



Woodiconf-25

برخی از مهم ترین قارچ کش های کاغذ و آثار سلولزی

مهرداد صدقی^۱، لعلیا جمالی راد^۲

۱. استادیار دانشگاه گنبد کاووس

۲. دانشیار دانشگاه گنبد کاووس

mehrsedghi@yahoo.com

چکیده

کاغذ در گذر زمان مستعد تخریب است و تخریب طبیعی، سهم زیادی در تخریب کاغذ دارد. میکروارگانیسم های قارچ متداول ترین عوامل مخرب زنده هستند که کاغذ را تحت تاثیر قرار می دهند و منجر به وارد آمدن خسارات جدی به اسناد و مدارک می شوند. ترکیب آلی کاغذ، که دارای منابع کربنی فراوان برای میکروارگانیسم ها می باشد، به همراه خاصیت رطوبت دوستی آن باعث می شود تا کاغذ محیط مناسبی برای رشد قارچ های مخرب باشد. تا کنون مواد و روش های مختلفی برای افزایش دوام کاغذ در برابر عوامل مخرب زنده و نیز مبارزه با این عوامل مخرب معرفی شده است. هر یک از این مواد و روش ها معایب و محاسنی دارند که ممکن است با توجه به شرایط، میزان تخریب و یا سایر عوامل (هزینه، سطح آسیب، اصول ایمنی و) مورد استفاده قرار گیرند و یا کنار گذاشته شوند. در این مقاله به برخی از این مواد اشاره شده و ویژگی های هر یک از آنها ذکر می شود.

واژه های کلیدی: سلولز، کاغذ، قارچ کش، حفاظت چوب و کاغذ.

مقدمه

کاغذ مانند همه مواد در گذر زمان تخریب می شود. این تخریب تدریجی می تواند توسط عوامل داخلی نظیر اسیدیت، یون های فلزی، لیگنین یا محصولات تخریب و نیز عوامل خارجی مانند رطوبت، گرما، پرتوها (نور، اشعه فرابنفش)، اکسیژن، عوامل آلاینده یا بیولوژیکی تسریع یابد. عوامل بیولوژیک سهم زیادی در تخریب کاغذ دارند و در میان آنها، قارچ ها از اهمیت زیادی برخوردارند. میکروارگانیسم های قارچ متداول ترین عوامل مخرب زنده هستند که کاغذ را تحت تاثیر قرار می دهند و منجر به وارد آمدن خسارات جدی به اسناد و مدارک می شوند. ترکیب آلی کاغذ، که دارای منابع کربنی فراوان برای میکروارگانیسم های



هتروتروف - نظیر قارچ‌ها- می‌باشد، به همراه خاصیت رطوبت‌دوستی آن باعث می‌شود تا کاغذ محیط مناسبی برای رشد قارچ‌های مخرب باشد.

کاغذ به طور عمده از سلولز تشکیل شده است. سلولز پلیمری طبیعی است که در گیاهان متشکل از واحدهای β -D-گلوکزی است و با پیوندهای گلوکوزیدیک به هم متصل شده‌اند. نوع ماده اولیه، افزودنی‌ها و فرایند ساخت کاغذ دستخوش تغییرات زیادی بوده است. در گذشته از الیاف پنبه و پارچه‌های کهنه برای ساخت کاغذ استفاده می‌شده اما به تدریج روش‌های صنعتی مبتنی بر تبدیل چوب به خمیر کاغذ توسعه یافتند. روش‌های تبدیل چوب به خمیر کاغذ ممکن است شیمیایی، مکانیکی یا تلفیقی از این دو روش باشند. همچنین ممکن است خمیر در محیط اسیدی یا بازی تولید شود. از طرف دیگر، خمیر آماده شده بر روی ورقه توری ماشین کاغذسازی فرستاده می‌شود تا نهایتاً پس از آگیری و خشک شدن، ورقه کاغذ را شکل دهد. با توجه به عوامل فیزیکی و غیر فیزیکی مورد استفاده در ساخت کاغذ، کاغذ می‌تواند توسط عوامل مختلف زنده و غیر زنده مورد تخریب قرار گیرد (صدقی، ۱۴۰۰). فرایندهای فیزیکی و شیمیایی انجام گرفته بر روی سلولز، منجر به افزایش ظرفیت قارچ‌پذیری آن شده است (ظرفیت میزبانی کاغذ برای اینکه قارچ‌ها بتوانند بر روی آن کلونی ایجاد کنند). سلولز خام بیشتر دارای نواحی کریستالی و به میزان کمتری نواحی بی‌شکل است. در هنگام تشکیل کاغذ، عمدتاً نواحی بی‌شکل سلولز تحت فرایندهای فیزیکی و شیمیایی قرار می‌گیرند و همین نواحی بی‌شکل، بیشتر مستعد تخریب بیولوژیکی هستند.

به منظور کاهش تراوش جوهر و افزایش چسبندگی بین الیاف، کاغذ معمولاً با پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها یا رزین‌ها، نشاسته، ژلاتین، روزین و ترکیبات سنتزی آهارزنی می‌شود. این عناصر ممکن است موجب تسهیل شرایط تغذیه قارچ‌ها شوند. تخریب کاغذ اتفاقی نامطلوب به شمار می‌رود و توسط فعالیت ارگانیسم‌ها انجام می‌پذیرد. این ارگانیسم‌ها یا مواد تخریب‌کننده بر حسب توانایی استفاده‌شان از سوبسترا برای رشد و تولید مثل طبقه بندی می‌شوند. میکروقارچ‌های رشته‌ای مهم‌ترین عامل مخرب زیستی در موزه‌ها، کتابخانه‌ها و مراکز اسناد به شمار می‌روند زیرا این توانایی را دارند که در رطوبت نسبی متوسط (بالای ۶۵٪) رشد کنند و مجموعه‌ای از آنزیم‌ها و متابولیت‌های مخرب تولید کنند.

