دوفصلنامه علمی- پژوهشی مرمت و معماری ایران
سال چهارم، شماره هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۳

دریافت مقاله: ۹۲/۰۴/۱۷
پذیرش مقاله: ۹۳/۰۴/۳۰

ارزیابی پراکنش و تخریب بیولوژیکی ناشی از فعالیت قارچ سفالوسپوریوم در نسخ کاغذی مجموعه کتابخانه و موزه ملی ملک

محسن محمدی آچاچلویی* علیرضا کوچکزایی** مهری قبادی***

چکیده

فعالیت قارچها از مهم‌ترین عوامل تخریب بیولوژیکی آثار کاغذی در آرشیوها است. به همین علت، حذف این عوامل از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به رفتار مختلف قارچها نسبت به روش‌های درمان، لازمه انتخاب روش بهینه برخورد با این‌گونه آثار، شناخت دقیق نوع قارچ موثر بر کاغذ، مکانیسم، شکل و شدت آسیب وارده به اثر است. ازاین‌رو، شناخت گونه‌های مختلف قارچ در آرشیوها و تأثیرات آن بر ویژگی‌های کاغذ، همواره از دغدغه‌های اصلی محققان و حفاظت‌گران این حیطه بوده‌است. مجموعه کتابخانه و موزه ملی ملک، به عنوان یکی از غنی‌ترین مجموعه‌های نسخ کاغذی ایران مطرح است. ارزیابی شناسنامه نسخ این مجموعه، نشان از فعالیت قارچها، در حدود ۵۴۰ نسخه دارد. از جمله قارچهایی که در بررسی آرشیوها گزارش شده‌است، قارچ سفالوسپوریوم است که شناخت تأثیرات آن بر ویژگی‌های کاغذ، از سؤالات پیش روی این پژوهش است. ازاین‌رو در پژوهش حاضر آثار این مجموعه، با هدف ارزیابی پراکنش قارچ سفالوسپوریوم و تأثیرات مخرب آن بر ویژگی‌های بصری و ساختاری کاغذ، بررسی شدند. در این راستا پس از کشت نمونه‌ها و شناسایی جدایه‌ها و تعیین پراکنش این قارچ، آثار مبتلا به این جنس مورد بررسی قرار گرفتند. بدین منظور، جهت ارزیابی تغییرات ساختاری، از آنالیز ATR-FTIR، SEM و EDS استفاده شد. نتایج گویای فعالیت قارچ سفالوسپوریوم در ۵ درصد از نمونه‌های مورد بررسی بود. فعالیت این قارچ، ایجاد لکه‌های صورتی و قرمز تا قهوه‌ای بر کاغذ، تخریب ساختار سلولزی کاغذ توسط آنزیم‌های سلولاز، آسیب به ویژگی‌های سطحی الیاف، فروشست بیولوژیکی ترکیبات معدنی کاغذ و درنتیجه، افت خصوصیات فیزیکی آن را درپی دارد.

کلیدواژگان: کتابخانه و موزه ملی ملک، نسخ کاغذی، مطالعه ساختاری، تخریب بیولوژیکی، آسیب‌های قارچی، سفالوسپوریوم.

* مشاور علمی مؤسسه کتابخانه و موزه ملی ملک. mohsen.mohammadi@aui.ac.ir
** دانشجوی دکتری مرمت اشیای فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان.
*** کارشناس‌ارشد مرمت اشیای فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان.

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

برای قرن‌ها، کاغذ ماده اصلی جهت ثبت دستاوردهای فرهنگی در سراسر جهان بود. کاغذ، بافت نازکی از یک ماده لیفی شکل همراه با مواد افزودنی است. مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده آن ماده‌ای لیفی شکل معمولاً سلولزی، ماده‌ای برای افزایش استحکام به عنوان آهار مانند نشاسته و ژلاتین و ماده‌ای جهت بهبود ویژگی‌های سطحی برای امر نوشتن به عنوان پرکننده مانند کربنات کلسیم و ژیپس است. با توجه به ماهیت آلی ماده لیفی شکل و آهار موجود در کاغذ، این ماده در محیط‌های مختلف دچار آسیب‌های گوناگونی همچون آسیب‌های فیزیکی ناشی از رطوبت و فشار مکانیکی، شیمیایی مانند اکسیداسیون سلولز، اسیدی‌شدن و زردشدگی[۱] و بیولوژیکی ناشی از تأثیر باکتری‌ها، قارچ‌ها، حشرات و جوندگان می‌گردد. آسیب‌های بیولوژیکی، نقش مهمی در تخریب آثار کاغذی دارند. در این میان، میکرو ارگانیسم‌ها به‌ویژه قارچ‌ها به دلیل فعالیت‌های سلولولیتیک[۲] خود عوامل بالقوه‌ای برای تخریب کاغذ محسوب می‌شوند که در آرشیوهای مختلف نقاط متعدد دنیا، موجب آسیب‌های جبران‌ناپذیری در آثار کاغذی شده‌اند. نظر به آسیب‌های متعدد ناشی از فعالیت قارچ‌ها، حذف این عوامل و درمان آثار، از اولویت بالایی برخوردار است. یکی از نگرانی‌های عمده در زمینه کلونیزاسیون قارچی، تغییرات در ویژگی‌های بصری از طریق تغییر رنگ به وسیله اسیدهای ضعیف تولیدشده توسط قارچ یا تجمع رنگدانه‌هاست که لکه‌های مختلفی را ایجاد می‌کنند (Sterflinger et al 1999 ; Arai 2000). قارچ‌ها افزون‌بر تأثیرات بصری با تخریب ساختاری کاغذ، زمینه اضمحلال اثر را نیز فراهم می‌کنند. با توجه به آسیب‌های متعدد ناشی از فعالیت قارچ‌ها، حذف این عوامل و درمان آثار، اولویت بالایی دارد. تاکنون گونه‌های متعدد و بسیاری از قارچ‌ها روی آثار کاغذی در آرشیوها و کتابخانه‌ها شناخته شده‌اند که از نظر نوع تأثیر و شرایط محیطی لازم برای فعالیت، با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند. از طرفی مقاومت گونه‌های مختلف قارچ در برابر فرایندهای مقابله، یکسان نیست و ممکن است عکس‌العمل‌های مختلفی از آنها دیده‌شود. با توجه به رفتار مختلف قارچ‌ها نسبت به روش‌های درمان، لازمه انتخاب روش بهینه برخورد با این‌گونه آثار، شناخت دقیق نوع قارچ مؤثر بر کاغذ، مکانیسم، شکل و شدت آسیب وارده بر اثر است. ازاین‌رو، شناخت گونه‌های مختلف قارچ در آرشیوها و تأثیرات آنها بر ویژگی‌های کاغذ، همواره از دغدغه‌های اصلی محققان و حفاظت‌گران این حیطه بوده‌است که پیرو آن، مراکز متعددی در این باره به پژوهش پرداخته‌اند. یکی از قارچ‌های معرفی‌شده به عنوان عامل آسیب‌رسان به آثار کاغذی در آرشیوها، جنس سفالوسپوریوم[۳] است. با توجه به گستردگی این‌گونه قارچ، معمولاً در برخی آرشیوهای مبتلا به آسیب‌های قارچی، این جنس گزارش شده‌است. بدین دلیل شناخت آسیب‌های ناشی از فعالیت آن در انتخاب راهکار برخورد با آثار آرشیوی حائز اهمیت بوده که کمک شایان توجهی به این امر می‌کند. از میان آرشیوهای غنی ایران، آرشیو موزه و کتابخانه ملی ملک است که دارای کتاب‌ها و نسخه‌های شاخصی است آن‌چنان که مجموعه آثار موجود در این آرشیو، جزو نفیس‌ترین آثار مربوط به نسخ خطی و کتب موجود در ایران به شمار می‌رود. با توجه به حجم و اهمیت آثار موجود در آرشیو این موزه، شناخت و بررسی عوامل آسیب‌رسان به آثار آن، ضرورتی تمام دارد و اهمیت این امر در راستای نیاز موجود به حفاظت این آثار، کاملاً بدیهی می‌نماید. ازاین‌رو با توجه به تأثیرات منفی قارچ سفالوسپوریوم در آرشیوها، آثار مجموعه کتابخانه و موزه ملی ملک با هدف بررسی پراکنش این‌گونه قارچ و تأثیرات آن بر ویژگی‌های بصری و ساختاری آثار کاغذی مجموعه یادشده، ارزیابی شدند.

