

■ بررسی تأثیر حلال‌های استفاده‌شده در آسیب‌زدایی آثار کاغذی و نسخه‌های خطی

فاطمه قدرتی برنج‌آبادی | مریم افشارپور

■ چکیده

هدف: هدف از این تحقیق مطالعه تغییرات ایجادشده در خصوصیات بصری، فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های کاغذ تحت درمان با حلال‌های لکه‌زدای مدنظر و مقایسه آنها با نمونه کاغذ شاهد بدون درمان، در شرایط محیطی یکسان برای شناسایی معایب و مزایای این حلال‌هاست.

روش پژوهش: پژوهش حاضر کاربردی است و در جمع‌آوری اطلاعات آن از منابع کتابخانه‌ای و میدانی بهره‌گیری شده‌است. تجزیه و تحلیل اطلاعات بر پایه بررسی جدول‌ها و نمودارهای تهیه شده بر اساس نتایج تجربی است. در این تحقیق از نمونه‌های کاغذ واژمن با حلال‌های مختلف مورد کاربرد در آسیب‌زدایی منابع کاغذی (تتراکلریدکربن، تری‌کلرواتیلن، استن، اتانول و متانول) استفاده شده‌است. نمونه‌های کاغذ با لکه‌های مختلف (چربی، چسب، و جوهر) تهیه و سپس از طریق مطالعات آزمایشگاهی میزان تغییرات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها قبل و بعد از پیرسازی بررسی شد.

یافته‌ها و نتایج پژوهش: در پاک‌سازی لکه‌های ناشی از چربی روی کاغذهای واژمن حلال تری‌کلرواتیلن مناسب‌تر از حلال تتراکلریدکربن است و آثار کاغذی آسیب کمتری می‌بینند. در پاک‌سازی لکه‌های ناشی از جوهر روی کاغذهای واژمن حلال اتانول و متانول به یک‌میزان آسیب به نمونه کاغذی وارد کردند؛ ولی از طرفی خطرات استفاده از اتانول به مراتب کمتر از متانول است. در پاک‌سازی لکه‌های ناشی از چسب روی کاغذهای واژمن، حلال استن تخریب کمتری روی اثر کاغذی دارد و خطرات به مراتب کمتری از تتراکلریدکربن دارد. استفاده از متانول در پاک‌سازی لکه‌های چسب شاید کم‌خطر باشد؛ ولی در نمونه SEM، باقیمانده حلال روی اثر کاغذی به چشم می‌خورد و چسبندگی، کامل برطرف نمی‌شود.

کلیدواژه‌ها

حلال، آسیب‌زدایی، آثار کاغذی، نسخه‌های خطی

مطالعات آرشیوی

فصلنامه گنجینه اسناد: سال بیستم و هفتم، دفتر دوم، (تابستان ۱۳۹۶)، ۱۲۶-۱۰۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۹ ■ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۶

بررسی تأثیر حلال‌های استفاده‌شده در آسیب‌زدایی آثار کاغذی و نسخه‌های خطی

فاطمه قدرتی برنج‌آبادی^۱ | مریم افشارپور^۲

مقدمه

ایران به دلیل غنای فرهنگی و سوابق تاریخی کهن دارای آثار ارزشمند کاغذی به‌جای مانده از گذشته است. دست‌نوشته‌ها، کتاب‌ها و مدارک تاریخی، بایگانی مهمی از میراث فرهنگی را تشکیل می‌دهند (استوارت، ۱۳۹۳، ص ۴۳). وجود هزاران جلد کتاب خطی نادر و اسناد تاریخی ارزشمند در کتابخانه‌ها، موزه‌ها و مجموعه‌های شخصی حاکی از قدمت تمدن ایرانیان است. این منابع همواره در معرض آسیب و واکنش‌های شیمیایی و طبیعی قرار دارند و سرعت تخریب آن‌ها نیز روزبه‌روز افزایش می‌یابد (<http://www.nlai.ir>). یکی از مسائل مهم در حفاظت از اسناد پاک‌کردن لکه‌ها و الحاقات غیراصولی است که ممکن است به دلایل مختلف روی اسناد و کتب خطی ایجاد شده باشند (قدرتی و محمودی، ۱۳۹۱).

بسیاری از اسناد و مدارک موجود در آرشیوها و کتابخانه‌ها دچار آسیب‌های مختلف مانند مرمت‌های غیراصولی و لکه‌های مختلف می‌باشند. این لکه‌ها نه‌تنها روی ظاهر آثار کاغذی تأثیر می‌گذارد بلکه باعث آسیب سلولز کاغذ نیز می‌شود. امروزه برای برطرف‌کردن این مشکل، در بسیاری از مراکز حفاظت و مرمت منابع کاغذی در ایران و بسیاری از کشورها، از حلال‌های مختلف نظیر تتراکلریدکربن، تری‌کلرواتیلن، استن، اتانول و ... استفاده می‌شود. حلال‌ها بر اساس نوع لکه و جوهر، انتخاب می‌شوند. ابتدا حلال روی قسمتی از سند و کتاب آزمایش می‌شود و مناسب‌ترین حلالی انتخاب می‌شود که مانع پخش شدگی جوهر و رنگ‌های به‌کاررفته در تذهیب شود و همچنین باعث آسیب به سلولز کاغذ نشود. با استفاده

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه آزاد

سلسله‌ی واحد تهران مرکز

fa_ghodraty@yahoo.com

۲. استادیار شیمی معدنی پژوهشگاه

شیمی و مهندسی شیمی ایران

afsharpour@ccerci.ac.ir



از این حلال‌ها، الحاقات اضافی و لکه‌ها برطرف می‌شوند (قدرتی و محمودی، ۱۳۹۱). آثار کاغذی به‌جای‌مانده از گذشتگان از حساس‌ترین آثاری هستند که با توجه به ماهیت و جنس آن‌ها بیش از دیگر مواد در معرض تخریب‌اند. بسیاری از آسیب‌های وارده به کاغذهای تاریخی بر اثر وجود لکه‌ها و باقیمانده مواد گوناگون روی آن‌ها و استفاده از شیوه‌های نامناسب مرمت، به‌خصوص پاک‌سازی است که خود باعث مشکلات بعدی برای اثر می‌شوند. اجرای روش‌هایی با کمترین دخالت و تخریب، یکی از رسالت‌های مرمتگران است. امروزه دانشمندان رشته‌های مختلف با استفاده از فناوری روز، تحولات مثبتی را در رشته‌های تخصصی خود به وجود آورده‌اند. در حیطه مرمت نیز روش‌های نوین باعث بهبود در کار شده‌اند. از این جمله می‌توان به استفاده از لیزر در پاک‌سازی اشیاء و بناها اشاره کرد. کاویانی (۱۳۸۸) در پایان‌نامه خود به کاربرد لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر برای پاک‌سازی لکه‌های موجود در کاغذهای تاریخی پرداخته است. بررسی‌های انجام‌شده به کسب اطلاعاتی درباره انواع، روش کار، مکانیسم تأثیر، و مزایا و معایب لیزر نسبت به روش‌های سنتی منجر شد.

همچنین صامتی (۱۳۷۷) در پایان‌نامه خود درباره اسیدزدایی و لکه‌برداری در بافته‌های قدیمی و بررسی مقاومت فیزیکی آن‌ها تحقیق کرده است.

دلیر (۱۳۸۷) در پایان‌نامه خود درباره کاربرد لیزر در لکه‌زدایی آثار کاغذی تحقیق کرده است. در این تحقیق از چهار نوع لیزر شامل: مایع رنگینه‌ای با طول موج ۵۶۵ نانومتر، آرگون با طول موج ۵۱۵ نانومتر، لیزر Nd:YAG با طول موج‌های ۵۳۲ و ۱۰۶۴ نانومتر، و بخار مس با طول موج‌های ۵۱۰ و ۵۷۸ نانومتر استفاده شد. با بررسی قبل و بعد از تاباندن پرتو لیزر به لکه، با روش آنالیز PIXE مشخص شد که از بین لیزرهای کاربردی در این تحقیق، لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر برای لکه‌زدایی آثار کاغذی مناسب‌تر است.

Mallika (2012) در مقاله خود به بررسی روش‌های پاک‌سازی درباره نسخه‌های کاغذی و لزوم آزمایش‌های تعیین اسیدیته، حالیت جوهر و رنگ قبل از لکه‌برداری پرداخته است او در مقاله خود این‌گونه بیان می‌کند که حفاظت‌گر باید قادر باشد در پاک‌سازی اسناد طوری رفتار نماید که آسیبی به آن‌ها وارد نشود و نوع پاک‌سازی به شرایط کنونی نسخه کاغذی بستگی دارد. بیشترین حلال‌های مورد استفاده در پاک‌سازی آثار کاغذی از نظر او، استن، تولوئن، اتانول، ایزوپروپیل الکل، متانول، هیدروژن پراکسید، و تتراکلریدکربن است.

همچنین Nilghaz و همکارانش (۲۰۱۵) در نشریه Chemical Engineering Science به بررسی مکانیسم نفوذ لکه قهوه در کاغذ و نحوه شکل‌گیری آن می‌پردازد. در این تحقیق مکانیسم‌های مختلف پخش لکه روی کاغذ مطالعه شده است.



Merrily و همکاران (۱۹۸۸) در نشریه The Book and Paper Group Annual در موضوع انواع چسب‌ها و فنون جداسازی و مخاطرات احتمالی‌ای می‌پردازند که طی پاک‌سازی کاغذ پیش می‌آید. چسب‌های بررسی‌شده آن‌ها چسب‌های آرشیوی، مرمتی، پوششی و سلوفان است.

در سایت یونسکو (۲۰۱۵) مکانیسم پاک‌سازی حلال‌های استفاده‌شده در لکه‌برداری و برطرف کردن لکه با آب، انواع چسب‌ها در مرمت و ویژگی‌های آن‌ها بررسی شده است. Sarantopoulou و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهش خود به بحث درباره پاک‌سازی لکه‌های قارچ روی کاغذهای قدیمی قرن ۱۶ میلادی و نحوه تأثیر لیزر روی لکه می‌پردازد. طول موج لیزر در پاک‌سازی این پژوهش ۱۵۷ نانومتر است. آن‌ها با انجام آزمایش آنالیز EDXS نشان دادند در بخش‌هایی از نسخه‌های قدیمی که آهن دارد فعالیت بیولوژیکی وجود دارد. در پژوهش‌های صورت گرفته به ماده یا روش استفاده‌شده اشاره شده است. در پژوهش حاضر به بررسی تأثیرات حلال‌های تتراکلریدکربن، تری‌کلرواتیلن، استن، اتانول، و متانول پرداخته می‌شود.