آلودگی قارچی به سهولت رخ می‌دهد. باکتری نیز می‌تواند موجب آلودگی کاغذ شود اما از آنجایی که قارچ به رطوبت کمتری برای رشد نیاز دارد، شرایط محیطی نرمال در کتابخانه‌ها، مراکز اسناد و موزه‌ها برای قارچ‌ها نسبت به باکتری‌ها مهیاتر است. آلودگی قارچی ممکن است به خاطر قرار گرفتن در معرض هوای آلوده به اسپورهای قارچ یا تماس با مواد و سطوح آلوده و یا از طریق انتشار توسط ارگانیسم‌های موجودات ناقل (نظیر بندپایان) ایجاد شده باشد. اسپورهای قارچ ممکن است برای سال‌ها در انتظار شرایط محیطی مناسب برای رشد، زنده بمانند. علاوه بر اسپورها، آلودگی می‌تواند از طریق قرارگیری بخش‌های هیف بر روی مواد و تشکیل کلونی اولیه نیز انجام گیرد. با این حال، این عناصر در برابر خشکی آسیب‌پذیرند و زیست‌شان به خطر می‌افتد. از آنجا که اسپورهای قارچ و قطعات هیف در همه مواد و مکان‌های ضد عفونی نشده وجود دارند، آلودگی قارچی بر روی کاغذ به سهولت رشد می‌یابد (Florian, 2002).

رشد اولیه قارچ بر روی کاغذ با چشم غیر مسلح قابل تشخیص نیست. موقعی که کلونی قارچ روی سطوح کاغذی دیده می‌شود، یعنی که فساد و تخریب پیشاپیش انجام گرفته است. وقتی کلونی قارچ بر روی کاغذ شکل می‌گیرد، علاوه بر اینکه نفوذ هیف به درون شبکه الیاف کاغذ موجب تبعات فیزیکی می‌شود، محصولات متابولیک متعدد ناشی از دفع نیز در کاغذ انباشته می‌شوند. تجزیه و تخریب سلولز توسط قارچ سلولولیتیک عمدتاً به خاطر تولید و ترشح ترکیب از آنزیم‌های فراسلولی - سلولاز- است که درشت‌مولکول سلولز را به قندهای کوچک‌تر محلول در آب هیدرولیز می‌کند و متعاقباً این قندهای کوچک هستند که می‌توانند توسط قارچ مورد استفاده گیرند. سایر آنزیم‌ها نظیر آمیلاز یا پروتئاز افزودنی‌های کاغذ را تجزیه می‌کنند و منجر به افت مقاومت مکانیکی آن می‌شوند. متابولیت‌های غیر آنزیمی نظیر اسیدها یا یون‌های فلزی نیز می‌توانند موجب تسریع تخریب تدریجی سلولز شوند. به علاوه، تشکیل کریستال‌های اکسالات کلسیم که به واسطه فعالیت قارچ شدت می‌یابد، می‌تواند ذخیره قلیایی موجود در کاغذ را تغییر داده و منبعی برای تخریب شیمیایی و فیزیکی شود. (Pinzari et al, 2010).



تخریب ایجاد شده به خاطر ترکیبات قارچها به طور تدریجی موجب کاهش مقاومت مکانیکی کاغذ می شود. در مراحل پیشرفته تخریب، کاغذ به شکل نمدی و بدون مقاومت مکانیکی درمی آید که با کوچکترین تماس دست، از هم می پاشد و علاوه بر ساختار، اطلاعات ثبت شده بر روی خود را نیز از دست خواهد داد. محصولات شیمیایی دفع شده ناشی از فعالیت های قارچ، در کاغذ باقی می ماندند و تاثیر مخرب آنها حتی بعد از اینکه قارچ غیر فعال می شود، ادامه می یابد. آنزیم های دفعی به ارگانیسم ها وابسته نیستند و ممکن است بدون اینکه تحت تاثیر قرار گیرند، باقی مانده و به تجزیه کاغذ بعد از غیر فعال شدن میکرو ارگانیسم ها ادامه دهند. اسیدها و یون های فلزی که از کاغذ خارج نشده اند، همچنان با آن واکنش می دهند. سایر محصولات نظیر گلیسرین می توانند مقدار رطوبت نقاط آلوده را افزایش داده و به عنوان فعال ساز کنیدا بر روی آلودگی های بعدی عمل نمایند. چربی های دفعی به آسانی دستخوش اکسایش می شوند و رادیکال های آزاد یا پروکسیدها را تشکیل می دهند که منجر به تشکیل نقاط رنگی قهوه ای رنگی بر روی سوبسترا می شوند (Florian, 2002). بنابراین، خروج یا خنثی سازی بقایای قارچ از روی شبکه الیاف کاغذ اهمیت زیادی دارد.

علاوه بر آسیب های شیمیایی و فیزیکی، قارچ می تواند از نظر زیبایی شناسی هم صدماتی به کاغذ وارد کند زیرا رنگدانه هایی تولید می کند که موجب تداخل در خوانا بودن، زیبایی و ارزش ظاهری کاغذهای باارزش خواهد. عیب فاکسینگ، نوعی لکه رنگی شبیه زنگ زدگی است که با نقاط کوچک قرمز قهوه ای خود شناخته می شود. فاکسینگ می تواند به عملکرد میکروارگانیسم ها مرتبط باشد اما همچنین می تواند ناشی از عوامل شیمیایی هم باشد، نظیر اکسایش آهن در شبکه الیاف کاغذی. علاوه بر تمام آسیب های ذکر شده، کاغذ آلوده شده به قارچ بر روی سلامتی انسان نیز اثر منفی دارد زیرا بسیاری از میکرو ارگانیسم ها بیماری زا و سمی هستند. حتی هنگامی که قارچ پیشاپیش غیر فعال شده باشد، ساختار آنها کماکان برای انسان حاوی ترکیبات آلرژی زا و سمی است (Florian, 2002). بنابراین هنگام کار با آثار قارچ زده باید همیشه از وسایل حفاظتی نظیر ماسک و دستکش استفاده کرد.

دما و رطوبت دو عامل کلیدی برای تنظیم رشد میکرو ارگانیسم ها هستند. در مورد کاغذ، رطوبت پذیری به واسطه ترکیباتش (وجود لیگنین، منشا سلولز، آهارزنی، پرکننده ها) و نوع مرکب مورد استفاده متفاوت خواهد بود. محاسبه رطوبت نسبی و دمای محیط اطراف یک ماده، می تواند احتمال ریسک خطر تخریب زیستی میکروبی را نشان دهد: اگرچه این اندازه گیری ها معمولا در محدوده مشخصی از کاغذ انجام می شوند و بازتاب دهنده شرایط آنچه در گوشه ها و بخش های دیگر کاغذها می گذرد، نیست. در موادی که کلونی پیشاپیش تشکیل شده، لایه نازک رطوبت موجب حفاظت از قارچ شده و به بقای آن در شرایط رطوبت کمتر محیطی کمک خواهد کرد (Sequeira, 2016).

