

## شناسایی عملکرد چسب متیل سلولز بازپروری و فعال‌سازی شده جهت آماده‌سازی تیشوهای مورداستفاده در مرمت آثار کاغذی

### چکیده

این مقاله، با هدف تسهیل به‌کارگیری چسب متیل سلولز در مرمت آثار کاغذی که مرکب آن‌ها نسبت به آب حساس است، انجام شده است. روش انجام پژوهش، تحلیلی-مقایسه‌ای و شیوه گردآوری داده‌ها از طریق آزمایش‌های مرتبط با موضوع پژوهش همچون pH سنجی، رنگ سنجی، طیف‌سنجی مادون قرمز با بازتاب کلی تضعیف‌شده (FTIR-ATR)، اندازه‌گیری مقاومت کششی و همچنین اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی نمونه‌ها بوده است. مراحل انجام پژوهش حاضر بدین گونه بود که ابتدا چسب متیل سلولز با غلظت ۷٪ محلول در متانول آماده شد. سپس با استفاده از این چسب نمونه‌سازی‌ها انجام شد. نمونه‌های آماده‌شده تحت پیرسازی تسریعی دما-رطوبت طبق استاندارد ASTM به شماره D4714-96 به مدت ۳۸۴ ساعت و نور طبق استاندارد ASTM به شماره D6789-02 به مدت ۳۶۰ ساعت قرار گرفتند و تغییرات رنگ، pH، مقاومت کششی و میزان چسبندگی آن‌ها، موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، میزان pH نمونه‌ها از ۶/۹۱ قبل از پیرسازی به ۶/۳۹ پس از پیرسازی نوری و ۶/۰۶ پس از پیرسازی دما-رطوبت تغییر کرد. مقاومت کششی نمونه‌ها نیز از ۰/۳۱ کیلو نیوتن بر متر به ۰/۲۳ کیلو نیوتن بر متر پس از پیرسازی نوری و ۰/۲۴ کیلو نیوتن بر متر، پس از پیرسازی دما-رطوبت کاهش یافت. همچنین میزان مقاومت چسبندگی نمونه‌ها نیز از ۱/۴۳ نیوتن به ۰/۹۷ نیوتن پس از پیرسازی نوری و ۱/۱۵ نیوتن پس از پیرسازی دما-رطوبت کاهش یافت.

**واژگان کلیدی:** چسب متیل سلولز، فعال‌سازی، بازپروری، تیشو، مرمت آثار کاغذی.

کبری دادمحمدی<sup>۱\*</sup>  
مهرناز آزادی بویاغچی<sup>۲</sup>  
عباس عابد اصفهانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup> استادیار و عضو هیئت‌علمی دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup> عضو هیئت‌علمی دانشگاه آزاد اسلامی (واحد خوراسگان)، اصفهان، ایران

مسئول مکاتبات:

[k.dadmohamadi@yahoo.com](mailto:k.dadmohamadi@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۸

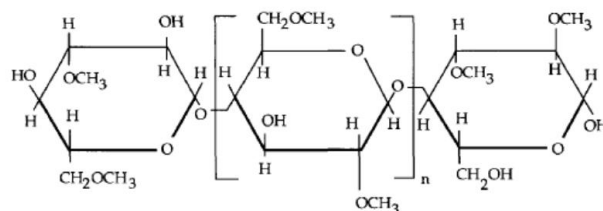
### مقدمه

آثار کاغذی، به دلیل ماهیت آسیب‌پذیرشان نیازمند توجه ویژه‌ای در حوزه حفاظت و مرمت می‌باشند. در آرشیوهای اسناد تاریخی، مکتوبات و نسخ باارزشی را می‌توان دید که صرف‌نظر از روش درمانی، به دلیل نامناسب بودن چسب به‌کاررفته، دچار آسیب‌های جبران‌ناپذیری

شده‌اند. چسب‌ها، به‌عنوان عامل افزایشی، نقش ویژه‌ای را در زمینه‌ی حفاظت و مرمت ایفا می‌کنند که در صورت استفاده نادرست ممکن است روند تخریب را سرعت بخشند؛ به صورتی که آثار کاغذی مرمت‌شده - حاوی چسب- بر اثر مرور زمان دچار زردشدگی، خشکی و شکنندگی می‌شوند [۱]. مرمتگران، روش‌های مرمت را به دودسته مرمت خشک و خیس دسته‌بندی کرده‌اند که در

های رایج در مرمت آثار کاغذی می باشند. از سلولز اترها می توان به متیل سلولز اشاره کرد که یکی از چسب های سلولزی مورد استفاده در مرمت است. این چسب در آب سرد محلول است اما همچنین در الکل و استون نیز حل می شود. چسبندگی آن بسیار خوب است و در برابر عوامل بیولوژیکی مقاوم است. متیل سلولز یکی از مهم ترین سلولز اترهای تجاری است و کاربردهای صنعتی بسیاری دارد. متیل سلولز ساده ترین مشتق سلولز است که گروه متیل ( $\text{CH}_3$ ) جایگزین هیدروکسیل در C-2, C-3 و یا C-6 موقعیت واحد anhydro-D-glucose شده اند (شکل ۱). این ماده معمولاً به عنوان چسب برای صحافی کاغذ، همچنین به عنوان آهار برای کاغذ و پارچه استفاده می شود. متیل سلولز به شل شدن و تمیز شدن چسب های قدیمی از کتاب و مقوا کمک می کند و یا همراه با پلی وینیل الکل زمان خشک شدن را کاهش می دهد. متیل سلولز به عنوان آهار در تولید کاغذ و پارچه استفاده می شود چون از جذب آب و روغن توسط الیاف جلوگیری می کند [۳].