با توجه به مباحث مطرح شده سوال این است که:

۱. این حلال‌ها چه تأثیری روی سلولز کاغذ می‌گذارند؟

۲. پس از آسیب‌زدایی، باقیمانده این حلال‌ها با گذشت زمان چه عوارضی روی سلولز

و ساختار الیاف در آثار کاغذی خواهند گذاشت؟

روش تحقیق

در این تحقیق تأثیر پنج حلال شیمیایی تتراکلریدکربن، تری‌کلرواتیلن، استن، اتانول، و متانول روی لکه‌های چسب، چربی، جوهر و میزان اثربخشی این حلال‌ها در حذف لکه‌ها و تأثیر بعدی آن‌ها روی سلولز کاغذ بررسی می‌شود؛ همچنین اثر این حلال‌ها در درازمدت نیز بعد از پیرسازی تسریع شده بررسی می‌شود.

ابتدا تعدادی از نمونه کاغذهای آزمایش با لکه‌های چربی گیاهی، چسب نواری، و جوهر (خودکار آبی) آغشته شدند. تمامی نمونه‌های کاغذ از نظر ویژگی‌های فیزیکی یکسان در نظر گرفته شدند. گفتنی است که از بین نمونه‌های کاغذ تعدادی برای شاهد در نظر گرفته شد. روش نمونه‌برداری از نمونه‌های کاغذ با استفاده از استاندارد ISIRI 133 انجام شد.

برای پاک‌سازی لکه‌های چربی از حلال‌های تری‌کلرواتیلن و تتراکلریدکربن، پاک‌سازی لکه‌های چسب از حلال‌های تتراکلریدکربن، استن و متانول؛ و برای پاک‌سازی لکه‌های جوهر از حلال‌های متانول و اتانول استفاده شد.

۱. روشی تحلیلی است که برای شناسایی عناصر موجود در نمونه به کار می‌رود (روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی، ترجمه باقرزاده کنیری، ۱۳۹۳، ص ۱۲۷).



سپس نمونه‌ها در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد برای یکسان‌سازی شرایط محیطی به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه Ageing قرار داده شد (ISIRI106) و بعد از آن طی مدت زمان ۱۲ و ۲۴ روز نمونه‌ها در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد طبق استاندارد ISIRI4706 در دستگاه Ageing قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری تست کشش، نمونه‌ها با ابعاد $1/5 \times 14$ سانتیمتر برش خورد و تست کشش بر اساس استاندارد ISIRI 8273 روی آن‌ها انجام شد.

آزمون شناسایی نوع خمیر کاغذ بر اساس استاندارد ملی ۱۴۱۷ و سنجش میزان pH به روش pH استخراجی تعیین ترکیب فیبری کاغذ به روش هرزبرگ، شماره استاندارد ملی ایران 3568-1 و pH دستگاهی انجام شد. همچنین تعیین مقاومت منابع کاغذی با دستگاه تست کشش بر اساس استاندارد ISIRI 8273 انجام شد.

طیف‌سنجی FT-IR در مطالعات متعدد صورت گرفته روی کاغذهای قدیمی استفاده شده است (استوارت، ۱۳۹۳، ص ۱۷۹). در آنالیز دستگاهی FT-IR ابتدا، از نمونه‌ها قرص تهیه شد. به منظور ساخت قرص برای طیف‌سنجی، مقدار مشخصی از نمونه با برمید پتاسیم (KBr) ترکیب شد. (وزن 100 mg ، KBr برابر وزن نمونه در نظر گرفته شد). سپس در هاون آزمایشگاهی کاملاً به شکل پودری یکنواخت و همگن درآمد. مقداری از پودر همگن در زیر پرس هیدرولیک، با فشار ۱۱ تن، به مدت ۲ دقیقه پرس شد و در نهایت پس از تهیه قرص، طیف‌سنجی از آن انجام شد (محدوده $4000-400 \text{ cm}^{-1}$). همچنین برای بررسی دقیق‌تر از آنالیز دستگاهی SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی) کمک گرفته شد.

در این تحقیق منظور از لکه چسب، اثر چسب نواری روی کاغذ است که به صورت زردشدگی است و بعد از پیرسازی بیشتر می‌شود. منظور از لکه جوهر، پخش شدگی جوهر خودکار آبی است که در بسیاری از اسناد دیده می‌شود. بسیاری از کاربران و استفاده‌کنندگان سند از خودکار آبی برای نگارش یا نشانه‌گذاری استفاده می‌کنند که از الحاقات اضافی اثر به حساب می‌آید و بخشی از اثر نیست.

نام نمونه‌های آزمون و علامت اختصاری آن‌ها به همراه توضیحات در جدول زیر آمده است.

نام	علامت اختصاری	ملاحظات
کاغذ واتمن	W	Watman Paper
کاغذ واتمن پیرسازی نشده	W_0	-
کاغذ واتمن دو دوره پیرسازی شده	W_2	در دستگاه Ageing به مدت 24 روز (دو دوره 12 روز) پیرسازی شده است

جدول ۱

راهنمای علامت اختصاری
استفاده شده در نمونه‌ها



نام	علامت اختصاری	ملاحظات
لکه چربی	F	Fat
لکه جوهر	I	Ink
لکه چسب	P	Paste
تتراکلریدکربن	C	Carbon tetrachlorid
تری‌کلرواتیلن	T	Trichloroethylene
اتانول	E	Ethanol
استن	A	Acetone
متانول	M	Methanol

ادامه جدول ۱

راهنمای علائم اختصاری
استفاده شده در نمونه‌ها

ملزومات ضروری آزمون‌ها

کاغذ واتمن، خودکار Rever آبی‌رنگ، کره گیاهی آذربایجان، نوارچسب شیشه‌ای، حلال‌های شیمیایی شامل: تتراکلریدکربن (مرک آلمان، کد 1.02222.2500)، تری‌کلرواتیلن (مرک آلمان، کد 1.000958.2500)، متانول (ایرانی)، اتانول (ایرانی، 96%) و استن (مرک آلمان، کد 1.00014.2500).

تجهیزات استفاده‌شده در آزمون‌ها

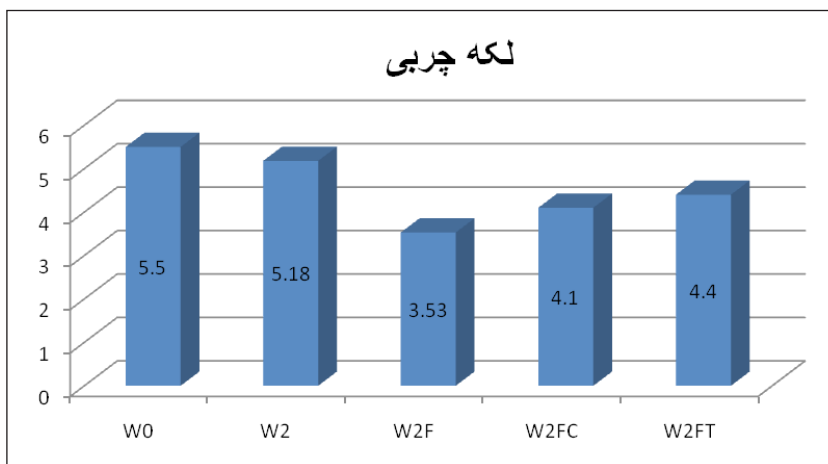
به‌منظور انجام این پژوهش از میکروسکوپ الکترونی مدل Tescanvega، Perkin-Elmer، FTIR مدل ۶۵، دستگاه تست کشش مدل Tinus olsen-H10KS727، pH متر مدل Metrohm 691 ساخت سوئیس و دستگاه Ageing مدل Binder ساخت انگلستان استفاده شد.

نتایج آزمون‌ها

بررسی اسیدیته نمونه‌ها

لکه چربی: نمودار شماره ۱ تغییر میزان اسیدیته را در کاغذ بدون لکه قبل و بعد از پیرسازی و کاغذ حاوی لکه چربی و کاغذهای پاک‌سازی‌شده از چربی بعد از پیرسازی نشان می‌دهد.





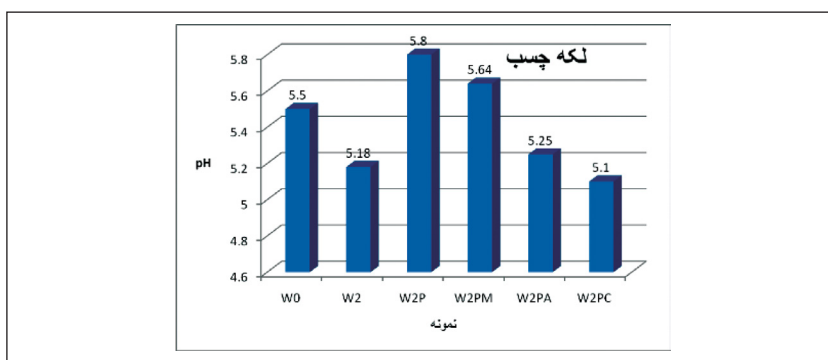
نمودار ۱

میزان pH نمونه های
با لکه چربی

مقایسه نمونه W0 و W2 نشان می دهد pH نمونه کاغذ بدون لکه پس از پیرسازی کاهش می یابد. مقایسه نمونه W2 و W2F نشان می دهد که وجود لکه چربی به شدت باعث افزایش اسیدیته کاغذ (کاهش pH) پس از پیرسازی می شود که نشان دهنده تخریب کاغذ بر اثر این لکه است؛ این میزان اسید خود می تواند باعث تخریب ناشی از هیدرولیز اسیدی شود. پاک سازی با تتراکلریدکربن (W2FC) باعث افزایش pH می شود، اگرچه هنوز میزان اسیدیته بیشتر از نمونه بدون لکه است. از طرف دیگر افزایش pH با به کارگیری حلال تری کلرواتیلن (W2FT) بیشتر است.

بنابراین از این آزمایش می توان نتیجه گرفت که تری کلرواتیلن حلال مناسب تری برای پاک کردن لکه چربی است.

لکه چسب: نمودار شماره ۲ تغییر میزان اسیدیته را در کاغذ بدون لکه قبل و بعد از پیرسازی، کاغذ حاوی لکه چسب و کاغذهای پاک سازی شده از چسب بعد از پیرسازی نشان می دهد.

