پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۷؛ ۴(۱): ۸۱-۹۴

پژوهه باستان‌سنجی (علمی-پژوهشی)

DOI: 10.29252/jra.4.1.81

URL: http://jra-tabriziau.ir/

مقاله مروری

مروری بر کاربرد فناوری پلاسما در حفاظت آثار فرهنگی و تاریخی

فرح سادات مدنی[1*]، منیژه هادیان دهکردی[2]

۱. کارشناس ارشد مرمت اشیاء تاریخی، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، تهران، ایران

۲. استادیار و عضو هیئت‌علمی پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۴

چکیده

امروزه با گذشت زمان و افزایش آگاهی از تأثیرات مخرب ناشی از استفاده مواد شیمیایی و سمی برای آثار مورد درمان، محیط و کاربران، جایگزینی یا حداقل استفاده از این مواد مخرب در درمان و حفاظت آثار، یک اولویت محسوب می‌شود. لذا در سراسر جهان محققین درصدد توسعه و استفاده از روش‌های بی‌خطر و استاندارد در این حوزه هستند. یکی از این روش‌ها، استفاده از فناوری پلاسما است. پلاسما حالتی از ماده با ماهیت محیط یونیزه، شامل مجموعه‌ای از یون‌های مثبت، الکترون‌ها و اتم‌های خنثی با غلظت معین است. پلاسمای سرد به دلیل ویژگی‌هایی از قبیل دمای پایین و انرژی بالا، علاوه بر طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی در حوزه‌های مختلف، از سال ۱۹۷۹ م. موردتوجه متخصصین حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی نیز قرار گرفته و در طول سال‌های گذشته، در درمان‌های ضدعفونی و به‌ویژه پاکسازی آثار، به‌عنوان یک گزینه‌ی غیرسمی و غیرتهاجمی در حوزه‌ی میراث فرهنگی موردبررسی قرار گرفته است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، پاکسازی پلاسما یک روش بدون تماس و قابل‌کنترل است که روند پاکسازی، تنها به لایه‌های اولیه سطح محدود می‌شود. به همین دلیل این روش می‌تواند مانع از ایجاد تأثیرات نامطلوب ناشی از انتشار و یا حبس حلال‌های شیمیایی و محصولات مضر جانبی آن‌ها در منافذ و ساختار متخلخل بستر شود که اغلب در روش‌های پاکسازی رایج وجود دارد. پس از سال‌ها استفاده از روش‌های مختلفی مثل روش‌های مکانیکی، انواع حلال‌ها و لیزر در پاکسازی سطوح معماری، در سال‌های اخیر پلاسمای اتمسفری برای چنین کاربردی مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند جایگزین مناسبی باشد برای روش‌های مکانیکی (سایش) که نمی‌توانند چرکینه‌های داخل منافذ را بردارند و اغلب باعث آسیب و از بین رفتن سطح اصلی می‌شوند و یا برای روش‌های شیمیایی (استفاده از حلال‌ها) که می‌توانند چرکینه‌ها و یا پوشش‌های کهنه و قدیمی را از طریق منافذ، حفره‌ها و ترک‌ها به لایه‌های عمیق‌تر منتقل کنند. لذا در این مقاله ضمن معرفی و آشنایی با فناوری پلاسما به‌عنوان یک شیوه‌ی نوین و ایمن در امر حفاظت از آثار تاریخی، برخی از مطالعات موردی انجام‌شده در مراکز مختلف فرهنگی و نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعات نیز ارائه می‌شود. مقاله‌ی مذکور می‌تواند آغازی بر استفاده این فناوری در حوزه حفاظت از میراث فرهنگی در کشور باشد.

واژگان کلیدی: فناوری پلاسما، میراث فرهنگی، پاکسازی، ضدعفونی، غیرتخریبی.

* مسئول مکاتبات: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، کد پستی ۱۱۳۶۹۱۳۴۳۱

پست الکترونیکی: fsm2200@yahoo.com

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

Archive of SID

www.SID.ir

۱. مقدمه

بدون شک مرمت آثار تاریخی و فرهنگی کار دشواری است زیرا نه‌تنها باید بهبود فیزیکی شیء و حفظ ظاهر خاص آن، موردتوجه قرار گیرد، بلکه باید حفظ ارزش‌ها و تداوم آن نیز در طول زمان تضمین شود[1]. هر یک از آثار تاریخی به‌نوبه‌ی خود دارای ویژگی‌های خاص و پیچیده‌ای است که باید درنهایت دقت موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گیرند. دراین‌ارتباط مداخلات تخصصی و کنترل‌شده گاه برای انجام عملیات حفاظتی لازم می‌شود که می‌تواند شامل ضدعفونی و یا پاکسازی آثار فرهنگی شود. این درمان‌ها با استفاده از روش‌ها و موادی صورت می‌گیرند که اغلب تهاجمی یا مخرب هستند. روش‌هایی که ممکن است باعث از بین بردن ویژگی‌ها و اطلاعاتی از سطح شی شوند[2] و یا موادی که به دلیل سمیّت، نه‌تنها وضعیت آثار بلکه شخص درگیر در انجام درمان را نیز در معرض خطر قرار دهند. علاوه بر این تأثیر منفی چنین موادی بر محیط‌زیست را نیز باید در نظر داشت. لذا امروزه گرایش‌ها در سراسر جهان به‌سوی جایگزینی یا حداقل استفاده از این روش‌ها است و در این خصوص نه‌تنها از روش‌های استاندارد و فناوری‌های جدید استفاده می‌شود بلکه کارشناسان رشته‌های مختلف مرمت، علوم، کامپیوتر و مهندسین را نیز درگیر می‌کند[3]. استفاده از فناوری‌های نوین به‌ویژه در حوزه‌ی میراث فرهنگی به دلیل باارزش و منحصربه‌فرد بودن آثار تاریخی، از حساسیت بیشتری نیز برخوردار است و نگرانی‌ها و سؤالاتی چون اثرات مستقیم و جانبی این روش‌ها را روی آثار مطرح می‌کند؛ بنابراین به‌کارگیری و اطمینان از غیر تخریبی بودن این روش‌ها نیازمند کسب تجربه لازم و کافی در این خصوص است.

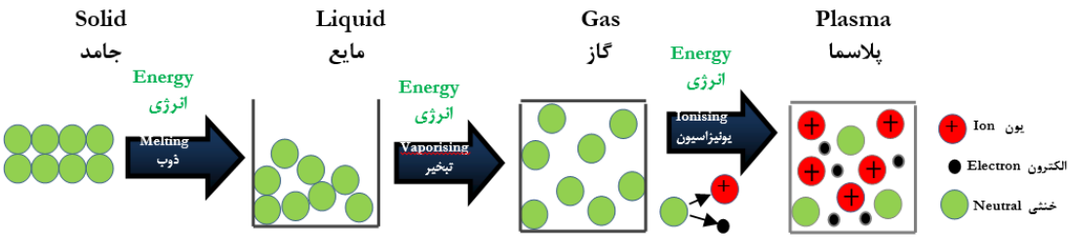
فناوری پلاسما یکی از روش‌های نوین در حوزه‌ی میراث فرهنگی است که از سال ۱۹۷۹ م. موردتوجه متخصصین حفاظت و مرمت آثار تاریخی قرار گرفت. این روش ابتدا برای حفاظت فلزات و عمدتاً برای درمان و حذف خوردگی اشیای نقره‌ای و آهنی باستانی مورداستفاده قرار گرفت و به‌تدریج شرایط مطلوب درمان و به‌طور تجربی برای این نوع آثار تعیین شد[4–8]. با نتایج مثبت به‌دست‌آمده از روش پلاسما در حفاظت آثار فلزی، این روش به‌تدریج در درمان‌های ضدعفونی نیز موردتوجه قرار گرفت و در حوزه‌ی حفاظت به سمت ضدعفونی و استحکام‌بخشی مواد آلی[9,10] و همچنین پاکسازی آثار نقاشی سوق پیدا کرد[11]. اگرچه امروزه فناوری پلاسما به‌عنوان یک روش غیرشیمیایی (بدون نیاز به مواد و حلال‌های شیمیایی)، ایمن و دوستدار محیط‌زیست شناخته شده و کاهش مدت‌زمان و هزینه‌های درمان را به همراه داشته است[12]، اما برای هر یک از اشیاء، شرایط درمان منحصربه‌فرد و خاص بوده و نیازمند بررسی‌های دقیق بر روی عوامل مختلفی همچون روش تولید پلاسما، ماهیت گاز پلاسما و متغیرهای آن (چگالی، دما و فشار)، نوع آثار و آسیب‌های وارده است[13]. در این مقاله ضمن معرفی فناوری پلاسما و کاربردهای آن در صنایع، به بررسی تجربیات به‌دست‌آمده از آن در موزه‌ها و مراکز فرهنگی خارجی پرداخته می‌شود. هدف از این مقاله آشنایی متخصصان حفاظت و مرمت داخلی با این فناوری و قابلیت‌های آن به‌عنوان یک روش جایگزین ایمن و یا مکمل روش‌های مرسوم پاکسازی سطوح و ضدعفونی آثار است که گاه منجر به آسیب‌های قابل‌توجهی به آن‌ها می‌شوند. علاوه بر این، آشنایی با این روش می‌تواند به متخصصان مربوطه کمک کند که با به‌کارگیری و ساخت تجهیزات لازم و متناسب با نیازهای حوزه‌ی حفاظت و مرمت آثار در کشور، شرایط کسب تجربیات لازم و کافی برای استفاده از آن و مقایسه با سایر روش‌های مشابه فراهم گردد.

