شناسایی قارچ‌های مخرب اسناد و نسخه‌های کاغذی آرشیو کتابخانه و موزهٔ ملی ملک و تأثیرات ناشی از آن ها

محسن محمدی آچاچلویی| علیرضا کوچکزایی

چکیده

آثار تاریخی و فرهنگی ساخته شده از کاغذ، مهم‌ترین آثار مربوط به هر فرهنگ و تمدنی به‌شمار می‌روند و از نظر تاریخی، هنری، علمی، اقتصادی، فنی، و مذهبی واجد ارزش‌اند. این آثار، در مخازن نگهداری، در طول زمان، تحت عوامل مختلف فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیک دستخوش تغییر می‌شوند. آسیب‌های بیولوژیک از مهم‌ترین عوامل تخریب آثار با ساختار آلی و به‌خصوص کاغذ هستند و قارچ‌ها از اصلی‌ترین این عوامل به‌شمار می‌روند. یکی از غنی‌ترین آرشیوها و مخازن مربوط به اینگونه آثار در ایران، متعلق به کتابخانه و موزهٔ ملی ملک است. باتوجه به فعالیت قارچ‌ها در آثار موجود در مخزن این موزه و ضرورت آسیب‌شناسی صحیح آنها، شناخت نوع قارچ آسیب‌رسان و تأثیرات آنها بر کاغذ و سلامت افراد در تماس با آنها اهمیت دارد.

هدف: هدف این پژوهش شناسایی قارچ‌های موجود بر نسخه‌های خطی آرشیو موزه و کتابخانهٔ ملی ملک و تأثیرات ناشی از آنها بر کاغذ و سلامت افراد در تماس با آثار است.

روش و رویکرد پژوهش: در این پژوهش، روش یافته‌اندوزی میدانی، آزمایشگاهی، و کتابخانه‌ای است. ابتدا، آثار براساس تأثیرات بصری قارچ‌ها، در شش دستهٔ کلی قرار گرفتند و سپس، نمونه‌هایی از آثار شاخص هردسته، به‌منظور کشت و شناسایی قارچ، در شرایط استریل تهیه شد. جهت کشت، از محیط سابورودکستروز آگار استفاده شد و قارچ‌ها براساس خصوصیات و ویژگی‌های ماکروسکوپی، میکروسکوپی، و مورفولوژی شناسایی شدند. سپس، براساس نتایج حاصل، تأثیرات آنها بررسی شد.

یافته‌های پژوهش: بررسی‌ها نشان می‌دهد که قارچ‌های موجود بر آثار کاغذی موجود در آرشیو موزه و کتابخانهٔ ملی ملک به‌ترتیب پراکنش شامل کلادوسپوریوم(هرباریوم)، پنی‌سیلیوم (اکسپانسوم)، آسپرژیلوس نیجر، رایزوپوس(استولونیفر)، سفالوسپوریوم، آسپرژیلوس گلاوکوس، و آلترناریا آلترناتاست، که جزء قارچ‌های سلولوتیک‌اند و با تولید آنزیم‌های سلولاز، منجربه تخریب ساختاری سلولز کاغذ و تغییرات بصری متفاوت می‌شوند. قارچ کلادوسپوریوم(هرباریوم)، عامل ایجاد لکه‌های درشت آبی تیره تا سیاه؛ آسپرژیلوس نیجر، لکه‌هایی به شکل نقاط کوچک سیاه؛آسپرژیلوس گلاوکوس، لکه‌های قهوه‌ای؛ آلترناریا آلترناتا، لکه‌های تیرهٔ قهوه‌ای تا سیاه؛ سفالوسپوریوم، لکه‌های گل بهی و صورتی تا قرمز مایل به قهوه‌ای؛ و قارچ‌های رایزوپوس(استولونیفر) و پنی‌سیلیوم(اکسپانسوم) لکه‌های زرد روشن تا زرد مایل به قهوه‌ای ایجاد می‌کنند. علاوه‌براین، با توجه‌به قابلیت تولید مایکوتوکسین و سموم مختلف، این قارچ‌ها مشکلات متعددی را برای سلامتی افراد ایجاد می‌کنند. از این‌رو، لزوم درمان سریع‌تر این آثار امری روشن است.

کلیدواژه‌ها

کتابخانه و موزهٔ ملی ملک/ کاغذ/ سلولز/ آسیب‌های بیولوژیک/ قارچ‌شناسی/ قارچ/ لکه‌های قارچی.

مطالعات آرشیوی

فصلنامهٔ *گنجینهٔ اسناد*: سال بیستم و سوم، دفتر چهارم، (زمستان ۱۳۹۲)، ۱۴۵-۱۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۶ ■ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۰

شناسایی قارچ‌های مخرب اسناد و نسخه‌های کاغذی آرشیو کتابخانه و موزهٔ ملی ملک و تأثیرات ناشی از آنها

محسن محمدی آچاچلویی[۱] | علیرضا کوچکزایی[۲]

مقدمه

بسیاری از آثار گذشتگان و تطور تاریخی اقوام مختلف را می‌توان در نسخ خطی کاغذی باقی‌مانده از آنها جست‌وجو کرد. به‌همین دلیل، این آثار از ارزش‌های بسیاری برخوردارند و حفظ این ارزش‌ها و انتقال آنها به آینده از دغدغه‌های امروز بشر به‌شمار می‌رود. درواقع، حفاظت از این آثار برای حفظ دستاوردهای هر ملتی در طول تاریخ لازم و ضروری است، و لازمهٔ آن، شناخت صحیح ویژگی‌های آثار است که معمولاً به دو دستهٔ ویژگی‌های مادی شامل ساختار و ترکیبات کاغذ، و ویژگی‌های غیرمادی و مفهومی همچون مفاهیم، ارزش‌ها و اهمیت اثر در جامعهٔ بشری، دسته‌بندی می‌شوند. بدیهی است که تغییر در این ویژگی‌ها رسالت حفاظت و اصالت هر اثری را به مخاطره خواهد انداخت. بدین دلیل، جلوگیری از این تغییرات که باعنوان «آسیب» شناخته می‌شوند، از مهم‌ترین وظایف حفاظت‌گران به‌شمار می‌آید. برای جلوگیری از آسیب‌ها، شناخت فرآیندهای تغییر، یا به‌عبارتی آسیب‌شناسی، به‌عنوان یکی از ارکان حفاظت و مرمت ضروریست. ساختار کاغذ، به‌طور معمول، از ماده‌ای لیفی شکل(معمولاً سلولز[۳])، ماده‌ای جهت استحکام به‌عنوان آهار[۴](مانند نشاسته[۵] و ژلاتین[۶])، و ماده‌ای جهت بهبود ویژگی‌های سطحی جهت نگارش به‌عنوان پرکننده[۷] (مانند کربنات کلسیم[۸] و ژیپس[۹]) تشکیل می‌شود. مادهٔ لیفی شکل و آهار موجود در کاغذ ،باتوجه‌به ماهیت آلی آن، در محیط‌های مختلف دچار آسیب‌های متفاوتی می‌شود، که می‌توان به آسیب‌های فیزیکی ناشی از رطوبت و فشار

۱. دانشجوی دکتری مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی،دانشگاه‌هنر اصفهان؛ (نویسنده مسئول)؛
mohsen.mohammadi@aui.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی؛دانشگاه هنر اصفهان؛
Alireza.k.1989@gmail.com

3. Cellulose
4. Size
5. Starch
6. Gelatin
7. Filler
8. CaCO3
9. Gypsum

مکانیکی، آسیب‌های شیمیایی مانند اکسیداسیون[1] سلولز، اسیدی شدن[2] و زرد شدگی[3]، و آسیب‌های بیولوژیک[4] ناشی از تأثیر باکتری‌ها، قارچ‌ها، حشرات، و جوندگان اشاره کرد. دراین‌میان، قارچ‌ها عواملی هستند که در آرشیوهای مختلف در نقاط متعدد دنیا، موجب آسیب‌های جبران‌ناپذیری در آثار کاغذی شده‌اند. قارچ‌ها، علاوه‌بر تأثیرات بصری، با تخریب ساختاری کاغذ، زمینهٔ اضمحلال اثر را فراهم می‌کنند و همچنین سلامت افراد در تماس با آثار را به مخاطره می‌اندازند. تاکنون، گونه‌های متعدد و بسیاری از قارچ‌ها بروی آثار کاغذی در آرشیوها و کتابخانه‌ها شناخته شده‌است. گونه‌های مختلف قارچ از نظر نوع تأثیر و شرایط محیطی لازم جهت فعالیت با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند. ازطرفی، مقاومت گونه‌های مختلف قارچ در برابر فرآیندهای مقابله یکسان نیست و ممکن است واکنش‌های مختلفی مشاهده گردد. به‌همین دلیل، شناخت گونه‌های مختلف قارچ در آرشیوها همواره از دغدغه‌های اصلی محققان و حفاظت‌گران بوده‌است و مراکز متعددی در این باب به پژوهش پرداخته‌اند. مجموعهٔ آثار موزه و کتابخانهٔ ملی ملک، جزء نفیس‌ترین نسخه‌ها و کتاب‌های خطی موجود در ایران است. با توجه به حجم و اهمیت آثار موجود در آرشیو این موزه، شناخت و بررسی عوامل آسیب‌رسان به آثار آن ضرورتی تمام دارد. به‌همین منظور، به بررسی مجموعهٔ نسخ خطی این موزه با هدف شناخت قارچ‌های مؤثر در آرشیو آن و تأثیرات ناشی از آنها پرداخته‌شد. هدف این پژوهش، تحقق حفاظت بهینهٔ آثار با توجه به لزوم شناخت مناسب عامل آسیب‌رسان است.

