زدودن لکه‌های قارچی ایجاد شده بر کاغذ توسط لیزر*

(میثم کساییان ـ آزاده مقیسه)**
Email: Masyma-craft@yahoo.com

چکیده:

آثار هنری و اسناد نوشته شده بر کاغذ، اغلب از ناحیه برخی از قارچ‌ها از چند جنبه در حال آسیب دیدن هستند. قارچ‌ها با استفاده از مواد و عناصر معدنی موجود در بافت کاغذ به رشد و نمو می‌پردازند و کاغذ را به عنوان یک منبع غنی از کربن به مصرف متابولیسم خود می‌رسانند.

در این رویه، لکه‌هایی بر روی آثار ظاهر می‌شوند که منشأ آنها یا از رنگدانه‌ها و مواد زائد متابولیکی و یا یون‌های فلزی بی‌رنگی هستند که توسط قارچ‌ها به لکه‌های ناخوشایندی تبدیل می‌شوند. گاهی اوقات نیز لکه‌های مشاهده شده به خاطر تجمع خود قارچ‌هاست.

در این مقاله تأثیر نور قدرتمند و متمرکز لیزر در زدودن لکه‌های قارچی ظاهر شده بر روی مدارک، ترسیمات و آثار هنری کاغذی بررسی شده است.

در شرایط مطلوب برخی از لکه‌های قارچی نفوذ کرده در بافت بدون آن که آسیبی به کاغذ زمینه برسد، به طور موفقیت‌آمیزی برداشته شد.

مقدمه:

قارچ‌ها به دو شیوه مهم به آثار کاغذی آسیب می‌رسانند. ابتدا آنها از سلولز کاغذ به عنوان یک منبع کربن استفاده می‌کنند. این روند باعث تضعیف و در نهایت تخریب ساختار کاغذ می‌شود. همچنین قارچ‌ها به فلزات ناچیز موجود در الیاف کاغذ (به طور مثال آهن که عموماً در کاغذها مشاهده می‌شود)، جوهر و یا رنگدانه‌ها نیاز دارند و در طی تغییر رویه اکسیداسیون باعث ایجاد لکه‌های رنگی از مواد بی‌رنگ می‌شوند. آسیب دیگری که از سوی قارچ‌ها شکل می‌گیرد، مواد زائد متابولیکی و بدنه قارچی است که در بافت کاغذ گره می‌خورد.

هنگامی که برای درمان چنین آسیب‌هایی از حلال‌های مناسب برای استخراج لکه‌ها استفاده می‌شود، علاوه بر خروج لکه حتی اگر هیچ آسیبی به بافت کاغذ وارد نشود، مقدار کمی از حلال که در بافت کاغذ باقی می‌ماند، به مرور زمان، خود منشأ آسیب می‌گردد.

به کار بردن حلال‌های جدید بی‌ضرر از آن جهت که ساختار شیمیایی لکه‌ها کاملاً مشخص نشده‌اند، امری وقت‌گیر بوده و به آزمون و خطای زیادی نیاز دارد.

عدم کنترل‌پذیری و انتخابی بودن از دیگر معایبی است که در روش لکه‌برداری شیمیایی به چشم می‌خورد و به عبارتی دیگر توقف آنی عملیات پاک‌سازی ممکن نیست و نیز محدوده‌ای که مواد باید بر آن تأثیر بگذارند را به طور دقیق نمی‌توان مشخص کرد. درمان‌های مکانیکی نیز خود دارای مشکلات فراوانی مانند سایش الیاف کاغذ، وقت‌گیر بودن و عدم حالت انتخابی برای برداشتن لکه‌های رنگ و جوهر می‌باشد.

در مقابل، استفاده از لیزر با توجه به خصوصیات قابل توجه آن که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد، شیوه مناسبی برای چنین مواردی است.

. حالت کنترل‌پذیری: عملیات پاک‌سازی در زمان دلخواه و به سرعت با خاموش کردن دستگاه متوقف خواهد شد.

. حالت گزینشی: با تنظیم مقادیر مختلف دخیل در امر پاک‌سازی می‌توان عملیات را به یک ماده و یا لایه خاص محدود کرد.