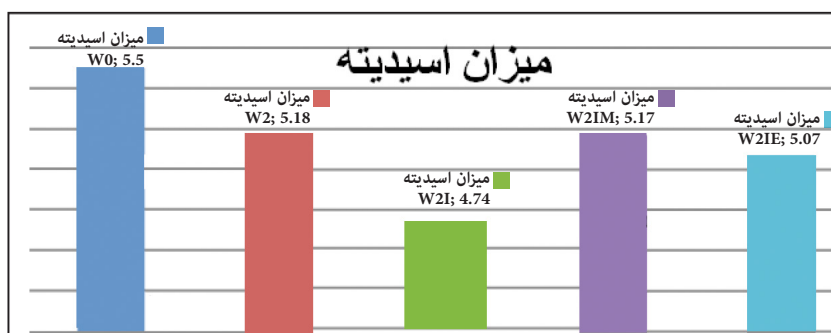


نمودار ۲

میزان pH
نمونه های با لکه چسب

نتایج نشان می‌دهد اسیدیته نمونه کاغذ بدون لکه پس از پیرسازی کاهش می‌یابد (مقایسه نمونه W0 و W2). وجود لکه چسب در نمونه کاغذ (W2P) باعث افزایش pH می‌شود که نشان‌دهنده وجود گروه‌های قلیایی در چسب است. پاک‌سازی با متانول (W2PM) باعث کم شدن میزان pH در مقایسه با نمونه حاوی لکه چسب (W2P) می‌شود؛ ولی همچنان میزان pH در مقایسه با نمونه بدون لکه (W2) بیشتر است که نشان می‌دهد که یا مقادیری از چسب هنوز باقیمانده است و یا مربوط به تخریب کاغذ بر اثر این حلال است. از طرف دیگر به کارگیری حلال استن (W2PA) و تتراکلریدکربن (W2PC) نشان می‌دهد این حلال‌ها نقش بیشتری در حذف چسب داشته‌اند و pH نمونه پس از پاک‌سازی نزدیک به نمونه بدون لکه (W2) است. نمونه به دست آمده از پاک‌سازی با متانول، چسبندگی زیادی داشت که خود تأییدی بر باقی ماندن چسب روی کاغذ است که با نتایج اندازه‌گیری pH هم تطابق دارد. بنابراین با این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که دو حلال استن و تتراکلریدکربن برای پاک کردن لکه چسب مناسب‌ترند.

لکه جوهر: نمودار شماره ۳ تغییر میزان اسیدیته را در کاغذ بدون لکه قبل و بعد از پیرسازی، کاغذ حاوی لکه جوهر، و کاغذهای پاک‌سازی‌شده از جوهر بعد از پیرسازی نشان می‌دهد.



نمودار ۳

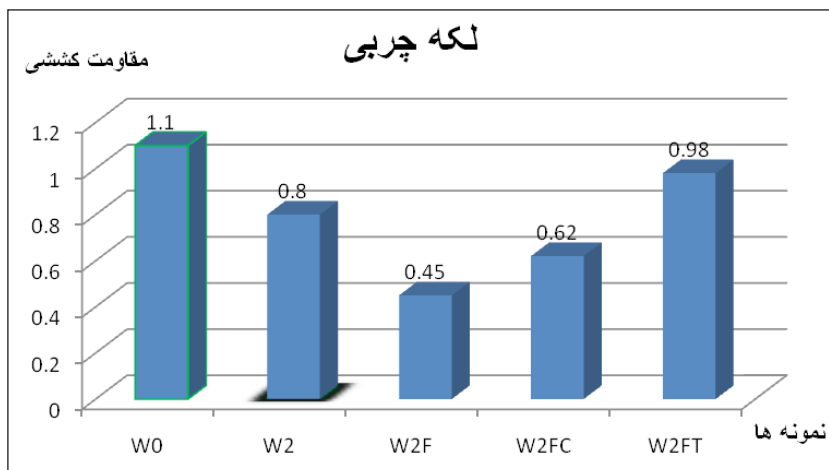
میزان pH
نمونه‌های با لکه جوهر

نتایج نشان می‌دهد اسیدیته نمونه کاغذ بدون لکه پس از پیرسازی کاهش می‌یابد. وجود لکه جوهر (W2I) به شدت باعث کاهش pH و افزایش اسیدیته می‌شود. پاک‌سازی با متانول (W2IM) و اتانول (W2IE) باعث افزایش pH کاغذ حاوی لکه جوهر (W2I) می‌شود. میزان pH کاغذهای پاک‌سازی‌شده نزدیک به کاغذ بدون لکه است که نشان‌دهنده حذف کامل لکه و تغییر نکردن اسیدیته کاغذ است. اتانول و متانول هر دو حلال مناسبی از نظر عدم تغییر در pH می‌باشند.



بررسی تغییرات مقاومت کششی

لکه چربی: نمودار شماره ۴ تغییر میزان مقاومت کششی را در کاغذ بدون لکه قبل و بعد از پیرسازی، کاغذ حاوی لکه چربی، و کاغذهای پاک‌سازی شده از چربی بعد از پیرسازی نشان می‌دهد.



نمودار ۴

میزان مقاومت کششی
نمونه‌های با لکه چربی

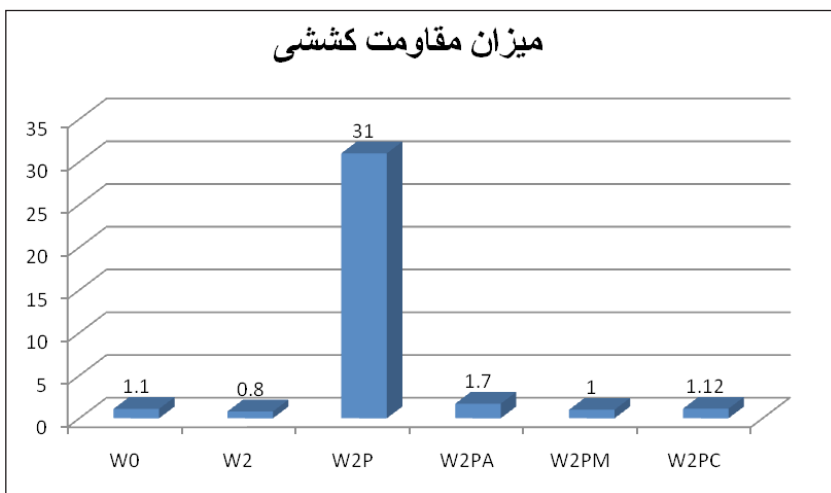
نتایج نشان می‌دهد مقاومت کششی نمونه بدون لکه پس از پیرسازی کاهش می‌یابد (مقایسه نمونه W0 با W2). وجود لکه چربی در نمونه کاغذ (W2F) به شدت باعث کاهش مقاومت کششی کاغذ می‌شود که نشان‌دهنده تخریب شدید کاغذ بر اثر این لکه است. نمونه پاک‌سازی شده با تتراکلریدکربن (W2FC)، مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه حاوی لکه (W2F) دارد؛ ولی در مقایسه با نمونه بدون لکه (W2) مقاومت کمتری را نشان می‌دهد. این امر نشان‌دهنده باقی ماندن مقادیر کمی از لکه و یا تخریب کم کاغذ پس از پاک‌سازی با این روش است؛ ولی به کارگیری حلال تری کلرواتیلن (W2FT) مقاومت کششی بیشتری را نشان می‌دهد که حتی از نمونه کاغذ بدون لکه (W2) نیز بیشتر است.

بنابراین تری کلرواتیلن، حلال مناسب تری برای پاک کردن لکه چربی است.

لکه چسب: نمودار شماره ۵ تغییر میزان مقاومت کششی را در کاغذ بدون لکه قبل و بعد از پیرسازی، کاغذ حاوی لکه چسب، و کاغذهای پاک‌سازی شده از چسب بعد از پیرسازی نشان می‌دهد.

نمودار ۵

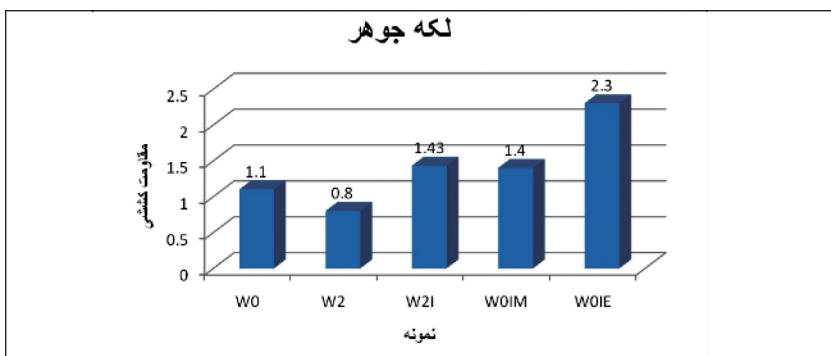
میزان مقاومت کششی
نمونه‌های با لکه چسب



نتایج نشان می‌دهد مقاومت کششی نمونه بدون لکه پس از پیرسازی کاهش می‌یابد (مقایسه W0 با W2). مقاومت کششی نمونه حاوی لکه چسب (W2P) به شدت افزایش یافته است که طبیعی است و دلیل آن وجود لایه چسب است. پاک‌سازی با استن (W2PA) نشان می‌دهد که مقاومت کششی بالاتر از نمونه بدون لکه شده است که این نشان می‌دهد که یا مقادیر کمی از لکه باقیمانده و یا به کارگیری این حلال باعث فرورفتگی بیشتر الیاف در هم شده است که باید با آزمایش‌های تکمیلی آن را اثبات کرد. به کارگیری متانول (W2PM) و تراکلرید کربن (W2PC) مقاومت کششی نزدیک به کاغذ بدون لکه را نشان می‌دهند. نتیجه این آزمایش تخریب نشدن جدی کاغذ را در اثر هر سه حلال نشان می‌دهد. **لکه جوهر:** منحنی شماره ۶ تغییر میزان مقاومت کششی را در کاغذ بدون لکه قبل و بعد از پیرسازی، کاغذ حاوی لکه جوهر، و کاغذهای پاک‌سازی شده از جوهر بعد از پیرسازی نشان می‌دهد.

نمودار ۶

میزان مقاومت کششی
نمونه‌های با لکه جوهر



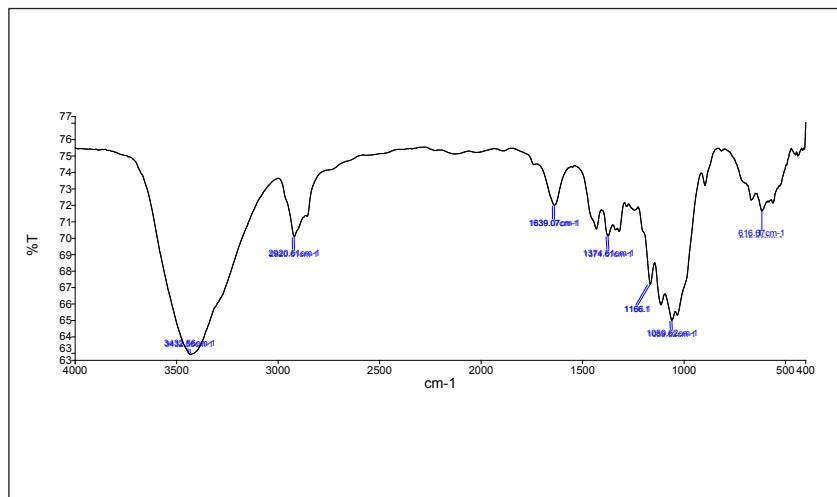
نتایج نشان می‌دهد مقاومت کششی نمونه بدون لکه پس از پیرسازی کاهش می‌یابد. وجود لکه جوهر (W2I) در نمونه باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود. یک لایه جوهر روی کاغذ، مقاومت کششی را افزایش می‌دهد؛ ولی کاهش نیافتن مقاومت کششی نشان‌دهنده تخریب نشدن جدی الیاف کاغذ بر اثر این لکه است. پاک‌سازی با متانول (W2IM) و به‌ویژه با اتانول (W2IE) باعث افزایش زیاد مقاومت کششی شده که نشان‌دهنده فرورفتگی الیاف کاغذ بر اثر استفاده از حلال‌ها است. دلیل آن را می‌توان به جایگزینی مولکول‌های الکل به جای مولکول‌های آب در لابه‌لای الیاف دانست که پس از تبخیر حلال در پیرسازی حرارتی، باعث فشردگی بیشتر الیاف شده است. این فشردگی (مقاومت کششی بیشتر) در اتانول بیشتر دیده می‌شود.

