

تأثیر آهار نشاسته بر ویژگی‌های بصری و مکانیکی کاغذهای تاریخی

کبری دادمحمدی^{۱*}، محسن محمدی آچاچلویی^۲ و محمدتقی جعفری^۳^{۱*} - نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری مرمت آثار و اشیای فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

پست الکترونیک: k.dadmohamadi@yahoo.com

^۲ - استادیار، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.^۳ - استاد، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

آهاردهی سطحی کاغذهای تاریخی توسط آهار نشاسته با هدف بررسی تأثیر این ماده بر ویژگی‌های بصری و مکانیکی کاغذهای تاریخی انجام شد. بدین منظور آهار نشاسته با غلظت ۳ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت و آزمون‌های pH سنجی، رنگ‌سنجی، زاویه تماس و اندازه‌گیری مقاومت کششی قبل و پس از پیرسازی نمونه‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که pH نمونه‌های بدون آهار و نمونه‌های حاوی آهار نشاسته پس از پیرسازی کاهش یافته است، اما همچنان در محدوده قلیایی قرار گرفته است. روشی نمونه‌ها پس از آهاردهی توسط نشاسته قبل و پس از پیرسازی، مقدار جزئی کاهش یافته است و رنگ نمونه‌ها به سمت تیرگی تمایل پیدا کرده است. مقاومت کششی نمونه‌های کاغذ حاوی آهار نشاسته قبل و پس از پیرسازی در مقایسه با نمونه‌های بدون آهار افزایش یافته است. نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس نیز نشان داد که آهار نشاسته تأثیری در افزایش مقاومت کاغذ در برابر خیس شدن نداشته است و مانع از خیس شدن سطح کاغذ نشده است.

واژه‌های کلیدی: آهاردهی سطحی، آهار نشاسته، ویژگی‌های بصری، ویژگی‌های مکانیکی، کاغذهای تاریخی.

مقدمه

آثار کاغذی به‌عنوان بخش قابل‌ملاحظه‌ای از میراث فرهنگی و تاریخی بشر دربرگیرنده ارزش‌های فرهنگی، تاریخی، علمی و هنری هستند. کاغذ در مراحل مختلف تاریخ به‌عنوان بستری برای نگارش، نقاشی، چاپ و غیره مورد استفاده قرار می‌گرفت. با توجه به ساختار آلی مواد تشکیل‌دهنده آن، این گونه آثار در برابر عوامل آسیب‌رسان دچار تغییرات مختلفی می‌شوند. کاغذ به مرور زمان تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند مواد سازنده که شامل لیاف،

آهارها، پرکننده‌ها، رنگ و تزئینات به‌کاررفته در طی روند ساخت آن و همچنین عوامل مختلف محیطی دچار آسیب می‌گردد. این آسیب‌ها به شکل هیدرولیز اسیدی، اکسیداسیون، سوختگی، ایجاد لکه، تغییر رنگ، تردی و شکنندگی دیده می‌شوند. یکی از مواردی که در ساخت کاغذهای دست‌ساز قدیمی مورد استفاده قرار می‌گرفت، روکشی^۱ از عصاره گیاهان اعم از شیره و لعاب و مواد پروتئینی حیوانی مانند سریشم بوده که به دلیل استحکام‌بخشی و کاهش نفوذ رطوبت و روان شدن حرکت قلم بر روی سطح کاغذهای پرزین^۲

1- Coating
2 - Fluffy

ماده آهار در راستای ضخامت افزایش می‌دهند. آهاردهی سطحی باعث بهبود چاپ‌پذیری و نیز دوام و حفاظت کاغذ می‌گردد (Shen et al., 2014).