۲. پلاسما و کاربرد آن در صنایع

پلاسما حالتی از ماده است که با اعمال انرژی و یا حرارت به یک گاز خنثی در دامنه‌ی وسیعی از دما و فشار تولید می‌شود[14] (شکل۱). این ماده با ماهیت محیط یونیزه، مجموعه‌ای از یون‌های مثبت، الکترون‌ها و اتم‌های خنثی با غلظت معین است، به‌طوری‌که مقدار الکترون‌ها و یون‌های مثبت در یک محیط پلاسما تقریباً برابر است و حالت پلاسمای مواد، تقریباً شبه خنثی بوده و حالت‌های خاصی را در مقابل مغناطیس نشان می‌دهد[15–17].

پلاسما در جهان بسیار شایع است و گفته می‌شود که ۹۹٪ مواد موجود در طبیعت در حالت پلاسما

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱: پلاسما به‌عنوان حالت چهارم ماده[20]

Fig. 1: plasma as the fourth state of matter[20]

هستند[16,18,19]. رعدوبرق، تابش ملایم شفق قطبی، خورشید و نور پراکنی آن نمونه‌های شناخته‌شده‌ی پلاسما و مثال‌هایی از پلاسمای طبیعی و غیرقابل‌کنترل هستند[14,18]. در صنعت با الگوبرداری از طبیعت از پلاسما استفاده‌های فراوان و مفیدی شده است.

ازجمله حوزه‌های استفاده از فناوری پلاسما می‌توان به پزشکی، صنایع و محیط‌زیست اشاره کرد. برای مثال در حوزه‌ی پزشکی می‌توان به استریل کردن لوازم و قطعات پزشکی، ترمیم زخم‌ها، از بین بردن سلول‌های سرطانی، از بین بردن عفونت چشم، پردازش دندان و ضدعفونی کردن آن، سازگار کردن ایمپلنت‌ها برای قرارگیری در بدن انسان اشاره کرد. از مزایای استریل به روش پلاسما، امکان استریل ابزارهای حساس به رطوبت و گرما، غیرسمی بودن ماده‌ی اولیه آن (پر اکسید هیدروژن)، عدم ایجاد پسماند سمی، کاهش زمان استریل، مقرون‌به‌صرفه بودن و دوستدار محیط‌زیست است[21]. همچنین روش گاز پلاسما روشی ایدئال جهت غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی در راستای ارتقای کیفی آن‌ها و افزایش عمر نگهداری مواد غذاییِ بسته‌بندی‌شده است[22].

از پلاسما می‌توان برای اصلاح سطح و افزایش خواص اصلی مواد نساجی استفاده کرد. این درمان‌ها برای افزایش قابلیت رنگ‌پذیری پلیمرها، قابلیت چاپ، بهبود ثبات و استحکام رنگ، مقاومت شستشوی بافته و تغییر انرژی سطح الیاف پارچه‌ها ثابت شده است[23]. از کاربردهای پلاسما در صنعت کاغذ می‌توان به تولید کاغذ ضد شعله، ضد استاتیک، ضد باکتری، ضد کپک و سطوح زیستی سازگار آن اشاره کرد. ویژگی‌های مفید دیگری که می‌توان با پلاسما به دست آورد، ضدآب شدن کاغذ پس از رنگ‌آمیزی، مقاومت در برابر عوامل اکسیدکننده، پوشش‌های محافظ، برق انداختن، افزایش خاصیت ضد مرکب به‌واسطه‌ی اصلاح کاغذ قبل از چاپ، محافظت در برابر نور خورشید و پرتوهای ماوراءبنفش، پلیمریزاسیون با مونومر، پلیمرهای مصنوعی در پیوند با سلولز و رسوبات زیستی تجزیه‌پذیر است. از مزایای این نوع فرایندها عدم استفاده از حلال‌های شیمیایی و بی‌نیازی به آب است[24].

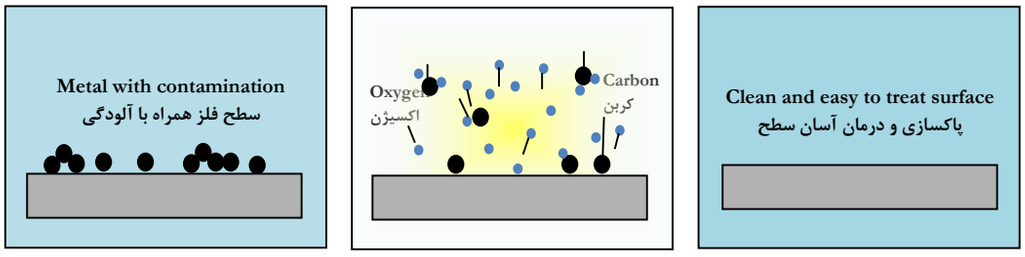
فناوری پلاسما قادر است انواع زباله‌ها را بدون توجه به نوع آن‌ها، به مواد قابل‌استفاده و سازگار با محیط‌زیست تبدیل کند[25]. پسماندهای جامد شهری، مصالح و نخاله‌های ساختمانی، لجن فاضلاب‌های صنعتی و شهری و حتی پسماندهای خطرناک عفونی و بیمارستانی از طریق این فن‌آوری ایمن قابل امحاء هستند.

درمان پلاسمای سطح، فرایندی است که انرژی سطح بسیاری از مواد را به‌منظور اصلاح خواص سطحی آن‌ها (قابلیت اتصال و پیوستگی، تری، چسبندگی و غیره) افزایش می‌دهد. با پلاسمای سطح می‌توان سطح موادی همچون شیشه، فلز، شبه فلزات، پلاستیک، پلیمر، پارچه، فیلم، کاغذ و مقوا را تمیز، فعال یا حکاکی کرد [14,26,27](شکل ۲و۳).

۳. انواع پلاسما

از دو طریق حرارت و تخلیه‌ی الکتریکی می‌توان پلاسما تولید کرد. در پلاسمای حرارتی (Thermal plasma) یا پلاسمای گرم دمای همه‌ی اجزاء موجود شامل الکترون‌ها، اجزاء اتمی و مولکولی تقریباً برابر و در تعادل حرارتی و دمای خیلی بالا است. در این نوع پلاسما دامنه‌ی دمایی گازها از چند ده هزار تا پنجاه‌هزار درجه‌ی کلوین متغیر است. این نوع پلاسما به دلیل دمای بسیار بالا و اثرات

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲: پاکسازی آلاینده‌های آلی در سطح نمونه فلزی: قبل از درمان (تصویر چپ)، درمان پلاسما (تصویر وسط)، پس از درمان (تصویر راست)[14]

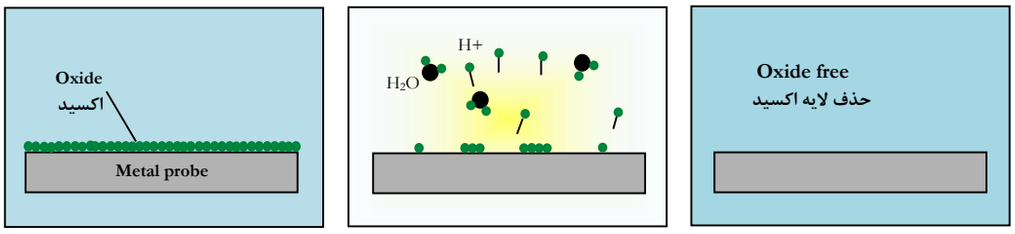
Fig. 2: Cleaning the organic pollutants at the metal surface: before plasma treatment (left); plasma treatment (center); after plasma treatment (right) [14]

تخریبی آن، کاربردی در حوزه میراث فرهنگی ندارد.