پیشینه پژوهش

تخریب بیولوژیکی در آثار تاریخی کاغذی، ممکن است به از دست دادن اطلاعات و ویژگی‌های مهمی منجر شود (Cappitelli and Sorlini, 2005). در این میان، قارچ‌ها عوامل مهمی در تخریب کاغذ به شمار می‌روند (Fabbri et al, 1997) که بین عوامل بیولوژیک بیشترین خطرات را برای کتابخانه‌ها ایجاد می‌کنند. ازاین‌رو، شناخت گونه‌های مختلف قارچ در آرشیوها و تأثیرات آنها بر ویژگی‌های کاغذ، همواره از دغدغه‌های اصلی محققان و حفاظت‌گران این حیطه بوده‌است. چندین دهه از آغاز بررسی‌های علمی در زمینه نقش قارچ‌ها در تخریب آثار موجود در آرشیوها می‌گذرد که در این بخش به برخی از آنها اشاره می‌شود. *دارویش*[۴] (۲۰۰۱) در رساله دکتری خود به مطالعه بیولوژیکی میکرو ارگانیسم‌های سلولوتیکی که در نسخ خطی و نقاط مختلف فعالیت داشتند، پرداخته است. بطور کلی در بررسی قارچ‌های موجود در کتابخانه‌ها، بیش از دویست گونه سلولوتیک شناسایی شده‌است (ناردی، ۱۳۷۹: ۱۰۱-۹۸). *فوستاگالو*[۵] (۱۳۷۰)، تعداد زیادی از قارچ‌های آسیب‌رسان به کاغذ را متعلق به جنس‌های آسپرژیلوس، پنی سیلیوم و چیتومیوم[۶]دانسته و مهم‌ترین جنس‌های قارچ‌هایی را که به کاغذ و مقوا صدمه می‌زنند همچون سفالوسپوریوم، معرفی نموده‌است (فوستاگالو، ۱۳۷۰: ۷۳-۷۰). *زایسکا*[۷] (1997)، قارچ‌های

Archive of SID

www.SID.ir

جداسازی شده از مواد کتابخانه‌ای را براساس اسناد و منابع موجود بررسی کرده‌است. وی دراین باره بیان می‌کند که آرشیوهای متعددی نیز برای شناسایی قارچ‌های مخرب آثار آنها بررسی شده‌اند. از آن جمله می‌توان به آثار مربوط به قرن هجدهم میلادی در موزه سنت آگوستینا[۸] در جنوا ایتالیا (Zotti et al, 2008)، اسناد تاریخی آرشیو دانشگاه کوئمبرا[۹] پرتغال (Mesquita et al, 2009)، آرشیو موزه لاپلاتا[۱۰] در آرژانتین و آرشیو ملی کوبا (Guiamet et al, 2011) و آرشیوهای کشور پرتغال (Pinheiro et al, 2011) اشاره‌نمود. آثار کتابخانه عکاسی آرشیو ملی جمهوری کوبا و آرشیو عکس‌های تاریخی موزه لاپلاتا (Borrego et al, 2010)، فیلم‌های رنگی آرشیوی در کوبا (Vivar et al, 2012) و همچنین قارچ‌های موجود در هوای آرشیو کتابخانه کوئمبرا پرتغال (Nunes et al, 2013) نیز برای این کار بررسی و گزارش شده‌اند. *تاوزس*[۱۱] و همکاران (2009)، تخریب آنزیمی کاغذ را بر اثر فعالیت قارچ‌ها مورد ارزیابی قرارداده و تغییرات ساختاری و بصری کاغذ را تشریح کرده‌اند. *زوتی*[۱۲] و همکاران (۲۰۱۱)، به ارزیابی لکه‌هایی تحت عنوان فاکسینگ در آثار کاغذی تاریخی پرداختند که در این پژوهش، طیف سنجی مادون قرمز- انعکاس کلی تضعیف‌شده (ATR-FTIR)، مورد استفاده قرار گرفت. *پینزاری*[۱۳] و همکاران (۲۰۰۶) نیز، تأثیرات قارچ‌ها و ارتباط آسیب‌های آنها را با متغیرهای مورد استفاده در فرآوری کاغذ با به کارگیری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، بررسی کرده‌اند. در ارتباط با آثار و آرشیوهای ایران هم گزارش‌هایی منتشر شده‌است. شمسیان و همکاران (۲۰۰۶)، به بررسی لکه‌های قارچ‌های موجود در نسخ خطی موزه و کتابخانه آستان قدس رضوی مشهد پرداخته و در میان قارچ‌های شناسایی شده، جنس سفالوسپوریوم را گزارش داده‌اند. *قهری* (۱۳۸۵)، مهم‌ترین قارچ‌های آسیب‌رسان به کاغذ و تأثیرات آنها را بررسی و راه‌های پیشگیری از آنها را مرور کرده‌است. همین مؤلف (۱۳۹۱) نیز، به مطالعه تخریب بیولوژیک در مواد موجود در آرشیوها پرداخته و گونه‌های قارچ و تأثیرات آنها را در آثار کاغذی مرور کرده‌است. *رئیس‌نیا* (۱۳۸۹) هم پس از بررسی قارچ‌های مؤثر بر آثار کاغذی موجود در کتابخانه ملی ایران، به معرفی و بررسی مهم‌ترین گونه‌های مؤثر در این مجموعه پرداخته‌است. پراکنش قارچ آسپرژیلوس نایجر و تغییرات بصری و ساختاری ناشی از فعالیت این قارچ در نسخ آرشیو موزه و کتابخانه ملی ملک با استفاده از طیف سنجی ATR-FTIR و SEM بررسی شده‌است (محمدی آچاچلویی و کوچکزایی، ۲۰۱۳). *کوچکزایی* و *شیردوانی* (2013) نیز، پراکنش قارچ‌های مخرب آثار کاغذی یک مجموعه خصوصی را در اصفهان مطالعه کرده‌اند. مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده در این زمینه در آرشیوهای مختلف نقاط متفاوت دنیا، همگی بر این مطلب تأکید دارند که شناسایی قارچ‌های مؤثر در یک آرشیو و تأثیرات آنها بر آثار برای انتخاب روش مناسب حفاظتی، لازم و ضروری است.

