اثر تابش مایکروویو (ریز موج) بر اسناد و نسخ خطی برای کشتن حشرات

رویا بهادری* ـ لیلا سوداگر**

سازمان میراث فرهنگی کشور

چکیده: اخیراً استفاده از روش‌های غیرشیمیایی برای از بین بردن حشرات، به‌دلیل عدم ایجاد آلودگی و مسمومیت برای انسان، شیء و محیط، در مقایسه با روش‌های شیمیایی، اهمیت بیشتری یافته است. از جملهٔ این روش‌ها، می‌توان تابش دهی مایکروویو را نام برد. از آنجا که این تابش از کاغذ، پارچه، سرامیک، چسب و پلاستیک عبور می‌کند، می‌تواند برای تابش دهی این نمونه‌ها به‌کار برده شود. در این کار پژوهشی اثر تابش مایکروویو با فرکانس MHZ ۲۴۵۰ و با توان‌های مختلف (تا W۱۰۰۰) برای نابود کردن چند نوع حشره در سه نمونه کاغذ مطالعه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تابش دهی مایکروویو با توان کمتر و زمان طولانی‌تر به‌صورت متناوب بر تابش دهی با توان بالاتر و زمان کوتاه‌تر ترجیح دارد، زیرا اثر کمتری بر بافت کاغذ دارد و باعث تغییر رنگ و ساختمان نمونه نمی‌شود. روش تابش دهی مایکروویو ایمن، سریع، ساده، ارزان و مؤثر است و هیچ آلودگی و باقیمانده‌ای از خود بر جای نمی‌گذارد، ولی در عین حال محدودیت‌هایی نیز دارد.

کلیدواژه: حشره‌ها؛ ضدعفونی و ضدعفونی کننده‌ها؛ قارچ‌ها؛ کاغذ؛ مایکروویو.

مقدمه

در محیط کتابخانه‌ها و مراکز اسناد، حشرات یکی از عوامل تخریب بیولوژیکی کتب، اسناد و نسخ خطی هستند. حشرات لطمه‌های شدیدی به کاغذ و چرم به‌کار رفته در جلد کتاب‌ها وارد می‌کنند. در کاغذ، سلولز و هیدارت‌های کربن نظیر نشاسته و دکسترین که مادهٔ اصلی آهار و چسب هستند، غذای خوبی برای حشرات به‌شمار می‌روند و حشرات از آنها به‌عنوان مادهٔ مغذی استفاده می‌کنند که نتیجهٔ آن بی‌رنگ شدن کاغذ و خسارات فیزیکی به کتاب‌هاست. وقتی رطوبت محیط کافی باشد، کپک‌ها رشد می‌کنند و این عامل باعث جذب شپش کتاب می‌شود. موریانه‌ها نیز مواد سلولزی را برای به‌دست آوردن کربو هیدرات می‌خورند. حشرات دیگر مثل سوسک و سیلورفیش کاغذ را می‌جوند و از صحافی کتاب‌ها تغذیه می‌کنند، بنابراین عطف کتاب خراب و صفحات شل می‌شوند.

یکی از مؤثرترین روش‌ها برای نابود کردن حشرات که در حال حاضر به‌طور وسیع به‌کار برده می‌شود، استفاده از مواد شیمیایی نظیر اتیلن اکسید، کریستال تیمول، پارادی کلروبنزن، ارتومتیل فنل، ویکان، فرمالدئید و متیل برماید است(۱) که هر یک خسارت‌هایی را به شیء و انسان وارد می‌سازند. به عنوان مثال اتیلن اکسید دارای خاصیت حلالیت در چربی است و کتاب‌های دارای جلد چرمی پس از ضدعفونی شدن، مقداری اتیلن اکسید را برای مدت طولانی در خود نگاه می‌دارند، یا تیمول که باعث زرد شدن کاغذ می‌شود، زیرا این ماده به سرعت اکسید می‌شود (۲ و ۳). به‌طور کلی این مواد شیمیایی در مورد انسان نیز مشکل آفرین هستند و می‌توانند در پوست و چشم‌ها ایجاد التهاب کنند. علاوه

* کارشناس ارشد شیمی؛ پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی - فرهنگی.