بررسی نقش آهار ژلاتین در تغییر رنگ کاغذهای تاریخی نشان داده است که در نمونه کاغذ آهاردهی شده با ژلاتین در طی روند پیرسازی مصنوعی تغییر طیفی مشاهده شده است که مشابه با تغییرات طیفی کاغذهای قدیمی است. همچنین این تغییرات در فیلم ژلاتین خالص بدون قرارگیری بر روی کاغذ پایه مشاهده شده است. اما کاغذ واتمن که از الیاف سلولز خالص ساخته شده است در اثر پیرسازی مصنوعی دچار تغییر رنگ نشده است (Missori, et al., 2006). آسیب بیولوژیکی کاغذ به‌منظور تکثیر فساد قارچی تحت شرایط کنترل شده، در مورد بررسی تأثیر فاکتورهای دیگر به غیر از ساختار و مواد پرکننده کاغذ و عوامل محیطی، در ایجاد فساد بیولوژیکی آثار کاغذی بررسی شده است. دو نوع قارچ *Chaetomium globosum* و *Aspergillus terreus Thom* بر روی کاغذهایی از جنس یکسان و با آهارهای متفاوت کشت داده شده و نوع لکه‌ها و تغییرات به وجود آمده مورد بررسی قرار گرفته است. آهارهای مورد استفاده شامل کلوفان و آلکیل کتن دایمر بوده و در نتیجه دریافتند که میزان رشد قارچ‌ها و نوع لکه‌های ایجاد شده در نمونه‌های کاغذ با آهارهای متفاوت یکسان نبوده و این نشان می‌دهد که در تخریب‌های بیولوژیکی آثار کاغذی تنها ساختار کاغذ و مواد پرکننده آن دخیل نبوده و فاکتورهای دیگری از جمله آهار آن می‌تواند در ایجاد آسیب‌ها مؤثر باشد و در این میان، نوع آهار در میزان تخریب مؤثر است (Pinzari, et al., 2006). بررسی تغییرات در ویژگی‌های استحکام و چاپ کاغذ پایه سولفیت و کاغذ پایه گیاهی آهاردهی شده توسط نشاسته نشان داده است که آهاردهی سطحی با نشاسته ویژگی‌های استحکام فیزیکی کاغذ و قابلیت چاپ‌پذیری آن را بهبود می‌دهد (Biricik et al., 2011).

اگرچه آهارها به‌طورکلی از مواد طبیعی و گیاهی تهیه

استفاده می‌شد و با عمل مهره‌کشی^۱ این مراحل کامل می‌شد (Barkeshli, 2006). آهاردهی کاغذ مفهومی است که از دیرباز بدین منظور بکاررفته که وظیفه اصلی عوامل آهاردهی، افزایش مقاومت در برابر نفوذ آب یا دیگر مایعات به درون ساختار کاغذ یا مقوا به‌صورت فیزیکی (کاهش یا حذف منافذ موجود در کاغذ) و یا شیمیایی (جایگزین کردن گروه‌های آبگریز بر روی سطح الیاف) است، به‌نحوی که کاغذ برای چاپ و تحریر و اهداف دیگر مناسب شود. این هدف با اعمال مواد افزودنی در پایانه تر کاغذسازی (آهاردهی درونی) و یا با اعمال مواد شیمیایی مناسب بر سطح شبکه کاغذ ساخته شده (آهاردهی سطحی) و یا ترکیبی از این دو روش حاصل می‌شود؛ بنابراین به‌طورکلی آبگریز کردن کاغذ به دو صورت ذکر شده شناخته می‌شود (Hamzeh & Rostampour Haftkhani, 2008). جنبه منحصربه‌فرد اعمال سطحی مواد شیمیایی، ماندگاری تقریباً ۱۰۰ درصدی آنها است که در مقایسه با کاربرد در پایانه تر، مزایای بسیاری را به همراه دارد. بسته نمودن هرچه بیشتر چرخه آب فرایندی و متناظر با آن افزایش مواد مزاحم و آلاینده‌ها، مطلوبیت روزافزون تیمارهای سطحی کاغذ را به همراه دارد. معمولاً عوامل آهاردهنده سطحی ترکیباتی با یک قطب یا پایانه آبدوست و قطب دیگر آبگریز می‌باشند. این ترکیبات با کاهش انرژی سطحی کاغذ، علاوه بر کاهش نفوذ آب، پهن و گسترده شدن کاغذ را نیز آهسته و کم می‌کنند. این عوامل به صورت فیلمی نازک بر روی شبکه لیفی کاغذ اعمال و قطب آبدوست آنها با الیاف پیوند برقرار کرده و قطب آبگریزشان به سمت بیرون جهت‌یابی نموده و سطح کاغذ را آبگریز می‌نمایند.

این فیلم نازک منجر به کاهش تعداد و اندازه منافذ سطح و همچنین کاهش زبری کاغذ شده و علاوه بر افزایش مقاومت کاغذ در برابر نفوذ آب، گرد و غبارزایی را از طریق استحکام بخشیدن به اتصال ذرات الیاف و پرکننده و نرمه‌ها به سطح کاغذ، کاهش داده و مقاومت‌های کاغذ را نیز به دلیل عدم نفوذ

آماده‌سازی آहार نشاسته و اجرای آن بر روی نمونه‌ها غلظت ۳ درصد وزنی نشاسته محلول در آب برای آهارزنی نمونه‌های کاغذ انتخاب شد. این غلظت قبلاً مورد استفاده قرار گرفته و نزدیکی بیشتری به آहार نشاسته استفاده شده در کاغذهای تاریخی دارد و در منابع مختلف به‌عنوان غلظت آहार مناسب توصیه شده است (Jonhed, 2006; Biricik, et al., 2011). نمونه‌های کاغذ صافی به‌منظور تعیین مقاومت کششی در ابعاد ۱۵۰ در ۱۵ میلی‌متر طبق استاندارد شماره ۳-۱۴۴۷۱ سازمان ملی استاندارد ایران برش خورد. هر یک از نمونه‌ها برای سنجش مقاومت کششی ۳ تکرار دارند (جدول ۲). آहार نشاسته آماده شده با استفاده از قلمو بر روی سطح نمونه‌های کاغذ قرار گرفت و نمونه‌های کاغذ آهاردهی شدند و آزمون‌های مورد نظر، قبل و پس از پیرسازی بر روی آنها انجام شد.