پرسش‌های اساسی این پژوهش عبارت‌اند از:

۱. قارچ‌های مؤثر در تخریب آثار کاغذی آرشیو موزه و کتابخانهٔ ملی ملک چیست؟

۲. تأثیرات بصری ناشی از فعالیت این قارچ‌ها در کاغذها و نسخ این مجموعه چگونه است؟

۳. مکانیزم تخریب ساختاری سلولز کاغذ تحت فعالیت آنزیمی[5] قارچ‌ها چگونه است؟

۴. قارچ‌های موجود در آرشیو چه تأثیراتی بر سلامتی افراد و کارکنان در تماس با آثار دارند؟

پیشینهٔ پژوهش

آسیب‌های بیولوژیکی نقش قابل توجهی در تخریب آثار کاغذی دارند. زوال بیولوژیکی[6] مواد آلی به‌عنوان یک فرآیند بازیافت بسیار مهم است، اما در آثار تاریخی، این فرآیند، موجب آسیب به مستندات تاریخی و از دست دادن اطلاعات باارزشی می‌شود (Cappitelli and Sorlini, 2005). میکروارگانیسم‌ها، از مهم‌ترین عوامل زوال بیولوژیکی هستند (Mesquita et al, 2009)

1. Oxidation
2. Acidification
3. Yellowing
4. Biological deterioration
5. Enzyme activities
6. Biodeterioration

و در این بین، قارچ‌ها، به‌خصوص قارچ‌های سلولولیتیک[1]، به‌عنوان عوامل آسیب‌رسان جدی به اسناد کتابشناختی مطرح شده‌اند(Fabbri et al, 1997). اجزای مواد کتابخانه‌ای از نظر مقاومت در برابر قارچ‌ها متفاوت‌اند، که این امر به مواد خام و روش ساخت آنها بستگی دارد (ولهایزر، ۱۳۷۹، ص ۹۰). به‌طورکلی، قارچ‌ها با تولید اسیدهای ضعیف و رنگدانه‌های مختلف، از نظر ساختاری و زیبایی‌شناسی موجب تخریب کاغذ می‌گردند(Arai,2000). علاوه‌براین، گونه‌های متعددی از قارچ‌ها می‌توانند بیماری‌های جدی برای انسان ایجاد کنند(Bennet and Kilch, 2003; Zyska ,1997). چندین دهه از آغاز بررسی‌های علمی در زمینهٔ نقش قارچ‌ها در تخریب آثار موجود در آرشیوها می‌گذرد.

ال‌سید[2] (۱۹۸۰)، نقش میکروارگانیسم‌ها را در تخریب نسخ خطی مورد مطالعه قرار داد.

ساحب[3] (۱۹۸۸)، به بررسی فیزیولوژیکی میکروارگانیسم‌هایی پرداخت که از نسخ خطی تخریب‌شده نمونه‌برداری شده بودند.

فوستاگالو(۱۳۷۰،صص۷۳-۷۰)، قارچ‌های مخرب کاغذ و مقوا را معرفی کرد و بیشتر آنها را از جنس‌های آسپرژیلوس[4]، پنی‌سیلیوم[5]، و چیتومیوم[6] دانست.

زیسکا[7] (۱۹۹۷)، به ارزیابی گونه‌های قارچ در آثار موجود در کتابخانه‌ها پرداخت. درمجموع، در بررسی قارچ‌های موجود در کتابخانه‌ها، بیش از دویست گونهٔ سلولوتیک شناسایی شده‌است، که فراوان‌ترین آنها متعلق به جنس‌های آسپرژیلوس، پنی‌سیلیوم، کلادوسپوریوم[8]، و فوساریوم[9] هستند(ناردی، ۱۳۷۹،صص ۹۸-۱۰۱). در این میان، قارچ‌هایی نیز وجود دارند که تنها برروی کاغذهایی با منشأ خاص رشد می‌یابند. به‌عنوان نمونه، قارچ آسپرژیلوس ورسیکالر[10] فقط برروی کاغذهای با منشأ خمیر چوب مشاهده شده است(Szczpanowska and Cavaliere, 2000).

درویش[11] (۲۰۰۱)، به مطالعهٔ بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های سلولوتیکی پرداخت که در نسخه‌های خطی و در نقاط مختلف فعالیت داشتند. اسپور(هاگ)[12] قارچ‌ها در گرد و غبار موجود در آرشیوها و روش شناسایی آنها در آثار موجود در کتابخانه‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Maggi et al, 2000).

کورت[13] و همکارانش (۲۰۰۳)، به بررسی گونه‌های قارچ و آسیب ناشی از آنها در نقشه‌ها پرداخته و همبستگی بین گونه‌ها و محیط را مورد مطالعه قرار دادند.

شمسیان و همکارانش[14] (۲۰۰۶) نیز به بررسی لکه‌های قارچ‌های موجود در نسخه‌های خطی موزه و کتابخانهٔ آستان قدس رضوی مشهد پرداختند و دریافتند بیشترین تأثیر ناشی از فعالیت قارچ‌های آسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم است.

قهری (۱۳۸۵)، مهم‌ترین قارچ‌های آسیب‌رسان به کاغذ و تأثیرات آنها را مورد بررسی

1. Cellulolytic
2. El-Sayed
3. Saheb
4. Aspergillus
5. Penicillium
6. Chaetomium
7. Zyska
8. Cladosporium
9. Fusarium
10. Aspergillus Versicolor
11. Darwish
12. Spore
13. Corte
14. Shamsian

قرار داد و راه‌های پیشگیری از آنها را مرور نمود. همچنین، لکه‌های فاکسینگ[1] ناشی از فعالیت قارچی در کاغذ در فرانسه نیز ارزیابی شده‌است(Rakotonirainy et al, 2007).

زوتیا[2] و همکارانش (۲۰۰۸)، به شناسایی قارچ‌های موجود در آثار مربوط به قرن هجدهم میلادی در موزهٔ سنت آگوستینا[3] جنوا ایتالیا پرداختند.

تاوزس[4] و همکارانش(۲۰۰۹)، تخریب آنزیمی کاغذ در اثر قارچ‌های مؤثر را مورد ارزیابی قرار دادند و تغییرات ساختاری و بصری کاغذ را تشریح نمودند. قارچ‌های موجود در اسناد تاریخی آرشیو دانشگاه کویمبرا[5] در پرتغال نیز مورد ارزیابی و شناسایی قرار گرفته‌اند(Mesquita et al, 2009).

علاوه‌بر این، پینهیرو[6] و همکارانش (۲۰۱۱)، مطالعاتی جهت شناسایی جنس‌ها و گونه‌های مختلف موجود در آرشیوهای کشور پرتغال انجام دادند.

رئیس‌نیا(۱۳۸۹)، به بررسی و شناسایی گونه‌های مؤثر قارچ در مجموعه آثار کاغذی کتابخانهٔ ملی ایران پرداخت.

منزس[7] و همکارانش(۲۰۱۱) نیز پس از بررسی قارچ در کاغذ و کتاب‌های مختلف، رشد و تأثیر آنها را بر کاغذ، مورد مطالعه قرار دادند.