اخیرا، نگرانی های روزافزون راجع به بحث های مرتبط با سلامت و محیط زیست منجر به پژوهش در خصوص مواد ضد قارچی جدیدی شده که از سمیت و عراض جانبی کمتری برخوردار باشند. یک روش ضدقارچی مطلوب برای مواد مورد نظر باید طیف گسترده ای از قارچ ها را در بر بگیرد، ثبات شیمیایی خوبی داشته باشد، از هزینه پایینی برخوردار باشد و نباید سلامتی انسان را به خطر بیندازد و عوارض جانبی نامطلوبی برای ماده مورد نظر نداشته باشد. با این حال، تمام روش های ضد قارچی و ترکیبات آنها هنوز از کارایی مطلوبی برخوردار نیستند و یا دارای عوارض جانبی برای سلامتی اند، یا ممکن است به کاغذ آسیب بزنند و یا از کارایی طولانی مدت کم بهره باشند. بنابراین، این روش ها / ترکیبات نمی توانند به طور کلی کاملا برای اشیاء با ارزش و میراث فرهنگی از ایمنی بالایی برخوردار باشند. تلاش برای جستجوی تیمارهای ضدقارچی موثر برای کاغذ و آثار کاغذی چالشی مداوم است و تلاش های بیشتری در این زمینه می طلبد (Sequeira, 2016).

از زمان قدیم، نگرانی های زیادی در خصوص تخریب زیستی کاغذ و روش های جلوگیری از آن وجود داشته است. در کتابی متعلق به قرن ششم میلادی نوشته چی مین تائو شو اشاره شده که «بین پانزدهم ماه پنجم و دوازدهم ماه هفتم هر سال، کتاب های طوماری از حالت لوله شده (رول) باید باز شده و دوباره بسته شوند و این عمل سه بار انجام گیرد. این کار باید در یک روز آفتابی و مکانی مخصوص صورت پذیرد به نحوی که هوای خنک بتواند جریان داشته باشد و کتاب ها نباید مستقیما در معرض نور خورشید باشند زیرا کاغذ قهوه ای رنگ خواهد شد. رول های کتاب که توسط گرمای خورشید گرم می شوند به سرعت حشرات را



جذب می کنند و باید در نظر داشت که روزهای بارانی و هوای مرطوب نیز برای این کار مطلوب نیست. اگر کتابها به این شیوه با دقت نگهداری شوند، برای صدها سال دوام خواهند داشت» (Sequeira, 2016).

اکثر روش های ضد قارچی مورد استفاده برای جلوگیری و یا متوقف کردن تخریب زیستی ناشی از قارچها در حفاظت کاغذ، از سایر زمینه های علمی اقتباس شده است، مانند حفاظت مواد، کشاورزی یا داروسازی. این روشها می توانند شامل محدود کردن دسترسی قارچ به آب، استعمال مواد شیمیایی به صورت مایع یا گاز، و یا روش های فیزیکی نظیر دمای بالا، پرتوافشانی یا جریان باشد. معمولاً روش های فیزیکی عملکرد بلندمدتی ندارند زیرا از آنجایی که باقیمانده ای بر روی کاغذ نمی گذارند، عمل میکروب-کشی آنها فقط به صورت آنی است. با این حال، اکثر ترکیبات شیمیایی، حتی در حالت گازی ترکیباتی به جای می گذارند که می تواند اثر ضد میکروبی آن را در محدوده مشخصی از زمان، طولانی تر سازد (Nitterus, 2000).

محدود کردن دسترسی به آب از طریق کاهش فعالیت آب در سوستر یا ماده زمینه، احتمالاً ساده ترین و کم ضررترین روش برای جلوگیری از رشد قارچ است. بعد از بلایای طبیعی یا سوانحی که به نحوی با آب در ارتباطند، این امر را می توان از طریق خشک کردن مواد انجام داد اما هنگامی که مقدار رطوبت بسیار بالا باشد و یا کاغذ خیس شده باشد، به علت خاصیت آب دوستی کاغذها، این فرایند به کندی انجام می گیرد و در این موارد، زمان یک عامل کلیدی برای رشد میکرو ارگانیسمها خواهد بود (Sequeira, 2016).

میکروب کش های شیمیایی را می توان پیشاپیش در هنگام تهیه خمیر و کاغذ به کاغذ افزود. این امر می تواند از طریق افزودن مستقیم آنها به ترکیبات آهاری خمیر کاغذ یا به عنوان پوشش برای جلوگیری از رشد میکروبها انجام گیرد. همچنین، این ترکیبات را می توان به صورت چسب نیز به محصولات مختلف کاغذی افزود. به طور سنتی، در تهیه چسب نشاسته گهگاهی قارچ کش و حشره کش افزوده می شود زیرا نشاسته هنگامی که تازه است توسط میکرو ارگانیسمها فاسد می شود و اگر پیشاپیش در اسناد کاغذی موجود باشد، توسط حشرات خورده می شود. با این وجود، اکثر روش های ضد قارچ، برای ضد عفونی کردن کاغذهایی که پیش تر ساخته شده اند، استفاده می شوند؛ نظیر اسناد و یا آثار هنری کاغذی.

اگرچه ضد قارچها را می توان به صورت موضعی بر روی یک جسم اعمال کرد، بیشتر روش های ضد قارچی کاغذ برای تیمار ضد عفونی کردن انبوه مورد استفاده قرار می گیرند. این تیمارهای انبوه بعد از شیوع کپک به عنوان یک اقدام پیشگیرانه انجام می گرفته اند تا از پیشرفت آنها جلوگیری شود و یا به عنوان یک اقدام احتیاطی دوره ای و متوقف کننده انجام می شدند. گاهی از همان محصول برای از بین بردن آفات و حشرات نیز استفاده می شد.

یک روش ضد قارچی مطلوب باید طیف وسیعی را در بر بگیرد، ثبات شیمیایی خوبی داشته باشد، از هزینه کمی برخوردار باشد، برای انسان سمی نباشد و بر روی آثار مورد تیمار عوارض جانبی نامطلوبی به جای نگذارد. امروزه طیف وسیعی از موادی که توأماً برای اسیدزدایی و قارچ زدایی از کاغذ استفاده می شوند، معرفی شده اند و نانوترکیبات متنوعی در این خصوص مورد آزمون قرار گرفته اند. صدقی و همکاران (۱۳۹۷) از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت، نانوسلولز و نانوکیتوزان برای اسیدزدایی، تقویت کاغذ و قارچ زدایی استفاده کردند.

عوامل متعددی می توانند بر روی فعالیت ضد میکروبی یک میکروب کش تاثیر بگذارند از آن جمله: طول مدت تماس، غلظت، دما، pH، وجود ماده آلی آلوده و نوع میکرو ارگانیسم.