جدول ۲- نمونه‌های ساخته‌شده و کد اختصاری آنها

کد اختصاصی نمونه	نام کامل نمونه
fb	کاغذ فاقد آहार
fs	کاغذ با آहार نشاسته

پیرسازی تسریع شده حرارتی

پیرسازی تسریع شده نمونه‌ها برای بررسی تغییرات ایجاد شده در نمونه‌ها طی فرایند کهنه شدن مورد استفاده قرار گرفت. تغییرات مورد بررسی شامل تغییرات pH، تغییرات رنگی، اندازه-گیری زاویه تماس و تغییر در مقاومت کششی نمونه‌ها بود. در این آزمون نمونه‌های آهاردهی شده و نمونه‌های شاهد به روش پیرسازی حرارتی بر اساس استاندارد ASTM- D776-92، با میزان حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۱۴۴ ساعت تحت پیرسازی قرار گرفتند تا تغییرات ایجاد شده در نمونه‌ها پس از انجام این آزمون‌ها با نمونه‌های قبل از پیرسازی مورد مقایسه قرار گیرد. این آزمون با استفاده از دستگاه آون Memmert با قابلیت پیشینه دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و تعیین زمان ۱۲ ساعت، ۶۰۰ وات و ۲۲۰ ولت انجام شد.

می‌شوند، اما طبیعی بودن آنها دلیلی برای بدون ضرر بودن آنها به‌شمار نمی‌رود. چه‌بسا بتوانند به مرور زمان در کاغذ از لحاظ رنگ، استحکام و pH تغییر ایجاد کنند؛ از آنجاکه آहार جزء مهمی در آثار کاغذی تاریخی است، از این‌رو این دسته از ترکیبات نیاز به مطالعه و بررسی دارند. تأثیر این مواد بر خواص ظاهری و مکانیکی کاغذ در حوزه حفاظت و مرمت آثار کاغذی تاریخی به‌صورت دقیق و ویژه بررسی نشده است. در این تحقیق سعی بر آن است که تأثیر آहार نشاسته بر روی تغییر رنگ، pH، قابلیت ترشوندگی و استحکام کاغذهای تاریخی بررسی شود. با توجه به احتمال اینکه آزمایش مستقیم آहार نشاسته بر روی کاغذهای تاریخی ممکن است به آنها آسیب وارد کند، آزمون‌ها ابتدا بر روی کاغذهای پیرسازی شده انجام می‌شوند و پس از کسب نتایج، برای کاغذهای تاریخی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل در این تحقیق به‌منظور نزدیک کردن شرایط نمونه کاغذهای استفاده شده به کاغذهای تاریخی، ابتدا نمونه‌های کاغذ تحت پیرسازی حرارتی قرار گرفتند و پس از آن برای انجام آزمون‌های مورد نظر، مورد استفاده قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های کاغذ

برای آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آزمون‌های مورد نظر، کاغذ صافی Munktell #393 معادل Watman #42 به دلیل pH خنثی و درصد بالای سلولز آن به‌عنوان استاندارد آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های کاغذ فیلتر (Munktell Ahistrom, 2019)

Munktell#393 (2019)	
گرم‌اژ	۱۰۰ g/m ²
مقاومت کششی خیس	۲ KN/m
ضخامت	۰/۱۸ mm
میزان خاکستر	%/۰۱

تعیین pH نمونه‌ها

شد و بعد بر اساس فرمول شماره ۲ که در استاندارد شماره ۳-۱۴۴۷۱ سازمان ملی استاندارد ایران ارائه شده است، میزان مقاومت کششی نمونه‌ها به دست آمد و نتایج حاصل در مقایسه با نتایج نمونه‌های شاهد مورد بررسی قرار گرفت (فرمول ۲).

$$\sigma_T^b = \frac{\bar{F}_T}{b}$$

\bar{F}_T میانگین نیروی کششی حداکثر (برحسب نیوتن)

b عرض نمونه (۱۵ میلی‌متر)

σ_T^b مقاومت کششی (برحسب کیلو نیوتن بر متر)