حقیقت منظور استفاده از چسب هایی است که به صورت خشک استفاده شده و با حرارت نرم شده و می چسبند و چسب هایی که در حلال حل شده و بر روی سطح کار خشک می گردند. چسب هایی که در دسته اول قرار دارند از خانواده پلیمرهای اکریلات و متاکریلات می باشند. مشکل اصلی این چسب ها تغییر شیمیایی آن ها در اثر گذشت زمان است. اگرچه کار با این چسب ها راحت بوده و چسبندگی و انعطاف پذیری خوبی دارند، اما بعد از گذشت مدت زمانی کوتاه تغییر رنگ داده و زرد می شوند. همچنین به دلیل برقراری اتصالات عرضی حلالیت خود را از دست داده و غیرقابل برگشت می شوند. موارد بسیاری مشاهده گردیده که اوراق کاغذی که به این روش مرمت گردیده اند به هم چسبیده اند. چراکه این چسب در اثر گرم شدن، نرم گردیده و باعث چسبیدن اوراق به هم می گردد [۲]. به عنوان مهم ترین دسته از چسب های گروه دوم می توان به چسب های پایه سلولزی اشاره کرد. از آنجاکه پایه اصلی این چسب ها سلولز است و شباهت زیادی به ساختار کاغذ دارند، حداقل آسیب را به کاغذ می رسانند و موادی مناسب جهت مرمت آثار کاغذی می باشند. سلولز اترها از چسب



شکل ۱- ساختار مولکولی متیل سلولز [۴]

تثبیت کننده رنگ دانه ها، ماده استحکام بخش برای چوب های اشباع از آب و همچنین به عنوان چسب پارچه کاربرد دارد [۶]. در این پژوهش سعی خواهد شد که چسب متیل سلولز محلول در الکل، به صورت تیشوی چسبی تهیه شده و برای مرمت آثار کاغذی که مرکب و رنگ آن ها نسبت به آب حساس است، مورد استفاده قرار گیرد و در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده کاربرد آن ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. مهم ترین سؤالی که این پژوهش به دنبال پاسخگویی به آن است عبارت است از اینکه در مرمت آثار کاغذی، فعال سازی تیشوهای چسب دار تهیه شده به وسیله چسب متیل سلولز چه عملکردی دارد؟

متیل سلولز در آب سرد محلول است اما همچنین در حلال های ترکیبی (آب و اتانول) و حلال های آلی حل می شود. به طور کلی متیل سلولز یک پلیمر غیر یونی است که قادر است با دیگر پلیمرها مانند پلی وینیل الکل، نمک و مواد مختلف ترکیب شود [۵]. متیل سلولز یک ماده بادوام، کاملاً غیر سمی، بی مزه و بی بو است که باعث می شود به عنوان یک چسب مورد استفاده قرار گیرد. این چسب قادر به تشکیل محلول هایی با ویسکوزیته بالا در غلظت های بسیار پایین است؛ بنابراین به عنوان یک عامل غلیظ کننده در چسب های محلول در آب قابل استفاده است. مهم ترین کاربردهای متیل سلولز عبارت اند از: روکش محافظ و برگشت پذیر برای دیوارنگاره ها،

موردبررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش چسب متیل سلولز را به صورت ۳ تا ۵ درصد محلول در آب تهیه کرده و آن را با استفاده از قلم‌مو بر روی فیلم پلی‌استر قرار داده و در معرض هوا خشک کرده است و در نهایت به وسیله آب و الکل به نسبت یک‌به‌یک، دوباره فعال‌سازی کرده است [۹]. در این پژوهش سعی بر آن است که چسب متیل سلولز مورد استفاده در مرمت آثار کاغذی، به صورت تیشوی چسبی تهیه شود و سپس توسط الکل، فعال‌سازی شود و به وسیله پرس موضعی و یا با استفاده از دستگاه پرس سرد (بدون اعمال حرارت) به اثر متصل شده و برای مرمت آثاری که مرکب و رنگ آن‌ها نسبت به آب حساس است استفاده شود.

## مواد و روش‌ها

### نمونه‌های کاغذ

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، جهت انجام آزمون‌های مورد نظر از کاغذ تیشوی (ژاپنی)  $10/9 \text{ g/m}^2$  GIFU استفاده شد. این کاغذ، بر اساس اطلاعات ذکر شده در کاتالوگ آن، pH خنثی دارد و نسبت به سایر انواع کاغذهای تیشو ضخامت کمتری دارد و معمولاً برای آسترگیری آثار کاغذی استفاده می‌شود (جدول ۱).

در زمینه‌ی حفاظت و مرمت آثار تاریخی، به خصوص آثار کاغذی، منابع بسیار معدودی به چاپ رسیده است. Malekian (۲۰۰۱)، پژوهشی در خصوص حفاظت و مرمت نسخ خطی و اسناد تاریخی انجام داده است و در آن روش‌های مرمت را به روش مدرن (روش خشک، روش خیس (تر)، بازسازی با ماشین) و روش سنتی تقسیم کرده است. در روش مرمت خشک، از چسب ترموپلاست (تکسی کرپل) آماده برای بازسازی آثار کاغذی استفاده کرده است و در روش مرمت خیس از چسب‌های سلولزی استفاده کرده است و در نهایت به این نتیجه رسیده است که در بازسازی و مرمت کتب، با شناخت کامل از همه روش‌ها، تلفیق شیوه مدرن و سنتی الزامی است و ترجیحاً در امر بازسازی نسخ خطی نفیس، از روش‌های مدرن که اجباراً از چسب‌های حرارتی و ترموپلاست استفاده می‌گردد پرهیز شود چراکه پس از قرار گرفتن در قفسه‌های کتاب با کمترین فشار وارده اوراق کتاب به هم چسبیده می‌شوند، ولی در شیوه‌های سنتی این اتفاق نخواهد افتاد [۷]. Fairbass (۱۹۹۵)، به برخی از مشکلات برجسته ناشی از استفاده سدیم کربوکسی متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل سلولز و چسب‌های گرم‌انرم پرداخته است [۸]. Anderson و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهشی روش آماده‌سازی و فعال‌سازی مجدد انواع چسب‌های مورد استفاده در مرمت به روش خیس و خشک، را