بررسی‌هایی بر روی آرشیو موزهٔ لاپتا[8] در آرژانتین و آرشیو ملی کوبا توسط گویامت[9] و همکارانش(۲۰۱۱) صورت گرفت که نشان‌دهندهٔ گسترش قارچ پنی‌سیلیوم در آرشیو موزهٔ لاپتا و قارچ‌های آسپرژیلوس، کلادوسپوریوم، وپنی‌سیلیوم در آرشیو ملی کوباست. بررسی‌های دیگری نیز بر روی آرشیوهای مختلف صورت گرفته که بیشترین تأثیر قارچی را ناشی از جنس‌های کلادوسپوریوم، آسپرژیلوس، و پنی‌سیلیوم معرفی کرده‌اند(Hyvarinen et al, 2002; Corte et al, 2003; Nielsen, 2003; Dasilva, 2006).

قهری(۱۳۹۱)، به مطالعهٔ تخریب بیولوژیک در مواد موجود در آرشیوها پرداخت و گونه‌های قارچ و تأثیرات آنها را در آثار کاغذی مورد مرور قرار داد.

ابراهیمی و همکارانش(۲۰۱۱)، به شناسایی گونه‌های آلرژی‌زا در آثار موزهٔ شهرکرد پرداختند. مونتاناری[10] و همکاران (۲۰۱۲)، اقدام به بررسی و شناسایی قارچ‌های آسیب‌رسان به مواد کتابخانه‌ای در قفسه‌های کامپکتوس[11] کردند. لکه‌های مختلفی که باعنوان فاکسینگ در کاغذ شناخته می‌شوند نیز در سال‌های گذشته مورد بررسی قرار گرفته‌اند و بر ارتباط فعالیت و تأثیر قارچ‌ها در ایجاد این لکه‌ها، تأکید شده است (Florian, 1996; Choisy et al, 1997; Choisy and Chapelle, 1998; Florian and Monning, 1999; Florian and Manning, 2000; Arai, 2000; Biccheri et al, 2001; Biccheri et al, 2002; Corte et al, 2003; Buzio et al, 2004; Zotti et al, 2011).

1. Foxing
2. Zottia
3. Sant'Agostino Museum
4. Tavzes
5. Archive of the University of Coimbra
6. Pinheiro
7. Menezes
8. Museum of La Plata
9. Guiamet
10. Montanari
11. Compactus movable shelves

مطالعات و بررسی‌های انجام شده در زمینهٔ اقدامات حفاظتی از آثار مبتلا به قارچ در آرشیوها، مؤکد این مطلب است که شناسایی قارچ‌های مؤثر در یک آرشیو جهت انتخاب روش مناسب حفاظتی، لازم و ضروری است. همچنین، این مطالعات، اطلاعات مناسبی در زمینهٔ شرایط موجود در آرشیو یا کتابخانه و راهکارهای قابل اجرا به‌دست خواهد داد.

مواد و روش‌ها

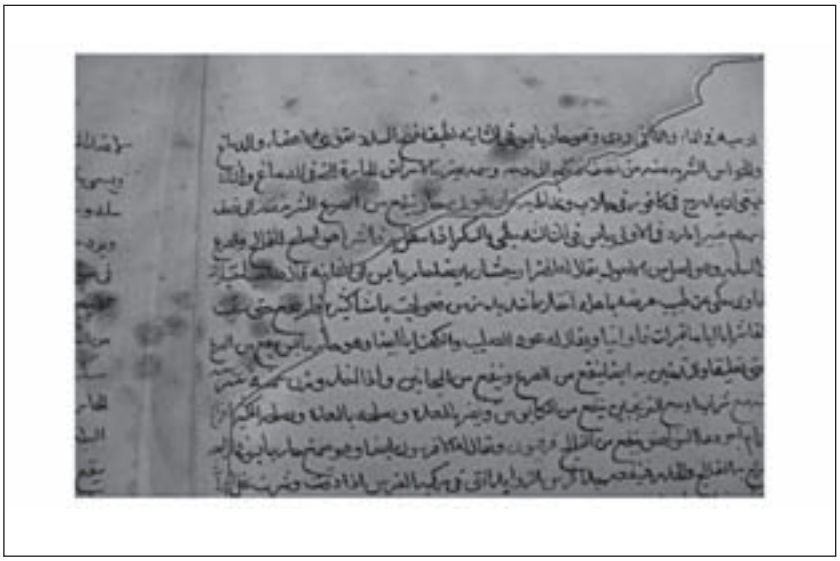
در این پژوهش، کتاب‌ها و نسخه‌های خطی موجود در مخزن کتابخانه و موزهٔ ملی ملک، جهت شناسایی نوع قارچ آسیب‌رسان به آنها مورد بررسی قرار گرفتند. براساس اطلاعات موجود در شناسنامهٔ آثار مخزن، تعداد ۵۴۰ نسخه دارای آسیب‌های ناشی از قارچ ذکر شده است. از این‌رو، تعدادی از نمونه‌های مذکور مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌ها، ابتدا، براساس تأثیرات ظاهری قارچ برکاغذ، همچون رنگ و شکل لکه، دسته‌بندی شدند. این لکه‌ها ناشی از تولید رنگدانه توسط قارچ‌ها و محصولات تخریب کاغذ است. پس از آن، اقدام به نمونه‌برداری از نمونه‌های شاخص هردسته جهت کشت قارچ شد. نمونه‌ها، به‌صورت نوارهای نازک و کوچک کاغذ حاوی تأثیرات قارچ با استفاده از تیغ اسکالپل[1] و اسپاتول[2] استریل برداشته شد و به‌سرعت در بسته‌های استریل قرار گرفتند. برای شناسایی نوع قارچ، از روش کشت در محیط سابورو دکستروز آگار[3] (SDA؛ محصول شرکت مرک[4] آلمان) بر اساس شیوهٔ پیشنهادی شرکت تولیدکننده(۶۵ گرم در لیتر) استفاده‌شد. قبل از نمونه‌برداری و کشت، ابزار و محل نمونه‌برداری، با استفاده از آب ژاول، اتانول (محصول شرکت مرک آلمان)، اشعهٔ UV، و درنهایت همراه با محیط کشت تهیه کشت تهیه شده، در اتوکلاو[5] با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار[6] 20 psi ،به مدت ۲۰ دقیقه استریل گردیدند و در این‌خصوص از اصول مطرح شده در استانداردهای ملی ایران شماره ۳۱۹۴ و ۹۸۹۹ استفاده گردید. نمونه‌ها، پس از کشت، به‌مدت دو هفته در انکوباتور[7] استریل با دمای۳±۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد قرار گرفتند. پس از این مدت و رشد قارچ‌ها، جهت شناسایی، خصوصیات ماکروسکوپی آنها از جمله شکل، رنگ، و سرعت رشد کلنی[8] بررسی شدند. پس از آن، خصوصیات میکروسکوپی شامل صفات مرفولوژیک[9] و خصوصیات ظاهری قارچ‌ها با میکروسکوپ نوری عبوری (CTS.Lot No:29003) مورد بررسی قرار گرفت. سپس، براساس قارچ‌های شناسایی شده، تأثیرات ناشی از آنها بررسی شد.

1. Scalpel
2. Spatul
3. Saburo Dextrose Agar
4. Merck
5. Autoclave
6. Pounds Per Square Inch
7. Incubator
8. Colony
9. Morphology

بحث و تحلیل یافته‌ها

فرآیند تخریب بیولوژیکی مواد آلی به‌عنوان یک فرآیند بازیافت، بسیار با اهمیت است؛ اما