اندازه‌گیری زاویه تماس

برای اندازه‌گیری زاویه تماس نمونه‌ها از استاندارد شماره ۱۷۴۹۲ سازمان ملی استاندارد ایران استفاده شد. هدف از انجام این آزمون، تعیین زاویه تماس بین مایع بر روی سطح کاغذ می‌باشد که نشان‌دهنده مقاومت سطح کاغذ در برابر خیس شدن به وسیله مایع می‌باشد (فرمول ۳). برای قابلیت ترشوندگی اولیه، زاویه تماس قطره با نمونه بعد از ۵ ثانیه، اندازه‌گیری شد. برای میزان تغییر در قابلیت ترشوندگی، زاویه تماس قطره با نمونه بعد از ۶۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. آزمون برای هر نمونه، ۳ بار تکرار شد.

$$R = \frac{C - C'}{55}$$

R میزان تغییرات قابلیت ترشوندگی

C میانگین زاویه تماس بعد از ۵ ثانیه

C' میانگین زاویه تماس بعد از ۶۰ ثانیه

نتایج

تغییرات pH

طبق نتایج به دست آمده از شکل ۱، pH نمونه‌های کاغذ بدون آهار قبل از پیرسازی ۷/۶۵ بود که پس از آهاردهی کاغذ توسط نشاسته میزان pH مقداری کاهش یافت. پس از پیرسازی pH نمونه‌های بدون آهار و نمونه‌های حاوی آهار

تغییرات pH در نمونه‌های شاهد و نمونه‌های آهاردهی شده، قبل و بعد از پیرسازی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۳۵۶۸، به صورت استخراج سرد و به وسیله دستگاه pHسنج دیجیتال Metrohm مدل ۷۴۴ اندازه‌گیری شد.

رنگ‌سنجی نمونه‌ها

به منظور بررسی تغییرات بصری نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی، با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج دستی color tecto alpha محصول شرکت Salutron messtechnik، رنگ‌سنجی نمونه‌ها انجام شد. وسیع‌ترین سیستم پذیرفته شده تعریف رنگ، سیستم CIE است. در رنگ‌سنجی به روش CIELAB به وسیله مقادیر L (روشنی تا تاریکی)، a (قرمز تا سبز) و b (زرد تا آبی) تمام رنگ‌ها می‌توانند تعریف شوند. این مقادیر (L^*, a^*, b^*) در کنترل رنگ محصولات کاغذی تولید شده نیز کاربرد دارند (Holik, 2006). هدف از انجام این آزمایش بررسی و مقایسه تغییرات رنگی ایجاد شده بر روی کاغذ پس از اعمال آهار، قبل و پس از پیرسازی است. اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه بر اساس ۳ فاکتور L, A, B دستگاه رنگ‌سنج انجام می‌شود. به منظور ارزیابی تغییرات این فاکتورها در نمونه‌ها از رابطه زیر استفاده شد (فرمول ۱).

$$\Delta E_{lab} = \sqrt{(l - l_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

مقاومت کششی نمونه‌ها

برای سنجش مقاومت کششی نمونه‌ها، قبل و بعد از پیرسازی، مقاومت کششی آنها طبق استاندارد شماره ۳-۱۴۴۷۱ سازمان ملی استاندارد ایران اندازه‌گیری شد. آنچه در انجام این آزمون در این پژوهش مدنظر بوده است، بررسی تأثیر آهار نشاسته بر روی مقاومت کششی نمونه‌های کاغذ است. در انجام محاسبات مربوط به آزمون مقاومت کششی، ابتدا میانگین حداکثر نیروی کششی نمونه‌ها برحسب نیوتن محاسبه

گفت آহারدهی باعث کاهش جزئی pH نمونه‌ها قبل و پس از پیرسازی شده است، به طوری که pH نمونه‌های حاوی آहार قبل و پس از پیرسازی نسبت به نمونه‌های بدون آहार کاهش یافته است. بنابراین به نظر می‌رسد علاوه بر فرایند پیرسازی، آहार نشاسته نیز در pH نمونه‌ها اثر کاهشی داشته است.