در پلاسمای غیرحرارتی یا پلاسمای سرد (cold plasma)، درجه‌ی حرارت اجزاء کاملاً متفاوت و معمولاً دمای الکترون‌ها به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از اجزای دیگر است[16,28]. دمای الکترون‌ها تا چند ده هزار کلوین و دمای سایر اجزاء که همان دمای کلی گاز است، در حدود دمای محیط تا چند صد درجه‌ی کلوین است[20].

در پلاسمای سرد فشار پایین، گاز (آرگون یا اکسیژن) با فشار مشخصی داخل محفظه‌ی خلأ، تزریق می‌شود. با ورود انرژی در قالب یک میدان الکتریکی، گاز به‌طور جزئی تجزیه و پلاسما ایجاد می‌شود. اجزاء ناشی از این تجزیه، اتم‌های خنثی، یون‌ها، الکترون‌ها و رادیکال‌های مختلف هستند. رادیکال‌های تشکیل‌شده، مولکول‌های بسیار واکنش‌پذیری هستند که می‌توانند با یکدیگر و با سطوح مجاور ازجمله سطوح مواد تحت درمان، وارد واکنش و موجب اصلاح ویژگی‌های سطح آن‌ها شوند، اگرچه این واکنش‌ها به گاز مورداستفاده، بستگی دارد. مدت‌زمان قرارگیری مواد تحت درمان در معرض پلاسما، می‌تواند از چند ثانیه تا چند دقیقه با توجه به کاربرد موردنظر متفاوت باشد. پلاسمای سرد فشار کم، یا خلأ یک فرآیند بسیار انعطاف‌پذیر و درمان مواد با اشکال پیچیده و ابعاد مختلف به‌وسیله‌ی آن امکان‌پذیر است[29].

در پلاسمای سرد فشار اتمسفری، گاز بعد از برانگیختگی بر سطح موردنظر اعمال می‌شود. کنترل تخلیه‌ی الکتریکی، دمای خروجی گاز از منبع را محدود می‌کند. به‌علاوه، سرعت درمان می‌تواند به‌اندازه‌ای بالا باشد که مانع از هرگونه افزایش دما در سطح ماده‌ی تحت درمان شود. اصل روش مشابه با روش پلاسمای خلأ است، با این تفاوت که استفاده از میدان‌های الکتریکی بسیار شدیدتر است. به همین دلیل مشعل مورداستفاده پلاسما در این روش همیشه با ابعاد کوچک است[29]. تفاوت خاص پلاسمای فشار اتمسفری با پلاسمای فشار بالا یا کم در این است که برخلاف این دو مورد، به محفظه یا اتاقکی که شیء در آن قرار گیرد، نیازی نیست. این نوع پلاسما به‌طور مستقیم در خط تولید استفاده می‌شود و درنتیجه نیازی به محیط خلأ پرهزینه نخواهد بود[29]. پلاسمای تخلیه‌ی سد دی‌الکتریک (Dielectric Barrier Discharge (DBD))، پلاسمای رادیوفرکانس (Radio Frequency (RF))، پلاسمای تخلیه‌ی کرونا (Corona Discharge Plasma)، پلاسمای تخلیه‌ی تابان



شکل ۳: پاکسازی لایه اکسید: قبل از درمان (چپ)، درمان پلاسما (وسط)، پس از درمان (راست) [14]

Fig. 3: Clearing the oxide layer: before plasma treatment (left); plasma treatment (center); after plasma treatment (right) [14]

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱: انواع پلاسما [30,31]
Table 1: Different types of plasma [30,31]

پلاسما Plasma		ویژگی‌ها Specifications	نحوه تولید Production method	کاربرد Application
پلاسمای حرارتی یا پلاسمای گرم Thermal plasma		تعادل حرارتی بین اجزاء، دمای بالا، یونیزاسیون کامل و تعادل ترمودینامیکی گاز Thermal equilibrium, High temperature, complete ionization & Thermodynamic equilibrium of gas	تخلیه از نوع قوس الکتریکی، واکنش‌های گرما-هسته‌ای و اثر لیزر Arc discharge, Heat-Nuclear reactions & Laser effect	درمان متالورژی، عملیات حرارتی، جوشکاری، استخراج فلزات Metallurgy treatment, Heat treatment, Welding, metal extraction
پلاسمای غیرحرارتی یا پلاسمای سرد Non-thermal or cold plasma	فشار پایین یا خلأ Low pressure or Vacuum	نابرابری درجه‌ی حرارت اجزاء، خارج از تعادل ترمودینامیکی و یونیزاسیون جزئی گاز Different temperature of components, Non-equilibrium & Low gas ionization	تخلیه‌ی الکتریکی گاز در فشار پایین Gas discharge at low pressure	درمان سطح، لایه نشانی، تولید اوزون، تصفیه هوا، کاهش آلودگی هوا، ضدعفونی آب و استریل کردن Surfaces treatment, Coating deposition, Ozone production, Air purification, Reduction of air pollution, Water disinfection and sterilization
	فشار اتمسفری Atmospheric pressure		تخلیه‌ی الکتریکی گاز در فشار اتمسفری Gas discharge at atmospheric pressure	

(Glow discharge)، از انواع پلاسمای سرد فشار اتمسفری هستند. انواع پلاسما، ویژگی‌ها و برخی کاربردهای آن‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

۴. کاربرد فناوری پلاسمای سرد در حفاظت از آثار تاریخی

پلاسمای سرد به دلیل ویژگی‌هایی از قبیل دمای پایین و انرژی بالا به‌عنوان یک شیوه نوین و ایمن در حوزه میراث فرهنگی، در بسیاری از موزه‌ها و مراکز تحقیقاتی به‌منظور انجام اقدامات حفاظتی و مرمتی بر روی آثار مختلف موردتحقیق و بررسی قرار گرفته است که برخی از این موارد به‌اجمال شرح داده می‌شوند.

۴-۱. کاربرد پلاسما در درمان آثار فلزی

امروزه فناوری پلاسما در بسیاری از موزه‌ها ازجمله: موزه وال دوآز (Val d′ Oise) در فرانسه[32]، موزه ملی سوئیس، موزه بوهمیا مرکزی (Museum of Central Bohemia in Roztoky) و موزه فنی در Brno، به بخشی از فرایند حفاظت از اشیاء آهنی باستانی تبدیل شده است. ازجمله مزایای این روش، بهبود پاکسازی مکانیکی و تسریع در روند نمک‌زدایی بعدی است[33].

اشمیت-آت (Schmidt-Ott)، از موزه ملی سوئیس، تأثیر درمان پلاسمای سرد (فشار پایین) با استفاده از گاز هیدروژن خالص را بر محصولات خوردگی فلزات شامل نمونه‌های آهنی و نقره‌ای موردبررسی قرار داد[34].

اساس روش شامل تولید هیدروژن اتمی در پلاسمای هیدروژن و احیاء شیمیایی محصولات خوردگی توسط آن است. شیء در محیط پلاسما، دارای بار منفی می‌شود. درنتیجه یون‌های مثبت سطح شیء را بمباران می‌کنند و همان‌طور که بی‌اثر و خنثی می‌شوند، همانند یک عامل احیاکننده‌ی قوی نسبت به هیدروژن نوزاد، عمل می‌کنند.

اشیای آهنی مورد آزمایش شامل تعدادی میخ آهنی از یک سایت باستانی (Site of Wetzikon-Kempten Hinwilerstr) با خوردگی‌های قابل‌توجه بودند. برای بررسی تأثیر درمان بر روی این اشیاء، نمونه‌های متالوگرافی قبل و بعد از درمان آماده شد. سپس مشخصات نمونه (شکل، فرم) در قبل و بعد از درمان پلاسما با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ نوری پلاریزان موردبررسی قرار گرفت. برای بررسی و کنترل فرایند پلاسما از طیف‌سنجی نوری استفاده و همچنین تاثیر درمان بر روی نمونه‌های متالوگرافی بررسی شد.