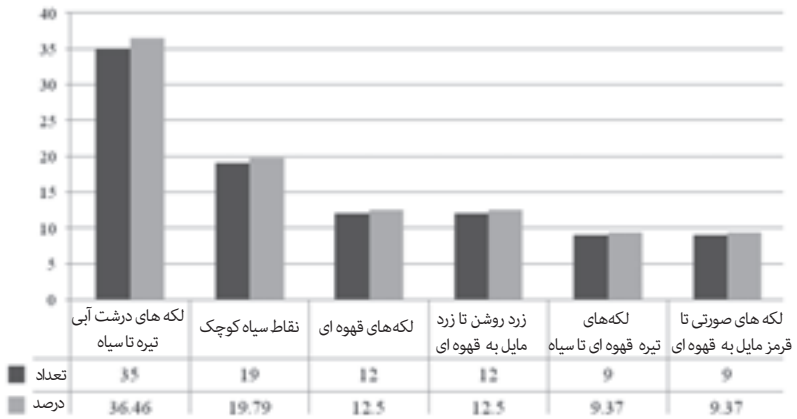
در مورد آثار موزه‌ای و آرشیوی، این فرآیند، آسیب به مستندات تاریخی را در بر دارد و موجب از دست‌دادن اطلاعات باارزشی می‌شود(Cappitelli, 2005). شرایط مخازن، محیط ایده‌آل رشد قارچ نیست، اما این عوامل قابلیت فعالیت آرام و پیوسته را دارند؛ که نتیجهٔ آن، از دست دادن اطلاعات و آثار ارزشمند تاریخی است. از این‌رو، کنترل شرایط محیطی جهت حذف تأثیرات قارچ‌ها، کاملاً ضروری است. در این زمینه، شرایط بهینهٔ دمای ۱۸–۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی کمتر از ۵۵ درصد پیشنهاد شده‌است. این شرایط در آرشیو محل نگهداری آثار مورد بررسی کنترل شده‌اند، اما لکه‌های ناشی از آب در برخی نمونه‌ها کاملاً مشهود است. حضور رطوبت در این آثار، که بیشتر در لبه‌های کاغذ دیده می‌شود، نشان می‌دهد که عدم نگهداری مناسب از این آثار در طول زمان، دلیل اصلی آسیب‌های موجود است. درواقع، مرطوب شدن کاغذ در محیط نامناسب نگهداری، باعث حبس رطوبت در داخل کتاب شده و شرایط را برای رشد قارچ‌ها فراهم نموده‌است؛ که علت آن عدم استفاده و بازبینی این آثار است و به‌نظر می‌رسد مسئلهٔ حبس رطوبت در بین کتاب‌ها هنوز پابرجاست. تصویر ۱، وجود لکه‌های ناشی از آب در یک نمونه از این کاغذها را نشان می‌دهد و محل مشخص شده، مرز بین بخش مرطوب و خشک کاغذ است. در این تصویر، تمامی لکه‌های ناشی از قارچ، در بخش مرطوب و برروی لکهٔ آب موجود در کاغذ شکل گرفته‌اند؛ درحالی‌که در قسمت خشک کاغذ، هیچ‌گونه فعالیت قارچی مشهود نیست.



تصویر ۱
فعالیت قارچی در بخش‌های دارای لکهٔ آب

در بیشتر موارد بررسی شده نیز فعالیت قارچ‌ها در بخش‌هایی از کاغذ که در یک

دورهٔ زمانی از عمر اثر، تحت تأثیر رطوبت قرار گرفته، ایجاد شده‌بود؛ که براساس نوع قارچ، تأثیرات بصری مختلفی بر کاغذ ایجاد کرده‌اند. گونه‌های مختلفی از قارچ و کپک، به موادی آلی همچون کاغذ حمله می‌کنند و علائم مشخصی بر روی اشیا ایجاد می‌کنند(Ebrahimi et al, 2011) که در تشخیص فعالیت قارچی اهمیت دارد. به‌طورکلی، یکی از نگرانی‌ها در زمینهٔ کلونیزاسیون[1] قارچی، تغییرات در ویژگی‌های بصری از طریق تغییر رنگ به‌وسیلهٔ اسیدهای ضعیف تولید شده توسط قارچ یا تجمع رنگدانه‌هاست که لکه‌های مختلفی ایجاد می‌کنند(Sterflinger et al, 1999; Arai, 2000). در بررسی اولیه نمونه‌های موجود در آرشیو، لکه‌های مختلفی ناشی از فعالیت قارچ‌ها در کاغذ مشاهده گردید. هرچند شناخت عامل آسیب‌رسان و نوع قارچ ایجاد کنندهٔ لکه بر پایهٔ ویژگی‌های بصری آن امری بعید است، شکل آسیب می‌تواند در کنار سایر روش‌ها، مفید واقع شود. از طرفی، شناخت تغییرات بصری ایجاد شده در کاغذ و منشأ آنها در فرآیند پاکسازی حائز اهمیت است. براساس بررسی شکل لکه‌ها، می‌توان آنها را در ۶ دستهٔ کلی شامل لکه‌های درشت آبی تیره تا سیاه، نقاط سیاه کوچک، لکه‌های قهوه‌ای، لکه‌های زرد روشن تا زرد مایل به قهوه‌ای، لکه‌های تیره قهوه‌ای تا سیاه، و لکه‌های صورتی تا قرمز مایل به قهوه‌ای تقسیم کرد. پراکندگی لکه‌های مختلف، براساس نمونه‌های شاخص مورد بررسی آنها، در نمودار ۱ قابل مشاهده است. در این میان، بیشترین نمونه‌های بررسی شده، حاوی لکه‌های درشت آبی تیره تا سیاه بودند. پس از دسته‌بندی، نمونه‌هایی از هر گروه، جهت شناسایی نوع قارچ بررسی شد.

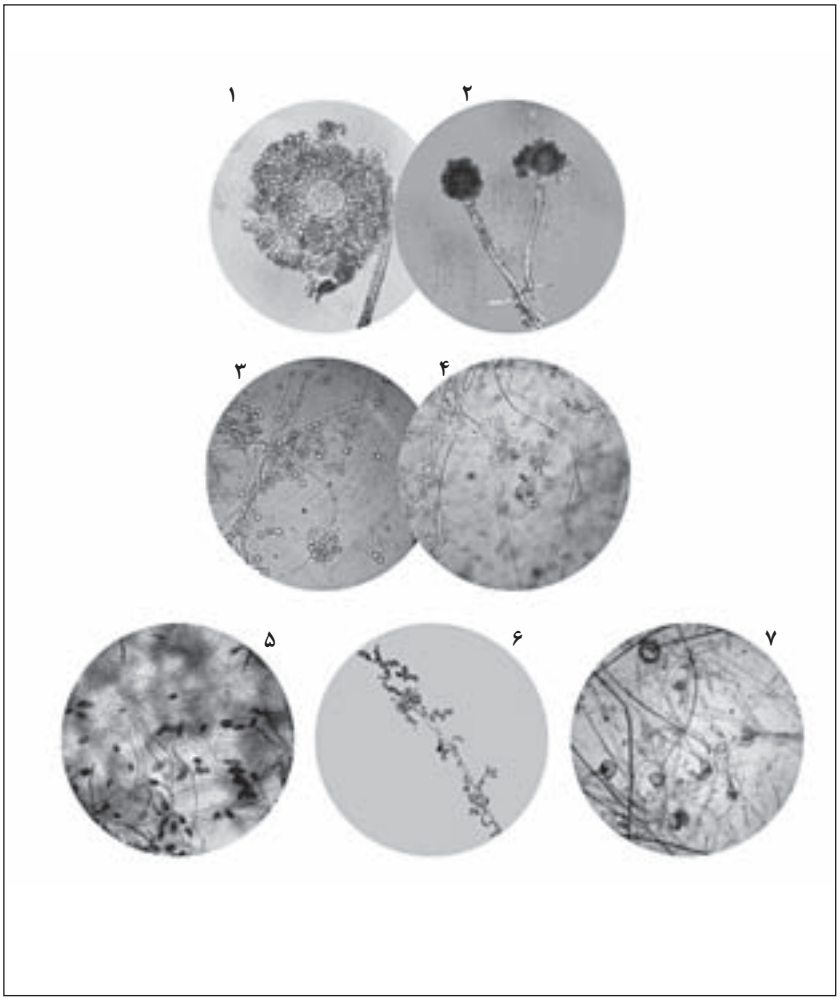


1. Colonization

نمودار ۱

پراکنش لکه‌های ناشی از قارچ در اسناد و کتاب‌های موجود در آرشیو موزه و کتابخانهٔ ملی ملک

پس از رشد قارچ‌های موجود در نمونه‌های شاخص هر دسته در محیط کشت SDA، بررسی ویژگی‌های ماکروسکوپی شامل سرعت رشد، شکل و رنگ کلنی، قارچ‌ها را در ۷ دسته کلی تقسیم کرد. پس از دسته بندی قارچ‌ها، هر گروه، مورد مطالعهٔ میکروسکوپی قرار گرفتند و خصوصیات مرفولوژی و میکروسکوپی آنها بررسی شد. براساس نتایج حاصل از بررسی خصوصیات و ویژگی‌های مرفولوژیک، ماکروسکوپی، و میکروسکوپی، قارچ‌های موجود در نمونه‌های مورد بررسی در این مجموعه، مربوط به آسپرژیلوس نیجر[۱] ، آسپرژیلوس گلاوکوس[۲]، سفالوسپوریوم[۳]، پنی‌سیلیوم(احتمالاً گونهٔ اکسپانسوم[۴])، آلترناریاآلترناتا[۵]، کلادوسپوریوم(احتمالاً گونه‌ی هرباریوم[۶])، و رایزوپوس(احتمالاً گونهٔ استولونیفر [۷]) بود (تصویر ۲ و جدول ۱).