بنابراین متانول نمی‌تواند حلال بهتری باشد اگرچه سمیت اتانول کمتر است.

بررسی تغییرات طیف‌های FTIR نمونه‌ها

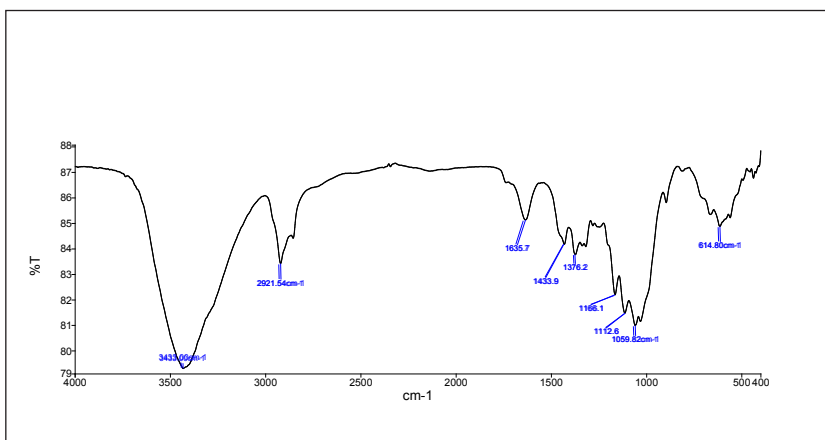
نمونه کاغذ بدون لکه

مقایسه طیف IR در نمونه کاغذ قبل از پیرسازی W0 و نمونه پس از پیرسازی W2 نشان می‌دهد که اکسایش در سلولز رخ داده است و باند جذبی در ناحیه 1730 cm^{-1} کمی افزایش یافته است که مربوط به وجود گروه کربونیل است. افزایش این باند کم است زیرا در نمونه استاندارد کاغذ واتمن، سلولز خالص داریم.



نمودار ۸

طیف IR نمونه W2
(نمونه پیرسازی شده)

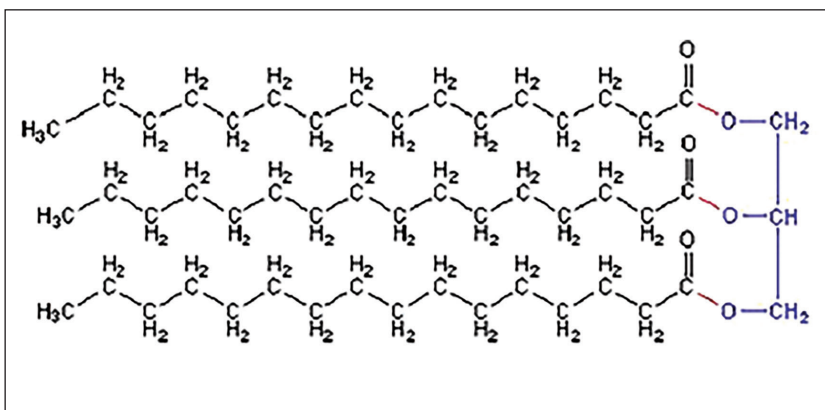


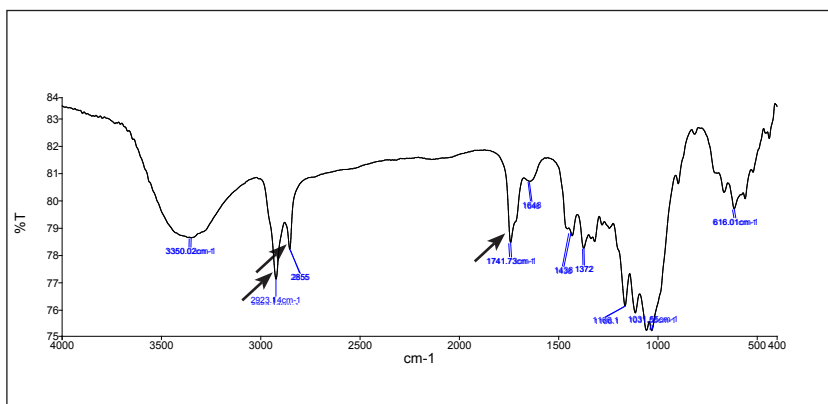
نمونه حاوی لکه چربی

مقایسه طیف IR در نمونه حاوی لکه چربی قبل از پیرسازی W0F (نمودار ۹) و نمونه بدون لکه W0 (نمودار ۷) نشان می‌دهد که باندهای جذبی در نواحی $1741, 2855, 2933 \text{ cm}^{-1}$ شدت یافته‌اند که مربوط به لکه چربی است. باندهای مشاهده‌شده در $2855, 2933 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی پیوند C-H موجود در مولکول چربی است. باند جذبی 1741 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوند کربونیل C=O در ساختار چربی است (پاویا، ۱۳۶۶). مابقی باندهای جذبی مشاهده‌شده مربوط به کاغذ است.

شکل ۱

ساختار شیمیایی چربی کره
[http://www.lop.parl.gc.ca/
content/lop/researchpublications/
prb0521e.htm](http://www.lop.parl.gc.ca/content/lop/researchpublications/prb0521e.htm)

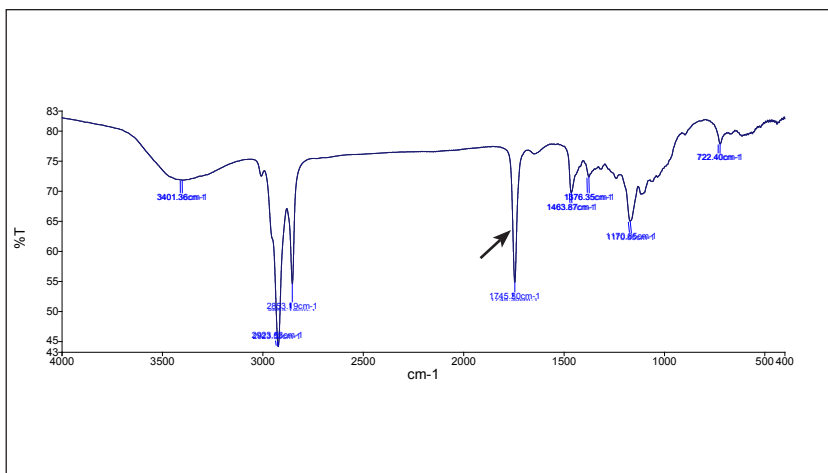




نمودار ۹

طیف IR نمونه WOF (نمونه حاوی لکه چربی قبل از پیرسازی)

مقایسه طیف IR در نمونه حاوی لکه چربی قبل از پیرسازی WOF (نمودار ۹) و پس از پیرسازی W2F (نمودار ۱۰) نشان می‌دهد که باند جذبی 1745cm^{-1} به شدت افزایش یافته است که نشان دهنده افزایش گروه کربونیل است. افزایش این پیوند می‌تواند به تخریب سلولز بر اثر وجود لکه و یا به تخریب ساختار خود چربی مربوط باشد. با توجه به کاهش شدید مقاومت کششی کاغذ بر اثر این لکه می‌توان دلیل افزایش این باند را اکسایش سلولز و تخریب کاغذ بر اثر لکه چربی دانست.

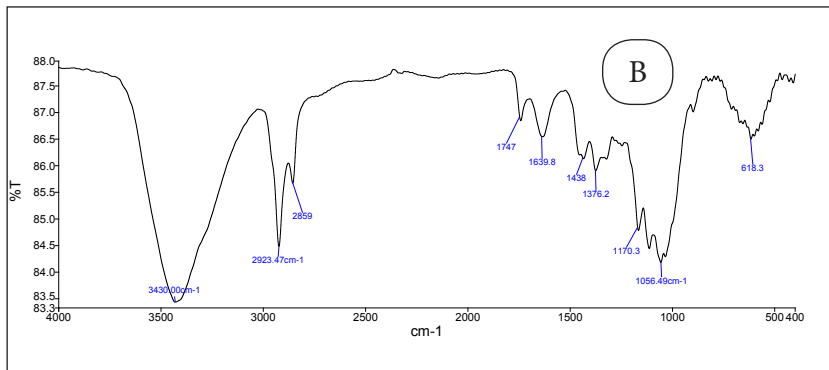
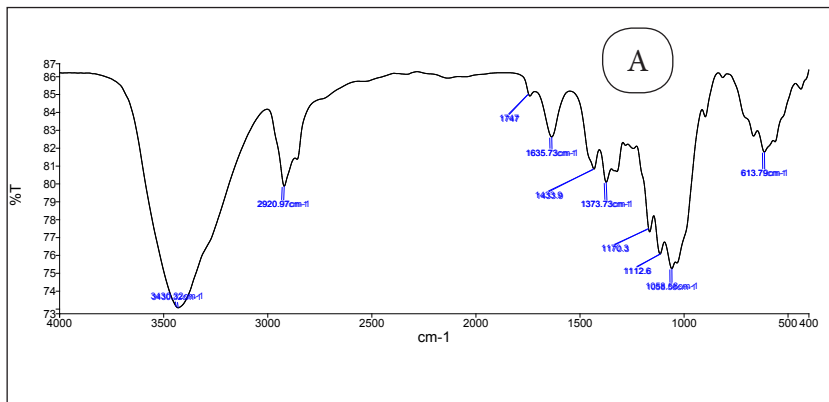


نمودار ۱۰

طیف IR نمونه W2F (نمونه حاوی لکه چربی بعد از پیرسازی)

مقایسه طیف IR در نمونه حاوی لکه WOF (نمودار ۹) و نمونه‌های پاک‌سازی شده با حلال تتراکلریدکربن W0FC (نمودار B-11) و حلال تری‌کلرواتیلن W0FT قبل از پیرسازی (نمودار A-11) نشان می‌دهد که باندهای جذبی 2323cm^{-1} و 1741cm^{-1} شاخص لکه چربی بودند پس از پاک‌سازی کوچک شده که گویای حذف لکه چربی است.

در مقایسه دو حلال با یکدیگر مشاهده می‌شود که میزان حذف لکه در حالت‌تری کلرواتیلن W0FT بیشتر از حلال تتراکلریدکربن W0FC است.