Archive of SID
www.SID.ir

شکل۴: تصاویری از جام نقره‌ای در قبل و بعد از درمان پلاسما هیدروژن به مدت ۲ ساعت و نیم[34]
Fig. 4: Images of Silver chalice before and after 2.5 hours hydrogen plasma reduction[34]

نمونه‌های نقره‌ای نیز شامل تعدادی از آثار نقره‌ای تاریخی ازجمله یک جام نقره‌ای با لکه‌های تیره و ناهموار بود که با پلاسمای هیدروژن خالص به مدت دو ساعت و نیم درمان شد (شکل۴).

مزایای استفاده از درمان پلاسما، تأثیر مثبت در تسهیل پاکسازی مکانیکی و تسریع نمک‌زدایی بعدی با سولفیت قلیایی برای آثار آهنی باستانی و همچنین قابلیت پلاسمای هیدروژن در احیاء لایه‌های سولفید نقره بود، بدون آنکه تغییری در ساختار سطح و یا تداخلی در اطلاعات موجود در فلزکاری باستانی ایجاد کند[35].

روش احیاء هیدروژن در مقایسه با سایر روش‌های متداول پاکسازی نقره، دارای مزایای فراوانی است، ازجمله اینکه هیچ‌گونه تغییری در ساختار سطح ایجاد نمی‌شود، هیچ‌گونه پس‌مانده ناشی از درمان در داخل یا روی اثر باقی نمی‌ماند و اینکه این روش بدون از دست دادن فلز نقره است. احیاء پلاسما، روشی مناسب برای آثار نقره‌ای تاریخی است، به‌ویژه برای آثاری که برای پاکسازی با روش‌های مکانیکی یا شیمیایی بسیار شکننده و ضعیف هستند[34].

در تحقیقی دیگر فرتنیک کراچما (František Krčma) و همکاران، حذف لایه‌های خوردگی را در سطح اشیای فلزی با استفاده از پلاسمای هیدروژن رادیو فرکانس موردبررسی و مطالعه قرار دادند[33]. این روش بر اساس احیاء محصولات خوردگی، با گونه‌های احیاءکننده مثل اتم‌های هیدروژن و مولکول‌های برانگیخته در پلاسمای تخلیه‌ی تابان هیدروژن در فشار و دمای پایین، است. در پلاسمای تخلیه‌ی تابان، الکترون‌ها به‌وسیله‌ی یک میدان الکتریکی خارجی حاوی انرژی کافی، در میان بسیاری از برهم‌کنش‌های دیگر، شتاب می‌گیرند و مولکول‌های هیدروژن را در دما و فشار پایین به اتم‌های هیدروژن تجزیه می‌کنند. این ذرات فعال با لایه‌های خوردگی در سطح شیء وارد واکنش می‌شوند. سپس لایه‌ی احیاء شده، سست و شکننده و به‌راحتی برداشته می‌شود. علاوه بر آن، فازهای حاوی کلریدها نیز سست و ناپایدار شده و در فاز گازی برداشته می‌شوند.

در این تحقیق از رایج‌ترین فلزات باستانی (آهن، مس، برنز و برنج) برای ایجاد خوردگی مصنوعی استفاده شد. طول درمان پلاسما با توجه به نمونه، نوع خوردگی و چرخه‌ی کار از ۴۰ تا ۱۲۰ دقیقه متغیر بود. لایه‌های خوردگی به‌وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی موردبررسی قرار گرفتند؛ و خواص مشخصه‌ی حذف لایه‌های مختلف خوردگی به‌وسیله‌ی طیف‌سنجی نوری در طول درمان تعیین شد.

نتایج حاصل از این تحقیقات، به‌خوبی قابلیت اجرایی پلاسمای هیدروژن رادیو فرکانس را در از بین بردن خوردگی سطح فلزات باستانی نشان داد. نتایج امکان استفاده از شیوه‌ی تخلیه‌ی پالسی را نیز نشان داد که با کاهش متوسط انرژی کاربردی، دمای نمونه به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد، اگرچه روند درمان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای طولانی‌تر می‌شود. از سوی دیگر فرایند پلاسما تقریباً در همه‌ی موارد مشابه و مؤثر بوده است. این نتایج به‌ویژه برای درمان اشیاء برنزی حساس به دما و یا برای اشیایی با ساختار شکننده (مثل اشیایی با میزان خوردگی بالا) بسیار حائز اهمیت است. دستگاه

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۵: تصاویری از پرتره‌ی داگرئوتایپ: (تصاویر چپ) قبل از درمان، (تصاویر میانی) پس از اولین درمان پلاسما (نیمه‌ی چپ تصاویر)، (تصاویر راست) پس از دومین درمان پلاسما (نیمه‌ی چپ تصاویر)[36]

Fig. 5: Images of 19th century daguerreotype portrait: (left) untreated conditions; (center) after 1st plasma treatment (left side); (right) after 2nd plasma treatment (left side) [36]

طیف‌سنجی نوری حذف قابل‌توجه کلر و نیتروژن را نشان داد، اما حذف سولفور در شرایط موجود پلاسما ضعیف بود.

م. بسلی (M. Boselli) و همکاران در تحقیقی دیگر، امکان استفاده از پلاسمای سرد در فشار اتمسفری را برای تمیز کردن سطح یک تصویر عکاسی داگرئوتایپ (Daguerreotype) خورده شده متعلق به قرن ۱۹م. موردبررسی قرار دادند[36].

سطح داگرئوتایپ‌ها معمولاً با یک لایه‌ی نامنظم تیره و مات پوشیده شده که ترکیب آن از قطعه‌ای به قطعه دیگر متفاوت و بستگی به روش آماده‌سازی و سابقه‌ی احتمالی حفاظت و پاکسازی آن‌ها دارد. قرار گرفتن در معرض رطوبت جوی و سولفور باعث تشکیل یک لایه‌ی فیلم کدر شامل ترکیبات نقره مثل سولفید نقره، اکسید نقره و کلرید نقره می‌شود[37–39]. علاوه بر آن، لایه‌ای از ذرات سیلیکات ناشی از تخریب پوشش شیشه‌ای نیز می‌تواند وجود داشته باشد[40]. در این تحقیق از ترکیب گاز آرگون- هیدروژن، برای حذف محصولات خوردگی بدون استفاده از حلال‌های شیمیایی استفاده شد. قبل از درمان، خوردگی قابل‌توجه یا کدری که باعث تیرگی تصویر عکاسی شده در سطح قابل‌مشاهده بود (شکل ۵).

مشاهدات بصری داگرئوتایپ با عکاسی ماکرو، مستندنگاری شد. مورفولوژی سطح در مقیاس میکروسکوپی با میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) موردبررسی قرار گرفت. همچنین محصولات خوردگی سطح داگرئوتایپ با آنالیزهای غیرتخریبی (SEM-EDS,ATR- FTIR) شناسایی شد.

نتایج حاصل از آنالیزهای FTIR، Raman، EDS–SEM در قبل و بعد از درمان پلاسما نشان داد که درمان در حذف لایه‌ی نازک کدر مؤثر بوده است، بدون اینکه تغییری در مورفولوژی سطح ایجاد کند؛ اما این روش موجب کاهش عناصر محیط ازجمله C,S,Cl و O شد، که احتمالاً به علت کاهش سولفور و کلرورهای نقره‌ی تشکیل‌شده حاصل از واکنش با هوای محیط داخل بوده است.

۴-۲. تأثیر درمان پلاسما بر مواد با پایه‌ی سلولز و پروتئین

توتولین (Totolin) و همکاران، در خصوص استفاده از پلاسمای فرکانس بالا در حوزه‌ی حفاظت و مرمت آثار فرهنگی با اشاره به ضدعفونی، حکاکی و تشکیل لایه‌های محافظ و استحکام‌بخش پلیمری، به مطالعه و بررسی پرداختند[41,42]. در این تحقیق مجموعه‌ای از مواد شاهد بر پایه‌ی سلولز و پروتئین (کتان، کاغذ، ابریشم، پشم و چرم)، با ترکیباتی مشابه با مواد تاریخی

Archive of SID

www.SID.ir

به‌وسیله‌ی پلاسمای فرکانس بالا به مدت ۱ ساعت درمان شدند. برای ارزیابی تأثیر درمان پلاسما بر روی مواد به‌صورت توده و در سطح، نمونه‌ها در قبل و بعد از درمان با روش‌های FTIR، XPS، SEM، XRD و آنالیز عنصری موردبررسی قرار گرفتند.