جدول ۱- ویژگی‌های کاغذ تیشو

جنس	ابعاد	pH	وزن مخصوص
Manila-Hemp ۱۰۰٪	۶۱*۹۱ cm	۷/۲	۹/۱۰ g/m <sup>2</sup>

تعیین مقاومت کششی و همچنین ابعاد ۲۵ در ۳۰۵ میلی‌متر به منظور تعیین میزان چسبندگی نمونه‌ها برش خورده و سپس چسب متیل سلولز آماده شده توسط قلم‌مو به آرامی بر روی نمونه‌ها قرار گرفت و کاغذها با نمونه چسب ساخته شده پوشش داده شدند. مقدار چسب استفاده شده برای هر کدام از نمونه‌های آزمون مقاومت کششی ۰/۱۵ گرم بر مترمربع و هر کدام از نمونه‌های آزمون مقاومت چسبندگی ۰/۵۳ گرم بر مترمربع بوده است. هر کدام از نمونه‌ها برای سنجش مقاومت کششی ۳ تکرار و برای سنجش میزان چسبندگی ۵ تکرار دارند. در

### آماده‌سازی چسب متیل سلولز

به منظور آماده‌سازی چسب متیل سلولز جهت نمونه‌سازی، با استفاده از پودر متیل سلولز محصول شرکت SIGMA CHEMICAL CO و متانول به عنوان حلال، چسب متیل سلولز با غلظت ۷٪ وزنی محلول در متانول، تهیه شد و سپس چسب آماده شده با استفاده از قلم‌مو بر روی نمونه‌های کاغذ تیشو قرار گرفت.

### آماده‌سازی نمونه‌های کاغذ تیشو با پوشش دهی

آن‌ها به وسیله‌ی نمونه چسب متیل سلولز کاغذهای تیشو در ابعاد ۱۵۰ در ۱۵ میلی‌متر به منظور

این مرحله، نمونه R به عنوان نمونه شاهد و بدون چسب در نظر گرفته شده است تا تغییرات ایجاد شده، بر روی کاغذ بدون چسب نیز در نظر گرفته شود (جدول ۲).

جدول ۲- نمونه های ساخته شده و کد اختصاری آنها

نوع کاغذ	نوع چسب	کد اختصاری	تعداد
کاغذ تیشوی ۹/۱۰ گرمی	-	R <sup>2</sup>	۹
کاغذ تیشوی ۹/۱۰ گرمی	متیل سلولز	MC	۲۴

### پیرسازی تسریع شدهی نمونه ها

پیرسازی تسریع شدهی نمونه ها جهت بررسی تغییرات ایجاد شده در نمونه ها طی فرایند کهنه شدن مورد استفاده قرار گرفت. تغییرات مورد بررسی شامل تغییرات pH، تغییرات رنگی، تغییر در مقاومت کششی و تغییر در مقاومت چسبندگی نمونه ها بود. این آزمون بر روی نمونه های آماده سازی شده (کاغذ پوشش داده شده با نمونه چسب و نمونه های شاهد بدون چسب) بر اساس استانداردهای در نظر گرفته شده به دو روش پیرسازی دما-رطوبت (بر طبق استاندارد ASTM به شماره D4714-96، میزان حرارت ۹۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۵۰٪ به مدت ۳۸۴ ساعت) و پیرسازی نوری (بر طبق استاندارد ASTM به شماره D6789-02، نمونه ها در معرض لامپ زنون OSKAM، HQI-BT400 ساخت کشور اسلواکی با زاویه تابش ۴۵ درجه و دمای روی سطح نمونه ها بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۶۰ ساعت) تحت

پیرسازی قرار گرفتند تا تغییرات ایجاد شده پس از انجام این آزمون ها با نمونه های قبل از پیرسازی مقایسه گردد.

### تعیین pH چسب ها و نمونه های کاغذ آغشته به

#### چسب

از آنجاکه نمونه چسب ساخته شده در مرمت آثار کاغذی استفاده خواهد شد، لازم است تأثیر این چسب بر روی میزان اسیدیته کاغذ، مورد بررسی قرار گیرد. برای دستیابی به این هدف، میزان pH نمونه کاغذ شاهد (بدون چسب) و نمونه های کاغذی که با نمونه چسب متیل سلولز پوشش داده شده بودند بر اساس استاندارد TAPPI-T529 om-99، قبل از پیرسازی توسط دستگاه pH سنج دیجیتالی Metrohm مدل ۷۴۴ و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در سه نقطه از نمونه ها اندازه گیری شد و سپس میانگین آنها محاسبه شد. پس از دو مرحله پیرسازی نیز اسیدیته نمونه ها اندازه گیری و ثبت شد (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین میزان pH نمونه ها قبل و پس از پیرسازی

کد نمونه	pH نمونه قبل از پیرسازی	pH نمونه پس از پیرسازی نوری	pH نمونه پس از پیرسازی دما-رطوبت
R	۷/۱	۶/۶۵	۶/۶۹
MC	۶/۹۱	۶/۳۹	۶/۰۶

### رنگ سنجی نمونه ها

به منظور بررسی تغییرات بصری نمونه ها قبل و بعد از پیرسازی دما-رطوبت و پیرسازی نوری، با استفاده از دستگاه رنگ سنج دستی color tecto alpha محصول شرکت Salutron messtechnik، رنگ سنجی نمونه ها انجام شد. وسیع ترین سیستم پذیرفته شده تعریف رنگ، سیستم CIE است. در رنگ سنجی به روش CIELAB به وسیله مقادیر L (روشنایی تا تاریکی)، a (قرمز تا سبز) و b (زرد تا آبی) تمام رنگ ها می توانند تعریف شوند. این مقادیر (L, a\*, b\*) در کنترل رنگ محصولات کاغذی