** کارشناس ارشد مرمت؛ موزهٔ رضا عباسی.

بر این باعث انقباض عضلات، بیهوشی، صدمه به کبد و کلیه، ایست قلبی و اختلال در دستگاه‌های تنفسی و بالاخره ایجاد سرطان معده و مغز می‌شوند.

تمامی این مسائل باعث شده است که استفاده از روش‌های غیر شیمیایی ضدعفونی کردن در کتابخانه‌ها و مراکز اسناد اهمیت خاصی پیدا کند. روش‌های غیر شیمیایی شامل تمام روش‌هایی است که در آنها از مواد شیمیایی برای ضدعفونی کردن کتاب‌ها و اسناد استفاده نمی‌شود. معمولاً این روش‌ها شامل تغییرات موقتی در محیط هستند و برخی از آنها عبارت‌اند از:

منجمد کردن (Freezing) : در این روش شیء در دمای اتاق در کیسه‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی می‌شود و به‌آرامی تا ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد سرد می‌شود و سپس حداقل ۴۸ ساعت در این دما نگهداری می‌شود. تحقیقات بر روی اثرات انجماد بر روی کاغذ و کتاب مشکلاتی نظیر انجماد بخار آب، تراکم آب و تشکیل یخ را بر روی آنها نشان می‌دهد (۴).

روش اتمسفرهای خنثی (Inert Atmosphere) :در این روش شیء را درون محفظه‌ای که در آن به جای هوا، نیتروژن یا گازهای بی‌اثر و رطوبت نسبی پایین وجود دارد قرار می‌دهند. این کار باعث کاهش فعالیت قارچ‌ها، باکتری‌ها و حشرات در کتاب‌ها، اسناد و نسخه‌های خطی می‌شوند. این روش بسیار وقت‌گیر است و نیاز به‌هزینهٔ بالا دارد (۵).

کنترل محیطی (Environmental Control) : با کنترل نور، دما، رطوبت نسبی، گرد و غبار، تهویهٔ هوا و استفاده از مواد مناسب در مرمت کتاب و نسخه‌های خطی می‌توان شرایط مناسبی برای نگهداری آنها ایجاد نمود. در این راستا بعضی از پژوهشگران استفاده از پارچهٔ کتان بسیار خشک یا کاغذ خشک را برای پیچیدن کتاب‌های باارزش و نسخه‌های خطی و قراردادن آنها در کیسه‌های پلی‌اتیلن پیشنهاد می‌کنند (۶).

بعضی از روش‌های غیر شیمیایی تحت نام «روش‌های تابشی» طبقه‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از:

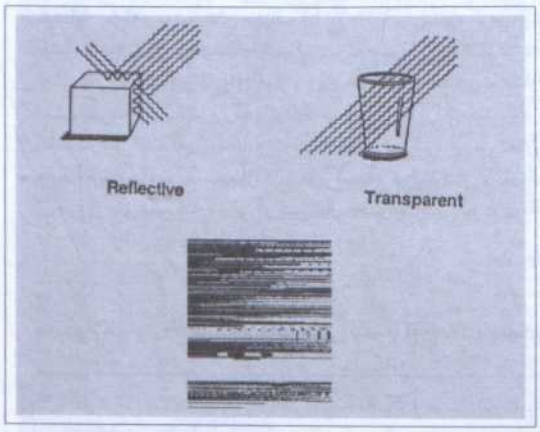
اشعهٔ گاما (Gamma Radiation) : اشعهٔ گاما جزیی از امواج الکترومغناطیسی است که دارای بالاترین انرژی و پایین‌ترین طول موج است. به‌دلیل انرژی زیاد و قدرت نفوذ بالا، این اشعه باعث آسیب به مولکول DNA و از بین رفتن سلول می‌شود. بنابراین این اشعه دارای ویژگی ضد قارچ، حشره‌کش و ضد باکتری است، ولی هیچ گونه حفاظت طولانی مدت را برای کاغذ در مقابل حملهٔ عوامل بیولوژیکی ایجاد نمی‌کند و تکرار مجدد تابش اشعه خسارات جبران‌ناپذیری به کتاب و کاغذ وارد می‌سازد. استفاده از این روش بسیار گران است و نیاز به تکنسین متخصص دارد.