مواد و روش

- جداسازی و شناسایی قارچ‌ها

با توجه به هدف این مطالعه که ارزیابی تأثیرات قارچ سفالوسپوریوم بر نسخ موزه ملی ملک است، ضرورت دارد نخست نمونه‌های حاوی این قارچ شناسایی و پراکنش آنها بررسی شوند. براساس اطلاعات موجود در شناسنامه آثار مخزن، تعداد ۵۴۰ نسخه دارای آسیب‌های ناشی از قارچ گزارش شده‌اند. ۵۹ نمونه از نسخ شاخص این مجموعه برای جداسازی قارچ و شناسایی آنها، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. گزینش نسخه‌ها براساس ویژگی‌های ظاهری مربوط به فعالیت قارچ بوده‌است. بدین معنا که نمونه‌هایی که کوچک‌ترین احتمال در مورد فعالیت قارچ‌ها در آنها وجودداشته، انتخاب و برمبنای شباهت ویژگی‌های ظاهری لکه‌ها و آثار محتمل تأثیر قارچ، تقسیم‌بندی و سپس نمونه‌های کاملاً مشابه از این نظر، دسته‌بندی شدند. پس از آن، نمونه‌های شاخص از هر دسته، مطالعه گردیدند. نمونه‌ها به صورت نوارهای نازک و کوچک کاغذِ حاوی تأثیرات قارچ با استفاده از تیغ اسکالپل و اسپاتول استریل، برداشته‌شدند و بلافاصله در بسته‌های ضد عفونی شده، قرار گرفتند. برای شناسایی نوع قارچ، از روش کشت در محیط سابورو دکستروز آگار[۱۴] براساس شیوه پیشنهادی شرکت تولیدکننده، ۶۵ گرم در لیتر، استفاده‌شد. پیش از نمونه‌برداری و کشت، ابزار و محل نمونه‌برداری با استفاده از آب ژاول، اتانول (محصول شرکت مرک آلمان)، اشعه UV و درنهایت همراه با محیط کشت تهیه‌شده در اتوکلاو با دمای ۱۲۱°C و فشار ۲۰ psi به مدت ۲۰ دقیقه، ضد عفونی و استریل شدند. شایان یادآوری است که در این خصوص، اصول مطرح‌شده در استانداردهای ملی ایران به شماره‌های ۳۱۹۴ و ۹۸۹۹ به کار گرفته شدند. نمونه‌ها برای کشت، مدت دو هفته در انکوباتور ضدعفونی شدند و در دمای ۳±۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد، قرار گرفتند. پس از طی این مدت و رشد قارچ‌ها، خصوصیات ماکروسکوپی آنها همچون شکل، رنگ و سرعت رشد کلنی برای شناسایی جدایه‌ها بررسی شدند. سپس خصوصیات میکروسکوپی که شامل صفات مورفولوژی و خصوصیات ظاهری جدایه‌ها بود، با میکروسکوپ نوری

Archive of SID

www.SID.ir

عبوری مورد بررسی قرار گرفتند (CTS.Lot No: 29003). درنهایت براساس نتایج به دست آمده، نمونه‌های حاوی جدایه سفالوسپوریوم جهت ارزیابی تغییرات و آسیب‌های وارده بر آنها بررسی شدند.

- ارزیابی به روش طیف سنجی ATR-FTIR

طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)، از تکنیک‌های طیف سنجی در بررسی ساختاری مواد است که با توجه به ارتعاش مولکولی و میزان جذب باندهای موجود خصوصاً در ترکیبات آلی، می‌تواند برای ارزیابی ساختاری به کار رود. بدین منظور برای بررسی تغییرات ایجادشده در کاغذ تحت تأثیر قارچ، از این تکنیک استفاده‌شد. برای این کار، دستگاه FTIR Spectrometer مدل Nicolet Nexus 670 ساخت شرکت Thermo Nicolet آمریکا، همراه با ابزار ثبت طیف انعکاسی (ATR) به کار گرفته‌شدند. طیف‌های مادون قرمز در محدوده ۴۰۰۰-۶۰۰cm^{-1} با تفکیک‌پذیری ۴cm^{-1} و ۳۲ پیمایش، ثبت گردیدند. لازم به یادآوری است که در این آزمایش نمونه‌های مورد آزمون در محیطی مناسب از نظر رطوبتی و شرایطی یکسان، قرار داشتند. سپس خط‌زمینه طیف‌ها با توجه به ناحیهٔ اثر انگشت ساختار لیگنوسلولزی در کاغذ، در محدوده ۱۷۹۰-۶۵۰cm^{-1}، اصلاح[15] و بررسی شد تا ارزیابی بهتری نسبت به این تغییرات صورت‌پذیرد.

- ارزیابی با استفاده از روش SEM/EDS

میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف نگاری پاشندگی انرژی اشعه ایکس (SEM/EDS)، ابزار مناسبی برای بررسی ریز ساختار مواد به شمار می‌رود. ازاین‌رو، از میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت بررسی ساختار الیاف و از آنالیز EDS برای ارزیابی تغییرات احتمالی ترکیب شیمیایی مواد معدنی سطح کاغذ استفاده‌شد. مطالعات SEM، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مدل VEGA II محصول شرکت TESCAN جمهوری چک، پس از پوشش‌دهی نمونه‌ها با لایه نازکی از طلا، صورت پذیرفت. ازآنجائی که بررسی مورفولوژیکی قارچها در سطح کاغذ با شرایط خلأ بالا میسر نیست، سعی‌شد تا با افزایش فشار در محفظه خلاء میکروسکوپ، تصویربرداری از سطح نمونه‌های قارچ‌زده امکان‌پذیر شود.

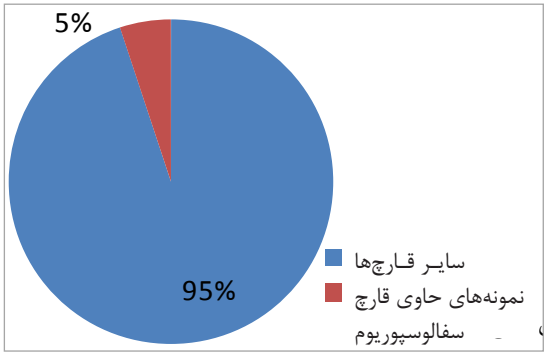
نتایج و بحث

پس از رشد قارچ‌های موجود در نسخ در محیط کشت SDA، با بررسی ویژگی‌های ماکروسکوپی شامل سرعت رشد، شکل و رنگ کلنی، قارچها در هفت دسته کلی تقسیم‌بندی شدند. پس از دسته‌بندی قارچها، هر گروه مورد مطالعه میکروسکوپی قرارگرفت و خصوصیات مورفولوژی و میکروسکوپی آنها بررسی‌شد. براساس نتایج حاصل از بررسی خصوصیات و ویژگی‌های مورفولوژی، ماکروسکوپی و میکروسکوپی جدایه‌ها بین ۵۹ نسخهٔ بررسی‌شده، ۳ نمونه معادل ۵ درصد حاوی قارچ سفالوسپوریوم بود (تصویر ۱). جدایه‌های ارزیابی‌شده این جنس در این سه نمونه، دارای کلنی سفید رنگ با رشد نسبتاً زیاد و سطح صاف است که بعضاً در سطح آنها، نقاطی مایل به صورتی دیده می‌شد. ارزیابی میکروسکوپی و مورفولوژی نیز، نشان‌دهنده وجود میسیلیوم‌های[16] نازک و واجد تیغه عرضی و هیف‌های[17] شفاف بود. کنیدیوفورها[18] هم بطور مشخص و واضح مشاهده نمی‌شدند. کنیدیاها[19] نیز به صورت بیضی شکل روی میسیلیوم‌ها قابل مشاهده بودند و درنتیجه فیالیدها[20] بر سطوح هیف‌ها وجود داشتند. فیالیدهای کوتاه انتهای ریسه‌ها و کونیدیای انتهای کونیدیوفور به صورت تک سلولی رؤیت می‌شدند (تصویر ۲). مطابقت این ویژگی‌ها، نشان‌دهنده جدایه جنس سفالوسپوریوم در این سه نسخه است (رئیس‌نیا، ۱۳۸۹؛ الکسوپولوس، ۱۳۶۴؛ خداپرست، ۱۳۸۹؛ قهری، ۱۳۹۱ و اشکان، ۱۳۸۷). این نسخ براساس شناسنامه ثبتی همراه آثار در مخزن موزه و کتابخانه ملی ملک، تحت عنوان کتاب قانون از مجموعه آثار اهدایی عزت الملک با کد ۴۰۶۶، ۴۵۵۲، نام‌گذاری و شناسایی می‌شوند.