تولید شده نیز کاربرد دارند [۱۰]. هدف از انجام این آزمایش بررسی و مقایسه تغییرات رنگی ایجاد شده بر روی کاغذ پس از اعمال چسب های تهیه شده، قبل و پس از پیرسازی است. اندازه گیری رنگ نمونه ها توسط دستگاه بر اساس ۳ فاکتور L, A, B دستگاه رنگ سنج انجام می شود. هر چه فاکتور L بزرگ تر باشد رنگ نمونه روشن تر و بالعکس هر چه مقدار آن کوچک تر و به صفر نزدیک تر باشد رنگ نمونه تیره تر است. در مورد فاکتور a\* هر چه مثبت آن بیشتر و عدد بزرگ تر باشد، رنگ نمونه رو به قرمزی و هر چه مثبت آن کمتر و به سمت منفی باشد،

هنگامی که نوار کاغذی از وسط پاره می‌شود نیرویی که دستگاه مشخص می‌کند میزان نیرویی است که کاغذ تا آستانه پاره شدن تحمل کرده است که واحد این نیرو، کیلو نیوتن بر متر است. آنچه در انجام این آزمون در این پروژه مدنظر بوده است، بررسی تأثیر چسب‌های ساخته شده بر روی مقاومت کششی کاغذ است. در انجام محاسبات مربوط به آزمون مقاومت کششی، ابتدا میانگین حداکثر نیروی کششی نمونه‌ها برحسب نیوتن محاسبه شد و سپس بر اساس فرمول زیر که در استاندارد شماره ۳-۱۴۴۷۱ سازمان ملی استاندارد ایران ارائه شده است، میزان مقاومت کششی نمونه‌ها به دست آمد و نتایج آن در مقایسه با نتایج نمونه‌های شاهد بررسی شد.

$$\sigma_T^b = \frac{\bar{F}_T}{b} \quad (2)$$

$\bar{F}_T$  میانگین نیروی کششی حداکثر (برحسب نیوتن)  
b عرض آزمون (۱۵ میلی‌متر)  
مقاومت کششی (برحسب کیلو نیوتن بر متر)

## نتایج و بحث

### بررسی تغییرات pH

در بررسی سنجش اسیدیته نمونه‌ها بعد از دو مرحله پیرسازی، مشخص شد که pH هیچ‌یک از نمونه‌ها از ۶ پایین‌تر نیامده است. pH بیشتر نمونه‌ها پس از پیرسازی تقریباً در محدوده ۶ باقی مانده است. این میزان افزایش pH در نتیجه فرایند پیرسازی تسریعی کاغذ، قابل پیش‌بینی است (شکل ۲). اسیدی شدن یکی از مهم‌ترین آسیب‌های کاغذ به شمار می‌رود. انجام واکنش‌های هیدرولیز و اکسیداسیون منجر به شکستن زنجیره سلولزی شده و پدیده اسیدی شدن کاغذ را در پی دارد. در این شرایط pH کاغذ کاهش یافته، رنگ آن به زردی گرایش پیدا می‌کند و بسیار شکننده شده، مقاومت مکانیکی خود را از دست می‌دهد [۱۱]. هیدرولیز مهم‌ترین واکنش شیمیایی است که باعث شکستن مولکول‌های سلولز می‌شود. در این واکنش زنجیره با اضافه شدن یک مولکول آب به ساختار شکسته می‌شود. این واکنش بیشتر در بخش‌های آمورف زنجیره سلولزی اتفاق می‌افتد.

رنگ نمونه به سمت سبز گرایش دارد. برای فاکتور\* b نیز هر چه مقدار آن بزرگ‌تر و مثبت آن بیشتر باشد، به طرف رنگ زرد و هرچقدر کمتر و به سمت منفی باشد به سمت رنگ آبی گرایش دارد. در ادامه، تغییرات این فاکتورها توسط فاکتوری به نام اندازه‌گیری می‌شود. از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

### طیف‌سنجی FTIR-ATR نمونه‌های ساخته شده

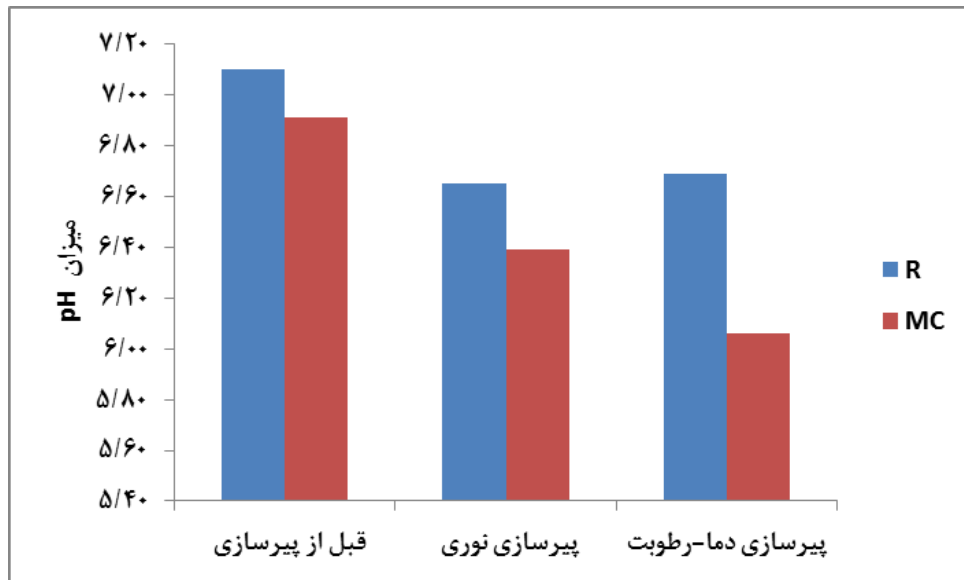
یکی از روش‌ها و ابزارهای سنجش و بررسی تغییرات نمونه‌های ساخته شده، طیف‌سنجی FTIR-ATR است. در این روش هرکدام از نمونه‌ها در زیر سنسور دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز مدل Nicolet-nexus 470 قرار گرفتند و این طیف‌سنجی به صورت سطحی (ATR) از نمونه‌ها انجام گرفت. طیف‌سنجی در دو مرحله، مرحله اول قبل از پیرسازی نمونه‌ها و مرحله دوم پس از دو مرحله پیرسازی نوری و پیرسازی دما-رطوبت، از سطح نمونه‌ها انجام گرفت. در ادامه طیف‌های گرفته شده قبل و پس از پیرسازی در کنار یکدیگر قرار گرفتند تا تغییرات صورت گرفته در طی دو مرحله پیرسازی، برای هرکدام از نمونه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. دامنه طیف‌های گرفته شده از ۱-۱۰۰۰۰ cm<sup>-1</sup> تا ۶۰۰ تا ۴۰۰۰۰ cm<sup>-1</sup> تعیین شده است. نرم افزار مورد استفاده برای ارائه و تبدیل طیف‌ها OMNIC است. با استفاده از این نرم‌افزار طیف‌های هر نمونه بر روی یکدیگر قرار گرفت. برای تشخیص طیف‌ها قبل و پس از پیرسازی هر نمونه، رنگ‌های متفاوتی برای ارائه آن‌ها انتخاب شده است.