نتایج آنالیز ATR-FTIR: طیف‌های قبل و بعد از درمان نمونه‌های کتان، تغییرات شیمیایی خیلی کمی را در ناحیه‌ی گروه کربونیل سطح نمونه‌ی بافته نشان داد[45–43]. تغییرات ایجادشده در سطح الیاف کتان در مقیاس نانومتری و نه بیشتر از چندلایه‌ی ماکرومولکولی ایجاد شد[46]. طیف قبل و بعد از درمان نمونه‌های کاغذ، نشان داد که تأثیر پلاسما بر روی کاغذ مشابه با مورد نمونه‌های کتان بود. طیف‌های به‌دست‌آمده از نمونه‌های ابریشم، تغییرات بیشتری را نسبت به نمونه‌های کتان نشان داد. ساختار فایبرون (fibroin) که جزء اصلی پروتئین مربوط به ابریشم طبیعی است، بعد از درمان پلاسما دستخوش تغییرات ناشی از اکسیداسیون در زنجیره‌ی ماکرومولکولی شد. طیف‌های قبل و بعد از درمان نمونه‌های پشم نشان داد که شدت نوارهای جذبی گروه‌های متیل با افزایش زمان درمان کاهش می‌یابد درحالی‌که پلاسما تأثیری بر گروه‌های آمید نداشت. طیف‌های قبل و بعد از درمان نمونه‌ی چرم، تغییرات مشابه با نمونه‌ی پشم را نشان داد که به این معناست که تأثیر پلاسما بر ترکیبات پروتئینی یکسان و فقط در سطح و غیر تخریبی است.

نتایج آنالیز XPS: تکنیک[1] ESCA(XPS) فقط امکان ردیابی الکترون‌هایی را می‌دهد که تحت شرایط خلأ از سطح مواد موردبررسی در عمق ۱۰nm منتشر شده‌اند. با توجه به منشأ سلولزی مشابه در کاغذ و کتان، نتایج XPS برای آن‌ها یکسان بود. نتایج کلیه‌ی نمونه‌های موردبررسی در قبل و بعد از درمان با پلاسما، فرایندهایی از اکسیداسیون ناشی از درمان پلاسما، کاهش کربن و افزایش میزان اکسیژن ناشی از اکسیداسیون را نشان داد. از سوی دیگر نتایج آنالیز عنصری سطح به‌دست‌آمده از ESCA(XPS) عملکرد پلاسما را فقط در سطح و در حد نانومتر تائید می‌کند.

نتایج آنالیز XRD: در نمونه‌های کتان، درجه‌ی بلورینگی در اثر اکسیداسیون و فرایندهای پیوند عرضی ناشی از عمل پلاسما، به‌طور جزئی تحت تأثیر قرار گرفت. در ارتباط با نمونه‌های کاغذ، پلاسما نه در تغییرات ساختاری و نه در درجه بلورینگی تأثیری نداشت. درحالی‌که در نمونه‌ی ابریشم، نظم کریستالی پروتئین و در پشم درجه‌ی بلورینگی تحت تأثیر قرار گرفت. در ارتباط با نمونه‌ی چرم تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در درجه بلورینگی دیده نشد.

نتایج آنالیز SEM: نتایج حاصل از بررسی‌های انجام‌شده با میکروسکوپ الکترونی نشان داد که پلاسما تغییرات شیمیایی و توپوگرافی در سطح لیف ایجاد می‌کند بدون اینکه تأثیری بر بخش‌های داخلی آن داشته باشد.

درنهایت نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های بررسی سطح و حجم نشان داد که تأثیر پلاسما فقط بر سطح و تا عمق چند نانومتر است. استفاده از پلاسمای سرد فرکانس بالا، برای ضدعفونی آثار تاریخی- فرهنگی بر پایه‌ی سلولز طبیعی و مواد پروتئینی توصیه می‌شود. پلاسما در مقایسه با سایر روش‌های مشابه اثر تخریبی بر روی این‌گونه آثار ندارد و یکپارچگی آن‌ها حفظ می‌شود[41].

ج. یوآنید (G. Ioanid) و همکاران، نیز تغییرات ایجادشده به‌وسیله‌ی اجزاء فعال پلاسمای اتمسفری در بستر سلولزی را موردمطالعه قرار دادند[47]. مطالعات روی سه نمونه جلد کاغذی از کتاب‌های تاریخی (مربوط به سال‌های ۱۹۲۰، ۱۹۱۹، ۱۸۵۳م.) متعلق به مجموعه‌های خصوصی انجام شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی، در همه‌ی موارد الیاف کتان را نشان داد که هیچ‌گونه تغییری در تصاویر قبل و بعد از درمان با پلاسمای فرکانس بالا، حتی بعد از ۶۰ دقیقه درمان، ایجاد نشده بود. کاهش تدریجی میانگین درجه‌ی پلیمریزاسیون، با افزایش زمان پلاسمای فرکانس بالا، نشان می‌دهد که درمان طولانی‌مدت برای بستر سلولزی مضر است. در یک جمع‌بندی کلی این مطالعات نشان داد که درمان کوتاه‌مدت، حدود ۳۰ دقیقه، تخریب زیادی در بیوپلیمر مورداستفاده به‌عنوان تکیه‌گاه ایجاد نمی‌کند، اما می‌تواند ناخالصی‌های سطح را که باعث تغییر تکیه‌گاه می‌شوند، از بین ببرد. این درمان‌ها اثر ضد باکتری و ضد قارچ نیز دارند.

Archive of SID
www.SID.ir

۴-۳. کاربرد پلاسما در ضدعفونی آثار چوبی

در مطالعات انجام‌شده توسط لکلایر (Leclaire) و همکاران، کارایی فناوری پلاسمای سرد فشار اتمسفری در ضدعفونی سطوح چوبی آلوده به قارچ، به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای روش‌های رایج ازجمله استفاده از آفت‌کش‌ها، بررسی شد[48].

در این تحقیق که براثر بخشی روش پس‌تاب (afterglow) فشار اتمسفری به‌عنوان یک درمان قطعی تأکید شده است، ابتدا کارایی پس‌تاب پلاسما به‌طور مستقیم بر روی کشت قارچی (pullulans Aureobasidium) بررسی شد. در این مطالعه از ترکیب گاز نیتروژن و اکسیژن، با میزان ۰/۵ و ۲۰٪ اکسیژن در زمان‌های مختلف درمان: ۱، ۲ و ۱۵ دقیقه استفاده شد.

نتایج تحقیقات، کارایی پس‌تاب در غیرفعال کردن اسپورهای قارچی را در ۱۵ دقیقه درمان نشان داد. علاوه بر آن، حتی برای مدت‌زمان کوتاه‌تر، حدود ۲ دقیقه، نیز نتایج مثبت بوده است که مزیت بزرگ چنین محیط‌هایی را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج اولیه، به نظر می‌رسد که ماهیت ترکیب گاز، پارامتر مهمی در فرایند ضدعفونی نیست. همان‌گونه که با افزایش درصد اکسیژن از صفر به ۵٪ و ۲۰٪، تفاوت قابل‌توجهی مشاهده نشد. بااین‌وجود تأثیر پارامترهایی مانند زمان درمان و ترکیب گاز باید موردبررسی بیشتری قرار گیرد.

۴-۴. پاکسازی دوده از سطوح آثار نقاشی با استفاده از پلاسما

راتلج (Rutledge) و همکاران، پاکسازی دوده ناشی از آتش بر روی سطوح نقاشی را با پلاسمای امواج رادیو در محیط اکسیژن موردبررسی قرار دادند. در این تحقیق بررسی فرایند قبل و بعد از پاکسازی با استفاده از مطالعات میکروسکوپی و نور انعکاسی نشان داد که حذف آسیب‌های ناشی از دوده به‌طور یکنواخت و مؤثر از روی سطوح نقاشی امکان‌پذیر است[11].