پرتوهای الکترونی (ElectronBeam): پرتوهای الکترونی یا اشعهٔ بتا، به‌وسیلهٔ یک شتابدهندهٔ ذره‌ای تولید می‌شود. این پرتوها با اینکه نسبت به اشعهٔ گاما از انرژی کمتری برخوردارند، اما دارای همان اثرات بر روی قارچ‌ها، حشرات و کاغذ هستند. در این روش با اینکه مدت تابش در حد چند ثانیه است، اما این مدت زمان نیز ممکن است موجب تخریب شیمیایی کاغذ شود.

استفاده از این دو روش اخیر برای ضدعفونی کردن کاغذ تا به‌حال چندان رضایت بخش نبوده است، معذلک این فرایندها ممکن است برای جلدهای چرمی کتاب‌ها و نسخه‌های خطی که مقاومت بیشتری دارند مفید باشد (۷).

استفاده از پرتوهای ماورای بنفش (Ultra Violet) نیز باعث از بین رفتن قارچ‌ها می‌شود، ولی در کاغذ ایجاد رنگ‌پریدگی و کهنگی تسریع شده می‌کند. این روش نیاز به کنترل مداوم و توجه دقیق دارد (۸).

یکی از روش‌هایی که امروزه برای ضدعفونی کردن کتاب و کاغذ پیشنهاد می‌شود، استفاده از اشعهٔ مایکروویو است(۹). اشعهٔ مایکروویو جزو امواج الکترومغناطیسی غیر یونیزه کننده است. فرکانس این اشعه در محدودهٔ ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ مگاهرتز است و بین امواج زیر قرمز و امواج رادیویی قرار دارند. انرژی این امواج در حدی است که فقط باعث چرخش مولکول‌ها می‌شود. وقتی امواج مایکروویو با ماده برخورد می‌کند سه احتمال پیش می‌آید:



■ تصویر۱: برخورد امواج مایکروویو با مواد مختلف.

۱. بعضی از مواد مانند فلزات این امواج را منعکس می‌کنند؛

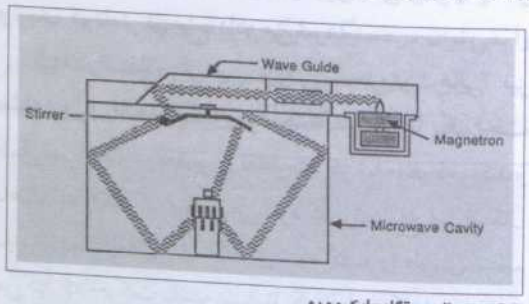
۲. بعضی از مواد مثل چینی، کاغذ، سرامیک، مواد پلاستیکی، پارچه، چوب و شیشه این امواج را از خود عبور می‌دهند و نسبت به آن شفاف هستند؛

۳. بعضی از مواد مثل آب، چربی و پروتئین (به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی خود)، این امواج را جذب می‌کنند و گرم می‌شوند.

فرایند تولید گرما به این ترتیب است که اشعهٔ جذب شده توسط ماده، مولکول‌های آب و چربی را تهییج به چرخش می‌کند. سایشی که در نتیجهٔ این فرایند تولید می‌شود دما را به طور قابل توجهی بالا می‌برد و به همین دلیل تمام نمونه را همزمان گرم می‌کند (که البته سرعت این گرم‌شدن بسیار بالاست). حال اگر جسمی شامل آب، چربی و پروتئین و یا دارای خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای نباشد، این اشعه را جذب نمی‌کند و در نتیجه تغییر دمایی در آن مشاهده نمی‌شود.