### اندازه‌گیری مقاومت کششی نمونه‌ها

جهت سنجش مقاومت کششی نمونه‌ها، قبل و بعد از پیرسازی، مقاومت کششی آن‌ها طبق استاندارد شماره ۳-۱۴۴۷۱ سازمان ملی استاندارد ایران در جهت طولی اندازه‌گیری شد. در این آزمایش برای سنجش مقاومت کششی الیاف، کاغذ را در ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر در ۱۵ میلی‌متر برش داده و به‌طور عمودی بین دو فک بالایی و پایینی دستگاه قرار گرفت که ۱۰۰ میلی‌متر از طول کاغذ بین دو فک قرار گرفته و نیروی کششی به آن وارد شد.

ادامه اکسیداسیون کربونیل، اسیدهای کربوکسیلیک تشکیل می شود [۱۲]. از این رو میزان pH کاغذ را می توان به عنوان یکی از شاخص ها برای تخریب سلولز در نظر گرفت.

اکسیداسیون واکنش دیگری است که منجر به شکستن زنجیره های سلولزی می شود. در سلولز واکنش های اکسیداسیون بیشتر باعث تشکیل گروه های کربونیل از گروه های هیدروکسیل واحدهای گلوکز می شود. سپس با



شکل ۲- میانگین میزان pH نمونه ها قبل و پس از پیرسازی

پیرسازی دما- رطوبت ایجاد شده است و نمونه ها پس از پیرسازی کمی تیره تر شده اند اما این تغییر بسیار کم بوده است. در نمونه MC پس از پیرسازی نوری فاکتور L افزایش یافته است و رنگ نمونه نسبت به قبل از پیرسازی روشن تر شده است اما پس از پیرسازی دما- رطوبت فاکتور L کاهش یافته است و رنگ نمونه تیره تر شده است. همچنین پس از پیرسازی میزان فاکتور L در نمونه MC نسبت به نمونه R افزایش یافته است که نشان می دهد، پس از پیرسازی نیز به کارگیری چسب متیل سلولز رنگ کاغذ را روشن تر کرده است (شکل ۳).

#### بررسی تغییرات رنگی نمونه ها

برای بررسی میزان تغییرات رنگی نمونه ها قبل و پس از پیرسازی، میانگین تغییر فاکتورهای  $L^* a^* b$  هر نمونه محاسبه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، قبل از پیرسازی میزان فاکتور L در نمونه MC (کاغذ تیشوی پوشش داده شده توسط چسب متیل سلولز) نسبت به نمونه R (کاغذ تیشوی بدون چسب)، افزایش یافته است، بر این اساس می توان نتیجه گرفت که به کارگیری چسب متیل سلولز بر روی کاغذ، رنگ کاغذ را کمی روشن تر کرده است. در نمونه شاهد بیشترین تغییرات رنگی پس از



شکل ۳- تغییرات L (روشنایی تا تاریکی) نمونه‌ها

پیرسازی دما- رطوبت فاکتور a افزایش یافته و رنگ نمونه تیره شده است. همچنین قبل از پیرسازی میزان فاکتور a در نمونه MC نسبت به نمونه R کاهش یافته است که نشان می‌دهد رنگ نمونه کاغذ پس از به‌کارگیری چسب متیل سلولز روشن‌تر شده است. پس از پیرسازی نوری فاکتور a در نمونه MC نسبت به نمونه R تغییری نکرده است اما پس از پیرسازی دما- رطوبت میزان آن در نمونه MC افزایش یافته است و نشان می‌دهد رنگ نمونه تیره‌تر شده است (شکل ۴).

دیگر فاکتور مورد بررسی در تغییرات رنگی، فاکتور a است که میزان تغییرات رنگی از سبز به قرمز را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان فاکتور a در نمونه R پس از پیرسازی کاهش یافته است که این میزان کاهش پس از پیرسازی دما- رطوبت بیشتر از پیرسازی نوری است و نشان می‌دهد رنگ نمونه‌ها روشن‌تر شده است، البته میزان این تغییر رنگ بسیار کم بوده است. در نمونه MC پس از پیرسازی نوری فاکتور a مقداری کاهش یافته است و رنگ نمونه روشن‌تر شده است اما پس از



شکل ۴- تغییرات a (سبز تا قرمز) نمونه‌ها

این تغییرات رنگی ایجاد شده، پس از پیرسازی نوری بیشتر از پیرسازی دما-رطوبت بوده است. این امر ناشی از تغییرات شیمیایی ایجاد شده در چسب و کاغذ، طی فرایند پیرسازی است. این تغییر شیمیایی همان اکسیداسیون سلولز است. گروه‌های اکسید شده سلولز کروموفورهای زرد رنگ هستند و با افزایش اکسیداسیون و گروه کربونیل، رنگ زرد افزایش پیدا می‌کند [۱۳].

