کاربرد لیزر در حوزه حفاظت از آثار تاریخی

حسن خلیلی زنوز
کارشناس مرمت آثار تاریخی

پاکسازی، بخش مهم و اساسی در فرآیند حفظ و نگهداری و عامل زیبایی شیء و موجب افزایش طول عمر و بهبود ساختار آن است. همچنین شرایط و وضعیت واقعی آن را مشخص می‌نماید. به نحوی که با انجام اقدامات مناسب با حصول اطمینان، آن را برای نسل‌های آینده می‌توان حفظ نمود.

در سالیان اخیر نقدهای بی‌شماری متوجه روش‌های سنتی تمیز کردن ابنیه و اشیای تاریخی . فرهنگی و هنری بوده است. کاربرد نامناسب، تکنیک‌ها و فنون بدون دقت و از آن جمله پاکسازی با فشار هوا و بخار می‌تواند سبب آسیب شدید به سطح گردد. از بین رفتن جزئیات و ظرافت‌های سطحی در اثر پاکسازی کلی و تمامی سطح می‌تواند استحکام سطح را مخدوش کرده و حتی در برخی موارد روند تخریب را تشدید کند. حتی اگر پاکسازی با دقت فراوان انجام گیرد، پاکسازی با فشار هوا یا روش‌های دیگر به سطوح آسیب‌هایی را وارد می‌کند، به ویژه در سطوح شکننده و در حال خرد شدن، چرا که ذرات پاک کننده که با فشار به سطوح برخورد می‌کند، نمی‌تواند بین سطوح ماده تشکیل دهنده و آلاینده تمایز قایل شود و در برخی آثار که نیاز به حفظ پاتینا است، امکان حفظ آن را تا حدود زیادی از بین می‌برد. پاتینا در طول دوره زمانی در سطح شکل می‌گیرد و باعث حفظ سطح زیرین خود می‌شود.

تکنیک‌های شیمیایی هم معضلات مخصوص به خود را همراه دارند و اغلب باقیمانده‌هایی از مواد شیمیایی پس از انجام مراحل تمیز کردن بر روی سطح باقی می‌ماند که در آینده اثرات خود را نمایان می‌سازند و اصولاً واکنش غیر قابل کنترل دارند. در گلاسکو برخی بناهای سنگی که با مواد شیمیایی شستشو و پاکسازی شده بودند، در سال‌های اخیر به سبزی گراییده و سرعت آنها نیز در این تغییرات، هشدار دهنده بود، چرا که بهترین محیط را برای رشد جلبک‌ها فراهم آورده‌اند.

ابداع روش‌های پاکسازی لیزری در چندین سال اخیر تحولات مهمی در روش‌های حفاظت و نگهداری به وجود آورده، که با فرسایش کمتر و قابلیت کنترل بیشتر همراه بوده است. تمایز اساسی پاکسازی لیزری و سنتی در استفاده از فوتون‌ها یا ذرات نوری است، که قادر است بین سطوح آلاینده و مواد تشکیل دهنده اثر تمایز قایل شود. و کاربر می‌تواند سطوح را تحت کنترل خود بگیرد.

لیزر یک منبع منحصر به فرد نوری است که انرژی بسیار متراکمی را با ویژگی مونوکروماتیک (تک رنگ یا طول موج واحد)، پرتو کولیمیت شده (پرتو لیزری خاصی که پس از چند متر حرکت تنها به میزان چند میلی‌متر انتشار می‌یابد) آزاد می‌سازد.

وقتی پرتو لیزر به سطحی اصابت کند، بخشی از انرژی آن منعکس شده و بقیه جذب می‌گردد. با فرض عدم انتقال، بخشی از انرژی که جذب می‌شود، به طول موج تشعشع لیزر و ویژگی‌های فیزیکی و

شیمیایی سطوح بستگی دارد.