بطور کلی یکی از نگرانی‌های عمده در زمینه کلونیزاسیون قارچی، تغییرات در ویژگی‌های بصری از طریق تغییر رنگ به وسیله اسیدهای ضعیف تولیدشده توسط قارچ یا تجمع رنگدانه هاست که لکه‌های مختلفی را ایجاد می‌کنند (Sterflinger et al 1999; Arai 2000). در بررسی اولیه نمونه‌های موجود در آرشیو، لکه‌های مختلفی ناشی از فعالیت قارچها در کاغذ مشاهده‌شد. هرچند شناخت عامل آسیب‌رسان و نوع قارچ ایجادکننده لکه بر پایه ویژگی‌های بصری آن امری بعید است اما شکل آسیب می‌تواند در کنار سایر روش‌ها، مفید واقع‌شود. از طرفی، شناخت تغییرات بصری ایجادشده در کاغذ و منشأ آنها در فرایند پاکسازی دارای اهمیت است. ویژگی‌های بصری لکه تحت تأثیر نوع کاغذ (Menezes et al, 2011)، آهار و پرکننده (Pinzari et al, 2006) تغییر می‌یابند. همان‌طور که پیش از این نیز گفته‌شد، این لکه‌ها ناشی از تولید رنگدانه‌های قارچی و محصولات تخریب بیولوژیکی کاغذ است. این‌گونه رنگدانه‌ها ترکیبات پیچیده شیمیایی هستند که در طول فعالیت متابولیسم قارچ تولید می‌شوند. رنگدانه‌های قارچی در اسپور و میسلیا وجوددارند و توسط سلول‌های قارچی ترشح می‌شوند (Szczepanowska and Lovett, 1992). ضمن اینکه ارزش‌های مختلف آثار همچون

Archive of SID

www.SID.ir



تصویر۱. پراکنش جنس سفالوسپوریوم در میان ۵۹ نمونه بررسی‌شده (نگارندگان).

زیباشناختی آنها را دچار مخاطره می‌کند. بررسی آثار مخزن که جدایه سفالوسپوریوم در آنها شناسایی‌شده، نشان‌دهنده وجود لکه‌های صورتی و قرمز تا قهوه‌ای ناشی از فعالیت این قارچ بر کاغذ است (تصویر۳).

برای ارزیابی تغییرات ساختاری در بخش‌های دارای لکه قارچی نمونه‌هایِ مورد مطالعه، طیف‌سنجی ATR-FTIR| انجام‌شد که دیاگرام‌های مربوط به آنها در تصویر۴، قابل مشاهده‌است. در این طیف‌ها، نوارهای جذبی حوالی $1040cm^{-1}$ و $1060cm^{-1}$، نشانگر ارتعاش کششی C–O در سلولز و همی‌سلولز است. همچنین جذب در $1160cm^{-1}$ بر اثر ارتعاش کششی نامتقارن C-O-C در سلولز و همی‌سلولز است (Abidi et al, 2013). تغییرات این جذب، نشان‌دهنده شکست پل اکسیژنی در زنجیر پلیمری پلی ساکاریدها است. جذب در حوالی $1325cm^{-1}$ نیز، ناشی از ارتعاش گروه CH_2 در سلولز است (Ibid). ضمن اینکه نوار موجود در حوالی $1113cm^{-1}$، ناشی از ارتعاش گروه هیدروکسیل در سلولز و همی‌سلولز است. افزایش میزان جذب در حوالی دو ناحیه $1113cm^{-1}$ و $1325cm^{-1}$، گویای افزایش گروه‌های عاملی متصل به زنجیر هستند. نوار جذبی مربوط به گروه C1 (ß-linkage) در سلولز و همی‌سلولز نیز، حدود $890cm^{-1}$ دیده می‌شود (Ibid). کاهش جذب در این ناحیه و نیز افزایش در $1113cm^{-1}$ و $1325cm^{-1}$ می‌توانند ناشی از فرایندهای بازشدن حلقه گلوکزی در ساختار پلی ساکارید باشند.

براین اساس، در طیف حاصل از نمونه ۴۰۶۶، جذب در $1160cm^{-1}$ افتی را نشان نمی‌دهد اما جذب ضعیف در $897cm^{-1}$ و میزان جذب در حوالی $1650cm^{-1}$ بر تخریب حلقه گلوکزی دلالت می‌کند. افزون‌بر اینها جذب در $1320cm^{-1}$ هم، این موضوع را تأیید می‌کند. همچنین، نوار موجود در حوالی $1420cm^{-1}$ در اثر ارتعاش CH خمشی نامتقارن، بر افزایش این گروه دلالت‌دارد که خود تخریب عرضی را تأیید می‌کند. البته این میزان تغییرات در نوارهای جذبی،

تصویر۲. خصوصیات ماکروسکوپی و میکروسکوپی قارچ سفالوسپوریوم جداسازی‌شده از نمونه‌ها (نگارندگان).

تصویر۳. لکه‌های صورتی رنگ ناشی از فعالیت قارچ سفالوسپوریوم بر نمونه ۴۰۶۶ (نگارندگان).

نشان‌دهنده آسیب شدید در کاغذ این نمونه نیست. در طیف به دست آمده از نمونه ۴۵۵۲ نیز، چنین وضعیتی دیده می‌شود. با این تفاوت که جذب در نوارهای $1160cm^{-1}$ و $1060cm^{-1}$، کاهشی جزئی دارد که گویای آسیب‌پذیری بیشتر سلولز در این نمونه است و احتمالاً به شکل شکست طولی زنجیره پلی ساکارید دیده می‌شود. در نمونه کتاب قانون، جذب در حدود $890cm^{-1}$، کاهش و جذب $1325cm^{-1}$ نسبت به سایر نمونه‌ها، افزایش بیشتری داشته که ناشی از فرایندهای بازشدن حلقه گلوکزی در ساختار پلی ساکارید است و با توجه به کاهش جزئی جذب $1160cm^{-1}$، شکست طولی نیز در این نمونه رخ داده‌است. همچنین جذب قابل توجه پیرامون $1650cm^{-1}$ نیز مشهود است که به دلیل ارتعاش کششی C=O اتفاق افتاده‌است. این گروه در فرایند تخریب حلقه گلوکزی در سلولز افزایش می‌یابد و در ساختار همی‌سلولز هم وجوددارد. از طرفی این جذب با فعالیت قارچ و تحت تأثیر وجود آن و ناشی از گروه Amide I، بیشتر می‌گردد (Zotti et al, 2011). جذب در حدود $1550cm^{-1}$ نیز در هر