آنچه در بررسی تغییرات رنگی ایجاد شده در نمونه‌ها بسیار واجد اهمیت است تغییرات به وجود آمده در فاکتور b (زرد تا آبی) است (شکل ۵). در نمونه R پس از پیرسازی فاکتور b افزایش یافته است که این میزان افزایش پس از پیرسازی دما-رطوبت بیشتر از پیرسازی نوری بوده است و رنگ نمونه به زرد متمایل شده است. در نمونه MC پس از دو مرحله پیرسازی فاکتور b افزایش یافته است و رنگ نمونه‌ها به زرد متمایل شده است. میزان



شکل ۵- تغییرات b (زرد تا آبی) نمونه‌ها

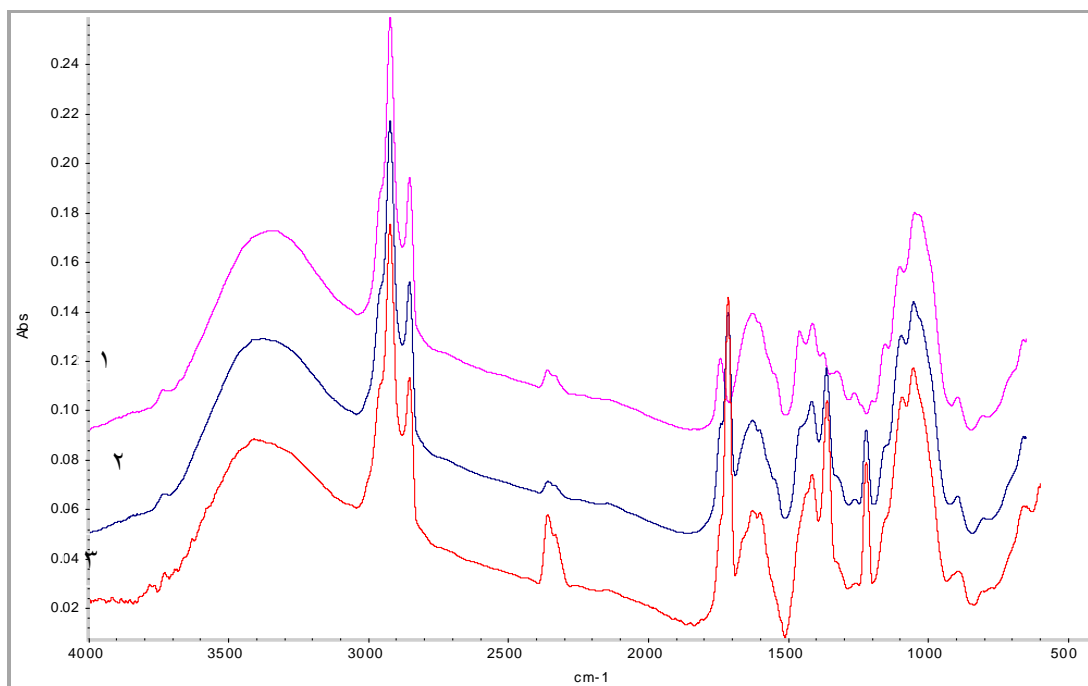
ناشی از اکسایش این پیوندهای دوگانه و عامل تغییر رنگ نمونه‌ها باشد. افزایش شدت پیک‌ها در محدوده  $\text{cm}^{-1}$  ۱۳۵۰-۱۲۵۰ در نمونه MC (کاغذ تیشوی آغشته به چسب متیل سلولز)، ناشی از فرایندهای باز شدن حلقه گلوکزی است. به‌طور کلی افزایش شدت پیک‌ها در پیرسازی نوری بیشتر از پیرسازی دما-رطوبت بوده است و تغییرات ساختاری ایجاد شده در نمونه‌ها در اثر پیرسازی نوری بیشتر از پیرسازی دما-رطوبت بوده است (شکل ۶).

#### بررسی نتایج حاصل از طیف‌سنجی ATR-FTIR

##### نمونه‌های ساخته شده

بررسی طیف‌های ATR-FTIR نمونه‌ها نشان می‌دهد که تغییر شدت جذب در برخی نواحی مانند افزایش جذب در محدوده  $\text{cm}^{-1}$  ۱۶۷۰-۱۶۸۰ یعنی ناحیه پیوند دوگانه C=O که مربوط به گروه‌های کربونیل است، در نمونه MC (کاغذ تیشوی پوشش داده شده توسط چسب متیل سلولز) پس از پیرسازی دما-رطوبت و پیرسازی نوری می‌تواند





شکل ۶- طیف ATR-FTIR نمونه MC، (۱) قبل از پیرسازی، (۲) پس از پیرسازی دما-رطوبت، (۳) پس از پیرسازی نوری

چسب مورد استفاده به صورت یک لایه بر روی کاغذ است که مقاومت را افزایش می دهد. مقاومت کششی نمونه ها پس از پیرسازی دما-رطوبت و پیرسازی نوری کاهش یافته است؛ اما مقایسه نمونه ها با یکدیگر نشان می دهد که پس از پیرسازی، مقاومت کششی نمونه MC نسبت به نمونه شاهد بدون چسب افزایش یافته است (شکل ۷).

