

ارزیابی کاربرد سدیم لوریل اترسولفات در شستشوی پارچه‌های پنبه‌ای تاریخی با استفاده از نمونه‌های پیرشده تسریعی*

مهری قبادی** حسین احمدی*** سیدمجید مرتضوی**** محسن محمدی آچاچلویی*****

چکیده

با اینکه موضوع پاک‌سازی و شستشوی بافته‌ها و منسوجات تاریخی در حوزه حفاظت و مرمت زمان زیادی است مطرح شده، اما همچنان یکی از مهم‌ترین و چالش‌انگیزترین مباحث در این حیطه است. بسته به ویژگی‌های متفاوت شوینده‌ها، فرمولاسیون شستشو نیز برای پارچه‌های گوناگون، متفاوت خواهد بود. شوینده‌های صنعتی و تجاری به دلیل دارا بودن مواد افزودنی گوناگون و تغییرات فرمولاسیون در طول زمان، شرایط لازم و مطلوب را برای استفاده در حوزه حفاظت و مرمت ندارند. از این رو، انتخاب شوینده‌ای متناسب با شرایط آثار پارچه‌ای تاریخی و ویژگی‌های فیزیکی آنها، بایستی در دستور کار حفاظت‌گر قرار گیرد. شوینده مورد استفاده، لازم است از سویی بدون آسیب‌رساندن به پارچه، میزان پاک‌کنندگی مناسبی داشته باشد و از سویی دیگر، اثر نامطلوبی روی الیاف منسوج، در درازمدت ایجاد نکند. باتوجه به کاربرد گسترده ماده فعال سطحی سدیم لوریل اتر سولفات (ماده فعال سطحی آنیونی) در بیشتر شوینده‌ها و دردسترس و مقرون به صرفه بودن آن، در این پژوهش، کوشش شد با بررسی معایب و مزایای این ماده فعال سطحی در ترشویی پارچه‌های پنبه‌ای تاریخی، مناسبت آن ارزیابی شود. به منظور دست‌یابی به این هدف، لازم است قابلیت پاک‌سازی و تأثیرات تخریبی آن در پاک‌سازی پارچه‌های پنبه‌ای بررسی گردد. روش پژوهش تحلیلی - مقایسه‌ای و شیوه گردآوری داده‌ها از طریق آزمایش‌های مرتبط با موضوع پژوهش همچون تهیه طیف مادون قرمز - انعکاس کلی تضعیف‌شده، تعیین میزان مقاومت کششی، رطوبت بازیافتی (تعادلی)، هدایت الکتریکی، رنگ‌سنجی و pH بوده است. مراحل انجام پژوهش حاضر بدین گونه بود که پارچه‌های پنبه‌ای پیرسازی شده با شوینده حاوی ماده فعال سطحی مورد نظر، سدیم کربوکسی متیل سلولز و اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید شسته و قبل و بعد از شستشو آزمایش شدند. نتایج بیانگر آن بود که ماده یادشده تأثیر تخریبی بر سلولز نداشته و در شستشوی پارچه‌های پنبه‌ای تاریخی می‌توان از آن استفاده کرد.

کلیدواژگان: حفاظت، مرمت، شستشو، ماده فعال سطحی، سدیم لوریل اتر سولفات، پنبه.

* مقاله پیش‌رو، برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهری قبادی با عنوان "ارزیابی کاربرد سدیم لوریل اترسولفات و کوکونات فتی اسید دی‌اتانول‌آمید در شستشوی پارچه‌های پنبه‌ای تاریخی" به راهنمایی و مشاوره نویسندگان همکار ایشان در دانشگاه هنر اصفهان است.

** دانشجوی دکتری مرمت اشیای تاریخی - فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان.
mehriqabadi@yahoo.com

*** دانشیار، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

**** دانشیار، دانشکده نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

***** دکتری مرمت اشیای تاریخی - فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان.

مقدمه

پاک‌سازی منسوجات، بخشی از روند اجرایی عملیات حفاظت و مرمت آثار تاریخی پارچه‌ای است. مرمت‌گران باتوجه به شرایط آثار پارچه‌ای و ویژگی‌های فیزیکی آنها، ممکن است مبادرت به شستشو (پاک‌سازی خیس) نمایند. در شستشوی پارچه‌های تاریخی به ماده‌ای نیاز است که درعین پاک‌کنندگی مناسب، در درازمدت اثر نامطلوبی روی الیاف منسوج ایجاد نکند. موادی نظیر پرکننده، آنزیم، نرم‌کننده، اسانس و رنگ که در شوینده‌های صنعتی و تجاری وجود دارند، ممکن است به صورت کامل از بافت خارج نشود و به ساختار پارچه آسیب برسانند. از این‌رو، شوینده‌های صنعتی به دلیل دارا بودن مواد افزودنی گوناگون و نیز تغییرات فرمولاسیون در طول زمان، شرایط لازم و مطلوب را برای استفاده در حوزه حفاظت و مرمت ندارند. در حال حاضر، شوینده اختصاصی در دسترس و مقرون به صرفه‌ای موجود نیست لذا اکثر مرمت‌گران برای شستشوی پارچه‌های تاریخی به استفاده از شامپوهایی با درجه قلیایی پائین مانند شامپو بچه روی آورده‌اند.^۱ حفاظت‌گر می‌بایست با در نظر گرفتن نوع و وضعیت نمونه، مواد موجود و در دسترس، هزینه‌ها و زمان، ترکیب شوینده مناسب را انتخاب کند. محصولات تجاری گوناگونی در بازارهای خارجی به عنوان شوینده وجود دارند که در فرایندهای حفاظت و مرمت از آنها استفاده می‌شود. با اینکه هریک از این مواد، مزایا و معایبی دارند اما پژوهش‌های انجام شده بیشتر روی مواد شوینده تجاری و در زمینه مصارف صنعتی و خانگی است و به نظر می‌رسد، تأثیر این مواد روی الیاف در حوزه حفاظت و مرمت آثار تاریخی به صورت دقیق و ویژه بررسی نشده است. بنابر حساس بودن آثار تاریخی، هر ماده‌ای قبل از استفاده می‌بایست آزمایش گردد. دست‌کم شانزده عامل نظیر کیفیت آب استفاده شده از نظر میزان سختی، ماهیت الیافی که نیاز به پاک‌سازی دارد (جنس الیاف پارچه)، خصوصیات لایه بستر (ویژگی‌های سطح)، مواد سازنده شوینده مانند سازندها و مواد تعلیق‌ساز چرکی، غلظت و ساختار ماده فعال سطحی، ماهیت چرکی یا تغییر رنگ ایجاد شده بر پارچه، حالت چرکی (جامد یا مایع بودن آن) و در صورت جامد بودن چرکی اندازه ذرات آن، طول زمان فرایند شستشو، تعداد دفعات شستشو، نحوه شستشو و اعمال حرکات مکانیکی، ساز و کارهای شستشو،^۲ مقدار نسبی چرکی و کثیفی، pH محلول شستشو،^۳ حمام شستشو (به‌طور کلی تحت عنوان نسبت مایع و تعداد دفعات آبکشی بیان می‌شود)، درجه حرارت شستشو و میزان کف، در شستشو تأثیرگذارند.

به کاربردن سه جزء در ساخت شوینده مورد استفاده در مرمت، لازم خواهد بود که عبارتند از: ماده فعال سطحی

(سورفاکتانت)، سازند و بازدارنده ته‌نشست دوباره آلودگی و چرکی. ماده فعال سطحی یکی از ارکان مهم شوینده است که با افزایش ترشوندگی سطح در فرایندهای شستشوی خیس، باعث پاک‌سازی می‌شود و آگاهی از تأثیرات تخریبی آن روی الیاف به مرمت‌گر در تصمیم‌گیری مناسب، کمک شایان توجهی خواهد کرد. نظر به اینکه، بخش اعظمی از آثار تاریخی که لازم است از آنها حفاظت شود، از الیاف سلولزی هستند، در این پژوهش سعی بر آن است تا تأثیرات تخریبی ماده فعال سطحی آنیونی بسیار رایج که توسط شرکت‌های داخلی در ساخت اکثر مواد شوینده مورد مصرف قرار می‌گیرد با نام سدیم لوریل اتر سولفات بر روی پارچه‌های پنبه‌ای پیر شده بررسی شود و در نهایت، کارایی این مواد در ترشویی که یکی از انواع پاک‌سازی منسوجات است، مورد ارزیابی قرار گیرد.

ماده انتخاب شده در این پژوهش از مواد ارزان قیمت، بسیار معمول و در دسترس در بازار است که برای انواع شوینده‌ها از آن استفاده می‌شود. این پژوهش، شروعی برای تحقیقات گسترده در زمینه ارزیابی کاربرد انواع مختلف مواد فعال سطحی در شستشوی پارچه‌های گوناگون با جنس‌های متفاوت (ابریشم، پشم و ...)، پارچه‌های رنگی و طرح‌دار با رنگ‌های مختلف و کاربرد مواد فعال سطحی به همراه مواد گندزدا خواهد بود.

پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات و پژوهش‌هایی در زمینه شوینده‌ها و پاک‌سازی آنها در صنایع نساجی انجام شده است. در حوزه حفاظت و مرمت آثار نیز تحقیقاتی صورت گرفته است که در زمینه جایگزینی برخی شوینده‌های زیست‌تخریب‌پذیر به جای شوینده‌هایی است که مشکلات زیستی ایجاد می‌کنند. البته تأکید پژوهش‌ها بیشتر بر میزان شویندگی بیشتر درعین آسیب‌رسانی کمتر به محیط زیست بوده است نه تأثیرات تخریبی شوینده بر الیاف پارچه‌های سلولزی تاریخی. همچنین مطالعاتی روی تأثیرات شوینده‌ها و مواد فعال سطحی غیر از مواد مورد نظر این پژوهش، روی الیاف سلولزی، پشمی، کتان و ابریشم انجام شده است.

دیلیو جی دیاموند^۴ و اچ لویون^۵ (۱۹۵۷)، پژوهشی را در خصوص ارزیابی حذف چرکی از پارچه‌های پنبه‌ای انجام دادند که در آن، ردیابی حضور آلودگی با استفاده از رادیوگرافی زیرکونیل فسفات (رادیواکتیو P^{32}) صورت پذیرفت. زمان شستشو ۱۰ و ۲۰ دقیقه انتخاب شده و نمونه‌های پارچه پنبه‌ای در سه دمای: ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درجه فارنهایت با دو شوینده غیر یونی جامد و مایع شسته شدند. چون در پژوهش یادشده، بررسی شویندگی ماشین لباس‌شویی مدنظر بوده

کانادا، پژوهشی درباره باقی مانده مواد فعال سطحی روی پارچه حین شستشوی پارچه‌های تاریخی، منتشر کردند. در این پژوهش، مواد فعال سطحی سدیم دودسیل سولفات (SDS)، سینپروونیک N، سینپروونیک A7 و ساپونین و پارچه‌ها از جنس پشم، پنبه، ابریشم و کتان انتخاب شده بودند. هر نمونه به مدت ده دقیقه و بین صفر تا شش بار شسته شد. پارچه و محلول‌ها پس از شستشو آزمایش شدند. آنالیز سطح (XPS) را دسلاندس^{۱۵} و پلیزیر^{۱۶} انجام دادند و نتیجه در شستشو به‌شبهه غوطه‌وری مطلوب بود.