ج. یوآنید (G. Ioanid) و همکاران، استفاده از پلاسمای سرد فرکانس بالا با استفاده از گاز اکسیژن/آرگون را برای حذف دوده در سطوح نقاشی موردبررسی قرار دادند. در این تحقیق به‌طور خاص از سه رنگدانه طبیعی معدنی، زرد کادمیوم (CdS ZnO)، قهوه‌ای سوخته (Fe_2O_3)، اکسید سبز کروم هیدراته ($Cr_2O\ (OH)_2$) استفاده شد. تصاویر SEM خوردگی جزئی بست را در طول درمان نشان داد. بعد از درمان پلاسما تغییرات قابل‌توجهی در هیچ‌یک از رنگدانه‌های موردمطالعه دیده نشد؛ بنابراین، پلاسما فرکانس بالا را می‌توان به عنوان یک روش پاکسازی جزئی برای حذف دوده انباشته شده در سطح لایه تصویری سطوح نقاشی موردتوجه قرار داد[49].

۴-۵. پروژه اتحادیه اروپا-پانا (پلاسما و نانو برای عصر جدید حفاظت نرم، EU-PANNA[2])

پروژه‌ی PANNA، پلاسما و نانو برای عصر جدید حفاظت نرم، پروژه‌ی مشترک اتحادیه‌ی اروپا با تمرکز بر شیوه‌های جدید پاکسازی و حفاظت از آثار فرهنگی با استفاده از پلاسمای اتمسفری است که در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۴ م. انجام شده است[50].

ازجمله اهداف پروژه، پاکسازی انواع مختلف مواد (با توسعه‌ی مشعل جدید پلاسما)، پوشش‌های محافظ جدید آبگریز و برگشت‌پذیر و همچنین حذف کامل آن‌ها بعد از کهنگی است. در این راستا پروژه‌های مختلفی در اتحادیه‌ی اروپا تعریف و اجراشده است. در ادامه نتایج برخی از پروژه‌های انجام‌شده در قالب پروژه‌ی PANNA به‌طور خلاصه ذکر می‌شود.

۴-۵-۱. پاکسازی ورنی در تصویر قرن ۱۸م. نیکلاس مقدس (SAINT NICHOLAS)

میلیانا (Milyana) و همکاران، روش پاکسازی پلاسمای اتمسفری (Ar/O_2) را به‌عنوان یک جایگزین مناسب، برای پاک کردن ورنی روغنی Olifa[3] موردبررسی و مطالعه قرار دادند. به‌طور سنتی برای پاک کردن ورنی فوق از حلال‌های شیمیایی و ابزارهای مکانیکی استفاده می‌شود. این تحقیق بیشتر بر مقایسه‌ی روش‌های سنتی و درمان پلاسما برای پاکسازی ورنی Olifa متمرکز شد[50,51]. مطالعات بر روی تصویر نیکلاس مقدس

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۶: تصویری از قبل (چپ) و بعد از درمان پاکسازی پلاسما (راست)[50]

Fig. 6: Russian icon before(left) and after(right) plasma cleaning[50]

متعلق به قرن ۱۸م. روسیه (شکل ۶) صورت گرفت. ورنی Olifa مورداستفاده در این نقاشی، به‌وسیله‌ی نور UV، میکروسکوپ نوری، IR و رنگ‌سنجی در قبل و بعد از پاکسازی، بررسی شد. مزیت اصلی درمان بدون تماس با پلاسما (بدون مداخلات فیزیکی و مکانیکی با سطح مورد درمان)، عدم ایجاد هرگونه تغییر شیمیایی و مکانیکی در لایه‌های رنگ زیرین است. علاوه بر آن، با پاکسازی پلاسما به استحکام‌بخشی مقدماتی سطح درمان نیازی نیست و درنتیجه از بروز اشکالات بعدی جلوگیری می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که پاکسازی پلاسما هیچ تأثیر منفی بر روی لایه‌های اصلی رنگ نداشته و درجه‌ی پاکسازی بیشتر از حد انتظار بوده است؛ بنابراین استفاده از پلاسما برای حذف ورنی Olifa به‌عنوان یک جایگزین و یا مکمل روش‌های رایج پیشنهاد می‌شود[51].

۴-۵-۲. حذف لایه‌های سطحی روغنی در نقاشی‌های دیواری

پنهان شدن نقاشی‌های دیواری اصلی در زیر لایه‌های نقاشی روغنی، از مشکلات شایع در حفاظت از کلیساهای ارتودوکس شرقی است. حذف این نقاشی‌های سطحی که

شکل ۷: قطعه‌ای از نقاشی دیواری، قبل از درمان (قسمت راست تصویر) و بعد از ۲ دقیقه درمان با پلاسما (قسمت چپ تصویر)[52]

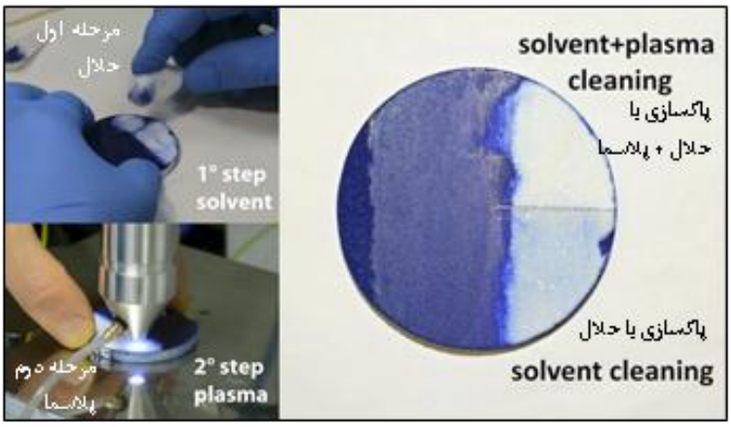
Fig. 7: Wall painting fragment. Before treatement (right side) and after treatement with plasma for two minutes (left side) [52]

پاکسازی سنتی که ترکیبی از روش‌های شیمیایی و مکانیکی است، علاوه بر وقت‌گیر بودن، می‌تواند به لایه نقاشی زیرین نیز آسیب برساند. کامنووا (Kamenova) و همکاران مزایای استفاده از ترکیب درمان پلاسما با روش‌های سنتی را در چنین مواردی بررسی کردند[52]. تحقیقات ابتدا بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی، سپس بر روی قطعات اصلی نقاشی دیواری متعلق به کلیسایی در بلغارستان (St. George church in Golyamo Belovo, Bulgaria) انجام شد به این منظور ابتدا سطوح قطعات با پلاسما درمان (شکل ۷) و سپس رنگ‌روغن با استفاده از حلال آلی و به کمک بیستوری، به‌طور کامل برداشته شد. در مرحله آخر پاکسازی شیء در جا (In situ) و در محل کلیسا بود که سه ناحیه‌ی مختلف بر طبق روش‌های رایج برای پاکسازی قطعات، درمان شدند. تأثیر پاکسازی ترکیبی (روش پلاسما+ روش‌های سنتی) با نتایج حاصل از روش‌های پاکسازی سنتی (بدون پلاسما) مقایسه شد. نتایج نشان داد که پیش‌درمان پلاسما علاوه بر کاهش زمان درمان و درنتیجه کاهش خطر آسیب به لایه‌های نقاشی زیرین، حذف رنگ‌روغن را آسان می‌کند[52].

۴-۵-۳. استفاده از پلاسما در پاکسازی سطوح معماری

ولتولینا (Voltolina) و همکاران، انواع مشعل‌های پلاسمای اتمسفری را به‌عنوان ابزار پاکسازی برای پاک کردن

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۸: نتایج به‌دست‌آمده با دو روش پاکسازی: (حلال) و (ترکیب حلال و پلاسما) [50]
Fig. 8: results obtained with the 2 methods of cleaning:solvent and Solvent+plasma[50]

سطوح سنگی و نقاشی‌های دیواری موردبررسی و مطالعه قرار دادند. در این تحقیق که در قالب پروژه PANNA انجام شد، حذف گچ و دوده و همچنین پلیمرهای جدید و قدیمی و گرافیتی به‌وسیله انواع ابزارهای تجاری پلاسما بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه‌های اصلی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیقات، قابلیت‌ها و اشکالات مشعل‌های تجاری پلاسما را به‌عنوان ابزار پاکسازی نشان داد و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مشعل‌های جدید پلاسما در حوزه‌ی حفاظت از میراث فرهنگی طراحی شدند[53].