. عدم تماس: اشعه لیزر انرژی است، نه جسم. لذا، از تماس

(LASER STAIN REMOVAL OF FUNGUS-INDUCED STAINS FROM PAPER)*

** دانشجویان کارشناسی رشته مرمت آثار (دانشگاه هنر اصفهان)

فیزیکی با سطح پرهیز می‌شود.

.دقت و ظرافت: سطح اشعه تابانده شده تا کوچکترین مقادیر نیز قابل تنظیم است.

اولین تلاش‌های استفاده از لیزر توسط آسموس[1] و ویتکوس[2] در سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۷۸ در تمیزکاری سطوح تندیس‌های مرمری شکل گرفت. با وسیع‌تر شدن کاربرد لیزر در حیطه مرمت آثار تاریخی، هم اکنون این تکنولوژی جزء لاینفک دانش حفظ و مرمت آثار تاریخی گشته است. لکه‌برداری لیزری (ال. اس. آر)[3]، تصویربرداری سه بعدی، بازسازی و کپی‌سازی موزه‌ای و در نهایت نمونه‌برداری لیزری از جمله کاربردهای شناخته شده لیزر در عرصه حفظ و مرمت آثار تاریخی است.

شاید درمان برخی از آسیب‌های کاغذ با استفاده از اشعه قوی و متمرکز لیزر پدیده‌ای دور از ذهن باشد، اما، پیشینه استفاده از نور لیزر در کارهای بسیار حساس و دقیق، مانند استفاده از نور لیزر در درمان لکه‌های پوستی و جراحی چشم در زمینه پزشکی، پشتوانه بسیار خوبی برای استفاده از لیزر در این مورد ایجاد کرده است.

مکانیزم تمیزکاری با لیزر

اشعه لیزر حاصل تمرکز و انتشار موازی طول موج معینی از طیف امواج الکترو مغناطیسی است. به عبارت دیگر، اجتماع و انتشار موازی یک طول موج خاص موجب ایجاد اشعه قوی و متمرکز لیزر در آن طول موج می‌شود.

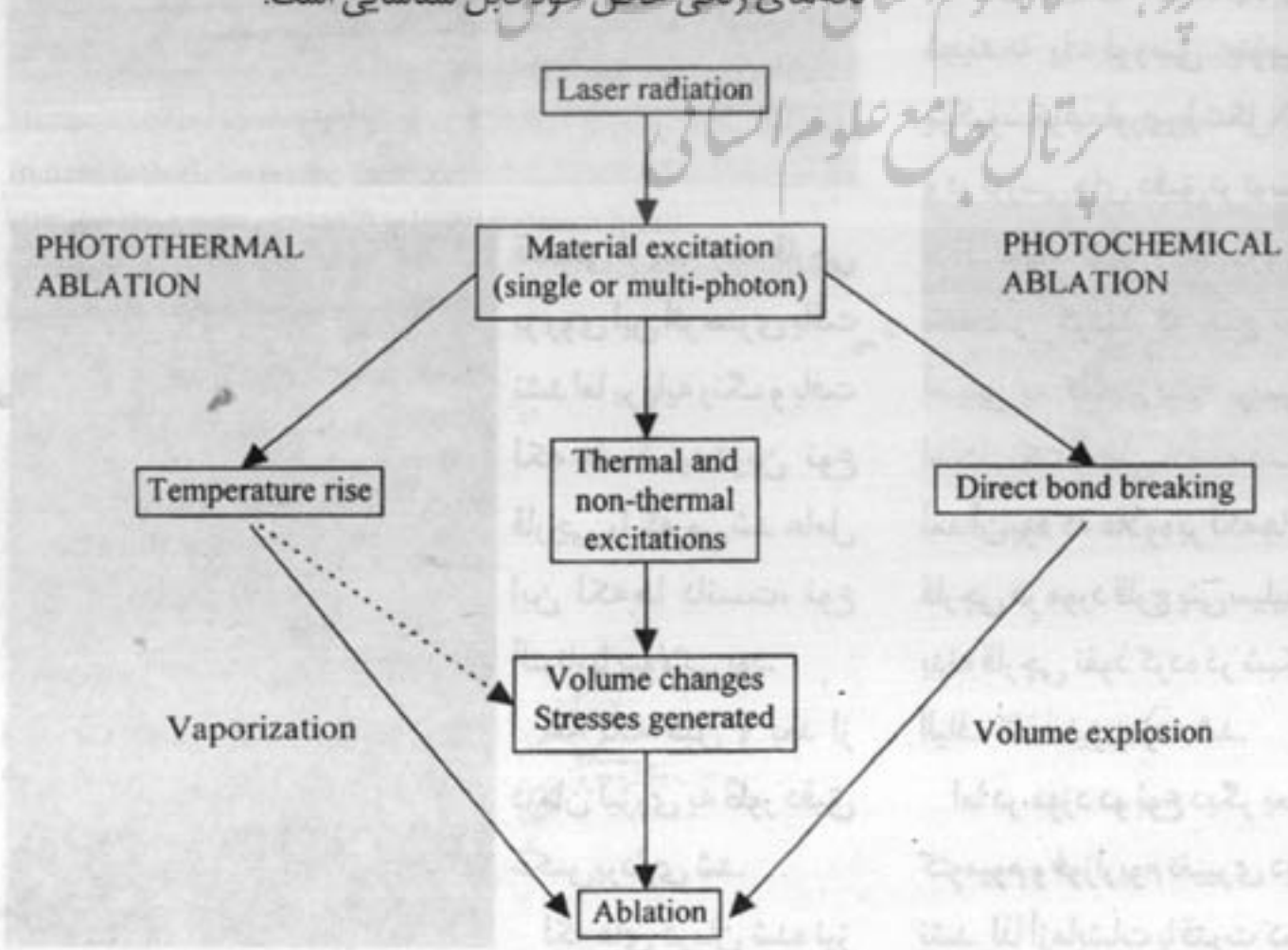
این اشعه در عبور از یک محیط مادی به محیط مادی دیگر، همانند تمامی امواج الکترو مغناطیسی، دچار سه وضعیت عبور، جذب و بازتاب می‌شود. مقدار جذب که عامل اساسی در تمیزکاری است با طول موج و خصوصیات محیط رابطه مستقیمی دارد.