سانتانو پریا^{۱۷} و همکارانش (۲۰۰۳)، مطالعاتی آزمایشگاهی روی جذب سطحی سه ماده فعال سطحی کاتیونی (ستیل تری‌متیل آمونیوم بروماید)، آنیونی (سدیم دودسیل بنزن سولفونات) و غیریونی (تریتون^{۱۸} X-100) بر سطح سلولز و ارتباط آن با شستشو انجام دادند. پارچه پنبه‌ای آلوده در این پژوهش، دو نوع آلوده‌شده با ذرات کربن سیاه^{۱۹} (دوده) و آلوده‌شده با مخلوط ذرات جامد ریز و ترکیبات روغنی^{۲۰} بوده است. ایشان دریافتند جذب سطحی مواد فعال سطحی آنیونی با افزایش حضور کاتیون‌هایی با یک بار مثبت همچون سدیم و دو بار مثبت مانند کلسیم، بیشتر می‌شود در حالی که ماده فعال سطح غیر یونی T X-100، چنین افزایشی را در حضور نمک نشان نمی‌دهد. همچنین افزایش قدرت شویندگی در هر دو پارچه پنبه‌ای آلوده‌شده، با افزایش جذب سطحی مواد فعال سطحی، همراه بوده است. جذب سطحی سدیم دودسیل بنزن سولفونات بر سلولز، با افزایش قدرت یونی محلول افزایش یافته اما افزایش قدرت یونی در شویندگی آلودگی ذرات ریز جامد نتیجه عکس داشته است.

جان/فیلدز^{۲۱} و همکارانش (۲۰۰۴)، به‌منظور یافتن جایگزینی برای شوینده مورد استفاده در مرمت با نام سینپروونیک N، پژوهشی را انجام دادند. در این پژوهش قدرت شویندگی سینپروونیک A7، سینپروونیک ۹۱/۶، ایمبنتین^{۲۲} C135/070، ایمبنتین T090، خمیر اوروس WA، پودر هوستاپون^{۲۳} T، تریتون XL80N، ساپونین^{۲۴}، ایرگاسول^{۲۵} PL، دهیپون^{۲۶} LS36 و دهیپون LS45 روی الیاف پشم و پنبه بررسی شده است. بررسی مذکور، با اندازه‌گیری شاخص رنگی نمونه‌ها قبل و بعد از شستشو انجام شده و سایر عوامل نظیر pH و هدایت الکتریکی^{۲۷} برای کنترل مراحل شستشو و آبکشی بوده است. در نهایت قدرت شویندگی پودر هوستاپون T، خمیر اوروس WA، دهیپون LS45، سینپروونیک ۹۱/۶ و ایمبنتین C135/070 مناسب تشخیص داده شد و تأثیرات این مواد روی الیاف پشم و پنبه ارزیابی گردید. در پایان، هیچ‌کدام از مواد مورد نظر اثری منفی بر میزان مقاومت کششی نداشت.

متأسفانه به نوع ماده فعال سطحی اشاره‌ای نشده است. اچ. سی. اوانس^۶ (۱۹۸۵)، درخصوص تورم و جذب سطحی الیاف در سیستم‌های پارچه/شوینده پژوهشی را انجام داد که در آن، میزان جذب سطحی سدیم آلکیل سولفات روی پشم و جذب سطحی صابون‌های اسید چرب، سدیم اولنات، سدیم دودسیل سولفات و آلکیل آریل سولفونات روی الیاف پنبه اندازه‌گیری شده است. در پژوهش وی، شکل نمودار جذب سطحی - غلظت ماده فعال سطحی می‌تواند براساس جذب سطحی یک نوع یون بر سطوح متفاوت، توضیح داده شود. همچنین، تأثیرات الکترولیت قلبایی و معدنی بر جذب سطحی هریک از مواد نیز بررسی شده است.

ان. اچ. تننت^۷ (۱۹۸۶)، تحقیقاتی روی میزان ثبات برخی رنگ‌ها در پارچه پشمی انجام داده و اطلاعاتی را درباره محدودیت‌های استفاده از مواد شوینده در مرمت ارائه نموده است.

ماری بالارد^۸ و همکارش (۱۹۹۷)، روی باقی مانده شوینده تحقیقاتی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که افزودن الکل به‌میزان بسیاری از مقدار باقی مانده شوینده بر پارچه ابریشمی می‌کاهد.

مؤسسه حفاظت کانادا (۲۰۰۱)، تحقیقی مروری و به‌روز رسانی را باعنوان تأثیرات ترشویی بر کاغذ و پارچه‌های سلولزی به‌چاپ رساند. در این گردآوری، برخی پژوهش‌های مختلف درخصوص تأثیر آب و مواد قلبایی که در فاصله سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۶ انجام شده‌اند (۴۲ پژوهش درباره کاغذ و ۹ مورد پارچه سلولزی) و پاسخ سؤالات مرتبط با مبحث حساسیت شستشو با آب دیونیزه و مواد قلبایی، آورده شده است.

در مجله Conservator (۲۰۰۱)، پژوهشی ارائه شده که نتایج تحقیقات دینا/ایستوپ^۹ و جی. لویس^{۱۰} در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۶ است. در این پژوهش، مخلوط ماده فعال سطحی آنیونی و غیر یونی در ترشویی پارچه‌های تاریخی بررسی شده است. دو ماده فعال سطحی غیر یونی رایج در مرمت سینپروونیک^{۱۱} N و جانشین آن سینپروونیک A5 و ماده فعال سطحی آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS) معادل با خمیر اوروس^{۱۲} WA و دو مخلوط آنیونی - غیر یونی (ماده ترکیبی تجاری برول^{۱۳} ۷۸۴ و مخلوط سینپروونیک A5 و SDS که محققین آن را تهیه کرده‌اند)، روی پارچه‌های پشمی و پنبه‌ای آزمایش شده که درباره پارچه‌های پشمی، شستشو مطلوب و درباره پارچه‌های پنبه‌ای بی‌نتیجه بوده است. پژوهش یادشده بیشتر بر پایه سنجش میزان تغییرات رنگی انجام شده و تأثیرات تخریبی در نظر گرفته نشده است.

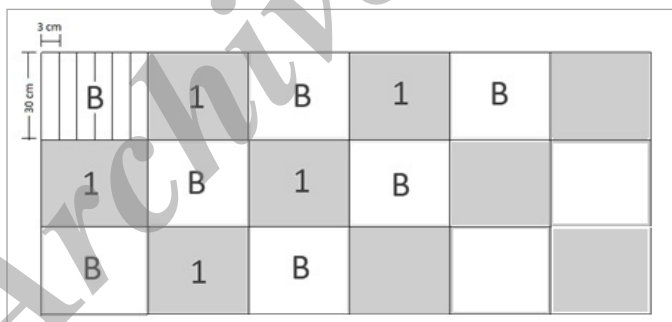
تسه^{۱۴} و همکارش (۲۰۰۱) در خبرنامه "مؤسسه حفاظت

روش پژوهش

روش پژوهش، تحلیلی - مقایسه‌ای و شیوه یافته‌اندوزی و گردآوری داده‌ها فعالیت‌های آزمایشگاهی مبتنی بر انجام مطالعات کتابخانه‌ای: استخراج استانداردهای مورد نیاز جهت انجام آزمون‌های مرتبط با آن و نیز بررسی تحقیقات انجام شده پیشین است. پس از انجام آزمایش‌های دستگاهی از قبیل تعیین مقاومت کششی پارچه، FTIR-ATR، pH و رنگ‌سنجی، نتایج مربوط به پیش و پس از اعمال ماده فعال سطحی، مقایسه و تجزیه و تحلیل شدند.

مواد و روش‌ها

چون بررسی تأثیر یک ماده فعال سطحی بر پارچه پنبه‌ای مدنظر بود برای جلوگیری از تأثیر تفاوت ویژگی‌های تار و پود، از آزمایش پارچه در دو جهت تار و پود صرف نظر شد و هر ناحیه موازی با جهت پود پارچه، به شش قسمت نواری ۳×۳۰ سانتی‌متری تقسیم شده و پس از پیرسازی، برای شستشوی نمونه‌های هر ناحیه، از محلول شستشوی مربوط به آن استفاده گردید. ناحیه B، شاهد است که با دو محلول شسته شد: محلول شاهد اصلی؛ آب مقطر همراه با سایر مواد افزودنی و کمی به جز شوینده مورد آزمایش (B و S) و محلول کنترل؛ آب مقطر بدون هر گونه افزودنی (BW و SW)، (تصویر ۱ و جدول ۱).



تصویر ۱. نحوه تقسیم‌بندی و آماده‌سازی پارچه‌ها (نگارندگان)

جدول ۱. نحوه تقسیم‌بندی نواحی پارچه برای شستشو

شماره ناحیه	شوینده استفاده شده و وضعیت	کد	وضعیت آلودگی پارچه
۱	نمونه پارچه‌های شسته شده با ماده فعال سطحی سدیم لوریل اتر سولفات	S1	پارچه آلوده
		BS1	پارچه پاک
B	شاهد؛ نمونه پارچه‌های شسته شده با محلول شستشو بدون ماده فعال سطحی	S	پارچه آلوده
		B	پارچه پاک
B	کنترل؛ نمونه پارچه‌های شسته شده با آب مقطر	SW	پارچه آلوده
		BW	پارچه پاک

(نگارندگان)

شستشو نیز بهره گرفت. بدین منظور، پارچه روی توری پایه‌دار در مخزن قرار داده شد و هم‌زدن محلول به کمک همزن مغناطیسی با گردش مگنت به میزان ۱۲۰ دور در دقیقه (درجه سه همزن) انجام شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها، تغییرات pH و هدایت الکتریکی محلول استخراجی از پارچه‌ها، تغییرات طیف ATR-FTIR نمونه‌ها، تغییرات رنگی نمونه‌ها و تغییرات مقاومت کششی آنها قبل و بعد از شستشو بررسی گردید.