روش های حفاظتی ضد قارچ می تواند شامل روش های شیمیایی و فیزیکی باشد. در این مقاله، تاکید بر روی مواد و روش های شیمیایی است اما در خصوص روش های فیزیکی به اختصار می توان گفت متداول ترین روش های فیزیکی شامل رطوبت زدایی، تابش پرتوهای گاما، جریان فرکانس بالا، اکسیژن زدایی، تابش فرابنفش، روش های حرارتی (انجماد، دمای بالا، خنک کردن)، است. در بین روش های فیزیکی، رطوبت زدایی می تواند روشی موثر با کمترین آسیب به سطح کاغذ قلمداد شود (Sequeira, 2016).



Sequeira (۲۰۱۶) متداول ترین مواد شیمیایی و روش های ضد قارچی مورد استفاده برای اقلام کاغذ را به شرح ذیل معرفی کرده است و با توصیف مزایا و معایب هر کدام، مبنایی برای تصمیم گیری در خصوص پیشگیری و تیمار تخریب قارچی کاغذ ارائه کرده است:

۱. روش های شیمیایی قارچ زدایی از آثار سلولزی

مواد شیمیایی ضد قارچی بر روی قارچ از طریق فعل و انفعال بین اجزای فعال آنها و مکان های هدف خاص در داخل سلول های میکروبی عمل می کنند. اثربخشی این ترکیبات شیمیایی به ساختار شیمیایی و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آنها بستگی دارد. اکثر میکروب کش های مورد استفاده در حفاظت مواد، بر مبنای مکانیسم عمل و بر حسب الکترون دوستی یا فعال غشایی مشخص می شوند. میکروب کش های فعال غشایی (مانند الکل ها، فنول ها، اسیدها، سالیسلانیدها، کاربانیلیدها، دی-بنزامیدین ها، بیگوانیدها، نمک های آمونیوم نوع چهارم)، آزول ها) مستقیماً بر روی غشای سلول از طریق اثر لیتیکی عمل می کنند. این ترکیبات بر روی دیواره سلول جذب شده و روی آن را می پوشانند (یک لایه نازک روی سطح آن ایجاد می کنند) و موجب تغییراتی در غشای خارجی و در امتداد دیواره سلولی می شوند. با از بین رفتن یکپارچگی، این موانع به میکرب کش اجازه دسترسی به غشای سیتوپلاسمی خواهد داد یعنی جایی که اثرات کشنده آن (نظیر مهار آنزیم، خارج ساختن اجزای ضروری سیتوپلاسم) رخ می دهد.

میکروب کش های فعال الکترون دوست (مانند فلزات سنگین، هالوژن ها، اکسیدکننده ها، آلدئیدها، کاربامات ها و ایزوتیازولون-ها) به اجزای موجود در سلول میکروبی با چگالی الکترونی بالا نظیر ترکیبات هسته دوست، جذب می شوند. این میکروب کش ها با واکنش از طریق افزایش یا جایگزینی الکترون دوستی می توانند منجر به غیر فعال شدن آنزیم های مهم و مهار متابولیسم و رشد شوند. هرچه میزان الکترون دوستی میکروب کش بیشتر باشد، کارایی ضد میکروبی آن نیز بیشتر خواهد بود (Paulus, 2004).

۱/۱ الکل ها (اتانول و ای زوپروپانول)

الکل ها میکروب کش های فعال غشایی هستند که اثر ضرر میکروبی آنها به طور جهانی شناخته شده است. کارایی آنها با افزایش طول زنجیر، افزایش می یابد. در اثر آسیب به غشای سلولی و تغییر رفتار پروتئین های ضروری میکروبی نهایتاً سلول دچار زوال خواهد شد. محلول های آبی الکی نسبت به الکل خالص در برابر میکروارگانیسم ها موثرترند. الکل ها می توانند در برابر انواع باکتری ها، قارچ ها و ویروس ها موثر باشند، اما تاثیر آنها بر روی میکروارگانیسم های هاگزا هنوز اثبات نشده است. بنابراین، فقط به عنوان عوامل ضد عفونی کننده و غیر استریل کننده در نظر گرفته می شوند. با توجه به اینکه اتانول رایج ترین الکل برای تیمار آثار با ارزش قدیمی است، لازم است با جزییات بیشتری راجع به آن بحث شود.

۱/۱/۱ اتانول

اتانول یا اتیل الکل یک ضد عفونی کننده پر کاربرد است. مقبول ترین نظریه این است که اتانول از طریق انعقاد/ تغییر ماهیت پروتئین ها و آسیب رساندن به غشاء عمل کرده با ایجاد نداخل در متابولیسم، منجر به فروپاشی سلول می شود. اثر میکروب کشی اتانول به غلظت و ترکیب فرمولاسیون آن بستگی دارد. ضد عفونی کردن با محلول های اتانول معمولاً با اسپری، مسواک یا برس، زدودن با پنبه، غوطه وری یا قراردادن کاغذهای آلوده در معرض بخارهای این ترکیب انجام می گیرد. الکل ها، از جمله اتانول می توانند تغییراتی بر روی کاغذ ایجاد کنند. استخراج ترکیبات قابل حل به ویژه با روش غوطه وری و کاهش براقیت کاغذ و افزایش مانی در کاغذهای شفاف و تخریب جزیی کاغذ از جمله ی این عوارض محسوب شوند. با توجه به اینکه اتانول می توانند موجب انحلال چسب ها، مهرها و علایم شود، بهتر است پیش از انجام تیمار، آزمون اولیه انجام گیرد. استفاده از ترکیب ۷۰ درصد اتانول به همراه ارتو فنیل فنل ۰.۱ درصد، می تواند ترکیب موثری با درجه سمیت پایین محسوب



شود. در هنگام کار با اتانول باید به اشتعال پذیری آن و ایجاد حساسیت های پوستی و عوارض آن اشاره کرد و بهتر است از تجهیزات ایمنی مناسب در این زمینه بهره برد.

۱/۱/۲ ایزو پروپانول

در حال حاضر از ایزوپروپانول به عنوان ضد قارچ برای حفاظت کاغذ استفاده می شود. اگرچه ممکن است اندکی فعالیت ضد میکروبی بالاتری نسبت به اتانول داشته باشد، اما باید در نظر داشت که دو برابر سمی است.