سیستم گرمادهی مایکروویو از چهار جزء اصلی ساخته شده‌است.*

ت ۲



تصویر ۲: دستگاه مایکروویو.

۱. لامپ مگنترون (magnetron) که مولد امواج مایکروویو است. این لامپ یک دیود استوانه‌ای شامل آند و کاتد است و طوری طراحی شده که فرکانس ۳± ۲۴۵۰ مگاهرتز تولید کند.

۲. هدایت کنندهٔ موج (Wave Guide) که امواج تولید شده از لامپ مگنترون از طریق یک کانال به محفظه رسانده می‌شود و از مواد منعکس‌کننده مانند پوشش‌های فلزی ساخته شده است.

۳. هم‌زن (mode stirrer) که یک تیغهٔ پره مانند است و به‌منظور پخش کردن و همگن کردن توان ورودی به محفظهٔ مایکروویو مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وسیله به‌توزیع انرژی در داخل محفظه کمک می‌کند به‌طوری که گرم شدن نمونهٔ مستقل از موقعیت آن در داخل محفظه صورت می‌گیرد که البته تمام دستگاه‌ها دارای این قسمت نمی‌باشند و بنابراین تابش در آنها هموژن نیست.

۴. صفحهٔ گردان (turntable system) که به‌منظور حرارت دهی یکنواخت استفاده می‌شود. نمونه‌ها روی یک دیسک چرخان قرار می‌گیرند که ۳۶۰ درجه چرخش می‌کند.

جعبه‌ای که به‌عنوان محفظه (cavity) در مایکروویو استفاده می‌شود از فلز ساخته می‌شود. انعکاس موج از دیواره‌ها سبب می‌شود که انرژی در هر بار انعکاس توسط نمونه جذب شود.

آزمایش بر روی استفاده از انرژی با فرکانس امواج رادیویی برای کنترل حشرات از دههٔ ۱۹۲۰ م. با تلاش هدلی (Headlee) و همکارانش در بخش آزمایش‌های کشاورزی نیوجرسی آغاز شد. تا دههٔ ۸۰ میلادی، که رشد سریع تحقیقات در زمینهٔ مایکروویو آغاز شد، روند پذیرش این فن‌آوری بسیار آهسته بود، اما در حال حاضر در تمامی زمینه‌ها کاربرد گسترده‌ای یافته است.

مایکروویو برای چندین سال فقط به‌عنوان وسیله‌ای برای پخت و پز در ابعاد صنعتی و خانگی به کار می‌رفت و در حال حاضر از این دستگاه به‌طور گسترده در صنایع غذایی و کشاورزی به ویژه برای استرلیزه کردن مایعات و ضدعفونی کردن غلات استفاده می‌شود. این امواج مستقیماً هیچ حرارتی ایجاد نمی‌کند و محفظه سرد باقی می‌ماند، با این حال هدف حساس گرم می‌شود. بیشتر نمونه‌های بیولوژیکی و زنده حاوی آب و چربی می‌باشند، بنابراین اشعهٔ مایکروویو باعث برانگیختگی مولکول‌های آب و چربی و افزایش دمای آنها می‌شود.

کاغذ، نسخه‌های خطی و خطوط نوشته شده بر روی پوست و پارچه حاوی ۴ تا ۸ درصد آب هستند و از این نظر می‌توان آنها را در معرض اشعهٔ مایکروویو قرار داد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که تابش دهی با این روش بر روی انواع کاغذهای آلوده به قارچ با موفقیت همراه بوده و این روش علاوه بر انواع قارچ‌ها در از بین بردن هاگ نیز مؤثر است (۱۰).