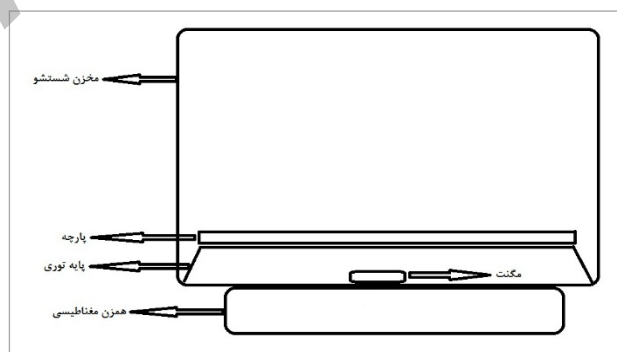
به دلیل تأثیرات متفاوت و برهمکنش‌های گوناگون مواد موجود در شوینده، سایر مواد موجود در آن به صورت ثابت در نظر گرفته شد؛ ماده فعال سطحی به صورت متغیر مستقل و تأثیرات تخریبی آن روی الیاف به عنوان متغیر وابسته بررسی شدند. این مواد بدین قرار است:

- سازند: اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) شرکت مرک آلمان با غلظت ۰/۲ درصد،^{۳۳}

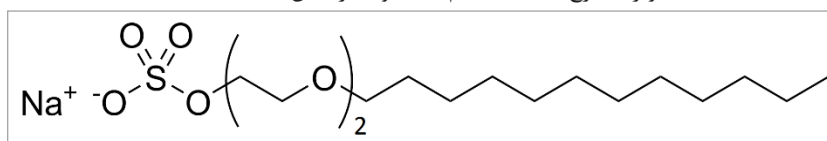
- معلق‌کننده چرکی: سدیم کربوکسی متیل سلولز صنعتی (درجه بسپارش بیشتر از ۵۰۰) با غلظت ۰/۰۲۷۵ درصد.

در ترکیب شوینده، از ماده فعال سطحی آنیونی سدیم لوریل اترسولفات (SLES) با غلظت ۱/۲۶ میلی مولار استفاده شد. پس از رسیدن به ناحیه غلظت میسل بحرانی^{۳۴} (CMC) افزایش غلظت شوینده، باعث شویندگی بسیار زیادی نخواهد شد و مقرون به صرفه هم نخواهد بود^{۳۵} (Schramm et al., 2003). برای اطمینان از عبور از این ناحیه، همیشه مواد فعال سطحی در میزان بالاتری از غلظت میسل بحرانی ماده فعال سطحی، استفاده می‌شوند (Sree-iam et al., 1997). در این پژوهش، ۱/۵ برابر غلظت میسل بحرانی آن در نظر گرفته شد. در کلیه آزمایش‌ها از آب مقطر استفاده شده است. ساختار مولکولی SLES، در تصویر ۳ دیده می‌شود.

از آنجاکه عمومی‌ترین آلودگی موجود در منسوجات تاریخی، خاک (Zippel, 2000) و دوده است،^{۳۰} نیمی از نمونه‌ها با دوده و خاک با غلظت ۰/۱ درصد دوده در خاک، آلوده شدند. باتوجه به تأثیر کم هوای گرم و خشک (Ren, Liu & Sun, 2012)، همه نمونه‌ها به مدت ۲۹ روز در آون ساخت شرکت memmert ژاپن، با دمای بیشینه ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در دمای ۱۱۰ درجه با رطوبت نسبی ۹۵-۸۵ درصد طبق استاندارد ASTM E 5427-03 تحت پیرسازی مصنوعی حرارتی و رطوبتی قرار گرفتند تا شیب نمودار تغییرات مقاومت کششی آنها در اثر افزایش زمان پیرسازی بسیار کم گردد (قبادی، ۱۳۹۲: ۱۰۵). در این زمان پیرسازی، حدود دوسوم از مقاومت کششی اولیه نمونه‌ها کاهش یافت. پس از فرایند پیرسازی تسریعی، چون استفاده از دستگاه‌های صنعتی نظیر ترگوتومتر^{۳۱} برای شستشو و بررسی میزان پاک‌کنندگی ماده فعال سطحی در حوزه حفاظت و مرمت قابل تعمیم نیست، پارچه‌ها مطابق با تصویر ۲ و فاکتورهای جدول ۳ شسته شدند. به نظر می‌رسد با شیوه غوطه‌وری، همراه با ایجاد تلاطم ملایم در محلول شستشو، شستشویی یکنواخت‌تر با قابلیت تکرارپذیری بیشتر حاصل می‌شود و تأثیرات ماده فعال سطحی نیز در همه قسمت‌ها یکسان خواهد بود. این شیوه در بسیاری از موارد حفاظت و مرمت پارچه نیز، به کار رفته است.^{۳۲} افزون بر اینها، بررسی تغییر مقاومت کششی پارچه، یکی از فاکتورهایی است که جهت ارزیابی میزان تأثیر تخریبی ماده فعال سطحی بر سلولز در نظر گرفته شده و تأثیر کار مکانیکی بر این فاکتور، باعث ابهام نتایج می‌شود. لذا انتخاب شیوه غوطه‌وری، مناسب به نظر رسید و مخزن هم ثابت انتخاب شد تا بتوان علاوه بر دستیابی به اهدافی که بیان شد، از نتایج آزمایش محلول



تصویر ۲. طرح شماتیک حمام شستشو (نگارندگان)



تصویر ۳. ساختار مولکولی SLES (نگارندگان با استفاده از فرمول ارائه شده شرکت‌های فروشنده و Rosen, 2004: 69)

در جدول ۲، ماده فعال سطحی SLES با مشخصات آن آورده شده است. مواد مذکور، در دو نوبت از دو شرکت پدیده شیمی و آناسیمین تهیه شدند و مشخصات فیزیکی اندازه گیری شده، میانگین چهار نمونه است که تفاوت در خور توجهی در آنها مشاهده نشد. ویژگی هایی که در ارزیابی کیفیت یک شوینده می توان آنها را اندازه گیری کرد، بسته به نوع مصرف آن متفاوت است. پودرهای لباس شویی، مایع دست شویی، شامپوهای سر و بدن، صابون و ... هر کدام مراحل آزمون های مربوط به خود را برای کنترل و ورود به بازار، طی می کنند. با جستجو در استانداردهای داخلی و خارجی، می توان آزمون های یاد شده را مشاهده کرد. ماده فعال سطحی استفاده شده در این پژوهش، تاکنون بیشتر در شوینده های مایع، نظیر شامپو و مایع دست شویی و ظرف شویی به کار رفته است. با توجه به کاربرد این ماده در شوینده های دارای تاییدیه اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران،^{۳۶} نیازی به انجام آزمون های اولیه و ایمنی محصول نظیر تست زئین، HET CAM^{۳۷} و آزمون میکروبیولوژی ماده فعال سطحی (استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۷۱) نیست بلکه ارزیابی میزان شویندگی مواد مذکور در زمینه منسوجات، همراه با نداشتن تأثیر تخریبی بر الیاف پنبه ای و نامطلوب در درازمدت بر بستر سلولزی از موارد مهمی است که باید بررسی شوند. فاکتورهای اعمال شده در شستشو، در جدول ۳ آورده شده اند.

تعیین تعداد دفعات شستشو

یکی از موارد تأثیر گذار بر میزان و کیفیت شویندگی، تعداد دفعات شستشو است. به دلیل حساسیت اشیا تاریخی، لازم است ارزیابی تأثیرات تخریبی مواد استفاده شده، با دقت و حساسیت بیشتری صورت پذیرد. از این رو، این سؤال مطرح می شود که تأثیر شوینده در چندین مرتبه استفاده، چه میزان خواهد بود. در صورت مضر نبودن شوینده در مرتبه نخست، ممکن است در دفعات بعدی، میزان تأثیر، همانند بار اول نباشد. برای یافتن پاسخ این پرسش ها، تعداد دفعات شستشو، یک، دو و سه مرتبه انتخاب شد.

انجام آزمایش های اصلی برای بررسی تغییرات پارچه در اثر شستشو

پس از شستشوی ۸۴ نمونه، شش نمونه از هر گروه؛ نمونه اصلی و شاهد هر کدام برای یک، دو و سه بار شستشو و یک نمونه کنترل، جمعاً ۴۲ نمونه، برای انجام آزمایش های اندازه گیری مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول، رنگ سنجی جهت تعیین میزان سفیدی و قدرت شویندگی، pH، EC و میزان رطوبت بازیافتی (درصد) کنار گذاشته شدند و ۴۲ نمونه

دیگر، به منظور بررسی تأثیر عملکرد شوینده در دراز مدت، برای بار دوم حدود ۲۲۰ ساعت دیگر پیر گردیدند. آزمایش ها، مانند مرحله پیش، قبل از مرحله پیرسازی دوم، انجام شدند.

- تغییر مقاومت کششی نمونه های آزمایش شده

تغییر طول زنجیر سلولزی بر مقاومت لیف، نخ و بالطبع پارچه، در مقابل کشش تأثیر می گذارد که می تواند با انجام آزمون کشش، بررسی کیفی و کمی شود (Yi, 2011). به دلیل نتایج مشابه با میزان مقاومت کششی، از آوردن نمودارهای مربوط به ازدیاد طول خودداری گردید. نتایج مربوط به آزمون اندازه گیری مقاومت کششی پارچه ها در تصویر ۴ و محاسبه میزان درصد تغییر آن، در جدول ۴ آورده شده است. آزمایش ها با دستگاه تعیین میزان مقاومت کششی پارچه شرکت Zwick مدل Zwic Universal Testing Machin- 144660 ساخت کشور آلمان (۱۹۹۴)، انجام شده است.

- تغییر شاخص های رنگی و میزان سفیدی نمونه های آزمایش شده

دائر تغییرات ایجاد شده و واکنش های شیمیایی حین تخریب زنجیره های سلولز و سایر مواد موجود در پنبه و تولید ترکیبات جدید، تغییراتی رنگی ایجاد می شود که با استفاده از دستگاه رنگ سنج می توان آنها را اندازه گیری کرد. اندازه گیری رنگ پارچه ها با دستگاه رنگ سنج دستی (پرتابل)^{۳۸} شرکت آلمانی Salutron Messtechnik GmbH انجام شد. با توجه به پارامترهای L^* ، a^* و b^* ، میزان تغییر رنگی را در سیستم CIE^{۳۹} می توان از رابطه ۱ محاسبه کرد:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

L^* : میزان روشنایی (روشنی مثبت و تیرگی منفی)، a^* : قرمزی-سبزی (قرمز مثبت و سبز منفی) و b^* : زردی-آبی بودن (زرد مثبت و آبی منفی) را نشان می دهد (استانداردهای ASTM E308 و ASTM D2244)، (Johnston-Feller, 2001: 35).

روش های مختلفی برای محاسبه میزان سفیدی وجود دارد. برگر^{۴۰}، استنسبی^{۴۱} و تائوب^{۴۲} فرمول هایی را برای محاسبه یک بعدی سفیدی و گانز^{۴۳} و گریسر^{۴۴} نیز فرمولی برای محاسبه دوبعدی سفیدی ارائه داده اند. با تغییر شاخص های رنگی L^* ، a^* و b^* با استفاده از رابطه استنسبی می توان میزان سفیدی^{۴۵} را تعیین کرد (Puebla, 2004: 28)، (رابطه ۲ و تصویر ۵). با داشتن میزان سفیدی قبل و بعد از شستشو هم، قدرت شوینده تعیین شد (جدول ۵). برای بررسی اثرات شوینده در درازمدت، تغییر و میزان سفیدی نمونه ها قبل و بعد از پیرسازی اندازه گیری و مقایسه گردیدند. نتیجه رنگ سنجی هر نمونه، میانگین بیست و پنج بار اندازه گیری است.

