

# دانشگاه میراث فرهنگی



## کاربرد اسفنج نانومغناطیس در تمیز کاری آثار هنری<sup>۱</sup>

بوئینی، ام لenz، اس جیورجی، ر باگلیونی، پی

**Nonomagnetic Sponges for the Cleaning of Works of Art**  
Massimo Bonini, Sebastian Lenz, Rodorico Giorgi, and Piero Baglion

Translate English to Farsi by: Adele Mohtasham

مترجم: عادلہ محتشم

دانشجوی دوره ی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی - فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان  
Adele.Mohtasham@yahoo.com

### چکیده

این مقاله، به بررسی ساختار و ویژگی های نانوذرات مغناطیسی در ترکیب با ژل های شیمیایی و کاربرد آن ها در حفاظت از میراث فرهنگی می پردازد. نانوذرات مغناطیسی زمانی که همراه با پلیمرهای آکریلامید اتیلن اکساید به کار می روند، ساختار اسفنج ماندی را به وجود می آورند که می تواند با میکروامولسیونهای روغن - آب بارگیری شده و با ایجاد سیستمی ژل مانند و دارای قدرت مغناطیسی به عنوان یک هیدروژل پایدار مورد استفاده های گوناگون قرار گیرد. این سیستم مغناطیسی می تواند در موارد خاص به همراه شوینده ها و حلال های گوناگون به کار رود. این سیستم همچنین می تواند از شوینده ها و حلال های به کار رفته پاکسازی شده و بعد از خشک شدن مجدداً مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله کاربرد این سیستم در زمینه ی حفاظت از میراث فرهنگی مورد مطالعه قرار گرفته است.

### اسفنج های نانو مغناطیس

ها بود که در بسیاری از موارد منجر به برداشته شدن لایه های ارزشمند از سطح نقاشی های سه پایه ای و دیواری می شد. اما شبکه ی ژل با سلب توانایی تحرک از مولکول های حلال، نفوذ موینگی و نیز تبخیر سطحی آنها در سطح آثاری هنری را کاهش می دهد. تکنیک تمیز کاری با ژل روشی انعطاف پذیر است، چرا که بسیاری از حلال های آلی و واکنشگرهای پاک کننده (همچون آنزیم ها و عوامل کی لیت ساز) را می توان به صورت ژل در آورده و جهت تمیز کاری آثار هنری به کار برد. به این صورت، امکان انتخاب حلالی مناسب جهت زدودن آلودگی ها، ورنی ها و پلیمرهای سنتزی که در گذشته جهت حفاظت از آثار کاربرد داشته و به مرور زمان به عامل مخرب این آثار تبدیل شده اند فراهم می شود. متناسفانه تمیز کاری با استفاده از این ژل ها، عاری از عیب نیست. معمولاً بعد از تمیز کاری مقداری از

سیستم های ژل مانند از اواسط قرن نوزدهم میلادی در زمینه های مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند. امروزه این مواد در صنایع آرایشی - بهداشتی، صنایع غذایی، صنایع دارویی و نیز تولید محصولات مختلفی چون رنگ ها و سرامیک ها کاربرد گسترده ای یافته اند. این مواد حالت ژلاتینی خود را طی فرایندهای شیمیایی پلیمریزاسیون به دست آورده و سیالیت آنها نیز با تغییرات دما تغییر می کند.

کاربرد این ژل ها در زمینه ی مرمت آثار تاریخی اولین بار توسط ولبرز (wolbers) مطرح شد (تمیز کاری نقاشی های رنگ و روغن). کاربرد حلال ها در سیستم ژلاتینی، بر کاربرد حلال های آلی به شکل معمول، که شدیداً به سطح نقاشی نفوذ کرده و موجب آسیب می شدند، برتری یافت. پایین بودن قدرت انتخاب و کنترل عملیات تمیز کاری با حلال های آلی به شکل معمول، از دلایل بروز این آسیب