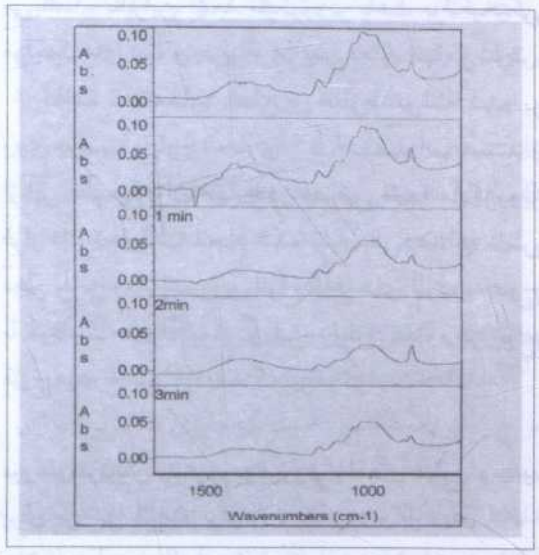
بررسی اثر تابش مایکروویو بر روی کاغذهای قدیمی و جدید

برای بررسی اثرات پرتوهای مایکروویو بر روی کاغذ، علاوه بر بررسی اثر این تابش بر روی حشرات، خواص

شیمیایی و فیزیکی کاغذ قبل و بعد از پرتودهی نیز مطالعه شد. برای این آزمایش‌ها از یک مایکروویو خانگی بوتان با فرکانس MHZ ۲۴۵۰ استفاده شد. این دستگاه دارای توان حداکثر ۱۰۰۰وات بود(توان قابل تنظیم از صفر تا هزار وات). جهت بررسی اثر تابش بر روی خواص فیزیکی کاغذ، از آزمایش‌های مقاومت در برابر کشش و تاخوردگی استفاده شد. برای بررسی خواص شیمیایی کاغذ همهٔ نمونه‌ها قبل و بعد از تابش با روش ATR-FTIR (با دستگاه FT-IR مدل Nicolet magna 750) بررسی شدند تا هر گونه تغییر شیمیایی در آنها مشاهده شود (۱۲ و ۱۱).

در این بررسی، چند کاغذ آلوده به حشرهٔ موریانه و سوسک با توان‌های مختلف دستگاه مایکروویو تحت تابش قرار داده شد. نتایج نشان داد که با توان ۸۰۰وات در مدت بین ۱ تا ۳ دقیقه این حشرات به‌طور کامل نابود شدند. بعضی از حشرات برای از بین رفتن به‌اشعهٔ بیشتری نیاز داشتند، که این مسأله نه به‌دلیل مقاومت در برابر حرارت مایکروویو بلکه به‌دلیل عدم جذب کامل اشعه توسط حشره بود. جذب اشعه توسط حشرات به‌اندازه، وزن و خصوصیات دی الکتریک آنها بستگی دارد.

جهت بررسی اثر تابش بر روی بافت کاغذ، سه نوع کاغذ در معرض تابش قرار داده شد و خواص مکانیکی و شیمیایی کاغذ در قبل و بعد از تابش مقایسه گردید.* کاغذهای مورد آزمایش عبارت بودند از کاغذ سفید که به مدت ۳ و ۵ دقیقه در معرض اشعه قرار داده شد و دو کاغذ تاریخی که یکی متعلق به ۷۰ سال پیش و دیگری متعلق به ۱۵۰ سال پیش بود. کاغذهای تاریخی هر یک به مدت ۳ دقیقه در معرض تابش قرار داده شد. نتایج نشان می‌دهد که مقاومت در برابر کشش و تاخوردگی در دو جهت این کاغذها قبل و بعد از تابش با هم تفاوت اندکی دارد، بنابراین خواص مکانیکی کاغذ در اثر تابش تغییر چندانی نیافته است.