مکانیزم تمیزکاری با لیزر، بر پایه جذب سریع و آنی انرژی، توسط لایه موردنظر است. از آنجا که در عملیات تمیزکاری اکثر مواد موارد پاکسازی بیشتر از آنکه انرژی‌های تابشی را عبور دهند، آن را جذب می‌کنند، لذا همواره بالاترین سطوح تحت تأثیر واقع می‌شوند. تابش انرژی و جذب آن توسط یک سطح که موجب بالا رفتن سطح انرژی مواد می‌شود، با توجه خصوصیات لایه و طول موج تابانده شده و نیز زمان و توالی تابش‌ها موجب تأثیرات گوناگونی می‌شود. به طور کلی انرژی جذب شده به دو صورت شیمیایی و فیزیکی موجب زدودن مواد از سطح می‌شود. در صورتی که مقدار انرژی جذب شده، از سطح انرژی پیوندهای بین ملکولی بیشتر باشد، پیوندها شکسته شده و ماده موردنظر به طور شیمیایی زدوده می‌شود. در شیوه فیزیکی، انبساط سریع و شدید و یا ذوب و تبخیر موجب پاک شدن سطوح می‌شوند.

از تأثیرات دیگر تابش لیزر بر سطح و جذب آن می‌توان به تشکیل حالت پلاسما اشاره کرد. تشکیل منطقه پلاسما زمانی رخ می‌دهد که مقدار دمای سطح و فضای بالای آن بسیار بالا رود. در این زمان دمای شدید این منطقه موجب تخریب جدی سطح اثر می‌شود. برای جلوگیری از بروز چنین حالتی باید عوامل متعددی نظیر طول موج اشعه، تعداد پالس‌ها در دقیقه و زمان در معرض گذاری را کنترل کرد.

لکه‌برداری لیزری در درمان کاغذ

با توجه به معایب دو روش لکه‌برداری شیمیایی و فیزیکی ایده استفاده از لیزر در درمان کاغذ شکل گرفت. به منظور بررسی این شیوه، چهار نوع قارچ که به طور معمول در آثار هنری اجرا شده بر کاغذ به چشم می‌خورند، کشت داده شد. هر کدام از این قارچ‌ها با لکه‌های رنگی خاص خود قابل شناسایی است.