۱/۲ ترکیبات آلکیل (اکسید اتیلن و فرمالدئید)

ترکیبات آلکیل می توانند با گروه های آمینو، کربوکسیلیک و گروه های آمینو در پروتئین ها و آنزیم های سلول های میکروبی ترکیب شوند و موجب غیر فعال شدن باکتری، قارچ و ویروس شوند. اکسید اتیلن و فرم آلدئید از این دسته محسوب می شوند.

۱/۲/۱ اکسید اتیلن

اکسید اتیلن یک گاز قابل اشتعال است که برای ضد عفونی کردن منسوجات و اسناد موزه ها مورد استفاده قرار می گیرد. خواص غیرفعال سازی میکروبیولوژیکی آن به واکنش قوی آلکیلایون آن با اجزای سلولی ارگانیسم ها نظیر اسیدهای نوکلئیک و پروتئین های عاملی مربوط می شود. به علت کارایی بالای آن در از بین بردن حشرات و میکروب ها، استفاده از بخور آن در کتابخانه ها، مراکز اسناد و موزه ها بسیار متداول است. با توجه به قدرت نفوذ و فرم گازی آن و اینکه می تواند در دمای محیط مورد استفاده قرار گیرد، تیمار با آن را می شود برای موادی که نسبت به دما و رطوبت از حساسیت بالایی برخوردارند استفاده کرد. با این حال با توجه به خطراتی که دارد، استفاده از آن در اتحادیه ی اروپا منع شده است.

۱/۲/۲ فرم آلدئید

فرم آلدئید یک میکروب کش فعال الکتروفیلیک است که توانایی واکنش با چندین اسید آمینه ی مختلف موجود در سلول میکروبی از جمله با گروه های پیورین و پیریدین DNA و RNA دارد و می تواند بر اسپورهای سطحی و داخلی حمله کند. این ترکیب در صورت استفاده به شکل بخور، قدرت نفوذ پایین و توان قارچ کشی کمتری دارد. استفاده از این تیمار در رطوبت نسبی بالا به منظور اجتناب از پلیمریزاسیون و تشکیل رسوب و سفیدک بر روی سطوح کار می باشد. فرمالدئید می تواند بر روی اسناد تاثیر منفی بگذارد. کاهش انعطاف پذیری کاغذ، اتصالات عرضی سلولز و کاهش مواد پروتئینه ی موجود در کاغذ، چرم، پارچه و منسوجات از جمله ی این عوارضند. همچنین موجب خوردگی جوهر آهن مازو می شود. با توجه به قابلیت سرطان زایی و خطراتی که برای سلامتی دارد، استفاده از آن با محدودیت هایی همراه است.

۱/۳ ضد قارچ های آزول

ضد قارچ های آزول میکروب کش های فعال غشایی هستند که بسته به اینکه در حلقه آزول حاوی دو یا سه اتم نیتروژن باشند به عنوان ایمیدازول یا تریازول طبقه بندی می شوند. این ترکیبات با مهار مسیر بیوسنتزی آرگوسترول عمل می کنند که منجر به تغییر ترکیب استرول در غشای پلاسمایی قارچ ها می شود. این امر منجر به تغییر سیالیت غشا یا اختلال در غشا شده که نهایتا باعث ایجاد وقفه در رشد قارچ یا توقف رشد آن می شود.

Rakotonirainy و همکاران (۱۹۹۹) ضد عفونی گازی انبارهای خالی شده در کتابخانه ها و مراکز اسناد را پس از آلودگی قارچی با استفاده از ترکیبات مختلف آئروسول مورد مطالعه قرار دادند. آنها از سه ضد قارچ آزول یعنی اکونازول، تیاندازول و ایمازالیل (انیل کونازول) و همچنین ارتو فنیل فتل استفاده کردند. روش آئروسول مورد استفاده (مه پاشی حرارتی) نشان داد قدرت



نفوذ و همگنی بسیار خوبی دارد و از مزیت عدم ایجاد تغییر در رطوبت نسبی و دمای اتاق برخوردار است. هیچکدام از ترکیبات ضد قارچی مورد استفاده، از قدرت قارچ کشی بهره‌مند نبودند. در مجموع تیابندازول بهترین خواص ضد عفونی هوایی و ضد عفونی سطحی را نشان داد. همچنین این ترکیب بر خلاف سایر ترکیبات مورد آزمایش، رسوب لایه‌ی چربی بر روی سطوح باقی نمی‌گذارد اما یک لایه‌ی پودری بر جای می‌گذارد که می‌تواند بعد از تیمار زده شده شود. با این حال استفاده از تیابندازول بر روی کاغذ بدون عوارض جانبی نیست. کاهش روشنی کاغذ، کاهش مقاومت ناشی از اکسیداسیون در کهنگی تسریعی از موارد نامطلوب این تیمار محسوب می‌شود. نویسندگان توصیه می‌کنند با توجه به اینکه تیابندازول بر روی پوست، چرم یا سایر مواد و منسوجات آزمایش نشده، در هنگام تیمار با تیابندازول، بهتر است چنین موادی را از اتاق خارج کنند.

ضد قارچ‌های آزل مستعد ایجاد آسیب به جنین می‌باشند بنابراین استفاده از آن در آزمایشگاه‌هایی که موجودات آزمایشگاهی در آنها حضور دارند و همچنین در مجاورت افراد باردار، منع شده است.

۱/۴ اسانس‌های روغنی (ترپنوئیدها)

در چند دهه اخیر، افزایش مقاومت میکروب‌ها به ترکیبات ضد قارچی موجود، منجر به جستجوی محصولات طبیعی جایگزین مشتق شده از گیاهان شده است. اسانس‌های روغنی به دلیل خواص تجربی ضد قارچی خود در طب سنتی استفاده می‌شوند.

اسانس‌های روغنی عمدتاً از ترکیبات ترپنوئیدی تشکیل شده‌اند. ترپن‌های آروماتیک، هیدروکربن‌های حلقوی هستند که بخاطر ویژگی آبگریز خود در لایه‌ی لیپیدی غشای سلول میکروبی تجمع می‌یابند و با این کار، ساختار غشا و عملکرد آن را تغییر می‌دهند. تیمول را می‌توان یکی از اسانس‌های روغنی محسوب کرد اما در بخش مربوط به مشتقات فنل راجع به آن توضیح داده خواهد شد.

۱/۵ مشتقات فنل (دی کلروفن، ارتو فنیل فنل، پنتا کلرو فنل و تیمول)

مشتقات فنل متعددی دارای خواص ضد عفونی کنندگی و ویژگی‌های پیشگیرانه‌ی حفاظتی می‌باشند. این ترکیبات ضد قارچ‌های فعال غشایی هستند و عمدتاً باعث آسیب به غشای پلاسمایی قارچ‌ها می‌شوند.