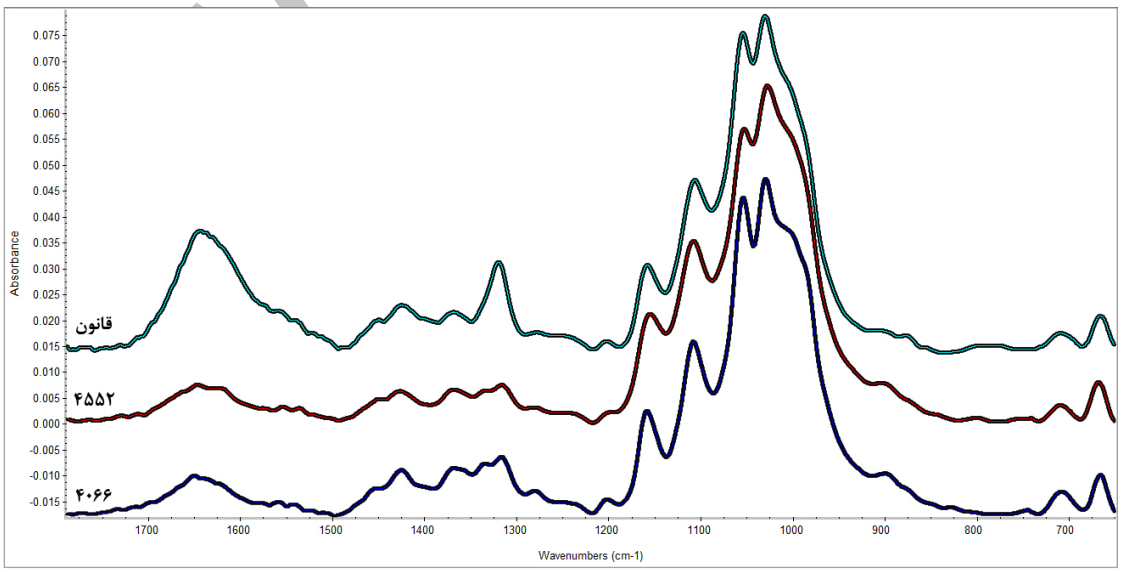
Archive of SID

www.SID.ir

سه نمونه، در حال شکل‌گیری است که این محدوده مربوط به گروه Amide II در ساختار پروتئینی قارچ است (Ibid). ازاین‌رو می‌توان گفت، شدت آسیب در نمونه کتاب قانون، نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر است. افزون‌بر موارد بیان‌شده، هر سه نمونه دارای جذبی جزئی در حدود $۸۷۰ cm^{-1}$، هستند که این محدوده در طیف FTIR کاغذ، مربوط به کربنات کلسیم به عنوان پرکننده کاغذ است (Manente et al, 2012). براساس این جذب و میزان جذب در محدوده $۱۴۲۵cm^{-1}$، احتمالاً از کربنات کلسیم به عنوان پرکننده این نمونه‌ها استفاده شده‌است (Pinzari et al, 2010). سفالوسپوریوم که نوعی قارچ سلولولیتیک است، قابلیت تولید آنزیم‌های مختلف سلولاز را دارد. این آنزیم‌ها، مسئول تجزیه سلولز الیاف کاغذ هستند (Deacon, 1997) که تأثیرات آنها بر ویژگی‌های ساختاری کاغذ در طیف‌های ATR-FTIR مشهود است. فعالیت ترکیبی این آنزیم‌ها، هیدرولیز کامل سلولز به گلوکز را درپی دارد. ابتدا پیوندهای عرضی شکسته‌شده و درادامه، سلوبیوهیدرولازها[۲۱] واحدهای سلوبیوز[۲۲] را از انتهای زنجیره پلی ساکاریدی جدا می‌کنند. سلوبیوزهای ایجادشده نیز درانتها تحت تأثیر آنزیم‌های بتا-گلوکوسیداز[۲۳] به گلوکز تبدیل می‌شوند (De Vries et al, 2011; Aro et al, 2005; Horn et al, 2012). همچنین سلوبیوز و گلوکز، تحت تأثیر آنزیم‌ها می‌توانند تبدیل به سلوبیونیک اسید[۲۴] و گلوکونیک اسید[۲۵] شوند (Coughlan, 1991) که به هیدرولیز اسیدی سلولز سرعت می‌بخشند. گسترش فعالیت این آنزیم‌ها درنهایت منجر به تخریب کامل ساختار سلولزی کاغذ می‌شود (تصویر۵).

برای بررسی ساختار سطح کاغذ و تأثیرات فعالیت قارچ سفالوسپوریوم بر ویژگی‌های سطحی الیاف، از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده‌شد. این تأثیرات روی نمونه ۴۰۶۶ و کاغذ تشکیل‌دهنده کتاب قانون مربوط به مجموعه اهدایی عزت الملک، بررسی‌شد. در نمونه ۴۰۶۶، یکپارچگی کلی سطح الیاف تحت تأثیر قارچ از بین رفته‌است و افزایش خلل و فرج به صورت نقطه‌ای دیده می‌شود (تصویر۶-۱). هرچند ترک‌های چندانی در بافت الیاف پرداخت‌شده در سطح کاغذ دیده نمی‌شود؛ در نقاط مورد بحث، جدایش بین الیاف مجاور و شکست الیاف کوچک‌تر قابل رؤیت است (تصویرهای۶-۲ و ۶-۳). در نمونه کتاب قانون همان‌گونه که در تصویر۷-۱ نیز نشان داده‌شده، یکپارچگی کلی الیاف بر اثر فعالیت قارچ تحت تأثیر قرار گرفته‌است. درواقع در این تصویر، دو ناحیه مجاور هم: یک قسمت تحت تأثیر قارچ قرارداشته و ناحیه مجاور آن که سالم و بدون تأثیر قارچ است، نشان داده می‌شود. در منطقه مورد حمله قارچ، الیاف کاغذ به میزان زیادی دچار جدایش شده‌اند به گونه‌ای که فضای زیادی بین آنها ایجاد شده است (تصویر۷-۲) و الیاف به حالت ریش‌شده در آمده‌اند. درحالی که در بخش سالم، کاغذ یکپارچگی خود را حفظ کرده و الیاف از انسجام کلی برخوردارند و فضای بین الیاف بسیار کمتر از آن چیزی است که در بخش قارچ‌زده دیده می‌شود.

افزون‌بر اینها، جدایش بین الیاف نیز در بخش قارچ‌زده مشهود است (تصویرهای۷-۳ و ۷-۴) به گونه‌ای که در صورت ادامه این فرایند، تخریب کاغذ چندان دور از انتظار نخواهدبود. شکست طولی و پارگی الیاف در بخش قارچ‌زده هم مشخص است (تصویر۷-۵). درواقع تغذیه قارچ از مواد تشکیل‌دهنده کاغذ، تضعیف ساختاری آن را درپی دارد که منجر به افت ویژگی‌های فیزیکی الیاف شده و درنتیجه بر اثر نیروهای واردشده از محیط، سریع‌تر دچار گسیختگی شده‌اند.



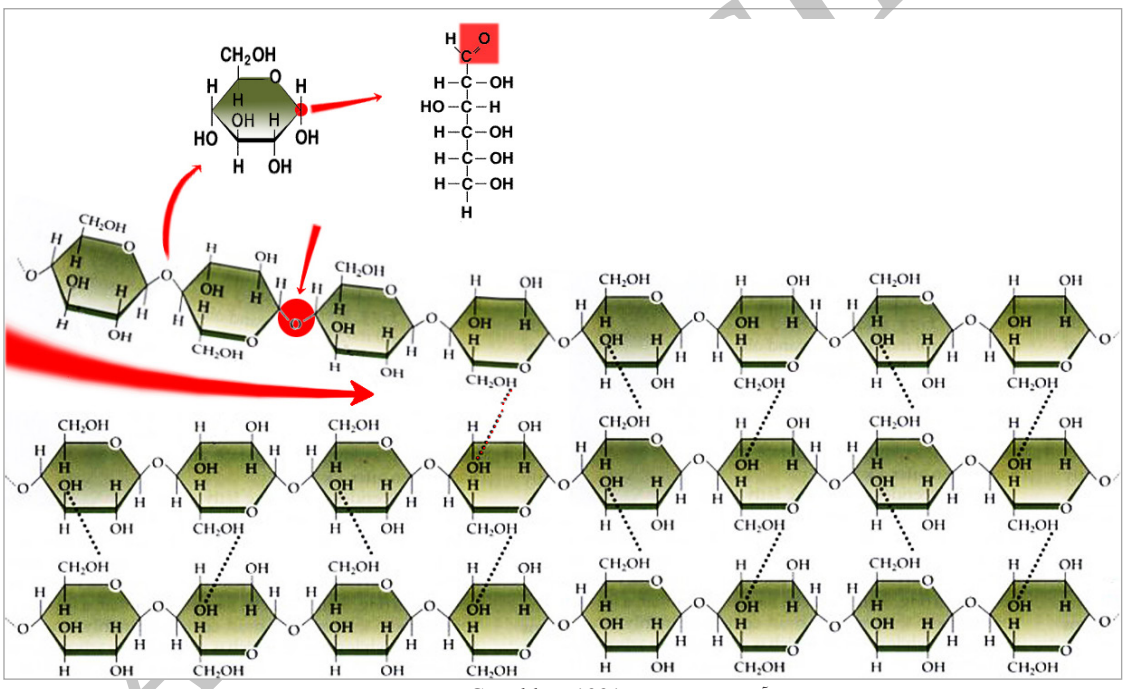
تصویر۴. دیاگرام‌های ATR-FTIR بخش‌های دارای لکه قارچی، در سه نمونه مورد مطالعه در محدوده $۱۸۰۰-۶۵۰ cm^{-1}$ (نگارندگان).