1 - Langmuir 2007, 23, 8681-8685



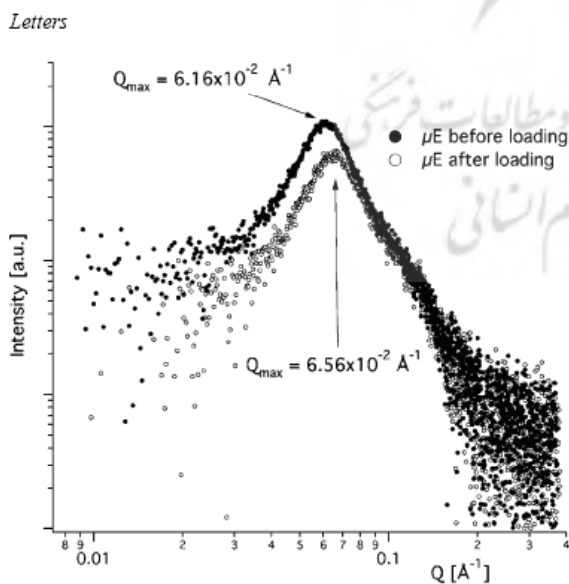
در ساختار اسفنج پلیمری، یک اسفنج مرجع (بدون ذرات نانومغناطیس) طی همین فرآیند تهیه می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اسفنج نانومغناطیس، همانطور که شرح داده شد، رفتاری همچون دیگر انواع هیدروژل‌ها (اسفنج مرجع) از خود نشان می‌دهد.

ژل نانومغناطیس دارای آرایش برگشت پذیر است. در حقیقت این ژل می‌تواند طی فرآیند **Freeze Drying** به پودر تبدیل شده و مجدداً با جذب آب، حالت ژلاتینی خود را به دست آورد. نهایت تورم (نهایت ظرفیت جذب آب) اسفنج نانومغناطیس را می‌توان با افزودن مقداری آب به اسفنج خشک به دست آورد. در این شرایط ژل نانومغناطیس به انتهای ظرف فرو می‌رود، اما تکه تکه و یا حل نمی‌شود و به سادگی می‌توان با استفاده از یک مغناطیس دیگر یا انبرک پلاستیکی آن را جایجا کرد. در واقع اسفنج نانومغناطیس به واسطه‌ی ساختار منسجمی که دارد به راحتی با انبرک جابه جا شده و با یک چاقو یا قیچی بریده می‌شود. این خصوصیت ژل نانومغناطیس، آن را برای کاربردهای مختلف مناسب می‌سازد.

ژل نانومغناطیس بارگیری شده با محلول‌های میسلی یا میکرومولسیون‌ها، ژل شیمیایی هوشمندی است که از پیشرفته‌ترین و انعطاف پذیرترین سیستم‌ها برای تمیزکاری آثار هنری به شمار می‌رود، بدون اینکه هیچ گونه عارضه‌ی جانبی برای اثر به همراه داشته باشد. این نانوسیستم‌ها تحولی اساسی در زمینه‌ی تمیزکاری آثار تاریخی محسوب می‌شوند. این روش جدید تاثیر قابل توجهی بر سایر روش‌های رایج در زمینه‌ی مرمت آثار تاریخی خواهد داشت.