همچون اسیدها، مشتقات فنل یون‌های هیدروژن را در محلول تفکیک کرده و قادر به تشکیل نمک هستند. اثر ضد میکروبی آنها فقط در حالت تجربه نشده رخ می‌دهد. هنگام تجزیه، آنیون‌های بار منفی آنها توسط سطح دارای بار منفی سلول میکروبی دفع شده و نمی‌توانند اثرات ضد میکروبی داشته باشند. این بدان معنی است که برای حفظ خواص ضد میکروبی این ترکیبات، باید به pK_a آنها توجه کرد.

۱.۵.۱ دی کلروفن

دی کلروفن یا پاناسید، علاوه بر استفاده به عنوان قارچ‌کش کاغذ، مقوا، منسوجات، چسب‌ها و لکه‌بر کاغذ، برای درمان عفونت‌های قارچی پوست و به عنوان ضد میکروب در صابون‌ها و مواد آرایشی استفاده می‌شود. این ترکیب یک اسید ضعیف با مقادیر pK_a برابر با ۷.۶۶ و ۱۱.۶ برای دو گروه هیدروکسیل است و می‌تواند بر تعداد زیادی از اهداف داخل سلولی میکروبی تاثیر بگذارد. فرایندهای بازدارندگی آن بسته به غلظت و نوع عملکرد، متفاوتند. بررسی پایداری نمونه‌های کاغذی تیمار شده با دی کلرو فن در اتانول نشان داد بعد از کهنگی تسریعی، درجه‌ی پلیمرزاسیون و سفیدی کاغذ کاهش می‌یابد اما مقدار pH تغییری نمی‌کند (Triolo, et al, 1968). البته برای کاغذهای دارای جوهر، نتیجه می‌تواند کاملاً نامطلوب باشد. به همین خاطر بهتر است از استعمال آن بر روی کاغذهای دارای جوهر، اجتناب گردد. همچنین، مصرف آن ممکن است موجب خارش پوست و چشم گردد.



۱.۵.۲ ارتو فنیل فنل

ارتو فنیل فنل یا OPP، یک میکروپ کش فعال غشایی با دامنه‌ی عملکرد وسیع است که بر طیف گسترده‌ای از باکتری‌ها، مخمرها و قارچ‌ها اثر می‌گذارد. این ترکیب حتی در غلظت‌های پایین دارای خاصیت ضد میکروبی است و بهترین عملکرد خود را در شرایط اسیدی، خنثی و قلیایی ضعیف نشان می‌دهد. به دلیل اینکه خاصیت سمی کمتری نسبت به تیمول دارد، به عنوان جایگزینی برای تیمول برای استفاده در اتاقک‌های بخور توصیه شده است. همچنین برای کاغذهای غوطه‌ور در محلول‌های آبی می‌تواند به طور مستقیم استفاده شود. OPP به عنوان نگهدارنده در کارهای حفاظت و مرمت و نیز چسب‌های مصنوعی و حیوانی، کاربرد دارد.

Haines و همکاران (۱۹۸۶) گزارش کردند که در صورت استفاده از این ترکیب به شکل بخور، همه‌ی کلونی‌های قارچ از بین نمی‌روند و روشی غیر موثر برای تیمار کتاب‌ها و کاغذهای آلوده به کپک توصیف شد. Rakotonirainy و همکاران (۱۹۹۹) نیز گزارش کردند که این ترکیب خاصیت ضد قارچی دارد اما نمی‌تواند بر روی اسپورها، جوانه‌ها و میسلیوم تمام سویه‌های آزمایش شده اثر بگذارد. علاوه بر این، بوی تحریک‌کننده و خفه‌کننده‌ای دارد که می‌تواند حداقل ۱۵ روز در محیط باقی بماند. از عوارض جانبی OPP بر روی کاغذ می‌توان به تغییرات رنگی، کاهش درجه پلیمریزاسیون و چسبندگی و افزایش سرعت کهنگی آن اشاره کرد. همچنین این ترکیب خاصیت سرطان‌زایی دارد.

۱.۵.۳ پنتا کلروفنل

پنتا کلروفنل به طور گسترده‌ای به عنوان یک قارچ‌کس برای تیمار کتاب‌ها، منسوجات و چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه به فلزات (موجود در جوهر) و رنگدانه‌ها حمله می‌کند، موجب تخریب کاغذ و چوب نیز می‌شود. با توجه به خاصیت اسیدی آن می‌تواند به اسناد قدیمی آسیب بزند و عوارض نامطلوبی به همراه داشته باشد. خاصیت سرطان‌زایی دارد و با توجه به ناقص بودن تجزیه زیستی آن، یک آلاینده محسوب می‌شود. به همین دلایل، مصرف آن در بسیاری از کشورها ممنوع و محدود شده است.

۱.۵.۴ تیمول

تیمول (۲-ایزوپروپیل، ۵-متیل فنل) یک فنل مونوترپن طبیعی است. در مصر باستان به عنوان یک ماده نگهدارنده برای مومیایی استفاده می‌شد. به عنوان یک میکروپ کش فعال غشایی، نفوذپذیری سلول میکروبی را تغییر می‌دهد. و منجر به تغییر در مورفولوژی هیف می‌شود. در نتیجه، قطر هیف کاهش یافته و دیواره تجزیه می‌شود و این امر نهایتاً منجر به تخریب ساختار درشت مولکول می‌شود. حلالیت ضعیفی در آب دارد و عمدتاً به شکل کریستالی خود به عنوان یک جامد قابل تصعید در اتاقک‌های بخور استفاده می‌شود. روش دیگر، قرار دادن کتاب‌های آغشته به تیمول یا قراردادن قاب‌عکس حاوی اسناد و عکس‌های قدیمی در مجاورت تیمول است. این کار منجر به ایجاد شرایطی می‌شود که تماس مداوم اجسام با بخارات ضد قارچ فراهم کرده و اثر آن را طولانی‌تر می‌کند. با استفاده از محلول ۱۰٪ اتانول می‌توان آن را مستقیماً روی کاغذ اعمال کرد.