- تغییر pH و EC پارچه‌های آزمایش شده

pH و EC پارچه‌ها با اندازه‌گیری محلول استخراجی از پارچه‌های شسته‌شده با pH متر دیجیتالی شرکت Metrohm، مدل ۷۴۴ و هدایت‌سنج رومیزی شرکت isolab WTW series، مدل Cond 740 از کشور آلمان اندازه‌گیری و ثبت گردیدند. برای اندازه‌گیری، از استاندارد ISO 3071:2005 استفاده شده است^{۴۷} (تصویرهای ۶ و ۷).

رابطه ۲:

$$W_{Stensby} = L^* + 3a^* - 3b^*$$

بازده حذف چرکی برای یک شوینده را می‌توان با اندازه‌گیری رنگ / روشنایی^{۴۶} نمونه قبل و بعد از شستشو، بررسی کرد (رابطه ۳)، (Tímár-Balázsy & Eastop, 2000: 210).

رابطه ۳:

$$\text{Washing Power (\%)} = \frac{R_A - R_B}{R_B} \times 100$$

W = قدرت شویندگی، R_A = میزان انعکاس نوری بعد از شستشو و

R_B = میزان انعکاس نوری قبل از شستشو.

جدول ۲. ماده فعال سطحی مطالعه‌شده و مشخصات آن

روش آزمون	ماده فعال سطحی	
	SLES	
-	آنیونی	نوع
-	$C_{12}H_{25}(OCH_2CH_2)_2OSO_3Na$	فرمول مولکولی
-	مطابق شکل ۳	ساختار مولکولی
-	۳۰	درصد خلوص
ISO 6388 1989 و استاندارد ملی ایران ۷۹۹۷	$49.00 \pm 0.50^{**}$	ویسکوزیته (mPas.S)*
-	$1/16 \pm 0/0.3$	دانسیته
-	$1/4453 \pm 0/0.55$	ضریب شکست نوری (RI) دما = $20/0 \pm 0/1$ °C
ASTMD 1172 - 95	۶/۳۸ (۱۸/۰)	pH (°C)

(نگارندگان)

* ویسکومتر شرکت Thermo Haake اسپانیا مدل Viscotester 7L با قابلیت تعیین گرانیوی مایعات در محدوده $10^6 \times 0.4 - 2$ mPas.S است. ** اندازه‌گیری با Spindle L4، دمای ۲۸/۴ درجه سانتی‌گراد و $RPM=100$ انجام شده و اعداد به‌دست‌آمده در محدوده ۸۱/۸ - ۸۰/۸ درصد بوده‌اند.

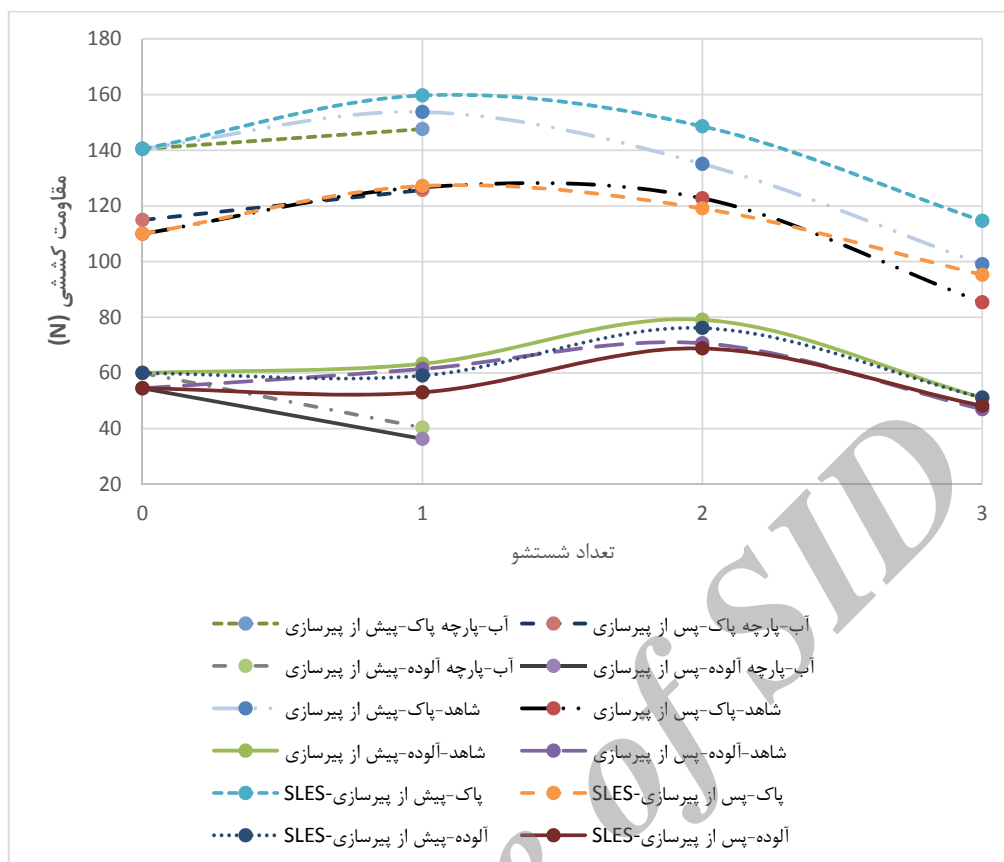
جدول ۳. جمع‌بندی فاکتورهای موردنیاز برای شستشو

محلول شستشو			فاکتورها
کنترل	شاهد	SLES	
۰	۰	۱/۲۶	غلظت ماده فعال سطحی SLES (میلی‌مولار)
۰	۰/۲	۰/۲	EDTA (%)
۰	۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۷۵	SCMC (%)
۲۵	۲۵	۲۵	دما (°C)*
۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	نسبت مایع
۹۰	۹۰	۹۰	زمان (دقیقه)**
۱	۳ و ۲، ۱	۳ و ۲، ۱	تعداد شستشو
۴	۴	۴	تعداد آبکشی

(نگارندگان)

* نظریه حساسیت کار در حوزه حفاظت و مرمت، به‌نظر می‌رسد انتخاب دمای محیط، جامع‌تر خواهد بود. خصوصاً اینکه مواد فعال سطحی استفاده‌شده، در دمای محیط فعال هستند. از این‌رو، دمای حمام شستشو دمای محیط (25 ± 3) در نظر گرفته شد گرچه بسیار بهتر بود که مخزن حمام، قابلیت ثابت نگه‌داشتن دما را داشته باشد. متأسفانه به‌دلیل دسترسی نداشتن به چنین امکاناتی، از خطاهای ناشی از نوسانات دما صرف‌نظر و تلاش شد آزمایش‌ها در بازه زمانی کوتاهی انجام شود تا نوسانات دما به حداقل برسد.

** تعیین قدرت شویندگی همراه با یافتن زمان بهینه شستشو و تعداد دفعات آبکشی، با تست اولیه تعیین شد (قبادی، ۱۳۹۲).

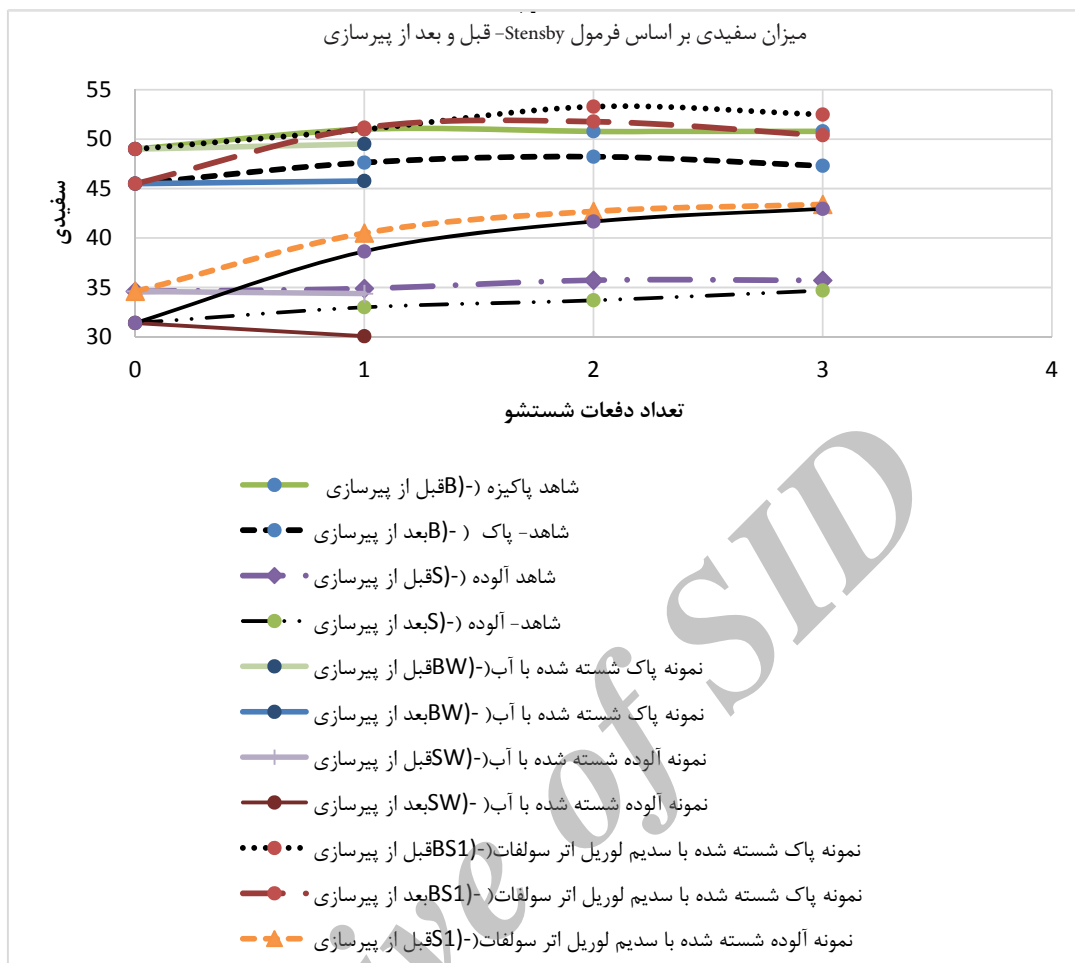


تصویر ۴. تغییر میزان مقاومت کششی پارچه‌های آلوده و پاک، شسته شده با همه محلول‌ها، قبل و بعد از پیرسازی (نگارندگان)