مقداری کاهش یافت اما همچنان در محدوده قلیایی ۷/۲۱ تا ۷/۲۷ قرار گرفت. البته کاهش pH در نتیجه فرایند پیرسازی تسریعی کاغذ، قابل پیش‌بینی است (Ariafar *et al.*, 2015). کاهش pH در اثر پیرسازی ناشی از آزاد شدن یون H^+ در جریان هیدرولیز سلولز است (Area & Cheradame, 2011). به طور کلی می‌توان



شکل ۱- تغییرات pH نمونه‌ها قبل و پس از پیرسازی

در فرایند پیرسازی دارد (Jablonský *et al.*, 2011). پس از پیرسازی فاکتور L^* در هر دو گروه نمونه‌های بدون آहार و نمونه‌های حاوی آहार نشاسته کاهش یافته است و رنگ نمونه‌ها به سمت تیرگی تمایل پیدا کرده است و مقداری تیره‌تر شده است. به طور کلی پیرسازی کاغذ سبب کاهش L^* و افزایش a^* ، b^* و ΔE نمونه‌های کاغذی می‌شود (Zervos, 2010). اگرچه سلولز نیز در اثر پیرسازی دچار اکسیداسیون و تخریب نوری می‌شود، اما هرچه مقدار لیگنین کاغذ بیشتر باشد، تغییر این فاکتورها بیشتر است (Jablonský *et al.*, 2011; Čabalová *et al.*, 2017).

تغییرات رنگی

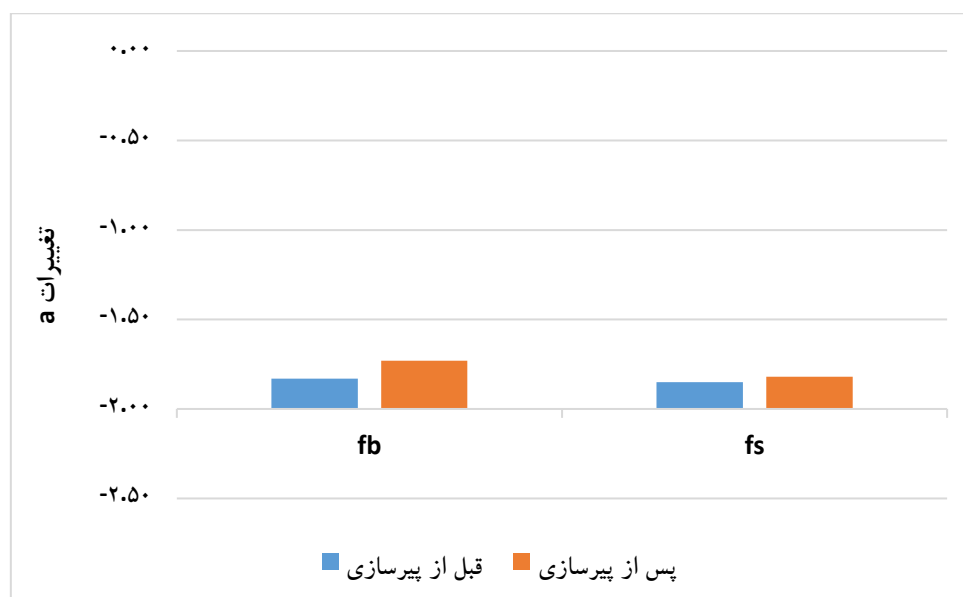
شکل ۲ نشان‌دهنده تغییرات L^* (روشنی - تیرگی) نمونه‌های بدون آहार و نمونه‌های حاوی آहार نشاسته در مراحل قبل و پس از پیرسازی است. مقایسه نمونه‌های بدون آहार با نمونه‌های حاوی آहार نشان می‌دهد که پس از آহারدهی نمونه‌ها توسط نشاسته میزان فاکتور L^* مقدار جزئی کاهش یافته است و رنگ نمونه‌ها به سمت تیرگی تمایل پیدا کرده است. دلیل تغییرات اندک فاکتور L^* در نمونه‌های مورد بررسی در این تحقیق، این است که کاغذ پایه مورد آزمون عاری از لیگنین بوده و پایداری بیشتری



شکل ۲- تغییرات فاکتور L (روشنی-تیرگی) نمونه‌ها

نمونه‌ها است که نمایانگر تأثیر آहार نشاسته در روشن شدن رنگ نمونه‌هاست. پس از پیرسازی، فاکتور a^* در نمونه‌های بدون آहार و نمونه‌های حاوی آहार نسبت به مرحله قبل افزایش یافته است و رنگ نمونه‌ها تیره‌تر شده است که نشان دهنده تمایل نمونه‌ها به سمت رنگ قرمز و در نتیجه تیره‌تر شدن رنگ نمونه‌ها می‌باشد. این نشان می‌دهد که پیرسازی باعث افزایش فاکتور a نمونه‌ها شده است.