عمومی‌ترین نوع لیزر که در امر حفاظت از آثار فرهنگی ـ تاریخی به کار می‌رود، لیزر Nd : YAG کیوسویچ است که پالس‌های کوتاه به طول ns ۱۰-۵ و تشعشع نزدیک به مادون قرمز ساطع می‌کند که نزدیک به طول موج ۱۰/۰۶۴ میلی‌متر (یا $۱/۰۶۴x۱۰^{-۶}$ متر) قرار دارد که پالس‌های بسیار کوتاه گرمایی هستند. طول موج کوتاه از این نظر اهمیت پیدا می‌کند که مانع از انتقال گرما به سطح زیرین آلاینده‌ها و اجرام آلودگی می‌شود. این نوع لیزر به دلیل این که لایه‌های گرد و خاک و آلاینده‌ها، گرما را بیش از لایه‌های زیرین در μ^m ۱/۰۶۴ جذب می‌کنند، به کار گرفته می‌شود و از پارامترهای مطمئنی در عملیات زدودن آلودگی‌ها استفاده می‌شود. وقتی گرد و غبار و لکه‌ها برداشته شود، پالس‌های اضافی اثری بر روی سطح تمیز شده نمی‌گذارند و انرژی مازاد برای جلوگیری از هرگونه آسیب حذف می‌گردد و به عبارت دیگر این فرایند از ویژگی خود محدودسازی برخوردار است. لیزر Nd : YAG هم بسیار قابل اعتماد و هم نگهداری آن آسان است و نیز نسبتاً جمع و جور و مستحکم می‌باشد. سیستم‌های لیزری در دهه اخیر به وفور عرضه شده‌اند و اینک در کارگاه‌های حفاظت و مرمت آثار در سراسر اروپا به کار گرفته می‌شوند. یک سیستم نمونه را در تصویر ۱ مشاهده می‌کنید.

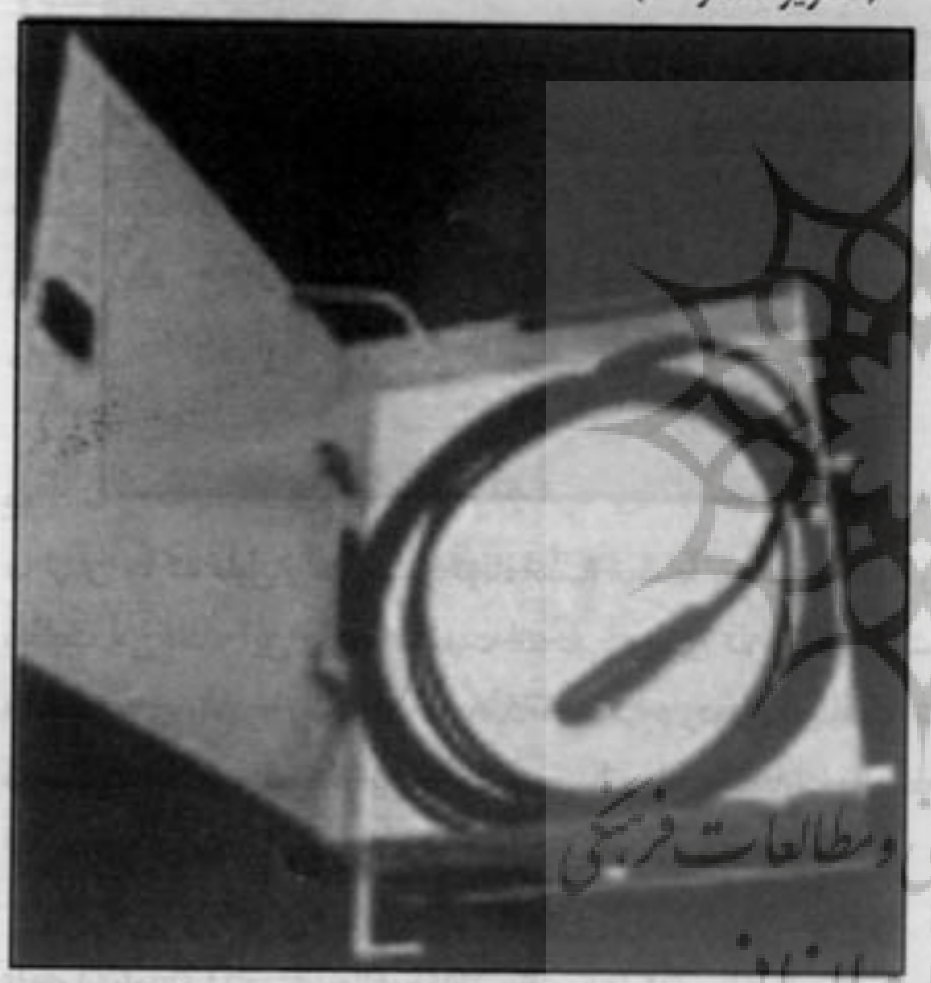
(تصویر ۱)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