#### بررسی نتایج حاصل از آزمون مقاومت کششی

##### نمونه ها

نتایج به دست آمده از آزمون مقاومت کششی نمونه ها نشان می دهد که میزان مقاومت کششی نمونه MC، نسبت به نمونه شاهد بدون چسب، در مرحله قبل از پیرسازی افزایش یافته است (جدول ۴). این افزایش مقاومت نسبت به کشش و گسیختگی به دلیل قرارگیری

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون مقاومت کششی (kN/m)

کد نمونه	قبل از پیرسازی	پس از پیرسازی نوری	پس از پیرسازی دما-رطوبت
R	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۲۲
MC	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۲۴

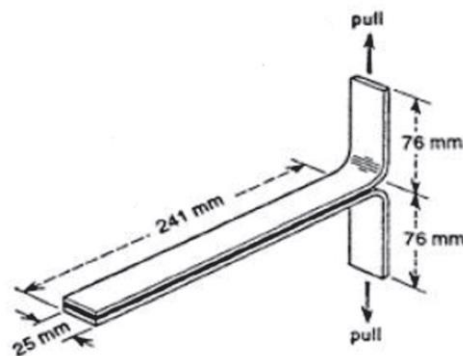


شکل ۷- تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها قبل و پس از دو مرحله پیرسازی

آزمون، تعیین مقاومت چسبندگی پیوندهای چسب بین چسبده‌ها به صورت T شکل است. این آزمون با استفاده از دستگاه مقاومت کششی مدل INSTRON5566-H1730 انجام شد. صفحه‌های آزمون با عرض ۲۵ و طول ۳۰۵ میلی‌متر تهیه شدند و ۲۴۱ میلی‌متر از طول آن‌ها با استفاده از دستگاه پرس سرد به یکدیگر اتصال داده شدند (شکل ۸).

#### آزمون مقاومت چسبندگی نمونه‌ها

هدف از انجام این آزمون تعیین میزان مقاومت چسبندگی نمونه‌ها و بررسی میزان تغییرات چسبندگی آن‌ها قبل و بعد از مرحله پیرسازی و همچنین مقایسه میزان مقاومت چسبندگی آن‌ها با یکدیگر بود که بر اساس استاندارد شماره ۱۴۶۴۷ سازمان ملی استاندارد ایران، با عنوان مقاومت به ورکنی (ورکنی - T) انجام شد. در این



شکل ۸- طرح شماتیک از نمونه‌های تهیه شده جهت آزمون مقاومت چسبندگی

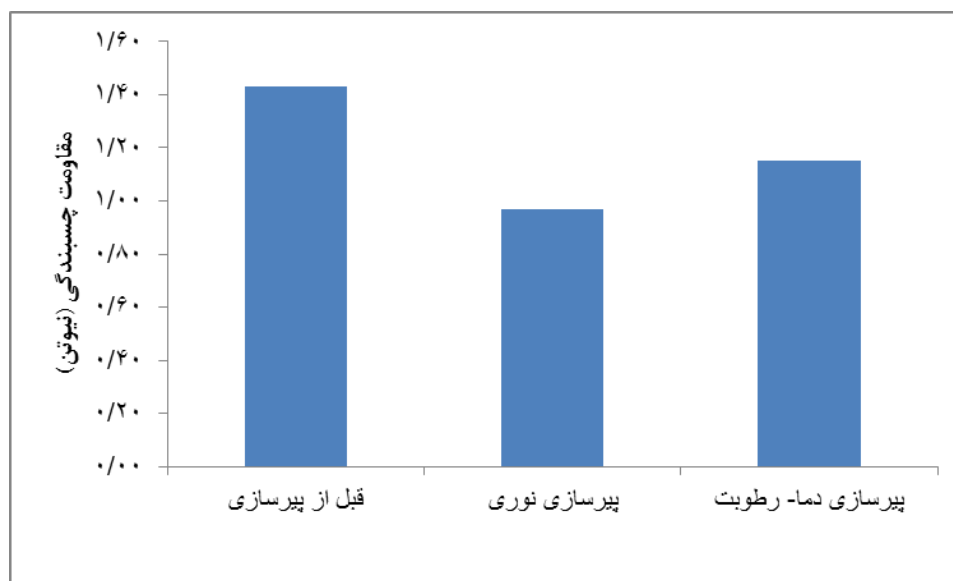
نتایج حاصل میانگین گرفته شد. در انجام این آزمون از کاغذ فیلتر #393 Munktel معادل #42 Watman به دلیل درصد بالای سلولز آن استفاده شد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این کاغذ شناخته شده است [۱۴]. ضمن اینکه این کاغذ اتصال مناسبی با تیشوهای چسبی آماده شده توسط چسب متیل سلولز برقرار می‌کند

طی آزمون طبق استاندارد مربوط، نمودار نیرو بر حسب جابجایی گیره دستگاه یا نیرو بر حسب طول ورکنده شده ثبت گردید و پس از انجام آزمون، نتایج حاصل بر اساس مقاومت ورکندن در طول حداقل ۱۲۷ میلی‌متر (۵ اینچ) از خط اتصال بعد از اولین پیک نمودار تعیین شد. از آنجاکه آزمون برای هر نمونه ۵ بار تکرار شده بود، از

(جدول ۵). نتایج حاصل از این آزمون نشان می‌دهد که میزان چسبندگی نمونه‌ها پس از پیرسازی نوری کاهش زیاد و پس از پیرسازی دما- رطوبت کاهش کمتری داشته است. مقاومت چسبندگی نمونه MC از ۱/۴۳ قبل از پیرسازی به ۰/۹۷ پس از پیرسازی نوری و ۱/۱۵ پس از پیرسازی دما- رطوبت کاهش یافته است (شکل ۹).

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون مقاومت چسبندگی نمونه‌ها (N) Maximum Load

کد نمونه	قبل از پیرسازی	پس از پیرسازی نوری	پس از پیرسازی دما-رطوبت
MC	۱/۴۳	۰/۹۷	۱/۱۵