دیگر فاکتور مورد بررسی در تغییرات رنگی، فاکتور a^* است که میزان تغییرات رنگی از سبز به قرمز را نشان می‌دهد. تغییرات a^* (سبز تا قرمز) نمونه‌ها در شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان فاکتور a^* پس از آহারدهی نمونه‌ها توسط آहार نشاسته نسبت به نمونه‌های بدون آहार مقدار جزئی کاهش یافته است که نشان‌دهنده تمایل نمونه‌ها به سمت رنگ سبز و روشن‌تر شدن رنگ



شکل ۳- تغییرات فاکتور a (سبز - قرمز) نمونه‌ها

از پیرسازی می‌تواند ناشی از تغییرات شیمیایی ایجاد شده در کاغذ طی فرایند پیرسازی باشد که این تغییرات 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 (Rosenau *et al.*, 2011). بنابراین می‌توان گفت تغییرات ایجاد شده در کاغذ ناشی از پیرسازی تسریع شده بوده و آهار نشاسته سبب تغییر چندانی در فاکتور b نشده است.

شکل ۴ که نتایج فاکتور b (آبی - زرد) را در نمونه‌ها نشان می‌دهد، بیانگر آن است که پس از آهاردهی نمونه‌ها توسط آهار نشاسته رنگ نمونه‌ها به سمت آبی متمایل شده و این نشان می‌دهد که رنگ نمونه‌ها پس از آهاردهی روشن‌تر شده است. اما پس از پیرسازی فاکتور b در نمونه‌های بدون آهار و نمونه‌های حاوی آهار افزایش یافته است که بیانگر آن است که نمونه‌ها در اثر پیرسازی به رنگ زرد متمایل شده‌اند و رنگ آنها تیره‌تر شده است؛ به طوری که بیشترین میزان فاکتور b مربوط به نمونه fb است. البته مقدار زردشدگی بعد

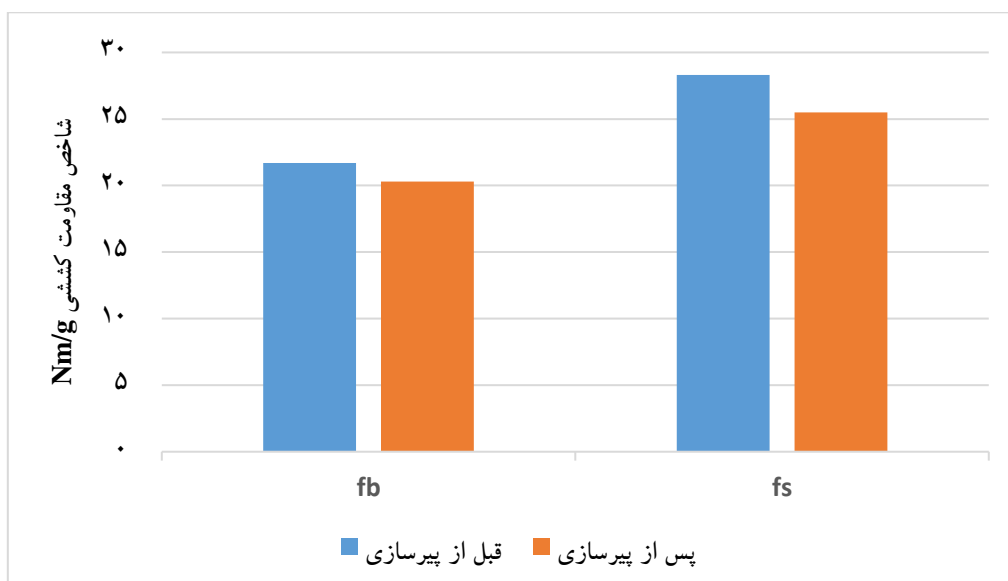


شکل ۴- تغییرات فاکتور b (آبی - زرد) نمونه‌ها

افزایش مقاومت کششی کاغذ در اثر آهاردهی سطحی با نشاسته مشاهده شده است (Biricik *et al.*, 2011). پس از پیرسازی مقاومت کششی نمونه‌های بدون آهار و نمونه‌های حاوی آهار نسبت به مرحله قبل کاهش یافته است. بیشترین مقدار مقاومت کششی مربوط به نمونه‌های حاوی آهار نشاسته به میزان ۲۵/۵ Nm/g می‌باشد. با توجه به اینکه مقاومت کششی نمونه‌های کاغذ حاوی آهار قبل و پس از پیرسازی در مقایسه با نمونه‌های بدون آهار افزایش یافته است، بنابراین می‌توان گفت که آهار نشاسته سبب افزایش مقاومت کششی نمونه‌های کاغذ شده است.