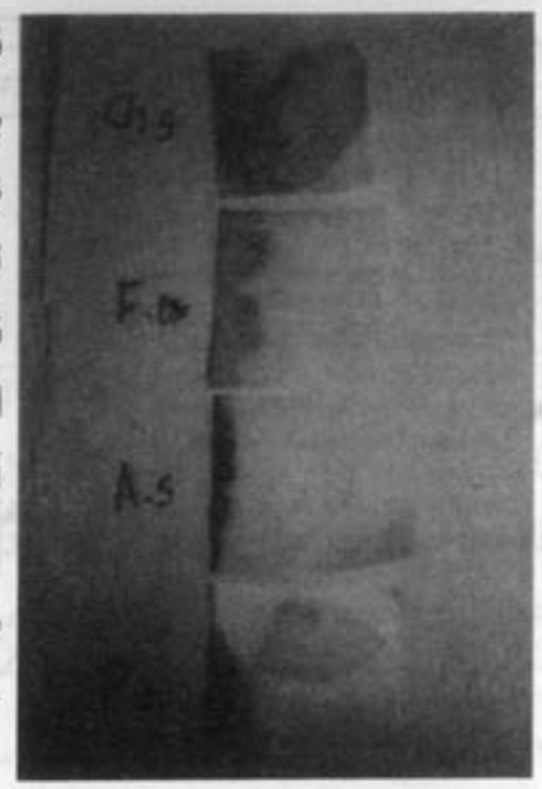
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

آلترناریا سولانی[4] با لکه‌های تیره غلیظ و جرمی
فوزاریوم[5] با لکه‌های مایل به صورتی
پنی‌سیلیوم[6] با لکه سبز روشن
کتومیوم[7] با لکه‌های خاکستری مایل به قهوه‌ای

سه نوع اول در محیط آگار نشاسته سیب‌زمینی و نوع چهارم در محیط آگار V.8 در شرایط مطلوب با PH ۶ و دمای ۲۴ درجه سانتیگراد و در معرض نور فلورسنت استاندارد برای ۸ ساعت در هر روز و به مدت ۲۱ روز کشت یافتند. در هر ظرف قطعه کاغذی بافت‌دار با وزن معمولی قرار داده شد و لکه‌های قارچی در زمان ذکر شده به داخل این کاغذها نفوذ کردند. برخی از این لکه‌ها کاملاً مشابه لکه‌های موجود در آثار قدیمی هستند.

علاوه بر لکه‌های قارچی کشت داده شده، لکه‌های تیره کارهای هنری قدیمی نیز مورد تحقیق قرار گرفتند. لکه‌های تیره به طور شاخصی در حاشیه قلم‌زنی قرن نوزدهم فلاندرز (Flemish) نقاشی شده توسط ام. ال. مورکاری[8] (شکل ۱) مشاهده شدند. اگرچه هیچ

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



قسمتی از بدنه زنده قارچی بر روی این اثر هنری یافت نشد اما بر پایه رنگ و بافت لکه ها، شبیه‌ترین نوع قارچی را که می‌شد عامل این لکه‌ها دانست، نوع آلترناریا سولانی بود.

هر لکه قبل و بعد از درمان لیزری به طور دقیق عکس‌برداری شد.

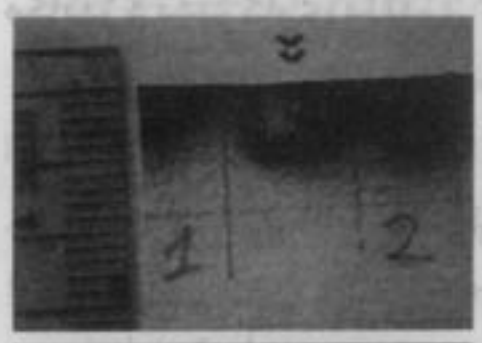
لکه‌های درمان شده نیز در بزرگ‌نمایی ۳۰۶۰ برابر با میکروسکوپ دو چشمی عکس‌برداری شدند. مقایسه لکه‌های آلترناریا با مناطق درمان شده در (عکس ۳) نشان داده شده است.