Archive of SID
www.SID.ir

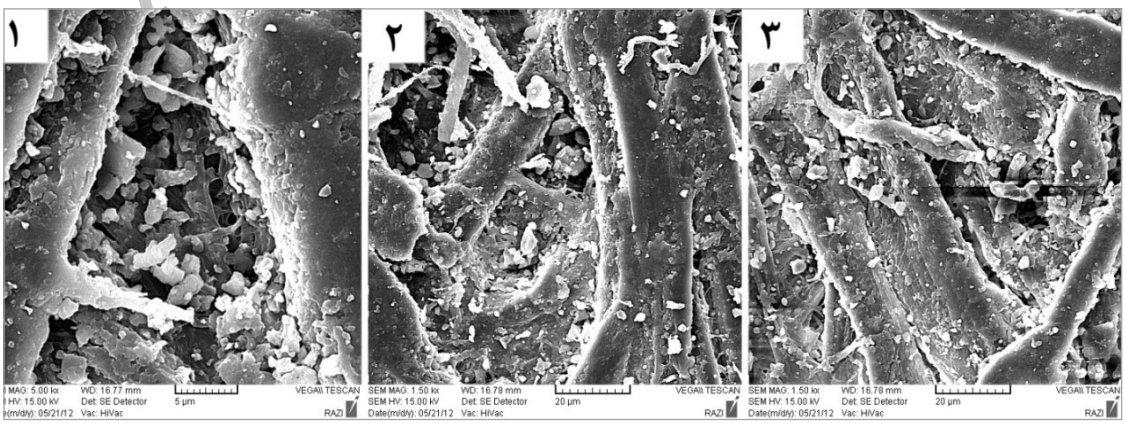
در نمونه کتاب قانون، برای بررسی عناصر معدنی موجود در ساختار کاغذ و تغییرات احتمالی آنها بر اثر فعالیت قارچ، آنالیز عنصری EDS، انجام‌شد. این آزمایش در قسمتی که تحت تأثیر قارچ قرار گرفته‌بود و در بخش مجاور و سالم صورت گرفت و نتایج آن هم در جدول۱، نشان داده شده‌است. این آنالیز عنصری نشان‌دهنده وجود عناصر قلیایی و قلیایی خاکی شامل پتاسیم، منیزیم و کلسیم همراه با عناصری چون سولفور، آلومینیوم، سیلیسیم، کلر، آهن و مس است. افرون‌بر اینها، الیاف کاغذ خود به میزان کمی حاوی مواد معدنی هستند اما درصد بالای بعضی از این عناصر نشان‌دهنده اضافه‌شدن آنها در فرایند تولید یا قرارگرفتن‌شان تحت تأثیر نفوذ عوامل محیطی است. درصد بالای کلسیم و سیلیسیم در این آنالیز، مربوط به ماده پرکننده در کاغذ است.

میزان سولفور نیز به حدی نیست که بتوان آن را ناشی از استفادهٔ سولفات کلسیم در فرم گچ به عنوان پرکننده در کاغذ دانست. بدین دلیل به احتمال زیاد، میزان سولفور یا به عنوان ناخالصی همراه پرکننده بوده یا اینکه به عنوان آلودگی از محیط، بر الیاف نشسته است. با این تفاسیر و در نظر گرفتن نتایج طیف سنجی ATR-FTIR، به احتمال بسیار پرکنندهٔ مورد استفاده در کاغذ، کربنات کلسیم بوده‌است. سایر عناصر موجود نیز یا ناخالصی‌های موجود در پرکننده‌اند یا در فرایند ساخت و در گذر زمان، از محیط نفوذ کرده‌اند.

مسأله مهم در این میان، تفاوت زیاد میزان کلسیم در کاغذ در دو بخش مجاور است. در بخش دارای لکه قارچی، میزان کلسیم کمتر از یک دوم میزان آن در بخش سالم و مجاور است. این امر بر مصرف یا فروشست کلسیم توسط



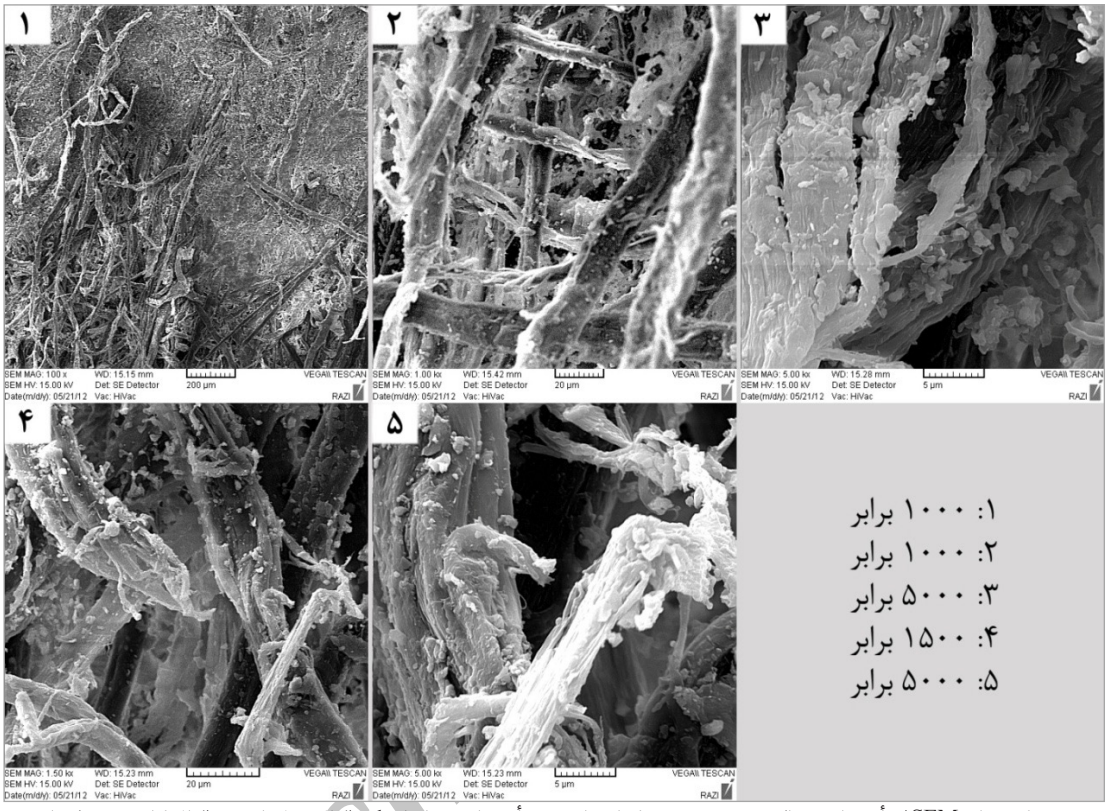
تصویر۵. تجزیه ساختار سلولزی کاغذ توسط آنزیم‌های سلولاز (Coughlan, 1991).