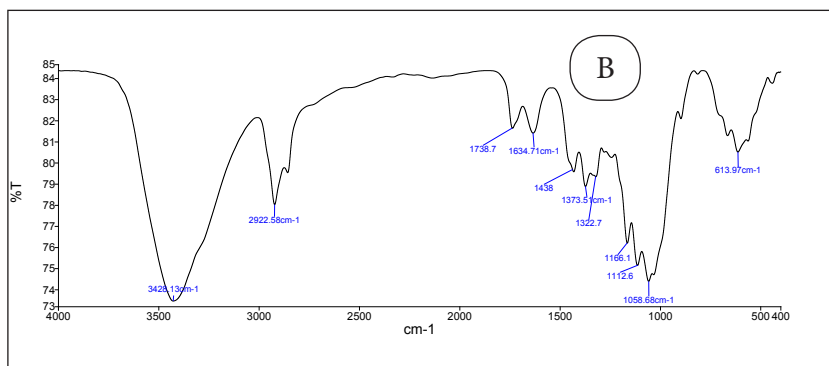
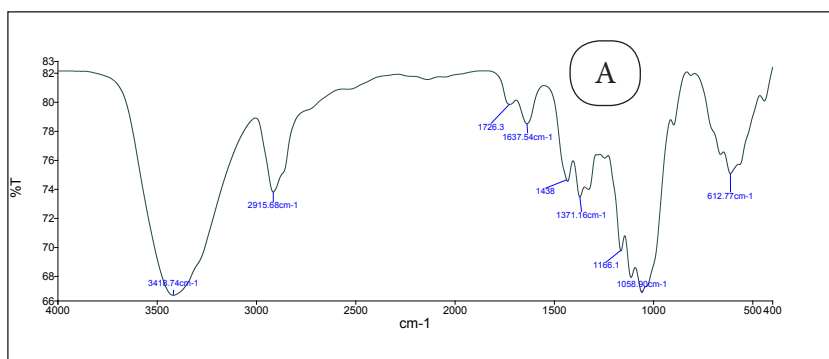
نمودار ۱۱

A- نمونه پیرسازی نشده حاوی لکه چربی و پاک‌سازی شده با تریکلرواتیلن
B- نمونه پیرسازی نشده حاوی لکه چربی و پاک‌سازی شده با تتراکلریدکربن
مقایسه طیف IR نمونه‌های (A) W0FT و (B) W0FC

مقایسه طیف‌های IR نمونه‌های پیرسازی شده پس از پاک‌سازی (نمودار A-12 و B) نشان می‌دهد در پاک‌سازی با هر دو حلال، افزایش در شدت باند جذبی و پهن شدن باند در ناحیه 1730 cm^{-1} مشاهده می‌شود که این امر نشان‌دهنده ایجاد گروه کربونیل ناشی از اکسایش سلولز است. میزان تشکیل باند کربونیل در نمونه پاک‌سازی شده با حلال تتراکلریدکربن W2FC بیشتر از نمونه پاک‌سازی شده با حالت‌تری کلرواتیلن W2FT است.

نمودار A-12 و B تخریب بیشتر حلال تتراکلریدکربن را در مقایسه با تری کلرواتیلن نشان می‌دهد؛ بنابراین حلال تری کلرواتیلن هم پاک‌سازی بهتر و هم تخریب کمتری داشته‌است. این امر در نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH و مقاومت کششی نیز تأیید شده بود، بنابراین بهترین حلال برای پاک‌سازی لکه چربی حلال تری کلرواتیلن است.





نمودار ۱۲

A- نمونه پیرسازی شده حاوی لکه چربی و پاک‌سازی شده با تری‌کلرواتیلن
B- نمونه پیرسازی شده حاوی لکه چربی و پاک‌سازی شده با تتراکلریدکربن
طیف IR نمونه‌های (B) W2FC و (A) W2FT

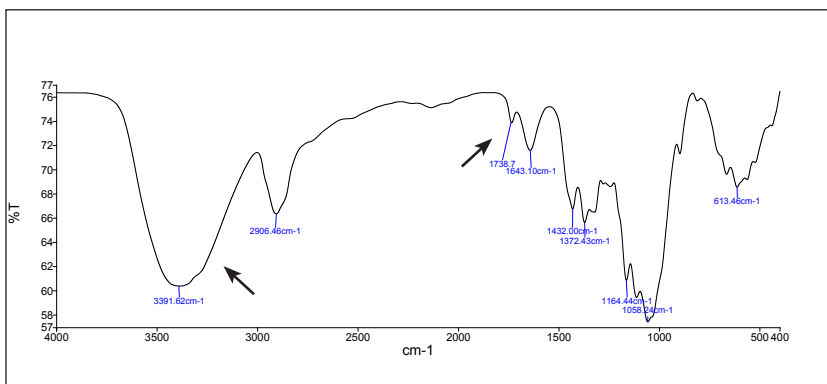
نمونه حاوی لکه چسب

ساختار چسب‌های نواری یا کائوچویی (الکن) یا سریشمی (پروتئینی) است (<http://chemicalfu.com>). اگر الکنی باشد باند کششی C=C در 1600-1690 cm⁻¹ مشاهده شده و اگر پروتئینی باشد گروه‌های C=O آمیدی در ناحیه 1620-1740 cm⁻¹ و N-H در ناحیه 3100-3500 cm⁻¹ ظاهر می‌شود. گروه‌های کششی C-N در ناحیه 1000-1350 cm⁻¹ وجود دارد (پایا، ۱۳۶۶). مقایسه طیف IR در نمونه حاوی لکه چربی قبل از پیرسازی (W0P) (نمودار ۱۳) و نمونه بدون لکه W0 (نمودار ۷) نشان می‌دهد که باند جذبی جدیدی در ناحیه 1736 cm⁻¹ مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده پیوند کربونیل گروه آمیدی است. باند جذبی پهن مشاهده شده در ناحیه 3391 cm⁻¹ نیز مربوط به گروه‌های O-H و N-H است. این نتایج نشان می‌دهد که چسب به کاررفته از نوع پروتئینی است؛ بقیه باندهای جذبی مشاهده شده مربوط به کاغذ است.



نمودار ۱۳

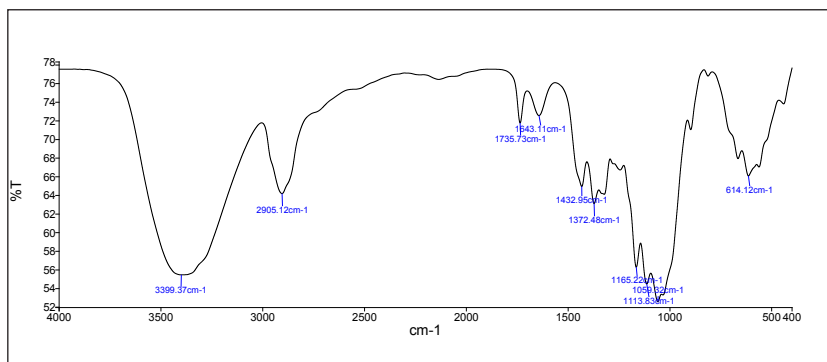
طیف IR نمونه WOP (نمونه حاوی لکه
چسب قبل از پیرسازی)



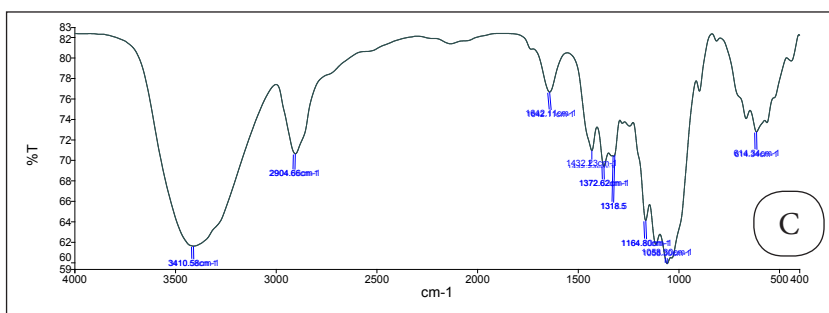
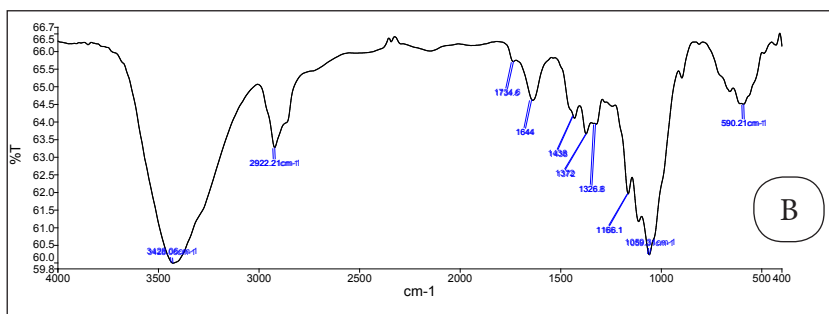
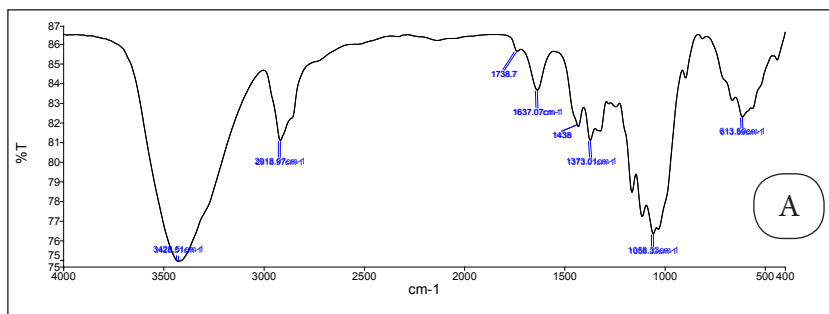
مقایسه طیف IR در نمونه حاوی لکه چسب قبل از پیرسازی WOP (نمودار ۱۳) و پس از پیرسازی W2P (نمودار ۱۴) نشان می‌دهد که باند جذبی 1735 cm^{-1} به شدت افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش گروه کربونیل است. افزایش این پیوند نشان‌دهنده تخریب سلولز بر اثر وجود لکه است.