اسفنج نانومغناطیس از ایجاد اتصالات عرضی نانوذرات مغناطیسی محدود شده در یک شبکه‌ی پلیمری بر پایه‌ی پلی اتیلن گلیکول (PEG) و پلی اکریلامید، به دست می‌آید. یک سیال حاوی آهن مرکب از ذرات  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  معلق در آب (قطر ۸ نانومتر، ۱ گرم بر میلی لیتر)، بر مبنای روش ماسارت به دست می‌آید. برای برقراری اتصالات عرضی میان ذرات از یک پلیمر بر مبنای پلی اتیلن گلیکول (PEG-MA) استفاده می‌شود که این پلیمر از طریق فرایند استری شدن پلی اتیلن گلیکول با مالیک انیدرید (MA) به دست می‌آید. مولوکول‌های این پلیمر (PEG-MA) شامل گروه‌های کربوکسیلیک در دو انتهای زنجیر PEG هستند. همان طور که گفته شد، واکنش اتصال بین نانوذرات مغناطیس و اسیدهای کربوکسیلیک، زوج کاملی از سرگروه کربوکسیلیک را بر سطح ذرات جانشین می‌کند. در نتیجه، پلیمر حاصل (PEG-MA) مستقیماً با نانوذرات مغناطیسی واکنش داده، یک سیال مغناطیسی با ویسکوزیته‌ی پایین را ایجاد می‌کند. بعد از آن آکریلامید و محلول N و N' - متیلن بیس آکریلامید نیز به محیط واکنش اضافه شده و واکنش پلیمریزاسیون در دمای ۴۲ درجه‌ی سانتی گراد و مدت زمان ۴ ساعت، در حضور پرسولفات آمونیوم به عنوان آغازگر رادیکالی انجام می‌گیرد. به این طریق نانوذرات مغناطیسی در ساختار ژل جاسازی می‌شوند که این فرآیند از طریق واکنش پیوندهای دوگانه‌ی آکریلامید یا N و N' - متیلن بیس آکریلامید، با پیوند دوگانه‌ی حاصل از واکنش استری شدن پلی اتیلن گلیکول با انیدرید مالیک صورت می‌گیرد (رجوع کنید به <http://pubs.acs.org>).

در پایان فرآیند پلیمریزاسیون، دو فاز حاصل می‌شود: یک فاز مایع شفاف در بالا و یک فاز مغناطیسی سیاه رنگ که در ته ظرف رسوب می‌کند. فاز مغناطیسی سیاه‌رنگ به سادگی و به وسیله‌ی یک مغناطیس دیگر، جمع‌آوری و از فاز شفاف جدا می‌شود. PH اسفنج نانومغناطیس حاصل حدوداً برابر با ۱ است. این اسفنج با آب مقطر شسته می‌شود تا PH آن به حدود ۵/۵ برسد. برای بررسی ذرات نانومغناطیس

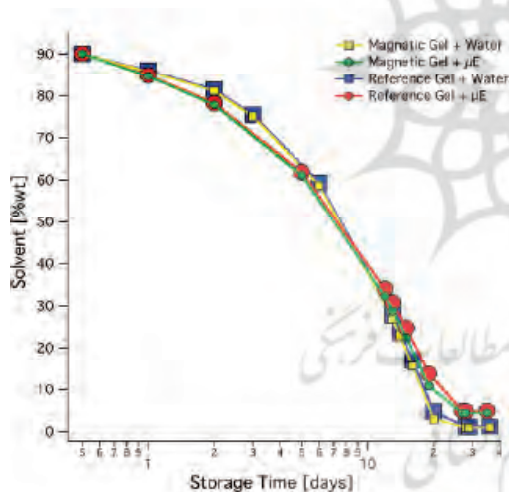


تصویر ۲: منحنی‌های SAXS مربوط به میکرومولسیون قبل از بارگیری در ساختار ژل نانومغناطیس و بعد از خارج کردن آن

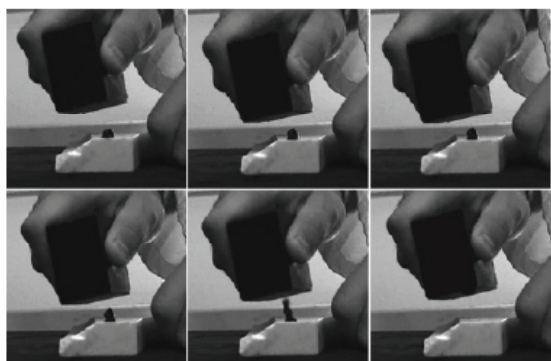
صدها نانومتر در ساختارش است. علاوه بر این، ذرات ژل های پلی آکرلامید با ساختاری مشابه آنچه در این جا مطرح شده است، ابعاد گوناگونی از ۱۰ تا ۱۰۰۰ Å دارند (رجوع کنید به <http://pubs.acs.org>)). بنابراین مکانیسم تمیزکاری با محلول های میسلی یا میکروامولسیون ها چه زمانی که به تنهایی به کار روند و چه زمانی که در ساختار ژل پلی آکرلامید بارگیری شوند، این اجازه را می دهد که میکروامولسیون ها یا ذرات محلول میسلی، به سطح ژل نانومغناطیس حرکت کرده و تماس بیشتری با سطح اثر برقرار کنند و به این صورت ماده ی مورد نظر (الودگی، ورنی یا پارالوئید و...) را در خود حل کرده و به ساختار ژل انتقال دهند.