تصویر ۲

تصویر میکروسکپی قارچ های شناسایی شده در اسناد موجود در مخزن (۱: آسپرژیلوس نیجر (x۴۰۰)، ۲: آسپرژیلوس گلاوکوس (x۱۰۰)، ۳: سفالوسپوریوم (x۴۰۰)، ۴: پنی سیلیوم (اکسپانسوم) (x۱۰۰)، ۵: آلترناریا آلترناتا (x۴۰۰)، ۶: کلادوسپوریوم (هرباریوم) (x۴۰۰)، ۷: رایزوپوس (استولونیفر) (x۴۰۰)).

1. Aspergillus Niger
2. Aspergillus Glaucus
3. Cephalosporium
4.. Penicillium Expansum
5. Alternaria Alternata
6.. Cladosporium Herbarum
7.. Rizopus Stolonifer

گروه	خصوصیات ماکروسکوپی، میکروسکوپی، و مرفولوژیک		نوع قارچ*
آسپرژیلوس نیجر	کلنی سیاه‌رنگ با رشد زیاد به‌صورت دانه‌های سیاه‌رنگ و حالت پودری	ماکروسکوپی	الف
	کیندیوفورها[1] صاف و بلند است که وزیکول[2] دایره‌ای شده و متولا[3] روی آن را پوشانده و فیالیدها[4] بر روی متولا قرار گرفته‌اند. میسلیوم[5] شفاف است و کونیدیا[6] به شکل کروی با لبه‌های کنگره‌ای شکل مانند زنجیر در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و اسپورها تیره رنگ دیده می‌شوند.	میکروسکوپی	
آسپرژیلوس گلاوکوس	کلنی سبز با نقاط زرد مرکزی و رشد کم با سطح مخملی	ماکروسکوپی	ب
	میسلیوم شفاف و واجد دیوارهٔ عرضی است. کیندیوفورها کوتاه، ضخیم و دارای وزیکول نیمه‌کروی هستند، که با فیالیدها و کونیدیوم‌های رشته‌ای احاطه شده‌اند. فیالیدها مستقیم بر روی وزیکول قرار گرفته و کنیدیوم‌های بیضی شکل تولید شده‌اند، که به‌صورت نامتقارن می‌باشند.	میکروسکوپی	
سفالوسپوریوم	کلنی سفید با رشد نسبتاً زیاد و سطح صاف که در بعضی نقاط رنگ مایل به صورتی دیده می‌شود.	ماکروسکوپی	ج
	میسیلیوم‌ها نازک و واجد تیغهٔ عرضی و هیفها[7] شفاف‌اند. کنیدیوفورها چندان واضح و مشخص دیده نمی‌شوند. کنیدیاها بیضی‌شکل و روی میسیلیوم‌ها دیده می‌شوند و فیالیدهای کوتاه بر سطح هیفها و انتهای ریسه‌ها وجود دارند. کونیدیا در انتهای کونیدیوفور به‌صورت تک سلولی رویت می‌شود.	میکروسکوپی	
پنیسیلیوم (اکسپانسوم)	کلنی سبز تیره و مایل به‌قهوه‌ای تا خاکستری با رشد نسبتاً زیاد و سطح مخملی با شیارهای شعاعی	ماکروسکوپی	د
	ریسه‌ها شفاف با تیغهٔ عرضی و کونیدیوفورها منشعب‌اند و حباب انتهایی مشخصی دیده نمی‌شود. فیالیدها روی انشعابات متولا که بر روی راموس قرار دارد، دیده می‌شود و کونیدیوفورها حالت جادویی شکل دارند. کندیاها کروی و تک سلولی به‌شکل زنجیرهای دیده می‌شوند.	میکروسکوپی	
آلترنار یا آلترناتا	کلنی قهوه‌ای با حاشیهٔ سفید، رشد متوسط و سطح کلنی پرزدار	ماکروسکوپی	ه
	میسلیوم واجد تیغه عرضی و بعضاً دارای انشعاب است. کونیدیوفورها کوتاه، ساده، با دیوارهٔ عرضی و بعضاً منشعب دیده می‌شوند. کونیدیوم‌ها بزرگ و با تقسیمات طولی و عرضی هستند که در انتهای کنیدیوفر به‌صورت انفرادی و یا زنجیره‌وار و به‌شکل بیضی مشاهده می‌گردند.	میکروسکوپی	
کلادوسپوریوم (هرباریوم)	کلنی سبز زیتونی و مایل به‌خاکستری با هالهٔ سفید و رشد نسبتاً زیاد و سطح پودری با شیارهای شعاعی	ماکروسکوپی	و
	میسلیوم ضخیم، دارای انشعاب و واجد تیغهٔ عرضی است. کونیدیوفورها بلند و در بعضی نقاط به شکل انحنادار دیده می‌شوند. انشعابات موجود در انتهای کونیدیوفورها به کونیدیوم‌ها ختم می‌شود. کونیدیوم‌ها به‌شکل زنجیره و دارای انشعابات مختلف هستند و در طول زنجیره از اندازهٔ کونیدیا کاسته می‌شود.	میکروسکوپی	
رایزوپوس (استولونیفر)	کلنی سفید با رشد بسیار زیاد و حالت پودری مانند همراه با نقاطی سیاه‌رنگ بر روی کلنی	ماکروسکوپی	ز
	میسلیوم شفاف و فاقد تیغهٔ عرضی است. ریزوئید[8] و استولون[9] همراه با اسپورانژیوفور غیر منشعب، دیده‌می‌شوند. اسپورانژیوفورها بلند، صاف و فاقد انشعاب هستند، که در بخش انتهایی به کلوملا (کروی شکل) ختم می‌شود که با اسپورانژیوم[10] کروی احاطه شده‌است.	میکروسکوپی	

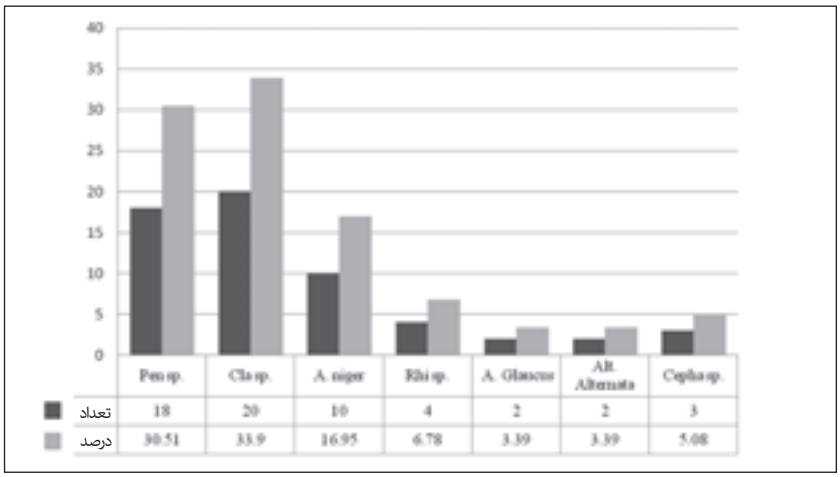
* (رئیس نیا، ۱۳۸۹؛ الکسوپولوس، ۱۳۶۴؛ خداپرست، ۱۳۸۹؛ قهری، ۱۳۹۱؛ اشکان، ۱۳۸۷)

1. Konidiofor
2. Visicol
3. Metula
4. Phialides
5. Mycelium
6. Conidia
7. Hyphae
8. Rhizoid
9. Stolon
10. Sporangium

جدول ۱

خصوصیات ماکروسکوپیک، میکروسکوپیک، و مرفولوژیک قارچ های کشت یافته و نتایج آنها

در بررسی پراکنش قارچ‌های شناسایی شده، بیشتر گونه‌ها مربوط به جنس‌های آسپرژیلوس، پنی‌سیلیوم و کلادوسپوریوم است (نمودار ۲)، که با توجه به همه‌جایی بودن این جنس‌ها قابل توجیه است(Singh et al, 1995) و در گزارش‌های منتشر شده نیز، معمولاً بیشترین درصد قارچ‌ها در آرشیوها و موزه‌ها را دارا هستند (Singh et al, 1990; singh et al, 1995; Hyvarinen et al, 2002; Corte et al, 2003; Nielsen, 2003; Dasilva, 2006; Shamsian et al, 2006; guiamet et al, 2011; Mesquita, 2009; Abrusci, 2005; Vivar, 2013).