تصویر۶. عکس‌های SEM از تأثیر قارچ سفالوسپوریوم در نمونه ۴۰۶۶: ۱. فضای بین الیاف در بافت کاغذ ۲. جدایش بین الیاف مجاور ۳. شکست الیاف کوچک (نگارندگان).

www.SID.ir

قارچ دلالت دارد. قارچها در فرایند رشد و فعالیت خود به مقادیری از مواد معدنی نیاز دارند که این مواد را از محیط دریافت می‌کنند. درواقع اینجا نیز، قارچ سفالوسپوریوم از کلسیم موجود در کاغذ استفاده‌کرده و به همین دلیل، میزان آن کاهش یافته‌است. این مسأله درباره میزان سیلیسیم هم صدق می‌کند. سیلیسیم معمولاً همراه با کربنات کلسیم در پرکننده کاغذ وجود دارد ولی با کاهش میزان کلسیم و تخریب کربنات کلسیم، سیلیسیم موجود نیز به آسانی از الیاف جداشده و می‌تواند از ساختار کاغذ خارج‌شود. چراکه جدایش الیاف و ریش‌شدن آنها درنتیجه تخریب کربنات کلسیم به‌عنوان پرکننده، تشدید می‌شود و جدایش ذرات سیلیس با سهولت بیشتری رخ می‌دهد.



تصویر۷. عکس‌های SEM از تأثیر قارچ سفالوسپوریوم در نمونه کتاب قانون: ۱. تأثیر قارچ بر یکپارچگی الیاف ۲. فضای بین الیاف کاغذ در نقطه قارچ‌زده ۳. جدایش بین الیاف کاغذ در نقطه قارچ‌زده ۴. جدایش بین الیاف کاغذ در نقطه قارچ‌زده ۵. شکست و تخریب الیاف کاغذ در نقطه قارچ‌زده (نگارندگان).

جدول۱. نتایج آنالیز EDS در دو بخش سالم و دارای لکه قارچی در کتاب قانون

Element	Series	بخش سالم کاغذ		بخش مجاور و دارای لکه قارچی	
		wt. ٪	at. ٪	wt. ٪	at. ٪
Magnesium	K series	9.4	13.43	13.5	19.86
Aluminium	K series	9.58	12.32	4.65	6.13
Silicon	K series	16.1	19.9	7.21	9.12
Sulfur	K series	3.73	4.03	10.12	11.26
Chlorine	K series	4.23	4.14	17.52	17.62
Potassium	K series	4.22	3.74	8.49	7.74
Calcium	K series	42.86	37.1	19.45	17.29
Iron	K series	2.22	1.37	3.35	2.14
Copper	K series	7.27	3.97	15.77	8.84
total		99.61	100	100.06	100

(نگارندگان)

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

درنهایت، بررسی قارچ‌های جداسازی شده از مجموعه نسخ کتابخانه و موزه ملی ملک، نشان از فعالیت قارچ سفالوسپوریوم در حدود ۵ درصد نمونه‌های ارزیابی‌شده داشت. فعالیت این قارچ، منجر به ایجاد لکه‌های صورتی و قرمز تا قهوه‌ای بر کاغذ شده که ارزش‌های زیبایی‌شناسی این نسخ را تحت تأثیر قرار داده‌است. همچنین براساس طیف سنجی ATR-FTIR، فعالیت این قارچ و تولید آنزیم‌های سلولاز، منجر به جدایش عرضی زنجیره‌های سلولزی و شکست طولی این زنجیره و جدایش واحدهای سلوبیوزی و گلوکزی گردیده است. فعالیت این آنزیم‌ها به ویژه در نمونه کتاب قانون، شکست حلقه گلوکز و سلوبیوز و تولید سلوبیونیک اسید و گلوکونیک اسید را درپی داشته‌است. ارزیابی SEM نیز، نشان‌دهنده افزایش خلل و فرج در بخش دارای لکه قارچی است که احتمالاً به سبب تغذیه قارچ از مواد تشکیل‌دهنده کاغذ همچون آهار و الیاف است. گسترش این فعالیت، جدایش الیاف و شکست طولی و عرضی آنها را درپی دارد که نتیجه آن افت ویژگی‌های فیزیکی الیاف و تسریع روند گسیختگی آنها بر اثر نیروهای واردشده از محیط است. بررسی EDS هم، نمایانگر فروشست بیولوژیکی عناصر معدنی، خصوصاً کلسیم به عنوان عنصر مربوط به پرکننده کاغذ (کربنات کلسیم) و سیلیسیم، به دنبال فعالیت قارچ سفالوسپوریوم در بخش دارای لکه قارچی است. تخریب کربنات کلسیم و فروشست کلسیم، جدایش الیاف و ریش شدن آنها را تشدید می‌کند. نتیجه این موضوع، تسهیل در جدایش ذرات سیلیس است. براین اساس، در صورت مقابله نکردن با گسترش فعالیت این قارچ، آثار کاغذی این مجموعه که دچار آسیب ناشی از فعالیت قارچ سفالوسپوریوم هستند، دچار ازهم گسیختگی و آسیب‌های جبران‌ناپذیری می‌شوند.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر با پشتیبانی مؤسسه و کتابخانه موزه ملی ملک و برگرفته از طرحی پژوهشی مربوط به شناسایی قارچ‌های فعال در آثار موجود در گنجینه موزه یادشده، انجام شده‌است. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از ژرف‌اندیشی و حسن عمل مدیریت محترم مؤسسه کتابخانه و موزه ملی ملک، جناب آقای سید مجتبی حسینی کمال تشکر را داشته‌باشند. همچنین ضرورت دارد که بدین وسیله از زحمات جناب آقای معین اسلامی مسئول وقت کارگاه حفاظت و مرمت، خانم‌ها جزنی رئیس اداره اطلاعات فرهنگی و حفاظت فنی و نقوی مسئول آزمایشگاه حفاظت و مرمت این موزه و جناب آقای سیروس نصیری دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، سپاس‌گزاری شود. چراکه بدون همکاری و هماهنگی این بزرگواران انجام پژوهش میسر نمی‌شد. همچنین از تمامی عزیزانی که در به انجام رساندن این مطالعات همکاری داشتند، قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

1- Yellowing
2- Cellulolytic
3- Cephalosporium
4- Darwish
5- Fausta Gallo
6- Chaetomium
7- Zyska
8- Sant'Agostino Museum
9- Archive of the University of Coimbra
10- Museum of La Plata
11- Tavzes
12- Zotti

Archive of SID

www.SID.ir

13- Pinzari
14- Saburo Dextrose Agar, SDA (محصول شرکت مرک آلمان)
15- Baseline correct
16- Mycelium
17- Hyphae
18- Konidiofor
19- Conidia
20- Phialides
21- Cellobiohydrolase
22- Cellobiose
23- β-Glucosidase
24- Cellobionic Acid
25- Gluconic Acid

منابع و مآخذ

- اشکان، سید محمد (۱۳۸۷). **قارچ‌شناسی مقدماتی**، چاپ سوم، تهران: آییژ.
- الکسوپولوس، کنستانتین جان (۱۳۶۴). **اصول قارچ شناسی**، ترجمه ابراهیم بهداد، تهران: دانشگاه تهران.
- استاندارد ملی ایران ۳۱۹۴ (۱۳۸۶). میکروبیولوژی مواد غذایی کپک‌های مقاوم به حرارت روش شناسی اسپور، **مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران** (Institute of Standards and Industrial Research of Iran, ISIRI).
- استاندارد ملی ایران ۹۸۹۹ (۱۳۸۶). میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام راهنمای الزامات کلی برای آزمون، **مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران** (Institute of Standards and Industrial Research of Iran, ISIRI).
- خداپرست، سید اکبر (۱۳۸۹). **سلسله قارچ‌ها**، رشت: دانشگاه گیلان.
- رئیس‌نیا، نگار (۱۳۸۹). **اطلس قارچ‌شناسی (قارچ‌های آسیب‌رسان به منابع آرشیوی و کتابخانه‌ای)**، تهران: سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران.
- قهری، محمد (۱۳۹۱). **عوامل میکروبی آسیب‌رسان به مواد آرشیوی و کتابخانه‌ای**، تهران: سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران.
- _____ (۱۳۸۵). مروری بر عوامل قارچی مخرب کاغذ، آسیب‌شناسی و راه‌های پیشگیری و مقابله، **مرمت و پژوهش**، سال اول، (۱)، ۴۱-۲۷.
- گالو، فوستا (۱۳۷۱). **نقش عوامل بیولوژیک در فرسایش کاغذ**، ترجمه عباسعلی عابدی استاد، مشهد: آستان قدس رضوی.
- ناردی، آن لیه و ون دام، فیلیپ (۱۳۷۹). **راهنمایی حفاظت، نگهداری و مرمت کاغذ**، ترجمه ابوالحسن سروقد مقدم، مشهد: آستان قدس رضوی.