از آنجا که میکروامولسیون ممکن است به ساختار ژل نانو مغناطیس در طول زمان آسیب برساند، ژل نانو مغناطیس معمولا به صورت یک پودر خشک یا یک هیدروژل نگهداری می شود. برای این منظور، میکروامولسیون به طریق شستشو با آب یا با فشردن اسفنج نانو مغناطیس از آن زدوده می شود. بعد از تمیزکاری سطح آثار هنری می توان اسفنج نانو مغناطیس را خشک کرده و مجددا مورد استفاده قرار داد.

برای کاربردهای ویژه در علم مرمت، اسفنج نانومغناطیس با میکروامولسیون آب- روغن بارگیری می شود. میکروامولسیون مورد نظر به این صورت تهیه می شود: مواد فعال در سطح (۱- پنتانول) قطره قطره به محلول آبی سدیم دودسیل سولفات، در دمای اتاق اضافه می شود تا محلولی شفاف به وجود آید. در نهایت یک ترکیب روغنی نیترو دیلوئیت ( ترکیب تجاری گزیلن ها و مشتقات کلر، که به عنوان حلالی جهت زدودن پارالوئید، به کار می رود) و گزیلن در دمای اتاق به محلول اضافه می شود تا یک سیستم پایدار به وجود آید. میکروامولسیون تشکیل شده از ذرات با ابعاد نانو (حدود ۸ نانومتر) در فاز آبی پیوسته پراکنده می شوند. بارگیری میکروامولسیون در ساختار اسفنج نانومغناطیس نیز همچون آب با غوطه ور کردن یک قطعه از اسفنج نانومغناطیس، به یک ظرف حاوی میکروامولسیون انجام می گیرد. بعد از ۱۰ دقیقه، ژل به وسیله ی انبرک پلاستیکی از محلول خارج شده و برای تمیزکاری آثار هنری به کار می رود. این نکته قابل توجه است که اگر قطرات میکروامولسیون به قدر کافی کوچک نباشند، باز هم در سراسر شبکه ی ژل نانومغناطیس پخش می شوند، چرا که از ویژگی های بارز ژل پلی آکرلامید وجود خلل و فرجی با ابعاد



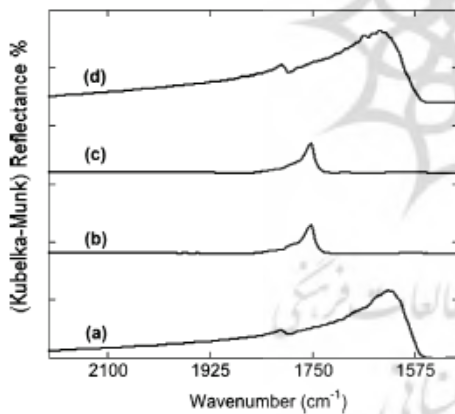
تصویر ۳: منحنی های دهیدراسیون ژل نانومغناطیس و ژل مرجع (ژل بدون ذرات نانومغناطیس)، بارگیری شده با آب و میکروامولسیون



تصویر ۴: جزئیات تصویری زدودن میکروامولسیون به کار رفته در تمیزکاری مرمر از سطح آن در پایان کار بدون نیاز به تماس مستقیم با سطح

ژل حاوی نانوذرات مغناطیس) مقدار آب بارگیری شده بیشتر از ۹۰٪ وزنی است. تفاوت خاصی در دیگر ژل های مغناطیسی بارگیری شده با میکروامولسیون دیده نشده است. ظرفیت ژل برای حفظ حلال در ساختارش، از طریق بر هم کنش ۹۰٪ وزنی حلال (آب یا میکروامولسیون) و ۱۰٪ وزنی پودر ژل نانومغناطیس مورد بررسی قرار می گیرد.