بنا به گفته‌ی Flieder (۱۹۶۵)، تیمول باعث تغییراتی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های کاغذ صافی شد. مقاومت به تا شدن به طور قابل توجهی کاهش یافت و مقاومت مکانیکی نیز افت زیادی داشت. با این حال، خواص شیمیایی (عدد مس، درجه پلیمریزاسیون و pH) تا حدودی ثابت ماند و زردی بعد از تیمار مشاهده نشد. آسیب به چسب مورد استفاده در کتاب‌ها، انحلال جوهر، بر جای ماندن مواد باقیمانده در کاغذ و پارچه و اندکی تغییرات رنگی در اسناد از سایر عوارض جانبی استفاده از تیمول عنوان شده است. همچنین تیمول به عنوان یک ماده ژنوتاکسیک معرفی شده که یعنی می‌تواند بر DNA اثر گذاشته و با ایجاد جهش، منجر به سرطان شود.



۱.۶ فوتو کاتالیست ها (دی اکسید تیتانیوم)

فوتوکاتالیز یا تجزیه ی نوری، نوعی واکنش تجزیه ی شیمیایی است که در سطح یک نیمه هادی در حضور طیف خاصی از پرتوها انجام می شود. این فرایند شیمیایی برای تجزیه ی چندین آلاینده و آلودگی های بیولوژیکی استفاده شده است. دی اکسید تیتانیوم یکی از پرکاربردترین مواد شیمیایی است که برای این هدف مورد استفاده قرار می گیرد و به طور گسترده ای در حفاظت و مرمت استفاده می شود. خواص ضد میکروبی آن به خاطر خاصیت فوتو کاتالیستی آن است. هنگامی که با نور UV کمتر از ۳۸۵ نانومتر روشن می شود، قدرت اکسیدکنندگی بالایی ایجاد کرده و رادیکال های هیدروکسیل و یون های سوپراکسید تولید می کند که می توانند ترکیبات آلی را تجزیه کرده و منجر به از بین رفتن میکروارگانیسم ها شوند. با این وجود، حساسیت قارچ ها به این نوع تیمار به طور قابل توجهی ضعیف تر از باکتری هاست. این امر به دلیل ترکیب شیمیایی، ساختار و ضخامت دیواره های سلولی قارچ در مقایسه با باکتری هاست و به طور ویژه می توان دلیل آن را ناشی از وجود کیتین به جای پپتیدوگلیکان در دیواره سلولی دانست.

در سال های اخیر دی اکسید تیتانیوم به عنوان یک نانوکامپوزیت لایه ای برای حفاظت از اسناد کاغذی و آثار هنری در برابر اشعه ماوراء بنفش، گازهای آلاینده، کپک و باکتری مورد مطالعه قرار گرفته است. Afsharpour و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی، خواص ضد قارچی دی اکسید تیتانیوم در برابر اسپرژیلوس نایجر و پنی سیلیوم را مورد آزمون قرار دادند. آنها چنین نتیجه گرفتند که پوشش دی اکسید تیتانیوم، ممکن است به جای کشتن میکروارگانیسم ها، از تشکیل بیوفیلم ها جلوگیری کند. همچنین، اثرات نانوکامپوزیت اکسید تیتانیوم بر خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه های کاغذی قبل و بعد از کهنگی تسریعی نشان داد که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به تنهایی باعث تخریب شیمیایی جزئی سلولز شده و محو شدن رنگ های آلی را تسریع می کند.

نگرانی هایی در خصوص سرطان زا بودن دی اکسید تیتانیوم مطرح شده است.

۱.۷ ترکیبات آمونیوم نوع چهارم

ترکیبات آمونیوم نوع چهارم یا «کوات ها»، شامل دی اتیل لاریل بنزیل آمونیوم برمید و لاریل دی متیل کربتوکسی متیل آمونیوم برمید هستند. این میکروب کش های فعال غشایی، سورفاکتانت های کاتیونی هستند که توسط سطح با بار منفی سلول میکروبی جذب شده و یک پیوند الکترواستاتیکی با مکان های دارای بار منفی روی دیواره سلولی تشکیل می دهند. بدین ترتیب، دیواره سلول نفوذپذیر شده و باعث می شود مواد شیمیایی ضد قارچ به غشای سلول نفوذ کرده و باعث مرگ سلول شوند. کوات ها نسبت به سایر ترکیبات قارچ کش، در pH قلیایی و خنثی موثرتر هستند. برخی کوات ها برای سیستم ایمنی بسیار سمی می باشند.

۱.۷.۱ دی اتیل لاریل بنزیل آمونیوم برمید

دی اتیل لاریل بنزیل آمونیوم برمید در پزشکی به عنوان یک ضد عفونی کننده سطح پایین و بدون فعالیت اسپورکشی استفاده می شود. این کوات با نام تجاری استرینول برای ضد عفونی کردن کاغذهای تحت تاثیر کپک مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد می تواند ضد قارچ موثری باشد اما پس از ضد عفونی کردن، شستشو با آب مقطر کاملاً ضروری است تا کوات باقی مانده، از بین برود زیرا بقایای آن می تواند بر خواص فیزیکی، pH، سفیدی و مقدار آلفا سلولز اثر منفی بگذارد.



۱.۷.۲ لاریل دی متیل کربتوکسی متیل آمونیوم برمید

لاریل دی متیل کربتوکسی متیل آمونیوم برمید، کواتی است که در گذشته برای زدودن کپک در مراکز اسناد، بایگانی ها و کتابخانه ها مورد استفاده قرار می گرفت. Triolo و همکاران (۱۹۶۸) تاثیر این کوات را بر روی کاغذ مورد مطالعه قرار دادند. آزمون کهنگی، تیره شدن و اسیدی شدن جزیی کاغذ را به همراه دی پلیمریزاسیون سلولز نشان داد. به علت خاصیت سورفاکتانتی، کوات ها می توانند چسبندگی جوهر استفاده شده در کاغذ را تحت تاثیر قرار دهند. در اتحادیه اروپا از سال ۲۰۱۱ محدودیت هایی در خصوص استفاده از کوات ها مطرح شده است.

۱.۸ نمک ها و استرهای اسیدها

همان طور که در مورد مشتقات فنل گفته شد، نمک ها و استرهای اسیدها اثرات ضد میکروبی خود را فقط در حالت تفکیک نشده اعمال می کنند بنابراین باید در هنگام استفاده از این ترکیبات، مقادیر pK_a را در نظر گرفت.