عموماً تجهیزات لیزری برای محیط دورن کارگاه یا محیط خارج از کارگاه طراحی گردیده‌اند. مهمترین پارامتر پاکسازی، تراکم انرژی یا فلوئنس پرتو لیزری است، یعنی انرژی لیزری در واحد سطح (انرژی هر پالس = اندازه پرتو در سطح) و واحد آن ژول در سانتی‌متر مربع است. (J/cm^2) در هنگام کار فلوئنس باید طوری تنظیم شود که لایه‌های غبار را بردارد، ولی در عین حال مطمئن شویم که به سطح زیرین آسیبی وارد نمی‌آید. در طول موج Nd : YAG یک ویندو ایمنی کار وجود دارد که در گستره وسیعی از مواد قابل بهره‌برداری است. این ویندو یک نظام خود کنترلی را به وجود می‌آورد. اگر برای پاکسازی مجبور باشیم فلوئنس را بالا بریم تا به آستانه زیر سطحی برسیم، امکان استفاده از تنظیم ویندو را از دست خواهیم داد؛ کما این که در روش‌های پاکسازی سنتی نیز از چنین امکانی بی‌بهره بودیم.

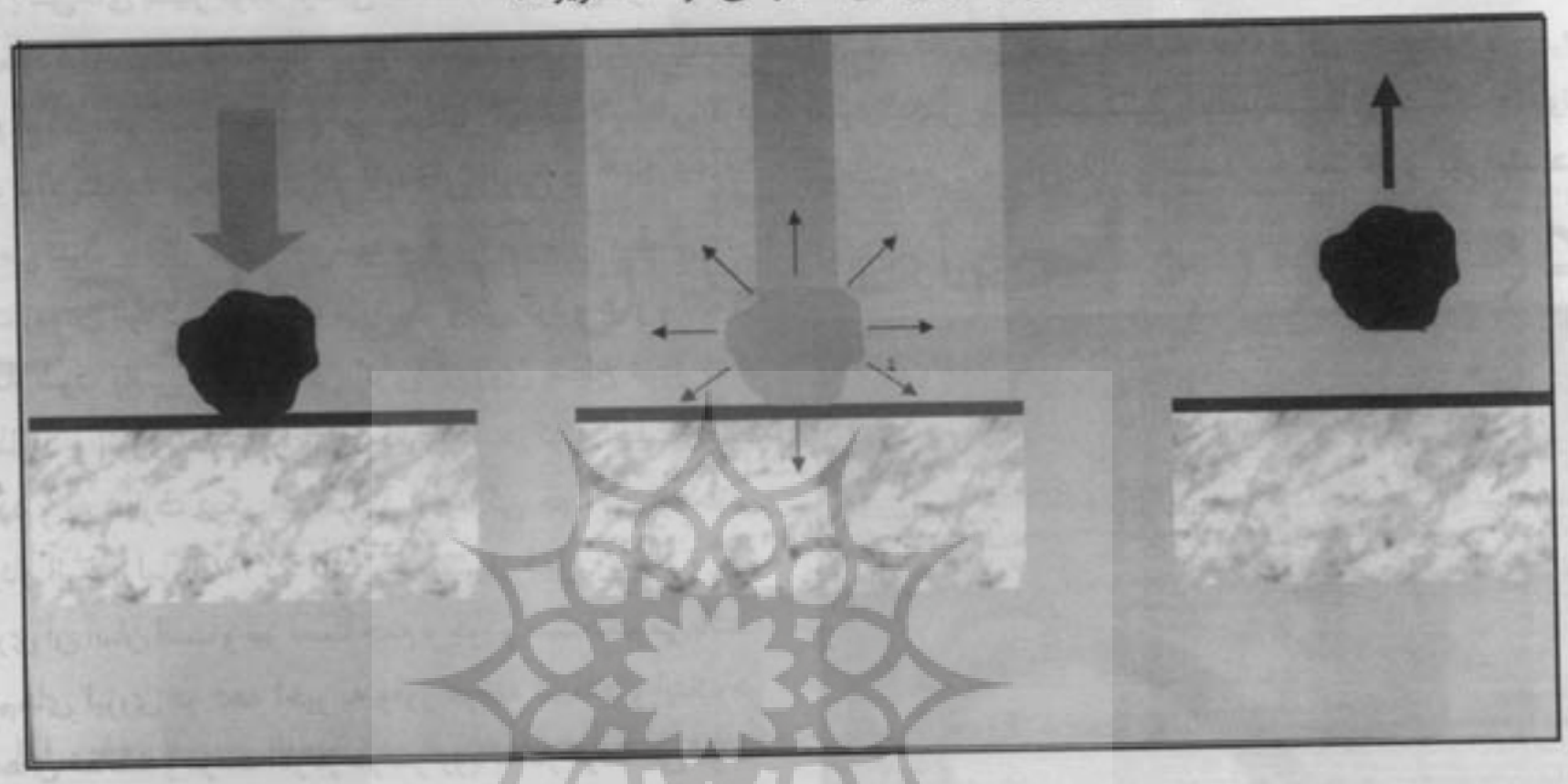
هر لیزر، برق و خنک کننده در یک مجموعه پرتابل جای دارد که وزن کلی آن ۱۲۵ کیلوگرم است و برق مصرفی آن ۲۴۰ ولت و ۱۳ آمپر می‌باشد. در این سیستم پرتو لیزری با بازوی مَفْصَلی هفت قسمتی با دستگیره خودکار شکل از لیزری استفاده می‌شود که پرتو همگرا تولید می‌کند. کنترل از طریق تنظیم‌های انرژی در هر پالس اعمال می‌گردد. تعداد پالس در ثانیه و فاصله ابزار از سطح که کنترل تراکم یا گسترش پرتو را به عهده دارد، از این تنظیم‌ها هستند. مقدار انرژی پالس و سرعت تکرار در سیستم‌های مختلف متفاوتند و سیستم‌هایی به جای بازروی مفصلی، از فیبر نوری بهره‌مند هستند