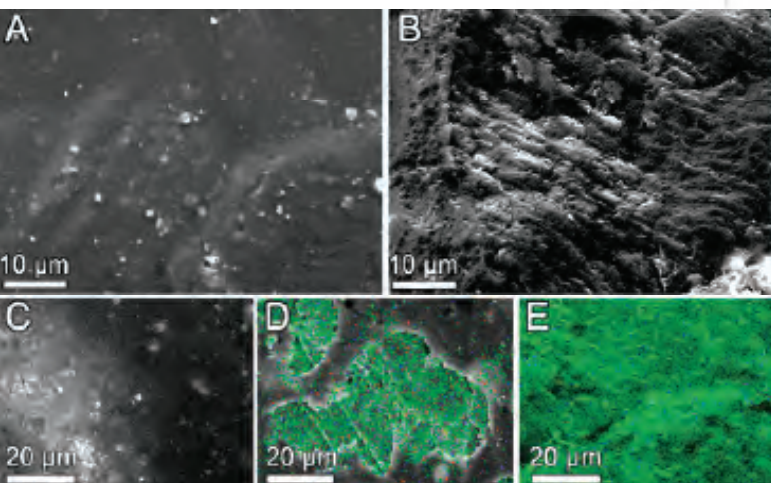
نمونه ها در محفظه ی رطوبتی (رطوبت نسبی ۵۰٪) قرار می گیرند و وزن آن ها در فواصل زمانی معین بررسی می شود. به این طریق، منحنی های دهیدراسیون برای ژل هیدراته شده، ژل نانومغناطیس هیدراته شده، ژل بارگیری شده با میکروامولسیون و ژل نانومغناطیس بارگیری شده با میکروامولسیون، بر مبنای وزن حلال و زمان ترسیم می شوند. در تصویر ۳ درصد وزنی حلال نسبت به زمان نگهداری آن در قالب نمودار، نشان داده شده است. تفاوت خاصی میان نمونه ی مرجع و ژل نانومغناطیس، بارگیری شده با آب یا میکروامولسیون، مشاهده نمی شود و این نشان می دهد که حضور ذرات نانومغناطیس تاثیری بر خصوصیات حفظ آب در ژل ندارد؛ ولی مقایسه ی رفتار دهیدراسیون نقش فعال ذرات مغناطیسی در جذب حلال را نشان می دهد (این ویژگی، در تمیزکاری آثار تاریخی بسیار حائز اهمیت است).



نکته ی جالب این که، وقتی اسفنج نانومغناطیس با میکروامولسیون بارگیری می شود اسفنج و میکروامولسیون، هر دو، ساختار خود را حفظ می کنند. برای اثبات این نکته بررسی هایی به وسیله ی SAXS بر روی ساختار میکروامولسیون قبل از بارگیری توسط ژل نانومغناطیس و بعد از زدودن آن انجام گرفت. این فرآیند با پراکنده سازی نانوذرات مغناطیس اضافه شده به ماتریکس پلیمری ژل انجام شده است. میکروامولسیون به وسیله ی یک مغناطیس  $1/T^4$  از ژل نانومغناطیس زدوده می شود که موجب انقباض ژل و خارج شدن میکروامولسیون از آن می شود. نتایج SAXS (تصویر ۲) نشان می دهد که ساختار میکروامولسیون بدون تغییر باقی مانده است. در حقیقت، منحنی های SAXS به دست آمده مشابه هستند و تنها یک جابه جایی اندک در نقطه ی اوج منحنی ها مشاهده می شود که می تواند نشان دهنده ی تغییر جزئی در غلظت میکروامولسیون خارج شده از ژل نانومغناطیس باشد (جابه جایی نمودار Q که در تصویر آمده است، حدود  $3 \text{ \AA}$  تخمین زده شده است).