تأثیر درمان لیزری بر زائده‌های قارچی (بدنه قارچ) و ساختار کاغذ توسط یک میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی ۳۰۰۰.۵۰۰ برابر در عکس‌های ۵ تا ۶ نشان داده شده است.

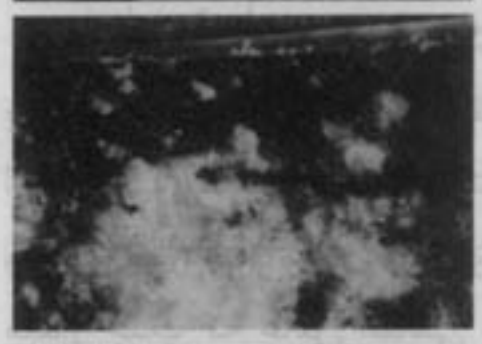
نور لیزر مورد استفاده در مرمت عموماً لیزر ان دی یاگ۹ در طول موجی نزدیک به اشعه مادون قرمز و در حیطه نور مرئی می‌باشد. به منظور یافتن وضعیت بهینه، عوامل موثر مانند شدت، سرعت و تعداد پالس‌ها با کمترین توان خروجی دستگاه به صورت آزمون و خطا با مقادیر مختلف آزمایش شد. طول موج دستگاه لیزر یاگ۱۰ در محدوده ۱۰۶۴ نانومتر (طول موج مادون قرمز) و ۲۶۶ نانومتر (طول موج فرابنفش) می‌باشد، اما، طول موج‌هایی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرند، در محدوده نور مرئی نزدیک به مادون قرمز با میانگین توان ۱/۶ وات بوده است. استفاده از لنزهای متمرکز کننده که در پاک‌سازی اشیای سخت‌تر معمول است در این مورد موجب سوختگی کاغذ خواهد شد.

در طول موجی معادل ۵۳۲ نانومتر ۲ نمونه از لکه‌های قارچی یعنی آلترناریا سولانی (عکس ۳ . الف و ۳ . ب) و پنی‌سیلیوم (عکس ۳.ج) به طور کامل زدوده شدند. با بررسی توسط میکروسکوپ نوری (شکل ۳) و در بررسی‌های دقیق‌تر توسط میکروسکوپ الکترونی مشخص گردید که هیچ نوع آسیبی به کاغذ زمینه نرسیده است. نکته جالبی که به دست آمد آن بود که علاوه بر لکه‌های قارچی در مورد قارچ پنی‌سیلیوم بدنه قارچی نفوذ کرده در شبکه الیاف کاغذ نیز زدوده شد.

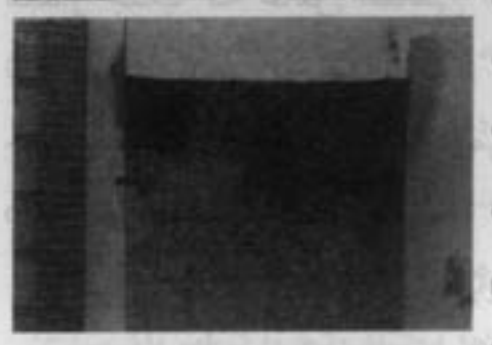
اما در مورد دو نوع دیگر یعنی کتومیوم و فوزاریوم تغییری دیده نشد. لذا آزمایشات با قدرت کمتر



عکس ۳-الف



عکس ۳-ب



عکس ۳-ج

عکس ۵

و تعداد پالس‌های بیشتر ادامه یافت تا آنجا که با تعداد ۲۰ پالس در هر ثانیه و به مدت ۳ دقیقه، لکه‌های قارچی فوزاریوم نیز برداشته شد. (عکس ۶. الف)

قارچ کتومیوم شدیداً سلولزی بوده و از سلولز کاغذ به عنوان یک منبع غذایی استفاده می کند لذا کاغذهای آلوده به این قارچ خشک و متخلخل می‌شوند. (عکس ۵) یک نمونه از کاغذ تخریب شده با قارچ کتومیوم را نشان می‌دهد. به دلیل آسیب بنیادی این قارچ به ساختار کاغذ هرگونه درمان فیزیکی بر روی مناطق آلوده فقط به تخریب بیشتر الیاف کاغذ دامن می‌زند. متأسفانه درمان با لیزر با توجه به شرایط به کار رفته فعلی موثر واقع نشد.