(تصویر شماره ۲)



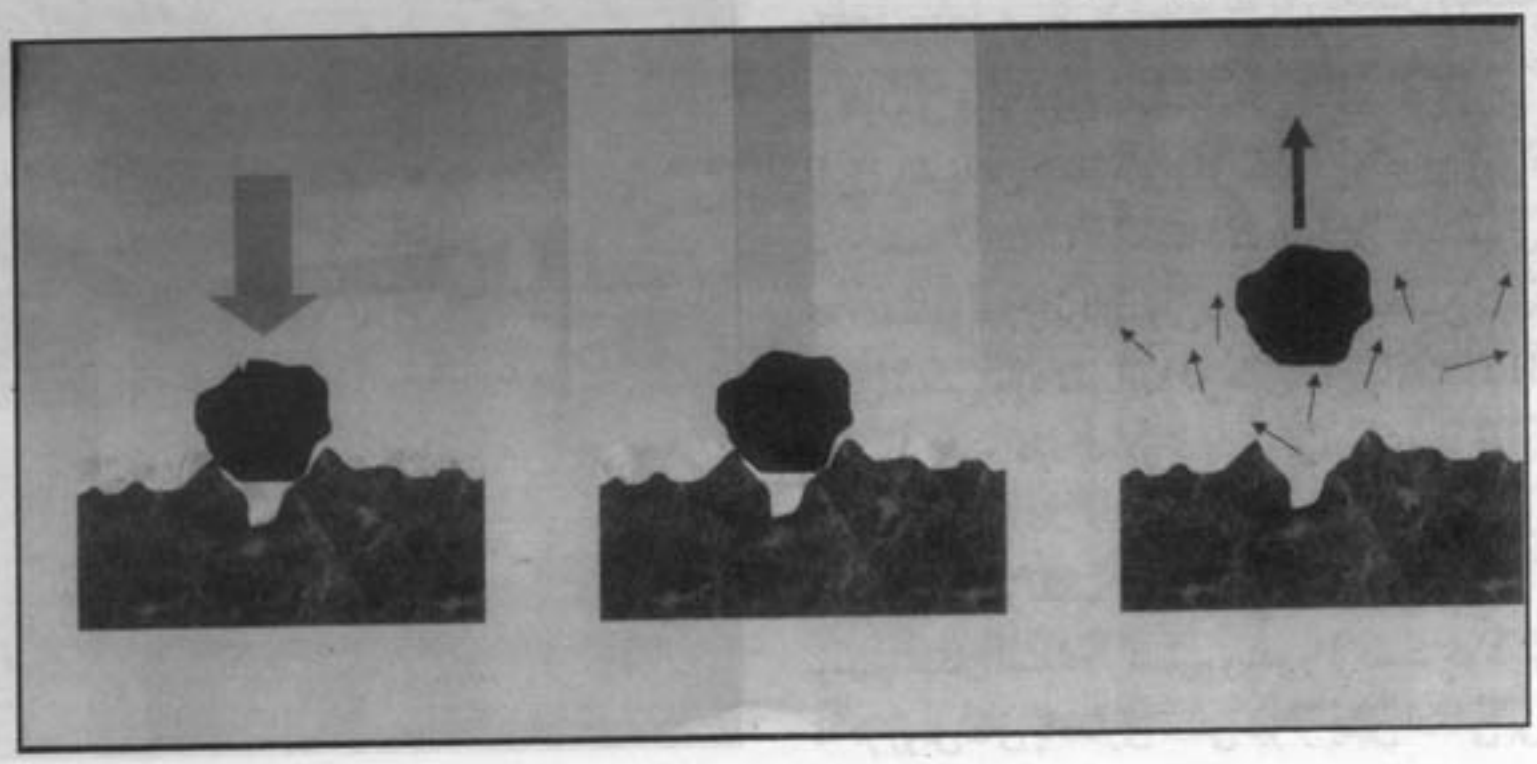
در این شرایط کاربر باید سعی کند به محض از بین رفتن لایه غبار و آلودگی از روی سطح مورد نظر، سریعاً دستگاه را خاموش کند تا از ورود هرگونه آسیبی به سطح اثر جلوگیری به عمل آید.