با طرح پیشنهادی پروژه PANNA برای پاکسازی گرافیتی از سطوح تاریخی شهر به‌وسیله‌ی روش پلاسما، اجرای آزمایشی پاکسازی در محل میدان Prato delle Valle در شهر پادووا (Padova) ایتالیا، با همکاری موسسه‌ی شیمی معدنی و شورای ملی تحقیقات انجام شد[54,55]. پاکسازی پلاسما (آرگون+اکسیژن) در مرحله‌ی دوم بعد از پاکسازی با حلال (ایزوپروپانول Iso propanol) انجام شد. نتایج این پاکسازی که به حذف کامل گرافیتی منجر شد، بسیار رضایت‌بخش بود. تصویر نهایی در سمت راست (شکل ۸)، با مقایسه دو روش پاکسازی، نتیجه بهتر پاکسازی را با ترکیب حلال و پلاسما به‌خوبی نشان می‌دهد[50].

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس کنوانسیون استکهلم[۴] در خصوص حفظ محیط‌زیست و کارکنان، ایده‌ی جایگزینی درمان‌های مضر که در آن از روش‌ها و مواد سمی استفاده می‌شود، با درمان‌های غیرسمی و غیرتخریبی و دوستدار محیط‌زیست افزایش یافته است. در میان روش‌های استاندارد مرمت، استفاده از فناوری پلاسما، درمانی جدید در حوزه‌ی میراث فرهنگی است که به‌عنوان یک روش غیرتخریبی و کارآمد گزارش شده است. درمان پلاسما روشی است غیر تماسی که با توجه به نوع و شرایط نمونه و نوع درمان، شرایط به‌طور موردی برای هر نمونه طراحی می‌شود، این روش تغییرات ساختاری در مواد ایجاد نمی‌کند و مواد شیمیایی مورداستفاده در آن بسیار کمتر از درمان‌های رایج است. علاوه بر این زمان درمان کوتاه و آلودگی محیطی کم، از دیگر مزایای این روش محسوب می‌شود. اگرچه با روش پلاسما اطلاعات فراوان ناشناخته‌ای از اشیاء ظریف نیز آشکار می‌شود، اما بااین‌وجود کارایی و ایمنی روش پلاسما در مورد آثار ظریف باید با دقت بیشتری موردتوجه قرار گیرد. به‌عبارتی‌دیگر در برخی موارد چنین تکنیکی ممکن است برای آثار بسیار ظریف مناسب نباشد. لازم به ذکر است که متغیرهای مختلفی در روند پاکسازی نقش دارند، ازیک‌طرف ضخامت و یا نوع آلاینده و همچنین میزان سختی و ناهمواری سطح موردنظر و از طرف دیگر نوع درمان پلاسما، زمان درمان و انتخاب ترکیب گاز؛ بنابراین قبل از هرگونه تصمیمی در انتخاب نوع درمان سطح، انجام آزمایش‌های مختلف در محل ضروری است.

Archive of SID
www.SID.ir

امروزه درمان پلاسما برای مواد مختلف مثل منسوجات، کاغذ، الیاف سلولزی، چرم، چوب، مواد پلیمری و سرامیکی، استفاده می‌شود. حتی در بسیاری از مراکز به بخشی از فرایند حفاظت از آثار آهنی باستانی تبدیل شده است؛ اما علیرغم موارد ذکرشده، پلاسما هنوز یک روش رایج و مرسوم در بحث عملی حفاظت محسوب نمی‌شود. در پایان متذکر می‌شود که هر نمونه‌ی موردمطالعه با توجه به ساختار آلی و غیر آلی بودن آن، به تجهیزات و شرایط خاصی برای ایجاد محیط پلاسما نیاز دارد که خارج از موضوع بحث ما بوده، به همین دلیل در اینجا از شرح جزئیات شرایط درمان و تجهیزات مورداستفاده صرف‌نظر شده است.

پی‌نوشت‌ها

1. Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (X-ray Photoelectron Spectroscopy)
2. Europe-Plasma and Nano for New Age Soft Conservation

۳. نام ورنی مورد استفاده در شمایل‌های روسی بر پایه روغن بزرک جوشانده همراه با مقدار کمی از استات کبالت ۳٪ یا لیتارژ (مونو اکسید سرب) به‌عنوان تسریع‌کننده پلیمریزاسیون روغن است[56].

۴. کنوانسیون استکهلم یک توافق بین‌المللی قانونی با هدف حفاظت از سلامت انسان و محیط‌زیست در برابر آلاینده‌های آلی پایدار و برنامه‌ریزی جهت کاهش و حذف کاربرد آن‌ها است که در سال ۲۰۰۲ م. تصویب شده است. کشور ایران نیز در سال ۱۳۸۵ رسماً به این کنوانسیون پیوست.

References

[1] Hoffman BT. Art and cultural heritage: law, policy and practice. Cambridge University Press; 2006.

[2] Radkova L, Fojtikova P, Kozakova Z, Krcma F, Sazavska V, Kujawa A. Sample Temperature During Corrosion Removal by Low Pressure Low-Temperature Hydrogen RF Plasma. Rom Rep Phys 2015;67:586–99.

[3] Buzatu OL, Goras BT, Goras L, Ioanid EG. Evaluation of the Plasma cleaned surface of a Heritage wooden painting using LQA Methods. Acta Tech Napocensis 2012;53:9.

[4] Daniels VD, Holland L, Pascoe MW. Gas plasma reactions for the conservation of antiquities. Stud Conserv 1979;24:85–92.

[5] Scheider JP, Vepřek S. Application of low-pressure hydrogen plasma to the conservation of ancient iron artifacts. Stud Conserv 1986;31:29–37. doi:https://doi.org/10.1179/sic.1986.31.1.29.

[6] Vepřek S, Eckmann C, Elmer JT. Recent progress in the restoration of archeological metallic artifacts by means of low-pressure plasma treatment. Plasma Chem Plasma Process 1988;8:445–66. doi:https://doi.org/10.1007/BF01016059.

[7] Sjøgren A, Buchwald VF. Hydrogen plasma reactions in a DC mode for the conservation of iron meteorites and antiquities. Stud Conserv 1991;36:161–71.

[8] Schmidt-Ott K, Boissonnas L. Low-pressure hydrogen plasma to the conservation of ancient iron artefacts. Stud Conserv 2002;31:29–37.

[9] Vohrer U, Trick I, Bernhardt J, Oehr C, Brunner H. Plasma treatment—an increasing technology for paper restoration? Surf Coatings Technol 2001;142:1069–73. doi:https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01280-4.

[10] Ioanid EG, Ioanid A, Rusu DE, Popescu C-M, Stoica I. Surface changes upon high-frequency plasma treatment of heritage photographs. J Cult Herit 2011;12:399–407. doi:https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.04.002.

[11] Rutledge SK, Banks BA, Forkapa M, Stueber T, Sechkar E, Malinowski K. Atomic oxygen treatment as a method of recovering smoke-damaged paintings. J Am Inst Conserv 2000;39:65–74. doi:https://doi.org/10.2307/3179964.

[12] Totolin MI, Ioanid GE, Neamtu I. Plasma chemistry and the environment. Environ Eng Manag J 2009;8. doi:https://doi.org/10.30638/eemj.2009.219.

[13] Xaplanteris CL, Filippaki E. Chaotic Behavior of Plasma Surface Interaction: A Table of Plasma Treatment Parameters Useful to the Restoration of Metallic Archaeological Objects. Chaotic Syst. Theory Appl., World Scientific; 2010, p. 377–84.

[14] Plasma technology, Diener electronic GmbH+Co.KG. Germany 2007.

[15] Plasma Technology, Process Diversity, Sustainability. 2001.

[16] Margot J. la physique des plasmas; La Physique au Canada. vol. 4. 2012: 68(4):183

[17] Raimbault J-L. Introduction à la Physique des Plasmas. Faculté des Sciences d'Orsay, Paris-Sud-XI, Laboratoire de Physique des Plasmas. 2012-2013.