جدول ۴. نتایج درصد تغییر مقاومت کششی پارچه نسبت به نمونه‌های شسته نشده

پارچه‌های آلوده				پارچه‌های پاک				شستشوی	شوینده
سه‌بار شستشو	دو‌بار شستشو	یک‌بار شستشو	شسته نشده	سه‌بار شستشو	دو‌بار شستشو	یک‌بار شستشو	شسته نشده		
-۱۷/۳	۲۱/۲	-۱/۵	۰	-۲۲/۶	۵/۵	۱۲/۰	۰	پیش از پیرسازی	SLES
-۱۳/۰	۲۰/۸	-۲/۸	۰	-۱۵/۴	۷/۶	۱۳/۵	۰	پس از پیرسازی	
-۵/۸	-۹/۷	-۱۰/۲	-۹/۲	-۱۶/۹	-۱۹/۸	-۲۰/۴	-۲۱/۷	درصد تفاوت قبل و بعد	
-۱۷/۵	۲۴/۲	۵/۲	۰	-۴۱/۸	-۴/۰	۸/۶	۰	پیش از پیرسازی	شاهد B
-۱۵/۹	۲۲/۹	۱۱/۳	۰	-۲۸/۸	۱۰/۴	۱۳/۲	۰	پس از پیرسازی	
-۸/۰	-۱۰/۷	-۲/۹	-۹/۲	-۱۳/۸	-۹/۲	-۱۷/۶	-۲۱/۷	درصد تفاوت قبل و بعد	
-	-	-۴۸/۶	۰	-	-	۴/۸	۰	پیش از پیرسازی	کنترل (آب مقطر)
-	-	-۳۷/۸	۰	-	-	۸/۵	۰	پس از پیرسازی	
-	-	-۱۰/۰	-۹/۲	-	-	-۱۴/۸	-۱۸/۱	درصد تفاوت قبل و بعد	

(نگارندگان)



تصویر ۵. میزان سفیدی پارچه‌های آلوده و پاک، قبل و بعد از پیرسازی (نگارندگان)

جدول ۵. میزان قدرت شویندگی مواد استفاده شده در سه مرحله شستشوی پارچه‌های پاک و آلوده

پارچه‌های آلوده			پارچه‌های پاک			
سه بار شستشو	دو بار شستشو	یک بار شستشو	سه بار شستشو	دو بار شستشو	یک بار شستشو	
۲۵/۴	۲۳/۴	۱۷/۰	۷/۱	۸/۸	۴/۱	SLES
۳/۲	۳/۳	۰/۹	۳/۷	۳/۷	۴/۱	شاهد
-	-	-۰/۶	-	-	۱/۱	کنترل (آب مقطر)

(نگارندگان)

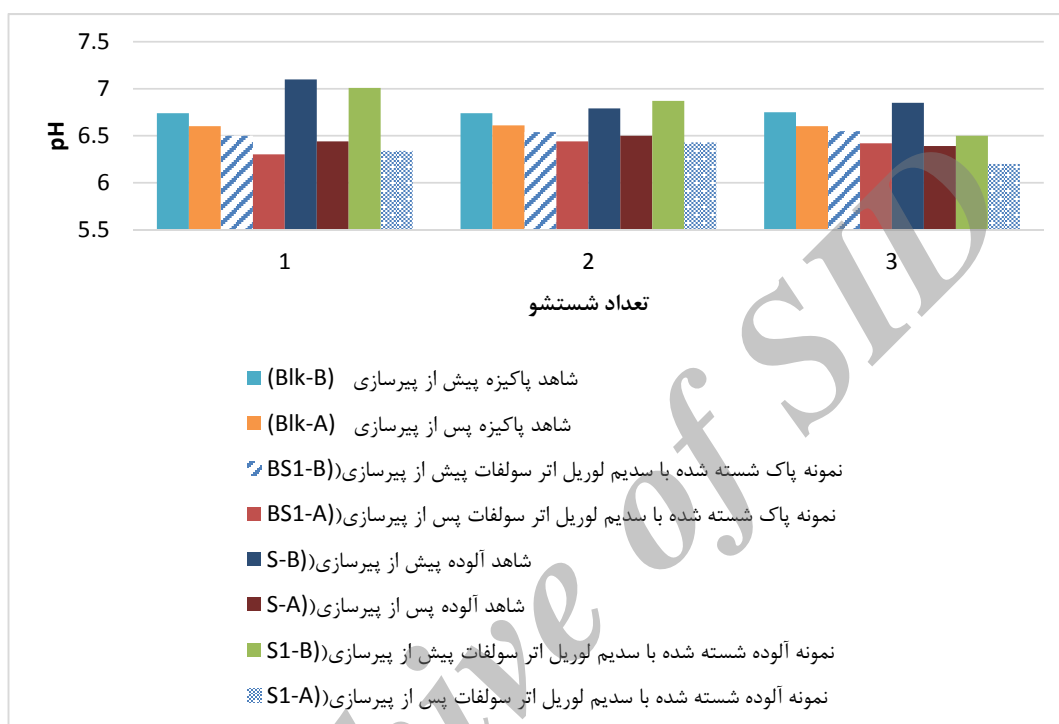
- تهیه طیف مادون قرمز نمونه‌ها

و با استفاده از تغییرات مشاهده شده در طیف FTIR می‌تواند بررسی شود (Liu, 2013). چون در صورت تهیه طیف از طریق ساخت قرص، عملیات مکانیکی باعث تغییرات و آسیب‌هایی در زنجیر سلولز همچون میزان بلورینگی آن می‌شود از این رو، طیف مادون قرمز انعکاسی نمونه‌ها تهیه شد (Schwanninger et al., 2004). در واقع، طیف‌های مادون قرمز نمونه‌ها به صورت انعکاس کلی تضعیف شده^{۴۹} تهیه و ثبت گردید که در این حالت، نیازی به سایش و آماده‌سازی نمونه نبود. برای این

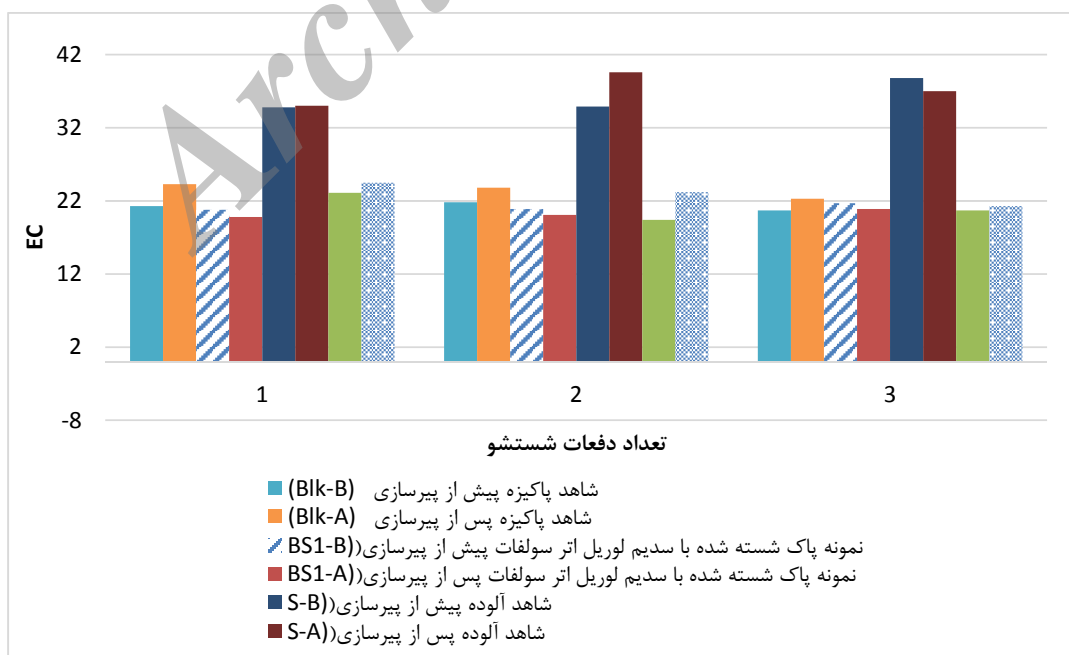
طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه^{۴۸} (FTIR)، از جمله تکنیک‌های طیف‌سنجی در بررسی ساختاری مواد است که باتوجه به ارتعاش مولکولی و میزان جذب باندهای موجود خصوصاً در ترکیبات آلی، می‌تواند به منظور ارزیابی ساختاری به کار رود. چنانچه شکست پیوندهای هیدروژنی در زنجیره‌های سلولزی مجاور هم رخ دهد، نواحی بلورین سلولز تحت تأثیر قرار گرفته

طیف زمینه^{۵۱} تهیه شد. میزان جذب هر ناحیه از طریق محاسبه مساحت هر پیک با استفاده از نرم‌افزار OMNIC 6.1a تعیین گردید. بلورینگی با محاسبه نسبت نواحی پیک FTIR در 1423 cm^{-1} به 897 cm^{-1} تعیین می‌شود و نسبت $1423/897$ به‌عنوان شاخص نظم جانبی در نظر گرفته می‌شود. ضریب بلورینگی کل^{۵۲} که شامل سلولز I و II و III است، با نسبت

منظور، از دستگاه FTIR Spectrometer مدل Nexus 470 ساخت شرکت Thermo Nicolet کشور آمریکا، همراه با ابزار ثبت طیف انعکاس کلی تضعیف‌شده (ATR) شرکت PIKE Technologies مدل MIRacle با کریستال روی-سلنیوم (ZnSe) استفاده شد. برای هر نمونه ۶۴ پیمایش در محدوده $4000-650\text{ cm}^{-1}$ با قدرت تفکیک 4 cm^{-1} ، قبل از هر نمونه



تصویر ۶. میزان pH نمونه‌های پارچه طی مراحل شستشو و بعد از پیرسازی (نگارندگان)

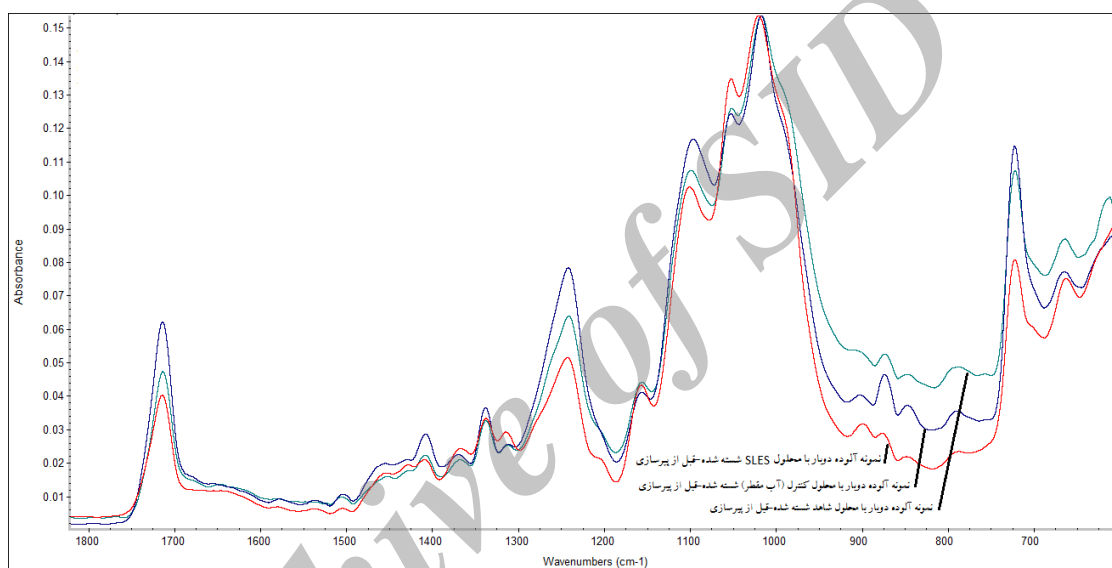


تصویر ۷. میزان هدایت الکتریکی EC پارچه‌ها طی مراحل شستشو، قبل و بعد از پیرسازی (نگارندگان)