برای سنجش حداکثر میزان آبی که ساختار ژل نانومغناطیس می تواند بارگیری کند مقدار معینی از پودر ژل نانومغناطیس به طور کامل هیدراته می شود. در هر دو مورد، (ژل بدون نانوذرات مغناطیس و

تصویر ۵: طیف (a) FTIR نمونه ی مرمری قبل از استحکام بخشی با پارالوئید BV۲؛ (b) همان سطح بعد از زدودن کامل لایه ی ضخیم پارالوئید BV۲ با استفاده از ژل نانومغناطیس. سیگنال های پارالوئید BV۲ به طور کامل ناپدید شدند.



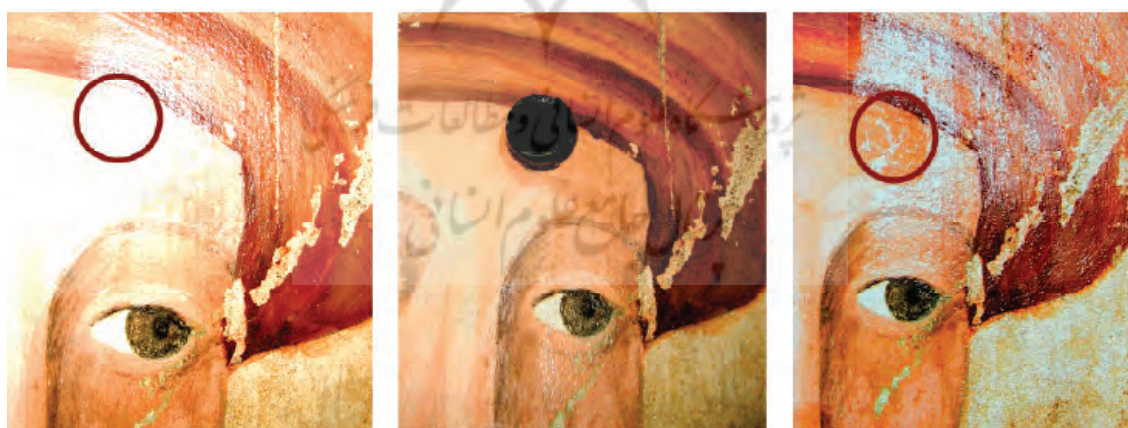
تصویر ۶: (A) تصویر SEM از سطح مرمر، درمان شده با پارالوئید BV۲ قبل از تمیزکاری و (B) بعد از تمیزکاری. (C) تصویر EDS از مرمر قبل از تمیزکاری؛ (D) ۳۰ دقیقه بعد از تمیزکاری با ژل نانومغناطیس (قبل از تمیزکاری کامل)؛ و (E) بعد از زدودن کامل پلیمر

و آثار سنگی به کار می‌رود. متاسفانه پارالوئید BV۲ به مرور زمان زرد شده و خواص فیزیکی و شیمیایی خود را از دست می‌دهد، که این مسئله خطراتی را برای آثار هنری در بر خواهد داشت. نمونه‌ی مرمری انتخاب شده حدود ۸ سال پیش با محلول پارالوئید BV۲ در p-گزین، استحکام بخشی شده و در شرایط متعادلی نگهداری شده بود. زدودن پارالوئید BV۲ از سطح این قطعه که کاملاً شیشه‌ای و براق شده است، با استفاده از ژل نانومغناطیس بارگیری شده با میکروامولسیون انجام گرفت. بعد از این کار (که حدوداً دو ساعت زمان برد) ژل نانومغناطیس باقی مانده بر سطح مرمر با کمک یک ساختار مغناطیسی دیگر از سطح زدوده شد (تصویر ۴). این نکته قابل توجه است که برای زدودن باقی مانده‌ی ژل نانومغناطیس از سطح اثر نیازی به تماس مستقیم میان ساختار مغناطیسی و سطح اثر نیست و این ویژگی، این روش را برای تمیزکاری آثار گرانبهای هنری مناسب می‌سازد.

کارایی این روش با استفاده از FTIR، آنالیز SEM و به ویژه پراش اشعه‌ی X با استفاده از یک سیستم EDS، این اطمینان را به وجود می‌آورد که پلیمر پارالوئید BV۲ به طور کامل از سطح زدوده شده است (تصویر ۶).