- Arai, H. (2000). Foxing caused by fungi: Twenty-five years of study. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Vol. 46. Issue 3: 181–188.
- Aro, N.; Pakula, T.; & Penttila, M. (2005). Transcriptional regulation of plant cell wall degradation by filamentous fungi. **FEMS Microbiology Reviews**. Vol. 29. Issue 4: 719-39.
- Abidi, N.; Cabrales, L.; & Haigler, C. H. (2013). Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**. [Article in press, Accepted 24 January 2013].
- Borrego, S.; Guiamet, P.; Saravia, S. G. D.; Batistini, P.; Garcia, M.; Lavin, P.; & Perdomo, I. (2010). The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Vol. 64. Issue 2: 139-145.

Archive of SID

www.SID.ir

- Cappitelli, F. & Sorlini, C. (2005). From papyrus to compact disc: The microbial deterioration of documentary heritage. **Critical Reviews in Microbiology**, Vol. 31, Issue 1: 1–10.
- Coughlan, M. P. (1991). Mechanisms of cellulose degradation by fungi and bacteria. **Animal Feed Science and Technology**, Vol. 32. Issue 1-3: 77-100.
- Darwish, S. (2001). **Biological studies on some cellulolytic microorganisms isolated from old paper manuscripts**. PhD Thesis: Cairo University.
- Deacon, J. W. (1997). **Modern mycology**. Oxford: Blackwell Science.
- De Vries, R. P.; Wiebenga, A. D. M.; Coutinho, P.; & Henrissat, B. (2011). Plant polysaccharide degradation by fungi. **Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP7)**: 16-23.
- Fabbri, A. A.; Ricelli, A.; Brasini, S.; & Fanelli, C. (1997). Effect of different antifungals on the control of paper biodeterioration caused by fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Vol. 39, Issue 1: 61–65.
- Guiamet, P.; Borrego, S.; Lavin, P.; Perdomo, I.; & Gómez de Saravia, S. (2011). Biofouling and biodeterioration in materials stored at the Historical Archives of the Museum of La Plata, Argentine and at National Archives of the Republic of Cuba. **Colloids and Surface B: Biointerfaces**. Vol. 85, Issue 2: 229-234.
- Horn, S.J.; Vaaje-Kolstad, G.; Westereng, B.; & Eijsink, V. G. H. (2012). Novel enzymes for the degradation of cellulose. **Biotechnology for Biofuels**. Vol. 5, Issue 1: 45-57.
- Koochakzaei, A. & Shirdavani, M. (2013). Isolation and identification of fungi from books and paper documents and their deteriorative effects in a private collection in Isfahan city. **The First International Conference on Biodeterioration of Historical and Cultural Heritage**. Tehran, Iran. May 2013.
- Manente, S.; Micheluz, A.; Ganzerla, R.; Ravagnan, G.; & Gambaro, A. (2012). Chemical and biological characterization of paper: A case study using a proposed methodological approach. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 74: 99-108.
- Menezes, A. A. R.; Gambale, W.; Giudice, M.C.; & Shirakawa, M. A. (2011). Accelerated testing of mold growth on traditional and recycled book paper. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 65, Issue 3: 423-428.
- Mesquita, N.; Portugal, A.; Videira, S.; Rodriguez-Echeverria, S.; Bandeira, A. M. L.; Santos, M. J. A.; & Freitas, H. (2009). Fungal diversity in ancient documents. A case study on the Archive of the University of Coimbra. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 63, Issue 5: 626–629
- Mohammadi Achachluei, M. & Koochakzaei, A. (2013). Study of distribution and decay of Aspergillus niger in manuscripts of Malek national library and museum by ATR-FTIR and SEM techniques. **The First International Conference on Biodeterioration of Historical and Cultural Heritage**. Tehran, Iran. May 2013.
- Nunes, I.; Mesquita, N.; Verde, S. C.; Bandeira, A. M. L.; Carolino, M. M.; Portugal, A.; & Botelho, M. L. (2013). Characterization of an airborne microbial community: A case study in the archive of the University of Coimbra, Portugal. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 79: 36-41.
- Pinheiro, A.C.; Macedo, M.F.; Jurado, V.; Saiz-Jimenez, C.; Viegas, C.; Brandão, J.; & Rosado, L. (2011). Mould and yeast identification in archival settings: Preliminary results on the use

Archive of SID
www.SID.ir

of traditional methods and molecular biology options in Portuguese archives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 65, Issue 4: 619-627.

- Pinzari, F.; Pasquariello, G.; & De Mico, A. (2006). Biodeterioration of paper: A SEM study of fungal spoilage reproduced under controlled conditions. **Macromolecular Symposia**, Vol. 238, Issue 1: 57-66.
- Pinzari, F.; Zotti, M.; De Mico, A.; & Calvini, P. (2010). Biodegradation of inorganic components in paper documents: Formation of calcium oxalate crystals as a consequence of Aspergillus terreus Thom growth. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 64, Issue 6. 499-505.
- Shamsian, A.; Fatah, A.; Mohajeri, M.; & Ghazvini, K. (2006). Fungal contaminations in historical manuscripts at Astan Quds Museum Library, Mashhad, Iran. **International Journal of Agriculture & Biology**, Vol. 8, Issue 3: 420-422.
- Sterflinger, K.; de Hoog, G. S.; & Haase, G. (1999). Phylogeny and ecology of meristematic ascomycetes. **Studies in Mycology**, Vol. 43: 5–22.
- Szczepanowska, H. & Cavaliere, A. R. (2000). Fungal deterioration of 18th and 19th century documents: A case study of the Tilghman Family Collection, Wye House, Easton, Maryland. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 46, Issue 3: 245-249.
- Tavzes, C.; Silc, F.; Kladnik, A.; Fackler, K.; Messner, K.; Pohleven, F.; & Koestler, R. J. (2009). Enzymatic degradation of mould stains on paper analysed by colorimetry and DRIFT-IR spectroscopy. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 63, Issue 7: 873–879.
- Vivar, I.; Borrego, S.; Ellis, G.; Moreno, D. A.; & García, A. M. (2012). Fungal biodeterioration of color cinematographic films of the cultural heritage of Cuba. **International Biodeterioration & Biodegradation** (In press; Available online 3 August 2012).
- Zotti, M.; Ferroni, A.; & Calvini, P. (2011). Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 65, Issue 4: 569-578.
- Zotti, M.; Ferroni, A.; & Calvini, P. (2008). Microfungal biodeterioration of historic paper: Preliminary FTIR and microbiological analyses. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 62, Issue 2: 186–194.
- Zyska, B. (1997). Fungi isolated from library materials: A review of the literature. **Internatioml Biodeterioration & Biodegradation**, Vol. 40, Issue 1: 43-51.

Archive of SID

www.SID.ir