تصویر ۳: طیف ATR-FTIR کاغذ سفید پس از ۰، ۱، ۲، ۳ دقیقه تابش مایکروویو

برای بررسی اثر اشعهٔ مایکروویو بر روی ساختمان سلولزی کاغذ، از نمونهٔ کاغذ سفید و کاغذ مربوط به ۱۵۰ سال پیش، قبل و بعد از تابش طیف، ATR-FTIR گرفته شد.* نتایج نشان می‌دهد که با کنترل زمان و توان تابش دهی می‌توان حشرات موجود در کاغذ را نابود کرد، به‌گونه‌ای که تأثیری بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی کاغذ نداشته باشد.

جهت بررسی توان‌های مختلف دستگاه و اثر آن بر روی کاغذ، کاغذ در دستگاه با توان‌های مختلف قرار داده شد و میزان تحمل کاغذ بررسی گردید.* بررسی‌ها نشان می‌دهد که تابش دهی با توان کمتر و زمان طولانی‌تر به‌صورت متناوب بر تابش‌دهی با توان بالاتر و زمان کوتاه‌تر ترجیح داده می‌شود.

البته در استفاده از این روش محدودیت‌هایی نیز مشاهده شد. اشعهٔ مایکروویو در همهٔ دستگاه‌ها یکنواخت عمل نمی‌کند و در بعضی از نقاط متمرکز شده، نفوذ می‌کند و باعث سوزاندن آن مناطق می‌شود که برای رفع این اشکال باید از دستگاه‌هایی استفاده کرد که کف را طوری تنظیم می‌کند که حرکت داشته باشد تا یک نقطه از کاغذ داغ نشود یا اینکه در قسمت بالای دستگاه پره‌ای قرار گرفته باشد که تابش را پخش کند. به‌عبارت دیگر باید برای روند مطلوب‌تر ضدعفونی کردن از مایکروویوهای صنعتی استفاده کرد.

محدودیت بعدی این است که در این روش باید در هر بار عمل ضدعفونی از کتاب‌ها یا اسناد کم برگ و صاف یا تک ورق استفاده کرد. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود،* هنگامی که یک برگ کاغذ سفید با قدرت ۸۰۰ وات مورد تابش قرار گرفت، دمای سطح کاغذ پس از گذشت یک دقیقه ۴۰/۲ درجهٔ سانتیگراد بود، در صورتی که ۱۵ برگ کاغذ با همان شرایط دمای سطحی نزدیک به ۷۰ درجهٔ سانتیگراد و ۳۰ برگ کاغذ دمای سطحی ۱۱۱ درجهٔ سانتیگراد دارد، که در دو تای آخر، به‌علت سوختگی، نقاط قهوه‌ای در سطح کاغذها ایجاد شد. بدین ترتیب مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد ورق‌ها انرژی بیشتری جذب

می‌شود و در نتیجه دما افزایش یافته و باعث سوختگی کاغذ می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود که با این شرایط در هر بار عمل ضدعفونی فقط از تعداد ورق‌های کمی استفاده شود.

نتیجه‌گیری

پرتودهی با مایکروویو نتایج بسیار خوبی در تخریب انواع قارچ‌ها و حشرات داشته و در عین حال اثری بر کاغذ نشان نداده است. این روش تمام مشخصات یک روش ایده‌آل ضدعفونی را داراست. روشی مؤثر و بدون خطر که کارکردن با آن بسیار ساده است و نیاز به فرد متخصص ندارد، هیچ باقیمانده‌ای از خود به‌جای نمی‌گذارد، سریع و ارزان است و برای سیستم‌های بیولوژیکی انتخابی عمل می‌کند. محدودیت‌های این روش به شرح ذیل است:

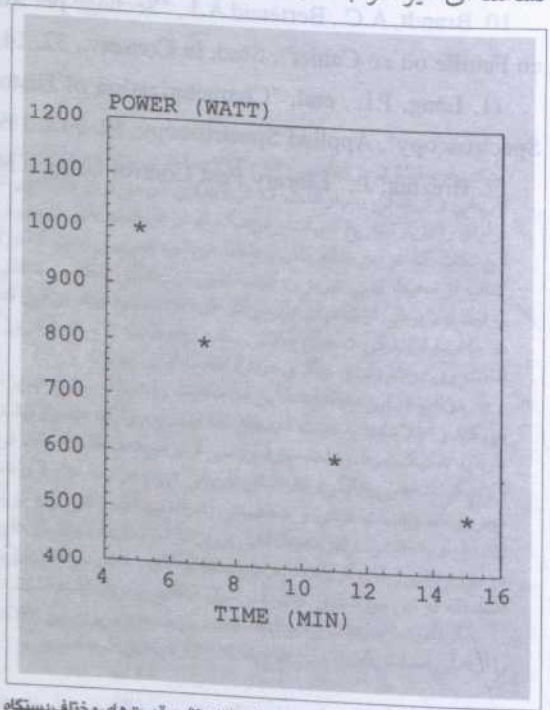
۱. ناسازگاری فلز و امواج مایکروویو باعث می‌شود که امواج توسط فلز منعکس شود و ایجاد قوس الکتریکی کند که باعث سوزاندن کاغذ می‌شود. در نتیجه کاغذهایی که در آنها فلز طلا و نقره به‌کار رفته مثل کاغذهای زرافشان را نمی‌توان در دستگاه مایکروویو قرار داد.

۲. این تابش ممکن است بر روی چسب‌های غیر نشاسته‌ای نیز اثر بگذارد. در بیشتر کتاب‌های جلد کاغذی از چسب‌های ترموپلاستیک استفاده شده که ممکن است در طی تابش نرم شود و موجب شل شدن صفحات گردد، البته مدت زمان کوتاه و قدرت متوسط دستگاه اثر کمی بر روی این چسب‌ها دارد.

۳. کتاب‌هایی با عطف چرمی را نباید در مایکروویو قرار داد، زیرا محصولات حیوانی موجود در آنها ممکن است خشک شود، ترک بخورد یا نیم‌سوز شود.

۴. درمورد نسخ خطی قدیمی و تاریخی باید با احتیاط بیشتری عمل شود چرا که رنگدانه‌های استفاده شده یا صحافی آن ممکن است به این نوع اشعه حساس باشد. اگر در قسمتی از ساختمان آن هر گونه فلز یا محصولات حیوانی (مانند سریشم) به کار رفته باشد، نتایج قابل پیش‌بینی نیست. به‌دلیل منحصر به‌فرد بودن این آثار باید احتیاط لازم صورت گیرد و عمل ضدعفونی حتماً به‌وسیلهٔ فردی متخصص انجام گیرد.

۵. به‌علت مشکلات فنی، دستگاه مایکروویو را نمی‌توان مانند اتیلن اکسید یا تیمول در حجم وسیع برای عمل ضدعفونی استفاده کرد و فقط در مورد اسنادی با ابعاد کوچک و یا تک ورق می‌توان آن را به‌کار برد. این مشکل را می‌توان با طراحی دستگاهی مناسب برای ضدعفونی کردن اسناد، کتب و نسخه‌های خطی برطرف نمود.*



تصویر ۴: حداکثر زمان تابش برای کاغذ سفید (۲۱×۳۰) در قدرت‌های مختلف دستگاه

شماره	نوع کاغذ	قدرت تابش (W)	زمان (دقیقه)	مقاومت در برابر تاخوردگی	مقاومت در برابر کشش	بررسی طیف $(cm^{-1})FT-IR$
۱	سفید	۸۰۰	۰	۲۲	۵۰	۱۰۴۰
۲	سفید	۸۰۰	۲	۲۰	۲۸	۱۰۴۰
۳	سفید	۸۰۰	۵	۲۵	۲۲	۱۰۴۰
۴	بازیافتی حدود ۳۰ سال پیش	۸۰۰	۰	۰	۲۲	۱۰۴۰
۵	بازیافتی حدود ۳۰ سال پیش	۸۰۰	۲	۰	۲۲	۱۰۴۰
۶	بازیافتی حدود ۱۵۰ سال پیش	۸۰۰	۰	۱۰	۲۲	۱۰۴۰، ۱۶۵۰
۷	بازیافتی حدود ۱۵۰ سال پیش	۸۰۰	۲	۵	۲۲	۱۰۴۰، ۱۶۵۰