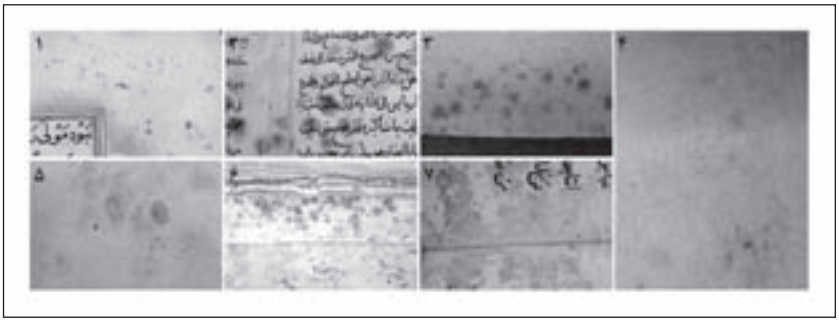
نمودار ۱

پراکنش قارچ های شناسایی شده در نمونه های کشت یافته

همانطور که گفته شد، یک از مشکلات اساسی در زمینهٔ فعالیت این قارچ‌ها، تأثیرات منفی بر ویژگی‌های بصری آثار است، که غالباً به شکل لکه خود را نشان می‌دهند. در بیشتر آثار بررسی شده قارچ آسپرژیلوس نیجر ایجاد لکه‌های سیاه و کوچک، آسپرژیلوس گلاوکوس لکه‌های قهوه‌ای رنگ، سفالوسپوریوم لکه‌های صورتی تا قرمز، پنی‌سیلیوم (اکسپانسوم) لکه‌های زرد روشن و تیره، قهوه‌ای و قرمز، آلترناریاآلترناتا لکه‌های قهوه‌ای مایل به سیاه، کلادوسپوریوم (هرباریوم) لکه‌های درشت آبی تیره و سبز تا سیاه و رایزوپوس (استولوینفر) لکه‌هایی زرد روشن تا مایل به قهوه‌ای ایجاد کرده‌اند(تصویر ۳). در برخی گزارش‌های منتشر شده نیز، فعالیت این قارچ‌ها لکه‌هایی مشابه ایجاد کرده‌است(قهری، ۱۳۹۱،صص ۴۸-۵۱؛ رئیس‌نیا، ۱۳۸۹، ۶۴؛ Menezes et al, 2011). باوجود این ویژگی‌های بصری لکه تحت تأثیر نوع کاغذ (Menezes et al, 2011)، آهار و پرکننده (Pinzari et al, 2006) تغییر می‌یابد. همانطور که پیش از این گفته شد، این لکه‌ها ناشی از تولید رنگدانه‌های قارچی و محصولات تخریب بیولوژیکی کاغذ است. این رنگدانه‌ها ترکیبات پیچیدهٔ شیمیایی هستند که در طول فعالیت متابولیسم[1] قارچ تولید می‌شوند. رنگدانه‌های قارچی در اسپور و میسلیا[2] وجود دارند و توسط سلول‌های قارچی ترشح می‌شوند(Szczepanowska and Lovett, 1992)

1. Metabolism
2. Mycelia

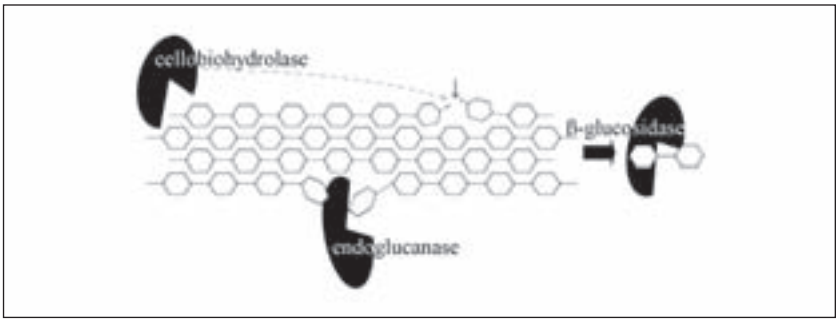
و ارزش‌های مختلف آثار چون زیباشناختی آنها را دچار مخاطره می‌کنند.



تصویر ۳

لکه‌های ناشی از قارچ‌های مختلف در نمونهٔ اسناد کاغذی موزهٔ ملی ملک؛ ۱: ناشی از قارچ آسپرژیلوس نیجر؛ ۲: کلادوسپوریوم (هرباریوم)؛ ۳: پنی‌سیلیوم (اکسپانسوم)؛ ۴: رایزوپوس (استولونیفر)، ۵: آسپرژیلوس گلاوکوس؛ ۶: آلترناریا آلترناتا؛ ۷: سفالوسپوریوم).

آسیب این قارچ‌ها محدود به تغییرات بصری نیست و از مهم‌ترین مشکلات در زمینهٔ فعالیت قارچی در آثار کاغذی، تولید آنزیم‌های سلولاز[1] است. در بررسی قارچ‌های موجود در کتابخانه‌ها بیش از دویست‌گونه سلولولیتیک شناسایی شده‌است که معمولاً بیشتر آنها متعلق به جنس‌های آسپرژیلوس، پنی‌سیلیوم، کلادوسپوریوم و فوساریوم است (ناردی، ۱۳۷۹،صص ۹۸-۱۰۰). قارچ‌های شناسایی شده در این مجموعه نیز از نوع قارچ‌های سلولولیتیک‌اند و قابلیت تولید آنزیم‌های مختلف سلولاز را دارند(Itävaara et al, 1999; Ponce-Jimenez et al, 2002). این آنزیم‌ها، مسئول تجزیهٔ سلولز الیاف کاغذ هستند(Deacon, 1997) و فعالیت ترکیبی آنها، هیدرولیز کامل سلولز به گلوکز[2] را در پی دارد (تصویر ۴).



تصویر ۴

مکانیزم تجزیه و هیدرولیز آنزیمی سلولز تحت تأثیر فعالیت قارچی

سلوبیوهیدرولازها[3] واحدهای سلوبیوز[4] را از انتهای زنجیرهٔ پلی‌ساکاریدی[5] جدا می‌کنند. اندوگلوکانازها[6] نیز که معمولاً در قسمت‌های آمورف فعالیت دارند، منجر به شکست زنجیرهٔ سلولزی می‌شوند و در کنار آنزیم‌های GH61 که شکست زنجیره را در پی دارند(بخش مشخص شده در تصویر ۴)، نقاط جدیدی را برای شروع پیشرفت فعالیت سلوبیوهیدرولازها فراهم می‌کنند. سلوبیوزهای ایجاد شده نیز در انتها تحت تأثیر آنزیم‌های بتا گلوکوسیداز[7] به گلوکز تبدیل می‌شود(De Vries et al, 2011; Aro et al, 2005; Horn et al, 2012). همچنین سلوبیوز و گلوکز نیز تحت تأثیر آنزیم‌ها می‌توانند تبدیل به سلوبیونیک اسید[8] و گلوکونیک اسید[9] شوند(Coughlan,

1. Cellulase
2. Glucose
3. Cellobiohydrolase
4. Cellobiose
5. Polysaccharide
6. Endoglucanase
7. B-Glucosidase
8. Cellobionic Acid
9. Gluconic Acid