۱.۸.۱ پروپینات کلسیم

پروپینات کلسیم، نمک اسید پروپیونیک است و به عنوان یک ماده ی ضد میکروبی از اواخر دهه ۱۹۳۰ به عنوان نگهدارنده غذا استفاده می شود. توانایی آن در مهار کپک ها و نه مخمرها، آن را به گزینه ای رایج برای نگهداری نان تبدیل کرده است زیرا مانع تخمیر نمی شود. pH سوبسترا، در استفاده از این نوع نگهدارنده ها (اسیدهای ضعیف) اهمیت زیادی دارد زیرا اثر ضد میکروبی آنها در حالت تفکیک نشده، بسیار قوی تر از حالت تفکیک شده است. حد اکثر pH برای فعالیت پروپیونات بین ۵ تا ۵.۵ است.

Zotti و همکاران (۲۰۰۷) خواص ضد قارچی پروپیونات کلسیم بر کاغذ را در محلول های آبی و الکلی (اتانول) بررسی کردند. نتایج نشان داد محلول الکلی کارایی بالایی در برابر گونه های قارچی آزمایش شده دارد که می تواند ناشی از توانایی اتانول برای انتقال پروپیونات کلسیم از میان دیواره ی سلولی قارچ باشد.

از نظر ایمنی و سلامتی، پروپیونات کلسیم خطر چندانی ندارد و حتی زمانی که در رژیم های غذایی تجویز می شود، مقادیر اضافی آن دفع می شود. با این حال، برخی مطالعات، نگرانی هایی در خصوص تاثیر منفی آن بر روی هموگلوبین ذکر کرده اند و به همین خاطر توصیه شده در استفاده از آن به عنوان نگهدارنده مواد غذایی احتیاط شود.

۱.۸.۲ استرهای پاراهیدروکسی بنزوئیک اسید

استرهای پاراهیدروکسی بنزوئیک اسید یا پارابن ها به دلیل سمیت پایین، محدوده ی فعالیت pH، پایداری خوب و عوارض جانبی حداقلی خود، یکی از رایج ترین عوامل ضد میکروبی در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی هستند. پارابن ها عمدتاً مانع رشد قارچ و باکتری هستند و در برابر مخمرها و کپک ها موثرتر از باکتری ها هستند. پر مصرف ترین استرهای پاراهیدروکسی بنزوئیک، استرهای متیل، اتیل و پروپیل می باشند. افزودن اندکی پروپیونات کلسیم به پارابن در تیمار کاغذ می تواند علاوه بر خاصیت ضد قارچی، خاصیت اسیدزدایی نیز به همراه داشته باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش به معرفی چند روش ضدقارچی پرداخته شد. اثر بخشی و کارایی هر کدام از قارچ زداها یا روش مورد استفاده از آنها ممکن است تحت عوامل مختلفی تغییر کند. برخی از این عوامل عبارتند از مکانیسم واکنش، غلظت، شدت، مدت زمان تماس یا استعمال. همچنین حساسیت یک قارچ به قارچ زدا یا روش مورد استفاده ممکن است به سویه ی قارچ و مرحله ی رشد



و سطح آن بستگی داشته باشد. در مورد ترکیبات شیمیایی ضد قارچ، پروپینات کلسیم، استرهای پاراهیدروکسی بنزویک اسید (پارابن)، و اتانول در عین اثربخشی و کارایی، دارای کمترین آسیب به سطح ماده مورد نظر و عوارض منفی برای سلامت می باشند. در میان ترکیبات اخیر، پارابن را می توان ضدقارچ موثرتری محسوب کرد. با این حال، کارایی، ایمنی و اثربخشی آنها همراه با سایر مواد همچنان باید مورد آزمون قرار گیرد.



- ۱- صدقی، م. (۱۴۰۰). اسیدزدایی از کاغذ. انتشارات دانشگاه گنبد کاووس با همکاری انتشارات نوروزی. ۱۹۴ صفحه.
- ۲- صدقی، م.، سرائیان، ا.، افرا، ا.، امینیان، ه.، افشارپور، م. ۱۳۹۷. تاثیر کهنگی حرارتی و حرارتی - رطوبتی بر ویژگی های کاغذ تیمار شده با نانوهیدروکسی آپاتیت و نانوکیتوزان. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران. ۹ (۲): ۲۷۷-۲۸۷
۳. صدقی، م.، سرائیان، ا.، افرا، ا.، امینیان، ه.، افشارپور، م. ۱۳۹۷. تاثیر اسیدزدایی کاغذ با نانوهیدروکسید کلسیم و نانوهیدروکسی آپاتیت همراه با نانوسولز و نانوکیتوزان بر خواص ضد قارچی آن. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران. ۹ (۱): ۵۳-۶۳
- 4- Afsharpour, M., Rad, F. T. and Malekian, H. (2011) New cellulosic titanium dioxide nanocomposite as a protective coating for preserving paper-art-works. Journal of Cultural Heritage, 12 pp. 380-383.
- 5- Flieder, F. (1965) 'Action des différents produits fongicides et insecticides, utilisés en conservation sur la résistance physico-chimique des papiers.' In 5th joint meeting of the ICOM committee for museum laboratories and of the sub-committee for the care of paintings. New York, USA: ICOM, pp. 1- 46
- 6- Florian, M. (2002) Fungal Facts - Solving fungal problems in heritage collections. Great Britain: Archetype Publications.
- 7- Haines, J. H. and Kohler, S. A. (1986) An Evaluation of Ortho-Phenyl Phenol as a Fungicidal Fumigant for Archives and Libraries.' Journal of the American Institute for Conservation, 25(1) pp. 49-55.
- 8- Nittérus, M. (2000) Fungi in Archives and Libraries. Restaurator, 21(1) pp. 25-40.
- 9- Paulus, W. (2004) Directory of Microbicides for the Protection of Materials - A Handbook. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- 10- Pinzari, F., Zotti, M., De Mico, A. and 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, 64(6) pp. 499-505
- 11- Rakotonirainy, M. S., Fohrer, F. and Flieder, F. (1999) 'Research on fungicides for aerial disinfection by thermal fogging in libraries and archives.' International Biodeterioration & Biodegradation, 44(2-3) pp. 133-139.
- 12- Sequeira, S. (2016). Fungal biodeterioration of paper: Development of safer and accessible conservation treatments. PhD thesis. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. 258p.
- 13- Triolo, L., Di Trapani, R. and Santucci, L. (1968) 'Resistenza e stabilità della carta: VII. Trattamento con composti fungicidi.' Bollettino dell'Istituto di patologia del libro 'Alfonso Gallo,' 27(3/4) pp. 207-224.
- 14- Zotti, M., Ferroni, A. and Calvini, P. (2007) 'Inhibition Properties of Simple Fungistatic Compounds on Fungi Isolated from Foxing Spots.' Restaurator, 28(3) pp. 201-217.