اسفنج نانومغناطیس همچنین برای تمیزکاری سطح یک فرسک آسیب دیده به کار رفت و نتایج نشان داد که این روش برای تمیزکاری سطح این نوع از آثار هنری نیز بسیار مناسب است (تصویر ۷).

در حقیقت ساختار ژل مرجع (ژل بدون ذرات نانومغناطیس) و ژل نانومغناطیس متفاوت است. محتویات معدنی ژل نانومغناطیس پودر شده حدوداً ۲۸٪ است، در حالی که نمونه‌ی مرجع تماماً آلی است. نکته‌ی جالب این که در زمان بارگیری ژل‌های نانومغناطیس با آب یا میکروامولسیون، کاهش بسیار سریع در محتویات حلال نظیر تبخیر بخش فرار در میکروامولسیون‌ها (همچون p-گزین و نیترو دیلوئنت) صورت می‌گیرد. این تأثیر که در تصویر ۳ نشان داده شده است، بسیار کندتر از آن چیزی است که برای یک حلال خالص یا یک میکروامولسیون انتظار می‌رود: بررسی محتویات حلال در ژل‌های بارگیری شده با میکروامولسیون و ژل‌های بارگیری شده با آب، بعد از حدود ۱۰ روز مشخص می‌کند که تبخیر بخش فرار به واسطه‌ی ساختار ژل به آهستگی صورت می‌گیرد. این نتایج نشان می‌دهد که این سیستم (ژل نانومغناطیس بارگیری شده با میکروامولسیون) برای چند روز پایدار است (در حالی که سایر مواد رایج در زمینه‌ی حفاظت از میراث فرهنگی، معمولاً برای چند دقیقه و نهایتاً چند ساعت پایدار و قابل استفاده هستند). ژل نانومغناطیس بارگیری شده با میکروامولسیون برای تمیزکاری سطح یک نمونه‌ی مرمری (۳cm × ۲ × ۵) به کار برده شد. مرمر سفید به واسطه‌ی رنگش می‌تواند در صورت باقی ماندن نانوذرات مغناطیسی سیاه رنگ بر سطح، آنها را به خوبی نمایان سازد. پارالوئید BV۲ ماده‌ای است که به طور گسترده برای استحکام بخشی و حفاظت از نقاشی‌ها



تصویر ۷: کاربرد ژل نانومغناطیس در زدودن پارالوئید BV۲ از سطح یک فرسک.

تصویر سمت چپ: سطح نقاشی که به واسطه‌ی وجود لایه‌ی ضخیم پارالوئید، شیشه‌ای و براق شده است. تصویر وسط: تمیزکاری با ژل نانومغناطیس بارگیری شده با میکروامولسیون. تصویر سمت راست: بعد از زدودن کامل پارالوئید BV۲ از سطح اثر با استفاده از ژل نانومغناطیس بارگیری شده با میکروامولسیون

## نتیجه گیری

در اینجا، مراحل ساخت یک اسفنج نانومغناطیس هوشمند جدید به طور کامل بیان شد. این اسفنج که فرآیند ساخت ساده‌ای دارد، می‌تواند با حلال‌های رایج و یا با سیستم‌های پیچیده‌تری همچون میکروامولسیون‌ها و محلول‌های میسلی بارگیری شود، با یک چاقو یا قیچی به ابعاد دلخواه بریده شود و به طریقه‌ی مکانیکی و یا مغناطیسی از سطح مورد نظر زدوده شود. حلالی که همراه با این ساختار مغناطیسی به کار می‌رود (میکروامولسیون یا محلول میسلی) ساختار و ویژگی‌های خود را به طور کامل حفظ می‌کند. بعد از تمیزکاری سطح آثار هنری با این روش، حلال مصرفی به طور کامل از ساختار ژل نانومغناطیس خارج می‌شود. در اینجا کاربرد این محصول در حفاظت از میراث فرهنگی مورد توجه قرار گرفت، در حالی که این محصول می‌تواند در بسیاری از زمینه‌های علمی و صنعتی کاربرد داشته باشد. ژل نانومغناطیس که سیستمی پیشرفته و انعطاف‌پذیر را برای تمیزکاری سطح آثار هنری فراهم می‌کند، تاثیر قابل توجهی بر سایر روش‌های رایج در زمینه‌ی حفاظت از میراث فرهنگی خواهد داشت.