نمودار ۱۴

طیف IR نمونه W2P (نمونه حاوی لکه
چسب بعد از پیرسازی)



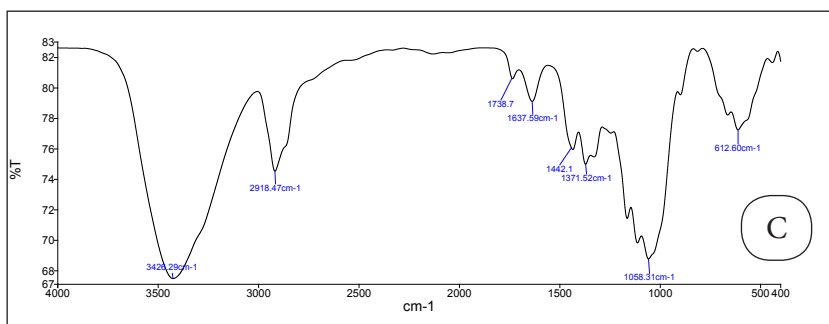
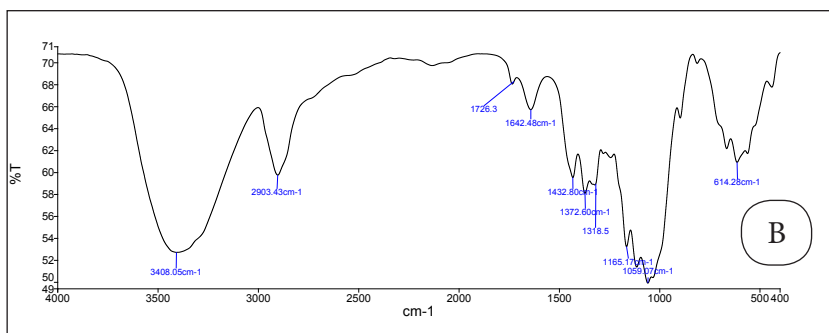
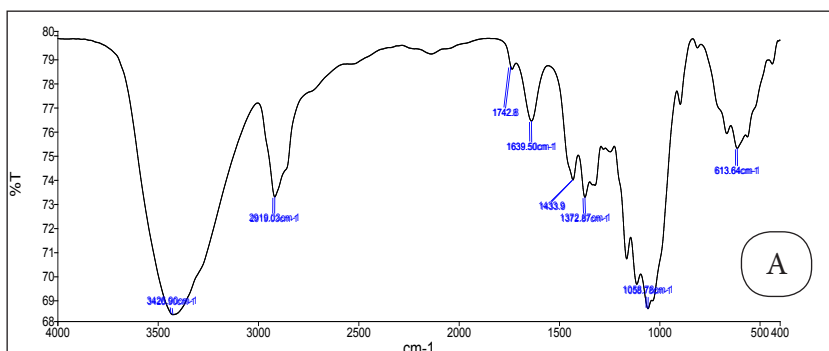
مقایسه طیف IR در نمونه حاوی لکه چربی پاک‌سازی‌نشده W2P (نمودار ۱۴) و نمونه‌های پاک‌سازی‌شده با حلال متانول قبل از پیرسازی WOPM، استن قبل از پیرسازی WOPA، و تتراکلریدکربن WOPC قبل از پیرسازی (نمودار C, B, A-15) نشان می‌دهد که باند جذبی 1735 cm^{-1} که باند جذبی شاخص لکه چسب بود، پس از پاک‌سازی کوچک شده که گویای حذف لکه چسب است. در مقایسه سه حلال با یکدیگر مشاهده می‌شود که میزان حذف لکه در هر سه حلال خوب و نزدیک به هم است ولی با مقایسه دقیق‌تر می‌توان مشاهده کرد که حلال تتراکلریدکربن کارایی بیشتری در حذف لکه دارد و استن و متانول به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.



نمودار ۱۵

A- نمونه پیرسازی نشده حاوی لکه چسب و پاک سازی شده با متانول
B- نمونه پیرسازی نشده حاوی لکه چسب و پاک سازی شده با استن
C- نمونه پیرسازی نشده حاوی لکه چسب و پاک سازی شده با تتراکلریدکربن
طیف IR نمونه های WOPA (B), WOPM (A) و WOPC (C)

مقایسه طیف‌های IR نمونه‌های پیرسازی شده پس از پاک‌سازی (نمودار 16-A, B, C) نشان می‌دهد که در پاک‌سازی با دو حلال استن و متانول، افزایش زیادی در شدت باند جذبی 1730 cm^{-1} مشاهده نمی‌شود؛ ولی در حلال تتراکلریدکربن، افزایش باند جذبی کربونیل نشان‌دهنده تخریب کاغذ است؛ یعنی باقی مانده‌های حلال تتراکلریدکربن روی کاغذ باعث تخریب کاغذ شده است؛ بنابراین با توجه به اینکه هر سه حلال قدرت پاک‌سازی خوبی داشتند، دو حلال استن و متانول که تخریب کمتری دارند، مناسب‌تر می‌باشند. از طرف دیگر با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH و مقاومت کششی و چسبندگی نمونه پاک‌سازی شده با متانول، استن به‌عنوان حلال مناسب برای پاک‌سازی لکه چسب معرفی می‌شود.



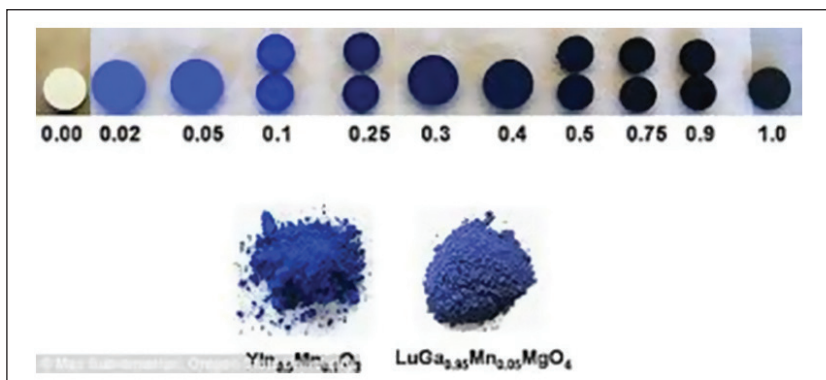
نمودار ۱۶

- A- نمونه پیرشده حاوی لکه چسب و پاک‌سازی شده با متانول
 - B- نمونه پیرشده حاوی لکه چسب و پاک‌سازی با استن
 - C- نمونه پیرشده حاوی لکه چسب و پاک‌سازی با تتراکلریدکربن
- طیف IR نمونه‌های
W2PA (B), W2PM (A)
W2PC (C)

نمونه حاوی لکه جوهر

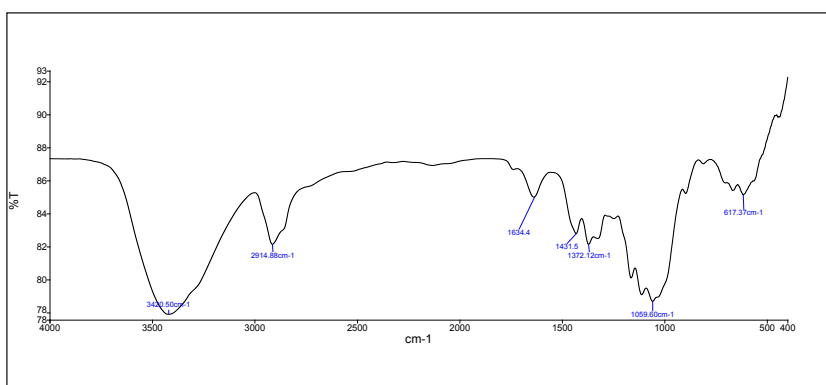
رنگ جوهر آبی حاوی اکسید منگنز است. در نمودار ۱۷ طیف IR در ناحیه 500 cm^{-1} باند جذبی مربوط، ارتعاش پیوند Mn-O را نشان می‌دهد (پاویا، ۱۳۶۶). از آنجایی که مقدار رنگینه در جوهر کم است، باند جذبی مربوطه زیر باند کاغذ در این ناحیه پوشیده می‌شود و عملاً با طیف IR قابل ردیابی نیست؛ ولی از آنجایی که رنگ به خوبی مشاهده می‌شود با مشاهده تغییرات ظاهری رنگ، قابل بررسی است.





شکل ۲

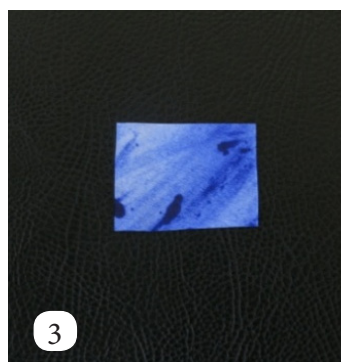
ساختار شیمیایی جوهر آبی
[https://www.google.com/
imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fi.
dailymail.co.uk](https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fi.dailymail.co.uk)



نمودار ۱۷

طیف IR نمونه WOI (نمونه پیرسازی نشده
حاوی لکه جوهر)

با توجه به اینکه لکه جوهر باند شاخصی نداشت، امکان بررسی میزان حذف جوهر با طیف IR مقدور نیست، ولی به دلیل رنگ آبی جوهر، با مشاهده بصری و تصویر میکروسکوپ نوری به خوبی می توان میزان حذف جوهر را با حلال ارزیابی کرد.

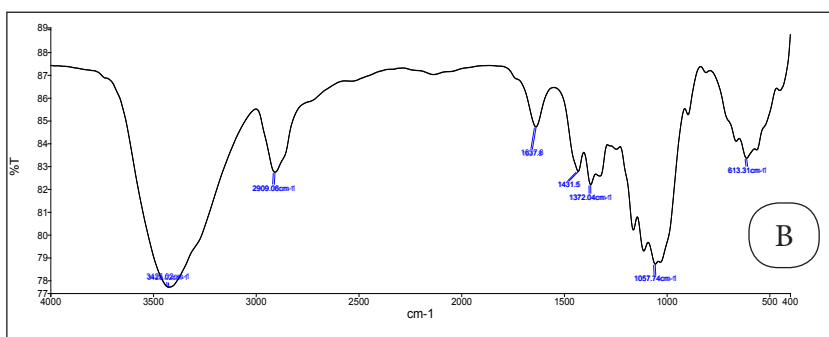
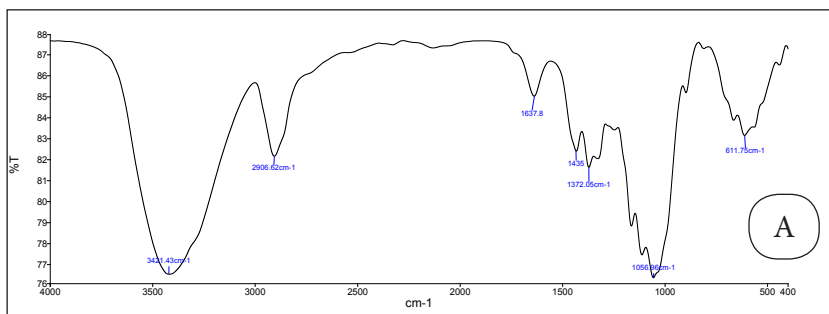


شکل ۳

نمونه حاوی لکه جوهر (منبع: نگارنده)

شکل ۴

نمونه پاک سازی شده (منبع: نگارنده)