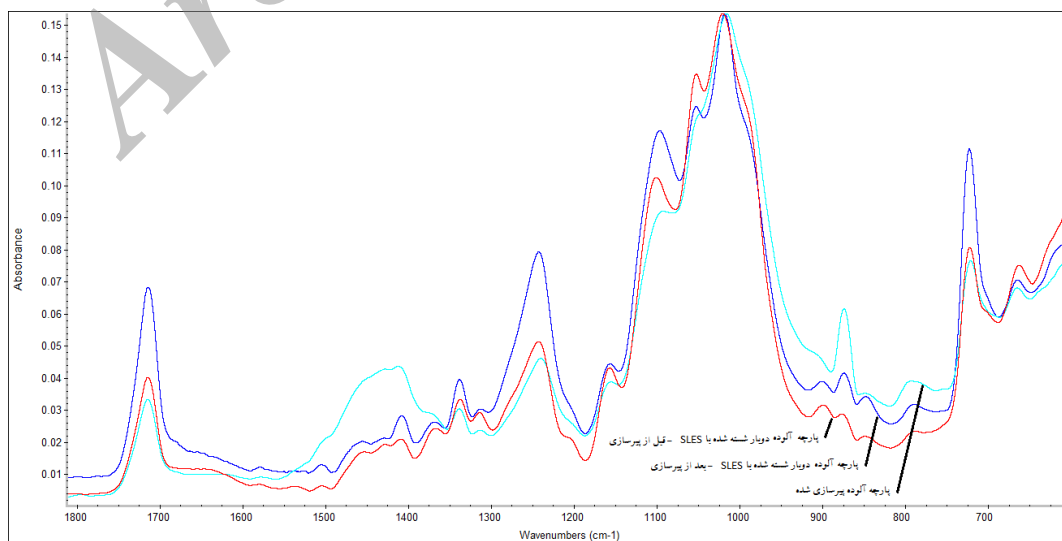
کل را تحت پوشش قرار می‌دهد، امکان اندازه‌گیری میزان بلورینگی کل نمونه‌های آلوده با طیف ATR-FTIR وجود ندارد. بنابراین، این میزان از طریق محاسبه میزان رطوبت بازیافتی تعیین شد (تصویرهای ۸ و ۹).

- تغییر میزان رطوبت بازیافتی نمونه‌های آزمایش شده
نظر به این نکته که جذب آب در قسمت‌های بی‌نظم زنجیر سلولز بیشتر اتفاق می‌افتد، تغییر میزان رطوبت بازیافتی پارچه‌ها جهت بررسی تغییر در بخش‌های بلورین و بی‌نظم همراه با نتایج ATR-FTIR، آزمایش شدند (تصویر ۱۰).

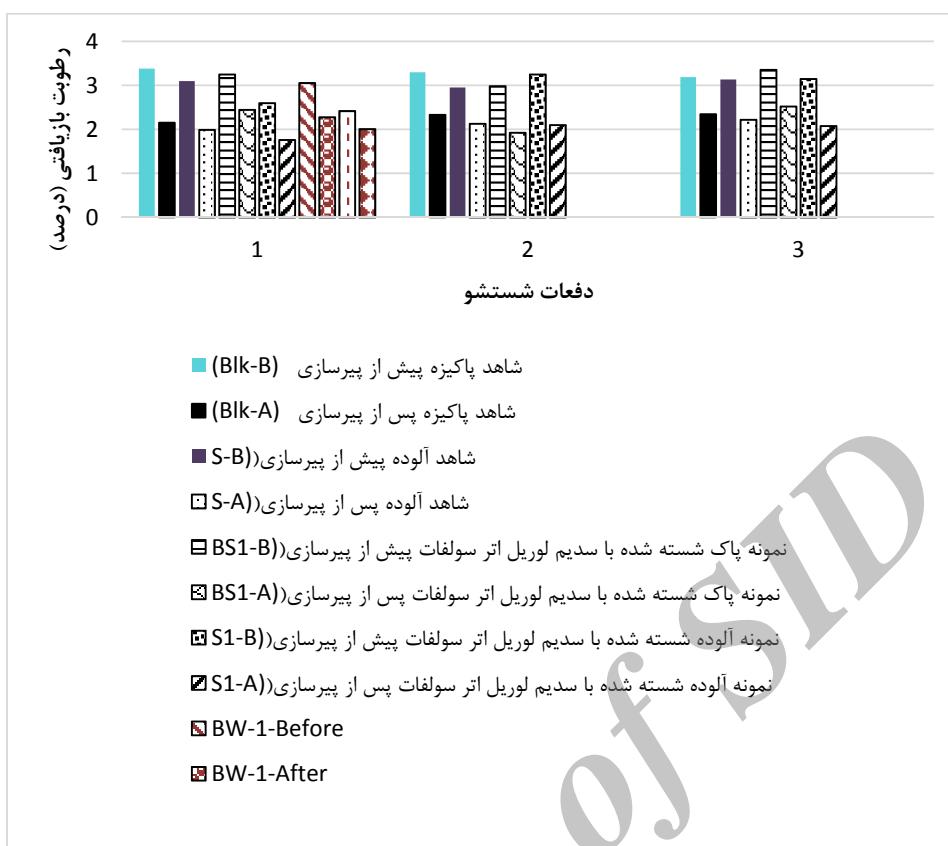
نواحی پیک در 1372 cm^{-1} به 2900 cm^{-1} محاسبه می‌گردد. اگرچه ساختار سلولز II و III بی‌نظم‌تر اما نسبت به سلولز I پایدارترند. با تخریب سلولز هنگام پیرشدن، از میزان سلولز I کاسته و به فرم‌های دیگر تبدیل می‌شود (Yang, 1991) که در طیف ATR-FTIR نمونه‌ها قابل مشاهده می‌گردد. با توجه به تخریب نواحی بی‌نظم، نسبت نواحی بلورین به بی‌نظم افزایش می‌یابد و نسبت بلورینگی کل در نمونه‌های پاک زیاد شده است ولی در نمونه‌های آلوده چون پیک خاک و دوده در ناحیه 1400 cm^{-1} ، پیک مربوط جهت محاسبه بلورینگی



تصویر ۸. طیف ATR-FTIR پارچه آلوده دوبار شسته‌شده با محلول‌های SLES، شاهد و کنترل قبل از پیرسازی در محدوده $1800-650\text{ cm}^{-1}$ (نگارندگان)



تصویر ۹. طیف ATR-FTIR پارچه آلوده دوبار شسته‌شده با محلول SLES، قبل و بعد از پیرسازی و پارچه پیرشده شسته‌نشده به‌عنوان شاهد (نگارندگان)



تصویر ۱۰. تغییر درصد رطوبت باز یافتی پارچه‌های آلوده و پاک طی سه بار شستشو (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

در پارچه‌های پاک شسته شده، pH پارچه‌ها بدون تغییر بوده یا افزایش کمی یافته‌اند. پس از پیرسازی نیز pH اندکی کاسته شده اما همه از روند مشابهی پیروی می‌کنند و نمونه‌ای غیرعادی به چشم نمی‌خورد. در مرتبه اول شستشوی نمونه شاهد آلوده، آلودگی‌ها خارج نشده و باعث کاهش میزان pH پس از پیرسازی شده‌است. پس از پیرسازی نیز در پارچه‌ها، کاهش میزان pH دیده می‌شود. pH بالای نمونه شسته شده با آب مقطر، نشان‌دهنده خارج نشدن آلودگی‌ها از پارچه است که پس از پیرسازی باعث اسیدی‌تر شدن پارچه نسبت به حالت پاکیزه آن گردیده است. اما در نمونه‌های آلوده‌ای که با SLES شسته شده‌اند، pH پارچه‌ها کاهش یافته که به دلیل خروج آلودگی‌های خاک و دوده است (روند کاهش pH خاک و دوده در نمونه شاهد نامنظم است ولی تفاوت ناچیز و قابل چشم‌پوشی است). تفاوت میزان هدایت الکتریکی پارچه آلوده و پاک در محلول شاهد و آب مقطر، نشان می‌دهد آلودگی‌ها از پارچه خارج نشده‌اند اما این اختلاف در پارچه‌های شسته شده با محلول SLES دیده نمی‌شود که نشان‌دهنده خروج بسیاری از مواد آلاینده یونی است. میزان مقاومت کششی در اولین مرتبه شستشوی پارچه‌های پاک افزایش یافت که این روند در SLES، بیش از شاهد و هر دو بیش از آب مقطر بوده‌اند که نشان می‌دهد به دلیل حضور مواد افزوده شده به خصوص SCMC است. البته در نمونه‌های شسته شده با محلول حاوی مواد فعال سطحی، ترشوندگی بیشتر و جذب SCMC روی پارچه بیشتر شده که باعث افزایش مقاومت کششی گردیده و در پیرسازی نیز آسیب جدی به پارچه وارد نشده است. اما در مرتبه دوم و سوم شستشو، از میزان آن به نحو چشم‌گیری کاسته شده است. این کاهش در نمونه‌های آلوده به چشم نمی‌خورد پس می‌توان گفت، شستشوی پارچه‌ها در حالی که آلوده نبوده و نیازی به شستشو ندارند، به آنها آسیب بسیاری وارد می‌کند. مقدار این آسیب در مرتبه‌های نخست کم است و به تدریج زیاد می‌شود. اهمیت این مطلب درباره پارچه‌های تاریخی ویژه‌ای است که به دفعات کم، شسته شده‌اند.