تمیز کردن توسط لیزر با ترکیب مکانیزم‌ها انجام می‌گیرد و اهمیت نسبی هر عنصر به فلوئنس به کار رفته و ویژگی‌های گرد و خاک و اجرام چسبیده به اثر بستگی دارد. از آن جا که اکثر سطوح گرد و غبار، آلودگی‌های روغنی و غیرهٔ پرتوهای $1/064\mu m$ را جذب می‌کنند، معمولاً عملیات تمیز کردن و زدودن را در فلوئنس پایین($<1J/cm^2$) انجام می‌دهند تا هرگونه احتمال آسیب‌رسانی به لایه‌های زیر آلودگی‌ها مرتفع گردد. جذب انرژی آنی و قوی به گرمایش سریع و دفع آلودگی منجر می‌شود. (تصویر ۳)



از آن جا که طول پالس بسیار کوتاه است، انبساط به قدری سریع روی می‌دهد که نیروی حاصله برای برداشتن ذرات و آلودگی‌ها از سطح کفایت می‌کند[1]. این پروسه اهمیت انتخابی زیادی دارد. اگر فلوئنس اندکی بالا برود، برخی مواد گرم شده و تبخیر حاصل می‌آید. در فلوئنس‌های بالاتر (بیشتر از($1/5J/cm^2$ مکانیزم زدودن پیچیده‌تر شده و مستلزم آگاهی از شکل‌گیری پلاسما می‌باشد؛ یعنی انرژی بالاتر از سطح ایجاد موج شوک. این مکانیزم می‌تواند باعث خسارت به سطح اثر شود. بنابراین پاکسازی باید در کمترین فلوئنس عملی انجام پذیرد، به نحوی که مکانیزم‌های انتخابی بیشتری به کار گرفته شود.

در برخی موارد برای تسهیل روند پاکسازی از آب استفاده می‌شود. قبل از تابیدن تشعشع، با برس یا اسپری لایه نازکی از آب بر روی سطح آلوده ایجاد می‌شود و می‌توان در این حالت با فلوئنس پایین به کار تمیز کردن پرداخت. ذرات وارد شده به درون منافذ و ترک خوردگی‌ها نیز بدین ترتیب از سطح اثر پاک می‌شود. (تصویر شماره ۴)



آب به طور چشمگیری به افزایش سرعت پاکسازی منجر می‌گردد و جذب پرتو لیزر از سوی لایه آلاینده به عنوان حرارت عادی و سریع در محل تماس آلاینده با آبْ جلوه نموده و باعث تبخیر انفجاری می‌شود و نیروی حاصله، مواد زاید روی سطح و درون منافذ و ترک‌ها را از بین می‌برد.

از مزایای اصلی استفاده از لیزر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

انتخابی بودن: پاکسازی توسط لیزر در پارامترهای مناسب انجام می‌گیرد و می‌تواند لایه‌های آلودگی را بدون آسیب رساندن به سطح اصلی و ماده تشکیل دهنده اثر برطرف سازد. چنین کنترلی، به کاربر امکان می‌دهد تا برای حذف لایه آلاینده روی سطح جسم، همان مقدار تشعشع و سطح کار را انتخاب کند نه بیشتر. و این تکنیک آنقدر حساس هست که سطح اولیه جسم را مخدوش سازد و پاتینا دست نخورده باقی بماند.