Archive of SID
www.SID.ir

[18] Rausher H, Perucca M, Buyle G. Plasma Technology for hyperfunctional surfaces 2010.
[19] Nehra V, Kumar A, Dwivedi HK. Atmospheric non-thermal plasma sources. Int J Eng 2008;2:53–68.
[20] Jögl, I et al. plasma treatment for environment protection. EU 2012.
[21] Rahimi S. Sterilization and Sterilizer devices. Mashhad: Lotus Publishing; 2017. [in Persian]
[رحیمی سارا. استریلیزاسیون و دستگاه‌های استریلایزر. مشهد: انتشارات لوتوس؛ ۱۳۹۶.]
[22] MohammadiKia M, Jamshidian M. Plasma Technology and Its applications in the food packaging. first Natl. Conf. Dev. a Compr. Strateg. Tehran: Iran National Quality Award; 2014. [in Persian]
[محمدی‌کیا میلاد، جمشیدیان مجید. فناوری پلاسما و کاربردهای آن در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی. نخستین کنفرانس ملی توسعه کیفیت راهبردی فراگیر در سلامت غذا. تهران: انجمن مدیریت کیفیت ایران؛ ۱۳۹۳.]
[23] Malik T, Parmar S. Use of plasma Technology in Textiles. Fibre2Fashion Pvt Ltd 2018. https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1798/use-of-plasma-technology-in-textiles (accessed May 20, 2018).
[24] Decina A. Plasma For Materials. Plasmaprometeo; Cent Excell Res Dev Technol Transf F Appl Plasmas 2013. http://www.plasmaprometeo.unimib.it/index4a97.html?page_id=549 (accessed May 8, 2018).
[25] A Hashemi A, Khatibi S. Plasma technology and its applications in waste disposal. Application of chemistry in the environment, Islamic Azad University, Ahar branch 2010; 1(3):35–45. [in Persian]
[اصل هاشمی احمد، خطیبی شاکر. تکنیک پلاسما و کاربرد آن در دفع مواد زائد. کاربرد شیمی در محیط زیست؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد اهر. ۱۳۸۹؛ ۱(۳): ۳۵–۴۵.]
[26] Taylor W. Technical synopsis of plasma surface treatments. Univ Florida, Gainesville, FL 2009.
[27] Mazloom S, F Shojaei M, Kamani M, Mirzaei H. An review on the possibility of using cold plasma technology in the packaging industry. J Packag Sci Technol 2013; 4(14):48–61. [in Persian]
[مظلوم سوگل، فلاح شجاعی مونا، کمانی محمدحسن، میرزایی حبیب‌الله. مروری بر امکان استفاده از فناوری پلاسمای سرد در صنعت بسته‌بندی. فصلنامه علمی–ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی. ۱۳۹۲؛ ۴(۱۴): ۴۸–۶۱]
[28] Matsumoto T, Wang D, Namihira T, Akiyama H. Non-thermal plasma technic for air pollution control. Air Pollution-A Compr. Perspect., In Tech; 2012. doi: https://doi.org/10.5772/50419.
[29] Meyer-Vernet N. Les plasmas, quatrième ètat de la matière. Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique Observatoire de Paris; CNRS. Universite A. Rodin. 2017.
[30] Cormier J M. Dépollution des effluents gazeux par plasma; A la pointe de l'instrumentation et de la technologie. Centre National de la Recherche Scientifique:(CNRS) France. n.d. http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP200304/18Cormier.pdf (accessed Feb 30, 2018).
[31] Shishoo R. Plasma technologies for textiles. Elsevier; 2007. doi:https://doi.org/10.1533/9781845692575.
[32] Kotzamanidi I, Anastassiadis A, Filippaki L, Filippakis SE, Vassiliou P, Sarris E. Effects of plasma cleaning and conservation treatment on the corrosion layer of corroded steel–XRD evaluation. Anti-Corrosion Methods Mater 2002;49:256–63. doi:https://doi.org/10.1108/00035590210431755.
[33] Krčma F, Sázavská V, Zemánek N, Řádková L, Fojtíková P, Přikryl R, et al. Reduction of Corrosion Layers in Low Temperature Plasma. Proc. XVIIIth Symp. Phys. Switch. Arc, 2009, p. 60–9.
[34] Schmidt-Ott K. Plasma-reduction: Its potential for use in the conservation of metals. Proc Met 2004;4:235–46.
[35] Schmidt-Ott K. Applications of low pressure plasma treatment at the Swiss National Museum and assessment of the results. Zeitschrift Für Schweizerische Archäologie Und Kunstgeschichte 1997;54:45–50.
[36] Boselli M, Chiavari C, Colombo V, Ghedini E, Gherardi M, Martini C, et al. Atmospheric pressure non-thermal plasma cleaning of 19th century daguerreotypes. Int. Conf. Plasma Sci. (ICOPS), San Fr. CA, 2013.
[37] Barger MS, Giri AP, White WB, Edmondson TM. Cleaning daguerreotypes. Stud Conserv 1986;31:15–28.
[38] Centeno SA, Meller T, Kennedy N, Wypyski M. The daguerreotype surface as a SERS substrate: characterization of image deterioration in plates from the 19th century studio of Southworth & Hawes. J Raman Spectrosc An Int J Orig Work All Asp Raman Spectrosc Incl High Order Process Also Brillouin Rayleigh Scatt 2008;39:914–21. doi:https://doi.org/10.1002/jrs.1934.
[39] Barger MS, Messier R, White WB.

Archive of SID
www.SID.ir

Nondestructive assessment of daguerreotype image quality by diffuse reflectance spectroscopy. Stud Conserv 1984;29:84–6.
[40] Turovets I, Maggen M, Lewis A. Cleaning of daguerreotypes with an excimer laser. Stud Conserv 1998;43:89–100.
[41] Totolin M, Macocinschi D, Ioanid GE, Filip D, Ioanid A. Materials supports for cultural heritage objects treated in cold plasma. Optoelectron Adv Mater-Rapid Commun 2007;1:309–14.
[42] Totolin M, Cazacu G, Vasile C. Cellulosic materials modification by physical and chemical methods. Fine Struct Papermak Fibres, COST Action E54 Book,(Eds P Ander, W Bauer, S Heinemann, P Kallio, R Passas A Treimanis), COST Off Brussels 2011:27–38.
[43] Jung HZ, Ward TL, Benerito RR. The effect of argon cold plasma on water absorption of cotton. Text Res J 1977;47:217–23. doi:https://doi.org/10.1177/004051757704700312.
[44] Ward TL, Benerito RR. Modification of cotton by radiofrequency plasma of ammonia. Text Res J 1982;52:256–63. doi:https://doi.org/10.1177/004051758205200405.
[45] Malek RMA, Holme I. The effect of plasma treatment on some properties of cotton. Iran Polym J 2003;12:271–80.
[46] Fisher ER. A Review of Plasma-Surface Interactions During Processing of Polymeric Materials Measured Using the IRIS Technique. Plasma Process Polym 2004;1:13–27. doi:https://doi.org/10.1002/ppap.200400011.
[47] Ioanid G, Ioanid A, Rusu D. High frequency cold plasma possibility of applica-tion in the stationare cultural heritage field. Eur J Sci Theol 2010;6:83–92.
[48] Leclaire C, Lecoq E, Orial G, Clement F, Bousta F. Fungal decontamination by cold plasma: an innovating process for wood treatment. Braga COST Action IE0601/ESWM-International Conf., 2008, p. 5–7.
[49] Ioanid G, Ioanid A, Rusu D, Salajean D. Behaviour under high frequency plasma treatment of some pigments used for painting of religious icons on wood. Eur J Sci Theol 2011;7:79–89.
[50] Patelli A, Favaro M, Simon S, Storme P, Scopece P, Kamenova V, et al. PANNA Project–Plasma and Nano for New Age Soft Conservation. Development of a Full-Life Protocol for the Conservation of Cultural Heritage. Euro-Mediterranean Conf., 2012, p. 793–800.
[51] Milyana, S et al. Cleaning of varnish on 18th century russian icon Saint Nicholas by means of atmospheric pressure plasma. 6th Int. Congr. Sci. Technol. Safeguard Cult. Herit. Mediterr. Basin, Athens,Greece: 2013.
[52] Kamenova, V et al. Oil overpaintings removal using atmospheric pressure plasma. VALMAR-Roma: 2014.
[53] Voltolina S, Aibéo C, Cavallin T, Egel E, Favaro M, Kamenova V, et al. Assessment of atmospheric plasma torches for cleaning architectural surfaces. Built Herit 2013;4:1051–7.
[54] Aibeo C, Egel E, Pamplona M, Simon S. Cleaninig graffiti and soot with atmospheric plasma. Berliner Beitrage Zur Archaom Kunsttechnologie Und Konserv 2014;22:69–76.
[55] Plasma cleaning for Prato delle Valle. PANNA Proj 2016.
[56] Anca Sandu IC, Bracci S, Lobefaro M, Sandu I. Integrated methodology for the evaluation of cleaning effectiveness in two Russian icons (16th–17th centuries). Microsc Res Tech 2010;73:752–60.

Archive of SID

www.SID.ir