در مورد قارچ فوزاریوم، به نظر می‌رسد که لکه‌بردرای با موفقیت نبوده است، اما در مشاهدات با میکروسکوپ الکترونی حفره‌های کوچکی تقریباً با ابعاد تقریبی ۵.۱۰ میکرون آشکار می‌شوند که حاصل خارج شدن بدنه قارچی از این حفره‌هاست. لازم به ذکر است که این قارچ با نفوذ درون الیاف موجب چنین حفره‌هایی می‌شود. لذا حفره‌های مشاهده شده پس از تمیزکاری ناشی از لیزر نبوده است. اما به هر حال در زدودن لکه‌های قارچی ناشی از این قارچ، لیزر ناتوان و تنها قادر به برداشتن بدنه قارچی بوده است.

مکانیزم لکه برداری لیزری:

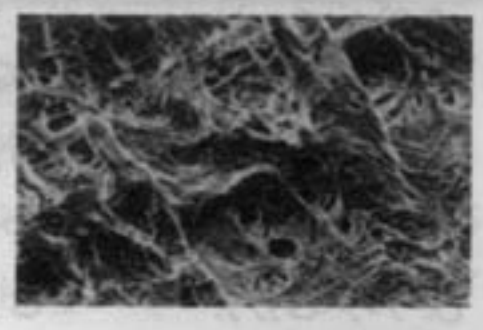
بر پایه تحقیقات انجام گرفته آشکار شده است که جذب سریع اشعه لیزر و تولید گرمای شدید در منطقه مورد تابش باعث انبساط سریع و جدایی مواد از سطح کاغذ می‌شود. در مواردی که درجه حرارت از این حد بالاتر رود، با تبخیر مواد زائد روبرو خواهیم شد. اگر همه گرما در حین عمل تابش جذب لکه شود، آن‌گاه هیچ آسیبی به کاغذ زمینه و مناطق اطراف نخواهد رسید. سوختن کاغذ نیز زمانی روی خواهد داد که انرژی اشعه بیشتر شده (طول موج‌های پایین) و یا تعداد پالس‌ها در ثانیه (فرکانس) بسیار زیاد شود. به طور کلی هرگاه سرعت تابش از سرعت جذب بالاتر رود با سوختن کاغذ روبرو خواهیم شد. از این رو جلوگیری از سوختن کاغذ با به کار بردن ملاحظاتی نظیر به کار بردن حداقل توان ممکن، طول موج‌های مجاز و تعداد پالس‌های متناسب امری محال نیست. به علت انتخاب طول موج در محدوده مرئی به جای محدوده فرابنفش، خطر ایجینگ[11] تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

بر پایه تجربیات حاصل از این آزمایش سرعت متوسط پاک‌سازی، برابر با ۰/۵ سانتی‌متر مربع در هر دقیقه می‌باشد.

استفاده از ماسک و عینک‌های محافظ به منظور جلوگیری از تابش مستقیم احتمالی و بازتاب‌ها و ذرات جدا شده از سطح ضروری است، زیرا خسارت‌های ناشی از کمترین تابش نیز غیرقابل جبران است.

با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان امیدوار بود که با انجام آزمایشات بیشتر در این زمینه به قابلیت‌های بیشتر (ال. اس. آر)[12] در زمینه مرمت آثار تاریخی دست یافت.

عکس ۶-ب



عکس ۶-الف

منابع:

HANNA MARIA SZCZEPANOWSKA, & WILLIAM R. MOOMAW. JAIC 4991, Volume 33. Number 1, Article 2 (pp. 25 to 32)

Martin Cooper, Laser Cleaning in Conservation, PUBLISHER: Butterworth Heinemann, 1997.

http://www.nmgm.org/nof/toplasertreatment.html/

http://www.liverpoolmuseums.org.uk./conservationtechnologies/

http://www.art-innovation.nl/

1. Asmus
2. Vitkus
3. (Laser Stain Removal) (LSR)
4. Alternaria solani
5. Fusarium oxysporum
6. Penicillium notatum
7. Chaetomium globosum
8. M.L. Morcari
9. Nd: YAG (Neodymium
10. YAG
11. Aging
12. LSR