عدم تماس: از آنجا که انرژی به کار گرفته شده در قالب نور می‌باشد، هیچ تماس مکانیکی با سطح به وجود نمی‌آید، لذا سطوح شکننده و حساس را هم می‌توان پاک نمود.

عملکرد موضعی: لیزر فقط محلی را که موردنظر است پاک می‌کند. یک لیزر منفرد، پرتویی به قطر متغیر از یک میلی‌متر تا یک سانتی‌متر را به وجود می‌آورد و پاکسازی محدود تا نسبتاً گسترده را ممکن می‌نماید.

کنترل فوری و انعطاف پذیر: عملیات با خاموش شدن دستگاه لیزری متوقف می‌شود و لذا در هر آن می‌توان کار را متوقف ساخت. شرایط سطح کار می‌تواند در روند عملیات تحت کنترل مستمر و دقیق باشد و در هر مرحله می‌توان تصمیم‌گیری را عوض کرد.

وابستگی محیط: استفاده از لیزر حجم مواد زاید را بسیار پایین می‌آورد و تنها مواد زاید، گرد و غباری است که از سطح جدا شده و از خروجی سیستم دفع می‌شود.

در این سیستم از مواد شیمیایی مضر یا حلال‌ها استفاده نمی‌شود و تنها نیاز به پوشش عینک و ماسک محافظ دارد. پاکسازی لیزری یک تکنیک جدید و کارآمد است که کمترین صدا را ایجاد می‌کند و هیچ اختلالی در امور کارهای جاری محیط به وجود نمی‌آورد.

ظرافت و قابلیت اعتماد: تشعشع لیزری در ۱/۰۶۴μm با موفقیت برای حذف لایه‌های آلودگی در طیف وسیعی از مواد به کار می‌رود، از آن جمله در سنگ، گچ، آلومینیم، استخوان، عاج، چرم، منسوجات، پارشمنت و . . . کاربرد وسیعی دارد. در برخی موارد می‌توان به کمک طول موج‌های متفاوت، انعطاف کاربرد دستگاه را بیشتر کرد، مثلاً در زدودن آفات ارگانیک و موجودات میکروارگانیسم از سطوح دستگاه‌های لیزری از قابلیت اعتماد بسیار زیادی برخوردار می‌باشند. استفاده از این روش برای تمام سطوح امکان‌پذیر نیست و محدودیت‌های کاربردی آن بر روی اشیای پلی‌کرومی مسئله‌دار است چرا که رنگدانه‌های مختلف مقادیر متفاوتی از تشعشع را جذب می‌کنند و برخی از آنها نیز بسیار حساس هستند و حتی انرژی کم نیز قادر است در آن تغییر رنگ ایجاد نماید. در مواردی که آلودگی سطوح از نوع رنگدانه‌ای باشد، از لیزر استفاده نمی‌شود، مگر این که اطمینان حاصل شود رنگدانه‌ها در فلوئنس مورد استفاده ثابت خواهند بود.

هزینه نسبتاً بالای خرید یک سیستم لیزری از معایب آن تلقی می‌شود. البته اگر هزینه ناچیز تعمیر و نگهداری را در کنار سرویس پس از اتمام کار در نظر بگیریم، روی هم رفته با شرایط قابل قبولی از نظر هزینه مواجه خواهیم شد. خرید این سیستم سرمایه‌گذاری درازمدت محسوب می‌شود. برای کوتاه مدت هم می‌توان اجاره کردن را در دستور کار قرار داد. در دوره‌های آموزشی به کاربر آموزش داده می‌شود که چه هنگام و چگونه از لیزر استفاده نماید.

در سال‌های گذشته توجه و علاقه به لیزرها برای کاربرد در حوزه حفاظت و مرمت به سرعت افزایش یافته و در کنفرانس لیزر برای حفظ آثار هنری Laconai که در اکتبر ۱۹۹۵ در کریت برگزار شد این علاقه‌مندی به اوج رسید.

۱. برای بهره‌گیری فلوئنس در اشیاء آلی، فلوئنس باید حداکثر بر روی ۱ ژول بر سانتی‌متر مربع تنظیم شود.