جدول ۱: نتایج خواص مکانیکی و شیمیایی کاغذ قبل و بعد از تابش مایکروویو.

شماره	نوع کاغذ	تعداد ورق	قدرت (وات)	دمای سطح کاغذ بعد از چند دقیقه تابش (°C)		
				۱	۲	۵
۱	سفید	۱	۸۰۰	۲۰/۲	۵۲	۷۵
۲	-	۵	۰	۲۵/۲	۲۶*	-
۳	-	۱۰	۰	۵۶	-	-
۴	-	۱۵	۰	۶۶*	-	-
۵	-	۲۰	۰	۹۵*	-	-
۶	-	۲۵	۰	۱۰۲*	-	-
۷	-	۳۰	۰	۱۱۱*	-	-
۸	-	۱	۴۰۰	۳۹/۵	۵۰	۲۲/۲
۹	-	۵	۰	۲۵	۲۲	۲۵/۵*

جدول ۲: رابطهٔ تعداد ورق‌ها با دمای سطح کاغذ.

* تشکر و قدردانی: از آقای مهدی عتیقی و مرکز مطالعات تاریخ معاصر ایران برای در اختیار قراردادن کاغذهای قدیمی و از آقای دکتر حمید احمدی برای تهیهٔ طیف‌های ATR-FTIR.

منابع و مآخذ:

1. Brezner, J., "protecting books from living Pests", Paper Preservation Sumposium: Capital Hilton, washington D. C., TAPPI Proceeding, 65, 1988.

2. Burgess, H. D., Binnie, N. E., "The Effect of Vicane on the Stability of Cellulosic and Ligneous Materials, Measurement of Deterioration by Chemical and Pyisical Methods", Materials Issues in Art and Archaeology II pp. 791, 1991.

3. Daniles, V., Boyd, B., "The Yellowing of Thymol in the Display of Prints", Stud. In Conserv., 31, 156, 1986.

4. Florian, M. L., "Freezing for Museum Insect Pest Eradication", Collection Forum 6, No. 1, pp. 1-7, 1990.

5. Newton, J., "Carbon Dioxide Fumigation in a Heated Portable Enclosure", 5th International Conference on Stored Product Protection, Bordeaux France, September 1990.

6. Arai, H., Kenjo, T., "A Closed System for Preventing Fungal Growth in Cultural Properties" Biodeterioration of Cultural Property, Mac. Millan India LTd. pp. 427, 1991.

7. Flieder, F., etal, "Disinfection of Paper Using Gamma Rays, Electron Beams and Microwave", Preprint of the 3th International Conference on Biodeterioration of Cultural Property, 3th, Bangkok, Thailand, pp. 282, 1995.

8. Brokerhof, A.w., "Control of Fungi and Insects in Objects and Collections of Cultural Value", pp. 20, 1989.

9. Nelson, S.O., "Insect-Control Studies with Microwaves and Other Radiofrequency Energy", Bull of the Entomological Soc. of America, 19, 157, 1973.

10. Brandt, A.C., Berteaud A.J., "Sechage per Microondes pour la Restauration de Documents de Papire en Feuille ou en Cahier", Stud. in Conserv., 32, 14, 1987.

11. Lang, P.L., etal, "Characterization of Historic Papers Using Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy", Applied Spectroscopy, 52, 713, 1998.

12. Brezner, J., "Library Pest Control Using a Microwave", Library J., 60 Sep. 1989.