مقاومت کششی

تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها در فرایند آزمایش‌ها بسیار حائز اهمیت است، زیرا در ارزیابی کلی و در رسیدن به نتیجه جزو موارد اساسی به‌شمار می‌رود. بررسی شکست‌ها و آسیب‌های کاغذهای تاریخی نشان می‌دهد که علت اصلی آنها کاهش استحکام و مقاومت کاغذ است که به استحکام الیاف و مهمتر از آن به مقاومت اتصالات بین الیاف بستگی دارد (Emsley *et al.*, 2000; Čabalová *et al.*, 2017). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، آهاردهی نمونه‌های کاغذ به وسیله آهار نشاسته سبب افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها شده است. البته نتایج مشابهی نیز در مورد



شکل ۵- تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها

زاویه تماس

نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس یا قابلیت ترشوندگی نمونه‌های بدون آهار و نمونه‌های حاوی آهار نشاسته، قبل و پس از پیرسازی نشان داد که قطره آب بلافاصله پس از قرارگیری بر روی سطح کاغذ جذب شد و هیچ زاویه‌ای بین هوا و قطره آب روی سطح کاغذ تشکیل نشد که در واقع نشان می‌دهد سطح کاغذ در برابر خیس شدن به وسیله مایع هیچ مقاومتی ندارد. همچنین آهار نشاسته نیز تأثیری در افزایش مقاومت کاغذ در برابر خیس شدن نداشته است و مانع از خیس شدن سطح کاغذ نشده است. زاویه تماس زمانی معنی‌دار و قابل اندازه‌گیری است که میزان جذب قطره مایع ریخته شده بر روی سطح، در ۱۰ ثانیه اول بسیار ناچیز باشد.

بحث

در روند تخریب آثار کاغذی مواد سازنده کاغذ نیز دخیل اند و این آسیب‌ها با تغییر در ویژگی‌های بصری و مکانیکی کاغذ نمود پیدا می‌کنند. چه بسا در روند مرمت آثار تاریخی از روش‌های سنتی ساخت کاغذ و از رنگ‌های طبیعی و آهارهای ذکر شده در متون قدیمی استفاده می‌گردد. از این رو لزوم پژوهش و دستیابی به اطلاعات بنیادی در زمینه آسیب‌های احتمالی که این مواد بر ویژگی‌های بصری و مکانیکی

کاغذ ایجاد می‌کنند، احساس می‌شود. در نتیجه مرمتگر با آگاهی از تأثیر این مواد در کاغذ، مواد مناسبی را برای ساخت کاغذ مرمتی استفاده نماید. آهارزنی کاغذ عموماً استفاده از مواد آبگریز برای اصلاح رفتار اجزای تشکیل دهنده ماده به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی است. نشاسته به دلیل ارزان بودن و زیست‌تخریب‌پذیر بودن یکی از مهمترین موادی است که برای این منظور استفاده می‌شود.

در این پژوهش اثر آهار نشاسته بر ویژگی‌های بصری و مکانیکی کاغذهای تاریخی بررسی شد. با استفاده از غلظت ۳ درصد نشاسته نمونه‌ها آهاردهی شدند و آزمون‌های pH سنجی، رنگ سنجی، سنجش مقاومت کششی و اندازه‌گیری زاویه تماس قبل و پس از پیرسازی روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که pH نمونه‌های بدون آهار و نمونه‌های حاوی آهار نشاسته پس از پیرسازی کاهش یافته است اما همچنان در محدوده قلیایی قرار گرفته است. مقایسه نمونه‌های بدون آهار با نمونه‌های حاوی آهار نشان می‌دهد که پس از آهاردهی نمونه‌ها توسط نشاسته قبل و پس از پیرسازی، روشنایی نمونه‌ها مقدار جزئی کاهش یافته است و رنگ نمونه‌ها به سمت تیرگی تمایل پیدا کرده است. آهار نشاسته سبب افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها شده است. نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس نیز نشان داد که آهار نشاسته تأثیری در