باتوجه به تفاوت روند تغییرات نوارهای جذبی مادون قرمز در پارچه‌های آلوده نسبت به پارچه‌های پاک، باید خاطر نشان کرد وجود آلودگی بر رفتار سیستم مؤثر است و در این آزمون و موارد مشابه، تعمیم نتایج به دست آمده از نمونه‌های پاک به کلیه موارد، صحیح نیست. همچنین، برای تحقیق درباره تأثیر هر ماده‌ای بر سلولز در پارچه‌های پنبه‌ای - تاریخی، نمی‌توان فاکتور آلودگی را در پارچه حذف کرد. تفاوت میزان افت مقاومت کششی در نمونه‌های پاک و آلوده، بیانگر این است که حضور مواد آلاینده از تأثیر شوینده بر الیاف می‌کاهد. در هر حال، جدایش ذرات چرکی از بستر با تنش همراه است و کاهش جزئی مقاومت کششی مشاهده شده در نمونه‌های آلوده، می‌تواند به همین علت باشد. اما باتوجه به بررسی تخریب پارچه در اثر آلودگی، می‌توان گفت این میزان در مقایسه با تأثیر تخریبی آلودگی در طول زمان بیشتر نیست. نمودار ۲ و ۳ نشان می‌دهد، SLES نسبت به شاهد به میزان بسیار زیادی باعث افزایش سفیدی پارچه‌های آلوده شده‌اند که باتوجه به این مقدار، قدرت شویندگی طبق نمودار ۴ و جدول ۵ خواهد بود. (آزمون‌های آماری با سطح اطمینان ۹۵ درصد نیز بیانگر این نکته هستند که تفاوت معناداری بین قدرت شویندگی محلول شاهد و محلول شوینده SLES وجود دارد) گرچه در نمودار ۱، محلول شاهد باعث افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها شده بود اما نظر به میزان شاخص رنگی و سفیدی، قدرت شویندگی نداشته و از نظر بصری، به شیء آسیب وارد می‌کند. استفاده از آب مقطر در پارچه‌های آلوده به خاک و دوده، از میزان سفیدی آن کاسته (قدرت شویندگی منفی است) و این مقدار در پیرسازی افزایش یافته است. بر این اساس، می‌توان استنباط نمود شستشوی منسوجات با مقدار کم و ناکافی مواد شوینده، برای نمونه ۱۰ قطره شامپو بچه در ۱۰ لیتر آب یا ۱۱ قطره شامپو بچه در ۱۵ لیتر آب^{۵۲}، نه تنها باعث پاک‌سازی شیء از آلودگی‌ها نمی‌شود بلکه چرکی را در پارچه تثبیت می‌کند. نمودار ۳، نشان می‌دهد میزان سفیدی پس از پیرسازی حدود سه درصد کاسته شده که امری طبیعی است اما در اثر استفاده از مواد فعال سطحی، این کاهش بیشتر نشده است. به معنای دیگر شوینده‌های استفاده شده با گذشت زمان، تأثیری بر رنگ سلولز نداشته و زردی آن را بیشتر نکرده‌اند بلکه با شستشوی مراحل دوم و سوم به دلیل پاکیزه‌تر شدن نمونه، تغییر آن، روندی افزایشی داشته است (از میزان منفی بودن آن کاسته شده است). نمودار سفیدی بعد از پیرسازی به نمودار قبل از پیرسازی نزدیک‌تر شده است به بیان دیگر، ماده مذکور پس از کاربرد در شستشوی پارچه، در طول زمان نیز تأثیر نامطلوبی از نظر تغییرات رنگی و بصری بر پارچه ندارد. طیف قبل و بعد از پیرسازی نیز (نمودار ۸)، این نکته را تأیید می‌کند. شستشوی نمونه‌ها برای بار دوم، آنها را هم از لحاظ استحکام و هم میزان سفیدی در شرایط مطلوبی قرار داده به نحوی که، شیب تغییر در مرتبه سوم بسیار کاهش یافته است. این موضوع، نشان می‌دهد مواد فعال سطحی در دو مرحله بیشترین میزان شویندگی خود را داشته‌اند و در یک فرایند شستشو، شستشوی بیشتر از دوبار، بازه بیشتری نداشته که باتوجه به کاهش مقاومت کششی منطقی نخواهد بود. در هر صورت، باتوجه به کاهش شدت پیک دوده در نمونه‌های شسته شده، شستشو با حذف دوده همراه بوده است.

همه نمونه‌ها در اثر پیرسازی دچار کاهش میزان رطوبت باز یافتی شدند که می‌تواند به دلیل افزایش مواد حاصل از تخریب و ممانعت فضایی ناشی از آن باشد. نمونه‌های آلوده در اثر شستشو نسبت به نمونه‌های پاک مشابه خود، میزان رطوبت کمتری را جذب نمودند که به علت خروج مواد آلوده از پارچه است. چونکه سطح آلودگی‌ها رطوبت جذب می‌کند و حذف مقدار زیادی از آنها با کاهش جذب رطوبت همراه خواهد بود. در شستشوی بیشتر نمونه‌های آلوده (دو و سه بار)، به علت رفع آلودگی‌ها، گروه‌های عاملی بیشتری قادر به جذب رطوبت خواهند بود و میزان جذب رطوبت افزایش خواهد یافت. بر اساس نمودار ۷، در نمونه‌های پارچه‌ای آلوده شسته شده با محلول شاهد و کنترل پیک ناحیه 665 cm^{-1} ، که مربوط به ارتعاشات خمشی گروه هیدروکسیل خارج از صفحه است، کاهش جذب و در حقیقت کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد (پیوند داده) را در ناحیه بی‌نظم زنجیر سلولز نشان می‌دهد. این کاهش، همراه با افزایش جذب ناحیه 1714 cm^{-1} ناشی از ارتعاش کششی $C=O$ و بیانگر تخریب زنجیر سلولزی است. همچنین در این طیف‌ها، نوار جذبی 1050 cm^{-1} ، نشانگر ارتعاش کششی $C-O$ در سلولز است. جذب در 1155 cm^{-1} ، در اثر ارتعاش کششی نامتقارن $C-O-C$ در سلولز است (Abidi et al., 2013). کاهش این جذب، نشان‌دهنده شکست زنجیر پلیمری در قسمت پل اکسیژنی در پلی ساکاریدهاست. جذب در حوالی 1325 cm^{-1} نیز، ناشی از ارتعاش

گروه CH_2 در سلولز است. نوار جذبی مربوط به گروه $\text{C1}(\beta\text{-linkage})$ ، در سلولز در حدود 894 cm^{-1} دیده می‌شود (Abidi et al., 2013). کاهش جذب در این ناحیه و نیز افزایش در 1338 cm^{-1} ، می‌تواند ناشی از فرایندهای باز شدن حلقه گلوکوزی در ساختار پلی ساکارید باشد. براین اساس، در طیف حاصل از نمونه شسته شده با SLES برخلاف نمونه شسته شده با محلول شاهد و کنترل، این موارد دیده نمی‌شود و می‌توان گفت شستشو با SLES، تأثیری در ساختار پارچه نداشته است. نمودار ۸ و پیک‌های جذب در 899 cm^{-1} ، 1338 cm^{-1} ، نوار جذبی 1050 cm^{-1} و 1155 cm^{-1} گویای تخریب بیشتر نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه شسته شده با محلول حاوی SLES در طول زمان هستند که با توجه به این نتیجه و نیز تغییر نیافتن رنگ در آزمایش میزان سفیدی، می‌توان گفت استفاده از این ماده طی زمان نیز تأثیری تخریبی بر ساختار سلولز نداشته است.

پی‌نوشت

۱. این مطلب را با توجه به پایان نامه‌های موجود نیز می‌توان دریافت. تا تاریخ ۹۲/۹/۳۰ از میان چهارده پایان نامه موجود در دانشگاه هنر اصفهان که روی پارچه مطالعه شده است، در دوازده نمونه، شیء شسته شده است که در هفت مورد (۵۸ درصد)، کارشناسان از شامپو بچه استفاده کرده‌اند. در یک نمونه از ۴۰٪ Tinovetin G-U، در دو نمونه از Triton 100X و در یک نمونه، از شوینده‌ای با نام دترجنت یاد شده که دقیقاً مشخص نیست چه شوینده‌ای به کار رفته است.
۲. سازوکار حذف چرکی توسط شوینده از طریق نیروهای فیزیکی یا شیمیایی، تنش‌های خاصی به بستر وارد می‌کند.
۳. در ترشویی، pH محلول همیشه از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طور کلی، توصیه شده که pH به‌جز هنگام سفیدکنندگی هیچ‌گاه از ۸/۵ بیشتر نشود حتی برای الیاف سلولزی. pH محلول‌های شستشو برای الیاف پروتئینی باید خنثی یا پائین‌تر از آن (کمی اسیدی) باشند (Landi S., 1992: 68).

4. Diamond W. J.
5. Levin H.
6. H. C. Evans
7. N. H. Tennent
8. Mary Ballard
9. D. Eastop
10. J. Lewis
11. Synperonic
12. Orvus
13. Berol
14. Tse
15. Yves Deslandes
16. Gerald Pleizier
17. Santanu Paria
18. Triton
19. Terrace
20. WFK-10D
21. John A. Fields
22. Imbentin
23. Hostapon
24. Saponin
25. Irgasol
26. Dehypon
27. Electrical Conductivity (EC)
28. Barbara Simončič
29. Veronika Rozman

۳۰. متأسفانه به دلیل نبود مدارک مکتوب، نگارنده قادر به ارائه آمار دقیق نیست و فقط مصاحبه‌ای با کارشناس میراث فرهنگی، مریم رضازاده، انجام داده است.

31. Tergotometer

۳۲. در (Fields et al., 2004) و همچنین همه موارد مطالعه شده در دانشگاه هنر اصفهان که قبلاً به آنها اشاره شد، شستشو به شیوه غوطه‌وری مناسب تشخیص داده شده است.

۳۳. انتخاب غلظت‌ها باتوجه به موارد مطرح شده توسط شیلا لندی و اگنس تیمار انتخاب شده است (Landi S., 1992 Tímár-; Balázsy & Eastop, 2000).

34. Critical Micell Concentration

۳۵. البته شواهدی وجود دارد مبنی بر اینکه با ماده فعال سطحی خاصی، میزان شویندگی چرکی‌های روغنی در غلظت‌های بالاتر از CMC همچنان افزایش می‌یابد (Jesse & Lynn, 2005:pp. 28-31).

۳۶. (Sree-iam et al., 1997) و نیز برخی از محصولات تجاری مانند فوم دست‌شویی اتکا تولیدی شرکت روغن‌کشی خرمشهر، شامپو ایوان، پودر صابون شوام، ژل پاک‌کننده Bioderma ساخت کارخانه Dipta کشور فرانسه و شامپو NIVEA محصول کشور آلمان، این مواد در ترکیبات آنها استفاده شده است. اطلاعات یادشده، با مراجعه به سایت شرکت و نیز بسته‌بندی محصول گردآوری شده است.

۳۷. Gotte -Zein (1964) نشان داد، قابلیت حلالیت زئین در محلول‌های سورفکتانت ارتباط خوبی با تحریک پوستی ناشی از سورفکتانت دارد. او دریافت که تحریک پوستی با افزایش حلالیت زئین افزایش می‌یابد. این تست براساس مقدار پروتئین زئین حل شده که شباهت به پروتئین موجود در پوست دارد، در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول مشخصی از نمونه است. در نهایت، میزان نیتروژن آزادشده محاسبه خواهد شد. هرچه میزان نیتروژن آزادشده بیشتر باشد، نشان‌دهنده تحریک‌زائی بیشتر محلول مدنظر است.