1991) که هیدرولیز اسیدی سلولز را در پی دارد. گسترش فعالیت این آنزیم‌ها، در نهایت منجر به تخریب کامل ساختار سلولزی کاغذ می‌شود. از طرفی، این قارچ‌ها، جدا از آسیب‌های ساختاری و بصری در اسناد و کتب، مشکلات متعدد در زمینهٔ سلامتی افراد در تماس با آرشیو موزه را در پی دارند. به‌طور کلی، قارچ‌ها با تولید ترکیبات سمی و همچنین ورود اسپورها به داخل ریه انسان می‌توانند بیماری‌های جدی ایجاد کنند(Bennet and Kilch ,2003). براساس گزارش‌های منتشر شده، هشتاد و چهار جنس از قارچ‌های شناسایی شده در آرشیوها، به‌عنوان عامل بیماری‌های مختلف معرفی شده‌اند(Zyska, 1997). این قارچ‌ها، از طریق استنشاق اسپور سمی و تماس مستقیم پوستی، باعث بیماری‌های متعددی چون عفونت سیستم تنفسی، بیماری‌های قارچی، اختلالات سیستم ایمنی و آسم می شوند(Nielsen 2003,). بیشتر قارچ‌های موجود در آرشیو موزه و کتابخانهٔ ملی ملک از گونه‌های آلرژن شایع با قابلیت تولید مایکوتوکسین[1] هستند و برای افراد خطرناک‌اند(Milanesi, 2006). آسپرژیلوس، قابلیت تولید زهرابه‌های آفلاتوکسی[2]، B1، G1 و M1، اکراتوکسین[3] A ، پاتولین[4]، استریگما توسیستین[5] و سیکلوپیازونسور[6] و پنی‌سیلیوم توانایی تولید اکراتوکسین A، سیترینین[7]، پاتولین، سیکلوپیازونسور و پنیترم[8] A، را دارد. همچنین، کلادوسپوریوم می‌تواند فاگی کلادوسپوریک اسید[9] و اپی‌کلادوسپوریک اسید[10] تولید کند. آلترناریا نیز تنازونیک اسید[11]، آلترناریول متیل اتر[12] و آلترناریک اسید[13] و رایزوپوس، اکسوفلاوین[14] تولید می‌کنند(خداپرست ۱۳۸۹،ص ۷). قارچ‌های جنس کلادوسپوریوم و پنی‌سیلیوم به‌عنوان عوامل علّی آسم شناخته شده‌اند و جنس آسپرژیلوس عامل طیف وسیعی از بیماری‌هایی است که باعنوان آسپرژیلوزیس[15] شناخته می‌شود(De Hoog, 2000). همچنین، اسپورهای قارچ آلترناریا آلترناتا نیز از عوامل مخاطره‌انگیز در بحث ابتلا به آسم و بیماری‌های تنفسی است(Salo et al, 2006). از این‌رو، لزوم درمان سریع این آثار با توجه به تبعات منفی بر آثار و مستندات تاریخی و سلامت کارکنان آرشیو امری روشن است.

نتیجه‌گیری

کتابخانه و موزهٔ ملی ملک دارای مجموعه‌ای غنی از نفیس‌ترین آثار فرهنگی و تاریخی نگاشته شده بر کاغذ است، که شامل اسناد و کتاب‌های مختلفی هستند. آفات بیولوژیک و به‌خصوص قارچ‌ها از اصلی‌ترین دلایل تخریب آثار موجود در مخزن این مجموعه به‌شمار می‌رود. هرچند محیط مخزن شرایط ایده‌آل رشد و فعالیت قارچ‌ها نیست، این عوامل قابلیت فعالیت آرام و پیوسته را دارند، که نتیجهٔ آن، از دست دادن اطلاعات و آثار ارزشمند تاریخی است. از طرفی، مسئلهٔ حبس رطوبت در برخی آثار این مجموعه، شرایط مناسب را برای فعالیت قارچ‌ها فراهم آورده است. بررسی آثار گویای وجود

1. Mycotoxin
2. Aflatoxin B1
3. Ochratoxin A
4. Patulin
5. Sterigmatocystin
6. Cyclopiazonsaure
7 . Citrinin
8 . Penitrem A
9. Fagicladosporic Acid
10. Epicladosporic Acid
11. Tenuazonic Acid
12. Alternariol Methyl Ether
13. Alternaric Acid
14. Oxoflavin
15. Aspergillosis

۶ دسته لکهٔ متفاوت از نظر ویژگی‌های بصری در کاغذهای موجود در آرشیو است. این لکه‌ها از تولید رنگدانه توسط قارچ‌ها و محصولات تخریب فعالیت قارچی حاصل می‌شوند و معمولاً از مشکلات حفاظت‌گران در زمینهٔ پاکسازی کاغذ است، که با توجه به ثبات آنها بعضاً امکان پاکسازی کامل آنها وجود ندارد. لکه‌های موجود در آثار این آرشیو براساس پراکنش به‌ترتیب شامل شش گروه لکه‌های درشت آبی تیره تا سیاه، نقاط کوچک سیاه، لکه‌های قهوه‌ای، زرد روشن تا زرد مایل به قهوه‌ای، لکه‌های تیره قهوه‌ای تا سیاه و لکه‌های گل‌بهی و صورتی تا قرمز مایل به قهوه‌ای هستند. شناسایی نوع قارچ مؤثر در ایجاد این لکه‌ها نشان‌دهندهٔ وجود هفت نوع قارچ مخرب در آثار بررسی شده بود. براین اساس قارچ کلادوسپوریوم (احتمالاً گونه‌ی هرباریوم) لکه‌های درشت آبی تیره تا سیاه، آسپرژیلوس نیجر لکه‌هایی به شکل نقاط کوچک سیاه، آسپرژیلوس گلاوکوس لکه‌های قهوه‌ای، آلترناریا آلترناتا لکه‌های تیره قهوه‌ای تا سیاه، سفالوسپوریوم لکه‌های گل‌بهی و صورتی تا قرمز مایل به قهوه‌ای و قارچ‌های رایزوپوس(احتمالاً استولونیفر) و پنی‌سیلیوم (احتمالاً اکسپانسوم) لکه‌های زرد روشن تا زرد مایل به قهوه‌ای تولید می‌کنند. در بین قارچ‌های شناسایی شده نیز، بیشترین تعداد مربوط به جنس‌های کلادوسپوریوم، پنی‌سیلیوم، و آسپرژیلوس بود که از قارچ‌های رایج در آرشیوها و کتابخانه‌ها هستند. جدا از تأثیرات مخرب بصری بر اسناد، این قارچ‌ها با تولید آنزیم‌های مختلف سلولاز، هیدرولیز الیاف سلولزی کاغذ را در پی دارند که درنهایت منجر به تخریب کامل ساختار سلولزی می‌شود و همچنین اسیدهای آلی حاصل از محصولات تخریب آنزیمی کاغذ نیز تسریع فرآیند اضمحلال این آثار را در پی دارد. از طرفی، این قارچ‌ها از آلرژن‌های شایع بوده و از راه تماس پوستی و استنشاق اسپورهای سمی و تولید زهرابه‌های مختلف منجر به بیماری‌های مختلفی در افراد در تماس با این آثار می‌شوند. از این‌رو، لزوم درمان سریع این آثار با توجه به تبعات منفی بر آثار و مستندات تاریخی و سلامت کارکنان آرشیو امری روشن است.

منابع

استاندارد ملی ایران ۳۱۹۴ (۱۳۸۶). میکروبیولوژی مواد غذایی کپک‌های مقاوم به حرارت روش شناسی اسپور. موسسه 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. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (Institute of Standards and Industrial

(Research of Iran, ISIRI

اشکان، سید محمد(۱۳۸۷). ***قارچ شناسی مقدماتی***(چ۳). تهران: آییژ.

الکسوپولوس، کنستانتین جان(۱۳۶۴). ***اصول قارچ شناسی*** (ابراهیم بهداد، مترجم). تهران: دانشگاه تهران.

خداپرست، سید اکبر(۱۳۸۹). ***سلسله‌ی 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 آسیب رسان به مواد آرشیوی و کتابخانه ای**. 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***، ۱ (۱)، ۲۷-۴۱.

گالو، فوستا(۱۳۷۱). ***نقش عوامل بیولوژیک در فرسایش کاغذ*** (عباسعالی عابدی استاد، مترجم). مشهد: آستان قدس رضوی.

ولهایزر، یوهانا(۱۳۷۹). ***فرایندهای غیر شیمیایی برای آفت‌زدایی مجموعه‌های کتابخانه*** (مهرداد نیکنام، مترجم). تهران: کتابخانه مجلس شورای اسلامی.

ناردی، آن لیه. ون دام، فیلیپ(۱۳۷۹). ***راهنمایی حفاظت، نگهداری و مرمت کاغذ*** (ابوالحسن سروقد مقدم، مترجم). مشهد: آستان قدس رضوی.

Abrusci, C. Martín-González, A. Del Amo, A. Catalina, F. Collado, J. Platas, G(2005). Isolation and identification of bacteria and fungi from cinematographic films. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 56(1), 58-68.

Arai, H(2000). Foxing caused by fungi: twenty-five years of study. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 46(3), 181–188.

Aro, Nina. Pakula, Tiina. Penttila, Merja(2005). Transcriptional regulation of plant cell wall degradation by filamentous fungi. ***FEMS Microbiol Rev***, 29(4), 719-39.

Bennet, J.W. Kilch, M(2003). Mycotoxins. ***Clinical Microbiology Reviews***, 16(3), 497–516.

Bicchieri, M. Pappalardo, G. Romano, F.P. Sementilli, F.M. De Acutis, R(2001). Characterization of foxing stains by chemical and spectrometric methods. ***Restaurator***, 22(1), 1-19.