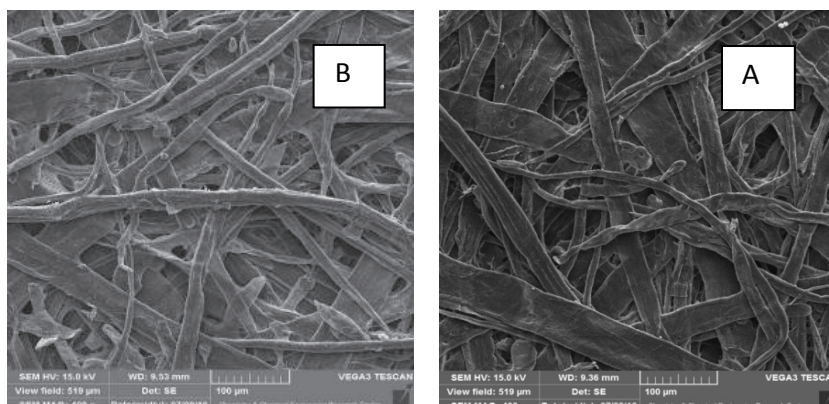
نمودار ۱۸

A- نمونه پیرسازی شده حاوی لکه جوهر
و پاک‌سازی با متانول
B- نمونه پیرسازی شده حاوی لکه جوهر
و پاک‌سازی با اتانول
طیف IR نمونه‌های
W2IE (B) و W2IM (A)

مقایسه طیف‌های IR نمونه‌های پیرسازی شده پس از پاک‌سازی (نمودار 18-A, B) نشان می‌دهد که در پاک‌سازی با دو حلال اتانول و متانول، افزایشی در شدت باند جذبی 1730 cm^{-1} مشاهده نمی‌شود؛ بنابراین هر دو حلال اتانول و متانول به دلیل تخریب نکردن کاغذ، مناسب می‌باشند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH و مقاومت کششی نیز تأییدکننده این ادعاست و هر دو حلال را مناسب نشان می‌دهد.

بررسی تغییرات تصاویر SEM نمونه‌ها نمونه کاغذ بدون لکه

مقایسه تصاویر SEM کاغذ بدون لکه، قبل و بعد از پیرسازی (شکل ۵) نشان می‌دهد که در نمونه پیر شده (W2) میزان شکستگی بیشتری در الیاف دیده می‌شود که نشان‌دهنده تخریب الیاف پس از پیرسازی است. این امر در نتایج مقاومت کششی و طیف IR نیز مشاهده شده بود.

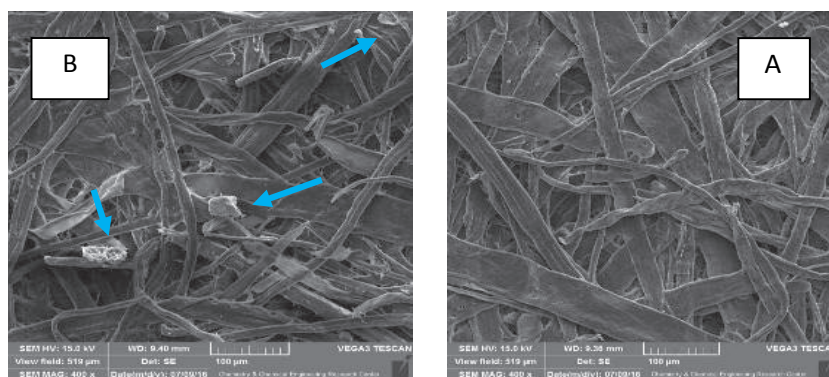


شکل ۵

تصاویر SEM نمونه
W2 (B) و (A)W0

نمونه حاوی لکه چربی

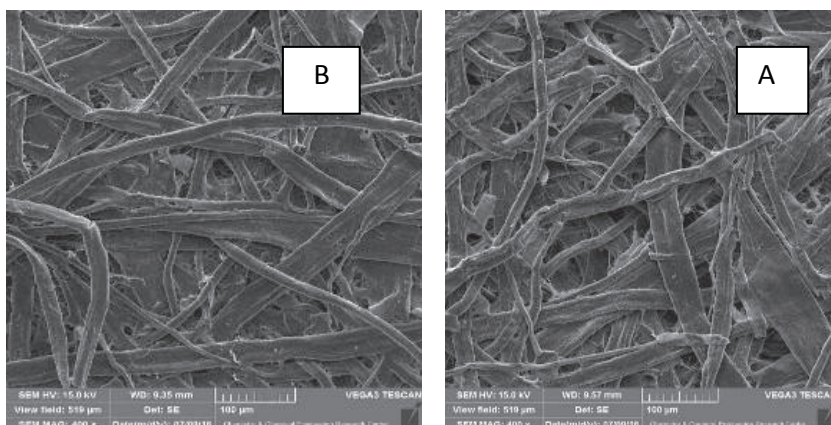
تصاویر SEM کاغذ حاوی لکه چربی پس از پیرسازی و کاغذ بدون لکه پس از پیرسازی در شکل ۶ A و B نشان داده شده است. ذرات درشت چربی در لابه لای الیاف به خوبی مشاهده می شود. در نمونه حاوی لکه چربی، تخریب بیشتری در الیاف مشاهده می شود که نشان دهنده اثر تخریبی لکه چربی بر کاغذ است. این موضوع در نتایج حاصل از آزمایش های مقاومت کششی و IR نیز به خوبی دیده شده بود.



شکل ۶

تصاویر SEM نمونه
W2 (B) و (A)W2

شکل ۷ تصاویر SEM کاغذهای پاک سازی شده با حلال تری کلرواتیلن (W2FT) و تتراکلریدکربن (W2FC) را بعد از پیرسازی نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که در نمونه پاک سازی شده با حلال تری کلرواتیلن (W2FT) تخریب بسیار کمتری از نمونه پاک سازی شده با حلال تتراکلریدکربن (W2FC) مشاهده می شود؛ بنابراین با توجه به نتایج آزمایش های قبلی و نتایج میکروسکوپ SEM می توان گفت که تری کلرواتیلن بهترین حلال برای پاک سازی لکه چربی است.

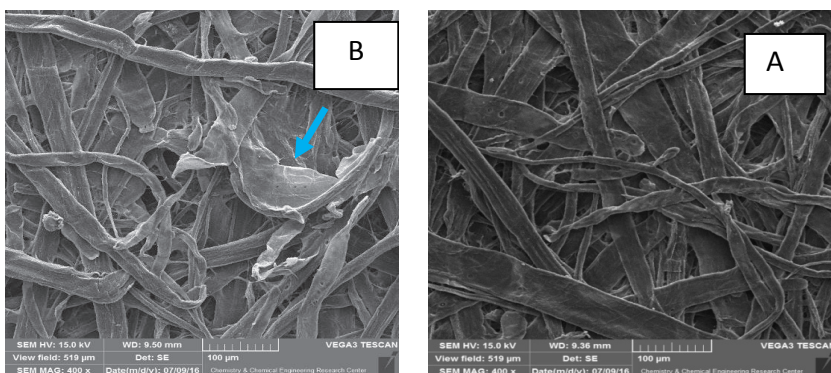


شکل ۷

تصاویر SEM نمونه
W2FC (B) و W2FT (A)

نمونه حاوی لکه چسب

تصاویر SEM کاغذ حاوی لکه چسب (W2P) با کاغذ بدون لکه (W2) بعد از پیرسازی در شکل ۸ نشان داده شده است. لایه چسب روی الیاف به خوبی مشاهده می‌شود. در نمونه حاوی لکه چسب، تخریب بیشتری در الیاف مشاهده می‌شود و میزان شکستگی‌های الیاف سلولز افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده اثر تخریبی لکه چسب بر کاغذ است. این موضوع در نتایج حاصل از آزمایش IR نیز به خوبی دیده شده بود.

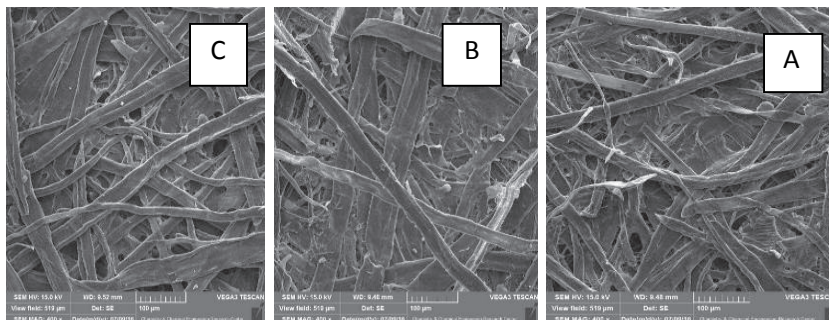


شکل ۸

تصاویر SEM نمونه
W2P (B) و W2 (A)

شکل ۹ تصاویر SEM کاغذهای پاک‌سازی شده با حلال تتراکلریدکربن (W2PC)، متانول (W2PM) و استن (W2PA) را بعد از پیرسازی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه پاک‌سازی شده با حلال استن (W2PA) کمترین تخریب را در مقایسه با حلال‌های دیگر نشان می‌دهد. از طرف دیگر در نمونه پاک‌سازی شده با حلال متانول (W2PM) به‌وضوح باقی‌مانده

چسب مشاهده می شود (دلیل چسبندگی نمونه پس از پاک سازی)؛ بنابراین با توجه به مجموع نتایج به دست آمده، استن، بهترین حلال برای پاک سازی لکه چسب معرفی می شود.

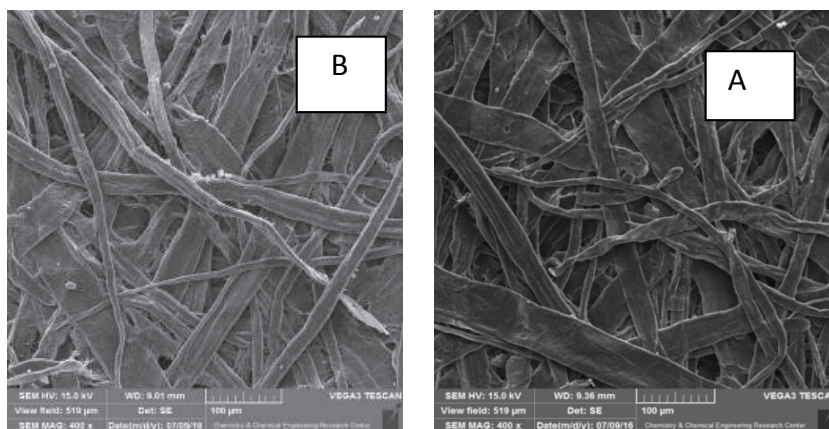


شکل ۹

تصاویر SEM نمونه
W2PM (B) و W2PC
W2PA (C) و

نمونه حاوی لکه جوهر

تصاویر SEM کاغذ حاوی لکه جوهر بعد از پیرسازی (W2I) و کاغذ بدون لکه بعد از پیرسازی (W2) در شکل ۱۰ نشان داده شده است. ذرات جوهر روی الیاف به خوبی مشاهده می شود. در نمونه حاوی لکه جوهر، تخریب تقریباً مشابهی در الیاف مشاهده می شود که نشان دهنده اثر تخریبی کم لکه جوهر بر کاغذ است. این موضوع در نتایج حاصل از آزمایش های میزان اسیدیته و مقاومت کششی نیز دیده شده بود.