شکل ۹- تغییرات مقاومت چسبندگی نمونه‌ها قبل و پس از دو مرحله پیرسازی

کششی نمونه‌ها نشان می‌دهد که مقاومت کششی نمونه‌ها پس از پیرسازی دما- رطوبت نسبت به پیرسازی نوری کاهش بیشتری داشته است؛ اما مقایسه نمونه‌ها با یکدیگر نشان می‌دهد که مقاومت کششی نمونه پوشش داده شده با چسب متیل سلولز نسبت به نمونه شاهد بدون چسب افزایش یافته است. بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی نمونه‌ها نیز نشان می‌دهد که میزان چسبندگی نمونه‌ها پس از پیرسازی دما- رطوبت نسبت به پیرسازی نوری کاهش بیشتری داشته است. در مجموع تغییرات ایجاد شده در نمونه‌ها طی فرایند پژوهش، پس از پیرسازی نوری نسبت به پیرسازی دما- رطوبت، بیشتر بوده است.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت دستیابی به اهداف تعریف شده، با استفاده از چسب متیل سلولز ۷٪ آماده شده نمونه‌سازی انجام شد و آزمون‌های رنگ سنجی، pH سنجی، طیف سنجی ATR-FTIR، سنجش میزان مقاومت کششی و میزان مقاومت چسبندگی بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. نتایج حاصل از رنگ سنجی نمونه‌ها، قبل و پس از پیرسازی نشان می‌دهد که تمام نمونه‌ها مقداری تغییرات رنگی داشته‌اند. در نمونه‌های پوشش داده شده توسط چسب متیل سلولز پس از پیرسازی، رنگ نمونه‌ها کمی به سمت زردی تغییر می‌کند. سنجش میزان اسیدیته نمونه‌ها نیز نشان می‌دهد که پس از پیرسازی، میزان اسیدیته نمونه‌ها کاهش یافته است. مقایسه نتایج حاصل از مقاومت

- [1] Eghtedarnejad, N., Mansouri, H.R., Nosrati, B., 2015. Investigation on the influence of pressing conditions on the properties of particleboard made from natural mimosa condensed tannins adhesive. Iranian journal of wood and paper industries, 6(2): 193-201. (In Persian).
- [2] Afsharpoor, M., 2011. New methods of chemical and physical protection and restoration of documents and manuscripts in the library of Tehran University. Majale Etelaat, Ertebatat and Danesh shenasi, 4(161): 72-77.(In Persian).
- [3] Nasatto, P., Pignon, F., Silveria, J., Duarte, M., Nosedo, M. and Rinaudo, M., 2015. Methylcellulose, a Cellulose Derivative with Original Physical Properties and Extended Applications. Journal of polymers, 7(2):777-803.
- [4] Feller, R. and Wilt, M., 1990. Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation. Research in Conservation and Technical Report Series-Getty Conservation Institute, 3(3): 132.
- [5] Ghahri, S., Mohebbi, B., Pizzi, A., Mirshokraie, A., Mansouri, H.R., 2017. Use of Soy Flour-Tannin Adhesive for Particleboard (Dry Condition). Iranian journal of wood and paper industries, 8(1): 131-143. (In Persian).
- [6] Horie, CV., 1997. Materials for conservation: organic consolidants, adhesives and coatings. Butterworths, New York, 74p.
- [7] Malekian, M., 2001. A review of the conservation and restoration of manuscripts and historical documents. Mjale Payam Baharestan, 2(7): 45-53.(In Persian).
- [8] Malekian, M., 2001. A review of the conservation and restoration of manuscripts and historical documents. Mjale Payam Baharestan, 2(7): 45-53.(In Persian).
- [9] Anderson, P. and Reidell, S., 2009. Adhesive Pre-Coated Repair Materials. In Presentation supplement. American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works Annual Meeting. Los Angeles.
- [10] Holik, H., 2006. Handbook of paper and board, John Wiley & Sons, 32p.
- [11] Lienardy, A. and Van Damme, Ph., 1989. Inter folia: manual on the conservation and restoration of paper, Institut Royal du Patrimoine artistique, Brussels, 23p.
- [12] Banik, G. and Brukle, I., 2011. Paper and water: A guide for conservators, Butterworth- heinmann, Oxford, 187p.
- [13] Holik, H., 2006. Handbook of paper and board, John Wiley & Sons, 322p.
- [14] Rosenau, Th., Potthast, A., Krainz, K., Yoneda, Y., Dietz, Th. and French, A., 2011. Chromophores in cellulose, VI. First isolation and identification of residual chromophores from aged cotton linters, Springer Science Business Media, 18(4): 1623-1633.

## Identifying the function of rehabilitated and activated methyl cellulose glue for preparation of tissues used in restoration of paper works

### Abstract

This research aimed to facilitate the use of methyl cellulose adhesive to repair paper works in which their ink are sensitive to water. This research was conducted by analytical comparisons method and samples were collected by experiments related to research topics such as pH measurement, calorimetric, infrared spectroscopy with total attenuated reflection (FTIR- ATR), the measurement of tensile strength as well measurement of the adhesive strength of the samples. First, the adhesive (methyl cellulose) was prepared at a concentration of 7% in methanol. Then, the prepared specimens were treated under temperature-humidity accelerated aging in accordance with ASTM D4714-96 standard for 384 hours and under light in accordance with ASTM D6789-02 for 360 hours. Changes of color, pH, tensile strength and adhesion were monitored. Results showed that the pH of samples changed from 6.91 to 6.39 after light aging and to 6.06 after temperature-humidity aging. Moreover, tensile strength of samples were reduced from 0.31 to 0.23 kN per meter after light aging and to 0.24 kN per meter after the temperature-humidity aging. Also, the adhesive strength of the samples decreased from 1.43 to 0.97 Newton after light aging and to 1.51 Newton after temperature-humidity aging.

**Keywords:** methyl cellulose glue, activation, rehabilitation, tissue, restoration of paper works.

**K. Dadmohamadi**<sup>1\*</sup>  
**M. Azadi Bouyaghchi**<sup>2</sup>  
**A. Abed Esfahani**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MA student, Art university of Isfahan, Faculty of conservation and restoration, Isfahan, Iran

<sup>2</sup> Assistant Prof., Art university of Isfahan, Faculty of conservation and restoration, Isfahan, Iran

<sup>3</sup> Science committee member Islamic Azad University (Khourasgan), Isfahan, Iran

Corresponding author:  
[k.dadmohamadi@yahoo.com](mailto:k.dadmohamadi@yahoo.com)

Received: 2016/05/09

Accepted: 2016/10/09