قدردانی

از دیوید چلازی (David Chelazzi) به خاطر آنالیزهای FTIR، امیلیانو فراتینی (Emiliano Fratini) برای تجهیزات SAXS، و مایکل باگلیونی (Michele Baglioni) و جیاکومو پیزاروسو (Giacomo Pizzorusso) برای همکاری در انجام آزمایش‌ها قدردانی به عمل می‌آید؛ همچنین از CSGI و (PRIN-MIUR) (۲۰۰۸).

## فهرست منابع

- (1) Clark, A. H.; Ross-Murphy, S. B. *Adv. Polym. Sci.* 1987, 83, 57.
- (2) Guenet, J. M. *Thermoreversible Gelation of Polymers and Biopolymers*; Academic Press: London, 1993.
- (3) Te Nijenhuis, K. *Thermoreversible Networks: Viscoelastic Properties and Structure of Gels*; Springer-Verlag: Berlin, 1997.
- (4) Michalski, S. *Cleaning, Retouching and Coatings: Technology and Practice for Easel Paintings and Polychrome Sculpture*; International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works: Brussels, 1990.
- (5) Wolbers, R. C. *Restoration '92: Conservation, Training, Materials and Techniques, Latest Developments*; International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works: London, 1992.
- (6) Wolbers, R. C. *Cleaning Painted Surfaces: Aqueous Methods*; Archetype Publications: London, 2000.
- (7) Dorge, V. *Conservation*; Getty Conservation Institute Newsletter; 2000; Vol. 15.3, pp 16-19.
- (8) Terech, P.; Weiss, R. G. *Chem. Rev.* 1997, 97, 3133-3159.
- (9) Carretti, E.; Dei, L.; Baglioni, P.; Weiss, R. G. *J. Am. Chem. Soc.* 2003, 125, 5121-5129.
- (10) Carretti, E.; Dei, L.; Baglioni, P. *Langmuir* 2003, 19, 7867-7872.
- (11) Carretti, E.; Salvadori, B.; Baglioni, P.; Dei, L. *Stud. Conserv.* 2005, 50, 1-8.
- (12) Carretti, E.; Giorgi, R.; Berti, D.; Baglioni, P. *Langmuir* 2007, 23, 6396-6403.
- (13) Rance, D.; Friberg, S. J. *Colloid Interface Sci.* 1977, 60, 207
- (14) Massart, R. C. R. *Seances Acad. Sci., Ser. C* 1980, 291, 1-3.
- (15) Massart, R. *IEEE Trans. Magn.* 1981, 17, 1247-1248.
- (16) Bonini, M.; Wiedenmann, A.; Baglioni, P. *J. Phys. Chem. B* 2004, 108, 14901-14906.
- (17) Bonini, M.; Wiedenmann, A.; Baglioni, P. *Physica A* 2004, 339, 86-91.
- (18) Sartoratto, P. P. C.; Neto, A. V. S.; Lima, E. C. D.; Rodrigues de Sa, A. L. C.; Morais, P. C. J. *Appl. Phys.* 2005, 97, 10Q917.
- (19) Patras, G.; Qiao, G. G.; Solomon, D. H. *Macromolecules* 2001, 34, 6396-6401.
- (20) Benguigui, L.; Boue', F. *Eur. Phys. J. B* 1999, 11, 439-444.
- (21) Price, C. A. *Stone Conservation: An Overview of Current Research*; Getty Conservation Institute: Los Angeles, 1996.
- (22) Horie, C. *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*; Butterworth-Heinemann: London, 1987.
- (23) Feller, R. L. *Accelerated Aging: Photochemical and Thermal Aspects*; The Getty Conservation Institute: Los Angeles, 1994.