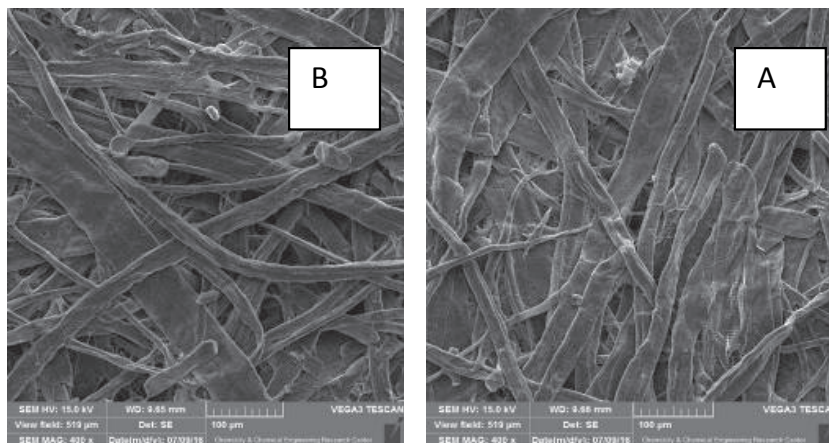


شکل ۱۰

تصاویر SEM نمونه
W2I (B) و W2 (A)

شکل ۱۱ تصاویر SEM کاغذهای پاک سازی شده با حلال متانول (W2IM) و اتانول (W2IE) را بعد از پیرسازی نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که نمونه پاک سازی شده با حلال

اتانول (W2PA) تخریب کمتری را در مقایسه با حلال متانول (W2IM) ایجاد کرده‌است؛ بنابراین با توجه به مجموع نتایج به‌دست آمده، اتانول بهترین حلال برای پاک‌سازی لکه جوهر معرفی می‌شود؛ در ضمن اتانول از نظر ایمنی نیز از متانول مناسب‌تر است.



شکل ۱۱

تصاویر SEM
نمونه (A) W2IM و (B) W2PA

نتیجه‌گیری

در کتابخانه‌ها و آرشیوهای ایران و جهان میلیون‌ها برگ کتاب و سند آرشیوی ارزشمند وجود دارد که برخی از آن‌ها از لکه‌های چربی، پنخ‌شدگی جوهر، و چسب‌های نواری غیراستاندارد دچار آسیب‌هایی شیمیایی شده‌اند.

برخی پژوهشگران مانند Sarantopoulou و همکاران (۲۰۰۳)، کاویانی (۱۳۸۸)، و دلیر (۱۳۸۷) درباره پاک‌سازی منابع کاغذی با لیزر در طول موج‌های مختلف تحقیق کرده‌اند. همه طول موج‌های آزمایش شده آسیب‌رسان هستند؛ ولی در طول موج ۱۵۷ نانومتر تخریب کمتر و پاک‌سازی بهتری در منابع کاغذی دیده می‌شود.

علاوه بر روش فوق، پاک‌سازی با حلال‌ها نیز در بسیاری از مراکز آرشیوی و کتابخانه‌ای انجام می‌شود. تمامی حلال‌های استفاده‌شده اثر تخریبی بر منابع کاغذی دارند؛ ولی برخی حلال‌ها آسیب بیشتری به منابع وارد می‌کنند.

در این پژوهش سه لکه رایج در آثار کاغذی - یعنی لکه چربی، چسب، و جوهر - برای بررسی انتخاب شدند. لکه‌ها روی نمونه‌های کاغذی و اتانول ایجاد شدند. سپس پاک‌سازی با حلال‌های مختلف انجام شد. حلال‌های استفاده‌شده بر اساس کاربردترین حلال‌ها انتخاب شدند. حلال‌های تری‌کلرواتیلن و تتراکلرید کربن برای لکه چربی، حلال‌های تتراکلرید کربن، استن و متانول برای لکه چسب و حلال‌های اتانول و متانول برای لکه جوهر انتخاب شدند.

سپس نمونه‌ها در زمان‌های مختلف پیرسازی شدند و آزمون‌های مختلف روی آن‌ها انجام شد. در پاک‌سازی لکه‌های چربی روی کاغذهای واتمن، حلال تری‌کلرواتیلن مناسب‌تر از حلال تتراکلریدکربن شناخته شد. این حلال باعث افزایش کمتر اسیدیته، کاهش کم مقاومت کششی، پاک‌سازی مناسب، اکسایش کمتر کاغذ و تخریب کمتر الیاف می‌شود و به دلیل پاک‌سازی خوب، آسیب کمتر به آثار کاغذی و سمیت کمتر در مقایسه با تتراکلریدکربن، حلال مناسب‌تر برای لکه چربی شناخته شد.

در پاک‌سازی لکه‌های چسب روی کاغذهای واتمن، حلال استن بهترین حلال شناخته شد. متانول به دلیل ناتوانی در پاک‌سازی چسب و چسبندگی نمونه پاک‌سازی شده، حلال مناسبی شناخته نشد. بر اساس نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز، حلال تتراکلریدکربن باعث تخریب کاغذ می‌شود و سمیت آن بسیار بالاست؛ بنابراین حلال مناسبی نیست. حلال استن به دلیل افزایش کم اسیدیته، کاهش ندادن مقاومت کششی، پاک‌سازی مناسب، اکسایش کم کاغذ و تخریب کم الیاف، حلال مناسبی شناخته شد.

در پاک‌سازی لکه‌های جوهر روی کاغذهای واتمن، اتانول مناسب‌تر از متانول شناخته شد. اگرچه هر دو حلال پاک‌سازی مناسبی دارند و به دلیل افزایش ندادن اسیدیته، افزایش مقاومت کششی و اکسایش کم کاغذ مناسب می‌باشند؛ ولی به دلیل سمی نبودن اتانول و همچنین تخریب کمتر الیاف به وسیله این حلال، اتانول حلال مناسب‌تر شناخته و پیشنهاد شد.

منابع

کتاب

- استوارت، باربارا. (۱۳۹۳). *روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی*. (مسعود باقرزاده کثیری، مترجم). تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- پاویا، دونالد؛ لمپمن، گری؛ کریز، جورج. (۱۳۶۶). *نگرشی بر طیف‌سنجی*. (برهمن موثق، مترجم). تهران: انتشارات علمی و فنی.

مجموعه مقاله

- قدرتی، فاطمه؛ محمودی، رقیه. (۱۳۹۱). «انواع لکه‌ها و الحاقات غیراصولی موجود در اسناد آرشیوی و نسخ خطی و راهکارهای شناسایی و روش‌های آسیب‌زدایی آن‌ها». در *مجموعه مقاله‌های چهارمین همایش ملی آرشیوی حفاظت و نگهداری اسناد و میراث مستند*. تهران: سازمان اسناد و کتابخانه ملی.



پایان‌نامه

کاوایانی، نوشین. (۱۳۸۸). «کاربرد لیزر Nd:YAG با طول‌موج ۵۳۲nm برای پاک‌سازی لکه‌های موجود بر کاغذهای تاریخی»، کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت.

دلیر، حسن. (۱۳۸۷). «کاربرد لیزر در لکه‌زدایی آثار کاغذی»، کارشناسی ارشد، مرمت آثار، دانشگاه تهران، دانشکده هنر.

صامتی، مریم. (۱۳۷۷). «اسیدزدایی و لکه‌برداری در بافته‌های قدیمی و بررسی مقاومت‌های فیزیکی»، کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت.

منابع اینترنتی

{تاریخچه سازمان اسناد و کتابخانه ملی در تاریخ ۲۰ مرداد ۹۵ بازیابی ۱۰ مرداد ۱۳۹۵ از
<http://www.nlai.ir/Default.aspx?tabid>

استانداردها

استاندارد شماره ۱۰۶، «شرایط محیطی استاندارد مشروط کردن...».

بازیابی ۱۰ مرداد ۱۳۹۵ از: www.isiri.org

استاندارد شماره ۱۳۳، «استاندارد روش نمونه‌برداری از کاغذ و مقوا».

بازیابی ۱۰ مرداد ۱۳۹۵ از: www.isiri.org

استاندارد شماره ۱۴۱۷، «تعیین ترکیب فیبری کاغذ، کاغذ و مقوا»

بازیابی ۱۰ مرداد ۱۳۹۵ از: www.isiri.org

استاندارد شماره ۱-۳۵۶۸، «کاغذ، مقوا و خمیر کاغذ - روش تعیین pH محلول استخراجی، قسمت ۱ استخراج با آب سرد». سازمان اسناد و تحقیقات صنعتی ایران،

بازیابی ۱۰ مرداد ۱۳۹۵ از: www.isiri.org

استاندارد شماره ۴۷۰۶، «روش تسریع در کهنه‌شدن کاغذ و مقوا در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۶۵ درصد». سازمان اسناد و تحقیقات صنعتی ایران،

بازیابی ۱۰ مرداد ۱۳۹۵ از: www.isiri.org

استاندارد شماره ۸۲۷۳، «کاغذ و مقوا - اندازه‌گیری ویژگی‌های کششی»

بازیابی ۱۰ مرداد ۱۳۹۵ از: www.isiri.org



منابع لاتین

مقاله

- Mallika, M. (2012). "Cleaning Method of Paper Manuscripts". *Global Research Methodology Journal*, 4th issue Feb-Mar-Apr, 2012
- Merrily, A; Smith, S; Norvell M. M; Susan, L. (1988). "Pressure-Sensitive Tape and Techniques for its Removal From Paper". *The Book and Paper Grupe Annual*, Volume 23, Number 2, PP101-113.
- Nilghaz, A; Zhang, L; Shen, W. (2015). "Coffee Stains On Paper". *Chemical Engineering Science*, 129, PP34-41.
- Sarantopoulou, E; Samardzija, Z; Kobe, S; Kollia, Z; Cefalas, A. C. (2003). "Removing Foxing Stains from Old Paper at 157 nm". *Applied Surface Science*, 208-209, pp 311-316.

منابع اینترنتی

- "Restoration techniques: materials and procedures". (Retrieved Jul 27, 2016), Unesco(2015). from www.unesco.org/webworld/ramp/html/r8817e/r8817e09.htm
- "Adhesive Structure". (Retrieved Jul 27, 2016) From <http://chemicalfu.com>
- "Blue Ink Structure". (Retrieved Jul 22, 2016) From <https://www.google.com/imgres?imgurl=http>
- "Fat Structure". (Retrieved Jul 20, 2016) From <http://www.lop.parl.gc.ca/content/lop/researchpublications/prb.521-e.htm>