باید در پی این موضوع بود که منشأ این عوامل چه چیزی می‌تواند باشد؛ بنابراین برای شناسایی منشأ این عوامل لازم است تا نوع جوهر به‌کاررفته در این نسخه بررسی شود


www.SID.ir

## شناسایی مرکب مشکی با Micro-XFR

آنالیز Micro-XFR برای یافتن ترکیب مرکب‌ها به‌خصوص مرکب آهن‌دار بسیار کارا است و موادی مثل مس، کلسیم، و آهن را در مرکب‌ها به‌خوبی تشخیص می‌دهد (Stuart, 2007). مرکب مشکی به‌طورعمده از عناصر آهن، سرب و گوگرد تشکیل شده‌است (لامعی رشتی و دیگران، ۱۳۸۶). با توجه به وجود پیک شاخص عنصر آهن و گوگرد به‌احتمال‌زیاد مرکب استفاده‌شده در نمونهٔ بررسی‌شده 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 شناسایی‌شدهٔ قبلی می‌تواند دلیلی بر ایجاد لکه‌های فاکسینگ باشد.

یکی دیگر از مواردی که در بررسی ظاهر لکه‌ها به چشم می‌خورد تیره‌بودن نواحی اطراف لکه‌هاست. ازطرفی عنصر مس نیز در این تحقیق شناسایی شد. در تحقیقی توسط دنییل و میک به این موضوع اشاره شده‌است که حضور مس به همراه کلرید موجب مهاجرت خوردگی به مناطق اطراف لکه می‌شود و درنهایت 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

همان‌طورکه 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 به‌طورکلی وجود قارچ در این لکه‌ها تأیید شد و ازطرفی در تجزیهٔ عنصری نیز دو عنصر فلزی مس و آهن شناسایی شدند، می‌توان نتیجه گرفت که لکه‌های بررسی‌شده از نوع فاکسینگ هستند.



Archive of SID
www.SID.ir

عواملی همچون رطوبت محیط، نوع جوهر، و آهار استفاده‌شده در ساخت کاغذ می‌توانند در ایجاد و تسریع لکه‌های فاکسینگ موثر باشند. در نسخهٔ شاهنامهٔ 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 می‌دهند و نشاسته می‌تواند یکی از عوامل موثر و منبع تغذیه‌ای برای رشد میکروارگانیسم‌ها باشد و این موضوع می‌تواند دلیلی بر تسریع ایجاد لکه‌های فاکسینگ باشد. ازطرفی دربارهٔ تیره‌بودن نواحی اطراف لکه‌ها نیز می‌توان گفت که حضور مس به همراه کلرید موجب مهاجرت خوردگی به مناطق اطراف لکه شده‌است و درنهایت با حضور سولفید هیدروژن -که احتمالاً ناشی از آلودگی هوا بوده‌است- باعث تشکیل سولفید مس سیاه‌رنگ در اطراف نقاط شده‌است.

## منابع


### کتاب

شریف‌زاده، عبدالمجید. (۱۳۷۵). ***تاریخ نگارگری در ایران***. تهران: سازمان تبلیغات اسلامی، حوزهٔ هنری.

قهری، محمد. (۱۳۹۱). ***عوامل میکروبی آسیب‌رسان به مواد آرشیوی و کتابخانه‌ای***. تهران: سازمان اسناد و کتابخانهٔ ملی جمهوری اسلامی ایران.

لیه‌ناردی، آن؛ وان دم، فیلیپ. (۱۳۷۹). ***راهنمای حفاظت، نگهداری و مرمت کاغذ***. (ابوالحسن سروقد مقدم، مترجم). مشهد: آستان قدس، بنیاد پژوهش‌های اسلامی.

### مقاله

لامعی رشتی، محمد؛ اولیایی، فرهاد؛ باقی‌زاده، پروین؛ شکوهی، علی. (۱۳۸۶). «آنالیز عنصری چند نمونه از مرکب و کاغذ دورهٔ قاجار با میکروسکوپ روبشی پروتون». تهران: ***نامهٔ بهارستان***، ۷.

### پایان‌نامه

نادری زنوز، سارا. (۱۳۹۱). ***«بررسی عوامل پدیدآورندهٔ فاکسینگ در پنج نمونه از کتاب‌های دورهٔ قاجار کتابخانهٔ مرکزی تبریز»***، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشتهٔ مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی، دانشگاه آزاد تهران مرکزی، دانشکدهٔ هنر و معماری.


Archive of SID



www.SID.ir

## 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 Cance r, 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 biodeterioration & 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

Archive of SID



www.SID.ir

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.

**مجموعه‌مقاله**

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 conférence,*** 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).

Archive of SID



www.SID.ir