38. Color Tector Alpha®

39. Commission Internationale de l'Éclairage

40. Berger

41. Stensby

42. Taube

43. Ganz

44. Griesser

45. Whiteness

46. Brightness

۴۷. در این استاندارد، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب به ۲ گرم پارچه افزوده شده و پس از دو ساعت هم‌زدن بر روی لرزاننده (شیکر یونیورسال ساخت شرکت آرین آزما)، pH محلول اندازه‌گیری می‌شود.

48. Fourier Transform Infrared Spectroscopy

49. Attenuated Total Reflectance- Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR)

50. Resolution

51. Background

52. Total Crystallinity Index (Total CI)

۵۳. این موارد از گزارشات مرمتی پایان‌نامه‌ها برداشت شده است. باتوجه به این نکته که در مواد شوینده تجاری حدود ۳۰-۲۰ درصد ماده فعال سطحی وجود دارد، با فرض حجم ۰/۰۵ میلی‌لیتر برای هر قطره، غلظت ماده فعال سطحی محاسبه می‌شود که بسیار پایین‌تر از CMC خواهد بود. البته در برخی موارد، گزارش شده است که هفت مرحله آبکشی برای خروج کف این مقدار ماده شوینده، نیاز بوده که جای تأمل دارد.

منابع و مأخذ

- خانی، مریم (۱۳۹۰). حفاظت و مرمت یک نیم‌تنه، متعلق به کلیسای وانک اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- زمانیان، نرگس (۱۳۸۷). مطالعه موردی بر روی یک نیم‌تنه مخملی، متعلق به موزه کلیسای وانک اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- شهیدزاده، شیما (۱۳۹۲). مطالعه موردی و حفاظت و مرمت یک نمونه پارچه زربفت متعلق به دوره قاجار. پایان‌نامه

- کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- صامتی، مریم (۱۳۷۴). شناخت و بررسی آسیب‌های وارده بر تزئینات فلزی به کاررفته در بافته‌ها، مرمت و حفاظت یک نمونه پارچه زربفت قدیمی. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - عبدالهی، شیوا (۱۳۹۰). حفظ و مرمت یک کت مخمل متعلق به موزه کلیسای وانک اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - علیمیرزایی، فاطمه (۱۳۸۵). حفاظت و مرمت بخش‌های پارچه‌ای مربوط به صندلی معروف به صندلی شاه متعلق به گنجینه نقاشی پشت شیشه. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - فضلی، مریم (۱۳۸۸). بررسی، حفظ و مرمت یک پارچه گلابتون دوزی شده موسوم به پوراوار متعلق به موزه کلیسای وانک اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - قبادی، مهری (۱۳۹۲). ارزیابی کاربرد سدیم لوریل اتر سولفات و کوکونات فتی اسید دی اتانول آمید در شستشوی پارچه‌های پنبه‌ای تاریخی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - کاکویی، مینا (۱۳۸۹). طرح حفظ و مرمت از یک نمونه پارچه ابریشمی نقاشی شده (قسمتی از پاروان کاخ- موزه گلستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - کشکولیان، صفورا (۱۳۸۹). پارچه قلمکار (مطالعه موردی بر روی رویه تشک قلمکار و حفاظت و مرمت آن. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - معتقد، سوسن (۱۳۶۸). حفاظت و مرمت پارچه‌های تاریخی نمونه باستانی ارجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
 - مهدی‌زاده، گیتا (۱۳۷۲). حفاظت از پارچه‌های قدیمی در برابر عوامل محیطی و مرمت نمونه پارچه قومیس دامغان. پایان‌نامه کارشناسی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- Abidi, N., Cabrales, L., & Haigler, C. H. (2013). Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, [Article in press, Accepted 24 January 2013].
 - Ballard, M. W. & Rhee, H. (1997). "The effect of surfactant residues on silk." *SFT Jubilee conference: silk different aspects*. Stockholm. P. 7.
 - Diamond, W. J. & Levin, H. (1957). "Evaluation of Soil Removal from Cotton Fabrics." *Textile Research Journal*, 787-795.
 - Eastop, D. & Lewis J. (2001). "Mixtures of anionic and non-ionic surfactants for wet-cleaning historic textiles: a preliminary evaluation with standard soiled wool and cotton test fabrics." *The Conservator*, (25): 73-89.
 - (2001). Effect of Water Washing on Paper and Cellulosic Textiles: An Overview and Update of CCI Research. *The Book and Paper Group Annual, Canadian Heritage, Canadian Conservation Institute (CCI)*, Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 35-39.
 - Evans, H. C. (1958). "Fiber swelling and detergent adsorption in detergent/textile fibers systems." *Journal of Colloid Science*, 13: 537-552.
 - Fan, M.; Dai, D. & Huang, B. (?). Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Natural Fibres. *Fourier Transform – Materials Analysis*. www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/37067 (Retrieved 27/12/2013).
 - Fields, J. A.; Wingham, A.; Hartog, F. & Daniels, V. (2004). "Finding substitute surfactants for SYNPERONIC N." *Journal of the American Institute for Conservator (JAIC)*, 43 (1): 55-73.
 - Jesse, L., & Lynn, J. (2005). Detergents and Detergency. F. Shahidi (Ed.), *BAILEY'S INDUSTRIAL*

- OIL AND FAT PRODUCTS** (Vol. 6). Hoboken, Canada: WILEY. www.mrw.interscience.wiley.com/biofp (access date: 20/2/2013).
- Johnston-Feller, R. (2001). **Color Science in the Examination of Museum Objects: Nondestructive Procedures**. Los Angeles: The J. Paul Getty Trust.
 - Landi, S. (1999). **The Textile Conservator's Manual**. London: Butterworth-Heinemann.
 - Liu, Y. (2013). Recent Progress in Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy Study of Compositional, Structural and Physical Attributes of Developmental Cotton Fibers. **Materials**, 6: 299-313.
 - paria, S.; Manohar, C. & Khilar, K. C. (2003). Experimental Studies on Adsorption of Surfactants onto Cellulosic Surface and it's Relevance to Detergency. **Journal of The Institution of Engineers**, 43(2): 34-44.
 - Puebla, C. (2004). Whiteness Assessment: A Primer Concepts, Determination and control of Perceived Whiteness, Axiphos GmbH (access date:20/2/2014).
 - Ren, Y. H.; Liu, B. X. & Sun, X. N. (2012). Research on the Aging of Natural Fiber Textiles. **International Conference on Biological and Biomedical Sciences (ICBBS)**, 9: 1-5.
 - Rosen, M. J. (2004). **Surfactants and Interfacial Phenomena** (third ed.). Hoboken: Wiley.
 - Schramm, L. L.; Stasiuk, E. N. & Marangoni, G. D. (2003). Surfactants and their applications. **Annual Reports on the Progress of Chemistry**, Section C (physical chemistry), London: Royal Society of Chemistry(RSC), 99: 3-48.
 - Schwanninger, M.; Rodrigues, J. C.; Pereira, H. & Hinterstoisser, B. (2004). Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. **Vibrational Spectroscopy**, 36: 23-40.
 - Simončič, B., & Rozman, V. (2007). "Wettability of cotton fabric by aqueous solutions of surfactants with different structures". **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, 292: 236-245.
 - Sree-iam, S.; Kaewnopparat, S. & Pinsuwan, S. (1997). Influence of Clear Liquid Shampoo Components on Preservative Activity of Parabens. **Thammasa Int. J. Sc. Tech.**, 2(2): 79-83.
 - Tennent, N. H. (1986). "The deterioration and conservation of dyed historic textiles." **REV. PROG. COLORATION**, 16: 39-45. www.elearnica.ir (access date: 10/9/2013).
 - Tímár-Balázsy, Á. & Eastop, D. (2000). "Chemical Principles of Textile Conservation". **International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works**. 45(3).
 - Tse, S. & Derschau, D. V. (2001). The Science of Conservation: Surfactant Residue and Rinsing Procedures for Historic Textiles. **CCI Newsletter**, (27). www.cci-icc.gc.ca (access date: 10/12/2012).
 - Yang, C. Q. (1991). "FT-IR Spectroscopy Study of the Ester Crosslinking Mechanism of Cotton Cellulose", **Textile Research Journal** . 61: 433-440.
 - Yi, C. M. (2011). "**EFFECT OF WASHING ON TENSILE STRENGTH OF DENIM FABRIC**". Bachelor of Arts Thesis. Hong Kong: INSTITUTE OF TEXTILES & CLOTHING, THE HONG KONG POLYTECHNIC UNIVERSITY.
 - Zippel, E. (2000). Staub, eine Reinigungsherausforderung (Dust, a challenge for cleaning). In N. Lachmann, & S. Miklin-Kniefacz (Ed.), **Schmutz: Zeitdokument oder Schadensbild?** 14 Tagung des Österreichischen Restauratorenverbandes, Altes Rathaus Wien, 14./15. Juni 1999 (pp. 76-80). Vienna: Österreichischer RestauratorenVerband.



Received: 2014/05/18

Accepted: 2014/08/11

Assessing the Application of Sodium Lauryl Ether Sulphate in the Cleaning of Historical Cotton Fabrics by Using Accelerated-Aged Samples

Mehri Ghobadi* Hossein Ahmadi**

Majid Mortazavi*** Mohsen Mohammadi Achachluei****

Abstract

3 Although the issue of cleaning and washing the historical textiles and fabrics has been proposed in the field of conservation and restoration for a long time, it is still one of the important and challenging issues in this field. Depending on different characteristics of detergents, the cleaning formulation for various textiles will be different. Having different additives and changes of formulation due to time passing, industrial and commercial detergents lack sufficient and proper conditions to be used in such field. Choosing a detergent which is proportionate to the conditions of the textile and its physical features, has good cleaning effect and does not damage the textile and create bad effects on its fibers in the long run should be considered by the conservator in his plan. Regarding the extensive use of Sodium Lauryl Ether Sulphate (Anion surfactant) in most detergents and its being available and economical, this research aims to investigate its suitability by investigating its advantages and disadvantages in the wet-cleaning of historical cotton textile. To reach such an aim, its cleaning capacity and damaging effects in the cleaning of cotton textile should be assessed. The method of this research is comparative-analytic and the data has been gathered via relevant experiments such as ATR-FTIR, colorimetry, tensile strain etc. The aged cotton textiles are washed by the detergent which consists of the under-study surfactant, and they are examined before and after washing. The results of this study show that it has no damaging effect on the cellulose and can be used in washing historical cotton textiles.

Keywords: conservation, restoration, cotton, washing, surfactant, Sodium Lauryl Ether Sulphate

* PhD Candidate, Conservation of works of Art, Art University of Isfahan

** Associated Professor, Faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan

*** Associated Professor, Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology

**** PhD, Conservation of Works of Art, Art University of Isfahan