- D., 2011. Changes in newsprint paper during accelerated ageing. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(5): 405-411.
- Jonhed, A., 2006. Properties of modified starches and their use in the surface treatment of paper. *Karlstad University Studies*.
- Lee, H., Shin, J., Koh, CH., Ryu, H., Lee, D. and Sohn, CH., 2002. Surface sizing with cationic starch: its effect on paper quality and papermaking process. *Tappi Journal*, 1(1): 34-40.
- Pinzari, F., Pasquariello, G. and De Mico, A., 2006. Biodeterioration of Paper: A SEM Study of Fungal Spoilage Reproduced Under Controlled Conditions. *Macromolecular Symposia*, 238(1): 57-66.
- Rosenau, T., Potthast, A., Krainz, K., Yoneda, Y., Dietz, T., Shields, Z.P.I. and French, A.D., 2011. Chromophores in cellulose, VI. First isolation and identification of residual chromophores from aged cotton linters. *Springer Science Business Media*, 18(4): 1623-1633.
- Shen, J., Fatehi, P. and Yonghao N., 2014. Biopolymers for surface engineering of paper-based products. *Cellulose*, 21(3): 3145-3160.
- Standard test methods for Paper and board - Determination of tensile properties - Part 3: Constant rate of elongation method (100 mm/min)-Test method. Standard national organization of Iran. 14471-3, 2013.
- Standard Test Method for Determination of Effect of Dry Heat on Properties of Paper and Board, Annual Book of ASTM Standards, 10.01, D 776 - 92, 2001.
- Standard test methods for Paper, board and pulp- Determination of pH of aqueous extracts- Part 1: Cold extraction. Standard national organization of Iran. 3568-1, 2007.
- Standard test methods for Paper-Determination of surface wettability of paper- angle of contact method, Standard national organization of Iran. 17492, 2013.
- Missori, M., Righini, M. and Dupont, A., 2006. Gelatine sizing and discoloration: A comparative study of optical spectra obtained from ancient and artificially aged modern papers. *Optics Communications*, 263(2): 289-294.
- Zervos, S., 2010. Natural and accelerated ageing of cellulose and paper: A literature review. *Cellulose*, 9(4): 393-402.

افزایش مقاومت کاغذ در برابر خیس شدن نداشته است و مانع از خیس شدن سطح کاغذ نشده است.

منابع مورد استفاده

- Ariafar, A., Samanian, K. and Afsharpour, M., 2015. Optimization of CMC against microorganism factors with nanoparticles Titanium Dioxide using for promotion of this polymer quality protection in restoration of paper document. *Ganjineh Asnad Journal*, 25(3): 116-140.
- Area, M.C. and Cheradame, H., 2011. Paper aging and degradation: recent findings and research methods. *BioResources*, 6(4): 5307-5337.
- Barkeshli, M., 2006. Historical and scientific analysis on sizing materials used in Iranian manuscripts and miniature paintings. *Ayneye Miras*, 15(4): 24-37.
- Barrett, T. and Mosier, C., 1995. The role of gelatin in paper permanence. *Journal of the American Institute for Conservation*, 34(2): 173-186.
- Biricik, Y., Sonmez, S. and Ozden, O., 2011. Effects of Surface Sizing with Starch on Physical Strength Properties of Paper. *Asian Journal of Chemistry*, 23(7): 3151-3154.
- Čabalová, I., Kačík, F., Gojný, J., Češek, B., Milichovský, M., Mikala, O., Tribulová, T. and Ďurkovič, J., 2017. Changes in the chemical and physical properties of paper documents due to natural ageing. *BioResources*, 12(2): 2618-2634.
- Dupont, A., 2002. Study of the degradation of gelatin in paper upon aging using aqueous size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography*, 950(4): 113-124.
- Emsley, A.M., Heywood, R.J., Ali, M. and Xiao, X., 2000. Degradation of cellulosic insulation in power transformers. Part 4: Effects of ageing on the tensile strength of paper. *IEE Proceedings-Science, Measurement and Technology*, 147(6): 285-290.
- Hamzeh, Y. and Rostampour Haftkhani, A., 2008. *Principals of Papermaking Chemistry*. University of Tehran press, Tehran, 54p.
- Holik, H., 2006. *Handbook of paper and board*, John Wiley & Sons, 32p.
- Jablonský, M., Katusčák, S., Kačík, F. and Kačíková,

The effect of starch sizing on the aesthetic and mechanical properties of historical papers

K. Dadmohamadi^{1*}, M. Mohammadi Achachluei² and M. Jafrai³

1* -Corresponding author, Ph.D. student, Conservation of Historical and Cultural Properties, Faculty of conservation, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran, E-mail: k.dadmohamadi@yahoo.com, Tel: +9382651572

2- Assistant Professor, Conservation of Historical and Cultural Properties, Faculty of conservation, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran.

3- Professor, Faculty of Chemistry, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.

Received: Jan., 2021 Accepted: July, 2021

Abstract

Surface sizing of historical papers using starch was performed with the aim of investigating the effect of treatment on the aesthetic and mechanical properties of historical papers. For this purpose, starch sizing with a weight concentration of 3% were used and pH, colorimetric, contact angle and tensile strength tests were performed before and after aging of the samples. The results showed that the pH of samples not sized and samples having starch sizing decreased after aging but it is still in the alkaline range. The brightness of the samples was slightly reduced after sizing with starch before and after aging and the color of the samples tends to darken. Tensile strength of paper samples containing starch sizing before and after aging increased compared to not sized samples. The results of measuring the contact angle also showed that starch sizing had no effect on increasing the resistance of paper to wetting and does not prevent the surface of the paper from getting wet.

Keywords: Surface sizing, starch sizing, aesthetic properties, mechanical properties, historical papers.