Biccheri, M. Ronconi, S. Romano, F.P. Pappalardo, L. Corsi, M. Cristoforetti, G. Legnaioli, S. Palleschi, V. Salvetti, A. Tognoni, E(2002). Study of foxing stains on pa-

per by chemical methods, infrared spectroscopy, micro-X-ray fluorescence spectrometry and laser induced breakdown spectroscopy. ***Spectrochimica Acta, part B***, 57, 1235-1249.

Buzio, R. Calvini, P. Ferroni, A. Valbusa, U(2004). Surface analysis of paper documents damaged by foxing. ***Applied Physics A***, 79(2), 383-387.

Cappitelli, F. Sorlini, C(2005). From papyrus to compact disc: the microbial deterioration of documentary heritage. ***Critical Reviews in Microbiology***, 31(1), 1–10.

Choisy P. de la Chapelle, A(1998). Foxing: analysis et blanchiment enzymatique. ***Indigo***, 3, 5-11.

Choisy, P. de la Chapelle, A. Thomas, D. Legoy, M.D(1997). Non invasive technique for the investigation of foxing on graphic art material. ***Restaurator***, 18(3), 131-152.

Corte, A.Montemarini. Ferroni, A. Salvo, V.S(2003). Isolation of fungal species from test samples and maps damaged by foxing, and correlation between these species and the environment. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 51(3), 167–173.

Da Silva, M., Moraes, A.M.L., Nishikawa, M.M., Gatti, M.J.A., Vallim de Alencar, M.A., Brandao, L.E. Nobrega, A(2006). Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 57(3), 163–167.

Darwish, Sawsan(2001). ***Biological studies on some cellulolytic microorganisms isolated from old paper manuscripts***. PhD thesis. Chemistry Dept. Fac. Of Science. Cairo University. Egypt.

Deacon, J.W(1997). ***Modern Mycology***. Oxford: Blackwell Science.

De Hoog GS(2000). Atlas of Clinical Fungi. Second Edition: Amer Society for Microbiology.

De Vries, Ronald P. Wiebenga,AD. M. Coutinho, Pedro. Henrissat, Bernard(2011). Plant polysaccharide degradation by fungi. ***proceedings of the Vth International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMPV)***, 16-

23.

Ebrahimi, Azizollah. Karimi, Saeid. Lotfalian, Sharareh. Majidi, Fariba(2011). Allergenic fungi in deteriorating historic objects of Shahrekord Museum, in Iran. ***Jundishapur Journal of Microbiology***, 4(4), 261-265.

El-Sayed, M.M(1980). ***The role of microorganisms in the deterioration of old valuable manuscripts. faculty of agriculture***. Ain Shams University. Cairo. Egypt.

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***, 39(1), 61–65.

Florian M.-L.E(1996). The role of the conidia of fungi in fox spot. ***Studies in Conservation***, 41, 65-75.

Florian, M.-L.E. Manning, L(1999). The ecology of the fungal fox spots in a book published in 1854. ***Restaurator***, 20(3-4), 137-150.

Florian M.-L.E. Manning, L(2000). SEM analysis of irregular fungal spot in an 1854 book: population dynamics and species identification. ***International Biodeterioration and Biodegradation***, 46(3), 205-220.

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***, 85(2), 229-234.

Hyvarinen, A. Meklin, T. Vepsalainen, A. Nevalainen, A(2002). Fungi and actinobacterian moisture-damaged building materials – concentrations and diversity. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 49(1), 27–37.

Horn, Svein Jarle. Vaaje-Kolstad, Gustav. Westereng, Bjørge, Eijsink, Vincent GH(2012). Novel enzymes for the degradation of cellulose. ***Biotechnology for Biofuels***, 5(1), 45-57.

Itävaara, M. Siika-aho, M. Viikari, L(1999). Enzymatic degradation of cellulosebased materials. ***Journal of Environmental Polymer Degradation***, 7(2), 67-73.

Maggi, O. Persiani, A.M. Gallo, F. Valenti, P. Pasquariello, G. Sclocchi, M.C. and Scorrano, M(2000). Airborne fungal spores in dust present in archives: proposal for a detection method, new for archival materials. ***Aerobiologia***, 16(3-4), 429-434.

Mesquita, N. Portugal, A. Videira, S. Rodriguez-Echeverria, S. Bandeira, A.M.L. Santos, M.J.A. and Freitas, H(2009). Fungal diversity in ancient documents. A case study on the Archive of the University of Coimbra. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 63(5), 626–629

Milanesi, C. Baldi, F. Vignani, R. Ciampolini, F. Faleri, C. Cresti, M(2006). Fungal deterioration of medieval wall fresco determined by analysing small fragments containing copper. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 57(1), 7-13.

Montanari, Matteo. Melloni, Valeria. Pinzari, Flavia. Innocenti, Gloria(2012). Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 75 (2012), 83-88.

Nielsen, K(2003). Mycotoxin production by indoor moulds. ***Fungal Genetics and Biology***, 39(2), 103–117.

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

Pinzari, F. Colaizzi, P. Maggi, O. Persiani, A.M. Schütz, R. Rabin, I(2012). Fungal bioleaching of mineral components in a twentieth-century illuminated parchment. ***Anal Bioanal Chem***, 402(4), 1541-1550.

Ponce-Jiménez, Maria del Pilar. Toral, Fernando Lopéz-Dellamary. Delgado-Fornué, Ezequiel(2002). Antifungal protection and sizing of paper with chitosan salts and cellulose ethers. Part 1, Physical effects. ***Journal of the American Institute for Conservation***, 41(2), 243–254.

Rakotonirainy, Malalanirina S. Heude, Eglantine. Lavédrine, Bertrand(2007). Isolation and attempts of biomolecular characterization of fungal strains associated to foxing on a 19th century book. ***Journal of Cultural Heritage***, 8(2), 126–133.

Reis-Menezes, Adriana Araujo. Gambale, Walderez. Giudice, Mauro Cintra. Shirakawa, Márcia Aiko(2011). Accelerated testing of mold growth on traditional and recycled book paper. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 65(3), 423-428.

Sahab, S.Y(1988). ***Physiological studies on microorganisms isolated from deteriorated old manuscripts***. M.Sc thesis. faculty of agriculture. Ain Shams University. Cairo. Egypt.

Salo, Päivi M. Arbes Jr, Samuel J. Sever, Michelle. Jaramillo, Renee. Cohn, Richard D. London, Stephanie J. Zeldin, Darryl C(2006). Exposure to Alternaria alternata in US homes is associated with asthma symptoms. ***J Allergy Clin Immunol***, 118(4), 892–898.

Shamsian, Aliakbar. Fatah, Abdolmajid. Mohajeri, Masood. Ghazvini, Kiarash(2006). Fungal Contaminations in Historical Manuscripts at Astan Quds Museum Library, Mashhad, Iran. ***International Journal of Agriculture & Biology***, 8(3): 420-422.

Singh, A.B. Chatterji, M. Singh B.P. Gangal, S.V(1990). Air-borne viable fungi in library: before and after agitation of books. ***Indian J. Aerobiol***, 3, 32–38.

Singh, A. Meenakshi, G. Singh, A.B(1995). Fungal spores are an important component of library air. ***Aeribiologia***, 11(4), 231–237.

Sterflinger, K. de Hoog, G.S. Haase, G(1999). Phylogeny and ecology of meristematic ascomycetes. ***Studies in Mycology***, 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***, 46(3), 245-249.

Szczepanowska, H. Lovett, C(1992). A study of the removal and prevention of fungal stains on paper. ***Journal of the American Institute for Conservation***, 31(2), 147–160.

Tavzes, Crtomir. Silc, Franc. Kladnik, Andrej. Fackler, Karin. Messner, Kurt. Pohleven, Franc. Koestler, Robert J(2009). Enzymatic degradation of mould stains on paper

analysed by colorimetry and DRIFT-IR spectroscopy. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 63(7), 873–879.

Vivar, I. Borrego, S. Ellis, G. Moreno, DA. García, AM(2013). Fungal biodeterioration of color cinematographic films of the cultural heritage of Cuba. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 2013 (accepted; Available online 3 August 2012).

Zottia, M. Ferroni, A. Calvini, P(2008). Microfungal biodeterioration of historic paper: Preliminary FTIR and microbiological analyses. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 62(2), 186–194.

Zotti, M. Ferroni, A. Calvini, P(2011). Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 65(4), 569-578.

Zyska, B(1997). Fungi isolated from library materials: a review of the literature. ***International Biodeterioration & Biodegradation***, 40(1), 43–51.